



La mappatura del radon in Piemonte

Sintesi



La mappatura del radon in Piemonte

Sintesi

La mappatura del radon in Piemonte - Sintesi

RESPONSABILE DEL PROGETTO

Mauro Magnoni

Arpa Piemonte, Centro Regionale Radiazioni Ionizzanti e Non Ionizzanti,
Radiazioni Ionizzanti, Reti di monitoraggio, sviluppo e ricerca

GRUPPO DI RICERCA

**Franco Righino, Mauro Magnoni, Enrico Chiaberto, Salvatore Procopio,
Elena Serena, Anna Prandstatter**

Arpa Piemonte, Centro Regionale Radiazioni Ionizzanti e Non Ionizzanti
Radiazioni Ionizzanti, Reti di monitoraggio, sviluppo e ricerca

Francesco Martire

Arpa Piemonte, Centro Regionale Radiazioni Ionizzanti e Non Ionizzanti, Staff

Paolo Tonanzi, Alessandra Troglia

Arpa Piemonte, Area delle attività regionali per l'indirizzo e il coordinamento in materia
di prevenzione dei rischi naturali

Marina Zerbato

Arpa Piemonte, Prevenzione Rischio Geologico Cuneo

RESPONSABILE SCIENTIFICO

Giovanni d'Amore

Arpa Piemonte, Centro Regionale Radiazioni Ionizzanti e Non Ionizzanti

COORDINAMENTO EDITORIALE

Elisa Bianchi

Arpa Piemonte, Direzione generale, Comunicazione istituzionale

Fotografie archivio Arpa Piemonte

IDEAZIONE E PROGETTO GRAFICO

Art Café Adv, Torino

Finito di stampare nel mese di settembre 2009 presso la tipografia

Litografia Viscardi, Alessandria



Stampato su carta riciclata al 100%
che ha ottenuto il marchio di qualità ecologica Ecolabel Europeo

ISBN 978-88-7479-117-0



Copyright © 2009, Arpa Piemonte
Via Pio VII, 9 - 10135 Torino - Italia - www.arpa.piemonte.it

*L'Arpa Piemonte non è responsabile per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute
in questo documento. La riproduzione è autorizzata citando la fonte.*

Presentazione

La Regione Piemonte, anche per la presenza sul suo territorio di tutti gli impianti del ciclo del nucleare, ha sempre mostrato una forte sensibilità sul tema della protezione dalle radiazioni ionizzanti, non solo di origine artificiale ma anche naturale, con particolare riferimento al gas radon.

La conoscenza della probabilità che un determinato territorio sia caratterizzato dalla presenza di alte concentrazioni di attività di gas radon, rappresenta il primo e necessario passo per prevedere interventi ed azioni di mitigazione.

La presente pubblicazione rappresenta una prima mappatura delle aree piemontesi "a rischio radon", risultato dello studio finanziato dalla Regione Piemonte e realizzato da Arpa a cui va il riconoscimento per il prezioso lavoro svolto con spiccata professionalità.

Lo studio indica quindi le aree che necessitano di una particolare attenzione, nelle attività di pianificazione urbanistico territoriale locale e nell'elaborazione dei regolamenti edilizi, nonché di indicazioni per il recupero e risanamento degli edifici a rischio e la progettazione e costruzione delle nuove edificazioni.

In ultimo voglio esprimere la mia particolare soddisfazione nel constatare che non sono molte le Regioni Italiane in grado di presentare una così utile ricerca sulla rilevanza dei rischi ambientali del radon.

Nicola de Ruggiero

Assessore Ambiente della Regione Piemonte

Presentazione

Con questa pubblicazione, Arpa Piemonte presenta, in forma sintetica e con un taglio non strettamente tecnico, una prima caratterizzazione del territorio piemontese dal punto di vista della rilevanza del "rischio radon" nella nostra regione.

Questo studio, che trae la sua origine da un preciso adempimento istituzionale che Arpa ha svolto su incarico della Regione, è anche un importante punto d'arrivo per la notevole attività di studio e ricerca che Arpa, da ormai più di un decennio, ha svolto nel territorio piemontese autonomamente o in collaborazione con altri soggetti (ISPRA, a suo tempo Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente e ISS - Istituto Superiore di Sanità).

