

MINISTERO DELLA SALUTE

Piano Nazionale Radon



2002

Indice

	Pag.
Introduzione	i
Motivazioni, obiettivi e riferimenti.....	i
Il Gruppo di Coordinamento Nazionale Radon.....	ii
Struttura del documento	ii
Sommario	iii
Capitolo 1. Valutazione del rischio radon	1
1.1 Introduzione al problema	1
1.1.1 Rischio relativo	3
1.1.2 Rischio assoluto	5
1.1.3 Rischio attribuibile	5
1.1.4 Rischio riducibile	6
1.1.5 Effetti sanitari diversi dal tumore polmonare	7
1.2 La situazione in Italia	8
1.3 Obiettivi ed azioni	8
Bibliografia	10
Capitolo 2. Come individuare gli edifici ad elevata concentrazione di radon	13
2.1 Introduzione al problema	13
2.2 La situazione in Italia	16
2.2.1 Abitazioni	16
2.2.2 Scuole	19
2.2.3 Luoghi di lavoro	20
2.3 Obiettivi ed azioni	21
Bibliografia	26
Capitolo 3. Sorgenti di radon ed altri fattori che influiscono sui livelli di concentrazione di radon negli edifici	27
3.1 Introduzione al problema	27
3.1.1 Suolo	28
3.1.2 Materiali da costruzione	28
3.1.3 Altri fattori che influiscono sui livelli di concentrazione di radon negli edifici	30
3.2 La situazione in Italia	30
3.2.1 Suolo	30
3.2.2 Materiali da costruzione	31
3.3 Obiettivi ed azioni	33
Bibliografia	35

	Pag.
Capitolo 4. Come misurare la concentrazione di radon in aria	37
4.1 Introduzione al problema	37
4.1.1 Durata della misura	37
4.1.2 Tipo di strumentazione utilizzata	38
4.1.3 Assicurazione di qualità	39
4.2 La situazione in Italia	39
4.3 Obiettivi ed azioni	40
Bibliografia	42
Capitolo 5. Come ridurre e prevenire le concentrazioni elevate di radon negli edifici	43
5.1 Introduzione al problema	43
5.1.1 La situazione negli altri Paesi	45
5.2 La situazione in Italia	47
5.3 Obiettivi ed azioni	50
Bibliografia	55
Capitolo 6. Informazione, formazione, qualificazione	57
6.1 Introduzione al problema	57
6.1.1 Informazione	57
6.1.2 Formazione e qualificazione	61
6.2 La situazione in Italia	62
6.2.1 Informazione	62
6.2.2 Formazione e qualificazione	63
6.3 Obiettivi ed azioni	64
Bibliografia	66
Capitolo 7. Normative	67
7.1 Introduzione al problema	67
7.1.1 Abitazioni	68
7.1.2 Luoghi di lavoro	70
7.1.3 Materiali da costruzione	72
7.2 La situazione in Italia	73
7.2.1 Abitazioni	73
7.2.2 Luoghi di lavoro	73
7.2.3 Materiali da costruzione	77
7.3 Obiettivi ed azioni	78
Bibliografia	81

	Pag.
Allegato	
Stima dei tempi e dei costi necessari per la realizzazione del Piano Nazionale Radon	83
Appendice 1. Caratteristiche fisiche, sorgenti e meccanismi di ingresso del radon negli ambienti chiusi	93
Bibliografia	98
Appendice 2. Rassegna degli interventi per ridurre o prevenire livelli elevati di concentrazione di radon	99
A2.1 Introduzione	99
A2.2 Metodologie delle azioni di rimedio.....	99
A2.2.1 Rimozione del radon e/o dei suoi prodotti di decadimento dall'aria interna	100
A2.2.2 Ventilazione / miscelazione con aria esterna	101
A2.2.3 Riduzione dell'ingresso di radon	102
A2.3 Applicazione delle azioni di rimedio in altri Paesi.....	107
A2.4 Applicazione delle azioni di rimedio ad alcuni edifici italiani.....	108
A2.5 Prevenzione in nuovi edifici.....	110
A2.6 Considerazioni finali.....	110
Bibliografia	112
Appendice 3. Dati sull'edilizia italiana rilevanti per il problema radon	113
Appendice 4. Elementi di base sulla radioattività	121
Appendice 5. Glossario	125

Introduzione

Motivazioni, obiettivi e riferimenti

L'esposizione della popolazione al radon^(*) presente nell'aria delle abitazioni e dei luoghi di lavoro (e più in generale nei cosiddetti ambienti chiusi) rappresenta uno dei principali fattori di rischio di tumore polmonare, dopo il fumo di sigaretta. Sin dal 1988 l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC), dell'Organizzazione Mondiale della Sanità, ha classificato il radon tra i cancerogeni accertati di gruppo 1, di cui fanno parte solo 87 agenti degli 874 presi in esame fino al 2001^(**). Diverse agenzie e organismi nazionali ed internazionali attribuiscono al radon una frazione rilevante dei casi di tumore polmonare: in Italia si è stimato che da 1500 a 6000 casi all'anno (su un totale di circa 30000) potrebbero essere dovuti all'esposizione al radon.

Su questa base molti Paesi, principalmente in Europa ed in Nord-America, hanno adottato a partire dalla metà degli anni '80 delle politiche sanitarie volte alla riduzione del rischio radon. Data la complessità e multidisciplinarietà del problema radon, nonché la molteplicità di competenze amministrative coinvolte, l'esperienza di questi Paesi mostra chiaramente che lo strumento più efficace per il raggiungimento dell'obiettivo di riduzione del rischio radon è la predisposizione di un piano nazionale radon, col quale programmare e coordinare le numerose e diverse azioni da intraprendere.

Anche l'Italia ha cominciato da diversi anni ad affrontare il problema radon, e la recente introduzione di una normativa sul radon nei luoghi di lavoro ha accentuato la necessità di un "Piano Nazionale Radon" italiano (di seguito abbreviato in PNR), previsto esplicitamente dall'"Accordo tra il Ministro della salute, le regioni e le province autonome sul documento: «Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati»", del 27 settembre 2001, pubblicato sul Supplemento Ordinario alla Gazzetta Ufficiale, n.276 del 27 novembre 2001 – Serie generale.

(*) In questo documento il termine *radon* viene usato per riferirsi all'isotopo 222 dell'elemento chimico radon (Rn-222), l'isotopo più diffuso nell'aria interna degli edifici. Un altro isotopo del radon, il Rn-220, può essere presente in alcune circostanze in quantità non trascurabili, e verrà preso in esame nel PNR solo in alcune sue parti, riferendosi spesso ad esso col termine "toron". Inoltre, gli effetti sanitari sono dovuti prevalentemente ai prodotti di decadimento del radon più che al radon stesso, ma, per brevità, spesso ci si riferisce ad essi come effetti sanitari del radon.

(**) A titolo di confronto, l'esposizione ai campi magnetici a bassissima frequenza è stata recentemente classificata nel gruppo 2B dei *possibili* cancerogeni, limitatamente alle leucemie infantili, e nel gruppo 3 degli agenti *non classificabili come cancerogeni* per quanto riguarda altri tumori.

L'obiettivo di questo "Piano Nazionale Radon" è quindi presentare un piano coordinato di azioni finalizzate alla riduzione del "rischio radon", cioè del rischio di effetti sanitari connessi all'esposizione della popolazione italiana al radon ed ai suoi prodotti di decadimento.

Questo PNR è stato inizialmente predisposto dal gruppo di lavoro "Radon" della *Commissione tecnico-scientifica per l'elaborazione di proposte di intervento preventivo e legislativo in materia di inquinamento "indoor (D.M. 8 Aprile 1998)"*. Nell'elaborare il PNR si è tenuto conto dei seguenti riferimenti: la letteratura scientifica in materia; i piani nazionali radon di altri Paesi; le normative nazionali (in particolare il recente D.L.vo 241/00 sulla protezione dalle radiazioni ionizzanti dei lavoratori e della popolazione, che introduce per la prima volta la protezione dal radon nei luoghi di lavoro), le normative di altri Paesi e le raccomandazioni internazionali, in particolare dell'Unione Europea; le già citate *Linee-guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati*; il *Piano Sanitario Nazionale*; il *Piano Oncologico Nazionale*, elaborato dalla Commissione Oncologica Nazionale.

Il Gruppo di Coordinamento Nazionale Radon

Per la realizzazione del PNR andranno messi a punto dei protocolli operativi dettagliati, indispensabile complemento del PNR. Risulta quindi necessaria, anche sulla base dell'esperienza di altri Paesi, la costituzione a livello nazionale di una commissione o gruppo di lavoro ad-hoc (di seguito definito, per brevità, *Gruppo di Coordinamento Nazionale Radon*), con esperti di varie discipline, che abbia il compito di predisporre i suddetti protocolli operativi nonché di seguire la realizzazione del PNR nel suo complesso e garantire il coordinamento delle azioni. Data la natura sanitaria del problema radon, tale gruppo di lavoro deve essere istituito dal Ministero della Salute, chiamando a parteciparvi gli enti, istituti, amministrazioni, ecc., coinvolti nella realizzazione del PNR.

Struttura del documento

La struttura ed il contenuto di questo documento sono funzionali all'obiettivo del documento stesso, e quindi sono significativamente diversi da quelli delle rassegne scientifiche sul problema radon, pur contenendo molti elementi conoscitivi.

Il documento si struttura in sette capitoli che trattano le diverse problematiche inerenti al radon, un allegato e cinque appendici. Ogni capitolo include una breve analisi dell'argomento finalizzata a motivare le azioni previste. Si è cercato di dare ai diversi capitoli un taglio il più possibile uniforme, affrontando i vari aspetti del problema senza eccedere in dettagli; per alcuni argomenti si è quindi fatto ricorso ad appendici in cui sono stati trattati alcuni aspetti particolari.

Ogni capitolo è suddiviso nei seguenti paragrafi:

1) *Introduzione al problema*

Serve essenzialmente a delineare il problema e le diverse possibili strategie di soluzione, sintetizzandone le principali caratteristiche.

Include riferimenti, a carattere prevalentemente esemplificativo, alla situazione in altri Paesi.

2) *La situazione in Italia*

Questo è uno dei punti qualificanti del PNR, per cui, sia pur in modo sintetico e con un taglio adeguato al documento, è stata riportata una rassegna il più possibile esaustiva di quanto è stato fatto o si sta facendo in Italia, essendo ovviamente questa una premessa necessaria per qualunque proposta di azione.

3) *Obiettivi ed azioni*

In questo paragrafo sono riportati gli *obiettivi* specifici e le *azioni* previste dal PNR per realizzare tali obiettivi.

Gli obiettivi e le azioni rappresentano ovviamente la parte principale del PNR.

Sommario

Capitolo 1. Data la sua motivazione sanitaria, nel PNR vengono affrontati come prima cosa gli aspetti della problematica radon connessi alla valutazione dei rischi. In questo capitolo, oltre a riassumere le attuali conoscenze e le prospettive derivanti dagli studi in corso, in particolare i due progetti europei e nord-americani di analisi complessiva (*pooled*) dei dati attualmente disponibili, vengono analizzati i limiti delle attuali stime di rischio, in particolare per quel che riguarda il rischio dei non fumatori e l'interazione tra radon e fumo attivo e passivo. Le azioni proposte mirano ad affrontare proprio questi aspetti.

Capitolo 2. In questo capitolo viene affrontato il problema di come identificare gli edifici ad alta concentrazione di radon, cioè quegli edifici dove la concentrazione di radon nell'aria interna ad essi supera determinati livelli di azione. Vengono analizzate le caratteristiche dei diversi approcci al problema, con particolare riguardo allo strumento della mappatura, ma senza trascurare la possibilità di individuare caratteristiche costruttive che possano facilitare od ostacolare l'ingresso del radon nell'aria interna agli edifici. A questo scopo viene analizzata la situazione conoscitiva della concentrazione di radon nelle abitazioni, nelle scuole ed in altri luoghi di lavoro. Le azioni proposte, sulla base delle esperienze fatte in Italia e all'estero, mirano a dotare il Paese di adeguati strumenti per l'individuazione del più elevato numero ragionevolmente possibile di edifici con alta concentrazione di radon.

Capitolo 3. In questo capitolo viene affrontato il problema di come ottenere una adeguata conoscenza delle sorgenti di provenienza (suolo e materiali da costruzione) del radon presente nell'aria interna degli edifici e dei vari fattori (caratteristiche degli edifici, degli impianti, delle

abitudini degli occupanti, ecc.) che influenzano i livelli di concentrazione di radon. Tale conoscenza, infatti, può aiutare significativamente l'individuazione degli edifici ad alta concentrazione di radon.

Capitolo 4. In questo capitolo vengono affrontate, sia pur brevemente, le varie problematiche connesse alla misurazione della concentrazione di radon in aria, con particolare attenzione ai sistemi (linee guida, protocolli, definizione di criteri e programmi di assicurazione di qualità, potenziamento delle strutture di metrologia) per ottenere una buona qualità delle misure.

Capitolo 5. Lo scopo finale del PNR è quello di ridurre l'impatto sanitario dovuto all'esposizione al radon, e quindi questo capitolo, che tratta dei sistemi per ridurre o prevenire i valore alti di concentrazione di radon negli edifici, costituisce una parte rilevante del PNR. Viene analizzata approfonditamente sia la situazione internazionale che quella italiana, più limitata ma in evoluzione. Ulteriori e dettagliati elementi conoscitivi sono stati riportati nelle appendici 2 e 3.

Capitolo 6. E' noto che un ruolo fondamentale per la riuscita di un programma di prevenzione sanitaria lo rivestono l'informazione della popolazione generale e di gruppi particolari, la formazione degli operatori e la qualificazione delle varie strutture coinvolte, trattati in questo capitolo. Ciò è messo bene in evidenza dall'analisi dell'esperienza di altri Paesi che hanno dedicato molta attenzione e risorse a questi aspetti. Di conseguenza le azioni proposte mirano a realizzare un programma completo e dettagliato in questi settori.

Capitolo 7. Il capitolo conclusivo tratta delle normative in materia, in quanto queste devono tener conto di tutti gli aspetti analizzati in precedenza e fornire adeguati strumenti, indispensabili nella realtà italiana, per raggiungere gli obiettivi sanitari del PNR. Va sottolineato che l'Italia è uno dei pochi Paesi europei a non avere ancora una normativa sul radon nelle abitazioni. Ovviamente, le varie azioni proposte sono inserite nel quadro normativo internazionale e soprattutto dell'Unione Europea.

Allegato. A corredo dei capitoli viene fornito un allegato in cui si riportano in modo sintetico, per ogni azione prevista, le stime dei tempi e dei finanziamenti necessari per la realizzazione.

Appendice 1. In questa appendice vengono riportate sinteticamente le caratteristiche fisiche del radon, ed in particolare gli schemi di decadimento delle catene di radionuclidi a cui appartengono i principali isotopi del radon, nonché cenni alle sorgenti di provenienza del radon ed ai meccanismi di ingresso negli ambienti chiusi, quali le abitazioni ed i luoghi di lavoro.

Appendice 2. Data l'importanza delle azioni per ridurre la concentrazione di radon, in questa appendice vengono riportati molti dettagli in più rispetto al capitolo 5, sia sulle tecniche in generale che sulle esperienze applicative.

Appendice 3. In questa appendice vengono riportati dati, sia economici che strutturali,

sull'edilizia italiana rilevanti per il problema radon, come l'età degli edifici, le tendenze sull'edificazione di nuovi edifici confrontate con quelle sulle ristrutturazioni, la dimensione e la destinazione d'uso degli edifici, ecc.

Appendice 4. Per favorire la comprensione del testo anche ai non esperti, viene fornita in questa appendice una breve introduzione agli elementi di base sulla radioattività.

Appendice 5. Il glossario contenuto in quest'ultima appendice fornisce una sintetica spiegazione di alcuni termini tecnici e acronimi utilizzati nel testo.

Capitolo 1

Valutazione del rischio radon

1.1 – Introduzione al problema

Il PNR ha come obiettivo generale la riduzione dei rischi sanitari connessi all'esposizione alle radiazioni emesse dal radon e dai suoi prodotti di decadimento: di conseguenza una caratterizzazione adeguata di tali rischi assume un'importanza fondamentale per l'elaborazione del piano stesso.

Quindi questo documento prende in esame come prima cosa la valutazione del rischio radon, in quanto una conoscenza adeguata dell'entità del rischio, delle sue incertezze e degli effetti sinergici tra radon ed altri fattori di rischio, spesso trascurati nelle normative di molti Paesi, è necessaria per calibrare al meglio gli interventi proposti nel PNR.

In questo capitolo quindi verrà analizzata la situazione attuale delle stime del rischio radon, specificando l'entità del rischio relativo, del rischio assoluto, del rischio attribuibile (cioè della percentuale di casi di tumore attribuibili ogni anno al radon) e del rischio riducibile.

Come si vedrà, sia pur sinteticamente, la valutazione del rischio radon non è affatto semplice né può dirsi definitivamente conclusa, ed è stata ripetutamente oggetto di vivaci dibattiti, soprattutto per le sue implicazioni in termini di politica sanitaria, in alcuni Paesi Europei ed Americani. Da un lato vi è una gran mole di dati epidemiologici che ha portato diversi organismi autorevoli (ad esempio l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro, IARC, dell'Organizzazione Mondiale della Sanità) a classificare il radon tra i cancerogeni per i quali vi è la massima evidenza di cancerogenicità. Dall'altra parte permangono rilevanti incertezze su alcune parti della caratterizzazione del rischio che potrebbero avere estrema rilevanza nelle scelte di politica sanitaria, in particolare per quel che riguarda gli effetti sinergici tra radon e fumo di sigaretta (sia attivo che passivo) ed il rischio specifico per i non fumatori.

Va detto subito che l'effetto sanitario connesso all'esposizione al radon è l'aumento di rischio di tumore polmonare. Sono stati effettuati studi su altri possibili effetti sanitari, riportati nel par. 1.1.5, che però non hanno messo in evidenza alcun rischio significativo.

Il processo fisico-biologico che lega il radon al tumore polmonare è così sintetizzabile: il radon è un gas inerte che, emesso dal suolo e dai materiali da costruzione, si concentra nell'aria degli ambienti chiusi (abitazioni, luoghi di lavoro, ecc.), e qui decade producendo altri radionuclidi, detti “prodotti di decadimento del radon”. Quando si respira, l'aria inalata contiene sia radon che i suoi prodotti di decadimento: il radon, in quanto un gas inerte, viene in gran parte espirato mentre i suoi prodotti di decadimento si attaccano alle pareti interne dell'apparato bronchiale e qui decadono emettendo radiazioni ionizzanti, le quali, soprattutto le particelle alfa, producono un danno alle cellule bronco-polmonari, incluso il loro DNA, che può evolversi in un tumore.

Quindi il radon agisce come “trasportatore” dei suoi prodotti di decadimento, i quali sono i veri responsabili del danno biologico. Per brevità, comunque, si usa spesso parlare di rischio radon, intendendo con questo il rischio connesso all'esposizione ai prodotti di decadimento del radon, e così verrà fatto anche in questo documento. Inoltre la valutazione del rischio dovuto all'esposizione al toron (Rn-220) ed ai suoi prodotti di decadimento non verrà presa in esame in questo capitolo, in quanto le concentrazioni di questi isotopi radioattivi sono generalmente basse, anche se in alcune circostanze possono non essere trascurabili.

Per quel che riguarda l'evidenza del rischio di tumore polmonare connesso all'esposizione al radon, l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro dell'OMS ha classificato sin dal 1988 il radon ed i suoi prodotti di decadimento tra le sostanze cancerogene di gruppo 1, sulla base di indagini epidemiologiche su coorti di minatori di miniere sotterranee (WHO-IARC 1988), confermando questa classificazione in un'analisi più recente (WHO-IARC 2001).

Per quel che riguarda l'entità del rischio, che verrà analizzata in dettaglio più avanti, essa viene generalmente stimata sulla base delle indagini sui minatori, caratterizzati da valori di esposizione a radon molto elevati. Le incertezze sulle stime quantitative del rischio per la popolazione derivate dagli studi sui minatori sono però rilevanti – anche se decisamente minori di quelle relative a molti altri cancerogeni –, in quanto alle incertezze degli studi sui minatori vi si aggiungono quelle connesse all'estrapolazione dei risultati alla popolazione esposta nelle abitazioni, incertezze dovute ai diversi valori di concentrazione di radon (molto alti nelle miniere, medio bassi nelle case), di durata dell'esposizione (molto maggiore nelle abitazioni), delle caratteristiche delle persone esposte (solo maschi robusti nelle miniere, popolazione generale nelle abitazioni) e delle caratteristiche microclimatiche degli ambienti. Inoltre, dagli studi sui minatori rimangono notevoli incertezze sull'entità del sinergismo con il fumo e sul rischio per i non fumatori (NRC 1991, BEIR-VI 1999).

Sono state quindi progettate diverse indagini caso-controllo sulla popolazione esposta a radon nelle abitazioni, principalmente in Europa e in Nord-America. Una meta-analisi di otto studi già conclusi ha sostanzialmente confermato le stime di rischio ottenute estrapolando i dati dei minatori, ma con un'evidenza statistica molto inferiore, dovuta principalmente ai minori valori di concentrazione di radon nelle abitazioni rispetto alle miniere (Lubin e Boice 1997). E' in corso un progetto congiunto europeo/nord-americano per effettuare un'analisi complessiva dei dati di

tutte le principali indagini, già concluse e di quelle in via di conclusione (Samet 1995, Bochicchio et al. 1998). La conclusione del progetto è prevista per il 2003 ed i risultati dovrebbero portare ad una riduzione delle incertezze, che però rimarranno molto rilevanti per quel che riguarda il rischio per i non fumatori, dovuto al fatto che complessivamente le indagini svolte finora hanno arruolato un numero ridotto di casi non fumatori, e spesso in zone con valori di concentrazione di radon non molto elevati. Va evidenziata a questo proposito la situazione molto particolare dell'Italia, in cui vi sono diverse regioni con valori medio-alti di concentrazione di radon negli edifici (Bochicchio et al. 1999a), nonché una percentuale rilevante, tra i casi di tumore polmonare, di donne che non hanno mai fumato. La concomitanza di queste condizioni permette l'effettuazione di un'indagine epidemiologica in cui si possa arruolare in pochi anni un numero sufficiente di casi per stimare adeguatamente il rischio per i non fumatori e gli eventuali effetti sinergici col fumo passivo.

1.1.1 – Rischio relativo

Studi sui minatori

Le stime di rischio di tumore polmonare dovuto all'esposizione al radon ed ai suoi prodotti di decadimento derivano prevalentemente dagli studi epidemiologici su coorti di minatori di miniere sotterranee. La fonte principale di dati proviene da un *pool* di 11 coorti, per un totale di circa 68000 minatori e di circa 2700 tumori polmonari, che ha permesso di analizzare i dati con un modello che lega, per ogni età, il rischio relativo (RR) a diversi parametri, tramite la seguente formula:

$$RR = 1 + \beta (w_{5-14} + \theta_{15-24} w_{15-24} + \theta_{25+} w_{25+}) \phi_{age} \gamma_z$$

essendo β il rischio per unità di esposizione w (l'esposizione è la concentrazione dei prodotti di decadimento del radon moltiplicata per il tempo di esposizione), θ_{15-24} e θ_{25+} sono fattori di peso per le esposizioni nel periodo che va, rispettivamente, dai 15 ai 24 anni ed dai 25 anni ed oltre prima dell'età considerata, ϕ_{age} è un fattore di peso dipendente dall'età, e γ_z è un fattore legato alla durata dell'esposizione oppure, in modo concettualmente equivalente, alla concentrazione media dei prodotti di decadimento. I risultati principali sono i seguenti: per unità di esposizione il rischio relativo RR diminuisce con il tempo trascorso dalla fine dell'esposizione ($\theta_{5-14} = 1$, $\theta_{15-24} = 0.8$ e $\theta_{25+} = 0.4$) e con l'età (ϕ_{age} diminuisce al crescere dell'età), e cresce al crescere della durata dell'esposizione (o, equivalentemente, al diminuire della concentrazione dei prodotti di decadimento) (Lubin et al. 1995; BEIR-VI 1999).

Le coorti dei minatori sono però caratterizzate dall'aver valori medi di esposizione e di concentrazione di radon rispettivamente di circa 10 e 100 volte maggiori dei corrispondenti valori per la popolazione generale. Allo scopo di verificare l'applicabilità dei dati dei minatori per la stima del rischio per la popolazione, è stata effettuata un'analisi limitata ai soli minatori con esposizioni inferiori a 50 e 100 WLM (corrispondenti ad un'esposizione di circa 60 anni ad una

concentrazione media di circa 200 e 400 Bq/m³). Tale analisi ha fornito risultati equivalenti a quelli ottenuti usando tutti i dati (Lubin et al. 1997, BEIR-VI 1999).

Studi sulla popolazione generale

Una recente meta-analisi degli otto studi caso-controllo effettuati ognuno su almeno 200 casi (Lubin e Boice 1997), per complessivi 4263 casi e 6612 controlli, ha fornito un rischio relativo RR = 1.14 (intervallo di confidenza al 95% = 1.01–1.30) per un'esposizione di 30 anni ad una concentrazione media di 150 Bq/m³, sulla base di un modello log-lineare (equivalente, a questi valori di RR, ad un modello lineare). Questo risultato è praticamente uguale a quello ottenuto, con un modello lineare di RR, sui dati dei minatori esposti a valori fino a 50 WLM: RR = 1.13 (I.C. 95% = 1.0–1.2) per un'esposizione di 30 anni ad una concentrazione media di 150 Bq/m³ (Lubin et al. 1997, BEIR-VI 1999). Il RR ottenuto con la meta-analisi di Lubin e Boice, ma ricalcolato per 100 Bq/m³ e 200 Bq/m³, risulta essere, rispettivamente, di 1.09 (I.C. 95% = 1.01–1.20) e 1.19 (I.C. 95% = 1.01–1.42) (Bochicchio et al. 1998).

Tre studi caso-controllo pubblicati dopo la meta-analisi di Lubin e Boice stimano, tramite un modello lineare $RR = 1 + \beta w$, rischi relativi superiori ma sostanzialmente compatibili. Lo studio effettuato nel sud-est dell'Inghilterra (Darby et al. 1998), su 982 casi e 3185 controlli, fornisce, per un'esposizione di 30 anni ad una concentrazione di 100 Bq/m³, un RR = 1.08 (I.C. 95% = 0.97–1.20) che diventa 1.12 (I.C. 95% = 0.95–1.30) se si tiene conto delle incertezze sull'esposizione; inoltre, se l'analisi viene limitata ai 484 casi e 1637 controlli per i quali le misure di radon sono state effettuate per l'intero periodo di 30 anni (dai 5 ai 35 anni precedenti l'arruolamento) il RR diventa 1.14 (I.C. 95% = 1.01–1.29) e, correggendo per tener conto delle incertezze sull'esposizione, 1.24 (I.C. 95% = 0.99–1.56). Lo studio effettuato in Missouri su donne (372 casi e 471 controlli) mostra, per una concentrazione media di 150 Bq/m³ nel periodo dai 5 ai 25 anni precedenti l'arruolamento, un RR = 1.95 (I.C. 95% = 1.1–3.9) se si usano i valori di esposizione al radon stimati tramite una tecnica di dosimetria retrospettiva (usata per la prima volta in indagini epidemiologiche sul radon), mentre non vi è alcun aumento di RR se si usano i valori di esposizione al radon stimati tramite una tecnica dosimetrica usuale (Alavanja et al. 1999). Infine lo studio effettuato in Iowa, su donne (413 casi e 614 controlli) che hanno vissuto gli ultimi 20 anni precedenti l'arruolamento in una sola abitazione, fornisce, per una concentrazione media di 150 Bq/m³ nel periodo dai 5 ai 19 anni precedenti l'arruolamento, un RR = 1.24 (I.C. 95% = 0.95–1.92), che diventa 1.49 (I.C. 95% = 1.03–2.84) se l'analisi viene limitata ai soli soggetti vivi al momento dell'intervista (Field et al. 2000). Questi tre studi mettono in evidenza l'importanza di ridurre le diverse fonti di incertezza sulla stima dell'esposizione per ottenere una stima corretta di rischi relativamente piccoli.

Al fine di migliorare la precisione delle stime di rischio, è in corso un progetto congiunto europeo-nordamericano per l'analisi *pooled* dei dati di gran parte degli studi caso-controllo finora effettuati, che include per l'Europa gli studi realizzati in Austria, Belgio, Finlandia, Francia,

Germania, Italia, Repubblica Ceca, Svezia, per un totale di circa 10 000 casi e 17 000 controlli. I risultati di questo progetto sono previsti per il 2003.

Va evidenziato che queste stime di rischio sono basate su indagini con gran prevalenza di casi fumatori, e quindi riflettono in realtà il rischio dovuto all'effetto combinato di radon e fumo. Sono ancora alte le incertezze sui rischi per i non fumatori, ed i limitati dati delle indagini svolte finora danno indicazioni contrastanti: le indagini sui minatori tendono infatti a suggerire che il rischio relativo da radon per i non fumatori sia maggiore di 2–3 volte del corrispondente rischio relativo per i fumatori, e quindi un'interazione tra fumo e radon intermedia tra additiva e moltiplicativa (Lubin et al. 1995, BEIR-VI 1999, Gilliland et al. 2000); le indagini sulla popolazione tendono invece a suggerire un rischio relativo per i non fumatori uguale o minore di quello per i fumatori, e quindi un'interazione tra fumo e radon moltiplicativa o sopra-moltiplicativa (Alavanja et al. 1994, Lubin e Boice 1997). Infine, i risultati di un recente studio su non fumatori condotto in Svezia suggeriscono che vi sia un rischio significativo di tumore polmonare connesso al radon solo se vi è la compresenza di fumo passivo (Lagarde et al. 2001).

1.1.2 – Rischio assoluto

Nella radioprotezione il rischio viene tradizionalmente espresso in termini di rischio assoluto, ottenuto moltiplicando una “dose efficace” individuale espressa in Sievert (Sv) per il rischio sull'intera vita per unità di dose efficace. Va sottolineato che quest'approccio è finalizzato a calcolare i rischi per una fittizia popolazione di riferimento allo scopo di confrontarli con i rischi connessi ad altre esposizioni a radiazioni ionizzanti. Con questo approccio si stima che il rischio individuale sull'intera vita dovuto all'esposizione continua a 100 Bq/m^3 sia ~1%, con un'incertezza stimabile in un fattore tre (ECA 1995).

L'ICRP (International Commission on Radiological Protection) ha in parte combinato l'approccio dosimetrico con quello dell'epidemiologia sui minatori, derivando un rischio relativo dalle indagini sui minatori ed applicandolo alla sua popolazione mondiale di riferimento per quel che riguarda la distribuzione d'età e il tasso di base di tumori (ICRP-65 1993). In questo modo ha ottenuto un rischio assoluto di circa 3×10^{-4} per WLM (unità di misura dell'esposizione ai prodotti di decadimento del radon, che corrisponde per le abitazioni ad un'esposizione di circa 230 Bq/m^3 di radon per 1 anno). Ad un'esposizione cronica di 50 anni ad una concentrazione di 100 Bq/m^3 corrisponde quindi, secondo l'ICRP, un rischio assoluto di circa 1.7%.

1.1.3 – Rischio attribuibile

Al radon vengono attribuiti circa il 40% dei tumori polmonari riscontrati nelle 11 coorti di minatori (Lubin et al. 1995). Per quanto riguarda la popolazione generale sono stati effettuate

diverse stime, alcune delle quali sono qui riportate, basate sui RR prevalentemente derivati dalle indagini sui minatori e sulle proporzioni di fumatori e non fumatori nella popolazione generale.

Negli USA, dove la media della concentrazione di radon nelle abitazioni è di 46 Bq/m³, il rapporto BEIR-VI (1999) ha stimato il rischio attribuibile sulla base di tre diversi modelli derivati dalle coorti di minatori, con i seguenti risultati: 14% (intervallo di confidenza 95%: 10%–26%), 10% (8%–19%), 12% (2%–21%).

In Germania Ovest, dove la media della concentrazione di radon nelle abitazioni è di 50 Bq/m³, il rischio attribuibile è stato stimato essere circa 7% sulla base dei modelli derivati dagli studi sui minatori, cui corrisponde un numero di tumori polmonari di circa 2000 all'anno (95% CI = 500–8200) (Steindorf et al. 1995). Va però evidenziato che tale stima è stata ottenuta assumendo che, a parità di esposizione a radon, il rapporto tra il rischio per la popolazione generale e quello per i minatori fosse 0.7 (NRC 1991). Recentemente tale rapporto è stato rivalutato ed è ora stimato essere 1 (BEIR-VI 1999), per cui i rischi attribuibili visti sopra andrebbero conseguentemente rivalutati.

Nel Regno Unito, dove la media della concentrazione di radon nelle abitazioni è di 20 Bq/m³, il rischio attribuibile è stato recentemente stimato essere 3%–5% (NRPB 2000), usando i modelli del BEIR-VI, derivati dagli studi sui minatori. In termini di numero di decessi annui per tumore polmonare, la stima è di 2000–3300 casi, di cui 500–1300 tra i non fumatori (NRPB 2000).

Nonostante le incertezze sul RR per i non fumatori, che si riflettono ovviamente anche sul rischio attribuibile, si può comunque ritenere che la maggior parte dei tumori attualmente attribuibili al radon è dovuta in realtà all'effetto combinato di radon e fumo.

1.1.4 – Rischio riducibile

I rischi attribuibili al radon non sono egualmente distribuiti: infatti, dato che la distribuzione della concentrazione di radon nelle abitazioni ha un andamento tipo log-normale, al rischio complessivo contribuiscono proporzionalmente di più le relativamente poche case con valori alti di concentrazione di radon. Ad es. negli USA è stato stimato che solo il 13% del RA è dovuto alle case che hanno valori di radon inferiori alla mediana (25 Bq/m³), mentre il 30% del RA è stimato esser connesso alle case che hanno più di 150 Bq/m³ (il livello di azione raccomandato negli USA), che sono meno del 6% (BEIR-VI 1999).

E' importante tener conto della distribuzione del rischio, in quanto non è praticabile una riduzione a zero della concentrazione di radon. Quindi il rischio riducibile è in realtà minore del rischio attribuibile e dipende ovviamente dal numero di case in cui si interviene per ridurre la concentrazione di radon e dal valore della concentrazione di radon dopo l'intervento. Entrambi questi numeri sono soggetti a cambiare: il numero di case da "risanare" ha avuto finora una

tendenza a crescere, dato che le normative sul radon hanno progressivamente ridotto i valori di concentrazione di radon oltre i quali si raccomanda (o si impone) di intervenire; la concentrazione di radon negli edifici “risanati” dovrebbe tendere a diminuire con il progredire delle tecniche di risanamento/prevenzione. Allo stato attuale si stima che il rischio riducibile sia circa un terzo del rischio attribuibile (es. BEIR-VI 1999).

1.1.5 – Effetti sanitari diversi dal tumore polmonare

Oltre al tumore polmonare sono stati studiati altri effetti sanitari (per una rassegna si vedano BEIR-IV 1988, Samet 1994, WHO-ROE 1996, BEIR-VI 1999). In particolare, un’analisi complessiva dei dati di mortalità in 11 coorti di minatori di miniere sotterranee ha messo in evidenza un aumento statisticamente significativo di mortalità per leucemia, tumore allo stomaco e al rene (oltre ovviamente al tumore polmonare): per i primi due non vi è però correlazione con l’esposizione ai prodotti di decadimento del radon, e la correlazione con l’aumento di mortalità per tumore al rene è considerata dagli autori un effetto casuale (Darby et al. 1995). Per quanto riguarda gli effetti non tumorali, in uno studio sui minatori di uranio del New Mexico è stata messa in evidenza una diminuzione delle funzionalità polmonari proporzionale al numero di anni passati in miniera, ma non è chiaro se ciò sia dovuto alla presenza del radon o di altri agenti tossici (Samet et al. 1984). Lo stesso discorso vale per la silicosi.

Passando dagli studi sui minatori a quelli sulla popolazione generale, è stato suggerito, sulla base di studi di correlazione geografica (detti anche studi “ecologici”, nei quali si mettono in correlazione i valori medi in diverse regioni del fattore di rischio studiato con i corrispondenti valori medi di mortalità per una determinata causa), il legame tra l’esposizione al radon e l’insorgenza di leucemie mieloidi, tumori del rene, tumori della prostata e melanomi (Henshaw et al. 1990). La questione non verrà qui discussa in dettaglio, ma ci si limiterà a sottolineare la intrinseca debolezza di questo tipo di indagini epidemiologiche rispetto agli studi indagini “analitici” di coorte e caso-controllo, dovuta sia alla difficoltà di identificare eventuali fattori di confondimento, che al grande impatto che questi hanno sui risultati. A titolo d’esempio di queste limitazioni, può essere ricordato che le analisi ecologiche effettuate in Inghilterra hanno portato a risultati opposti a seconda della scala geografica (contea o distretto) usata (Muirhead et al. 1991). Va evidenziato inoltre che un recente studio caso-controllo sulle leucemie infantili si è concluso senza evidenziare correlazioni statisticamente significative con l’esposizione a radon (Lubin et al. 1998). Più in generale, un recentissimo studio di rassegna di tutti gli studi effettuati su radon e leucemie (sia infantili che degli adulti) ha concluso che non vi sono evidenze di associazione (Laurier et al. 2001).

Al momento, quindi, eventuali effetti sanitari del radon diversi dal tumore polmonare non sono considerati sufficientemente comprovati (Darby et al. 1995, WHO-ROE 1996, BEIR-VI 1999).

1.2 – La situazione in Italia

In Italia si registrano ogni anno circa 31 000 (ISTAT) casi di decesso per tumore polmonare. Va evidenziato che la mortalità è in diminuzione tra gli uomini e in aumento tra le donne. L'incidenza è poco più alta della mortalità, a causa della breve sopravvivenza per tale tumore, circa il 50% dopo 6 mesi (Zanetti et al. 1998).

L'esposizione della popolazione italiana è stata valutata tramite un'indagine nazionale – promossa e coordinata dall'Istituto Superiore di Sanità e dall'ANPA (APAT dal 6 ottobre 2002) e realizzata negli anni 1989–1996 in collaborazione con gli Assessorati alla Sanità delle Regioni su un campione di circa 5000 abitazioni – che ha permesso di stimare la distribuzione della concentrazione di radon nelle abitazioni. Il valor medio è risultato essere circa 70 Bq/m³, la media geometrica 52 Bq/m³ e la deviazione standard geometrica 2.1 (Bochicchio et al. 1996, 1999b). Indagini effettuate in scuole materne ed elementari di sei regioni italiane hanno messo in evidenza che anche in questa tipologia di edifici si riscontrano livelli equivalenti o superiori a quelli delle abitazioni (Gaidolfi et al. 1998). Una situazione non molto diversa è prevedibile anche per le scuole ed altri luoghi di lavoro non particolari (es. uffici).

Diversi studi epidemiologici, in parte già citati nel paragrafo 1.1, sono stati effettuati in Italia (Forastiere et al. 1985, Bochicchio et al. 1998, 2000, Pisa et al. 2001), contribuendo significativamente alla conoscenza complessiva del rischio di tumore polmonare connesso all'esposizione al radon.

Per quel che riguarda il rischio attribuibile in Italia, esso può essere preliminarmente stimato in 5%–20% di tutti i tumori polmonari, e quindi circa 1500–6000 ogni anno (PSN 1998).

1.3 – Obiettivi ed azioni

Obiettivi

Gli obiettivi del PNR per quel che riguarda la valutazione del rischio sono essenzialmente due:

- contribuire agli studi che molti Paesi stanno svolgendo, anche in collaborazione, per migliorare le conoscenze sul rischio radon, in particolare per quel che riguarda i fattori che hanno potenzialmente maggiore impatto sulle scelte di politica sanitaria.
- avere una valutazione dettagliata del rischio radon nella situazione italiana, in particolare per quel che riguarda il rischio attribuibile e quello riducibile.

Azioni

In stretta connessione con i due obiettivi sopraesposti, il PNR prevede due azioni prioritarie.

- 1) Finanziamento e supporto operativo per la realizzazione dell'indagine epidemiologica, promossa e coordinata dall'Istituto Superiore di Sanità, su radon e tumore polmonare nelle donne, con l'obiettivo primario di stimare il rischio dei non fumatori ed eventuali effetti sinergici tra radon e fumo passivo, e con obiettivo secondario valutare l'entità degli effetti sinergici tra radon e fumo attivo.

Questo progetto, che si svolgerà nelle regioni italiane con maggiore presenza di radon, ha un potenziale impatto molto rilevante sulla politica sanitaria sia a livello nazionale che internazionale. Infatti, sulla base delle attuali stime di rischio, molti Stati hanno introdotto, a partire dalla seconda metà degli anni '80, normative specifiche per limitare l'esposizione al radon nelle abitazioni e/o nei luoghi di lavoro. Tutte queste normative non fanno riferimento alcuno all'interazione tra radon e fumo di sigaretta (attivo o passivo), assumendo implicitamente che il rischio dovuto all'esposizione a radon sia equivalente per fumatori e non fumatori.

E' chiaro che se, a parità di esposizione a radon, il rischio per i non fumatori risultasse non trascurabile e sostanzialmente confrontabile con quello dei fumatori, la necessità di politiche sanitarie e normative finalizzate alla riduzione della concentrazione di radon negli edifici verrebbe notevolmente rafforzata. Ciò varrebbe sia a livello internazionale che, soprattutto, nel nostro Paese, nel quale, a differenza di molti altri Paesi europei ed extra-europei, non vi è ancora alcuna normativa in materia di radon nelle abitazioni, nonostante sia proprio nelle abitazioni che si ha la maggiore esposizione della popolazione al radon.

Al contrario, se dovesse risultare che il rischio da radon per i non fumatori fosse molto inferiore a quello dei fumatori, e/o essere legato prevalentemente all'esposizione a fumo passivo – cioè, in altre parole, se il rischio da radon fosse dovuto quasi tutto all'interazione (con effetto sinergico) col fumo attivo o passivo –, allora le politiche sanitarie e normative sul radon non potrebbero più, come invece fanno oggi, non tener conto dell'interazione radon-fumo e, ad esempio, dovrebbero orientarsi prevalentemente verso una seria campagna per la riduzione dell'abitudine al fumo e dell'esposizione a fumo passivo, in quanto questo sarebbe il modo più efficace per ridurre il rischio dovuto all'interazione radon-fumo.

Questo studio epidemiologico, che ha una durata prevista di circa 4 anni, fornirà un contributo rilevante anche alla ricerca degli edifici con alta concentrazione di radon (cfr. capitolo 2), in quanto è previsto vengano effettuate diverse migliaia di misure di concentrazione di radon proprio nelle regioni italiane dove i valori sono presumibilmente più alti. Per le Regioni coinvolte, quindi, la realizzazione di questa indagine epidemiologica permetterà anche di assolvere in parte ai compiti di individuazione delle aree con maggiore

presenza di radon negli edifici e delle caratteristiche degli edifici che favoriscono tale presenza, compiti che la recente normativa sul radon nei luoghi di lavoro ha assegnato loro (cfr. capitolo 7).

- 2) Effettuazione di una valutazione dettagliata del rischio (individuale, attribuibile, riducibile) per la situazione italiana, sulla base dei fattori di rischio attuali e delle attuali stime di interazione radon-fumo (da aggiornare quando saranno a disposizione i risultati del pooling europeo-nordamericano e dell'indagine epidemiologica italiana sulle donne) e di diverse ipotesi di riduzione dei livelli di radon e di fumo attivo e passivo.

Una prima valutazione dettagliata dei rischi dovrebbe essere realizzata entro un anno. Essa servirà, insieme ad una serie di dati relativa al costo e all'efficacia degli interventi previsti per la riduzione del rischio radon, a valutare il rapporto efficacia/costo (dove l'efficacia è misurata in termini di anni di vita guadagnati) di tali interventi, raffrontandoli con i corrispondenti rapporti per altri interventi di politica sanitaria, col fine di ottimizzare l'impiego delle risorse. Valutazioni analoghe effettuate in altri Paesi hanno mostrato che un programma di interventi sul radon può essere considerato uno dei sistemi a miglior rapporto efficacia/costo, dopo gli interventi sul fumo di sigaretta (e.g. Kennedy e Gray 2001).

Bibliografia

- Alavanja MC, Brownson RC, Lubin JH, Berger E, Chang J, Boice JD Jr. *Residential radon exposure and lung cancer among nonsmoking women*. J. Natl. Cancer Inst. 86: 1829–1837; 1994.
- Alavanja MC, Lubin JH, Mahaffey JA, Brownson RC. *Residential radon exposure and risk of lung cancer in Missouri*. Am. J. Public Health 89(7): 1042–1048; 1999.
- BEIR-IV (Committee on Biological Effects of Ionising Radiations - National Research Council). *Health risks of radon and other internally deposited alpha-emitters*. National Academy Press, Washington, D.C.; 1988.
- BEIR-VI (Committee on Health Risks of Exposure to Radon - National Research Council). *Health Effects of Exposure to Radon*. National Academy Press, Washington, D.C.; 1999.
- Bohicchio F, Campos Venuti G, Nuccetelli C, Piermattei S, Risica S, Tommasino L, Torri G. *Results of the representative Italian national survey on radon indoors*. Health Phys. 71(5): 743–750; 1996.
- Bohicchio F, Forastiere F, Abeni D, Rapiti E. *Epidemiologic studies on lung cancer and residential radon in Italy and other countries*. Radiat. Prot. Dosim. 78(1): 33–38; 1998.
- Bohicchio F, Bucci S, Bonomi M, Cherubini G, Giovani C, Magnoni M, Minach L, Sabatini P. *Areas with high radon levels in Italy*. Proc. Workshop “RADON in the Living Environment”, 19-23 April 1999, Athens, Greece, 985–996; 1999a.

- Bohicchio F, Campos Venuti G, Nuccetelli C, Piermattei S, Risica S, Tommasino L, Torri G. *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; 1999b.
- Bohicchio F, Forastiere F, Mallone S, Nuccetelli C, Sera F. *Case-control study on radon exposure and lung cancer in an Italian region: preliminary results*. Proc. of IRPA-10 Congress, Hiroshima, 2000.
- ECA (European Collaborative Action “Indoor air quality & its impact on man”). *Radon in indoor air*. Report no.15. EUR 16123 EN, Luxembourg. Office for official publication of European Communities; 1995.
- Darby SC, Whitley E, Howe G, Hutchings SJ, Kusiak RA, Lubin JH, Morrison HI, Tirmarche M, Tomasek L, Radford EP, Roscoe RJ, Samet JM and Xiang YS. *Radon and cancers other than lung cancer in underground miners: a collaborative analysis of 11 studies*. J. Natl. Cancer Inst. 87(5): 378–384; 1995.
- Darby SC, Whitley E, Silcocks P, Thakrar B, Green M, Lomas P, Miles J, Reeves G, Fearn T and Doll R. *Risk of lung cancer associated with residential radon exposure in south-west England: a case-control study*. BJC 78(3): 394–408; 1998.
- Field RW, Steck DJ, Smith BJ, Brus CP, Fisher EL, Neuberger JS, Platz CE, Robinson RA, Woolson RF, Lynch CF. *Residential radon gas exposure and lung cancer: the Iowa Radon Lung Cancer Study*. Am J. Epidemiol. 151(11): 1091–102; 2000.
- Forastiere F, Valesini S, Arcà M, Magliola ME, Michelozzi P, Tasco C. *Lung cancer and natural radiation in an Italian province*. Sci. Tot. Environ. 45: 519–526; 1985.
- Gaidolfi L, Malisan MR, Bucci S, Cappai M, Bonomi M, Verdi L, Bohicchio F. *Radon measurements in kindergartens and schools of six Italian regions*. Radiat. Prot. Dosim. 78(1): 73–76; 1998.
- Gilliland FD, Hunt WC, Archer VE, Saccomanno G. *Radon progeny exposure and lung cancer risk among non-smoking uranium miners*. Health Phys. 79(4): 365–372; 2000.
- Henshaw DL, Eatough JP, Richardson RB. *Radon a a causative factor in induction of myeloid leukemia and other cancers in adults and children?* The Lancet 335: 1008–1012; 1990.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection). *Protection Against Radon-222 at Home and at Work*. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23(2); 1993.
- Kennedy CA, Gray AM. *Cost effectiveness analysis of radon remediation programmes*. Sci. Total Environ. 272: 9–15; 2001.
- Lagarde F, Axelsson G, Damber L, Mellander H, Nyberg F, Pershagen G. *Residential radon and lung cancer among never-smokers in Sweden*. Epidemiology 12(4): 396–404; 2001.
- Laurier D, Valenty M, Tirmarche M. *Radon exposure and the risk of leukemia: a review of epidemiological studies*. Health Phys. 81(3): 272–88; 2001.
- Lubin JH, Boice Jr JD. *Lung cancer risk from residential radon: meta-analysis of eight epidemiological studies*. J. Natl. Cancer Inst. 89: 49–57; 1997.

- Lubin JH, Boice Jr JD, Edling C, Hornung RW, Howe G, Kunz E, Kusiak RA, Morrison HI, Radford EP, Samet JM, Tirmarche M, Woodward A, Yao SX, Pierce DA. *Lung cancer in radon-exposed miners and estimation of risk from indoor exposure*. J. Natl. Cancer Inst. 87: 817–827; 1995.
- Lubin JH, Tomásek L, Edling C, Hornung RW, Howe G, Kunz E, Kusiak RA, Morrison HI, Radford EP, Samet JM, Tirmarche M, Woodward A, Yao SX. *Estimating lung cancer mortality from residential radon using data for low exposures of miners*. Radiat. Res. 147: 126–134; 1997.
- Lubin JH, Linet MS, Boice JD Jr, Buckley J, Conrath SM, Hatch EE, Kleinerman RA, Tarone RE, Wacholder S, Robison LL. *Case-control study of childhood acute lymphoblastic leukemia and residential radon exposure*. JNCI 90(4): 294–300, 1998.
- Muirhead CH, Butland BH, Green BMR, Draper GJ. *Childhood leukaemia and natural radiation*. The Lancet 337: 503–504; 1991.
- NRC (National Research Council). *Comparative Radon Dosimetry in Mines and Homes. Panel on dosimetric assumptions affecting the application of radon risk estimates*. National Academy Press, Washington, D.C.; 1991.
- NRPB (National Radiological Protection Board). *Health Risks from Radon*. National Radiological Protection Board, ISBN 0-85951-449-8; 2000.
- Pisa FE, Barbone F, Betta A, Bonomi M, Alessandrini B, Bovenzi M. *Residential radon and risk of lung cancer in an Italian alpine area*. Arch. Environ. Health 56(3): 208-15; 2001.
- PSN. *Piano Sanitario Nazionale 1998-2000*. D.P.R. 23 luglio 1998. Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale, Serie generale n.288, 1998.
- Samet JM, Young JM, Morgan RA, Hunble CG, Epler GR, McLoud TC. *Prevalence survey of respiratory abnormalities in New Mexico uranium miners*. Health Phys. 46: 361–370; 1984.
- Samet JM. *Health effects of radon*. American Society for Testing and Materials, ASTM Manual 15, Philadelphia; 1994.
- Samet JM. *Pooling of data from radon investigations*. Radon Res. Notes 16: 1–2; 1995.
- Steindorf K, Lubin JH, Wichmann HE, Becher H. *Lung cancer deaths attributable to indoor radon exposure in West Germany*. Int. J. Epidemiol. 24(3): 485–492; 1995.
- WHO-IARC (World Health Organization - International Agency for Research on Cancer). *IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Man-made Mineral Fibres and Radon*. IARC Monograph Vol.43, Lyon, France; 1988.
- WHO-IARC (World Health Organization - International Agency for Research on Cancer). *IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Some Internally Deposited Radionuclides*. IARC Monograph Vol.78, Lyon, France; 2001.
- WHO-ROE (World Health Organization – Regional Office for Europe). *Indoor air quality: a risk based approach to health criteria for radon indoors*. Report on a WHO working group, EUR/CP/CEH 108(A); 1996.
- Zanetti R, Buiatti E, Federico M, Micheli A. *Fatti e cifre dei tumori in Italia*. Il Pensiero Scientifico Editore; 1998.

Capitolo 2

Come individuare gli edifici ad elevata concentrazione di radon

2.1 – Introduzione al problema

Come si vedrà nel capitolo 7, praticamente tutte le normative in materia radon hanno come caratteristica generale quella di stabilire dei *livelli di azione*, cioè dei valori di concentrazione di radon sopra i quali viene raccomandato (o imposto) di effettuare azioni per ridurre la concentrazione di radon (dette comunemente *azioni di rimedio*), e sotto i quali, viceversa, la situazione viene considerata “normale”, cioè il rischio stimato associato a quei livelli di concentrazione di radon viene considerato “accettabile”. La scelta del livello di azione tiene conto sia delle conoscenze sui rischi sanitari associati all’esposizione al radon, affrontati nel capitolo 1, sia di altri fattori tra cui la fattibilità ed il costo delle azioni di rimedio. In ogni caso i livelli di azione non vanno intesi come soglie sopra le quali l’effetto sanitario (in questo caso il tumore polmonare) è certo e sotto i quali, viceversa, il rischio è nullo.

Qualunque sia il livello d’azione scelto, si pone il problema di come identificare gli edifici ad alta concentrazione di radon¹, cioè quegli edifici dove la concentrazione di radon nell’aria interna ad essi supera i livelli di azione.

Ci sono essenzialmente tre approcci al problema dell’identificazione degli edifici ad alta concentrazione di radon in aria.

- 1) *Previsione della concentrazione di radon nei singoli edifici sulla base della conoscenza delle sorgenti di radon e di modelli di diffusione*

Questo approccio è reso estremamente complicato dal fatto che sono moltissimi i fattori che influiscono sulla concentrazione di radon, dalle caratteristiche del terreno e degli edifici alle modalità abitative e al clima locale, e molti di questi fattori non sono conosciuti per le

¹ Per concentrazione di radon in aria si intende, in questo documento, il valor medio annuale di tale grandezza. Le modalità, e le relative problematiche, della misura della concentrazione di radon verranno discusse nel capitolo 4.

singole abitazioni. Tra l'altro questa dipendenza multifattoriale fa sì che la concentrazione di radon possa essere anche molto diversa tra un edificio e l'altro, ed anche tra i diversi appartamenti di uno stesso edificio. Di conseguenza risulta estremamente difficile, allo stato attuale delle conoscenze, prevedere con sufficiente precisione l'entità della presenza di radon senza ricorrere alla sua misura nei locali in questione.

2) *Misurazione della concentrazione di radon in tutti gli edifici*

Questo approccio, seguito praticamente solo negli Stati Uniti d'America, ha il vantaggio di garantire in linea di principio la conoscenza della concentrazione di radon in tutti gli edifici e di poter quindi identificare tutte le situazioni in cui viene superato un qualunque livello di azione, anche in caso di una eventuale successiva riduzione del livello di azione scelto.

Ovviamente questo approccio ha un costo complessivo notevole, anche ipotizzando un costo molto basso per la singola misura della concentrazione di radon (dell'ordine di 10 Euro), a causa dell'elevato numero di misure: ad esempio, se si misurassero tutte le abitazioni italiane, che sono circa 20 milioni, il costo complessivo sarebbe di circa 200 milioni di Euro. Anche nell'ipotesi più realistica di misurare solo alcuni appartamenti di uno stesso edificio, il costo complessivo comunque risulta rilevante. Negli USA il costo della misura è tutto a carico degli inquilini o dei proprietari.

3) *Preventiva identificazione delle aree (e/o delle caratteristiche degli edifici) a maggiore presenza di radon e successiva misura di tutti gli edifici in tali aree*

Questo approccio, probabilmente il più diffuso, si basa sul fatto che, a determinate condizioni, si riscontrano zone geografiche abbastanza definite (dette in inglese *radon-prone areas*) nelle quali la concentrazione di radon negli edifici risulta mediamente sensibilmente più alta che altrove. Questo capita soprattutto quando il suolo è la principale fonte di provenienza del radon e gli edifici hanno in gran parte caratteristiche simili e comunque tali da risentire del radon proveniente dal suolo.

Anche in queste zone si riscontrano comunque notevoli differenze di concentrazione di radon tra un edificio e l'altro e non tutti gli edifici hanno la concentrazione di radon superiore al livello di azione scelto, ma solo una piccola percentuale, sia pur sensibilmente superiore che altrove.

Questo approccio ha il vantaggio di basarsi su un numero ridotto di misure (solo all'interno delle *radon-prone areas* vengono misurati tutti gli edifici o quasi), ma non garantisce che tutti gli edifici con alti valori di concentrazione di radon vengano identificati, in quanto quelli al di fuori delle aree selezionate non vengono nemmeno cercati. Inoltre questa strategia risulta efficiente soprattutto se le aree identificate sono poche e non troppo popolate.

3a) Identificazione delle aree a maggiore rischio sulla base delle caratteristiche dei suoli

Con questo approccio si tenta di individuare le aree a maggior presenza di radon sulla base della sola conoscenza delle caratteristiche del suolo, tramite dati generalmente di tipo geologico, ma talvolta anche tramite misure di concentrazione di uranio o di radon nelle acque superficiali e sotterranee.

Questo approccio ha il vantaggio di usare informazioni generalmente già disponibili sulla sorgente principale del radon, che è appunto il suolo, senza richiedere indagini ad-hoc nelle abitazioni. Va però detto che spesso le previsioni sono state contraddette dalle misure, cioè la concentrazione di radon nelle aree così identificate non è risultata diversa che altrove (es. Svezia, Friis et al. 1999), mettendo in mostra i limiti di questo approccio, dovuti alla complessità del fenomeno che dipende non solo dal terreno, ma anche dal clima e dalle caratteristiche degli edifici. Inoltre i dati geologici utilizzati in molti casi hanno un legame molto approssimativo con la quantità di radon che esce dal terreno. Quindi si è cercato di ricorrere a misure della concentrazione di radon nel suolo, ma anche in questo caso la correlazione con la concentrazione di radon nelle case ha dato risultati contrastanti, dovuti anche a problematiche specifiche delle misure di radon nel suolo (Kemski et al. 1996, Neznal et al. 1996, Varley e Flowers 1998).

3b) Identificazione delle aree (e/o delle caratteristiche degli edifici) a maggiore rischio, sulla base di indagini campionarie ad-hoc.

Le aree a maggiore presenza di radon negli edifici vengono identificate, in questo caso, tramite indagini, appositamente progettate, su un campione di edifici che sia sufficientemente distribuito sul territorio.

Questo approccio, seguito in diversi Paesi (es. in Gran Bretagna, Miles 1998), ha il vantaggio di basare l'identificazione delle aree su dati misurati e non su previsioni più o meno incerte. D'altra parte, per avere una copertura adeguata del territorio sono necessarie parecchie misure negli edifici (abitazioni e/o luoghi di lavoro), molte delle quali possono risultare a posteriori essere state fatte in zone con bassissima presenza di radon.

In alcuni casi (es. Austria, Friedmann et al. 1996, e Danimarca, Damkjær et al. 1996), vengono anche identificate le caratteristiche degli edifici che favoriscono la presenza di valori alti di concentrazione di radon. Questa identificazione avviene sia sulla base di studi di correlazione tra le concentrazioni di radon misurate e le corrispondenti caratteristiche degli edifici, sia sulla base di modelli.

2.2 – La situazione in Italia

In Italia sono state effettuate diverse campagne di misura della concentrazione di radon, principalmente nelle abitazioni e nelle scuole. Solo alcune di queste indagini avevano come scopo principale quello di identificare le zone a maggiore concentrazione di radon. Anche le altre indagini hanno comunque fornito utili, anche se non sufficienti, indicazioni sulla distribuzione della concentrazione di radon negli edifici italiani.

2.2.1 Abitazioni

La stima principale della distribuzione della concentrazione di radon negli edifici in Italia deriva dalla *Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni*, effettuata dal 1989 al 1997 in un campione statisticamente rappresentativo di 5361 abitazioni, generalmente superiore a quello utilizzato dalla gran parte dei Paesi che hanno effettuato indagini rappresentative (Bochicchio et al. 1996, Bochicchio et al. 1999a). Il campione è stato stratificato in 21 fra regioni (19) e province autonome (2) e le misure sono state effettuate dai corrispondenti 21 laboratori regionali o provinciali.

Le abitazioni sono state campionate in 232 comuni, dei quali 50 consistono in tutte le città con più di 100 000 abitanti e i restanti 182 sono un campione casuale dei restanti 8102 comuni italiani. Questa indagine ha consentito di dare una valutazione rappresentativa della distribuzione dell'esposizione al radon per la popolazione italiana, ma ha fornito necessariamente informazioni limitate sulla sua distribuzione geografica su piccola scala (cfr. Figura 2.1).

La media nazionale della concentrazione di radon è pari a 70 Bq/m^3 , e la percentuale di abitazioni con concentrazione maggiore di 200 e 400 Bq/m^3 è rispettivamente 4.1% e 0.9%. I valori medi regionali vanno dai $20\text{--}40 \text{ Bq/m}^3$ per Marche, Basilicata e Calabria, ai $90\text{--}120 \text{ Bq/m}^3$ di Lazio, Lombardia, Friuli-Venezia Giulia e Campania (Bochicchio et al. 1996). Sono state trovate 215 abitazioni con concentrazione superiore a 200 Bq/m^3 distribuite in 73 comuni, appartenenti a 17 regioni e province autonome italiane: in 4 regioni la percentuale di abitazioni con concentrazione di radon maggiore di 200 Bq/m^3 è risultata inferiore all'1%, in 7 regioni nell'intervallo 1%–3%, in 3 regioni nell'intervallo 4%–7%, in 3 regioni superiore all'8%. In 46 abitazioni, distribuite in 25 comuni appartenenti a 6 regioni, la concentrazione è risultata superiore a 400 Bq/m^3 : in 3 regioni la percentuale di abitazioni con concentrazione di radon maggiore di 400 Bq/m^3 è risultata inferiore all'1%, mentre in altre 3 è risultata superiore al 2%. Va sottolineato che per le regioni più piccole i valori regionali sono alquanto incerti a causa del limitato campione, proporzionale alla popolazione. Infatti in alcune di queste regioni (Trentino, Alto Adige, Sardegna) la concentrazione media ottenuta con indagini successive effettuate su un campione molto più numeroso e non raggruppato in pochi comuni, è risultata sensibilmente superiore.

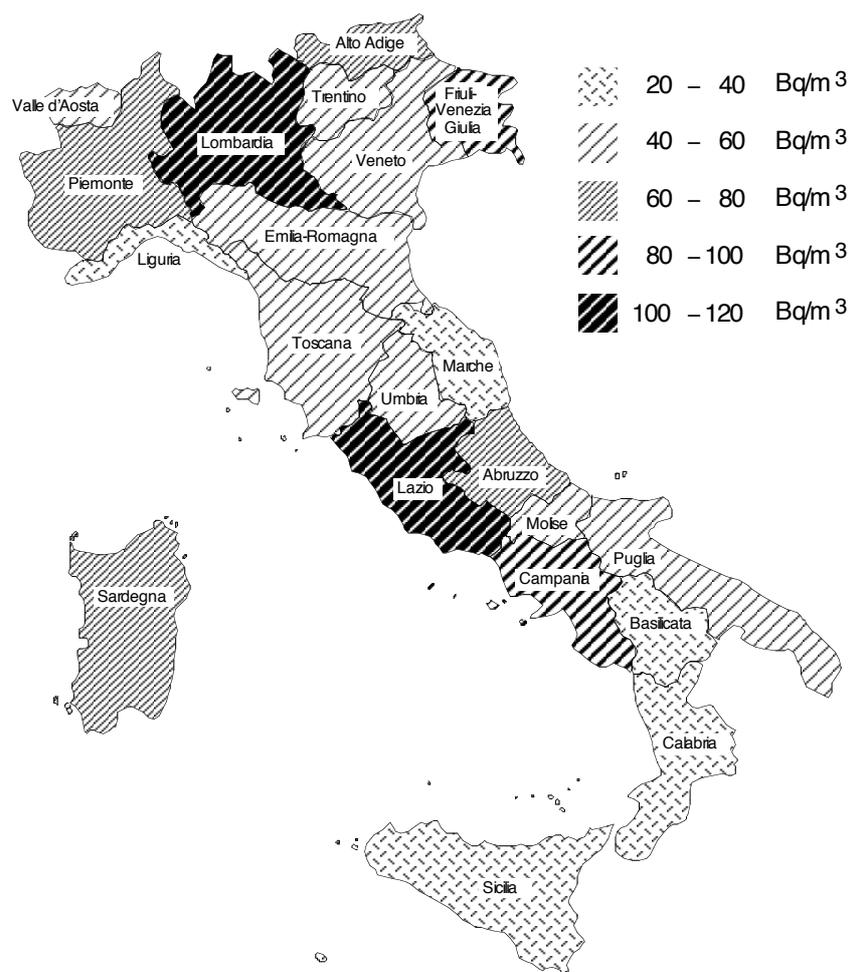


Figura 2.1. Mappa dei valori medi regionali di concentrazione di radon nelle abitazioni italiane, ottenuta nell'ambito dell'*Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni* (Bochicchio et al. 1999a). I valori del Trentino-Alto Adige e della Sardegna sono in realtà superiori (cfr. testo).

In seguito all'indagine nazionale alcune regioni e province autonome hanno condotto altre campagne di misura a livello locale nelle abitazioni coinvolgendo generalmente aree dove si presumeva che la concentrazione di radon potesse essere più elevata della media e zone dove le informazioni disponibili dall'indagine nazionale erano ritenute insufficienti. I laboratori che hanno effettuato le misure sono gli stessi che avevano partecipato all'indagine nazionale.

Una sintesi delle misure di concentrazione di radon indoor disponibili in Italia in zone con maggiore presenza di valori elevati è riportata in tabella 2.1. A questi dati vanno aggiunti quelli derivanti dalle ultime misurazioni effettuate in Alto Adige (consultabili sul sito internet www.provincia.bz.it/agenzia-ambiente/radon/index_i.htm). Una rassegna delle misure condotte da vari laboratori in Italia fino al 2001 è riportata inoltre nel rapporto "Rassegna nazionale delle iniziative di monitoraggio in tema di radon per la caratterizzazione del territorio (AGF-T-RAP-

01-10)”, di prossima pubblicazione, redatto a cura del Centro Tematico Nazionale Agenti Fisici dell’ANPA.

La maggior parte di queste indagini è basata su un campionamento casuale della popolazione, così che i dati risultano concentrati nelle zone abitate e non distribuiti uniformemente sul territorio, in modo da fornire indicazioni più precise nelle zone più densamente popolate. Fa eccezione l’indagine nel Veneto dove è stata fatta una mappatura suddividendo il territorio in maglie uguali e campionando in ogni maglia un egual numero di abitazioni. In Alto Adige sono state invece campionate 10–20 abitazioni in quasi tutti i Comuni, di dimensioni comunque molto simili.

Le indagini differiscono per la strategia di campionamento e per il periodo di esposizione dei rivelatori; in alcuni casi si è preferito effettuare le misure al piano terreno dell’edificio o misurare nel periodo invernale, al fine di ricercare i livelli più elevati. I risultati di queste indagini non possono pertanto essere confrontati direttamente e non si è ritenuto opportuno per ora di applicare fattori correttivi per cercare di tenere conto delle differenze di impostazione; nonostante queste limitazioni d’interpretazione la raccolta dei dati presentata in tabella 2.1 costituisce una prima rassegna sulle aree ad elevata concentrazione di radon indoor esistenti in Italia.

I risultati principali sono, in sintesi, i seguenti:

- sono stati misurati molti valori elevati di concentrazione di radon (circa 800 superiori a 200 Bq/m³, più di 300 superiori a 400 Bq/m³), anche in regioni dove la media ottenuta nell’ambito dell’indagine nazionale era relativamente bassa; le abitazioni identificate sono però solo una piccola percentuale (circa 1%) di quelle stimate in base all’indagine nazionale;
- la percentuale di abitazioni dove la concentrazione di radon supera i livelli di 200 Bq/m³ e 400 Bq/m³ è molto variabile e, in alcune aree, arriva rispettivamente fino al 42% e al 18%;
- sono stati misurate concentrazioni di radon anche molto alte (oltre 2000 Bq/m³ in alcune zone del Piemonte e dell’Alto Adige), ma, a differenza di quanto avvenuto in Paesi come la Norvegia, la Germania e l’Austria, non sono stati trovati livelli estremamente elevati (molte migliaia di Bq/m³), se non in alcuni casi recenti in Alto Adige, mentre sono presenti diverse aree con media relativamente alta;
- un’ultima considerazione da fare riguarda il ruolo dei materiali da costruzione sul livello della concentrazione di radon indoor: diversi studi effettuati in aree vulcaniche della Toscana, Lazio, Umbria, dove vengono utilizzati materiali estratti localmente, mostrano infatti un’associazione fra la concentrazione di radon e il contenuto di radionuclidi naturali nei materiali da costruzione (su questo argomento si veda il capitolo 3).

Tabella 2.1. Misure di concentrazione di radon nelle abitazioni in *radon-prone areas* (adattata da Bochicchio et al. 1999b).

Regione o Provincia	Area (No. di Comuni)	Periodo di esposizione	No. di abitazioni misurate	Media (Bq/m ³)	Max (Bq/m ³)	%> 200 Bq/m ³	%> 400 Bq/m ³
Piemonte	Valle del Cervo (4)	pochi mesi	35	525	2429	n.d.	n.d.
	Peveragno (3)	3 mesi estivi	335	160	2468	n.d.	~11%
Lombardia	Angera (1)	pochi mesi	51	174	985	17%	6%
Alto Adige	Tutti i dati (58)	3 – 12 mesi	1036	231	2787	31%	13%
	Val Pusteria (6)	9 – 12 mesi	162	186	1632	27%	10%
	Val Venosta (6)	9 – 12 mesi	227	298	2657	40%	18%
Trentino	Tutti i dati (36)	1 anno	616	145	1423	23%	7%
	Parte orientale (11)	1 anno	204	196	1212	40%	13%
Friuli - Venezia Giulia	Pianura (8)	1 anno	256	144	1777	15%	9%
	Pianura (1)	6 mesi invernali	501	142	1047	20%	7%
	Colline e monti (23)	1 anno	91	164	1089	42%	6%
Veneto	Centro-Nord (238)	1 anno	1230	103	1476	10%	3%
Toscana	Monte Amiata (7)	1 anno	79	202	1240	38%	11%
	Colline metallifere (1)	1 anno	5	245	553	~20%	~20%
Umbria	Orvieto (1)	1 anno	30	128	299	~20%	0%
	S. Venanzo (1)	1 anno	68	120	293	~20%	0%
Lazio	Prov. Viterbo (16)	1 anno	111	216	737	39%	7%
Sicilia	Isola di Vulcano (1)	1 anno	15	138	n.d.	~20%	n.d.

n.d. = dato non disponibile

2.2.2 Scuole

Gli edifici scolastici risultano il secondo luogo, dopo le abitazioni, dove si passa la maggior parte del tempo trascorso in ambienti chiusi, ed i locali adibiti a questo uso si trovano prevalentemente al piano terreno, soprattutto per le scuole materne e gli asili nido. Pertanto è ipotizzabile che l'esposizione della popolazione infantile possa essere significativa, tenendo anche conto del fatto che il rischio da esposizione a radiazioni ionizzanti è più elevato per i bambini che per gli adulti,

anche se i dati epidemiologici relativi all'esposizione al radon non sono attualmente conclusivi su questo aspetto.

Le regioni e province autonome che hanno promosso iniziative nelle scuole materne sono: Friuli-Venezia Giulia, Trentino, Alto Adige, Sardegna, Toscana ed Emilia Romagna (queste ultime due anche negli asili nido). Una iniziativa analoga è stata effettuata anche in Abruzzo. Sono inoltre in corso le misure in tutti gli edifici scolastici della provincia di Pordenone, in Friuli. Il campione selezionato è stato casuale in tutte le indagini, con rapporto di campionamento da 1 su 3 a 1 su 6, tranne nel caso del Trentino, dove sono stati misurati tutti gli edifici fino al livello delle scuole elementari. Le strutture coinvolte sono state oltre 2000 e 1115 i comuni, anche se nella maggior parte di questi solo una misura è disponibile per effetto del campionamento.

Riguardo al confronto fra i risultati dell'indagine nelle scuole e nelle abitazioni, l'analisi dei dati mostra che, restringendo il campione ai comuni dove entrambi i tipi di misure sono disponibili e ai locali situati al piano terreno, la concentrazione di radon media non differisce in modo significativo fra abitazioni e scuole (Gaidolfi et al. 1998); pertanto anche le misure nelle scuole possono essere utilizzate per identificare le aree del territorio dove la concentrazione è più elevata. Questo risultato può essere spiegato considerando che la percentuale di scuole che si trovano in edifici costruiti ad hoc è relativamente bassa in Italia, pari a circa il 25%, così che la principale differenza nell'esposizione deriva dalle modalità di uso dei locali, dal fattore di occupazione e dal momento dell'occupazione (di giorno e nei soli giorni feriali), mentre l'influenza della tipologia costruttiva appare limitata.

2.2.3 Luoghi di lavoro

Ad oggi sono state eseguite poche e sparse misure di concentrazione di radon in luoghi di lavoro diversi dalle scuole. Va però sottolineato che la recente normativa sulla radioprotezione (D.L.vo 241/00) prevede che le regioni italiane indichino, entro il 31-8-2005, le zone (e le caratteristiche costruttive) per le quali vi sia maggiore probabilità di trovare nei luoghi di lavoro valori alti di concentrazione di radon nell'aria (cfr. capitolo 7). Vi è quindi la necessità, derivante dalla normativa citata, di individuare tali zone (e caratteristiche costruttive), nelle quali verranno eseguite negli anni seguenti un elevato numero di misure nei luoghi di lavoro.

Dato che la sorgente principale del radon è il suolo e che spesso edifici molto simili sono destinati sia ad uso abitativo che lavorativo, è prevedibile che in molti casi le *radon-prone areas* (e le caratteristiche costruttive che favoriscono i valori alti di concentrazione di radon) siano le stesse per le abitazioni ed i luoghi di lavoro, in analogia a quanto si è visto per le scuole.

Va però sottolineato che alcune tipologie di luoghi di lavoro hanno caratteristiche costruttive molto diverse dalle abitazioni: infatti sia la prevalenza di locali al piano terreno (si pensi ai capannoni dove si svolgono attività artigianali e industriali), dove la concentrazione di radon di

solito è più alta, sia la massiccia presenza di sistemi di ventilazione forzata, che potrebbero ridurla, rendono difficile fare ipotesi sulla confrontabilità di taluni ambienti di lavoro con le abitazioni. In questi casi sono necessarie indagini ad-hoc.

2.3 – Obiettivi ed azioni

Obiettivi

Globalmente le misure di concentrazione di radon nelle abitazioni e nelle scuole disponibili alla fine del 1999 risultano quasi 14000, provenienti da circa 1600 comuni, gran parte dei quali sono stati coinvolti nelle indagini nelle scuole. Tenendo conto dei dati provenienti dalle indagini concluse nel 2000 o attualmente in corso si ottiene un numero superiore a 15000 misure. Tuttavia il quadro conoscitivo attuale non è generalmente sufficiente, per individuare su piccola scala le aree con più elevata probabilità di trovare valori alti di concentrazione di radon indoor. Infatti la percentuale di comuni sul cui territorio sono state effettuate misure è pari a circa il 20%, e solo in una piccola frazione di questi è disponibile più di qualche misura. Sulla base di questi dati non è pertanto possibile identificare le aree dove è maggiore il numero di edifici ad elevata concentrazione di radon né trovare i valori alti al di fuori di queste, nelle cosiddette zone a basso rischio. Fanno eccezione alcune situazioni territoriali (ad esempio quelle dell'Alto Adige e del Veneto settentrionale) ove, anche se preliminarmente, aree ad alto potenziale di radon sono state delineate a seguito di iniziative mirate a questo scopo.

La legislazione italiana ha definito un livello di azione per il radon solo per i luoghi di lavoro (500 Bq/m³). Per quel che riguarda le abitazioni, in questo PNR è prevista l'emanazione, su iniziativa del Ministero della Salute, di una normativa che stabilisca un livello di azione raccomandato, preferibilmente di 400 Bq/m³ (cfr. capitolo 7). Comunque l'esperienza di altri Paesi ha dimostrato che tali livelli possono essere cambiati più volte nel corso del tempo.

Per questi motivi l'obiettivo del PNR è necessariamente quello di dotare l'Italia di un sistema complessivo per identificare gli edifici con concentrazione di radon superiore a diversi possibili valori di livelli di azione. Tale sistema dovrà cioè essere in grado di fornire le indicazioni necessarie sia per i livelli di azione attuali (per ora relative ai soli luoghi di lavoro) sia per diversi altri possibili valori (in particolare per le abitazioni), permettendo quindi anche di stimare l'impatto di scelte diverse.