Con questo lavoro si fornisce, anzitutto alla Regione Piemonte e agli Enti Locali piemontesi, un importante strumento conoscitivo ambientale. Alle singole Regioni, in particolare, il legislatore nazionale aveva infatti assegnato il compito di individuare le "aree ad alta probabilità di elevate concentrazioni di radon" (art. 10-sexies del Decreto Legislativo n° 241/2000) tenendo conto, per quanto attiene agli aspetti più propriamente tecnici, di criteri definiti a livello nazionale.

Tuttavia, anche prescindendo dagli aspetti legislativi e dalle eventuali ricadute normative che potranno derivare, questo lavoro affronta un particolare aspetto, quello del rischio radiologico, che sovente è causa di notevoli preoccupazioni da parte della popolazione. Quello del radon, un gas radioattivo naturale presente in modo ubiquitario nella biosfera, è d'altra parte un tema che, per unanime giudizio delle principali organizzazioni scientifiche internazionali (OMS, UNSCEAR), non può più essere trascurato nel-

le nostre moderne società. I tempi e metodi per affrontare questo e analoghi problemi sono senza dubbio un compito delle istituzioni e della politica, le quali tuttavia, per raggiungere i propri obiettivi in questi settori, non possono prescindere dalla conoscenza, il più possibile aggiornata e precisa dei dati scientifici.

Per questo motivo, accanto ai risultati della mappatura del radon, oggetto principale del presente lavoro, sono state aggiunte alcune sezioni esplicative che presentano il problema radon in generale, con un accenno ai possibili interventi preventivi e di rimedio, da porre in atto negli edifici nei quali i livelli di radon risultassero molto elevati.

Dal punto di vista tecnico, va infine detto che questo lavoro, pur essendo il frutto di molti anni di studi e di migliaia di misure sperimentali, non può essere considerato l'atto conclusivo per quanto riguarda la mappatura territoriale del radon in Piemonte: la complessità geomorfologica e litologica del territorio regionale rendono infatti necessaria la prosecuzione dell'opera di monitoraggio in varie aree della regione. Pertanto, con la progressiva disponibilità di nuovi dati vi saranno certamente in futuro degli aggiornamenti e degli affinamenti che potranno condurre a modifiche, anche non marginali, dell'attuale quadro.

Silvano Ravera
Direttore Generale Arpa Piemonte

Indice

1	INTRODUZIONE	7
1.1	Il radon come problema per la salute	7
1.2	Aspetti normativi	10
2	LO STUDIO DEL RADON IN PIEMONTE	12
2.1	Campagne di misura del radon in Piemonte	12
2.2	Metodi di misura del radon impiegati	14
3	LA DISTRIBUZIONE TERRITORIALE DEL RADON IN PIEMONTE	16
3.1	Rappresentazione cartografica dei dati	16
3.2	Il problema della stima del radon in unità territoriali prive di dati sperimentali: il modello di correlazione geolitologica	18
3.3	Gli indicatori impiegati per la mappatura del radon	20
3.3.1	La mappa del radon in Piemonte	22
3.3.2	Le mappe del radon nelle Province del Piemonte	26
4	CONCLUSIONI E PROSPETTIVE	66
4.1	Il significato della mappatura e il problema della definizione delle "aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon" ex Decreto Legislativo 241/2000	67
4.2	L'attività di prevenzione del rischio radon: metodologie costruttive e azioni di rimedio	68
	GLOSSARIO	72
	RINGRAZIAMENTI	74
	APPENDICE	75
	BIBLIOGRAFIA	78

1 Introduzione

Il **radon** è un **gas radioattivo** di origine **naturale**, l'esposizione al quale può essere causa di tumore al polmone. Per questo motivo è conosciuto e studiato a livello nazionale e internazionale.

Esiste l'**obbligo della misura del radon** nei luoghi di lavoro **interrati** e **seminterrati** e la normativa stabilisce un livello d'azione di 500 Bq/m^3 (Decreto L.vo n.241 del 26 maggio 2000). Alle Regioni è affidato il compito di individuare le aree più a rischio.

1.1 Il radon come problema per la salute

Il radon (^{222}Rn), è un gas nobile radioattivo di origine naturale, presente ubiquitariamente sul pianeta Terra, sia pure in concentrazioni variabili. Esso è originato dall'Uranio, il ben noto elemento radioattivo, a sua volta assai diffuso in tutte le rocce presenti nella crosta terrestre.