Azioni

Le azioni previste dal PNR per raggiungere gli obiettivi descritti sopra rappresentano nel loro complesso un approccio misto che cerca di combinare gli aspetti positivi dei diversi approcci usati in altri Paesi. Esse possono essere raggruppate come segue:

- 1) *Individuazione delle aree a maggior rischio sulla base prevalente di campagne di misura, coordinate ed appositamente programmate, in abitazioni o in edifici di analoghe caratteristiche.*

Questa scelta deriva dall'analisi complessiva, sintetizzata nel par. 2.1, dell'esperienza effettuata in altri Paesi, dove l'identificazione delle *radon-prone areas* basata sulle sole caratteristiche del suolo non ha dato generalmente risultati adeguati: infatti la concentrazione indoor non dipende solo dall'entità della sorgente, ma da un gran numero di meccanismi di trasferimento e da numerosi parametri dipendenti sia dal clima che dalla tipologia edilizia, e che non sono completamente noti. Inoltre, anche se molto si conosce sui fattori che determinano la concentrazione di radon indoor, tuttavia le tecniche di previsione finora sviluppate per calcolare la concentrazione del gas si sono in genere dimostrate poco efficaci per i singoli edifici e talvolta anche nello stimare il valore medio in zone più o meno estese, utilizzando valori standard dei parametri. Si ritiene quindi preferibile che in Italia venga adottato l'approccio basato prevalentemente sulla programmazione di ulteriori misure, che ha il vantaggio di fornire dati sicuramente utili sia per il singolo edificio che per l'individuazione delle *radon-prone areas*. L'uso di dati geologici può comunque contribuire sia alla programmazione delle nuove campagne di misura che all'analisi dei risultati (e.g. Miles 2000).

È evidente che una conoscenza dettagliata della distribuzione di radon nel territorio richiede tempi non brevi e quindi una adeguata programmazione. Sulla base dell'esperienza anche di altri Paesi, una programmazione ottimale della mappatura prevede la sua effettuazione in stadi successivi, dove la programmazione di ogni stadio si basa sull'analisi dei risultati precedenti. In particolare, ad ogni stadio si tende ad aumentare il numero di misure nelle zone dove si sono trovati (o si prevedono) valori più elevati di concentrazione di radon e a coprire almeno parzialmente eventuali "buchi" nella mappatura. Per quanto riguarda la situazione italiana, l'Indagine Nazionale citata in precedenza costituisce il primo stadio della mappatura, ed alcune indagini regionali successive sono state progettate e realizzate come stadio successivo, come già accennato nel paragrafo 2.2. E' quindi evidente che anche l'individuazione delle aree prevista dal D.L.vo 241/00 è un processo a stadi, come del resto la stessa norma esplicita quando fissa per il 31-8-2005 la scadenza per la *prima* individuazione (art.37, comma 5).

Si ritiene necessario ottenere entro il prossimo triennio un primo livello di conoscenza della distribuzione geografica delle concentrazioni di radon sull'intero territorio nazionale, che consenta di individuare le aree a maggior rischio; in seguito dovrà essere approfondito il livello di dettaglio.

Saranno pertanto condotte dalle Regioni e Province autonome campagne di monitoraggio nei rispettivi territori, che naturalmente saranno programmate in base alle eventuali indagini già

effettuate, da completare in relazione allo stato delle conoscenze.

La progettazione delle campagne di monitoraggio di cui sopra potrà tenere conto sia della conoscenza geologica del sottosuolo, sia delle evidenze già emerse da precedenti campagne di misura, garantendo di ottimizzare le risorse strumentali e di procedere per passi successivi alla conoscenza del territorio.

La seconda fase delle campagne di monitoraggio delle concentrazioni di radon indoor avrà l'obiettivo finale di disporre di un numero adeguato di misure per ogni comune italiano, legato in modo non lineare all'estensione e alla popolazione del comune stesso. La dimensione del campione in ogni comune potrà essere stabilita in ragione di parametri quali l'ampiezza della popolazione e del patrimonio edilizio, nonché la omogeneità della struttura del suolo e del patrimonio edilizio stesso, oltre che l'estensione territoriale. Orientativamente, per comuni non troppo grandi, è sufficiente effettuare qualche decina di misura in ogni comune (ad es. in Svizzera ed in Alto Adige ne sono state effettuate circa 20). In questo modo sarà possibile pervenire ad una conoscenza approfondita della distribuzione geografica dell'esposizione al radon e al tempo stesso garantire che in ogni unità amministrativa locale siano disponibili le informazioni necessarie ai fini della classificazione delle aree.

Infatti la definizione delle aree a maggior presenza di radon deve essere preferibilmente effettuata su base comunale, in quanto le amministrazioni comunali sono direttamente coinvolte in molti aspetti gestionali del problema radon (regolamenti edilizi, ecc.). Del resto, per gli stessi motivi, anche la classificazione delle aree a rischio sismico è effettuata su base comunale.

I punti di misura individuati dovranno comunque essere georeferenziati al fine di permettere una mappatura dei risultati che faciliti la correlazione con altri dati a carattere territoriale (in particolare quelli relativi alle caratteristiche del suolo) e la loro rappresentazione a posteriori tramite una griglia a maglie di uguale dimensione, il che facilita l'uso di tecniche di estrapolazione dei dati in zone scarsamente abitate.

La durata delle misure dovrà essere complessivamente di un anno, come viene raccomandato da tutti gli organismi scientifici internazionali al fine di ottenere una stima corretta del valore medio. Sarebbe utile però cogliere l'occasione per studiare su un campione ristretto di abitazioni l'andamento stagionale della concentrazione di radon: questo fornirebbe fattori stagionali correttivi specifici per area geografica, tenendo conto quindi anche delle variazioni climatiche. Tali fattori correttivi, se adeguatamente valutati, potrebbero a determinate condizioni essere utilizzati per effettuazione misure di durata inferiore all'anno, ad esempio a scopo di screening (cfr. capitolo 4).

Va ribadito che anche se i dati sulle caratteristiche geologiche del territorio non verranno utilizzati per definire, solo sulla base di essi, le zone a maggiore presenza di radon, tali dati,

ad esempio quelli derivanti dal progetto PERS (cfr. capitolo 3), potranno comunque essere utilizzati sia per definire la priorità temporale nella programmazione delle varie campagne di misura, sia per studi di correlazione con le misure effettuate, in base ai quali valutare le capacità predittive degli indicatori geologici.

Al fine di ottimizzare i risultati e le risorse, nonché di rendere confrontabili i dati, è opportuno prevedere un coordinamento delle indagini da svolgere, sin dalla fase di programmazione, nell'ambito del Gruppo Coordinamento Nazionale Radon (cfr. Introduzione) ed in connessione con l'Archivio Nazionale Radon (cfr. azione 3).

2) *Indagini in luoghi di lavoro particolari*

Andranno inoltre eseguite alcune indagini mirate a valutare il livello di esposizione in ambienti di lavoro con caratteristiche peculiari.

Va ricordato a questo proposito che il D.L.vo 241/00 prevede che tutti i luoghi di lavoro sotterranei debbano essere oggetto di misura della concentrazione di radon, e quindi non necessiterebbero in linea di principio di ulteriori indagini conoscitive. Il decreto però prevede che i risultati delle misure fatte effettuare dall' esercente vengano trasmessi alle autorità competenti solo in caso di superamento del livello di azione, attualmente fissato in 500 Bq/m³, il che limita notevolmente l'utilità di tali misurazioni ai fini di una caratterizzazione rappresentativa della situazione complessiva e rende più onerosa la verifica dell'applicazione del decreto stesso.

La situazione normativa è diversa per i (molto più numerosi) luoghi di lavoro non sotterranei, ad esempio per i luoghi di lavoro seminterrati, o per quelli a piano terra ma con caratteristiche e modalità d'uso molto particolari e sensibilmente diverse dalle abitazioni (ad es. i negozi, o i grandi capannoni industriali). Il D.L.vo 241/00 prevede che tali luoghi siano misurati non in tutto il territorio nazionale ma solo in determinate zone o per determinate caratteristiche dei luoghi di lavoro stessi a cui corrispondono significative probabilità di elevate concentrazioni di radon (cfr. capitolo 7).

Per i luoghi di lavoro non sotterranei è quindi necessario predisporre apposite indagini campionarie, in collaborazione con il Gruppo Coordinamento Nazionale Radon (cfr. Introduzione) e con l'Archivio Nazionale Radon (cfr. azione 3), con lo scopo sia di verificare se le concentrazioni di radon in questi luoghi sono simili a quelle nelle abitazioni (in base alle quali si effettua la classificazione delle aree), sia di identificare eventuali caratteristiche costruttive specifiche di tali luoghi che favoriscono la presenza di radon.

3) *Raccolta ed analisi sistematica di dati (Archivio Nazionale Radon)*

Un'altra azione necessaria per raggiungere gli obiettivi del PNR riguardo l'individuazione

degli edifici con alta concentrazione di radon, consiste nella raccolta ed analisi sistematica di dati relativi a: misure di concentrazione di radon effettuate nelle diverse tipologie di edifici (incluso dati sulle tecniche ed i protocolli di misura utilizzati), caratteristiche degli edifici misurati (incluso eventuali azioni di rimedio), caratteristiche dei suoli.

Questi dati, una volta qualificati e organizzati in una banca dati nazionale (qui definita come *Archivio Nazionale Radon*), permettono in linea di principio di individuare le zone a maggiore presenza di radon ed altri indicatori che facilitino una individuazione più precisa degli edifici con alte concentrazioni di radon, sia all'interno che al di fuori delle aree a maggior rischio.

L'Archivio Nazionale Radon è uno strumento fondamentale per la valutazione ed il controllo dell'efficacia dei programmi per la riduzione del rischio radon, e permette inoltre di programmare e gestire al meglio eventuali cambiamenti normativi dei livelli di azione.

Date le caratteristiche e la finalità della banca dati delle misure di concentrazione di radon, nonché la valenza sanitaria del problema radon nel suo complesso, la realizzazione e gestione dell'Archivio Nazionale Radon deve essere affidata all'Istituto Superiore di Sanità, in collaborazione con gli altri enti e strutture nazionali e territoriali coinvolti nel problema.

Per le misure già effettuate, va organizzata la raccolta e l'analisi complessiva dei dati, possibilmente aggiungendo dati accessori non già disponibili, ad esempio la posizione georeferenziata dei punti di misura.

Per le indagini future, è necessario sviluppare un questionario standardizzato, per facilitare ed ottimizzare l'analisi dei dati (cfr. capitolo 3).

Bibliografia

- Bochicchio F, Campos Venuti G, Nuccetelli C, Piermattei S, Risica S, Tommasino L, Torri G. *Results of the representative Italian national survey on radon indoors*. Health Phys. 71(5): 743–750; 1996.
- Bochicchio F, Campos Venuti G, Nuccetelli C, Piermattei S, Risica S, Tommasino L, Torri G. *Results of the National Survey on radon indoors in all the 21 Italian Regions*. Proc. workshop “Radon in the Living Environment”, Athens 19-23 April 1999: 997–1006; 1999a.
- Bochicchio F, Bucci S, Bonomi M, Cherubini G, Giovani C, Magnoni M, Minach L, Sabatini P. *Areas with high radon levels in Italy*. Proc. workshop “Radon in the Living Environment”, Athens 19-23 April 1999: 985–996; 1999b.
- Damkjær A, Andersen CE, Majborn B, Ulbak K, Gravesen P. *A search profile for dwellings with elevated radon levels*. Environ. Int. 22(Suppl.1): S783–S788; 1996.
- Friis L, Carter N, Nordman O, Simeonidis A, Järdö S. *Validation of a geologically based radon risk map: are the indoor radon concentrations higher in high-risk areas?* Health Phys. 77(5): 541–544; 1999.
- Friedmann H, Zimprich P, Atzmüller C, Hofmann W, Lettner H, Steinhäusler F, Hamernik E, Maringer F.J, Mossbauer L, Kaineder H, Nadschläger E, Sperker S, Karacson P, Karg V, Kralik C, Pock K, Schönhofer F, Breitenhuber L, Kindl P, Oberlercher G, Seiberl W, Stadtmann H, Steger F, Tschurlovits M. *The Austrian Radon Project*. Environ. Int. 22(Suppl.1): S677–S686; 1996.
- Gaidolfi L, Malisan MR, Bucci S, Cappai M, Bonomi M, Verdi L, Bochicchio F. *Radon measurements in kindergardens and schools of six Italian regions*. Radiat. Prot. Dosim. 78(1): 73–76; 1998.
- Kemski J, Klingel R, Siehl A. *Classification and mapping of radon-affected areas in Germany*. Environ. Int. 22(Suppl.1): S789–S798; 1996.
- Miles J. *Development of maps of radon-prone areas using radon measurements in houses*. J. of Hazardous Materials 61(1–3): 53–58; 1998.
- Miles J. *Identifying high radon areas*. Env. Radon Newsletter 23: 3; 2000.
- Nezmal Martin, Nezmal Matej, Smarda, J. *Assessment of radon potential of soils: a five-year experience*. Environ. Int. 22(Suppl.1): S819–S828; 1996.
- Varley NR, Flowers AG. *Indoor radon prediction from soil gas measurements*. Health Phys. 74(6): 714–718; 1998.

Capitolo 3

Sorgenti di radon ed altri fattori che influiscono sui livelli di concentrazione di radon negli edifici

3.1 – Introduzione al problema

Una adeguata conoscenza delle sorgenti di provenienza del radon presente nell'aria interna degli edifici e dei vari fattori (caratteristiche degli edifici, degli impianti, delle abitudini degli occupanti, ecc.) che influenzano i livelli di concentrazione di radon è molto importante per la riduzione del rischio radon in Italia, scopo del PNR, per i seguenti motivi:

- può aiutare l'individuazione degli edifici in cui la concentrazione è "alta", in particolare dove il valore supera i *livelli di azione* (sia quelli fissati dalle normative attuali e che quelli che verranno fissati da eventuali altre norme in materia), sopra i quali la normativa impone (come il D.L.vo 241/00 sul radon nei luoghi di lavoro) o raccomanda (come nel caso della normativa proposta per le abitazioni in questo PNR) di intervenire per ridurre la concentrazione di radon;
- permette di ottimizzare l'applicazione del D.L.vo 241/00 per quel che riguarda la definizione dei luoghi di lavoro in cui è obbligatoria la misura della concentrazione di radon: infatti il decreto prevede (cfr. capitolo 7 sulla normativa) che la verifica della concentrazione di radon debba essere eseguita in tutti i luoghi di lavoro situati in determinate zone e/o aventi determinate caratteristiche degli edifici tali che vi sia un'elevata probabilità di alte concentrazioni di radon;
- può dare importanti indicazioni su quali fattori intervenire per poter ridurre la concentrazione di radon negli edifici, sia per quelli già costruiti (in questo caso si parla di *azioni di rimedio*) che in quelli da costruire (in questo caso si parla di *azioni preventive*).

In generale, le principali sorgenti di provenienza del radon sono il suolo ed i materiali da costruzione (cfr. Appendice 1), e saranno queste le sorgenti trattate in questo capitolo. In alcuni casi anche l'acqua può dare un contributo significativo alla concentrazione di radon nell'aria

interna agli edifici, ma tali situazioni non sono frequenti in Italia.

Dato che in Italia, rispetto ad altri Paesi, i materiali da costruzione hanno un rilievo maggiore, soprattutto in alcune Regioni, ad essi verrà dedicato uno spazio particolare in questo capitolo.

3.1.1 – Suolo

Il suolo è generalmente la sorgente principale del radon presente nell'aria interna degli edifici. In particolare esso è responsabile dei valori molto elevati (da parecchie centinaia a diverse migliaia di Bq/m³) di concentrazione di radon. Anche per questo motivo la quasi totalità dei sistemi per ridurre la concentrazione di radon è indirizzata a ridurre l'ingresso del radon proveniente dal suolo (cfr. capitolo 5).

3.1.2 – Materiali da costruzione

Il ruolo dei materiali da costruzione come sorgente di radon indoors è generalmente poco importante rispetto a quello del suolo. Nell'ultimo rapporto UNSCEAR (UNSCEAR 2000) il contributo dei materiali da costruzione al valor medio mondiale della concentrazione di radon nelle abitazioni (=40 Bq/m³) viene infatti stimato intorno al 15–20 %, corrispondenti a circa 10–15 Bq/m³, contro quello relativo al suolo, stimato tra il 40 e il 70 %. Queste stime sono state ottenute con modelli matematici, e nell'ipotesi fondamentale che il contenuto di radioattività dei materiali (in particolare la concentrazione di U-238 e Th-232 e dei relativi prodotti di decadimento) sia allineato ai valori medi mondiali (circa 50 Bq/kg).

Esistono però delle situazioni che si discostano significativamente da questi valori. Materiali da costruzione di origine naturale ricavati da suoli particolarmente ricchi di U-238 e di Th-232 possono avere concentrazioni di attività anche 10–20 volte superiori a quelle medie riportate dall'UNSCEAR. In Svezia, per esempio, fin dagli anni '50 fu rilevato che il calcestruzzo con elevata percentuale di scisto di allume presentava un'alta concentrazione di Ra-226 (radionuclide facente parte della serie di radionuclidi che ha come capostipite l'U-238 ed il cui primo prodotto di decadimento è il Rn-222, l'isotopo più diffuso del radon) producendo un rilevante contributo alla concentrazione di Rn-222 (fino a circa 400 Bq/m³) (Nazaroff e Nero 1988). In seguito, anche in altri Paesi vennero individuati materiali di origine naturale ad elevato contenuto di radioattività come certi graniti e, in particolare, il tufo dell'Italia centro-meridionale (Risica et al. 1999).

Tra i materiali ad elevata concentrazione di attività, oltre ai materiali di origine naturale esistono anche materiali composti con prodotti di risulta di lavorazioni industriali come il gesso, sottoprodotto dell'industria dei fosfati, e le ceneri di carbone, sottoprodotto delle centrali elettriche a combustibile solido. Questi materiali possono presentare concentrazioni di radioattività molto elevate e possono rendere il materiale da costruzione un'importante sorgente di radon.

Nella logica dell'attuazione di azioni di rimedio che riducano la concentrazione di radon indoors, i materiali da costruzioni sono, per gli usi futuri, sorgenti più facilmente controllabili di quanto possa essere il suolo. Infatti, in via preventiva, si può misurare il contenuto di radioattività e, in casi particolarmente rilevanti, bandirne l'uso, come è stato fatto in Svezia (Nazaroff e Nero 1988) per il calcestruzzo con scisto di allume. Di ben più difficile soluzione sono sia l'individuazione che, eventualmente, l'eliminazione o la riduzione dell'emissione di radon da parte di materiali già messi in opera come elementi strutturali di edifici già esistenti (per es. palazzine costruite in tufo).

Per quanto riguarda la rivelazione e la stima del ruolo dei materiali da costruzione come sorgente di radioattività, è possibile sfruttare il fatto che l'elevata concentrazione di Ra-226 determina non solo la produzione di radon ma anche di radiazione gamma, che può essere misurata in modo piuttosto semplice e che può essere considerata come un indicatore, sia pur grossolano, della concentrazione di radon. Il binomio "alta concentrazione di radon – elevato rateo di dose gamma" non è sempre verificato, perché il contenuto di Ra-226 non è il solo fattore che caratterizza un materiale come sorgente di Rn-222. Infatti, la capacità del gas di uscire dalle pareti, suolo o pavimento dipende anche dalle proprietà di trasporto nel mezzo, cioè dalla porosità del materiale, dalla densità e dallo spessore. Queste caratteristiche, insieme alla concentrazione di Ra-226, rendono un materiale un "significativo emettitore" o meno di radon. Per esempio, il cemento con ceneri volatili ha una concentrazione di attività di Ra-226 che può arrivare a 300 Bq/kg: quello che viene riscontrato è che il rateo di dose gamma è elevato, ma la concentrazione di radon determinata dal materiale, talvolta, è molto inferiore a quella che ci aspetterebbe per le stesse concentrazioni in altri materiali di elevata porosità (per esempio il tufo) (Capra et al. 1994). Le misure di esalazione di Rn-222, più complesse delle misure del contenuto di Ra-226, sono in grado di evidenziare le differenti emissioni di radon di materiali aventi lo stesso contenuto di radio ma diversa porosità.

I materiali di origine naturale riflettono la variabilità geologica dei siti di produzione e quindi sono riscontrabili grandi differenze nell'impatto che possono avere sulla concentrazione di radon tra diverse regioni e, ancor di più, tra diversi Paesi. Nella tabella 3.1 sono riportate per confronto le concentrazioni di attività in materiali simili misurate in diversi Paesi; i dati sono stati tratti da lavori di letteratura e sono interessanti perché, pur non essendo valori medi o intervalli rappresentativi a livello nazionale, danno un'idea della variabilità presente tra materiali che si penserebbe equivalenti.

Tabella 3.1. Concentrazioni di attività (Bq/kg) di alcuni materiali in vari Paesi

Paese	Ra-226	Th-232	K-40	Materiale	Bibliografia
Australia	52	48	115	cemento Portland	Beretka 1985
Austria	11–50	10–26	90–290	cemento	Sorantin 1984
Brasile	71	26	468	cemento	Venturini 1997
Canada	5–45	11–73	320–800	calcestruzzo	Zikovsky 1992
Finlandia	7–146	10–229	400–1900	calcestruzzo	Mustonen 1991
Giamaica	59	10	122	cemento	Pinnock 1991
Hong Kong	36	20	205	cemento	Tso 1994
Norvegia	14–37	21–54	350–880	calcestruzzo	Stranden 1979
USA	52	63	950	calcestruzzo	Kahn 1983

3.1.3 – Altri fattori che influiscono sui livelli di concentrazione di radon negli edifici

In vari Paesi (ad es. Austria, Gran Bretagna, Germania) sono stati effettuati studi per identificare, a parte le sorgenti, i fattori che maggiormente determinano o comunque favoriscono il prodursi di elevate concentrazioni di radon nell'aria interna degli edifici (Gunby et al. 1993, Gerken et al. 2000). In qualche caso (ad es. in Austria) i risultati di tali studi vengono utilizzati per contribuire a definire, insieme alle caratteristiche del suolo, il *potenziale radon* di una certa area.

3.2 – La situazione in Italia

3.2.1 – Suolo

Il progetto PERS

L'ANPA ha promosso, in collaborazione con l'Università Cattolica del Sacro Cuore di Roma, e con il contributo esterno dell'ARPA Veneto e dell'APPA Bolzano, un progetto finalizzato alla realizzazione di un "sistema informativo territoriale per la valutazione del Potenziale di Emanazione di Radon dal Suolo (PERS)", che permetta sulla base della conoscenza del territorio l'individuazione di aree a diverso potenziale di emanazione di radon (Orlando et al. 2000). Tale progetto potrà contribuire all'individuazione delle aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon, richiesta alle Regioni dal Decreto Legislativo n. 241 del 26 maggio 2000.

Il PERS rappresenta un criterio qualitativo di classificazione del territorio in funzione della possibile emanazione di radon dal suolo; il calcolo viene effettuato basandosi sull'elaborazione dei parametri geologici ritenuti significativi che caratterizzano il territorio.

Obiettivo del progetto di ricerca è quindi la messa a punto di un metodo per la valutazione delle aree a maggiore probabilità di presenza di alte concentrazioni di radon nel suolo, sulla base delle caratteristiche geologiche del territorio. Il metodo è diretto alla elaborazione di un Sistema Informativo Territoriale (SIT) che possa gestire una complessa serie di dati e informazioni, sulla natura e sulla struttura del territorio in esame, allo scopo di pervenire, attraverso un algoritmo, al calcolo del PERS.

Il SIT gestisce l'insieme dei parametri geologici ritenuti significativi per la valutazione della emanazione di radon dal suolo. Il software prevede l'immissione dei dati relativi ai parametri considerati in una banca dati dedicata, e l'elaborazione di questi dati mediante un algoritmo per il calcolo del PERS. Il SIT consente di inserire i dati relativi a misure di radon di diversa tipologia e di rilevarne tutte le correlazioni con i parametri geologici e con il PERS, allo scopo di utilizzare i dati per una mappatura del territorio.

Lo studio è stato suddiviso in varie fasi.

- 1) In una prima fase è avvenuta la definizione dei parametri geologici influenzanti la presenza di radon nel suolo che, stante la complessità geologica del territorio italiano, sono numerosi. Per mettere a punto la metodologia sono state selezionate alcune aree campione nella regione Veneto e in provincia di Bolzano in cui sono state eseguite sia analisi di terreno e di laboratorio sia la ricognizione dei parametri geologici utilizzando una scala 1:250000.
- 2) E' stato definito il SIT, creata la banca dati geologica del sistema e definito un primo algoritmo del PERS che fornisce una suddivisione in classi del territorio.
- 3) La metodologia sviluppata nel definire il PERS è stata validata utilizzando misure di concentrazione di radon nell'aria del terreno e di esalazione dal terreno nelle aree campione, a cura dell'ARPA Veneto e dell'APPA Bolzano.
- 4) Si è proceduto quindi al confronto tra il PERS e i dati a disposizione riguardanti le concentrazioni di radon indoor e nelle acque, sempre per quanto riguarda le aree selezionate, ottenendo risultati significativi (Bertolo e Verdi, 2001).

Il PERS, in particolare nelle aree in cui vi sia a disposizione la conoscenza dei parametri geologici, può risultare un utile strumento per l'individuazione delle radon prone areas sia nelle zone in cui sono disponibili misure che in quelle dove non sono state ancora effettuate misure indoor o in zone non attualmente edificate, essendo anche integrabile con le misure disponibili sul territorio (purché georeferenziate).

3.2.2 – Materiali da costruzione

La situazione italiana è caratterizzata da un uso limitato di materiali artificiali (per es. ceneri di carbone in alcuni cementi e calcestruzzi) e da un generale utilizzo di materiali a medio-bassa

concentrazione di attività. Nell'Italia centro-meridionale è però riscontrabile un largo impiego di materiali naturali ad alta attività quali tufo e pozzolana, sorgenti rilevanti anche di dose gamma e di toron (Rn-220) (Campos Venuti et al. 1984, Nuccetelli e Bochicchio 1998, Nuccetelli e Bolzan 2001).

Tabella 3.2. Riepilogo dei dati pubblicati (1082 campioni) sulla concentrazione di attività di diversi materiali da costruzione usati in Italia (tratto da Risica et al. 1999)

materiale da costruzione	campioni misurati	$C_{\text{Ra-226}}$ (Bq / kg)		$C_{\text{Th-232}}$ (Bq / kg)		$C_{\text{K-40}}$ (Bq / kg)	
		media	min-max	media	min-max	media	min-max
tufo	46	209	136–316	349	99–542	1861	1245–2335
pozzolana	31	164	33–352	229	53–481	1341	374–2000
lava	7	473	79–709	230	36–750	1781	426–2350
ceneri di carbone	302	160	130–170	130	100–150	420	330–470
cemento	185	42	7–98	66	9–240	369	80–846
basalto	4	308	113–498	466	175–733	2178	1973–2354
sienite	10	317	239–384	234	173–342	1255	1181–1390
peperino	18	159	109–256	171	152–231	1422	1312–1790
calcestruzzo	23	22	21–23	16	16	237	253–290
laterizi	185	29	0–67	26	3–51	711	198–1169
argilla	8	37	29–45	40	31–49	550	412–687
piastrelle	25	43	31–55	36	18–56	689	474–1026
sabbia	43	18	0–24	22	6–27	530	379–750
ghiaia	11	15	11–21	14	13–16	157	100–248
gesso	15	8	0–16	3	1–8	160	59–277
calce	18	9	7–15	6	2–8	265	77–312
pietra	13	24	1–31	37	2–96	645	11–1285
travertino	15	1	0–2	0	0–1	4	1–18
marmo	26	4	1–13	1	0–3	8	0–30
granito	43	89	24–378	94	36–358	1126	738–1560
gneiss	9	87	30–166	71	12–114	1040	496–1480
beole	12	63	34–102	48	14–84	1432	1199–1891
serizzo	16	31	11–42	42	12–54	782	440–1014
porfido	8	41	25–51	59	45–73	1388	1164–1633
calcare	2	12	12	1	1	5	5
ceppo	4	59	46–64	12	1–47	238	3–942
tracheite	3	36	36	52	51–54	1154	1154

Applicando al tufo (materiale largamente impiegato in edilizia in Umbria, Lazio e Campania) i modelli esistenti in letteratura per la stima del contributo dei materiali da costruzione alla concentrazione di radon ed alla dose gamma (Markkanen 1995), e scegliendo per i calcoli valori medi di concentrazione di attività (cfr. tabella 3.2) si possono ottenere, in un ambiente chiuso, concentrazioni di attività di radon di circa 200 Bq/m³ di Rn-222 e ratei di dose gamma in aria tra i

300 e i 400 nGy/h, a seconda delle dimensioni della stanza utilizzate nel modello. Questi valori sono in buon accordo con i risultati dell'*Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni italiane* (Bochicchio 1996a,b).

Infine va sottolineato che in Italia mancano comunque dati sistematici sulle concentrazioni di radioattività e sulle quote d'uso dei diversi materiali da costruzione utilizzati, indispensabili per fare valutazioni precise del loro contributo all'esposizione a radon (ed alla radiazione gamma) della popolazione.

3.3 – Obiettivi ed azioni

Obiettivi

L'obiettivo del PNR in questo settore consiste nel raccogliere in tutte le Regioni italiane i dati necessari per una caratterizzazione delle principali sorgenti di radon e degli altri fattori (edilizi e non) che favoriscono il determinarsi di elevate concentrazioni di radon negli edifici.

Azioni

Le azioni previste dal PNR sono molteplici e vengono suddivise, in analogia ai paragrafi 3.1 e 3.2, tra azioni relative al suolo, ai materiali da costruzione ed agli altri fattori.

Suolo

- 1) Completare in tutte le Regioni italiane la caratterizzazione del suolo per quel che riguarda il suo potenziale di esalazione del radon, possibilmente tramite il progetto PERS.

Materiali da costruzione

- 2) Promozione di campagne sistematiche di misura sul contenuto di radioattività dei materiali usati in Italia.
- 3) Raccolta sistematica di dati sull'entità e le modalità del loro uso, da organizzarsi in un database nazionale.

Altri fattori che influiscono sui livelli di concentrazione di radon negli edifici

- 4) Analizzare complessivamente i dati di concentrazione di radon e le corrispondenti caratteristiche degli edifici per tutte le diverse indagini finora effettuate, al fine di ricavare

prime indicazioni sui principali fattori, sia legati alle caratteristiche degli edifici che alle modalità abitative, che influenzano il livello della concentrazione di radon.

- 5) Realizzare un questionario standardizzato relativo alle caratteristiche degli edifici oggetto di misura della concentrazione di radon, da adottarsi per tutte le misure future previste dalle varie normative.

Bibliografia

- Beretka J, Mathew J. *Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products*. Health Phys. 48(1): 87–95; 1985.
- Bertolo A, Verdi L. *Validation of a geographic information system for the evaluation of the soil rado exhalation potential in South-Tyrol and Veneto (Italy)*. Radiat. Prot. Dosim. 97(4): 321–324; 2001.
- Bochicchio F, Campos Venuti G, Nuccetelli C, Piermattei S, Risica S, Tommasino L, Torri G. *Results of the representative Italian national survey on radon indoors*. Health Phys. 71(5): 741–748; 1996a.
- Bochicchio F, Campos Venuti G, Monteventi F, Nuccetelli C, Piermattei S, Risica S, Tommasino L, Torri G. *Indoor exposure to gamma radiation in Italy*. Proc. IX International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA 9), Vienna 14–19 April 1996, Vol. 2, 190–192; 1996b.
- Campos Venuti G, Colilli S, Grisanti A, Grisanti G, Monteleone G, Risica S, Gobbi G, Leogrande MP, Antonini A, Borio R. *Indoor exposure in a region of central Italy*. Radiat. Prot. Dosim. 7(1–4): 271–274; 1984.
- European Commission. *Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials* (Radiation Protection 112). Office for Official Publications of the EC, 2000.
- Gerken M, Kreienbrock L, Wellmann J, Kreuzer M, Wichmann HE. *Models for retrospective quantification of indoor radon exposure in case-control studies*. Health Phys. 78(3): 268–278; 2000.
- Gunby JA, Darby SC, Miles JC, Green BM, Cox DR. *Factors affecting indoor radon concentrations in the United Kingdom*. Health Phys. 64(1): 2–12; 1993.
- Kahn B, Eichholz GG, Clarke FJ. *Search for building materials as sources of elevated radiation dose*. Health Phys. 45(2): 349–361; 1983.
- Markkanen M. *Radiation Dose Assessment for Materials with Elevated Natural Radioactivity*. Report STUK-STO 32, Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki, Finland, 1995.
- Mustonen R. *Radioactivity in and exhalation from building materials* Health Phys. 46(6): 1195–1203; 1991.
- Nazaroff WW, Nero AV. *Radon and its decay products in indoor air*. John Wiley and Sons. New York; 1988.
- Nuccetelli C, Bochicchio F. *The thoron issue: monitoring activities, measuring techniques and dose conversion factors*. Radiat. Prot. Dosim. 78 (1): 59–64; 1998.
- Nuccetelli C, Bolzan C. *In situ gamma spectroscopy to characterise building materials as radon and thoron sources*. Science of Total Env. 272(1–3): 355–360; 2001.

- Orlando P, Amici M, Altieri A, Massari P, Miccadei E, Onofri A, Orlando C, Paoelli C, Paron P, Perticaroli P, Piacentini T, Silvestri C, Belli M, Marchetti A, Petrocchi A, Rosamilia S, Serva L, Singh G, Tommasino L, Minach L, Verdi L, Bertolo A, Trotti F. *Il Sistema Informativo Territoriale per la valutazione del Potenziale di Esalazione di Radon dal Suolo*. Rapporto ANPA, serie Stato dell'Ambiente 9/2000.
- Pinnock WR. *Measurements of radioactivity in Jamaican building materials and γ dose equivalents in a prototype red mud house*. Health Phys. 61(5): 647–651; 1991.
- Risica S, Bolzan C, Nuccetelli C. *Radioactivity in building materials: experimental methods, calculations and an overview of the Italian situation*. In: Radon in the Living Environment, 19–23 April 1999, Athens, Greece.
- Sorantin H, Steger F. *Natural radioactivity of building materials in Austria*. Radiat. Prot. Dosim. 7:59–61; 1984.
- Stranden E. *Radioactivity of building materials and the gamma radiation in dwellings*. Phys. Med. Biol. 24(5): 921–30; 1979.
- Tso MY, Ng CY, Leung JK. *Radon release from building materials in Hong Kong*. Health Phys. 67(4): 378–384; 1994.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). *Sources and Effects of Ionizing Radiation. 1993 Report to the General Assembly, with Annexes*. United Nations, New York, 1993.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). *Sources and Effects of Ionizing Radiation. 2000 Report to the General Assembly, with Annexes*. United Nations, New York, 2000.
- Venturini L, Nisti MB. *Natural radioactivity of some Brazilian building materials* Radiat. Prot. Dosim. 71(3): 227–229; 1997.
- Zikovsky L, Kennedy G. *Radioactivity of building materials available in Canada*. Health Phys. 63: 449–452; 1992.

Capitolo 4

Come misurare la concentrazione di radon in aria

4.1 – Introduzione al problema

Si è visto nel capitolo 2 che la misura della concentrazione di radon nell'aria interna degli edifici (abitazioni, luoghi di lavoro, scuole) è il necessario strumento per quantificare la presenza di radon. Con queste misure è possibile valutare il rischio associato all'esposizione al radon (cfr. capitolo 1), verificare l'eventuale superamento dei livelli di azione (cfr. capitolo 7), valutare di conseguenza l'opportunità di adottare sistemi di risanamento ed infine verificarne l'efficacia (cfr. capitolo 5).

Per una valutazione più accurata del rischio sarebbe necessario misurare sia la concentrazione dei prodotti di decadimento del radon, sia la distribuzione della dimensione delle particelle di aerosol a cui i prodotti di decadimento del radon si aggregano, essendo queste due grandezze più direttamente collegate all'entità dell'irraggiamento del tessuto polmonare. Queste grandezze sono però molto più complesse da misurare, soprattutto per tempi lunghi, della concentrazione di radon, e vengono generalmente utilizzate per scopi di ricerca o in situazioni molto particolari (ad es. le miniere).

Nel seguito, ove non specificato, per misura della concentrazione di radon si intenderà quindi la misura del gas radon (Rn-222), la cui unità di misura nel Sistema Internazionale è il Bq/m³. In pochi Paesi (tra cui gli USA) viene ancora utilizzata anche la vecchia unità pCi/l, che corrisponde a 37 Bq/m³.

Le misure di concentrazione di radon in aria sono classificabili in base ad alcune caratteristiche, quali la durata ed il tipo di strumentazione utilizzata.

4.1.1 – Durata della misura

La concentrazione di radon non è costante ma varia nel tempo, con alcuni andamenti tipici:

generalmente essa è più alta di notte e più bassa di giorno, più alta in inverno e più bassa in estate. Di conseguenza la durata delle misure di radon dipende principalmente dal loro obiettivo:

- 1) misure di *lunga durata* (generalmente un anno) per valutare in modo accurato il valore medio ed il rischio associato all'esposizione continua al radon
- 2) misure di *media durata* (qualche mese) finalizzate a valutare in modo approssimato la concentrazione media di radon, eventualmente corrette per un fattore che tenga conto delle variazioni stagionali
- 3) misure quasi istantanee o comunque di *breve durata* (da pochi minuti a pochi giorni) finalizzate a:
 - valutare l'andamento temporale della concentrazione di radon, in particolare in relazione al periodo del giorno in cui i locali misurati sono frequentati (scuole, luoghi di lavoro particolari, ecc.)
 - effettuare uno *screening* per identificare, in un edificio, i locali a maggiore presenza di radon, e avere una indicazione rapida sulla presenza di elevati valori di radon.

4.1.2 – Tipo di strumentazione utilizzata

Un'altra caratteristica importante per definire le diverse misure di concentrazione di radon in aria è la strumentazione utilizzata, che può essere di tipo attivo o passivo:

- *strumentazione attiva*, provvista di alimentazione e caratterizzata da elevata sensibilità ed alto costo, con la quale è generalmente possibile seguire l'andamento temporale della concentrazione di radon, e comunque ottenere una misura in poche decine di minuti
- *strumentazione passiva*, consistente in rivelatori (spesso chiamati un po' impropriamente dosimetri) non alimentati e caratterizzati da bassa sensibilità e basso costo, con la quale è possibile eseguire misure di concentrazione di radon integrate su periodi tempo anche di molti mesi. I rivelatori vengono esposti nei locali da misurare e registrano il segnale sotto forma di tracce (per i rivelatori a tracce nucleari, quali LR-115 e CR-39) o di diminuzione di tensione (per gli elettretti). Il segnale viene poi letto, direttamente nel caso degli elettretti, o successivamente ad uno sviluppo chimico nel caso dei rivelatori a tracce. I dosimetri a tracce sono i più adatti per campagne di misura di grandi dimensioni, grazie al loro costo molto ridotto (tipicamente inferiore a 5 Euro), mentre gli elettretti sono caratterizzati soprattutto dalla semplicità operativa. Nel calcolo del costo complessivo di una misura va tenuto presente il costo e l'ammortamento della strumentazione usata per lo sviluppo e la lettura dei rivelatori ed il costo della mano d'opera necessaria. A questo va aggiunto, nel caso di misure effettuate da strutture private, il guadagno.

4.1.3 – Assicurazione di qualità

Le misure di concentrazione di radon in aria non hanno ancora il grado di standardizzazione tipico di altre misure di radiazioni ionizzanti, principalmente a causa della difficoltà di realizzare ed utilizzare sorgenti di calibrazione di radon, cioè atmosfere di radon calibrate. Per questo motivo sono stati realizzati periodici interconfronti a livello internazionale, che per i Paesi Europei sono svolti presso l'NRPB (National Radiological Protection Board) inglese. Questi interconfronti hanno messo in evidenza l'estrema importanza di una rigorosa e costante procedura di assicurazione di qualità, al fine di garantire una adeguata precisione ed accuratezza delle misure.

Diversi Paesi hanno definito delle regole o requisiti minimi per il riconoscimento di validità delle strutture che effettuano misure di concentrazione di radon, che includono, tra gli altri, la partecipazione periodica ad interconfronti (Miles e Howarth 2000).

4.2 – La situazione in Italia

In Italia sono state effettuate parecchie migliaia di misure di concentrazione di radon in aria, prevalentemente nelle abitazioni, ma in numero rilevante anche nelle scuole (cfr. capitolo 2). La gran parte delle misure effettuate nelle abitazioni sono state eseguite con il dosimetro passivo utilizzato per l'*Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni*, contenente due rilevatori a tracce del tipo LR-115 (Azimi et al. 1988, Bochicchio et al. 1996) oppure uno di tipo LR-115 ed uno di tipo CR-39.

La durata delle misure effettuate finora è stata generalmente di un anno, ottenuto con due semestri consecutivi, di cui uno che copre generalmente l'autunno e l'inverno e l'altro la primavera e l'estate, secondo il protocollo messo a punto per l'*Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni* (Bochicchio et al. 1996). Per alcune indagini, in particolare per diverse di quelle effettuate negli asili e nelle scuole e nelle abitazioni dell'Alto Adige, sono stati esposti dosimetri a tracce per una durata inferiore ad un anno. I dati a disposizione forniscono, con poche eccezioni, informazioni limitate sugli andamenti stagionali della concentrazione di radon e soprattutto sulla variabilità di tali andamenti. Di conseguenza, allo stato attuale, non è raccomandabile per stimare la concentrazione media annuale (richiesta ad esempio dal D.L.vo 241/00) effettuare misure di durata inferiore ad un anno, a meno di non associare ad esse un'incertezza rilevante.

Attualmente la gran parte delle strutture in grado di effettuare misure di concentrazione di radon in aria sono strutture pubbliche. In particolare, ogni regione ha un *Centro di Riferimento Regionale per il controllo della radioattività ambientale* (CRR), dotato di attrezzature per la misura sia della concentrazione media su periodi lunghi, tramite dosimetri passivi a tracce

(generalmente basati su rivelatori LR-115), sia dell'andamento temporale della concentrazione di radon, tramite strumenti attivi. La gran parte dei CRR, istituiti e attrezzati dal Ministero della Sanità negli anni '80, è attualmente transitata alle corrispondenti *Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale* (ARPA). Oltre ai CRR, altri istituti ed enti a carattere nazionale o più locale (soprattutto ANPA, ENEA, ISPESL, ISS, ed alcune Università) hanno una lunga esperienza di misure di concentrazione di radon, generalmente a scopi di ricerca.

A seguito dell'entrata in vigore del D.L.vo 241/00 è prevedibile che diverse strutture private si sviluppino e si affianchino a quelle pubbliche per effettuare le numerose misure di concentrazione di radon previste dalla citata normativa sui luoghi di lavoro.

Nel 2001, l'Istituto Nazionale di Metrologia per le Radiazioni Ionizzanti, che ha sede presso l'ENEA-Casaccia, ha iniziato un'attività di calibrazione di strumentazione attiva e passiva per la misura della concentrazione di radon in aria, rivolta a laboratori sia pubblici che privati. Tale attività si è però interrotta nel 2002 per carenza di personale.

4.3 – Obiettivi ed azioni

Obiettivi

L'obiettivo del PNR in materia di misura della concentrazione di radon è quello di garantire che in Italia vengano effettuate tutte le misure, richieste dalle norme attuali e da quelle proposte dal PNR stesso, con adeguata precisione ed accuratezza.

Azioni

- 1) Realizzazione di linee guida (sotto forma di guide tecniche) sulle tecniche di misura più idonee, in relazione agli scopi della misura.
- 2) Messa a punto, per i diversi tipi di misura, di protocolli di misura. La durata delle misure finalizzate a determinare il valore medio della concentrazione di radon deve comunque, ove possibile, essere di un anno. L'uso di misure di durata inferiore ad un anno "corrette" tramite un fattore di correzione stagionale comporta infatti un aumento dell'incertezza sulla stima della media annuale nella singola casa che può essere anche molto rilevante. Le misure di durata inferiore ad un anno andranno quindi usate solo in casi particolari, a meno che un adeguato numero di misure abbiano dimostrato che le variazioni stagionali siano abbastanza costanti per gli edifici di una determinata zona.

Va sottolineato che per quel che riguarda le misure di concentrazione di radon previste dal D.L.vo 241/00 per i luoghi di lavoro (cfr. capitolo 7), le modalità di effettuazione avrebbero

dovuto essere definite dalla commissione prevista dal decreto stesso entro 12 mesi dalla sua nomina. In attesa di tale definizione, è comunque urgente un intervento che definisca in modo transitorio tali modalità.

- 3) Definizione, sulla base dei dati disponibili e di altri da ottenere con misure appositamente progettate, dei fattori di correzione stagionale per le misure di durata inferiore ad un anno, e delle incertezze ad essi associati.
- 4) Potenziamento ed impegno dell'Istituto italiano di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti per la realizzazione, l'uso ed la distribuzione di atmosfere di riferimento di radon per la calibrazione di tutti i tipi di strumentazione e per la realizzazione di interconfronti periodici.
- 5) In via transitoria, definizione di un insieme di requisiti per la qualificazione ed il riconoscimento delle strutture (pubbliche e private) che effettuano le misure di concentrazione di radon, con relativo sistema di informazione per il pubblico delle strutture riconosciute (cfr. capitolo 6). La definizione di tali requisiti si rende necessaria e urgente in quanto da un lato il sistema ufficiale di riconoscimento, previsto dal D.L.vo 241/00 per le misure di concentrazione di radon nei luoghi di lavoro (cfr. capitolo 7), non è ancora operativo, dall'altro le scadenze previste dallo stesso D.L.vo impongono, a partire dai prossimi mesi, l'effettuazione di una notevole quantità di misure di concentrazione di radon. Tra i requisiti dovrà essere inclusa la partecipazione periodica, con risultati in termini di precisione ed accuratezza eguali o migliori ad un livello minimo da definire, ad interconfronti organizzati dall'Istituto italiano di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti o da istituti metrologici di altri Paesi dell'Unione Europea, o ad essi riferibili. Analoga definizione andrà fatta, sia pur con minore urgenza temporale, dei requisiti relativi alle strutture che effettuano azioni di rimedio (cfr. capitolo 5).

Bibliografia

- Arvela H. *Seasonal variation in radon concentration of 3000 dwellings with model comparison*. Radiat. Prot. Dosim. 59(1): 33–42; 1995.
- Azimi-Garakani D, Flores B, Piermattei S, Susanna AF, Seidel JL, Tommasino L, Torri G. *Radon gas sampler for indoor and soil measurements and its applications*. Radiat. Prot. Dosim. 24: 267–272; 1988.
- Bochicchio F, Campos Venuti G, Nuccetelli C, Piermattei S, Risica S, Tommasino L, Torri G. *Results of the representative Italian national survey on radon indoors*. Health Phys. 71(5): 743–750; 1996.
- Cliff KD, Miles JCH, Naismith SP. *False positive and false negative radon measurement results due to uncertainties in the seasonal correction factors*. Radiat. Prot. Dosim. 56(1–4): 291–292; 1994.
- Miles JCH, Howarth CB. *Validation scheme for laboratories making measurements of radon in dwellings: 2000 revision*. NRPB Report M1140; 2000.
- Miles JC. *Temporal variation of radon levels in houses and implications for radon measurement strategies*. Radiat. Prot. Dosim. 93(4): 369–76; 2001.
- Pinel J, Fearn T, Darby SC, Miles JCH. *Seasonal correction factors for indoor radon measurements in the United Kingdom*. Radiat. Prot. Dosim. 58(2): 127–132; 1995.
- Wilson DL, Gammage RB, Dudney CS, Saultz RJ. *Summertime elevation of ^{222}Rn levels in Huntsville, Alabama*. Health Phys. 60(2): 189–197; 1991.

Capitolo 5

Come ridurre e prevenire le concentrazioni elevate di radon negli edifici

5.1 – Introduzione al problema

Il problema di come ridurre e prevenire valori elevati di concentrazione di radon nell'aria interna degli edifici è di fondamentale importanza per il PNR che ha come obiettivo la riduzione dei rischi connessi all'esposizione al radon.

Infatti, la struttura di tutte le normative in materia, incluso quella in vigore in Italia sui luoghi di lavoro e quella proposta per le abitazioni (cfr. capitolo 7), consiste essenzialmente, per gli edifici esistenti, nel fissare dei livelli di concentrazione di radon (detti *livelli di azione*) sopra i quali sono raccomandati o imposti interventi volti a ridurre la concentrazione di radon, e, per gli edifici da costruire, nel predisporre norme tecniche di costruzione che riducano la probabilità che si verifichino elevate concentrazioni di radon nell'edificio costruito. E' quindi evidente che la disponibilità di adeguate tecniche per azioni di rimedio o di prevenzione è una condizione necessaria per poter emanare norme in materia. Anzi l'esperienza di altri Paesi insegna che il progredire delle tecniche ha permesso alle normative di evolversi verso livelli di azione più bassi e quindi più protettivi.

Inoltre si può affermare che la mancanza di un'adeguata informazione sulle azioni di rimedio e formazione di strutture in grado di realizzarle è stata probabilmente una delle cause principali del ritardo con cui in Italia si sta affrontando il problema, rispetto ad altri Paesi.

Una prima considerazione da fare è che non è possibile risolvere il problema eliminando del tutto la presenza di radon negli edifici, a differenza di quanto avviene per altri inquinanti (ad esempio l'amianto). Infatti il radon, come si è visto più in dettaglio nel capitolo 3, viene continuamente prodotto dal suolo e dai materiali da costruzione, pertanto non può essere eliminato completamente. Tuttavia è possibile intervenire per ridurre la concentrazione di radon nell'aria interna degli edifici, soprattutto quando questa raggiunge valori elevati, riducendo di conseguenza il rischio.

Non esiste un unico metodo per la riduzione della concentrazione di radon. Da un punto di vista generale possono essere individuate tre categorie di intervento:

- 1) interventi in edifici esistenti in cui vi sia un'elevata concentrazione di radon, dove è quindi raccomandabile un intervento ad hoc per ridurre la concentrazione di radon (*azioni di rimedio ad-hoc*);
- 2) interventi in edifici esistenti in cui, per altri motivi, sono previste ristrutturazioni che, integrate da appropriati accorgimenti, possono produrre anche una riduzione della concentrazione di radon (*azioni di rimedio in fase di ristrutturazione*);
- 3) interventi in fase di progettazione di edifici nuovi, tramite l'adozione di particolari accorgimenti che possono prevenire l'ingresso o comunque il prodursi di alte concentrazioni di radon nella futura costruzione (*azioni di prevenzione*).

Nell'ordine in cui sono stati elencati, gli interventi presentano via via maggiore efficacia e probabilità di successo e richiedono costi generalmente decrescenti. Ad esempio, gli interventi in fase di progettazione hanno generalmente una notevole efficacia ed un impatto trascurabile sui costi complessivi. Le azioni di rimedio in fase di ristrutturazione hanno costi aggiuntivi ridotti rispetto alle azioni di rimedio ad-hoc, in quanto possono essere inserite negli interventi già previsti o sono piccole modifiche di interventi pianificati.

Dal punto di vista delle tipologie edilizie, si possono individuare tre categorie di edifici che, come si vedrà in seguito e nell'appendice 2, si differenziano per quel che riguarda il problema radon:

- edifici residenziali di piccole dimensioni (case mono- o pluri-familiari fino a tre piani)
- edifici residenziali di grandi dimensioni (tipicamente palazzine con più di tre piani)
- edifici non residenziali (destinati ad ambienti di lavoro).

La scelta di una particolare azione di rimedio o di prevenzione da applicare ad un edificio dipende dalla valutazione di molti parametri tra i quali i principali sono:

- concentrazione di radon esistente o prevista
- sorgente di radon (suolo, materiale da costruzione, acqua, ecc.)
- tipo di edificio (residenziale, non residenziale, ecc.)
- caratteristiche dell'edificio (età, eventuali vincoli architettonici, ecc.)
- tipo di intervento (azione di rimedio ad hoc, azione di rimedio in fase di ristrutturazione, azione di prevenzione) e applicabilità all'edificio
- impatto sulle abitudini di vita o sul comfort
- costo dell'installazione e di mantenimento
- interazione con altri inquinanti indoor

- interazione coi regolamenti edilizi
- interazione con norme di sicurezza (es. norme antincendio nei luoghi di lavoro).

Va evidenziato che le problematiche delle azioni di rimedio e di prevenzione sono molto diverse a seconda della provenienza del radon. Infatti nel caso, più diffuso, in cui sia il suolo la principale sorgente le azioni di rimedio e di prevenzione sono, generalmente, facilmente fattibili e producono buoni risultati. Se invece la sorgente principale sono i materiali da costruzione le azioni di rimedio sono molto più difficili (ed anzi nessuna tecnica si è finora dimostrata affidabile), mentre le azioni preventive sono in linea di principio semplicissime, in quanto si può facilmente evitare di usare i materiali a maggiore emissione di radon. Il problema specifico dei materiali da costruzione è trattato più in dettaglio nel capitolo 3.

Un'attenzione particolare deve essere posta all'interazione tra le azioni di rimedio rivolte al radon e gli altri inquinanti indoor. Per esempio nella selezione di un metodo potrebbe essere più corretto scegliere una tecnica che riduca la concentrazione di radon in modo lievemente meno efficace rispetto ad un'altra, ma che abbia un effetto notevolmente migliore sulla qualità generale dell'aria indoor. Tale criterio deve essere tenuto in considerazione, ad esempio, nella definizione del metodo in caso di interventi nelle scuole.

Nella scelta degli interventi preventivi da adottare, è importante tenere presente anche la classificazione dell'area e delle caratteristiche strutturali dell'edificio in termini di "rischio radon" (cfr. capitoli 2 e 3), ossia di probabilità che si possa determinare un'elevata concentrazione di radon nell'aria interna dell'edificio: infatti per edifici situati in zone ad elevato "rischio radon" e/o con caratteristiche strutturali particolarmente favorevoli all'accumulo di radon si potranno prevedere accorgimenti preventivi più incisivi.

La descrizione dei principi delle azioni di rimedio e di prevenzione più diffuse è riportata in appendice 2. Come si vedrà anche nel prossimo paragrafo, la gran parte dell'esperienza, maturata nei diversi Paesi, sulle azioni di rimedio e di prevenzione è relativa agli edifici residenziali di piccole dimensioni e per i quali la principale sorgente di provenienza del radon è il suolo.

5.1.1 – La situazione negli altri Paesi

Il problema del risanamento degli edifici dal radon è stato affrontato da molti Paesi, tra i quali gli Stati Uniti (Henschel 1988, 1994), il Regno Unito (Woolliscroft 1992, Scivyer e Woolliscroft 1997), la Svezia (Clavensjo e Åkerblom 1994) e, più di recente, la Svizzera sono quelli che hanno effettuato maggiori esperienze e prodotto più vasta documentazione. Sono ormai stati eseguiti diverse centinaia di migliaia di interventi, e altrettanti sono gli edifici costruiti adottando tecniche per la prevenzione dell'ingresso del radon. Ad esempio, nel 1990 il 12% delle nuove abitazioni in USA sono state costruite con sistemi anti-radon (Murane 1994).

Va però evidenziato che la maggior parte degli interventi è stata effettuata su **edifici residenziali di piccole dimensioni** ove la principale sorgente di radon era costituita dal suolo sottostante l'edificio. Tali interventi sono stati eseguiti su edifici costruiti con tecniche e materiali che sono in alcuni casi (o generalmente) diversi da quelli più diffusi in Italia. Dall'analisi dei risultati di tale lavoro sono innanzi tutto stati definiti i principi operativi sui quali si basano le azioni di rimedio e di prevenzione. Si nota inoltre che, per quanto riguarda le tecniche, tutti i Paesi sono arrivati a definire una serie di interventi molto simili tra loro. Ciò che può essere diverso è la scelta di un sistema piuttosto che di un altro, in quanto tale scelta dipende dalla valutazione dei parametri elencati in precedenza, i quali, ad esempio la tipologia edilizia e le abitudini di vita, possono essere diversi da Paese a Paese, e spesso anche all'interno di uno stesso Paese.

Dal punto di vista generale, tutti questi Paesi hanno affrontato il problema delle azioni di rimedio fornendo inizialmente supporto alle istituzioni pubbliche incaricate della ricerca. Queste hanno eseguito direttamente (o seguito) moltissimi interventi dai quali hanno acquisito l'esperienza necessaria che ha consentito di individuare una serie di azioni di rimedio e di prevenzione e di sviluppare delle guide tecniche di diverso taglio, dalle più semplici alle più approfondite destinate ai vari soggetti: pubblico, amministrazioni, servizi di misura, imprese.

Particolare attenzione è stata posta alla progettazione e costruzione di edifici che riducano l'ingresso e la presenza di radon al loro interno (BRE 1999, US-EPA 2001), in quanto l'implementazione di azioni preventive in fase di costruzione offre maggiori garanzie di successo.

I costi per l'applicazione delle azioni di rimedio, per queste tipologie residenziali, variano da meno di 500 Euro per i casi molto semplici, da 500 a 2500 Euro per quei sistemi che richiedono interventi più efficaci e che sono stati più largamente applicati, fino a oltre 2500 Euro per i casi più complessi (Henschel 1994). Nel caso di nuovi edifici i costi sono, in media, notevolmente ridotti e dell'ordine di poche centinaia di Euro per una casa di circa 100 m².

Ai costi di intervento vanno aggiunti quelli di gestione e manutenzione, dell'ordine di poche centinaia di Euro all'anno.

Per quanto riguarda **grandi edifici residenziali** ed **edifici non residenziali** sono state fatte minori esperienze, e molte delle azioni di rimedio sono legate al controllo degli impianti di ventilazione, molto più diffusi nei Paesi citati che in Italia (Venezia 1997). Grande attenzione invece è stata rivolta agli edifici scolastici, sia per la particolarità degli occupanti, che per il fatto che molte scuole sono costruite a diretto contatto con il suolo e quindi, in molti casi, presentano problematiche simili agli edifici residenziali al piano terra (Ligman e Fisher 1994).

In relazione ai costi per questo tipo di edifici, il quadro è di difficile interpretazione in quanto i volumi e la disposizione dei piani e delle superfici sono molto variabili. Anche in questo caso, durante la costruzione di un grande edificio l'installazione di misure di prevenzione ha un impatto economico minore rispetto ad un edificio già costruito. In un ospedale di 5400 m² è stato

aggiunto, durante la costruzione, un sistema di depressurizzazione del suolo con un costo addizionale di circa 6000 Euro pari a circa 1 Euro per m² (Craig 1994).

Ancora poca esperienza è stata fatta per ambienti di lavoro sotterranei, mentre in Italia il Decreto Legislativo n.241/00 di attuazione della direttiva 29/96 prevede che i primi interventi siano eseguiti proprio in questi ambienti (cfr. capitolo 7). E' comunque prevedibile che in tali ambienti si debba ricorrere prevalentemente ad una adeguata ventilazione forzata.

Un notevole attenzione è stata dedicata alla produzione di linee guida e guide tecniche per le azioni di risanamento rivolte sia alla popolazione (US-EPA 1992, 1994, UK-DOE 1995), sia al personale tecnico (US-EPA 1993, 1996) ed anche per le nuove costruzioni (US-EPA 2001).

5.2 – La situazione in Italia

In Italia non esiste un programma nazionale per quanto riguarda lo studio e l'applicazione delle azioni di rimedio. In assenza di una normativa sul radon, sono stati comunque effettuati alcuni interventi da parte di enti pubblici, basati sulle esperienze di altri Paesi, generalmente con finalità di studio.

Le esperienze fatte, riportate sinteticamente qui di seguito, si riferiscono generalmente ad edifici di piccole dimensioni, per i quali il suolo costituiva la principale sorgente di radon, e le tecniche di riduzione sono state scelte considerando situazioni simili in campo internazionale. Esse si basano sulla riduzione dell'ingresso del radon dal suolo e sulla ventilazione dei locali.

Friuli-Venezia Giulia

Nel 1996, in due abitazioni sono stati realizzati dall'ANPA diversi interventi a scopo sperimentale, confrontando tre diverse azioni di rimedio applicate agli stessi edifici. In particolare sono state applicate tecniche di ventilazione del vespaio, depressurizzazione del vespaio e depressurizzazione del suolo (cfr. appendice 2), con le quali si è ottenuta una riduzione della concentrazione di radon fino a 20 volte, es. da circa 1500 Bq/m³ a 75 Bq/m³ (Torri e al. 1998). A seguito dei risultati ottenuti è stato possibile stabilire che con un costo di circa 250 Euro, o addirittura con il solo costo del ventilatore (circa 50 Euro), era possibile ridurre la concentrazione di radon a livelli assolutamente accettabili. Maggiori dettagli sono riportati in appendice 2, al par. A2.4.

Inoltre, nell'anno scolastico 2000–2001, sono stati realizzati, da parte dell'ARPA del Friuli-Venezia Giulia, alcuni interventi in due scuole.

Lazio

L'ANPA ha effettuato nel 1996 alcune prove sperimentali sull'efficacia di alcune azioni di rimedio in due case della provincia di Viterbo, costruite con tipologia "ville a schiera", con grandi vespai vuoti ed utilizzando tufo come materiale da costruzione. Sono state applicate azioni di depressurizzazione del suolo, depressurizzazione del vespaio e ventilazione del vespaio. Tali prove hanno consentito di mettere in luce la scarsa efficacia di queste tecniche, che pur hanno avuto ampio successo in moltissimi altri casi, e quindi la fondamentale importanza della tipologia degli edifici da risanare (Torri et al. 1998).

Provincia di Trento

Nella Provincia di Trento sono stati effettuati nel 1996 interventi in dieci scuole, in sette delle quali sono stati realizzati sistemi di ventilazione delle intercapedini (vespai e pareti a contatto con il suolo) ottenendo riduzioni della concentrazione di radon che vanno da 2 a 15 volte. In altre tre scuole si è agito con sistemi di ventilazione, o più precisamente adottando opportuni protocolli di ricambi di aria, che hanno portato ad una riduzione della concentrazione di radon da 1 a 8 volte.

Provincia di Bolzano

L'Agenzia Provinciale per la Protezione Ambientale di Bolzano ha eseguito numerosi interventi in diversi edifici (asili, scuole, biblioteche, abitazioni) aventi concentrazioni di radon da circa 1000 Bq/m³ a 12000 Bq/m³, sperimentando diversi metodi (isolamento, depressurizzazione del suolo, pressurizzazione dei locali, ventilazione forzata, ventilazione naturale della pavimentazione) ed ottenendo generalmente elevate riduzioni della concentrazione di radon e a bassi costi. Un rapporto dettagliato, con gli andamenti grafici delle concentrazioni di radon, le piantine delle case e le foto dei sistemi adottati è disponibile sul sito Internet www.provincia.bz.it/agenzia-ambiente/radon/index_i.htm. Di seguito si riportano alcuni esempi.

- In due case private dopo avere individuato l'unico punto d'ingresso del radon, questo è stato sigillato, passando da valori di alcune migliaia di Bq/m³ a valori inferiori a 200 Bq/m³. Costo inferiore a 50 Euro.
- In due case private (concentrazione fino a 10 000 Bq/m³) ed un asilo (concentrazione fino a 2 500 Bq/m³), con superfici che vanno da 100 a 400 m², sono stati realizzati sistemi di aspirazione/depressurizzazione dell'aria dal sottosuolo, praticando un singolo buco nel pavimento, riportando con un unico ventilatore i valori sotto i 400 Bq/m³. Costo della sola contromisura radon: da 150 a 750 Euro. Potenza dei ventilatori 24 – 80 Watt. A seconda del caso il ventilatore lavora in continuo o in maniera programmata.
- In un complesso edilizio è stata risanata una sala riunioni (100 m²) al piano interrato realizzando la pressurizzazione del locale. D'estate da circa 3 000 Bq/m³ si è passati a valori inferiori a 200 Bq/m³. Si stanno eseguendo le misure invernali dove la concentrazione raggiungeva i 12 000 Bq/m³. Costo inferiore a 250 Euro. Potenza del ventilatore 13 Watt. La pressurizzazione del locale si è dimostrata un metodo efficace, molto semplice da realizzare,

ma funziona solo se le persone seguono scrupolosamente le semplici indicazioni, p.es. chiudere sempre la porta d'ingresso alla sala.

- Nella biblioteca al piano terra di una scuola con valori medi invernali di $1\ 400\ \text{Bq/m}^3$ si è realizzata una ventilazione forzata che si attiva due volte al giorno (7:00–8:00 e 13:00–14:00) garantendo così valori inferiori a $400\ \text{Bq/m}^3$ durante le ore di utilizzo. Costo inferiore a 250 Euro. Potenza del ventilatore circa 50 Watt.

Alcune azioni preventive sono in corso:

- In due scuole, dove la pavimentazione del piano terra doveva in ogni caso essere rifatta e i valori di radon in alcune aule del piano terra erano compresi tra 400 e $1\ 000\ \text{Bq/m}^3$, sarà realizzata una pavimentazione adeguatamente sigillata e sotto di essa realizzato un sistema che permette il deflusso naturale del radon (tramite un tubo) verso il tetto. In confronto ai costi della ristrutturazione prevista, il costo aggiuntivo della sola contromisura radon è minimo.
- In due scuole ed una casa privata in fase di progetto, in una zona ad accertato rischio radon, sarà realizzata una pavimentazione adeguatamente sigillata e sotto di essa realizzato un sistema che permette il deflusso naturale del radon verso il tetto. Il costo aggiuntivo della sola contromisura radon è minimo. Se dovesse essere necessario, verrà aggiunto un sistema d'aspirazione, di potenza 13 – 50 Watt.

Toscana

L'ARPAT, in collaborazione con gli uffici tecnici dei Comuni interessati, ha realizzato nel periodo 2000–2001 azioni di rimedio in due edifici scolastici che risultavano avere una concentrazione media di radon superiore a $500\ \text{Bq/m}^3$. In una scuola è stata semplicemente consentita la ventilazione naturale di un vespaio già presente. Nella seconda scuola, invece, è stato installato una pompa sul tetto che aspira l'aria da pozzetti aperti sotto il pavimento. La valutazione dell'efficacia delle bonifiche è in corso, ma i risultati preliminari indicano una riduzione di circa il 30% nel primo caso, di circa il 50% nel secondo.

Alcune considerazioni sulla situazione in Italia

Il problema del radon sta interessando sempre di più anche quegli architetti che pongono attenzione al problema dell'inquinamento indoor e più in generale alla bioarchitettura. Tuttavia la scarsa o inadeguata informazione, la mancanza di linee guida o il ridotto approfondimento del problema, rischiano di produrre tendenze non corrispondenti a un'adeguata strategia di intervento. Ad esempio sono stati pubblicati capitolati speciali di appalto per la bio-edilizia in cui è stato definito, come livello di azione, un valore della concentrazione di radon pari a $75\ \text{Bq/m}^3$ che risulta irragionevolmente basso, probabilmente impraticabile (Masi 1999).

Per valutare l'impatto complessivo delle azioni di rimedio e di prevenzione previste dalle diverse ipotesi di normativa per la riduzione del rischio radon, occorre avere presente il quadro generale dell'attuale situazione del mercato nazionale delle costruzioni e delle tendenze per il futuro. In caso contrario si corre il rischio di disperdere energie e risorse prospettando soluzioni tecniche, operative, procedurali ed economiche non adeguate alla realtà e che il settore delle costruzioni non è in grado di recepire. A tale scopo, un breve riassunto degli aspetti strategici per l'orientamento delle azioni di rimedio applicate al patrimonio edilizio italiano presente e futuro è riportato in appendice 3.

In conclusione, si ribadisce che esistono delle differenze tra le situazioni dei diversi Paesi e la situazione italiana riguardo l'applicabilità delle azioni di rimedio e di prevenzione. Le esperienze internazionali devono essere attentamente esaminate prima di poter essere trasferite al patrimonio edilizio italiano. Tuttavia, come abbiamo detto, i principi operativi su cui si basano le azioni di rimedio e di prevenzione sono ormai stati determinati ed i tipi di intervento abbastanza ben codificati, in particolare per quel che riguarda gli edifici di piccole dimensioni. E' quindi possibile proporre, fin da ora, delle azioni per il raggiungimento di alcuni obiettivi normativi e tecnici, anche se differenziati per le diverse situazioni che analizzeremo nel seguito.

5.3 – Obiettivi ed azioni

Obiettivi

Si ritiene di dover separare gli obiettivi e le azioni in funzione del tipo di edificio e della destinazione d'uso. Per piccoli edifici destinati ad un uso residenziale, come si è visto, l'esperienza è tale da poter fin da subito stabilire un programma di intervento. Per edifici non residenziali o anche grandi edifici residenziali vi è la necessità di approfondire e verificare le poche esperienze fatte in altri Paesi.

Gli obiettivi del PNR per quel che riguarda gli interventi per ridurre e prevenire i valori elevati di concentrazione di radon sono essenzialmente due:

- applicazione e diffusione delle tecniche già disponibili e sperimentate che siano adattabili alla situazione edilizia italiana, il che riguarda principalmente gli edifici residenziali di piccole dimensioni;
- sviluppo di esperienze e tecniche per le situazioni specifiche italiane per le quali non vi siano già adeguate esperienze in altri Paesi, il che vale soprattutto per edifici residenziali di grandi dimensioni e per molti luoghi di lavoro.

Azioni

In relazione agli obiettivi sopraesposti, il PNR prevede le seguenti azioni:

- 1) Realizzazione e diffusione di **guide tecniche**, finalizzate ai due principali soggetti destinatari nella soluzione del problema, la popolazione e le imprese, e suddivise per tipologie.

Piccoli edifici ad uso residenziale

Le guide tecniche dovrebbero essere suddivise in guide per le azioni di rimedio ad hoc, guide per le azioni di rimedio in fase di ristrutturazione, e guide per le azioni preventive.

Nelle guide tecniche per la popolazione dovrebbero essere spiegate le tecniche più semplici ed economiche, del tipo “fai da te”, che possono portare ad una riduzione della concentrazione di radon al di sotto dei livelli di azione; dovrebbero essere riportate indicazioni su come effettuare la selezione tra le varie azioni possibili, valutando i vari parametri in gioco: concentrazione di radon, tipologia dell’edificio, abitudini di vita, costi, ecc.; dovrebbero essere riportate tutte le indicazioni utili per il controllo dell’efficacia delle azioni adottate nonché indicazioni sulle soluzioni dei casi più complessi per i quali richiedere l’intervento di esperti. Ovviamente, trattandosi di guide rivolte alla popolazione, la problematica delle azioni di rimedio deve essere preceduta da una illustrazione del problema radon nel suo complesso.

Nelle guide tecniche per le imprese dovrebbero essere descritte in modo dettagliato tutte le tecniche che possono essere adottate per la riduzione della concentrazione di radon. In questo secondo gruppo di linee guida saranno comprese quelle azioni che richiedono interventi anche complessi sull’edificio, o con apparecchiature di ventilazione forzata e che richiedono una specifica professionalità per la loro installazione. Ad esempio si citano: ventilazione forzata del suolo sottostante l’edificio, pressurizzazione dell’unità immobiliare, isolamento dal suolo, ventilazione forzata del vespaio. Particolare attenzione deve essere dedicata alla manutenzione delle apparecchiature, successiva all’installazione. Inoltre, dovrebbero essere fornite informazioni sulle metodologie di certificazione della qualità dei materiali da utilizzare (permeabilità delle membrane, tipi di sigillanti, tipi di riempimento delle intercapedini, ecc.), così come indicazioni sulla buona tecnica di installazione (incollaggio di fogli impermeabili, scelta e impiego delle apparecchiature di ventilazione).

Nelle guide tecniche dovrebbero essere inseriti i possibili criteri di svolgimento di indagini preliminari con indicazione dei parametri più importanti da analizzare, per poter giungere alla definizione della o delle migliori tecniche da adottare in quel particolare caso. In tutte le guide tecniche dovrebbero essere affrontati anche i problemi relativi alla corretta misura della concentrazione di radon. Le guide tecniche, infine, dovrebbero

essere riviste e adeguate sulla base dei risultati ottenuti dalla loro applicazione, e delle innovazioni tecnico/scientifiche.

Parte delle guide tecniche devono essere specificamente dedicate ai possibili *interventi in fase di ristrutturazione*. La scelta del metodo più appropriato dipende fortemente dal confronto tra il tipo di ristrutturazione e il grado di riduzione che s'intende ottenere. I costi aggiuntivi per l'implementazione di sistemi che possono ridurre l'ingresso di radon, sostenuti durante una ristrutturazione, sono relativamente inferiori.

Per quel che riguarda le azioni di prevenzione, le principali differenze tra le azioni di rimedio per edifici esistenti e azioni di prevenzione per i nuovi edifici consistono nella maggiore semplicità, nella maggiore probabilità di buon esito, ma, soprattutto, nel costo più basso. A volte potrebbe essere sufficiente una semplice buona pratica, senza costi aggiuntivi. Per esempio, nel caso sia previsto un vespaio, potrebbe essere sufficiente aumentare le prese di ventilazione ed avere cura di non realizzare dei compartimenti stagni all'interno del vespaio stesso. Ancora, potrebbe essere prevista la predisposizione per un'eventuale successiva installazione di un impianto di ventilazione forzata o naturale del suolo sotto l'edificio.

Dovranno essere realizzate guide tecniche dettagliate per le imprese edili nelle quali vengano riportate le tecniche per prevenire il futuro ingresso del radon e per predisporre l'edificio ad eventuali azioni post costruzione. Devono essere incluse le informazioni sui materiali da costruzione e sulle procedure di messa in opera.

Scuole di piccole dimensioni

In questo gruppo si possono considerare le scuole di piccole dimensioni (fino a 500 m²) che si sviluppano soprattutto al piano terra. In questo caso valgono quasi integralmente le stesse indicazioni riportate per i piccoli edifici residenziali, sia esistenti che in costruzione.

Grandi edifici residenziali – Edifici non residenziali

A causa della limitata esperienza per questa tipologia di edifici, va realizzata una guida tecnica specifica che tenga conto della maggiore complessità e che venga aggiornata rapidamente all'aumentare dell'esperienza. Va sottolineato che il D.L.vo 241 del 26/5/2000 prevede l'obbligo di interventi per la riduzione della concentrazione di radon proprio in edifici non residenziali, destinati a luoghi di lavoro in cui sono superati i livelli di azione. Appare quindi evidente la necessità di effettuare al più presto studi e ricerche per confermare le limitate esperienze sviluppate in altri Paesi e, comunque, per definire le metodologie di risanamento più adatte alla situazione italiana.

- 2) Un problema particolare è rappresentato dalle unità immobiliari costruite con una notevole quantità di materiali che emettono un'elevata quantità di radon, come ad esempio alcuni materiali di origine vulcanica, quali i tufi e le pozzolane, ampiamente diffuse nell'Italia Centrale. In questo caso la riduzione della concentrazione di radon al di sotto dei livelli di azione potrebbe essere difficoltosa. Si ritiene che le esperienze finora effettuate siano insufficienti e si dovrebbe quindi sviluppare un programma di ricerca ad-hoc per questo specifico problema. Gli interventi preventivi sui materiali da costruzione sono, al contrario, molto più semplici (cfr. capitolo 3).
- 3) Qualificazione delle imprese che effettuano azioni di rimedio, per la quale devono essere definiti criteri ed eventuali procedure per la verifica della qualità ed il riconoscimento delle strutture (cfr. capitolo 6). Ad esempio gli Stati Uniti hanno un programma di qualificazione delle imprese ed alcuni stati, sempre negli Stati Uniti, hanno pubblicato delle linee guida per la loro certificazione. Un simile approccio è stato seguito dalla Svizzera, che ha un elenco ufficiale di ditte qualificate ad effettuare interventi.
- 4) Sviluppo di un programma nazionale per quanto riguarda lo studio e l'applicazione delle azioni di rimedio. Occorre uno sforzo per acquisire gli elementi ancora mancanti, per definire un chiaro e completo quadro di riferimento. E' necessario quindi creare un punto di riferimento nazionale, in cui far confluire le varie esperienze effettuate sul territorio e che con proprie attività di ricerca affronti i problemi ancora esistenti a partire da quelli più urgenti e quindi fornisca al Paese le informazioni necessarie.

Così com'è stato fatto in altri Paesi, ad es. in Gran Bretagna, è utile individuare un organismo di riferimento e finanziare un programma di ricerca che preveda l'implementazione e lo studio di interventi di risanamento sulle varie tipologie di interesse a partire da quelle più urgenti, prendendo in considerazione le differenze tra le tipologie costruttive esistenti sul territorio italiano e soprattutto razionalizzando gli sforzi in funzione della caratterizzazione delle aree in termini di rischio radon.