La radioattività del radon consiste nell'emissione di minuscoli corpuscoli, chiamati particelle α , costituite da 2 protoni e 2 neutroni (**Figura 1**). A seguito di questa emissione l'atomo di radon si trasforma in un altro elemento, a sua volta radioattivo.

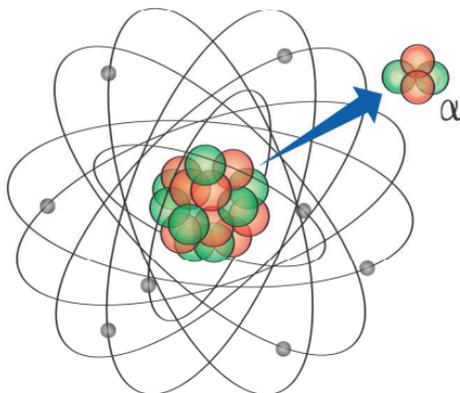


Figura 1

Atomo di radon con emissione di particella α

In Figura 2 è mostrata tutta la famiglia di elementi radioattivi, generata dall'Uranio, con evidenziato (in giallo) il radon.

Come ogni elemento radioattivo, anche il radon è caratterizzato da un tempo di dimezzamento o emivita, definito come il tempo necessario affinché una data quantità di radioattività si dimezzi.

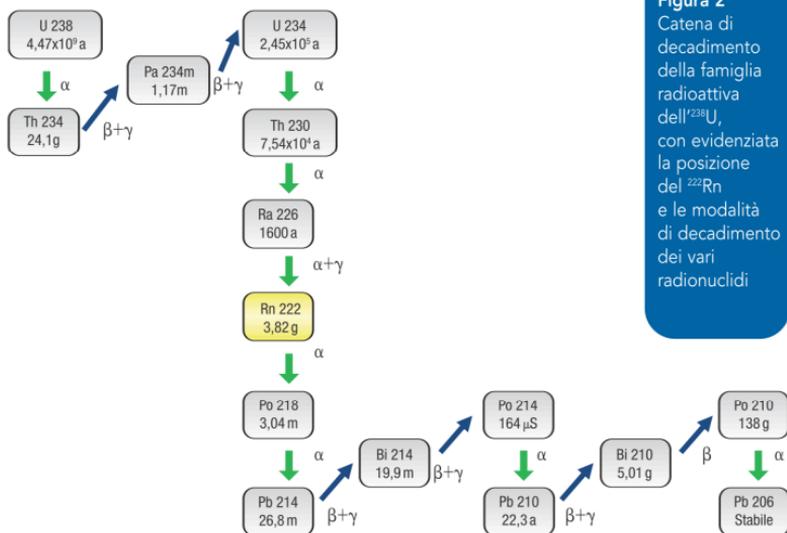


Figura 2

Catena di decadimento della famiglia radioattiva dell' ^{238}U , con evidenziata la posizione del ^{222}Rn e le modalità di decadimento dei vari radionuclidi

Benché la sua emivita sia piuttosto breve, poco meno di 4 giorni, la continua produzione del radon all'interno delle rocce e dei suoli che contengono Uranio, unitamente a particolari condizioni di scarsa ventilazione, possono far sì che esso raggiunga, in alcuni luoghi chiusi (miniere, gallerie, seminterrati, ma anche semplici abitazioni), concentrazioni potenzialmente dannose per la salute umana. L'unità di misura della concentrazione del radon in aria è il Becquerel al metro cubo (simbolo Bq/m^3), dove il Becquerel è l'unità di misura della quantità di radioattività (detta attività) e corrisponde a una disintegrazione al secondo.

Il radon, decadendo, produce a sua volta altri elementi radioattivi, detti "figli" o "prodotti di decadimento del radon" (Figura 2) che, una volta inalati, si attaccano alle pareti interne dell'apparato bronchiale (Figura 3) e qui decadono emettendo radiazioni ionizzanti le quali producono un danno alle cellule bronco-polmonari che può nel tempo evolvere in tumore.

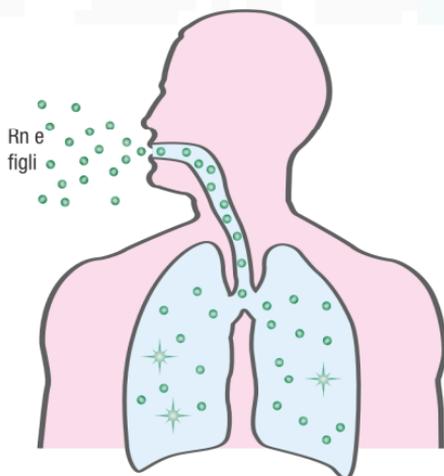


Figura 3
Ingresso del radon e dei suoi prodotti di decadimento nell'apparato respiratorio

Sono dunque i prodotti di decadimento del radon i principali responsabili del rischio radiologico: tuttavia per brevità si parla, genericamente, di rischio radon [1].

L'evidenza del rischio di tumore polmonare è ormai un fatto scientificamente assodato: l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro dell'OMS ha, infatti, da qualche tempo, classificato il radon e i suoi prodotti di decadimento tra le sostanze cancerogene di gruppo 1 [2] e l'esposizione al radon è ormai riconosciuta, a livello scientifico, come una delle principali cause di tumore del polmone dopo il fumo di sigaretta [3].

A tal riguardo, i principali studi inizialmente disponibili avevano esaminato esposizioni di tipo lavorativo (specie tra i minatori), ma esistono ormai evidenze, derivate da studi sia internazionali che italiani [4,5], sugli effetti sanitari del radon determinati anche da esposizioni di tipo residenziale.

Permangono però a tutt'oggi grosse incertezze sulle stime quantitative del rischio. Allo stato attuale non esiste una soglia di sicurezza sotto la quale è dimostrato che l'esposizione non produca effetti. Inoltre è dimostrato che l'interazione tra radon e fumo di sigaretta produce un aumento, con effetto di tipo moltiplicativo, del rischio di tumore al polmone. L'EPA (l'Agenzia per Protezione Ambientale Americana) stima che la quota di tumori al polmone attribuibili all'esposizione al radon si aggiri intorno al 9 % del totale.

Per questi motivi, in molti Paesi industrializzati (Svezia, Gran Bretagna, Stati Uniti, ecc.), già da qualche tempo si era posto il problema di come affrontare questa fonte di rischio, varando da un lato norme e regolamenti, dall'altro favorendo il diffondersi di una cultura della prevenzione del rischio radon, attraverso una corretta informazione alla popolazione. Nel 1990, l'UE si era espressa sul problema radon emanando una Raccomandazione [6] che, sottolineando i problemi sanitari costituiti dagli elevati livelli di radon nelle abitazioni, suggeriva come limite una concentrazione di 400 Bq/m³ per le abitazioni esistenti e di 200 Bq/m³ per quelle di futura costruzione.

Al di sopra di questi livelli veniva quindi suggerita l'adozione delle cosiddette azioni di rimedio, cioè interventi sulle abitazioni, tendenti a limitare l'ingresso e l'accumulo del radon.

In Italia si calcola che nell'1 % delle case vi sia una concentrazione [7] di radon superiore ai 400 Bq/m³ e nel 4 % delle abitazioni si superino i 200 Bq/m³. Dai valori medi ottenuti sul territorio nazionale si stima, secondo alcune analisi preliminari svolte nell'ambito del Piano Nazionale Radon, redatto dall'Istituto Superiore di Sanità [8] per conto del Ministero, un rischio dovuto al radon per il tumore polmonare sull'intera vita dell'ordine dello 0,5 %, corrispondente al 5 - 15 % del totale dei tumori polmonari che si verificano ogni anno in Italia.

Studi epidemiologici più recenti [9], di tipo cosiddetto pooled, cioè studi che rianalizzano, mettendoli insieme, dati provenienti da ricerche effettuate in tempi diversi e in diversi Paesi, aumentando in tal modo la potenza statistica, hanno confermato sostanzialmente queste stime e sembrano aver ulteriormente abbassato il livello dell'ipotetica soglia al di sotto della quale l'effetto nocivo del radon non si manifesterebbe; secondo questi studi, infatti, l'aumento dell'incidenza dei tumori polmonari sarebbe statisticamente significativo anche per concentrazioni di radon attorno ai 200 Bq/m³.