Dovranno essere studiati in particolare i problemi relativi agli ambienti di lavoro sotterranei, e a quelli indicati dal D.L.vo 241 del 26/5/2000; dovranno essere studiati e sviluppati modelli matematici e codici di calcolo per prevedere la presenza di radon in nuove costruzioni o l'efficacia delle diverse azioni di rimedio o di prevenzione; dovranno essere sviluppate le guide tecniche destinate ai vari soggetti (pubblico, amministrazioni, imprese ecc.)

Dovrà essere sviluppata una banca dati per raccogliere tutte le informazioni sulle azioni di rimedio effettuate su tutto il territorio nazionale.

- 5) Infine, va evidenziato che, una volta messe a punto le tecniche più efficaci per ridurre la concentrazione di radon, va fatto il possibile affinché esse vengano effettivamente applicate. Questo aspetto è particolarmente importante per le normative a carattere non cogente, quali

sono gran parte di quelle relative alle abitazioni, incluso la normativa proposta in questo PNR, nella sua prima fase (cfr. capitolo 7). L'esperienza di altri Paesi ha dimostrato che sono molto efficaci, a questo scopo, incentivi economici nonché una adeguata informazione (cfr. capitolo 6).

Bibliografia

- BRE (U.K. Building Research Establishment). *Radon: guidance on protective measures for new dwellings in Scotland*. BR 376 CRC Ltd London; 1999.
- Clavensjo B, Åkerblom G. *The radon Book*. The Swedish Council for Building Research. Stockholm, Sweden 1994.
- Craig AB. *A review of mitigation in large buildings in the U.S.* Radiat. Prot. Dosim. 56(1–4): 29–32; 1994.
- Henschel DB. *Radon reduction techniques for detached houses*. Technical guidance EPA/625/5-87/019; 1988.
- Henschel DB. *Analysis of radon mitigation techniques used in existing US homes*. Radiat. Prot. Dosim. 56(1–4): 21–27; 1994.
- Ligman BK, Fisher EJ. *Reducing radon in school: a team approach*. EPA-402-R-94-008; 1994.
- Masi M. *Capitolato speciale di appalto per opere di bioedilizia di tipografia del Genio Civile*. 1999.
- Murane DM. *Model standards and techniques for control of radon in new buildings*. Radiat. Prot. Dosim. 56 (1–4): 5–7; 1994.
- Scivyer C, Woolliscroft M. *Radon remediation and protective measures in UK buildings: the work of the Building Research Establishment*. Atti del Convegno “Radon tra natura e ambiente costruito”, Venezia-Mestre, 24–26 novembre, Edizioni Edicom; 1997.
- Torri G, Feroce C, Giangrasso M, Notaro M. *Remedial action in buildings with high radon concentrations – Application in few italian dwellings*. Radiat. Prot. Dos. 78(1); 1998.
- UK-DOE (United Kingdom Department of the Environment). *The householder’s guide to radon. Fourth edition*. ENVI J103639AR 94 EP 394; 1995.
- US-EPA(U.S.-Environmental Protection Agency). *Consumer's Guide to Radon Reduction: How to Reduce Radon Levels in Your Home*. EPA-402-K-92-003; 1992.
- US-EPA(U.S.-Environmental Protection Agency). *Radon - A Physician's Guide: The health threat with a simple solution*. EPA-402-K-93-008; 1993.
- US-EPA(U.S.-Environmental Protection Agency). *Radon Mitigation Standards*. EPA-402-R-93-078; 1994.
- US-EPA(U.S.-Environmental Protection Agency). *A Radon Guide for Tenants*. EPA-402-K-98-004; 1996.
- US-EPA (U.S.-Environmental Protection Agency). *Building Radon Out*. Office of Air and Radiation. EPA/402-K-002; 2001.
- Venezia RA. *Large buildings characteristics as related to radon resistance: a literature review*. EPA-600/R-97-051; 1997.
- Woolliscroft M. *The principle of radon remediation and protection in UK dwellings*. Radiat. Prot. Dosim. 42(3): 211–216; 1992.

Capitolo 6

Informazione, formazione, qualificazione

6.1 – Introduzione al problema

6.1.1 – Informazione

L'informazione della popolazione costituisce uno strumento fondamentale attraverso il quale si sviluppa la presa di coscienza da parte dei cittadini di problematiche che possono avere risvolti importanti sulla salute. Perché questo avvenga in modo corretto occorre che l'informazione venga fornita da personale qualificato dal punto di vista scientifico e con una buona capacità di trasferimento dell'informazione. E' quindi utile che il personale tecnico lavori in stretto contatto con quello esperto di comunicazioni di massa in modo che il messaggio giunga ai destinatari in modo efficace e nello stesso tempo senza suscitare allarmismi ingiustificati.

Il radon, in questo contesto, è un inquinante del tutto particolare: è di origine naturale – questo contrasta con la diffusa convinzione che tutto ciò che è naturale sia buono – non ha odore e non provoca effetti immediati o a breve termine, mentre il suo effetto sanitario accertato (tumore polmonare) si manifesta anche dopo decenni ed in modo probabilistico, cioè la probabilità di insorgenza di tumore aumenta con l'aumentare della concentrazione di radon a cui si è esposti, con l'ulteriore complicazione degli effetti sinergici con altre sostanze, in particolare col fumo attivo e passivo.

L'esperienza di alcuni Paesi, in particolare degli USA, dove sono state organizzate campagne informative di grandi dimensioni sull'inquinante radon utilizzando anche messaggi terroristici, ha dimostrato da un lato come si riesca in tal modo ad attirare l'attenzione della popolazione ma, dall'altro, che si suscitano così anche ansie e timori che fanno perdere il senso reale del problema.

Il successo di una campagna di informazione su un inquinante è in relazione diretta con il concetto di percezione del rischio, che, a sua volta, è strettamente legato alla natura dell'inquinante medesimo ed alla formazione culturale di coloro cui è destinata l'informazione.

Alcune ricerche hanno dimostrato che esiste una notevole disparità nelle modalità di percezione del rischio da parte dei tecnici del settore e la popolazione, che dipendono da diversi fattori, quali i mezzi di cui si dispone per controllare l'agente responsabile del rischio, la conoscenza del fenomeno che dà origine al fattore di rischio, i danni prodotti, ecc.; esistono, pertanto, una serie di fattori socio culturali di cui bisogna tener conto nella gestione dell'informazione sugli inquinanti.

In questo contesto, non va dimenticato il ruolo fondamentale che gioca la credibilità e la fiducia di coloro che sono chiamati a svolgere le azioni di informazione e di divulgazione.

Occorre, infatti, ricordare che l'informazione deve essere veicolata in modo bilanciato; qualora questo non avvenga, o possono insorgere fenomeni ansiogeni che spesso si traducono in malesseri di varia natura, oppure il fenomeno può essere sottovalutato con una conseguente mancanza di attenzione per i rischi ad esso connessi.

E' importante ricordare che nella maggior parte dei Paesi la presenza di radon negli ambienti chiusi ha suscitato l'attenzione dell'opinione pubblica solo quando è stata condotta una intensa campagna di informazione attraverso la stampa, la radio e la televisione. Le modalità di gestione dell'informazione ed i contenuti dell'informazione stessa sono stati, tuttavia, diversi da paese a paese.

Situazione in alcuni Paesi

In questo paragrafo verranno fornite in modo sintetico alcune indicazioni sulle modalità utilizzate in alcuni Paesi per attirare l'attenzione delle Autorità locali, dei cittadini e dei tecnici sugli effetti del radon e sulle misure per ridurre la sua concentrazione negli ambienti, con particolare riguardo a quelli domestici.

Prima di questo occorre tuttavia richiamare l'attenzione sulla stretta connessione esistente tra il tipo di normativa riguardante l'inquinante e l'informazione che si vuole divulgare.

Nel caso in cui la riduzione della concentrazione del radon indoor venga richiesta attraverso una norma di tipo cogente, l'informazione gioca un ruolo non decisivo, anche se pur sempre rilevante, in quanto la norma dovrà comunque essere messa in atto ed il cittadino è tenuto a documentarsi sull'argomento per ottemperare ai suoi doveri; in questo caso è di vitale importanza la formazione dei tecnici chiamati a mettere in atto la norma stessa e di quelli incaricati di far rispettare la medesima.

Qualora la norma sia invece una raccomandazione, come avviene spesso nel caso del radon nelle abitazioni, il ruolo dell'informazione è decisivo in quanto solo attraverso la comprensione del problema e della sua rilevanza dal punto di vista sanitario si può giungere alla realizzazione effettiva di strategie efficaci per ridurre la concentrazione di radon. I destinatari di questa

informazione sono molteplici: gli abitanti delle case, i proprietari, le associazioni di categoria, i gestori degli edifici, gli architetti, gli ingegneri, i medici di famiglia, gli insegnanti, ecc.

Stati Uniti

Il problema del radon è stato affrontato dall'EPA negli anni '80 ed alla sua realizzazione venne assegnata una elevata priorità. L'EPA Advisory Board, in una analisi condotta nel 1990, pose il radon al quarto posto rispetto a 31 inquinanti considerati come un serio problema sanitario. Nonostante questo, l'attenzione dei cittadini al problema fu molto scarsa considerata l'origine "naturale" dell'inquinante. Inoltre, a differenza dei problemi ambientali tradizionali come ad esempio le discariche di prodotti tossici, il radon si trova nelle abitazioni che rappresentano un rifugio sicuro e dove ogni individuo vuole avere la libertà di proteggersi, utilizzando gli strumenti che ritiene migliori. Per questi motivi l'EPA ha ritenuto opportuno stabilire un contatto diretto con i cittadini al fine di renderli consapevoli del problema.

Il modello di comunicazione adottato dall'EPA (cfr. figura 6.1) consiste nell'individuazione della *fonte* dalla quale origina l'informazione (governo), del *tipo di messaggio* (abbattimento dei livelli di radon nelle abitazioni), dei *canali* attraverso i quali convogliare l'informazione (opuscoli, comunicati stampa, messaggi televisivi, ecc.), dei *destinatari dell'informazione*, e dei meccanismi di *feedback* delle azioni intraprese allo scopo di giungere agli obiettivi prefissati con maggior precisione (numero di abitazioni per le quali sono stati richiesti interventi, azioni di rimedio, ecc.).

Il contenuto dei messaggi è stato stabilito di comune accordo fra l'EPA, organizzazioni scientifiche, agenti immobiliari, costruttori, associazioni mediche, ecc. Ciascuna di queste istituzioni si è impegnata, poi, ad operare in modo coordinato con le altre al fine di inviare messaggi fra loro coerenti. Per quel che riguarda il destinatario, l'EPA ha individuato come utente finale i cittadini, i proprietari di case ed i costruttori. Per ciascuna categoria sono stati individuati i latori dei messaggi che costituiscono un anello importante della catena. Infatti, chi veicola l'informazione ha la stessa importanza del messaggio che trasferisce. I latori dell'informazione individuati, a loro volta preliminarmente informati e formati, sono stati i medici di famiglia, le autorità locali sanitarie ed ambientali, le associazioni dei medici specialisti in malattie polmonari, gli incaricati al rispetto degli standard costruttivi, gli agenti immobiliari, ecc.

Con tutti questi soggetti l'EPA ha stabilito contatti per la verifica dell'efficacia del programma adottato (feedback).

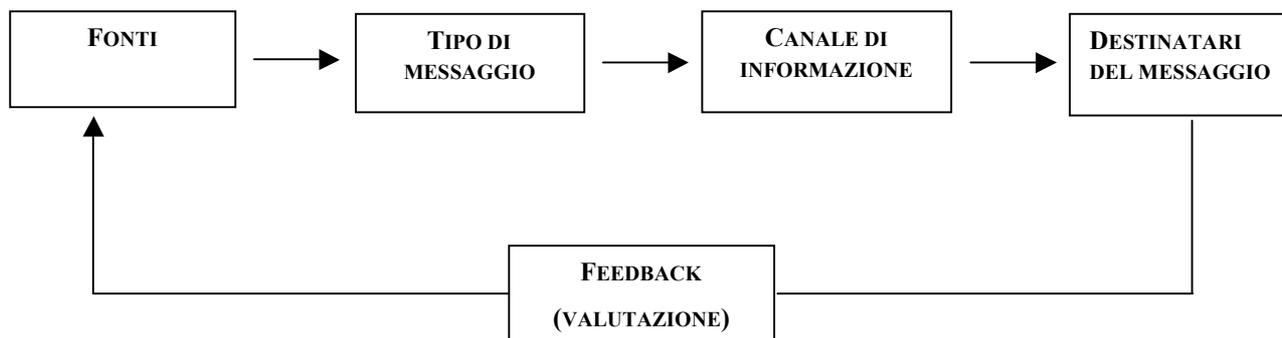


Figura 6.1. Modello di comunicazione

Regno Unito

Nel Regno Unito, il Dipartimento dell'ambiente (DOE) ha dato l'avvio nel 1987 ad un programma volto alla riduzione della concentrazione di radon nelle abitazioni. A differenza di quanto avviene negli USA, il DOE, attraverso il National Radiological Protection Board (NRPB), offre di effettuare gratuitamente misure nelle abitazioni situate nelle aree individuate ad alta concentrazione di radon. La strategia di offrire un servizio gratuito ha un notevole impatto sulla diffusione dell'informazione sul radon.

L'NRPB ha elaborato, per conto del DOE, un opuscolo destinato agli inquilini "Guide to radon", che è stato ampiamente diffuso sul territorio. Ad esempio, è stato distribuito nelle sale d'aspetto degli studi medici, e pubblicizzato attraverso i principali organi di stampa e televisivi. Con l'identificazione delle aree a rischio, da parte dello NRPB, numerose sono state le richieste per l'effettuazione delle misure nelle abitazioni situate nelle zone interessate. Nonostante questi sforzi, però, il numero di abitazioni dove sono state messe in atto azioni di rimedio è ancora piuttosto scarso (Colgan e Gutierrez 1996). Va sottolineato che il Building Research Establishment (BRE) fornisce a richiesta consigli su come realizzare azioni di rimedio.

Svizzera

In questo Paese esiste una situazione normativa che impone la messa in atto di azioni di rimedio nelle abitazioni a carico della popolazione, quando viene superata la concentrazione di 1000 Bq/m³. Questo condiziona ovviamente le modalità di informazione.

Il Ministero Federale della Sanità ha diffuso alla popolazione attraverso le Autorità Cantionali materiale informativo sul radon e sui rischi ad esso connessi. E' stato realizzato, anche, un CD-ROM divulgativo disponibile a chi ne faccia richiesta.

6.1.2 – Formazione e qualificazione

La formazione dei vari tipi di operatori, cui compete lo svolgimento delle attività connesse con il problema radon negli ambienti confinati, costituisce un punto essenziale per garantire un corretto svolgimento di tutte le attività che riguardano questo inquinante. Tali attività vanno dall'esecuzione corretta dei rilevamenti, all'individuazione di aree a rischio, alla scelta delle azioni di rimedio e preventive adeguate, alla diffusione di una corretta informazione ai cittadini ed alle maestranze coinvolte in attività di risanamento.

I destinatari di questa attività di formazione appartengono a diverse categorie, tra le quali i gestori di patrimoni immobiliari pubblici e privati, i medici di base, gli operatori sanitari ed ambientali, gli insegnanti, ecc.

Nei diversi Paesi le strategie adottate per la formazione sono diverse. A titolo di esempio qui vengono brevemente descritte quelle adottate da Stati Uniti, Regno Unito e Svizzera.

Stati Uniti

Negli Stati Uniti, l'EPA ha creato i National Radon Training Center allo scopo di offrire agli stati federali, all'industria ed ai cittadini dei luoghi deputati alla formazione e alla qualificazione delle società che eseguono le misure di radon, le azioni di rimedio, ecc.

Questi centri sono gestiti dall'EPA e da alcune università autorizzate allo scopo dal Congresso degli USA in accordo all'“Indoor Radon Abatement Act” del 1988. Allo stato attuale questi centri sono finanziati dall'EPA, ma in futuro dovranno autosostenersi con le quote che verranno applicate ai fruitori dei servizi. In questi centri si tengono corsi di breve durata, al massimo 1–2 giorni, destinati alla formazione di personale di diversa estrazione, come costruttori, proprietari e gestori di immobili, ispettori chiamati alla verifica dell'adeguatezza della conduzione degli edifici, agenti immobiliari, cittadini, operatori bancari esperti nella stipula dei mutui, operatori scolastici, ecc. La partecipazione ai corsi è volontaria e le spese sono a carico dei partecipanti.

Per quel che riguarda la qualificazione delle misurazioni della concentrazione di radon, l'EPA ha elaborato, nel 1986 un programma “Radon Measurement Proficiency” (RMP), allo scopo di diffondere informazioni sulle tecniche di misura del radon ed identificare individui od organizzazioni in grado di offrire servizi di misura secondo un programma standard.

Il programma RMP viene effettuato su base volontaria ed i costi sono a carico dei partecipanti. L'EPA raccomanda di utilizzare al massimo i servizi offerti da individui o ditte che abbiano preso parte al programma RMP. In alcuni stati è fatto obbligo di servirsi di ditte qualificate.

Dettagli su questo programma e sulle modalità per accedere ad esso sono contenuti in apposite pubblicazioni dell'EPA. Attualmente il programma RMP non è più gestito direttamente dall'EPA.

Regno Unito

Il Department of Environment svolge una capillare azione di informazione mentre la formazione e la parte esecutiva del programma è affidata al National Radiological Protection Board (NRPB) ed al Building Research Establishment (BRE). La qualificazione degli operatori non è allo stato attuale ufficializzata in quanto è l'NRPB che esegue le misure gratuitamente nelle aree a rischio, mentre il BRE si occupa delle azioni di rimedio.

Svizzera

In Svizzera dove esiste una normativa precisa per i luoghi in cui la concentrazione supera 1000 Bq/m³, le ditte che eseguono dette misure sono sottoposte ad un programma di qualificazioni stabilito dalle autorità federali competenti per la protezione dalle radiazioni. La partecipazione al programma di qualificazione è gratuita. Inoltre sono state preparate delle guide tecniche per le imprese di edilizia.

6.2 – La situazione in Italia

6.2.1 – Informazione

Analizzando le attività svolte nel nostro Paese dopo lo svolgimento dell'*Indagine Nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni*, si rileva come siano state acquisite conoscenze sull'inquinante radon e sulla sua presenza sul territorio nazionale, di gran lunga superiori a quelle relative a molti degli inquinanti chimici e biologici presenti nelle stesse abitazioni. Tuttavia in Italia, contrariamente a quanto avviene per molti altri Paesi industrializzati, non è stata fino ad ora messa a punto una strategia complessiva, eccetto alcune iniziative a livello locale, per affrontare la problematica del radon e per richiamare su di essa l'attenzione della popolazione.

Il problema del radon indoors, come del resto quello più generale della qualità dell'aria negli ambienti confinati, comporta delle scelte che vanno in parte anche ad influenzare lo stile di vita degli abitanti della casa, e toccano un ambiente, quale la casa, del quale in Italia si è particolarmente gelosi. L'informazione riveste quindi un'importanza cruciale.

In Italia non è stata ancora avviata alcuna azione normativa per quel che riguarda le abitazioni, mentre nel D.L.vo n.241 del 26/05/00 che recepisce la Direttiva 96/29/EURATOM si apre un nuovo scenario per quanto riguarda gli ambienti di lavoro (cfr. capitolo 7). Questa nuova

normativa fa sì che gli esercenti operanti nei settori più diversificati, compresi quelli del terziario – certamente non avvezzi ad occuparsi di problematiche connesse alle radiazioni ionizzanti – debbano necessariamente accostarsi al problema.

Anche questa nuova regolamentazione spinge il nostro Paese ad adottare un'adeguata strategia di informazione della popolazione oltre che di formazione dei tecnici, che consenta di accostarsi agli adempimenti normativi in modo corretto e responsabile. In altre parole, la predisposizione, in questo particolare momento, di un programma articolato di informazione all'interno del Piano Nazionale Radon, con l'entrata in vigore delle nuove norme, consentirebbe di avvicinare il pubblico (datori di lavoro, lavoratori ma quindi anche popolazione in generale) ai temi del radon e di facilitare il trasferimento delle conoscenze in questo settore anche in ambito domestico.

Un ruolo particolarmente importante per una corretta e attiva informazione lo svolgono anche in Italia le associazioni di cittadini, che appare opportuno quindi coinvolgere attivamente nel processo di informazione della popolazione.

6.2.2 – Formazione e qualificazione

L'ANPA e l'ISS, in occasione dell'esecuzione dell'*Indagine Nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni*, hanno svolto una attività di formazione del personale destinato a svolgere l'indagine sul piano regionale, in particolare dei fisici dei PMP addetti alle misure di concentrazione di radon, oltre che degli operatori delle ASL incaricati della distribuzione e raccolta dei dosimetri.

Successivamente sono stati organizzati numerosi corsi, convegni e seminari, sia a livello nazionale che regionale, su diversi aspetti della problematica radon.

Recentemente, a seguito del citato D.L.vo 241/00, si sono intraprese alcune iniziative di formazione, generalmente in modo sporadico tranne che in pochi casi, come per il corso di formazione su "Il rischio radon nei luoghi di lavoro: ruolo degli operatori del SSN", organizzato dall'ISPESL dal 2000. Nessuna azione, però, è stata svolta finora in modo sistematico e tale quindi da costituire una vera e propria scuola di formazione.

E' necessaria quindi la messa a punto di un piano organico di formazione e di qualificazione degli operatori. Le azioni che dovranno essere svolte dipendono anche da alcune scelte, quali quelle sulle modalità di misura della concentrazione di radon e di effettuazione delle azioni di rimedio, sui programmi di assicurazione di qualità, sui criteri di partecipazione ai corsi di formazione e di qualificazione. Se strutture private potranno affiancarsi alle istituzioni pubbliche, occorrerà richiedere anche ad esse una qualificazione, che si realizzerà sia attraverso la partecipazione a corsi di formazione e di aggiornamento del personale che, in particolare per la misura della concentrazione di radon, attraverso la realizzazione di un programma di

assicurazione di qualità che includa la partecipazione periodica ad interconfronti, organizzati da istituti metrologici o da altri enti pubblici che ad essi sono riferiti.

6.3 – Obiettivi ed azioni

Obiettivi

Gli obiettivi del PNR sugli aspetti dell'informazione, della formazione e della qualificazione sono:

- fornire un'informazione corretta e completa sul problema radon, modulandola per i diversi gruppi di persone coinvolte (gli inquilini ed i proprietari delle case, gli esercenti delle attività lavorative, ecc.), che consenta alla collettività italiana acquisire un'adeguata coscienza del problema e di contribuire alla sua soluzione, incluso la disponibilità ad adottare misure per ridurre la concentrazione di radon, ove queste misure siano raccomandate;
- offrire gli strumenti conoscitivi necessari agli operatori che dovranno essere formati per affrontare con metodologie e tecniche adeguate il problema della misura della concentrazione di radon e delle azioni di rimedio e di prevenzione;
- qualificare le strutture che provvedono alla misura della concentrazione di radon ed alle azioni di rimedio e di prevenzione in modo da garantirne la qualità.

Azioni

Le azioni previste possono essere sintetizzate come segue:

Informazione

- 1) Messa a punto di un completo e articolato programma informativo sul problema radon.

Questa azione dovrebbe essere svolta da un gruppo di lavoro costituito ad-hoc da parte del Gruppo Coordinamento Nazionale Radon. Compito del gruppo di lavoro sarà non solo l'elaborazione dei contenuti del materiale informativo necessario, ma soprattutto l'individuazione dei destinatari dell'informazione stessa e lo studio preliminare delle modalità di trasferimento. Dovranno essere chiamati a far parte del gruppo specialisti della materia, esperti di comunicazione, rappresentanti delle associazioni di categoria, costruttori, medici di base, associazioni di cittadini, ecc. Sarà cura delle autorità preposte procedere alla realizzazione dal punto di vista pratico della diffusione dell'informazione. I risultati ottenuti dal programma informativo dovranno essere sottoposti a verifica – secondo modalità che il

gruppo medesimo dovrà stabilire – al fine di mettere a punto eventuali modifiche che risultassero necessarie. I contenuti e la scala temporale del programma informativo dovranno conto di quanto dovrà essere fatto per ottemperare agli adempimenti previsti dal D.L.vo 241 del 26/05/2000 sul radon nei luoghi di lavoro e a quelli inclusi nella normativa sul radon nelle abitazioni proposta nel capitolo 7 di questo PNR.

Il messaggio informativo rivolto alla popolazione dovrà affrontare i diversi aspetti del problema radon, riportando anche il grado di incertezza nella conoscenza di alcuni aspetti. Dovrà essere riportata in modo adeguato la diversa entità del rischio radon per i fumatori ed i non fumatori (cfr. capitolo 1).

- 2) Pubblicazione, su base possibilmente trimestrale, di un Bollettino Nazionale Radon per diffondere alle strutture tecnico-amministrative le notizie rilevanti sul problema radon, analogamente a quanto avviene, ad esempio, nel Regno Unito. Il bollettino – redatto a cura dell'Archivio Nazionale Radon e del Gruppo di Coordinamento Nazionale Radon ed aperto al contributo degli istituti scientifici nazionali e di altre strutture sanitarie ed ambientali nazionali e regionali, in particolare dei *Centri di Riferimento Regionale per il controllo della radioattività ambientale* (CRR) che sono generalmente presso le ARPA (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale) – deve includere notizie riguardanti le misure e le azioni di rimedio effettuate a livello nazionale e regionale, i provvedimenti di carattere normativo in corso di elaborazione a livello nazionale ed internazionale. Al bollettino dovrà essere data la massima diffusione, ad esempio allegandolo come supplemento al Bollettino dell'Istituto Superiore di Sanità.
- 3) Realizzazione, sul portale del Ministero della Salute, di pagine informative ufficiali riguardanti il problema radon, anche al fine di contrastare il proliferare di pagine web, spesso ad opera di privati, contenenti informazioni non sempre corrette. La struttura da dare a questa informativa potrà essere studiata con il gruppo di lavoro di cui al punto 1.

Formazione e qualificazione

- 4) Istituzione di corsi sulla radioattività nell'ambito delle materie curriculari nelle facoltà scientifiche e di medicina. A tale scopo le autorità accademiche andrebbero sollecitate dal Ministero dell'Istruzione, università e ricerca scientifica, su proposta del Ministero della Salute.
- 5) Istituzione di masters di primo e secondo livello sulla qualità dell'aria indoors, all'interno dei quali dovrà essere dedicata una parte al radon. L'istituzione di questi diplomi dovrebbe essere richiesta dal Ministero della Salute al Ministero dell'Istruzione, università e ricerca scientifica.
- 6) Istituzione di corsi di formazione e di aggiornamento per il personale addetto alle varie

operazioni (misura della concentrazione di radon, azioni di rimedio, ecc.), da effettuarsi e/o promuoversi da parte di enti nazionali (ANPA, ISPESL, ISS ed ENEA) in connessione col Gruppo di Coordinamento Nazionale Radon ed in collaborazione con gli enti regionali, le associazioni di categoria e gli ordini professionali.

- 7) Definizione di criteri raccomandati per la qualificazione delle strutture che effettuano le misure di concentrazione di radon. Questi criteri, che per i luoghi di lavoro avranno carattere transitorio in attesa che vengano definiti quelli previsti dal D.L.vo 241/00, dovranno includere la verifica periodica della qualità delle misure tramite interconfronti (cfr. azione 5 del capitolo 4). Un'analogia procedura potrebbe essere utilizzata per la qualificazione delle strutture che effettuano azioni di rimedio.

Bibliografia

- BRE (UK Building Research Establishment). *Guide to Radon remedial measurement in existing dwelling*. BR239, 1993.
- BRE (UK Building Research Establishment). *Radon no problem (Video)*. 1994.
- BRE (UK Building Research Establishment). *Radon and Buildings. Good Buildings Guide*. 1996. Colgan e Gutierrez 1996
- NRPB (National Radiological Protection Board). *Guide to Radon*.
- US-EPA (U.S. - Environmental Protection Agency). *Citizen Guide to Radon*. EPA 402-K-92-001, May 1992.
- US-EPA (U.S. - Environmental Protection Agency). *Consumers Guide to Radon*. EPA 402-92-003, August 1992.
- US-EPA (U.S. - Environmental Protection Agency). *Home Buyer's and Seller's Guide to Radon*. EPA 402-K-92-003, March 1993.

Capitolo 7

Normative

7.1 – Introduzione al problema

Come si è visto nel capitolo sulla valutazione del rischio (cfr. capitolo 1), secondo le attuali conoscenze il radon è considerato un agente cancerogeno sulla base di evidenze epidemiologiche, e l'aumento di rischio di tumore polmonare connesso all'esposizione a radon è assunto lineare e senza soglia. Ciò implica, ad esempio, che ridurre la concentrazione di radon da 400 Bq/m³ a 200 Bq/m³ ha lo stesso effetto, in termini di riduzione del rischio, che passare da 200 Bq/m³ a 0 Bq/m³. Questo spingerebbe a cercare di ridurre il più possibile la concentrazione di radon in ogni edificio, indipendentemente dal valore di partenza.

D'altra parte bisogna tener conto che le incertezze sull'esistenza e sull'entità del rischio sono maggiori a bassi valori di concentrazione; inoltre eliminare del tutto il radon dall'aria interna degli edifici è impossibile, ed ogni azione per ridurre la concentrazione di radon ha un costo che, per quanto ridotto, si moltiplica per il numero di edifici e può quindi diventare complessivamente molto grande.

Di conseguenza, praticamente tutte le normative in materia hanno come caratteristica generale quella di fissare dei *livelli di azione*, cioè dei valori di concentrazione di radon sopra i quali raccomandare (o imporre) di effettuare azioni per ridurre la concentrazione di radon (dette comunemente *azioni di rimedio*), e sotto i quali, viceversa, la situazione viene considerata "normale", cioè il rischio stimato associato a quei livelli di concentrazione di radon viene considerato "accettabile".

E' importante sottolineare ancora lo stretto legame tra i valori dei livelli di azione e fattibilità e costi delle azioni di rimedio e preventive per ridurre la concentrazione di radon. Questo legame ha fatto sì, tra l'altro, che in alcuni Paesi i livelli di azione inizialmente fissati siano stati successivamente ridotti, a seguito principalmente di un forte investimento nelle azioni di rimedio, il che ha permesso di ridurre i costi, ottenere significative riduzioni della concentrazione di radon e verificarne la durata.

In tabella 7.1 sono riportati i livelli di azione per le abitazioni, le scuole ed altri luoghi di lavoro in vigore in diversi Paesi.

Tabella 7.1. Livelli di azione in vari Paesi
(elaborata sulla base di Colgan e Gutierrez 1996, Åkerblom 1999 e comunicazioni personali)

Stato	Abitazioni	Scuole	Luoghi di lavoro
<i>Europa</i>			
Austria	400 (200)	400 (200)	400 (200)
Belgio	400	–	–
Danimarca	200,400 ^(a)	<u>400</u>	<u>400</u>
Finlandia	400 (200)	<u>400</u>	<u>400</u>
Francia	–	–	–
Germania	250, <u>1000</u> (250)	250	–
Grecia	400 (200)	–	–
Irlanda	200	150	200
Italia	–	<u>500</u>	<u>500</u> ^(b)
Lussemburgo	150	150	150
Norvegia	200	<u>800</u>	<u>800</u>
Olanda	–	–	–
Portogallo	–	–	–
Regno Unito	200 (<u>200</u>)	<u>400</u>	<u>400</u>
Rep. Ceca ^(c)	500 (250)	500	1250
Slovacchia ^(c)	500 (250)	–	–
Slovenia	400	–	–
Spagna	–	–	–
Svezia	200, <u>400</u> (<u>200</u>)	<u>400</u> (<u>200</u>)	<u>400</u> (<u>200</u>)
Svizzera	400, <u>1000</u>	400, <u>1000</u>	<u>3000</u>
<i>Altri Paesi</i>			
Australia	200	1000	1000
Canada	800	800	–
Stati Uniti	150	150	–

I valori in parentesi si riferiscono agli edifici da costruire

I valori sottolineati sono livelli di azione obbligatori, mentre gli altri sono raccomandati

^(a) 200 Bq/m³ per semplici azioni di rimedio, 400 Bq/m³ per azioni di rimedio più rilevanti

^(b) Nell'ipotesi di 2000 ore all'anno (corrispondenti a 3 mSv/anno), altrimenti si scala con il numero di ore

^(c) Questi valori sono derivati da valori espressi in concentrazione equivalente all'equilibrio usando un fattore di equilibrio di 0.5.

Nel resto del capitolo verranno trattate separatamente le normative per le abitazioni, i luoghi di lavoro (incluse le scuole), ed i materiali da costruzione.

7.1.1 – Abitazioni

Le normative sul radon nelle abitazioni hanno generalmente il carattere di raccomandazione, e

solo in qualche caso di norma cogente (cfr. tabella 7.1).

L'esperienza dei Paesi che hanno introdotto da tempo una normativa insegna che le normative a carattere cogente hanno sempre un successo maggiore, misurato in termini di percentuale di abitazioni con concentrazione di radon superiore al livello di azione nelle quali sono state eseguite azioni per ridurre la concentrazione di radon (Colgan e Gutierrez 1996, Åkerblom 1999).

Le normative a carattere di raccomandazione hanno un discreto successo, inferiore comunque a quello delle norme cogenti, solo se accompagnate da incentivi economici e da una intensa attività di informazione della popolazione.

In alcuni Paesi, in particolare negli Stati Uniti d'America, ha avuto molta efficacia l'obbligo di allegare la misura della concentrazione di radon tra i documenti necessari per la compra-vendita degli immobili.

Il 21.2.1990 è stata emanata la Raccomandazione 90/143/Euratom della Commissione Europea sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi, nella quale, sulla base anche dei documenti dell'ICRP (International Commission on Radiological Protection) ed in particolare della pubblicazione n.39 (ICRP 1984), si raccomanda che per gli edifici esistenti venga stabilito un livello di azione di 20 mSv/anno, considerati equivalenti a 400 Bq/m³ di concentrazione media annua di gas radon. Per gli edifici da costruire si propone un livello di progettazione (cioè un valore da non superare) di 10 mSv/anno, considerati equivalenti a 200 Bq/m³ di concentrazione media annua di gas radon, da ottenersi tramite l'adozione di adeguati regolamenti edilizi e tecniche costruttive. Va sottolineato che il fattore di dose utilizzato nella Raccomandazione (20 Bq/m³ per mSv/anno) è sensibilmente diverso da quelli oggi più diffusi (60 Bq/m³ per mSv/anno dell'ICRP n.65 del 1993 e 40 Bq/m³ per mSv/anno dell'UNSCEAR 2000), mentre i livelli di concentrazione di radon sono comunque tra quelli più adottati nelle varie normative (cfr. tabella 7.1).

Come si è visto nel capitolo 5, le azioni preventive effettuate in fase di costruzione di un edificio hanno generalmente un minor costo, una maggiore efficacia e sono più semplici da realizzarsi rispetto alle azioni di rimedio effettuate su un edificio già costruito. Questo si è riflesso anche nelle normative, molte delle quali fissavano un livello di azione per gli edifici da costruire inferiore a quello degli edifici già costruiti, in linea con quanto raccomandato dalla pubblicazione n.39 dell'ICRP (1984). L'applicazione pratica di questa distinzione si è però rivelata molto complessa, sia perché è estremamente complesso prevedere in fase di costruzione quale sarà la concentrazione di radon una volta che l'edificio è terminato, sia perché una misura rappresentativa della concentrazione di radon può essere eseguita solo quando l'edificio è costruito e abitato, e a questo punto ci si trova nella stessa situazione e con le stesse problematiche di un normale edificio già costruito. Di conseguenza in molti casi si è preferito sostituire il livello d'azione per gli edifici da costruire con prescrizioni tecniche sulle modalità costruttive, come la stessa ICRP ha raccomandato più recentemente (ICRP 1993). Con

un'applicazione estesa di queste prescrizioni, eventualmente più stringenti nelle aree a maggior presenza di radon, si può ottenere comunque una riduzione generalizzata dei livelli di concentrazione di radon ad un costo quasi trascurabile.

7.1.2 – Luoghi di lavoro

A differenza di quanto avviene per le abitazioni, le normative sul radon nei luoghi di lavoro (come la gran parte delle normative sui luoghi di lavoro) hanno generalmente carattere cogente (cfr. tabella 7.1), prevedendo tutta una serie di adempimenti ed eventualmente di sanzioni in caso di mancata osservanza. Anche per questo motivo, fino a poco tempo fa esse erano in vigore solo in pochi Paesi. Un cambiamento rilevante si è avuto, almeno in Europa, con l'emanazione della direttiva della Commissione Europea 96/29/EURATOM, che, per questo motivo, viene qui presentata più dettagliatamente.

La Direttiva 96/29/EURATOM

Dopo una preparazione di circa 4 anni, nel giugno del 1996 viene emanata la Direttiva 96/29/EURATOM, la quale inquadra all'interno di un contesto normativo quanto l'ICRP aveva raccomandato nella sua pubblicazione n.60 (ICRP 1991) sulla radioprotezione in generale, e nella pubblicazione n.65 (ICRP 1993) specificamente sulla protezione dall'esposizione al radon. Tra le novità della Direttiva, di nostro interesse è il Titolo VII *“Aumento significativo dell'esposizione dovuta a sorgenti di radiazioni naturali”*. Tale Titolo si compone di 3 articoli (40, 41 e 42).

Nel primo articolo (art. 40) viene definito il campo di applicazione, genericamente riferito alle attività lavorative *“nelle quali la presenza di sorgenti di radiazioni naturali conduce ad un aumento significativo dell'esposizione dei lavoratori o di individui della popolazione...”*.

Al comma successivo dello stesso articolo conferisce agli Stati Membri il compito di individuare *“mediante indagini o con qualsiasi mezzo appropriato”* tali attività lavorative. In particolare, tra le altre, rientrano quelle *“attività lavorative durante le quali i lavoratori e, se del caso, individui della popolazione sono esposti a prodotti di decadimento del toron o del radon, o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in luoghi di lavoro quali stabilimenti termali, grotte, miniere (intendendo quelle non uranifere, già oggetto di norme specifiche), luoghi sotterranei e luoghi di lavoro in superficie in zone ben individuate”*, quelle *“attività lavorative implicanti l'uso o lo stoccaggio di materiali abitualmente non considerati radioattivi ma che contengono radionuclidi allo stato naturale e provocano un aumento significativo dell'esposizione dei lavoratori e, se del caso, di individui della popolazione”*, quelle *“attività lavorative che comportano la produzione di residui abitualmente non considerati radioattivi ma che contengono radionuclidi allo stato naturale e provocano un aumento significativo dell'esposizione di individui della popolazione e, se del caso, dei lavoratori”*, quelle relative all' *“esercizio di aeromobili...”*.

Come si vede la gran parte delle esposizioni a sorgenti naturali sono riferibili direttamente o indirettamente al radon.

Al comma 3 viene precisato che le attività sopra definite devono essere oggetto di attenzione e sottoposte a controllo. L'articolo 41 sancisce che solo a queste si applicano le misure correttive per ridurre le esposizioni e/o il sistema di radioprotezione previsto per le cosiddette *pratiche*.

La Guida Tecnica “Radiation Protection 88” per l'applicazione della Direttiva 96/29/EURATOM

Data la novità dell'inserimento della protezione dalla radioattività naturale nella direttiva generale sulla radioprotezione e la complessità della materia, la direttiva 96/29/EURATOM ha affrontato l'argomento da un punto di vista generale, allo scopo di sancire un principio: è stato lasciato agli Stati Membri l'onere o la libertà di stabilire con maggior dettaglio i limiti, le prescrizioni, le competenze, le scadenze temporali ecc. La Commissione Europea, però, accanto allo strumento normativo citato, ha inteso mettere a disposizione delle linee guida che fossero di supporto agli Stati Membri in fase di recepimento del Titolo VII, e che sono state preparate da un Gruppo di Lavoro nell'ambito del Gruppo Esperti previsto dall'art.31 del Trattato Euratom.

Il Gruppo di Lavoro ha quindi elaborato un documento dal titolo “*Recommendations for implementation of the Title VII of the European Basic Safety Standards Directive (BSS) concerning significant increase in exposure due to natural radiation sources – Radiation Protection 88*”, pubblicato nel 1997. In questa Guida Tecnica viene esaminato il Titolo VII articolo per articolo, chiarendone il significato e fornendo suggerimenti di carattere tecnico-scientifico, sulla base delle raccomandazioni dell'ICRP n.60 (1991) e n.65 (1993).

Per quanto attiene al radon, la Guida Tecnica ha un atteggiamento di maggiore cautela rispetto all'ICRP n.65: suggerisce infatti di adottare un livello di azione in termini di concentrazione di radon nell'intervallo di 500–1000 Bq/m³ (corrispondente ad un intervallo di dose efficace di circa 3–6 mSv) e non di 500–1500 Bq/m³ (pari a circa 3–10 mSv) in quanto la Direttiva 96/29/EURATOM prevede che 6 mSv di dose efficace sia la soglia oltre la quale il lavoratore debba essere classificato di categoria A con i relativi obblighi previsti dal sistema di protezione previsto per le cosiddette “*pratiche*”, in particolare il monitoraggio ambientale oppure individuale, la definizione dei limiti di dose, ecc. Questi livelli di azione tengono conto dei fattori di dose convenzionali dell'ICRP n.65, di un fattore di occupazione di 2000 ore/anno, ecc.

In caso di superamento del livello indicato, la *Radiation Protection 88* raccomanda che siano previste azioni di rimedio per ridurre la concentrazione di radon, mentre nel caso in cui la concentrazione rilevata sia inferiore al livello, che l'unico obbligo sia la periodica ripetizione della misura stessa. Qualora siano necessarie le azioni di rimedio, si suggerisce di prevedere l'obbligo di misure periodiche al fine di verificare l'efficacia nel tempo di tali rimedi; qualora,

invece, queste azioni non siano state in grado di abbassare la concentrazione del radon in quel determinato luogo di lavoro entro i limiti stabiliti, si richiede di applicare il sistema di radioprotezione previsto per le cosiddette “*pratiche*”. L’unica eccezione all’obbligo delle azioni di rimedio riguarda i luoghi poco frequentati ad esempio i magazzini; in questo caso viene suggerito di proporre in alternativa il monitoraggio ambientale oppure il controllo degli accessi del personale.

Il documento raccomanda, inoltre, che le rilevazioni della concentrazione di radon ambientale siano basate su misure a lungo termine – un anno o almeno diversi mesi. In quest’ultimo caso si sottolinea la necessità di definire fattori di correzione stagionali per riferire il valore rilevato ad una concentrazione media annuale; tutto ciò è previsto in quanto è noto che la presenza del radon sia maggiore in inverno piuttosto che d’estate.

7.1.3 – Materiali da costruzione

In alcuni Paesi europei esistono normative che limitano l’utilizzo di materiali da costruzione nei quali la concentrazione di attività dei radionuclidi superi dei valori prefissati. I valori limite sono determinati in modo tale che la dose efficace risultante dall’esposizione alla radiazione gamma in una stanza sia minore o uguale a un valore di “progetto”. Per raggiungere questo obiettivo si ricorre all’indice I , dato dalla seguente formula:

$$I = C_{\text{Ra-226}}/A_{\text{Ra-226}} + C_{\text{Th-232}}/A_{\text{Th-232}} + C_{\text{K-40}}/A_{\text{K-40}}$$

Una volta inseriti i valori reali di concentrazione C dei materiali esaminati, deve risultare $I \leq 1$, cui corrisponde un prefissato valore di dose efficace. In tabella 7.2 sono mostrati i valori degli indici A_j ($j = \text{Ra-226}, \text{Th-232}, \text{K-40}$) per i Paesi dell’Unione Europea che hanno già adottato una normativa.

Tabella 7.2. Indici A_j già adottati in alcuni Paesi Europei

	$A_{\text{Ra-226}}$ (Bq/kg)	$A_{\text{Th-232}}$ (Bq/kg)	$A_{\text{K-40}}$ (Bq/kg)
Austria	1000	600	10000
Danimarca	300	200	3000
Finlandia	300	200	3000
Lussemburgo	350	250	5000

Queste normative utilizzano la radiazione gamma anche per tenere sotto controllo indirettamente la quantità di radon (Rn-222) emessa dai materiali: infatti, se è vero che ad elevata concentrazione di Ra-226 è sempre associato un elevato rateo di dose gamma ma non sempre una

elevata concentrazione di radon, sicuramente materiali con elevato potere emanante (cioè capacità di emanare radon, la quale dipende da densità, porosità e spessore del materiale) ma scarso contenuto di Ra-226 sono una modesta sorgente sia di radiazione gamma che di radon. L'unica eccezione a questo approccio è data dall'Austria, che ha aggiunto per il Ra-226 un coefficiente che tiene conto esplicitamente anche del potere emanante del materiale.

Tenendo conto che i materiali da costruzione, come ogni altro bene di consumo, sono sempre più soggetti a norme comunitarie più che nazionali, ai fini della libera circolazione delle merci, va sottolineata l'importanza della recente linea guida europea, la Radiation Protection 112 (EC 2000), sui criteri per stabilire limiti di attività dei materiali da costruzione. Questo documento propone, attraverso la limitazione della dose gamma secondo lo schema descritto sopra, di porre un limite di 200 Bq/m³ alla concentrazione di radon causata dai soli materiali da costruzione. In particolare gli indici proposti dalla Radiation Protection 112 sono $A_{\text{Ra-226}} = 300 \text{ Bq/m}^3$, $A_{\text{Th-232}} = 200 \text{ Bq/m}^3$, $A_{\text{K-40}} = 3000 \text{ Bq/m}^3$, cui corrisponde una dose efficace di 1 mSv; con questi indici, rispettando la condizione $I \leq 1$, è improbabile che i materiali da costruzione esalino radon in quantità tale da produrre una concentrazione nell'aria della stanza superiore a 200 Bq/m³, sulla base di modelli e assunzioni sviluppati ad-hoc. Un'analisi dettagliata e critica della Radiation Protection 112, con ampi riferimenti alla situazione italiana, è riportata in Risica et al. (2000).

7.2 – La situazione in Italia

7.2.1 – Abitazioni

A differenza della gran parte dei Paesi europei (cfr. tabella 7.1), l'Italia non ha una normativa sul radon nelle abitazioni e non ha recepito la raccomandazione europea 90/143/EURATOM del 1990, mentre si sono avute solo alcune sporadiche iniziative regolatorie locali.

7.2.2 – Luoghi di lavoro

Come già più volte segnalato, i luoghi di lavoro in Italia, a differenza delle abitazioni, sono ora soggetti ad una normativa di protezione dall'esposizione al radon, inserita in una norma più generale di protezione dalle radiazioni ionizzanti (D.L.vo 241/00). Data la sua importanza questo decreto verrà qui di seguito illustrato dettagliatamente.

Il Decreto Legislativo n.241/00

Il Decreto Legislativo n. 241/00, inerente la protezione della popolazione e dei lavoratori dai rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti, è stato pubblicato il 31.8.2000 ed è entrato in vigore il 1.1.2001. Tale Decreto recepisce la Direttiva 96/29/EURATOM, modificando ed integrando il

precedente Decreto Legislativo n. 230/95 relativo allo stesso argomento. Successivamente sono state effettuate alcune limitate correzioni ed integrazioni col Decreto Legislativo 9 maggio 2001, n. 257.

Una delle novità più importanti è l'introduzione di un sistema regolatorio per l'esposizione occupazionale alla radioattività naturale, come d'altronde era previsto dal Titolo VII della Direttiva 96/29/EURATOM. Infatti all'art.5 viene introdotto il Capo III-bis "Esposizione da attività lavorative con particolari sorgenti naturali di radiazioni". Tale Capo si snoda in otto articoli: dall'art. 10-bis al 10-novies. La parte inerente alle attività di volo, trattata nell'art.10-octies, non ha relazione col radon e quindi non sarà qui presa in considerazione.

Il primo comma dell'articolo 10-bis descrive il campo di applicazione, in analogia alla Direttiva, indicando che la norma si applica a quelle attività lavorative "*... nelle quali la presenza di sorgenti di radiazioni naturali conduce ad un aumento significativo dell'esposizione dei lavoratori o di persone del pubblico che non può essere trascurato dal punto di vista della radioprotezione*". Segue quindi la descrizione delle attività lavorative.

La descrizione delle attività lavorative si articola in sei categorie, di cui cinque hanno un legame diretto o indiretto col radon e sono qui riportate (la sesta si riferisce alle attività lavorative su aerei): "...

- a) *attività lavorative durante le quali i lavoratori e, se del caso, persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron, o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in luoghi di lavoro quali tunnel, sottovie, catacombe, grotte e, comunque, in tutti i luoghi di lavoro sotterranei;*
- b) *attività lavorative durante le quali i lavoratori e, se del caso, persone del pubblico sono esposti a prodotti di decadimento del radon o del toron, o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in luoghi di lavoro diversi da quelli di cui alla lettera a) in zone ben individuate o con caratteristiche determinate;*
- c) *attività lavorative implicanti l'uso o lo stoccaggio di materiali abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali e provocano un aumento significativo dell'esposizione dei lavoratori e, eventualmente, di persone del pubblico;*
- d) *attività lavorative che comportano la produzione di residui abitualmente non considerati radioattivi, ma che contengono radionuclidi naturali e provocano un aumento significativo dell'esposizione di persone del pubblico e, eventualmente, dei lavoratori;*
- e) *attività lavorative in stabilimenti termali e attività estrattive non disciplinate dal capo IV;"*

Le attività lavorative di cui alle lettere a) e b) sono direttamente interessate dall'esposizione al radon (anche se sono possibili esposizioni anche al toron o alle radiazioni gamma). In entrambe le situazioni occorre tener conto che il suolo è solitamente la sorgente di maggiore importanza, pertanto gli ambienti di lavoro in sotterraneo sono per definizione particolarmente a rischio; anche i luoghi di lavoro in superficie, aldilà del tipo di attività svolta, possono essere a rischio, in

particolare in quelle aree geografiche in cui, a causa della geologia della zona, la probabilità di riscontrare concentrazioni di radon elevate è maggiore. Per entrambi i casi la legge nell'Allegato I-bis fissa un livello di azione di 500 Bq/m³ di concentrazione di attività di radon media in un anno.

Nel caso delle attività di cui alle lettere c) e d) ed e) la fonte di esposizione più rilevante è la presenza di radionuclidi naturali contenuti nei materiali utilizzati in alcune lavorazioni o nei rifiuti prodotti. Nell'Allegato I-bis per queste attività viene fissato un livello di azione in termini di dose complessiva (1 mSv/anno di dose efficace per i lavoratori e 0.3 mSv/anno per la popolazione), per tener conto delle diverse possibili fonti di esposizione.

Tuttavia viene esplicitamente previsto che, per le attività di cui alle lettere c) e d), il livello non sia comprensivo "...dell'eventuale esposizione a radon derivante da caratteristiche geofisiche e costruttive dell'ambiente in cui viene svolta l'attività lavorativa e per la quale si applica il livello di azione di cui alla lettera a)..." e cioè 500 Bq/m³ di concentrazione di attività di radon media in un anno. Per le attività condotte in stabilimenti termali, comprese nell'ambito delle attività previste alla lettera e), il livello di azione di 1 mSv/anno di dose efficace include, invece, anche tenuto conto anche del radon. Ciò è dovuto al fatto che la presenza del radon nelle terme è strettamente connessa all'attività termale, visto che gli stabilimenti termali sono collocati in zone ove vi è risalita di fluidi caldi dal suolo, presenza di acque minerali, e in qualche caso di fanghi ricchi di radionuclidi naturali. Per questo motivo la concentrazione di radon in aria può assumere nelle terme anche valori molto elevati. D'altra parte il radon può essere facilmente rimosso dall'acqua e quindi anche da quella degli stabilimenti termali.

Per quanto riguarda gli adempimenti dell'esercente e soprattutto lo scadenziario, seguono alcuni brevi cenni alla luce del testo del Decreto.

L'esercente delle attività lavorative di cui alla lettera a) (attività svolte in locali sotterranei) ha 24 mesi di tempo, a partire dal 1.3.2002 (o dall'inizio dell'attività), per misurare la media annuale della concentrazione di radon nei propri luoghi di lavoro; questa non deve superare il suddetto livello di azione. Va sottolineato che questo adempimento si applica in tutto il territorio italiano. Il controllo va effettuato secondo le linee guida che verranno emanate dalla *Commissione per le esposizioni a sorgenti naturali*, i cui compiti sono descritti nell'art. 10-septies, e per tale misurazione l'esercente si avvarrà di organismi riconosciuti o, nelle more dei riconoscimenti, di organismi idoneamente attrezzati (sulle problematiche delle misurazioni di concentrazione di radon e della qualificazione degli organismi che le effettuano si vedano anche i capitoli 4 e 6).

Successivamente alla misura della concentrazione di radon, gli adempimenti sono i seguenti:

- qualora non si sia riscontrato il superamento del livello di azione in alcun ambiente, l'esercente non ha altri obblighi;

- qualora il valore di concentrazione riscontrato in un qualsiasi ambiente è pari all'80% del livello di azione, è richiesta la ripetizione della misura entro 1 anno;
- qualora il livello di azione sia stato superato, è previsto che l'esercente, avvalendosi dell'esperto qualificato (E.Q. in figura 7.1), effettui delle azioni di rimedio per riportare la concentrazione di radon sensibilmente al di sotto del livello di azione; successivamente, per valutare l'efficacia delle azioni di rimedio adottate, dovrà essere eseguita una nuova misurazione della concentrazione di radon. I risultati delle misurazioni e la descrizione delle azioni di rimedio adottate dovranno essere riportati su una relazione tecnica (per tutto ciò l'esercente ha a disposizione un arco di tempo di 3 anni a partire dalla prima misurazione);
- qualora le azioni di rimedio non abbiano riportato la concentrazione di radon al di sotto del livello di azione, è necessario applicare il sistema di radioprotezione ai lavoratori esposti previsto dal Capo VIII, con opportune semplificazioni specificate nel testo;
- qualora il livello di azione sia stato superato, l'esercente non è obbligato a realizzare le azioni di rimedio solo se dimostra che nessun lavoratore è esposto ad una dose efficace superiore a 3 mSv/anno. Questo è il caso, ad esempio, degli ambienti poco frequentati, ossia con un basso fattore di occupazione, quali i magazzini, ecc;
- l'eccezione precedente non si applica agli asili-nido, alle scuole materne e alle scuole dell'obbligo, per i quali vale comunque il limite di 500 Bq/m³. In questo la legislazione italiana si allinea con quella di molti altri Paesi che introducono per le scuole un livello protettivo maggiore rispetto agli altri ambienti di lavoro, in considerazione della presenza di gruppi più sensibili della popolazione quali i bambini.

Per quanto concerne le attività lavorative di cui alla lettera b) gli adempimenti (schematizzati in figura 7.1) sono i medesimi; è necessario, però, che le regioni e le province autonome abbiano precedentemente individuato, sulla base di criteri definiti dalla già citata *Commissione per le esposizioni a sorgenti naturali*, le aree e le caratteristiche edilizie "a rischio" (cioè in corrispondenza delle quali si abbia una maggiore probabilità di avere elevate concentrazioni di radon) e le abbiano pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale. Per tale individuazione il Decreto prevede un arco di tempo di 5 anni a partire dal 31.8.2000 (data di pubblicazione del Decreto). Gli adempimenti di cui sopra dovranno quindi essere attuati solo nei luoghi di lavoro che si trovano nelle aree individuate e/o aventi le caratteristiche individuate.

Per tutte le attività lavorative, qualora si abbia il superamento del livello di azione fissato dalla norma, l'esercente ha l'obbligo di dare comunicazione alle ARPA (o APPA per le province di Trento e Bolzano), agli organi del Servizio Sanitario Nazionale ed alla Direzione Provinciale del Lavoro competenti per territorio. Va sottolineato che prevedere la comunicazione del risultato delle misurazioni ai soli casi in cui viene superato il livello di azione rende molto più onerosa la verifica dell'effettuazione degli adempimenti previsti dal Decreto. Inoltre vengono così a mancare le informazioni per valutare l'impatto sanitario ed economico di un'eventuale riduzione del livello di azione.

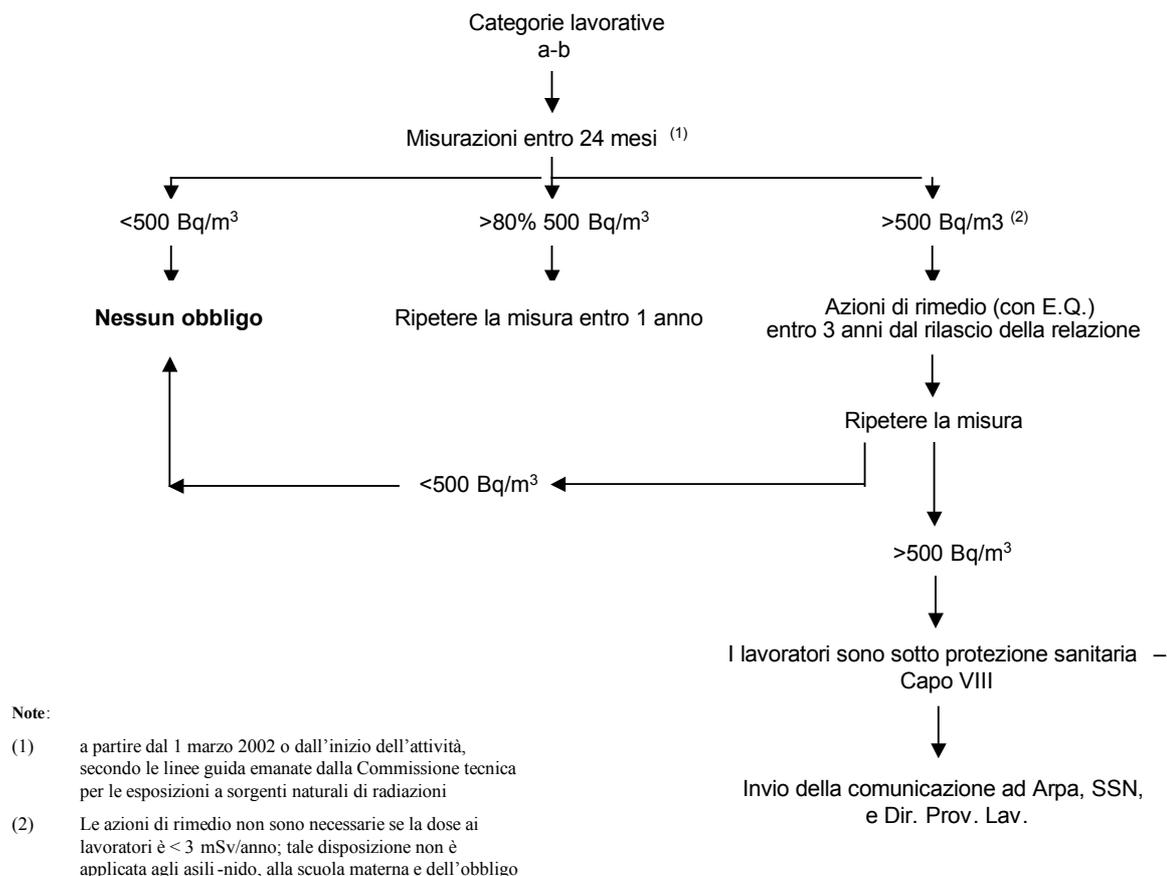


Figura 7.1. Adempimenti previsti dal Decreto Legislativo n. 241/2000 per le attività lavorative di cui alle lettere a) e b)

7.2.3 – Materiali da costruzione

In Italia, a differenza di quanto avviene in alcuni altri Paesi, non esiste una normativa specifica sulla radioattività naturale applicabile per i materiali da costruzione. Infatti, il D.P.R. 246/93, contenente il regolamento attuativo della Direttiva europea 89/106, impone generici requisiti di salubrità, tra i quali è compreso anche un riferimento all'emissione di radiazioni, senza però dare limiti numerici né criteri operativi sulla sua applicazione. Tutto ciò ha destinato questa norma a rimanere una generica lettera di intenti.

7.3 – Obiettivi ed azioni

Obiettivi

L'obiettivo principale del PNR è quello di adeguare l'Italia alla gran parte degli altri Stati che hanno da tempo una normativa complessiva per la protezione dal radon, incluso quello presente nell'aria delle abitazioni, che costituisce la fonte principale di esposizione della popolazione. Dato che l'esposizione al radon in ambiente lavorativo è regolata dal D.L.vo 241/00, ogni altra normativa in materia, in particolare quella sul radon nelle abitazioni, dovrà raccordarsi con essa.

Le norme proposte debbono valere per tutto il territorio nazionale, in particolare per quel che riguarda i livelli di azione, così come avviene per le normative sul radon di tutti gli altri Paesi e per lo stesso D.L.vo 241/00, mentre alcuni elementi operativi possono essere diversi tra le regioni.

Azioni

Abitazioni

Qualsiasi azione di tipo normativo riguardante il radon nelle abitazioni richiede una adeguata conoscenza della situazione esistente. Nel nostro Paese i dati ottenuti dall'*Indagine nazionale sulla esposizione della popolazione alla radioattività naturale nelle abitazioni* hanno permesso di stimare che circa l'1% delle abitazioni italiane (~200 000) presenta livelli di concentrazione di radon superiori a 400 Bq/m³, mentre in circa il 4% di abitazioni (~800 000) viene superato il valore di 200 Bq/m³. Le azioni normative previste dal PNR tengono conto di questi dati, della Raccomandazione 90/143/EURATOM e dell'esperienza di altri Paesi, e consistono in:

- 1) emanazione, su iniziativa del Ministero della Salute, di una normativa per le abitazioni che abbia le seguenti caratteristiche principali:
 - stabilisca un livello di azione raccomandato, preferibilmente di 400 Bq/m³; il valore del livello di azione raccomandato potrà successivamente essere abbassato con Decreto del Ministero della Salute, previa la verifica dello stato delle conoscenze sul rischio (cfr. capitolo 1), la valutazione dell'efficacia delle azioni effettuate nella prima fase, e la valutazione della fattibilità;
 - introduca, eventualmente in una seconda fase, un livello di azione cogente, ad un valore superiore a quello del livello di azione raccomandato;
 - la complessità e l'urgenza delle azioni di rimedio siano legate all'entità del superamento del livello di azione;

- preveda l'erogazione di incentivi economici (anche sotto forma di sgravi fiscali) per la riduzione delle concentrazioni di radon che superano i livelli di azione raccomandati, soprattutto per gli edifici costruiti in zone ad elevato *rischio radon*;
 - predisponga sistemi per un'adeguata informazione della popolazione (cfr. capitolo 6);
 - includa la realizzazione a breve termine di un sistema informativo nazionale finalizzato alla valutazione dell'efficacia degli interventi previsti dalla normativa (cfr. capitolo 2).
- 2) Emanazione di normative tecniche di prevenzione – a carattere prevalentemente cogente o con incentivi economici – da inserire nei regolamenti edilizi sia per la costruzione di nuove abitazioni che per la ristrutturazione di quelli esistenti (analoghe norme tecniche dovrebbero essere preparate anche per gli edifici ad uso non residenziale).

Luoghi di lavoro

- 3) Dare piena attuazione al recente D.L.vo 241/00, sostenendo, a questo scopo, le attività e le indicazioni della *Commissione per le esposizioni a sorgenti naturali*, prevista dal Decreto. Valutare eventuali correttivi che si rendessero necessari alla normativa sui luoghi di lavoro, da introdurre contestualmente alla normativa sul radon nelle abitazioni.

Materiali da costruzione

Le azioni proposte in campo normativo per la riduzione dell'impatto sanitario connesso ai materiali da costruzione sono essenzialmente di natura preventiva (a causa dell'attuale carenza di adeguate e sperimentate tecniche di significativa e duratura riduzione dell'emissione di radon da parte di materiali messi in opera) e consistono essenzialmente in:

- 4) emanazione, su iniziativa del Ministero della Salute, di una normativa che limiti l'uso di materiali da costruzione con elevata concentrazione di radioattività.

Tale normativa dovrebbe basarsi sulle recenti linee guida europee in materia (EC 2000), che stabiliscono criteri per la determinazione di livelli di riferimento per il contenuto di radionuclidi di un materiale. Questa normativa dovrebbe quindi includere la possibilità del divieto d'uso (o di uso condizionato) per i materiali che abbiano una concentrazione di radioattività superiore a prefissati livelli, dando così piena attuazione al D.P.R. 246/93, inapplicato finora proprio per la mancanza di una specificazione di tali livelli.

Inizialmente la norma potrebbe avere carattere di raccomandazione e diventare successivamente cogente, oppure prevedere un livello massimo di concentrazione di radionuclidi nei materiali più alto a carattere cogente ed un livello più basso raccomandato.

I tempi per l'emanazione della normativa sui materiali da costruzione nonché i livelli massimi ammissibili di contenuto di radionuclidi potrebbero essere condizionati dalle posizioni di altri Paesi europei, a causa delle norme sul libero scambio di merci in ambito europeo.

Bibliografia

- Åkerblom G. *Radon Legislation and National Guidelines*. SSI Report 99:18, ISSN 0282-4434; 1999.
- Colgan PA, Gutiérrez J. *National approaches to controlling exposure to radon*. Environ. Int. 22(Suppl.1): S1083:S1092; 1996.
- 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*. G.U.C.E. L 159, 26 giugno 1996.
- 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 G.U.R.I. n. 136 del 13.6.1995 Serie generale.
- 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 G.U. della R.I. n.203 del 31 agosto 2000 - Serie generale, pag.1–235.
- Decreto Legislativo 9 maggio 2001, n.257. *Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 26 maggio 2000, n.241, recante attuazione della direttiva 96/29/Euratom in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti*. G.U. della R.I. n.153 del 4 luglio 2001 - Serie generale, pag.9–25.
- EC (European Commission). *Recommendations for implementation of the Title VII of the European Basic Safety Standards Directive (BSS) concerning significant increase in exposure due to natural radiation sources*. Radiation Protection 88. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 1997.
- EC (European Commission). *Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials*. Radiation Protection 112. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2000.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection). *Principles for limiting exposure of the public to natural sources of radiation*. ICRP Publication no.39. Annals of the ICRP 14(1); 1984.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection). *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication no.60, Annals of the ICRP 21 (1–3); 1991.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection). *Protection against Radon-222 at home and at work*. ICRP Publication no.65, Annals of the ICRP 23(2); 1993.
- Risica S, Bochicchio F, Bolzan C, Nuccetelli C. *La guida tecnica europea sulla radioattività naturale nei materiali da costruzione*. Atti del Congresso Nazionale AIRP, Ancona, 20–22 settembre: 581–590; 2000.

UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). *Sources and Effects of Ionizing Radiation. 2000 Report to the General Assembly, with Annexes.* United Nations, New York, 2000.

Allegato

Stima dei tempi e dei costi necessari per la realizzazione del Piano Nazionale Radon

Gli obiettivi e le azioni di questo PNR, analogamente ai piani nazionali di altri Paesi, si collocano su un piano temporale necessariamente pluriennale. In particolare, come si evince dalle tabelle seguenti, le azioni del PNR possono essere realizzate in gran parte nell'arco di sei anni, anche se in questi casi, data la molteplicità degli interventi e degli organismi coinvolti, non è possibile fare stime molto precise.

Per poter realizzare il PNR nei tempi indicati è ovviamente necessario che venga fornito un adeguato supporto, sia finanziario che organizzativo ed amministrativo.

Nelle tabelle sottostanti vengono riportate – per ogni azione prevista dal PNR – la durata complessiva, l'anno di inizio, le istituzioni ed organismi responsabili dell'azione, ed una stima del costo complessivo e di quello a carico delle Regioni e Province autonome.

Si sottolinea la necessità di iniziare nei tempi indicati la realizzazione del PNR.

La stima del finanziamento complessivo necessario alla realizzazione del PNR per i prossimi 6 anni è di circa 12 500 000 €, di cui circa 7 650 000 € da destinarsi alle Regioni e Province autonome e circa 4 850 000 € da destinarsi a strutture nazionali.

Introduzione						
Capitolo 1 – Valutazione del rischio radon						
Azione (rif. al testo)	Durata complessiva	Inizio previsto	Istituzione / organismo responsabile	Costo stimato totale	Costo stimato per le Regioni	
Istituzione e funzionamento del GCNR (Introduzione)	6 anni	2003	Min. Salute	180 000 € (Nota 1)	0 €	
Indagine epidemiologica su radon e tumore polmonare (1.3.1)	5 anni	2003	ISS	2 000 000 €	0 €	
Valutazione dettagliata del rischio radon (1.3.2)	1 anno (+ eventuali aggiornamenti)	2003	ISS, GCNR(Min. Salute)	0 €	0 €	

Capitolo 2 – Come individuare gli edifici ad elevata concentrazione di radon						
Azione (rif. al testo)	Durata complessiva	Inizio previsto	Istituzione / organismo responsabile	Costo stimato totale	Costo stimato per le Regioni	
Mappatura - I fase (2.3.1)	3 anni	2003	Regioni, GCNR(Min.Salute), ANR(ISS)	3 335 000 €	3 245 000 €	
Mappatura - II fase (2.3.1)	Circa 3 anni	2006	Regioni, GCNR(Min.Salute), ANR(ISS)	3 530 000 €	3 440 000 €	
Indagini in luoghi di lavoro particolari (2.3.2)	Circa 3 anni	2003	Regioni, GCNR(Min.Salute), ANR(ISS), ISPESL	730 000 €	640 000 €	
Istituzionee funzionamento dell'ANR (2.3.3)	6 anni	2003	ISS	510 000 €	100 000 €	

Capitolo 3 – Sorgenti di radon ed altri fattori che influiscono sui livelli di concentrazione di radon negli edifici						
Azione (rif. al testo)	Durata complessiva	Inizio previsto	Istituzione / organismo responsabile	Costo stimato totale	Costo stimato per le Regioni	
Caratterizzazione del suolo rispetto al suo potenziale di esalazione del radon (3.3.1)	4 anni	2003	Regioni GCNR(Min.Salute) APAT(Min.Ambiente)	160 000 €	150 000 €	
Misure di radioattività nei materiali da costruzione (3.3.2)	3 anni	2003	Regioni ANR(ISS) GCNR(Min.Salute)	40 000 €	30 000 €	
Organizzazione di un database nazionale sui materiali da costruzione (3.3.3)	circa 1 anno + successivi aggiornamenti	2003	ANR(ISS) GCNR(Min.Salute)	0 €	0 €	
Correlazione tra dati di concentrazione di radon e le caratteristiche degli edifici (3.3.4)	2 anni e successivi aggiornamenti	2003	ANR(ISS) GCNR(Min.Salute)	0 €	0 €	
Realizzazione di un questionario standardizzato sulle caratteristiche degli edifici oggetto di misure (3.3.5)	1 anno + eventuali aggiornamenti	2003	ANR(ISS) GCNR(Min.Salute)	0 €	0 €	

Capitolo 4 – Come misurare la concentrazione di radon in aria						
Azione (rif. al testo)	Durata complessiva	Inizio previsto	Istituzione / organismo responsabile	Costo stimato totale	Costo stimato per le Regioni	
Realizzazione di linee guida sulle tecniche di misura (4.3.1)	1 anno (+ eventuali aggiornamenti)	2003	GCNR(Min.Salute)	0 €	0 €	
Messa a punto di protocolli di misura (4.3.2)	1 anno (+ eventuali aggiornamenti)	2003	GCNR(Min.Salute)	0 €	0 €	
Determinazione dei fattori di correzione stagionale (4.3.3)	3 anni (+ eventuali aggiornamenti)	2003	ANR(ISS) GCNR(Min.Salute)	0 €	0 €	
Potenziamento e impegno dell'INMRI per calibrazioni ed interconfronti (4.3.4)	6 anni	2003	INMRI(Min.Att.Produuttive)	180 000 €	0 €	
Definizione dei requisiti per la qualificazione delle misure di conc. di radon (4.3.5)	1 anno (+ eventuali aggiornamenti)	2003	GCNR(Min.Salute)	0 €	0 €	
Definizione dei requisiti per la qualificazione delle azioni di rimedio (4.3.5)	1 anno (+ eventuali aggiornamenti)	2004	GCNR(Min.Salute)	0 €	0 €	

Capitolo 5 – Come ridurre e prevenire le concentrazioni elevate di radon negli edifici						
Azione (rif. al testo)	Durata complessiva	Inizio previsto	Istituzione / organismo responsabile	Costo stimato totale	Costo stimato per le Regioni	
Realizzazione e diffusione di guide tecniche (5.3.1)	1 o 2 anni (+ aggiornamenti)	2003	GCNR(Min.Salute)	20 000 €	0 €	
Programma ricerca per azioni di rimedio sui materiali da costruzione (5.3.2)	3 anni	2004	GCNR(Min.Salute) (Nota 2)	100 000 €	0 €	
Qualificazione delle imprese che effettuano azioni di rimedio (5.3.3)	4 anni	2004	GCNR(Min.Salute) + Ente/istituto esperto indicato dal GCNR	120 000 €	0 €	
Programma nazionale per lo studio e le applicazioni delle azioni di rimedio ed organizzazione di un database nazionale (5.3.4)	3 anni	2004	GCNR(Min.Salute) + Ente/istituto esperto indicato dal GCNR (Nota 2) + ANR(Min.Salute) per il database	250 000 €	0 €	
Organizzazione di iniziative che promuovano la volontaristica applicazione delle azioni di rimedio (incentivi economici, informazione, ecc.) (5.3.5)	5 anni	2004	GCNR(Min.Salute) Min. Economia	976 000 €	0 €	

Capitolo 6 – Informazione, formazione, qualificazione						
Azione (rif. al testo)	Durata complessiva	Inizio previsto	Istituzione / organismo responsabile	Costo stimato totale	Costo stimato per le Regioni	
Messa a punto e realizzazione di un programma informativo sul problema radon (6.3.1)	Elaborazione: 1 anno + eventuali aggiornamenti Realizzazione: 5 anni	2003	Gruppo di lavoro collegato al GCNR(Min.Salute) Regioni	100 000 €	50 000 €	
Pubblicazione di un Bollettino Nazionale Radon (6.3.2)	6 anni	2003	ANR(ISS) e GCNR(Min.Salute)	60 000 € (Nota 3)	0 €	
Realizzazione di pagine informative ufficiali sul problema radon (6.3.3)	6 anni	2003	GCNR(Min.Salute)	0 €	0 €	
Istituzione di corsi sulla radioattività nelle Facoltà scientifiche e di Medicina (6.3.4)	5 anni	2004	Min.Salute Min. Istruzione	0 €	0 €	
Istituzione di un master di I e II livello sulla qualità dell'aria indoor con una parte dedicata al radon (6.3.5)	5 anni	2004	Min.Salute Min. Istruzione	100 000 €	0 €	
Istituzione di corsi di formazione e aggiornamento per gli operatori (6.3.6)	6 anni	2003	Enti nazionali vari GCNR(Min.Salute)	120 000 €	0 €	

Capitolo 7 – Normative						
Azione (rif. al testo)	Durata complessiva	Inizio previsto	Istituzione / organismo responsabile	Costo stimato totale	Costo stimato per le Regioni	
Emanazione di una normativa specifica per le abitazioni (7.3.1)	2 o 3 anni	2003	Min.Salute (e GGCNR)	0 €	0 €	
Emanazione di norme tecniche di prevenzione per la costruzione di nuovi edifici o per la ristrutturazione di quelli esistenti (7.3.2)	1 anno + eventuali aggiornamenti	2003	GCNR(Min.Salute) ed amministrazioni responsabili dei regolamenti edilizi (Regioni e Comuni)	0 €	0 €	
Valutazione di eventuali correttivi necessari alla normativa sulla radioattività naturale nei luoghi di lavoro (7.3.3)	1 o 2 anni	2003	Min.Salute (e GCNR)	0 €	0 €	
Emanazione di una normativa che limiti l'uso di materiali da costruzione con elevata concentrazione di radioattività (7.3.4)	2 o 3 anni	2003	Min.Salute (e GCNR)	0 €	0 €	

Note alle tabelle

Acronimi usati

ANR = Archivio Nazionale Radon (cfr. azione 2.3.3)

GCNR = Gruppo di Coordinamento Nazionale Radon (cfr. Introduzione)

INMRI = Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti

ISS = Istituto Superiore di Sanità

Nota 1

Il costo per il Min.Salute si annulla, a parte i costi di segreteria, se i rimborsi spese dei componenti del GCNR sono a carico degli enti o amministrazioni di appartenenza

Nota 2

Il Ministero della Salute o il Ministero dell'Istruzione, università e ricerca scientifica dovrebbe fare un bando, i cui termini tecnici vanno definiti dal GCNR, per ricerche in materia

Nota 3

Potrebbe essere realizzato a costo zero come allegato al bollettino dell'Istituto Superiore di Sanità.