Un'altra importante conferma venuta da questi ultimi studi [10] è stata la fortissima sinergia con il fumo: l'effetto dell'esposizione al radon per i fumatori risulta notevolmente amplificato rispetto ai non fumatori.

1.2 Aspetti normativi

Fino a pochi anni fa il radon era pressoché assente nella normativa nazionale. Nel 2000, con l'emanazione del Decreto L.vo n.241 del 26 maggio 2000, è stata per la prima volta in Italia disciplinato da una norma di legge [11], emanata in attuazione alla Direttiva Europea 96/29/Euratom [12], l'ambito della radioattività naturale(*). In tale norma, dedicata all'esposizione derivante da attività lavorative, il radon viene trattato a pieno titolo come la principale e più diffusa causa di esposizione alla radioattività naturale.

In particolare, in tale Decreto viene fissato un Livello di Azione per i luoghi di lavoro pari a 500 Bq/m³. Il Livello di Azione è definito come quel valore di concentrazione di attività di radon in aria, il cui superamento richiede l'adozione di azioni di rimedio tali da ridurre la concentrazione a livelli inferiori. L'attenzione del legislatore si è rivolta anzitutto sui luoghi di lavoro interrati, dove è imposto l'obbligo di legge della misura della concentrazione media (annua) di radon.

Gli ambienti confinati interrati sono infatti, di solito, quelli maggiormente soggetti al problema, perché direttamente a contatto con la principale fonte di radon che è il

(*) Il Decreto Legislativo n.241 del 26 maggio 2000, emanato in attuazione alla Direttiva Europea 96/29/Euratom ha integrato e modificato il Decreto Legislativo n.230/95, cioè la norma quadro di radioprotezione, inserendo in esso il Capo III bis, che tratta appunto dell'esposizione alla radioattività naturale

suolo. Non esiste, infatti, un suolo privo di radon: anche in aree in cui la concentrazione di minerali d'Uranio è minima, resta elevata la presenza del radon nei gas del suolo (tipicamente, 10.000 - 20.000 Bq/m³) [13]. Vi sono d'altra parte particolari zone nelle quali la presenza di rocce contenenti Uranio in quantitativi superiori alla media e/o altri fattori geologici, quali ad esempio la presenza di fratture o di faglie, può causare un aumento della concentrazione di radon nel suolo, anche in maniera considerevole. In tali zone, di conseguenza, si potrà osservare un aumento della probabilità di trovare elevate concentrazioni di radon negli edifici.

Per questo motivo, il Decreto Legislativo 241/2000 ha istituito l'obbligo da parte delle Regioni di individuare tali aree, caratterizzate appunto da più elevata probabilità di avere alte concentrazioni di radon (aree che, nella letteratura scientifica internazionale, sono note come radon prone areas).

In attesa che tutti gli adempimenti previsti dal D. Lgs 241 vadano a compimento, il lavoro di diffusione delle conoscenze sul radon, finalizzato all'avvio di efficaci azioni di prevenzione è proseguito in diversi ambiti.

Ricordiamo tra questi la pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale dell'Accordo del 21 settembre 2001 [14] tra Ministro della salute, Regioni e Province autonome concernente alcune Linee guida per la tutela e la promozione della salute negli ambienti confinati. In tale atto di indirizzo il radon assume un ruolo centrale tra gli agenti fisici per quanto riguarda la qualità dell'aria indoor. In esso, in particolare riguardo al radon, si auspica un maggiore intervento normativo atto a ridurre il rischio di esposizione della popolazione, con grande attenzione agli edifici scolastici.

Non si può infine dimenticare il già citato Piano Nazionale Radon (ISS – Ministero della Salute): si tratta dello schema di un progetto in grado di affrontare sistematicamente e nello specifico tutte le principali problematiche inerenti il radon. Il Piano Nazionale Radon è un documento ormai ufficiale ma, al momento, è ancora nelle sue fasi iniziali di attuazione, anche per le difficoltà di trovare finanziamenti adeguati.