Appendice 1

Caratteristiche fisiche, sorgenti e meccanismi di ingresso del radon negli ambienti chiusi

Il radon è un elemento radioattivo naturale appartenente alla classe dei gas nobili ($Z=86$). I due principali isotopi sono il ^{222}Rn (chiamato generalmente “radon”, appartenente alla serie del ^{238}U , e maggiormente diffuso negli ambienti chiusi) e il ^{220}Rn (chiamato generalmente “toron” ed appartenente alla serie del ^{232}Th). Ogni isotopo del radon viene prodotto dal decadimento α di un isotopo del radio, e decade α a sua volta. Le due serie (o catene) di decadimento principali, cioè quelle dell' ^{238}U e del ^{232}Th , sono riportate nelle figure A1.1 e A1.2.

La presenza nell'ambiente dei vari isotopi aumenta con la vita media e l'abbondanza dei capostipite delle serie cui appartengono. Il capostipite del toron, il ^{232}Th , è presente in natura in quantità simile a quella dell' ^{238}U , capostipite del radon; però il tempo di dimezzamento del toron (pari a 55 s) è molto più breve di quello del radon (pari a 3.82 giorni). Di conseguenza il toron si può spostare a distanze dalla sorgente più piccole rispetto al radon, così che la sua concentrazione negli ambienti chiusi è generalmente attribuibile solo ai materiali da costruzione delle pareti, mentre il radon può provenire anche dal suolo, che è di solito la sua sorgente principale.

La produzione di ^{222}Rn e ^{220}Rn nei minerali dipende, rispettivamente, dalla concentrazione di attività degli isotopi del radio ^{226}Ra e ^{228}Ra , che in media è qualche decina di Bq/kg: generalmente i graniti hanno alta concentrazione di radio, i basalti bassa, e infine le rocce sedimentarie e metamorfiche valori intermedi (UNSCEAR 2000).

Solo una piccola frazione del radon riesce ad uscire dal minerale in cui ha origine; normalmente viene trattenuto nel granello di minerale finché decade a sua volta. Il rilascio dal granello è legato a due fenomeni: il primo consiste nel rinculo dovuto all'emissione da parte del radio di una particella α con energia 4.78 MeV, che fornisce al nucleo di radon un'energia pari a 86 keV, sufficiente a lasciare un granello di roccia e passare nello spazio interstiziale se l'atomo di radio è situato in prossimità della superficie del granello. La seconda possibilità è che il radon attraversi lo spazio interstiziale ed entri in un granello adiacente: in questo caso la regione danneggiata al passaggio del radon può essere corrosa dall'acqua ed il gas entrare in soluzione.

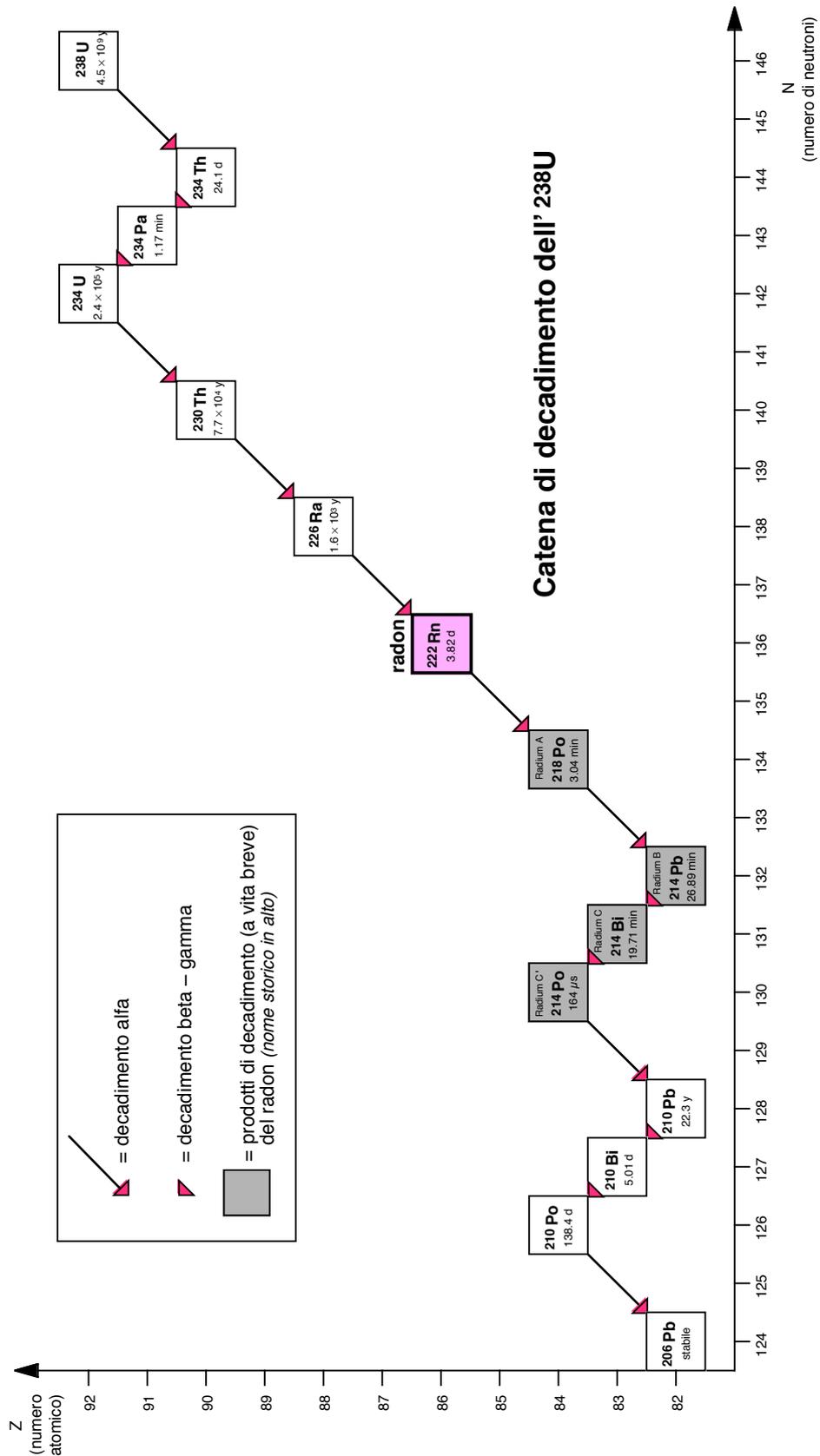


Figura A1.1. Schema della catena di decadimento dell' ^{238}U (adattato da ECA 1995). Per ogni radionuclide è riportato il simbolo ed il tempo di dimezzamento.

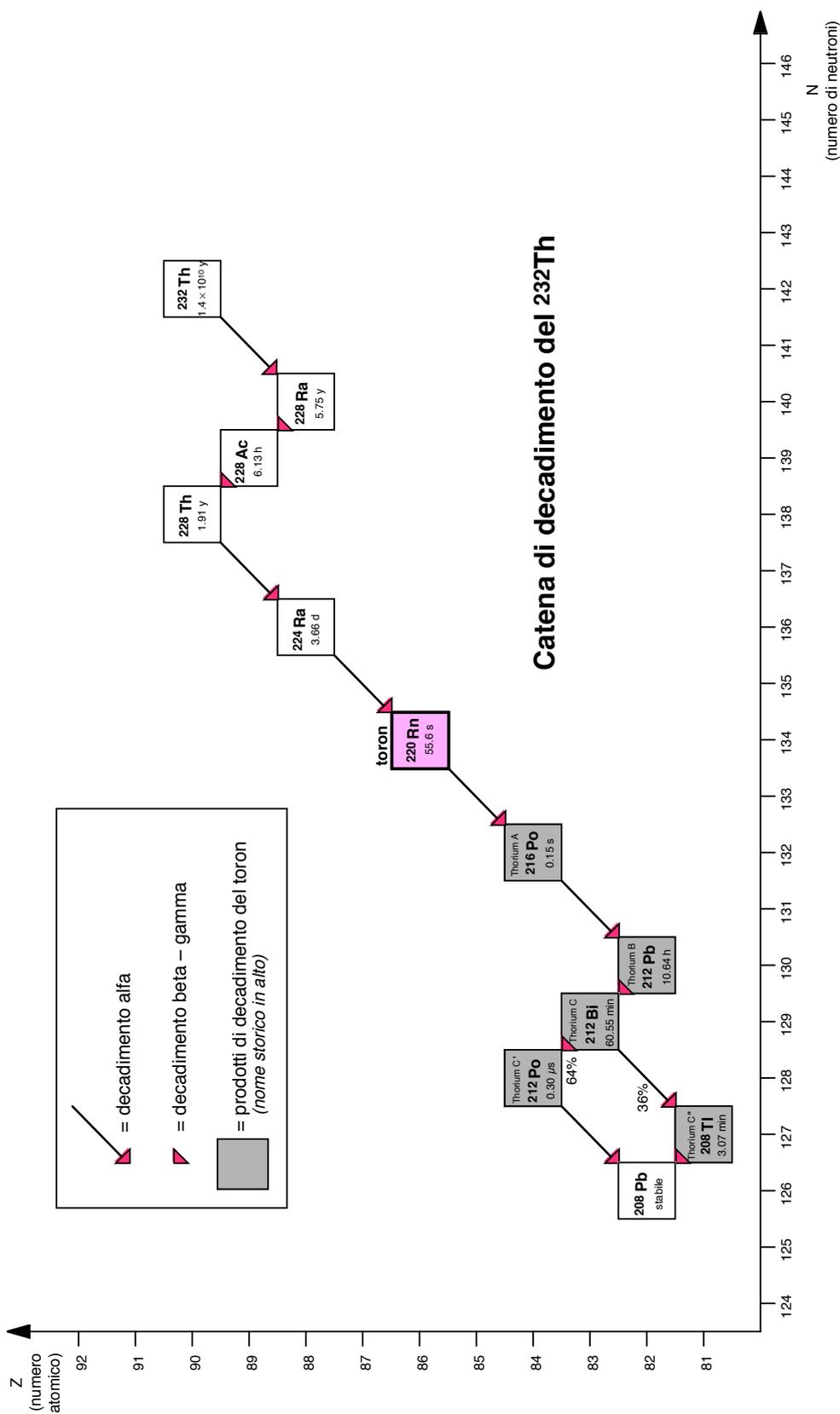


Figura A1.2. Schema della catena di decadimenti del ^{232}Th (adattato da ECA 1995). Per ogni radionuclide è riportato il simbolo ed il tempo di dimezzamento.

Una volta rilasciato dalla roccia, il gas può spostarsi per diffusione nei fluidi presenti negli spazi interstiziali, oppure per convezione, a causa dei gradienti di pressione presenti nel suolo. La diffusione nel suolo e nelle rocce è controllata dalla porosità e dalla connessione fra i pori; il trasporto forzato dipende invece dalle proprietà geofisiche e geochemiche della regione, per esempio dalla presenza di zone calde sotterranee (vulcani) e di faglie, ma un contributo non trascurabile è dovuto anche alle fluttuazioni di pressione nel suolo legate al tempo atmosferico: quest'ultimo fenomeno spiega l'andamento stagionale e le variazioni giorno-notte della concentrazione di radon all'aperto e, insieme ad altri fattori quali la diversa ventilazione dei locali, anche negli ambienti chiusi.

La sorgente principale del radon è il suolo, soprattutto nei casi di concentrazioni molto elevate (molte centinaia di Bq/m³ o più); tuttavia in diversi paesi, tra cui l'Italia, alcuni materiali da costruzione di origine sia naturale che artificiale si sono rivelati importanti sorgenti di radon e, talvolta, anche di toron (cfr. capitolo 3). Inoltre anche l'acqua, se proveniente da sorgenti profonde in terreni ricchi di radon, può essere una sorgente rilevante. La concentrazione di radon all'aperto è molto bassa, tipicamente 10 Bq/m³ (UNSCEAR 2000), e quindi contribuisce poco al livello di radon indoor, nei confronti del quali ha semmai un effetto di diluizione.

Il meccanismo di base che trasporta il radon dal suolo negli ambienti chiusi è la differenza di pressione che tra interno ed esterno degli edifici. Generalmente l'interno di un edificio è in depressione rispetto all'esterno per cui si ha un risucchio di aria dal suolo attraverso le fessurazioni e le aperture presenti nella struttura dell'edificio. La differenza di pressione tra interno ed esterno è causata da due fenomeni principali: l'effetto camino e l'effetto vento.

L'*effetto camino* (cfr. figura A1.3) è dovuto alla differenza di temperatura tra interno ed esterno dell'edificio. La differenza di pressione ΔP che ne deriva è data dalla seguente formula (Nazaroff e Nero 1988, Woolliscroft 1992):

$$\Delta P = \alpha \left(\frac{1}{t_e + 273} - \frac{1}{t_i + 273} \right) \quad (1)$$

dove t_e e t_i sono rispettivamente la temperatura esterna ed interna (esprese in °C) ed α una costante pari a 3462 Pa °K.



Figura A1.3. Meccanismi di ingresso: effetto camino

L'effetto vento (cfr. figura A1.4) è dovuto alla differenza di velocità dell'aria che esiste tra esterno ed interno dell'edificio. La pressione esercitata su una parete è data dalla formula (Nazaroff e Nero 1988, Woolliscroft 1992):

$$P = P_0 + C_p \left(\frac{1}{2} \rho v^2 \right) \quad (2)$$

in cui P_0 è la pressione statica nel vento, v la velocità del vento, ρ è la densità dell'aria e C_p il coefficiente di pressione. C_p si ottiene attraverso esperimenti condotti in galleria del vento e dipende da numerosi fattori quali direzione del vento, schermi, aperture verso l'esterno, ecc.

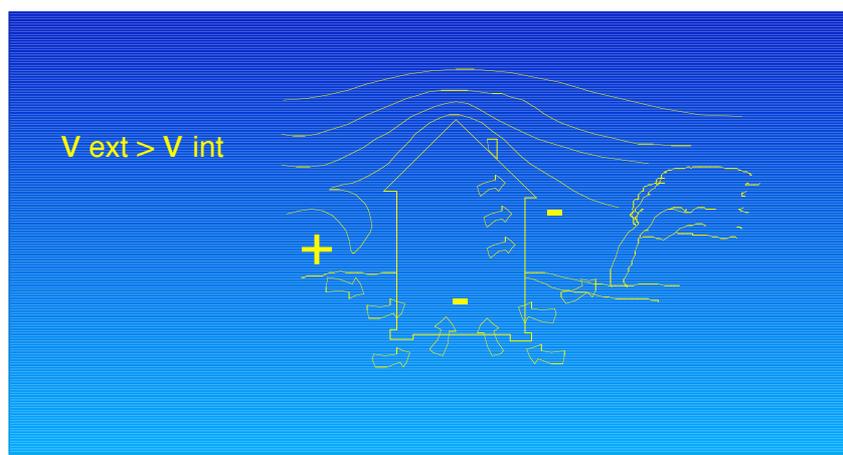


Figura A1.4. Meccanismi di ingresso: effetto vento

Per una differenza di temperatura tra interno ed esterno di 10 °C e con una velocità del vento di 5 m/s si ha un $\Delta P = - 5$ Pa. Questa differenza di pressione, anche se minima, è sufficiente ad aspirare il radon dall'esterno, e soprattutto dal suolo, verso l'interno dell'edificio.

La dinamica dell'ingresso del radon è influenzata anche da altri parametri, come le condizioni meteorologiche, le precipitazioni, la pressione barometrica e le loro variazioni, e soprattutto dalla struttura stessa dell'edificio (cfr. Appendice 2).

La tipologia edilizia e la qualità della edificazione assumono un ruolo fondamentale nell'ingresso del radon, che è favorito da fessurazioni nei solai, dalla mancanza di sigillatura dei punti in cui le tubazioni di servizio entrano nell'edificio, ecc. Va sottolineato che le tecniche di costruzione prefabbricate sembrano essere più critiche, a questo livello, a causa della presenza di un gran numero di giunti strutturali e non, che costituiscono possibili vie preferenziali di ingresso del gas. Il calcolo della ventilazione e della pressione interna di un edificio è oggetto di continui studi da parte delle istituzioni che sono coinvolte nella riduzione della concentrazione del radon e di altri inquinanti indoors. Fra i codici di calcolo messi a punto ricordiamo il codice BREVENT (Hartless 1990), realizzato dal Building Research Establishment inglese.

Bibliografia

- ECA (European Collaborative Action “Indoor air quality & its impact on man”). *Radon in indoor air*. Report no.15. EUR 16123 EN, Luxembourg. Office for official publication of European Communities; 1995.
- Hartless RP. *BREVENT - A ventilation model*. CIB W67 Symposium on Energy, Moisture, and Climate in Buildings, 1990.
- Nazaroff WW, Nero AV Eds. *Radon and its Decay Products in Indoor Air*. Wiley & Sons, ISBN 0-471-62810-7: 92–106; 1988.
- UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). *Sources and Effects of Ionizing Radiation. 2000 Report to the General Assembly, with Annexes*. United Nations, New York, 2000.
- Woolliscroft M. *The principle of radon remediation and protection in UK dwellings*. Radiat. Prot. Dosim. 42(3): 211–216; 1992.

Appendice 2

Rassegna degli interventi per ridurre o prevenire livelli elevati di concentrazione di radon

A2.1 – Introduzione

La conoscenza delle sorgenti del radon indoors è essenziale per poter intraprendere eventuali azioni di rimedio. Come si è visto nel capitolo 3 e in appendice 1, il suolo, i materiali da costruzione, e la presenza di falde acquifere contribuiscono in proporzioni diverse alla concentrazione che si rinviene negli ambienti chiusi. Generalmente quando si è in presenza di concentrazioni elevate il suolo costituisce la sorgente più importante: la sua natura geologica, la granulometria, la permeabilità, la presenza di faglie e di falde acquifere sono fattori importanti. In alcune circostanze, poi, i materiali da costruzione di origine locale, in particolare rocce di natura piroclastica, come tufi e pozzolane, tipici del Lazio e della Campania, possono portare un contributo considerevole (cfr. capitolo 3). Per questo motivo in questa appendice verranno trattati più in dettaglio i sistemi per ridurre e prevenire i valori elevati di concentrazione di radon provenienti dal suolo, che per la stessa ragione sono i più studiati.

A2.2 – Metodologie delle azioni di rimedio

Le azioni di rimedio si possono suddividere in tre principali metodologie:

- 1) rimozione del radon e/o dei suoi prodotti di decadimento dall'aria interna;
- 2) ventilazione/miscelazione con aria esterna;
- 3) riduzione dell'ingresso di radon.

Il parametro con cui si valuta l'efficacia delle azioni di rimedio è rappresentato dal fattore di riduzione (FR), ossia dal rapporto tra la concentrazione di radon prima e dopo l'intervento. Buoni fattori di riduzione si hanno a partire da un valore di circa 6–7. Ovviamente il fattore di riduzione non è l'unico parametro da tenere presente. I costi di installazione, di esercizio e manutenzione, l'applicabilità di una tecnica, l'accettabilità e il grado di disturbo per gli occupanti sono tutti fattori da tener ben presenti nella selezione di un metodo per abbattere la concentrazione di

radon. Tra gli altri grande importanza riveste il possibile impatto del metodo scelto con il complesso della qualità dell'aria indoor in genere. Ad esempio, nella scelta di una determinata azione di rimedio, potrebbe essere più opportuno adottare un metodo magari meno efficace o poco più costoso di un altro ottenendo però oltre a una sufficiente riduzione della concentrazione di radon anche una migliore qualità dell'ambiente indoor. Ricordiamo che l'Agenzia per la Protezione Ambientale degli Stati Uniti d'America (US-EPA) ha classificato la qualità dell'aria indoor tra le prime cinque priorità ambientali del loro Paese.

Nel seguito esamineremo brevemente le caratteristiche di ciascuna delle tre metodologie di intervento mitigativo.

A2.2.1 – Rimozione del radon e/o dei suoi prodotti di decadimento dall'aria interna

Con queste tecniche si agisce direttamente sull'aria presente all'interno degli edifici introducendovi delle speciali apparecchiature – quali precipitatori elettrostatici, generatori di ioni, ventilatori e sistemi di filtrazione – che sono in grado di ridurre la concentrazione del radon e/o dei suoi prodotti di decadimento, che sono i principali responsabili degli effetti sanitari.

Nei precipitatori elettrostatici, i prodotti di decadimento che sono sotto forma di ioni carichi positivamente, sono sottoposti ad un campo elettrico e possono essere raccolti da collettori ai quali è applicata una tensione negativa dell'ordine di qualche migliaio di Volt.

Sullo stesso principio si basano i generatori di ioni, che producono ioni negativi in aria sui quali, per effetto dell'attrazione elettrica, si attaccano i prodotti di decadimento caricati positivamente aumentandone la deposizione sulle superfici interne dell'edificio (effetto *plate-out*) e quindi riducendone la presenza in aria.

Anche il semplice aumento della ventilazione meccanica, aumentando la movimentazione dell'aria, aumenta la deposizione dei prodotti di decadimento del radon sulle superfici riducendone la concentrazione in aria.

Si può effettuare anche la filtrazione diretta dell'aria sia con filtri, in grado di trattenere il particolato atmosferico sul quale è attaccata una frazione dei prodotti di decadimento, sia con materiali tipo carbone attivo per il quale oltre alla filtrazione si ha un parziale adsorbimento del gas radon e dei suoi prodotti di decadimento.

In figura A2.1 è riportato lo schema di funzionamento di un impianto di filtrazione dell'aria con carbone attivo.

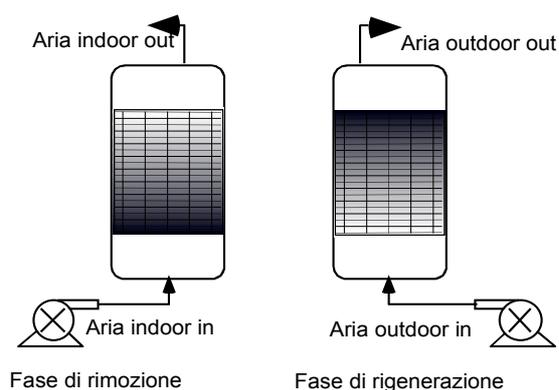


Figura A2.1 - Schema di un impianto di filtrazione dell'aria su carbone attivo

I fattori di riduzione che si ottengono utilizzando questi metodi sono relativamente bassi (qualche unità). Inoltre occorre tenere presente che molti di questi sistemi alterano la composizione dell'aria e di conseguenza il normale comportamento del radon e dei suoi prodotti di decadimento, per cui ad una certa riduzione della concentrazione di radon non corrisponde una analoga riduzione della dose efficace e quindi del rischio. Per questi motivi tali sistemi sono scarsamente applicati nelle abitazioni con elevate concentrazioni di radon. Tuttavia un'area d'impiego si può individuare in quegli edifici dove le concentrazioni superano di poco i livelli di azione oppure in ambienti dove esista già un impianto di ventilazione che può essere facilmente ed economicamente adattato allo scopo. Pertanto tali tecniche potrebbero trovare un tipico campo di applicazione negli ambienti di lavoro.

A2.2.2 – Ventilazione / miscelazione con aria esterna

Come abbiamo visto nella parte riguardante le sorgenti e i meccanismi di ingresso, il radon è generalmente rimosso per effetto del ricambio di aria dei locali. L'aumento del ricambio può essere prodotto aumentando la ventilazione naturale dell'edificio o installando (o modificando se già esistente) un sistema di ventilazione forzata. Nel primo caso si possono realizzare delle aperture regolabili sugli infissi delle finestre oppure dei veri e propri fori alle pareti con regolatori di flusso di aria. A volte anche la semplice rimozione delle sigillature degli infissi delle finestre può produrre un significativo aumento del ricambio.

Supponendo un ingresso di radon costante nel tempo il fattore di riduzione è pari a:

$$FR = \frac{C_1}{C_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

dove C_1 e C_2 sono le concentrazioni di radon e λ_1 e λ_2 e sono i ricambi di aria orari rispettivamente in assenza ed in presenza dell'azione di rimedio. Nel caso, per esempio, di un ricambio naturale di aria (in assenza dell'azione di rimedio) prossimo a zero (λ_1 molto piccolo)

un piccolo incremento della ventilazione può produrre una notevole riduzione della concentrazione di radon. Tale eventualità si riscontra in edifici ben sigillati. Generalmente, invece, la ventilazione naturale di un edificio varia da circa 0.3 a 2 ricambi/ora. Per ottenere sufficienti riduzioni della concentrazione di radon, occorre, in questi casi, incrementare notevolmente la ventilazione con possibili problemi di conservazione di energia e di accettabilità.

Anche in questo caso il metodo è da prendere in considerazione in quelle situazioni, diffuse soprattutto nei luoghi di lavoro, in cui esiste già un impianto di ventilazione che deve essere opportunamente adeguato. Applicazioni di questo sistema si possono più raramente riscontrare anche in abitazioni. In entrambi i casi sono da prevedere eventuali scambiatori per il recupero del calore dell'aria in uscita. Infine è da sottolineare che tali sistemi, anche se meno efficienti di altri in relazione all'abbattimento del radon, offrono la possibilità aggiuntiva di migliorare la qualità dell'aria in genere ed il comfort abitativo o di lavoro. In alcuni casi, per esempio quando i materiali da costruzione sono la principale sorgente di radon, tale tecnica rappresenta una valida alternativa alla rimozione del materiale o alla installazione di barriere ventilate sulle superfici dell'edificio.

A2.2.3 – Riduzione dell'ingresso di radon

Come si è già detto, nella maggior parte dei casi in cui le concentrazioni di radon raggiungono valori molto elevati il contributo principale proviene dal suolo. Esiste quindi una tipologia di azioni di rimedio che si basa su tecniche che contrastano e riducono l'ingresso del radon dal suolo verso l'interno dell'edificio. Ovviamente tali tecniche sono applicabili essenzialmente ad unità immobiliari che si estendono al piano terra o che hanno dei locali a contatto diretto con il terreno.

Sigillatura delle vie di ingresso: suolo

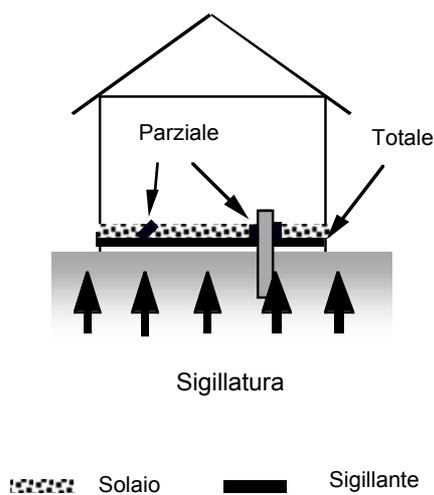
La sigillatura delle vie di ingresso dal suolo può essere parziale o totale (cfr. figura A2.2). La sigillatura parziale è a carico delle singole fessurazioni visibili dei solai, delle giunzioni pavimento parete, nonché dei passaggi dei servizi (idrico, elettrico ecc.). Spesso le fessurazioni non sono facilmente identificabili e talvolta non raggiungibili.

La sigillatura “totale” è a carico di tutta la superficie del piano di calpestio ed eventualmente delle pareti in contatto diretto con il terreno. Esistono sul mercato prodotti appositamente testati con bassissima o trascurabile permeabilità al radon come polietilene, o materiali accoppiati in strati multipli con alluminio o PVC. In alcuni casi queste barriere sono di tipo rigido e sono prodotte in modo tale da formare un'intercapedine di qualche millimetro tra il solaio (o le pareti) e la ricopertura (pavimenti o intonaci). Un sistema di ventilazione naturale o forzata può essere applicato per aspirare il radon presente nelle intercapedini realizzate.

La sigillatura totale è un sistema utile anche nel trattamento contro l'umidità o contro la risalita di altri gas naturali nocivi come, ad esempio, il metano.

Deve essere tenuto presente che i naturali assestamenti strutturali possono aprire nuove fessurazioni e peggiorare lo stato di quelle sottoposte ad intervento.

Figura A2.2. Sigillatura delle vie di ingresso dal suolo



Sigillatura delle vie di ingresso: pareti

Un cenno a parte meritano i casi in cui un notevole contributo è dato dai materiali da costruzione. Quelli di origine vulcanica (tufi e pozzolane) utilizzati in alcune regioni dell'Italia centrale rappresentano, come già detto, una sorgente potenziale di radon maggiore rispetto ad altri materiali di uso più comune come mattoni pieni o forati, ecc. Inoltre, l'emissione di radon ha una grande variabilità, anche nell'ambito di uno stesso tipo di materiale.

Si può ottenere una riduzione della concentrazione di radon applicando dei ricoprenti sintetici. L'uso di materiali polivinilici o resine epossidiche, ad esempio, può consentire una riduzione della emissione di un ordine di grandezza, previo comunque un necessario ed accurato lavoro di preparazione della base.

Per ciò che riguarda i rivestimenti sono stati condotti studi negli Stati Uniti (US-EPA 1988) che dimostrano come:

- le normali tinte murali (a base di oli) possono, in almeno 3 strati, abbattere di un ordine di grandezza l'emissione;
- le carte da parati possono offrire una riduzione fino al 30%;

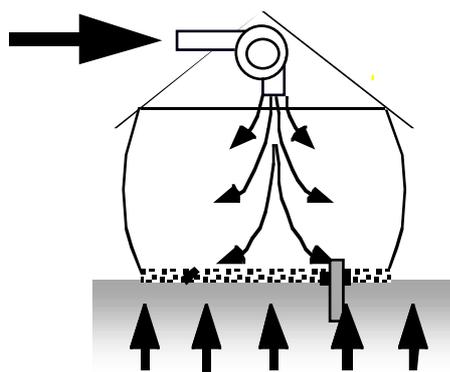
- alcuni intonaci possono presentare concentrazioni di radon non trascurabili dovute agli elementi costituenti.

Queste tecniche possono ciascuna, caso per caso, contribuire a ridurre la concentrazione di radon, tuttavia non hanno avuto una larga diffusione, oltre che per la scarsa efficacia, per ragioni economiche, per problemi di possibile tossicità dei prodotti impiegati e di incertezza riguardo alla durata nel tempo.

Pressurizzazione dell'edificio

La tecnica consiste nel ridurre, ed eventualmente invertire, la differenza di pressione tra l'interno dell'edificio e l'esterno, tramite l'introduzione forzata di aria che mette "in pressione" l'edificio stesso, riducendo la causa che genera l'ingresso del radon. Questo sistema consente di ottenere un effetto combinato di miscelazione con l'aria esterna povera di radon (cfr. figura A2.3).

Figura A2.3. Pressurizzazione dell'edificio.



Pressurizzazione dell'edificio

Sono sufficienti pochi Pascal di sovrappressione rispetto all'esterno (o al suolo), raggiunti in tutti gli ambienti, per contrastare l'ingresso del radon. Una condizione per l'applicazione di questa tecnica è la realizzazione di una buona "tenuta" dell'edificio. Infatti, il raggiungimento della sovrappressione è condizionato dal fatto che non vi siano grosse vie di comunicazione con l'esterno. Ciò implica che si dovranno, in taluni casi, modificare anche le abitudini di vita degli occupanti come, ad esempio, diminuire il tempo in cui le finestre sono tenute aperte. Questo sistema consente tuttavia anche il miglioramento della qualità dell'aria per effetto di un maggior ricambio complessivo dell'aria stessa.

La sovrappressione degli edifici presenta dunque alcuni possibili inconvenienti: oltre alla difficoltà di realizzare una pressione positiva, causa la scarsa "tenuta" dei fabbricati nel loro complesso e al

In entrambi i casi, immissione o aspirazione di aria, occorre porre attenzione alle condizioni realizzate in termini di portate, pressioni e scambio con aria povera di radon: in alcuni casi l'aspirazione potrebbe risucchiare radon dal suolo, mentre l'immissione potrebbe spingere radon all'interno dell'edificio.

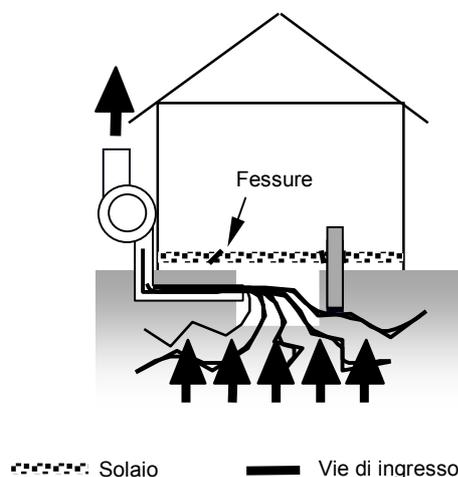
La ventilazione del vespaio/fondamenta è un metodo di ottima efficacia perché agisce direttamente sulla sorgente principale di radon cioè il suolo. Ove praticabile, è uno dei metodi preferiti per la semplicità di installazione delle apparecchiature.

Questo metodo può essere facilmente introdotto nelle case di futura costruzione dove la predisposizione del sistema di ventilazione ha dei bassissimi costi progettuali e di installazione. In tali casi è da prevedere anche uno strato di materiale impermeabile al radon su tutte le superfici di contatto tra l'edificio ed il suolo e la cura della sigillatura di tutte le possibili vie di ingresso.

Ventilazione/depressurizzazione del suolo (radon sump)

Questa tecnica (NCRP 1989) prevede la realizzazione di un pozzetto (*sump*) di circa 0.2–0.5 m³, al di sotto o in vicinanza dell'edificio nel quale si deve operare l'azione di rimedio (cfr. figura A2.5).

Figura A2.5. Depressurizzazione del suolo



Nel pozzetto si produce, tramite ventilatori, una depressione, e di conseguenza, il radon presente nel suolo circostante è “risucchiato” verso l'esterno e quindi deviato dal suo percorso verso l'interno dell'edificio.

La depressurizzazione del suolo è adatta nel caso di edifici ad elevata concentrazione di radon ove, talvolta, rappresenta l'unica soluzione. L'efficacia del sistema è tale da renderlo, ove praticabile, uno dei primi sistemi da prendere in considerazione.

La predisposizione di uno o più pozzetti può essere un utile metodo nel caso di nuove costruzioni, unitamente all'applicazione di sistemi di sigillatura totale.

A2.3 – Applicazione delle azioni di rimedio in altri Paesi

Alcuni Paesi, tra i quali in modo più diffuso gli Stati Uniti, il Regno Unito, la Svezia e la Svizzera, hanno studiato in dettaglio le azioni di rimedio adeguate alla propria tipologia edilizia. A titolo di esempio, in Tabella A2.1 sono riportati i risultati (in parte espressi in termini di fattori di riduzione F.R.) relativi ad alcune azioni di rimedio condotte nel Regno Unito ed in Svezia.

Tabella A2.1. Risultati dell'applicazione di alcune azioni di rimedio in abitazioni inglesi e svedesi.

	Regno Unito (Miles 1993)			Svezia (Clavensj e Akerblom 1994)		
	N° di abitazioni	F.R. Valor medio	F.R. Intervallo	N° di abitazioni	Mediana pre-azione (Bq/m ³)	Mediana post-azione (Bq/m ³)
Sigillatura parziale	40	2.3	1 – 32	26	1300	300
Sigillatura totale	21	2.2	1 – 6.5			
Ventilazione				52	925	400
Pressurizzazione	70	3.2	1 – 24	480	950	225
Incremento ventilazione naturale del vespaio	46	3.1	1 – 17	8	1700	580
Ventilazione forzata del vespaio	14	4.0	1 – 17	5	2525	600
Depressurizzazione del suolo	159	16	1 – 110	25	1900	225
				52	2500	200
				9	2225	75

La maggior parte delle azioni riguarda situazioni in cui il suolo è la principale sorgente di radon e di conseguenza i sistemi applicati sono stati generalmente indirizzati ad evitare l'ingresso del radon dal suolo. Dall'esame della tabella si osserva che le tecniche che fanno uso di ventilazione o aspirazione forniscono risultati generalmente migliori rispetto ai sistemi di sigillatura che in genere accompagna le altre azioni e non è utilizzata da sola.

Da queste esperienze emerge, inoltre, che ogni edificio ha una sua situazione peculiare e molto importante risulta essere la preliminare caratterizzazione dell'edificio stesso. Sono stati infatti messi a punto diversi metodi di indagine preliminari per la scelta delle migliori tecniche di bonifica da adottare (Scivyer 1993, US-EPA 1994).

A2.4 – Applicazione delle azioni di rimedio ad alcuni edifici italiani

Alcuni interventi in Friuli–Venezia Giulia

Alcune tecniche di rimedio sono state applicate a due edifici italiani del Friuli-Venezia Giulia destinati ad uso abitativo (Torri 1998). Le tecniche applicate sono state:

- depressurizzazione del suolo (*sump*);
- depressurizzazione del vespaio (estrazione forzata con bocchette di aerazione chiuse);
- ventilazione forzata delle fondazioni (estrazione forzata con bocchette di aerazione aperte).

Il suolo su cui sono costruiti gli edifici ha un contenuto di uranio e radio relativamente basso, ma un'elevata permeabilità, dovuta alla presenza di formazioni ghiaiose, che consente una notevole diffusione del radon nel suolo stesso. Gli edifici sono entrambi a due piani, e le abitazioni affette da elevate concentrazioni di radon si sviluppano solo al piano terra. Al di sotto delle abitazioni sono presenti dei vespai alti circa 40 cm, senza alcun tipo di ventilazione (assenza di aperture) e riempiti di ghiaia e terra. Nelle abitazioni è stato installato un unico impianto che ha consentito l'applicazione comparata delle tre diverse azioni di rimedio su entrambi gli edifici.

Un ventilatore, che può funzionare in mandata o in ripresa, è stato collegato sia al vespaio, sia ad un pozzetto appositamente installato in posizione esterna adiacente all'edificio. Un sistema di valvole consente il collegamento del ventilatore con il vespaio o con il pozzetto. Sono state realizzate delle aperture nel vespaio (bocchette di areazione) del diametro di 10 cm.

In tabella A2.2 sono riportati alcuni risultati, espressi in termini di fattori di riduzione e di concentrazione di radon, ottenuta a seguito dell'attivazione dell'azione di rimedio nelle due abitazioni. Le concentrazioni medie annuali misurate, in assenza delle azioni di rimedio, erano di 1410 Bq/m³ per l'abitazione FV-BE 001 e di 2133 Bq/m³ per l'abitazione FV-PA 002.