2 Lo studio del radon in Piemonte

Sono state svolte in Piemonte **campagne di misura dal 1990** (Campagna Nazionale radon) **fino ad oggi**. Esse hanno interessato principalmente abitazioni e scuole: ora si dispone di **una vasta base dati**. Per le misure sono stati impiegati dosimetri passivi a tracce

2.1 Campagne di misura del radon in Piemonte

Il problema radon, affrontato per la prima volta in modo sistematico in Piemonte all'inizio degli anni '90, quando venne eseguito un esteso programma di monitoraggio del radon nell'ambito della Campagna Nazionale, promossa dall'Istituto Superiore di Sanità e dall'ANPA (ora ISPRA), è stato successivamente approfondito da Arpa con un'ulteriore serie di ricerche e studi. Il presente lavoro giunge quindi a suggello di un'intensa attività che si è dipanata nel corso degli ultimi 15 – 20 anni.

Alle prime 400 misure della Campagna Nazionale (1990 -1991), dalle quali era stato possibile calcolare il valore medio della concentrazione di radon nelle abitazioni del Piemonte (69 Bq/m^3), si sono aggiunti infatti molti altri dati [15], con i quali si è via via ottenuto un quadro sempre più dettagliato della distribuzione del radon nel territorio.

Dal 2001 in poi, i monitoraggi del radon hanno interessato maggiormente gli edifici scolastici in quanto essi, oltre che essere rappresentativi del territorio perchè omogeneamente distribuiti, permettevano anche la stima dell'esposizione al radon di una popolazione giovane e quindi più sensibile ai rischi connessi alle radiazioni.

La base dati attualmente disponibile si è quindi notevolmente ampliata e continua ancor oggi ad essere incrementata. Ai fini di questa pubblicazione si è fatto riferimento a una base dati complessiva di 2470 punti di misura, per i quali era disponibile una media annuale della concentrazione; infatti, a causa della notevole variabilità dei livelli di radon, sia su base giornaliera che stagionale, è necessario avere un dato che medi per un lungo periodo. D'altra parte, la scelta di una durata annuale per le misure di radon è suggerita anche dalle normative sia nazionali che internazionali, le quali fanno appunto riferimento a limiti e livelli di azione calcolati su base annuale.

Nelle seguenti **Figure 4 e 5** è mostrata la suddivisione della base dati radon di Arpa Piemonte per tipologia di piano abitativo in cui è stata eseguita la misura e per tipologia di destinazione d'uso (abitazioni e scuole).

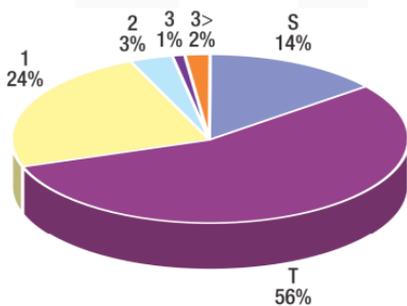


Figura 4
composizione
percentuale
del campione
di misure Rn
suddivisa
per piano
abitativo

scuole: 1026

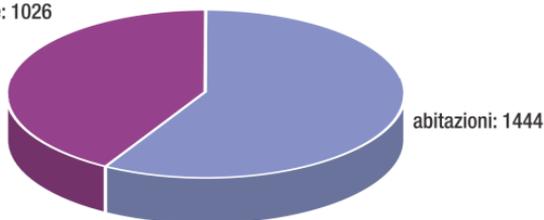


Figura 5
composizione
del campione
di misure Rn
suddivisa per
destinazione
d'uso

Per poter impiegare tutta questa, piuttosto eterogenea, mole di dati, è stato necessario eseguire delle elaborazioni cosiddette di "normalizzazione", effettuate mediante opportune operazioni matematiche, sulla base di alcune ipotesi e sulle caratteristiche dei dati stessi. Tali procedure hanno permesso di ottenere una base dati omogenea e adatta ad essere impiegata per costruire una mappa del radon per il Piemonte. La prima di queste "normalizzazioni" è stata quella che ha consentito di ricondurre al piano terra tutte le misure eseguite originariamente a diversi piani. Ciò è stato fatto poiché si è ritenuto che la misura eseguita al piano terra fosse più direttamente correlabile con le proprietà emissive dei suoli e quindi fosse più adatta per caratterizzare il territorio regionale dal punto di vista del radon. L'altra, altrettanto importante "normalizzazione", ha riguardato invece i dati riferiti alle scuole che sono stati ricondotti a quelli delle abitazioni, in modo da essere anch'essi inseriti nella base dati da utilizzare per il presente studio.