Tabella A2.2. Fattori di riduzione per diverse azioni di rimedio.
In parentesi le concentrazioni di radon durante l'azione di rimedio (Bq/m³)

<i>Codice edificio</i>	<i>FATTORI DI RIDUZIONE</i>	
	<i>FV-BE 001</i>	<i>FV-PA 002</i>
Depressurizzazione del suolo	39 (23)	20 (28)
Depressurizzazione del vespaio	24 (20)	13 (21)
Ventilazione del vespaio	20 (24)	12 (26)

I risultati mostrano che, per queste abitazioni, tutte le azioni applicate potevano singolarmente risolvere il problema della riduzione della concentrazione di radon.

Alcuni interventi in Alto Adige

In tre edifici della Provincia Autonoma di Bolzano, fra cui un asilo, con concentrazioni di radon fra 1000 e 7000 Bq/m³, sono stati realizzati sistemi con aspirazione dell'aria dal suolo ottenendo una netta riduzione delle concentrazioni di radon fino ad un valore inferiore a 400 Bq/m³ nell'intero edificio.

In un comune con elevate concentrazioni di radon, si trova un complesso di case a schiera realizzate circa nel 1985. In una delle case (circa 250 m²) al piano interrato si trova una sala riunioni (circa 100 m²). D'inverno nella sala riunioni le misure hanno evidenziato concentrazioni di radon intorno ai 12000 Bq/m³, d'estate scendono a circa 3000 Bq/m³. Al piano terra il valore medio annuale è di circa 700 Bq/m³, d'inverno si arriva a punte di 2000 Bq/m³. Per questo edificio si è applicato il sistema della pressurizzazione. Allo scopo tutte le porte d'accesso alla sala sono state munite di guarnizioni in gomma per aumentarne la tenuta e nella finestra è stato montato un piccolo ventilatore da 13 W che immette aria esterna nella sala, creando una minima sovrappressione (pochi Pascal) rispetto all'esterno. Durante il periodo d'osservazione (estate), da una concentrazione media di radon di circa 3000 Bq/m³, si è passati ad un valore medio di circa 100 Bq/m³. D'inverno la concentrazione di radon si riduce a circa 1000 Bq/m³. Anche ai piani superiori la concentrazione di radon è scesa sotto i 400 Bq/m³, a conferma che la sala riunioni è il principale punto d'ingresso del radon.

Un caso particolarmente interessante riguarda un'abitazione nella provincia di Bolzano, in quanto si tratta di un esempio di trasporto del gas radon da strati molto profondi del terreno. La zona è da considerarsi a medio rischio radon e il terreno sul quale è stata costruita la casa in questione, nella parte superficiale è costituito da roccia calcarea molto frammentata, con grosse e profonde crepe dalle quali fuoriesce aria fredda. Il fenomeno è anche chiamato "buchi di ghiaccio". Gli strati più profondi invece sono costituiti da porfido. Il proprietario della casa aveva appositamente lasciato

aperta una crepa nel terreno della cantina, per mantenerne bassa la temperatura. Le misure eseguite in cantina hanno evidenziato concentrazioni di radon provenienti da queste crepe fino a 4000 Bq/m^3 . Il radon è emanato dalle formazioni porfiriche sottostanti le rocce calcaree e viene trasportato in superficie dalle correnti d'aria. È bastato cementare la fessura per ritornare a valori accettabili ($< 100 \text{ Bq/m}^3$).

A2.5 – Prevenzione in nuovi edifici

In fase di costruzione l'adozione di particolari accorgimenti consente di creare le condizioni per impedire o almeno ridurre l'ingresso del radon.

Nel caso in cui fosse previsto un vespaio (ed eventualmente intercapedini per le pareti interrate) tutta l'area di contatto con il terreno deve avere la più ampia possibilità di ricambio di aria. Ciò si realizza semplicemente aumentando il numero di bocchette di aerazione ed evitando la costruzione di celle chiuse al di sotto dell'edificio che creerebbero sacche di radon ad elevata concentrazione. Il vespaio deve essere riempito di materiale di opportuna granulometria. In aggiunta si deve installare un sistema di condotte che, nel caso non fosse sufficiente la ventilazione naturale, dovrà essere collegato ad un ventilatore.

Nel caso sia previsto un attacco a terra comunque dovrebbe essere realizzato uno strato di materiale di riempimento con la predisposizione di uno o più pozzetti collegati tra loro. Nel caso si dovessero presentare elevate concentrazioni potrà essere implementato un sistema di depressurizzazione del suolo.

In entrambe i casi nel primo solaio e nelle pareti a contatto con il terreno deve essere prevista la posa di uno strato di materiale impermeabile al radon. L'impiego di malte antiritiro con opportuni additivi migliora l'applicazione e la durata nel tempo di questi interventi preventivi. Particolare cura nella fase di progettazione deve essere riposta nel ridurre tutte le possibili vie di comunicazione tra terreno e interno dell'edificio, come condutture dell'acqua, scarichi fognari, condutture dei riscaldamenti ecc. Infine, si sottolinea che il successo di una buona prevenzione richiede una particolare professionalità e cura nella corretta installazione di tutte le tecniche adottate.

A2.6 – Considerazioni finali

I sistemi per la riduzione del radon negli edifici con elevate concentrazioni sono stati oggetto di numerosi studi di tipo applicativo in campo internazionale soprattutto in USA, Regno Unito,

Svizzera e nei Paesi Nordici (Svezia, Norvegia). L'esperienza maturata deriva da centinaia di migliaia di edifici "risanati". Le possibili azioni di rimedio sono state ormai classificate e sebbene le tipologie edilizie possano variare, anche di molto, da Paese a Paese, quelle con maggior possibilità di successo sono state brevemente illustrate in questo lavoro.

Va inoltre rilevato che l'applicazione di accorgimenti volti a prevenire l'ingresso del radon nei nuovi edifici o la predisposizione di strutture per future azioni di rimedio, hanno dei costi di progettazione e di realizzazione generalmente molto bassi.

In Italia, i primi risultati confermano i principi base su cui si basano le tecniche di riduzione del radon. Occorre allargare, tuttavia, lo spettro delle tipologie edilizie su cui sperimentare azioni di rimedio e di prevenzione e, nel frattempo, valutare la loro efficacia nel tempo. Bisogna inoltre estendere le indagini ad altre tecniche di rimedio, quali l'uso di vernici, materiali coprenti ecc. da utilizzare nelle zone in cui i materiali da costruzione possono costituire un problema. In quest'ambito la comunità degli ingegneri e degli architetti può svolgere un importante ruolo nella promozione e nello studio di nuove metodologie.

Bibliografia

- Clavensj B, Åkerblom G. *The radon book*. The Swedish Council for Building Research; 1994.
- Miles JCH. *Radiation protection research action 1992. Progress report 1992-93*. Report EUR 16003 DE/EN/FR ISSN 1085-5593: 1084-1087; 1993.
- NCRP (National Council for Radiation Protection and Measurement). *Control of Radon in Houses*. NCRP Report No.103; 1989.
- Scivyer CR. *Surveing dwellings with high indoor radon levels: a BRE guide to radon remedial measures in existing dwellings*. BRE CI/SfB (L26); 1993.
- US-EPA (U.S. - Environmental Protection Agency). *Radon Reduction Techniques for Detached Houses*. EPA/615/5-87/079; 1988.
- US-EPA (U.S. - Environmental Protection Agency). *Reducing radon in schools: a team approach*. EPA 402-R-94-008; 1994.

Appendice 3

Dati sull’edilizia italiana rilevanti per il problema radon

A3.1 – Introduzione

Tra i principali fattori che caratterizzano le dinamiche in atto nel mercato delle costruzioni e che possono avere un riflesso diretto nell’orientare le strategie di prevenzione/mitigazione nei confronti del radon negli edifici, è possibile fare riferimento ad alcune voci principali che sono:

- l’importanza del ruolo che il comparto del *recupero edilizio* sta progressivamente assumendo all’interno degli investimenti nel settore;
- l’età degli edifici da prendere in esame;
- le caratteristiche dei principali *promotori economici* e quindi l’entità degli investimenti in gioco;
- la valutazione di *altri fattori che caratterizzano l’edificio*, tra cui la sua destinazione d’uso, le caratteristiche tipologiche, dimensionali e costruttive adottate.

A3.2 – Il ruolo del recupero edilizio

Le considerazioni che è possibile fare sull’importanza che il settore del recupero edilizio è destinata ad assumere in prospettiva futura non valgono ovviamente solo per orientare strategie antiradon, ma condizionano evidentemente qualsiasi azione all’interno del settore delle costruzioni.

Per quanto riguarda la messa a punto e la scelta di tecniche per affrontare il problema della radiazione nelle abitazioni, tali considerazioni assumono però una rilevanza ancora maggiore dal momento che è abbastanza intuitivo comprendere quanto sia diverso concepire o valutare l’efficacia e le possibilità applicative di soluzioni di rimedio in caso di applicazione in fase di progetto, piuttosto che su un edificio esistente.

Osservando i dati relativi all’andamento degli investimenti nel settore delle costruzioni ci si accorge infatti che sono ormai diversi anni (cfr. tabella A3.1) che la quota destinata agli interventi di recupero ha superato quella relativa alla costruzione ex-novo.

Tabella A3.1 – Investimenti nelle costruzioni: periodo 1992–1996
(valori a prezzi costanti 1985, in miliardi di lire)

	1992	1993	1994	1995	1996
Investimenti in nuove costruzioni	60 261	55 743	51 826	51 305	51 906
<i>Residenziali</i>	28 133	27 930	26 257	25 304	25 278
<i>Non residenziali private</i>	15 792	14 450	12 710	12 900	13 219
<i>Non residenziali pubbliche</i>	3 681	3 239	3 029	3 074	3 136
<i>Genio Civile</i>	12 655	10 124	9 830	10 027	10 328
Investimenti in rinnovo	49 884	47 856	48 213	49 385	50 784
<i>Residenziali</i>	24 669	24 545	25 110	25 813	26 716
<i>Non residenziali private</i>	13 530	12 651	12 904	13 162	13 491
<i>Non residenziali pubbliche</i>	3 869	3 509	3 299	3 358	3 418
<i>Genio Civile</i>	7 816	7 151	6 901	7 053	7 159
Totale investimenti	110 145	103 599	100 039	100 691	102 745

Fonte: Cresme/Si

Le previsioni per il futuro indicano inoltre che tale fenomeno assumerà un rilievo crescente con il passare del tempo (cfr. tabella A3.2) dal momento che tale tendenza è sostenuta da motivazioni di tipo strutturale.

Tabella A3.2. Investimenti nelle costruzioni: previsioni a breve termine
(* Variazioni percentuali sull’anno precedente a valori costanti ** Previsioni)

	1996*	1997**	1998**
Nuove costruzioni	1.7	-1.2	-0.7
<i>Residenziali</i>	-3.3	-4.3	-2.1
<i>Non residenziali private</i>	10.1	1.1	-1.6
<i>Non residenziali pubbliche</i>	2.6	1.5	2.2
<i>Genio Civile</i>	2.9	1.9	3.0
Rinnovo	2.1	1.6	2.0
<i>Residenziali</i>	1.1	2.0	2.0
<i>Non residenziali private</i>	4.0	0.8	1.5
<i>Non residenziali pubbliche</i>	1.5	-0.6	2.5
<i>Genio Civile</i>	2.7	3.0	3.0
Totale	1.9	0.2	0.7

Fonte: Cresme/Si

Prendendo in considerazione per esempio alcuni dati relativi al solo ambito dell’edilizia residenziale ci si può rendere conto del fatto che la situazione non possa che evolvere in questa direzione. In Italia esistono del resto 26 milioni di abitazioni per soddisfare le richieste abitative di circa 20 milioni di nuclei familiari. Nel 1980 il numero di nuove abitazioni costruite nell’anno

ammontava a circa 450 000 mentre tale valore scendeva a poco più di 180 000 nel 1990. Nel 1997 in una città delle dimensioni di Milano sono state ultimate solo 57 nuove abitazioni e 1 100 in tutta la Lombardia.

Questi dati costituiscono pertanto un primo elemento da tenere in considerazione nel concepire misure correttive per risolvere, tra gli altri, anche il problema legato all’ingresso del radon nelle abitazioni. In termini, non tanto di efficacia assoluta, ma di diffusione su larga scala sarà pertanto opportuno mettere a punto, diffondere, o addirittura prescrivere a livello normativo, azioni di rimedio che siano compatibili e proponibili, sia da un punto di vista tecnico che economico, con quel complesso di vincoli che caratterizzano l’edilizia preesistente.

In proiezione futura, e soprattutto in un’ottica radioprotezionistica, tali azioni potranno avere effetti positivi, certamente più significativi rispetto a quelli ottenuti attraverso la sperimentazione di tecniche applicabili esclusivamente alle nuove costruzioni.

A3.3 – L’età dell’edificio

Un secondo fattore da tenere in considerazione per orientare in modo strategico azioni di rimedio al problema radon è costituito dall’età dell’edificio su cui è necessario intervenire.

Anche in questo caso i dati statistici mettono in evidenza alcune informazioni importanti (cfr. tabella A3.3) relativamente all’anno di costruzione del patrimonio edilizio esistente. Da questi dati è, infatti, possibile evincere che, attualmente, la quota di edifici che supera l’età di 40 anni si aggira attorno al 40%, percentuale destinata a raggiungere quota 60% nel corso del primo decennio del 2000.

Tabella A3.4. Patrimonio edilizio italiano in relazione all’anno di costruzione

Età	%
anteriore al '700	8%
'700 – 1918	12%
1919 – 1945	12%
1946 – 1960	23%
1961 – 1971	25%
dopo il 1971	20%

Fonte: dati ISTAT

L’aver fissato una soglia attorno ai 40 anni non risponde a criteri arbitrari, ma nasce dal fatto che tale valore è generalmente assunto come limite oltre il quale diventa antieconomico intervenire su un edificio con azioni manutentive. Ciò significa che questa soglia può essere assunta come un indicatore attendibile per prevedere l’entità degli interventi di recupero che saranno richiesti in

futuro.

Letti in un’ottica di prevenzione nei confronti del problema radon, questi dati mettono allora in evidenza una reale opportunità che è quella di proporre una serie di azioni di rimedio e interventi tecnici che si inseriscano in modo compatibile (anche da un punto di vista economico) all’interno di un programma di manutenzione che si rende comunque necessario per un complesso di motivi legati all’obsolescenza tecnica e funzionale dell’edificio.

A3.4 – Peculiarità del promotore economico e tipologia degli investimenti nel settore edilizio

Un ulteriore fattore di estrema importanza per stimare la possibilità di penetrazione e diffusione di una soluzione tecnica per la prevenzione del radon è costituito dalla necessità di valutare con attenzione il tipo e le caratteristiche del promotore economico al quale tali misure sono rivolte.

Per fare questo, sempre con riferimento all’edilizia resi-denziale, può essere utile ricordare che l’Italia figura tra i paesi con la più alta percentuale di proprie-tari di abitazione (cfr. tabella A3.4).

Tabella A3.4 – Famiglie proprietarie di abitazione (anni '90)

Paese	%
Portogallo	81
Grecia	79
Spagna	76
Italia	75
Regno Unito	68
Norvegia	65
Belgio	64
Austria	54
Francia	53
Danimarca	53
Olanda	44
Svezia	40
Germania	40
Svizzera	30

Fonte: Elaborazione Cresme su dati Euroconstruct

Ciò significa che il committente principale, potenzialmente interessato ad adottare misure protettive nei confronti del radon, è rappresentato dallo stesso proprietario dell’abitazione.

L’importanza del dato risiede nel fatto che la grossa entità degli investimenti nel recupero di edilizia residenziale (quasi 48 mila miliardi di lire nel 1997) in realtà è gestito in modo estremamente polverizzato da un elevato numero di committenti, mediamente caratterizzati da modeste capacità di investimento.

Dalla tabella A3.5 emerge infatti che, sempre con riferimento al quadro tipologico dei fabbricati residenziali di nuova costruzione, è proprio la famiglia a giocare il ruolo di principale promotore economico, coprendo una quota prossima al 90% dei casi. E’ per tale motivo quindi che le soluzioni antiradon da proporre devono essere calibrate anche in considerazione di questo tipo di aspetti e degli effetti cui possono dare luogo.

Tabella A3.5 – Quadro tipologico dei nuovi fabbricati residenziali realizzati nel periodo 1992-95 e principali promotori

Fabbricati	Tipologia	%	Promotore					
Monofamiliari / Bifamiliari 78.3%	Villa indipendente a 1 piano	10.3%	Famiglia.....					
	Villa indipendente a 2/3 piani	48.7%						
	Bifamiliari a 2/3 piani	17.8%						
	Ville a 3 o più piani	1.5%						
Tri-quadrifamiliari 8.2%	In orizzontale a 2/3 piani	2.5%		Impresa.....			
	In verticale a 2/3 piani	5.7%						
Palazzine (5–15 abitazioni) 10.1%	A schiera	4.2%						
	A stecca	3.0%						
	A torre	2.9%						
Grandi interventi (oltre 15 abitazioni) 3.4%	A stecca	2.1%						
	A torre	1.3%						

Fonte: Cresme/Si

Analizzando poi la tipologia e la ripartizione degli investimenti nel recupero del residenziale ci si accorge che l’ammontare complessivo è suddiviso in quasi quattro milioni di interventi con un ammontare inferiore ai 50 milioni annui per famiglia (cfr. tabelle A3.6 e A3.7). Di questi, quasi 3 milioni sono investimenti che non superano i 10 milioni di lire.

Per tale motivo, se la strategia vuole essere quella di “approfittare” degli interventi di manutenzione ordinaria o di recupero che comunque saranno intrapresi, per integrare anche una serie di misure di rimedio per affrontare il problema radon, tali azioni non potranno interessare cifre che spostano sensibilmente l’entità degli investimenti, se non in casi molto particolari.

Tabella A3.6 – Il recupero nelle abitazioni (media annua 1990–1995)

	CLASSI DI SPESA (milioni di lire)				
	< 10	10 – 20	20 – 49	> 50	Totale
Numero di interventi					
Monofamiliari	1 127 753	150 244	93 884	71 481	1 443 362
Bifamiliari	258 023	47 435	28 806	19 188	353 452
Plurifamiliari	1 538 314	245 534	114 899	46 629	1 945 376
Totale	2 924 090	443 213	237 589	137 298	3 742 190
Spesa totale (miliardi)					
Monofamiliari	1 644	2 151	3 984	8 473	16 252
Bifamiliari	627	724	894	2 128	4 373
Plurifamiliari	3 881	3 593	3 451	5 367	16 292
Totale	6 152	6 468	8 329	15 968	36 917
Spesa media (milioni)					
Monofamiliari	1.5	14.3	42.4	118.5	11.3
Bifamiliari	2.4	15.3	31.0	110.9	12.4

Tabella A3.7 – Interventi di recupero per classi di spesa e anni di permanenza della famiglia (valori in %)

Classi di spesa (milioni)	ANNI DI PERMANENZA								Totale
	≤2	3–5	6–10	11–15	16–20	21–30	31–50	> 50	
Fino a 5	6.2	8.7	15.8	13.6	14.2	25.3	13.0	3.3	100
Da 6 a 10	6.6	8.5	14.1	13.6	13.3	26.7	14.2	3.1	100
Da 11 a 20	10.1	11.0	8.3	13.9	10.5	27.4	16.4	2.6	100
Da 20 a 50	9.2	13.9	15.2	8.9	11.4	22.7	16.3	2.4	100
Oltre 50	19.4	24.2	7.5	3.5	6.7	24.1	9.3	5.5	100

Fonte: Cresme/Si

Le considerazioni sull’opportunità di sfruttare queste occasioni per promuovere e integrare interventi antiradon trova ulteriore legittimazione in altri due aspetti.

Il primo è legato al fatto che, analizzando gli interventi di recupero suddivisi per anni di permanenza della famiglia nell’abitazione, ci si accorge che, quasi indipendentemente dalla classe di spesa, una quota superiore al 50% di tali interventi è effettuata in edifici che saranno abitati per almeno 15–20 anni, il che assume un rilievo del tutto particolare da un punto di vista radioprotezionistico.

Il secondo aspetto riguarda invece il fatto che, analizzando la ripartizione degli investimenti nel recupero dell’edilizia residenziale, ci si rende conto che circa i 2/3 di tali investimenti sono destinati al rifacimento di finiture e all’adeguamento di attrezzature impiantistiche (cfr. tabella A3.8). Entrambi ambiti all’interno dei quali si collocano anche le principali tecniche di intervento per la prevenzione dal radon.

Tabella A3.8 – I costi nel nuovo e nel recupero (edilizia residenziale)

	Nuovo	Recupero
Strutture	31%	10%
Opere murarie	34%	16%
Finiture	16%	38%
Impianti	19%	36%

Fonte: Cresme/Si

Dalle considerazioni fatte emerge quindi l’importanza che le attività di ricerca, le misurazioni e gli interventi di rimedio, siano indirizzate, oltre che sulla tipologia mono/bifamiliare per motivi di tipo quantitativo¹, anche (e in alcuni casi soprattutto) sui centri storici, in particolar modo quelli fondati su impianto medievale.

Risulta altresì evidente l’importanza che i fattori strategici individuati vengano presi in considerazione in modo preliminare o comunque parallelamente agli altri aspetti di natura tecnica che generalmente orientano la scelta delle azioni da intraprendere.

Parametri quali destinazione d’uso, tipi e tipologie edilizi, tecniche costruttive devono rivestire sicuramente un ruolo prioritario nell’orientare questi processi decisionali. A un livello confrontabile di importanza devono essere collocati però anche valutazioni relative alle caratteristiche del committente sia in termini di possibilità di recepire l’importanza di adottare misure di prevenzione nei confronti del radon, sia in funzione delle possibilità reali di sostenerne i costi.

¹ Da tener presente infatti che all’interno degli edifici di nuova fabbricazione, 3 abitazioni su 4 appartengono alla tipologia mono e bi-familiare.

Bibliografia

- Cresme-Euroconstruct. *Quadro tipologico dei nuovi fabbricati residenziali*. Rapporto di ricerca, Roma, 1992–95.
- CresmeSi. *Gli investimenti nel settore delle costruzioni*. Rapporto di ricerca, Roma, 1996–98.
- Istat. *Censimento generale della popolazione e delle abitazioni*. 1971, 1981, 1991.
- Istat. *Statistiche congiunturali sulle costruzioni. Indicatori trimestrali sull’edilizia*. 1981–91.
- Ratti A, Piardi S, Baglioni A. *Aspetti tecnico costruttivi nel controllo dell’inquinamento da radon con riferimento alla tradizione costruttiva italiana*. Atti del convegno “Radon tra natura ed ambiente costruito”, Venezia 24–26 novembre 1997, 145–155, 1997.

Appendice 4

Elementi di base sulla radioattività

A4.1 – Atomi, elementi chimici ed isotopi

Ogni *atomo* è formato da un nucleo e da elettroni che ruotano intorno ad esso. Il nucleo è a sua volta composto da protoni e da neutroni. Gli elettroni hanno carica elettrica negativa, i protoni positiva, mentre i neutroni sono elettricamente neutri. Affinché l'atomo risulti complessivamente neutro il numero di elettroni deve quindi coincidere con quello dei protoni. Le interazioni chimiche avvengono tra gli elettroni dei vari atomi, per cui un *elemento chimico* è caratterizzato dall'averne un determinato numero di elettroni, o, più precisamente, di protoni. A parità di tale numero ed al variare del numero di neutroni si hanno *isotopi* diversi dello stesso elemento chimico. Ad esempio l'elemento chimico idrogeno (H) ha tre isotopi: l'idrogeno (^1H), il cui nucleo ha solo un protone, il deuterio (^2H), che ha un protone ed un neutrone, ed il trizio (^3H), che ha un protone e due neutroni. Il numero in alto a sinistra del simbolo dell'elemento chimico sta ad indicare la somma dei neutroni e dei protoni nel nucleo. L'elemento chimico radon (86 protoni) ha diversi isotopi, di cui i più diffusi sono il ^{222}Rn (comunemente chiamato “radon”) e, in misura minore, il ^{220}Rn , comunemente chiamato “toron”, che hanno rispettivamente 136 e 134 neutroni.

A4.2 – Radionuclidi

Non tutte le possibili composizioni del nucleo sono stabili. Infatti i protoni ed i neutroni interagiscono tramite forze elettromagnetiche e nucleari e tali interazioni determinano la stabilità o l'instabilità degli isotopi. Ad esempio, un nucleo composto da soli protoni risulta instabile a causa della loro reciproca repulsione elettrica, che verrebbe compensata dalla presenza di neutroni, che con interazioni di tipo nucleare vengono attratti dai protoni e si attraggono tra di loro. I nuclei degli isotopi instabili si trasformano, o come si dice “decadono”, cambiando la loro composizione. In questo processo essi emettono delle radiazioni e perciò vengono chiamati *radionuclidi*. Esistono sia radionuclidi naturali che artificiali, cioè prodotti dall'uomo. Il nucleo trasformato, detto anche nucleo *figlio* o *prodotto di decadimento*, può a sua volta essere instabile e decadere in un altro nucleo, e così via fino a quando non si raggiunge una configurazione stabile.

A4.3 – Costante di decadimento (λ) e tempo di dimezzamento ($T_{1/2}$)

Più un radionuclide è instabile e più velocemente tende a decadere. Non è però possibile sapere esattamente quanto tempo impiegherà un certo radionuclide a decadere perché il processo è di natura statistica. Ogni radionuclide è quindi caratterizzato da una sua *costante di decadimento* (λ), che è uguale alla probabilità di decadimento in un secondo e la cui unità di misura è il s^{-1} . Spesso è più comodo usare il *tempo di dimezzamento* ($T_{1/2}$), consistente nel tempo che bisogna aspettare affinché a partire da un certo numero di radionuclidi dello stesso tipo la metà di essi, in media, siano decaduti. Una semplice relazione lega queste due costanti caratteristiche di ogni radionuclide: $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda$. Ad esempio il ^{222}Rn ha $T_{1/2} = 3.82$ giorni, cui corrisponde $\lambda = 2.1 \times 10^{-6} s^{-1}$.

A4.4 – Attività

L'*attività* di una sorgente radioattiva è una grandezza che rappresenta il numero di decadimenti che, in media, avvengono in un dato intervallo di tempo. Essa è uguale al numero N di radionuclidi (dello stesso tipo) che compongono la sorgente per la costante di decadimento caratteristica di quel radionuclide: $A = N \times \lambda$. È chiaro che a parità di N una sorgente composta da radionuclidi con λ maggiore di un'altra, o equivalentemente con $T_{1/2}$ minore, avrà un'attività più alta e quindi un maggior numero di radiazioni emesse in uno stesso intervallo di tempo. L'unità di misura è il Bequerel (Bq) corrispondente ad 1 decadimento al secondo. La vecchia unità di misura, usata tuttora negli USA, è il Curie (Ci), corrispondente a 37 miliardi di Bequerel, che rappresenta l'attività di 1 grammo di radio.

A4.5 – Concentrazione (di attività)

La *concentrazione* nell'aria o nel terreno di un certo radionuclide, per esempio il radon, è spesso espressa in termini di concentrazione di attività. Nel caso dell'aria l'unità di misura è il Bq/m^3 . La concentrazione di attività si ottiene moltiplicando la concentrazione di quel radionuclide, cioè il numero di radionuclidi in un metro cubo, per la sua costante di decadimento. La vecchia unità di misura è il Ci/l (l=litro), ed in particolare un suo sottomultiplo molto usato era il pCi/l, cioè 10^{-12} Ci/l, che corrisponde a $37 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Nel terreno la concentrazione si misura in Bq/kg .

A4.6 – Radionuclidi primordiali

Fra tutti gli elementi chimici presumibilmente presenti sulla Terra al momento della sua formazione, e distribuiti più o meno disomogeneamente, alcuni avevano uno o più isotopi radioattivi, in qualche caso anche tutti. Di questi sono rimasti solo quelli aventi un tempo di dimezzamento non troppo piccolo rispetto all'età della Terra, e sono chiamati *radionuclidi*

primordiali, mentre gli altri sono decaduti completamente. Fra i radionuclidi primordiali i più diffusi sono l'isotopo 40 del potassio (^{40}K), che rappresenta lo 0.0117% in peso di tutto il potassio, il torio-232 (^{232}Th), l'uranio-238 (^{238}U) e, in misura molto minore, l'uranio-235 (^{235}U). Questi ultimi rappresentano rispettivamente il 99.7% e lo 0.3% in peso di tutto l'uranio. A parte il ^{40}K , gli altri decadono ognuno lungo una catena di successive trasformazioni fino a diventare tre isotopi stabili del piombo (gli schemi di decadimento delle catene dell' ^{238}U e del ^{232}Th sono riportati nell'appendice A1, nelle figure A1.1 e A1.2). I radionuclidi intermedi di queste catene, come ad esempio i tre isotopi del radon, hanno $T_{1/2}$ molto minori dell'età della Terra, ma vengono continuamente prodotti in cascata dal radionuclide primordiale loro progenitore. Per inciso si noti che la bassa presenza attuale dell' ^{235}U relativa a quella dell' ^{238}U è dovuta ovviamente al minor valore del suo $T_{1/2}$, per cui andando indietro col tempo (di qualche miliardo di anni !) il rapporto fra i due isotopi tende ad equilibrarsi.

A4.7 – Modi di decadimento

Un radionuclide può decadere in uno dei seguenti modi, a cui corrispondono altrettanti tipi di radiazioni emesse: il *decadimento alfa* (α), consistente nell'emissione di una frazione del nucleo, composta da due protoni e due neutroni, detta appunto particella α , la quale coincide con il nucleo dell'atomo di elio; il *decadimento beta meno* (β^-), o semplicemente β , consistente nella trasformazione di un neutrone in un protone e nella contemporanea emissione di un elettrone, detta particella β , e di un antineutrino (che non essendo interessante in questo ambito non verrà trattato oltre); infine il *decadimento gamma* (γ), che avviene dopo taluni decadimenti α o β , quando il nucleo figlio si viene a trovare in uno stato "eccitato", cioè con un surplus di energia, che viene smaltito emettendo un fotone di medesima energia. Esiste un altro tipo di decadimento beta, e precisamente il decadimento beta più (β^+) – molto raro però fra i radionuclidi di origine naturale – consistente nella trasformazione di un protone in un neutrone con corrispondente emissione di un elettrone elettricamente positivo, detto positrone, e di un neutrino.

A4.8 – Radiazioni α , β , γ e loro interazioni con la materia

Le radiazioni α , β e γ hanno un diverso tipo di interazione con la materia.

Le particelle α e β essendo cariche interagiscono elettricamente con gli atomi vicino ai quali passano, ionizzandoli direttamente. In particolare le particelle α sono maggiormente efficaci in questo effettuando in poco spazio un gran numero di interazioni, in ognuna delle quali cedono un piccola parte della loro energia agli elettroni dell'atomo con cui interagiscono, e seguendo una traiettoria rettilinea si fermano in pochi centimetri nell'aria, o in meno di un decimo di millimetro nel corpo umano. Le particelle β , che ricordiamo sono elettroni, avendo metà carica elettrica rispetto alle particelle α interagiscono meno intensamente e frequentemente, e le più energetiche di esse si fermano, dopo aver seguito una traiettoria un po' tortuosa, in pochi metri in aria, o

pochi millimetri nel corpo umano.

Le radiazioni γ sono elettricamente neutre e subiscono, con minor frequenza rispetto alle particelle α e β , interazioni complesse di tipo elettromagnetico quantistico, quali, al crescere della loro energia, l'effetto fotoelettrico, l'effetto Compton e la creazione di coppie elettrone-positrone. Ciò comporta sostanzialmente la cessione di gran parte dell'energia di una particella γ prevalentemente ad uno o due elettroni, cioè particelle β che a questo punto si comportano come tali interagendo elettricamente con un gran numero di atomi, ionizzandoli. Per questo motivo le radiazioni γ sono anche dette *indirettamente ionizzanti*. Per quantificare la capacità, notevole, di penetrazione dei raggi γ , la quale aumenta come è ovvio all'aumentare dell'energia dei γ , si usa il cosiddetto spessore di dimezzamento, consistente nello spessore, specifico di ogni materiale, oltre il quale il flusso di radiazione si riduce della metà. Il valore di tale spessore risulta (per raggi γ da 1 MeV) di quasi 100 m in aria e di 10 cm nel corpo umano.

Da quanto detto si può dedurre la differente "efficacia" dei tre tipi di radiazione al cambiare delle condizioni di irradiazione: per *irradiazione esterna*, proveniente cioè dal di fuori del corpo umano, risultano efficaci praticamente solo i raggi γ , mentre la situazione si capovolge in caso di *irradiazione interna*, dovuta al decadimento di radionuclidi presenti all'interno del corpo a seguito di ingestione o inalazione. In tal caso infatti sono le particelle α a creare eventualmente i maggiori problemi, specie se colpiscono un organo critico, in quanto cedono tutta la loro energia a piccole quantità di tessuto organico, che potrebbe così subire un notevole danno. Questo è il caso dell'inalazione di radon e dei suoi prodotti di decadimento.

Appendice 5

Glossario

ANPA

Agenzia Nazionale per la Protezione Ambientale, dal 6 ottobre 2002 confluita nell'APAT.

APAT

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

ARPA

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale.

Azione di rimedio

Per *azione di rimedio* s'intende un intervento di qualsiasi tipo (sia strutturale, sia di comportamento degli occupanti o d'altro tipo) su un edificio esistente o in fase di ristrutturazione, che abbia l'effetto di ridurre la concentrazione di radon nell'aria interna dell'edificio o l'esposizione al radon degli occupanti.

Azione preventiva

Consiste in uno o più accorgimenti costruttivi, effettuati su un edificio in fase di costruzione, per ridurre la probabilità di ingresso di radon nell'edificio.

CRR

Centro di Riferimento Regionale per il controllo della radioattività ambientale. Istituiti ed attrezzati dal Ministero della Sanità nella seconda metà degli anni '80 nell'ambito delle strutture regionali di prevenzione sanitaria. Ora sono generalmente transitati alle ARPA.

Dose assorbita

Rappresenta l'energia media ceduta da radiazioni ionizzanti (quali quelle emesse, ad esempio, dal radon e dai suoi prodotti di decadimento) ad un corpo irraggiato, per unità di massa. L'unità di misura è il Gray (Gy) = 1 Joule / kg.

Dose efficace

Quantità ottenuta moltiplicando la dose equivalente ad un organo o tessuto per un fattore di peso legato alla radiosensibilità di quell'organo o tessuto. Permette di confrontare le dosi equivalenti a diversi organi o tessuti in termini degli effetti sanitari prodotti. L'unità di misura è il Sievert (Sv).

Dose equivalente

Quantità ottenuta moltiplicando la dose assorbita in un organo o tessuto per un fattore di peso legato alla diverso potere ionizzante dei vari tipi di radiazione. Permette di confrontare le dosi assorbite su uno stesso organo o tessuto prodotte da diversi tipi di radiazione. L'unità di misura è il Sievert (Sv).

ENEA

Ente per le nuove tecnologie, l'energia e l'ambiente.

Esposizione

Per esposizione a radon (o ai suoi prodotti di decadimento) si intende il prodotto della concentrazione di radon (o dei suoi prodotti di decadimento) per il tempo di esposizione.

Fattore di dose

Rappresenta la dose efficace per unità di esposizione. Ad esempio l'UNSCEAR adotta per l'esposizione al radon un fattore di dose di 0.025 mSv per ogni Bq/m³*anno, o, equivalentemente, un fattore di dose di 1 mSv/anno per un'esposizione continuata ad una concentrazione di radon di 40 Bq/m³.

Fattore di equilibrio (F)

E' un fattore che rappresenta in modo semplificato il disequilibrio tra il radon ed i suoi prodotti a vita breve (²¹⁴Po, ²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁴Po). Solitamente nell'aria di una stanza il fattore di equilibrio assume un valore medio di 0.4–0.5, il che significa che l'attività dei prodotti di decadimento del radon è inferiore a quella del radon stesso. Ciò è causato dal fatto che una parte dei prodotti si attacca alle varie superfici presenti nella stanza (pareti, mobili, suppellettili varie, ecc.) e viene quindi "rimossa" dall'aria.

I.C..

vedi: Intervallo di confidenza.

Intervallo di confidenza

rappresenta una misura della precisione di un parametro (ad es. la stima del rischio connesso all'esposizione al radon) o, equivalentemente, della sua incertezza. Un'intervallo di confidenza del 90% rappresenta un intervallo di valori entro il quale si ha il 90% di probabilità che si attesti il valore vero incognito.

ISPESL

Istituto Superiore per la Prevenzione e Sicurezza del Lavoro.

ISS

Istituto Superiore di Sanità.

Livello di azione

Rappresenta il valore della concentrazione di radon sopra il quale viene raccomandata o imposta una qualche azione per ridurre la concentrazione di radon.

PNR

Piano Nazionale Radon.

Radon

In questo documento il termine “radon” viene usato per riferirsi all’isotopo 222 dell’elemento chimico radon (Rn-222), l’isotopo più diffuso nell’aria interna degli edifici (cfr. appendice 1).

Rischio relativo (RR)

Rappresenta il rischio dovuto all’esposizione al fattore considerato (in questo caso al radon) relativamente al rischio in assenza di esposizione. $RR=1$ indica che l’esposizione (in questo caso al radon) non aumenta il rischio. $RR>1$ indica un aumento di rischio, mentre $RR<1$ indica una diminuzione del rischio (effetto protettivo del fattore considerato).

RR

vedi: Rischio relativo.

Sv (mSv)

Unità di misura (e suo sottomultiplo) della dose efficace e della dose equivalente.

Toron

Il toron è il termine con cui viene generalmente indicato l’isotopo 220 del radon, il Rn-220. Il toron è meno diffuso del radon, a causa del suo tempo di dimezzamento molto più breve, ma può essere presente in alcune circostanze in quantità non trascurabili anche nelle abitazioni. Esso verrà preso in esame nel PNR solo in alcune sue parti (cfr. appendice 1).

WLM

Working Level Month. E’ l’unità di misura dell’esposizione ai prodotti di decadimento del radon utilizzata negli studi di coorte sui minatori. Rappresenta il prodotto di una concentrazione di prodotti di decadimento del radon eguale a 1 WL ($=3756 \text{ Bq/m}^3$) per un mese lavorativo di 170 ore. Corrisponde all’esposizione continuata per un anno ad una concentrazione di radon di 182 Bq/m^3 , assumendo un fattore di equilibrio $F = 0.4$ tra i prodotti di decadimento del radon ed il radon stesso.