2.2 Metodi di misura del radon impiegati

Quasi tutte le tecniche di misura impiegate per la determinazione dei livelli di concentrazione del gas radon e dei suoi figli a vita breve, si basano sulla rivelazione della radiazione α emessa durante il decadimento radioattivo.

Il campionamento di qualunque agente inquinante può essere classificato, a seconda della tipologia, in istantaneo o integrato e, rispetto alle caratteristiche strumentali, in attivo o passivo. Un sistema di misura attivo necessita di un'alimentazione elettrica e di dispositivi elettronici che rivelano "istantaneamente" l'inquinante. Viceversa, un sistema di misura viene definito passivo quando non necessita di alcun tipo di alimentazione elettrica e utilizza dei componenti chiamati appunto rivelatori passivi in grado di registrare l'inquinante mediante alcune modifiche delle caratteristiche chimico-fisiche dei rivelatori stessi.

Tra i sistemi di misura del gas radon disponibili, le tecniche passive hanno incontrato nel corso degli anni un consistente successo, derivante dalla semplicità di utilizzo in campo e dal basso costo. Inoltre, con l'impiego di questa tipologia di strumenti si può determinare il valor medio della concentrazione di attività radon integrato su un lungo intervallo di tempo (anche un anno solare).

Il valore della concentrazione media annuale [Bq/m^3] è d'altra parte indicato dalla normativa quale parametro fondamentale per verificare i Livelli di Azione (Decreto Legislativo 241/2000) del radon e quindi questo ha senza dubbio rappresentato un vincolo nella scelta della tecnica di misura.

Per le nostre campagne d'indagine infatti, sono state impiegate tecniche passive utilizzando in particolare due diversi tipi di rivelatori a tracce nucleari, commercialmente noti col nome di LR115 e CR39. Ogni sistema di misura passivo è composto da una parte sensibile, il rivelatore che viene inserito in un dispositivo di misura, detto anche dosimetro.

I rivelatori impiegati a questo scopo, conosciuti anche con il nome di rivelatori a tracce nucleari, sono materiali che possiedono una struttura molecolare che li rende adatti a rivelare il passaggio delle particelle α . Le principali caratteristiche sono la bassa conducibilità elettrica e la bassa conducibilità termica (isolanti). Esistono diversi tipi di materiali capaci di rivelare le particelle α , ma complessivamente essi si possono raggruppare in due categorie:

- vetri e cristalli inorganici;
- polimeri sintetici organici.

Una particella α passando attraverso il rivelatore [16] cede energia. L'energia ceduta crea nella struttura del materiale un danno permanente, costituito essenzialmente da un'alterazione delle caratteristiche chimico-fisiche della struttura molecolare: una variazione della densità, la distruzione del reticolo molecolare e la formazione di nuove molecole. L'insieme di queste modificazioni va sotto il nome di danno o traccia latente. In corrispondenza di ogni traccia latente il materiale risulta indebolito. In conseguenza di ciò, le tracce latenti, inizialmente di dimensioni ultramicroscopiche (circa 10^{-8} m), possono essere rese visibili ai sistemi di lettura, elettronici o ottici, tramite un opportuno attacco chimico (Figura 6).

Indipendentemente dal tipo di rivelatore impiegato, il numero di tracce che si formano nel materiale sensibile sarà proporzionale al numero di particelle α emesse dal radon e dai suoi prodotti di decadimento nel volume sensibile del dosimetro impiegato.

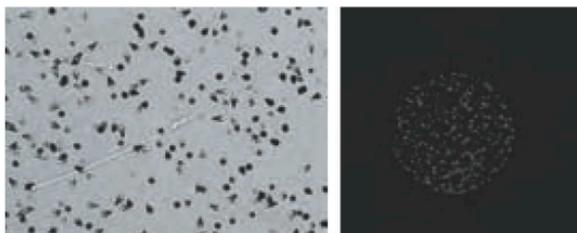


Figura 6
tracce del radon e dei figli a vita breve nei rivelatori CR39 e LR115

Il dosimetro ANPA/Arpa impiegato nelle nostre indagini, è un'evoluzione del dispositivo ENEA – ANPA [17], già utilizzato nella Campagna Nazionale (svolta in Piemonte nel 1990-1991) per il monitoraggio del gas radon, realizzatasi in Italia a partire dal 1989. Esso è costituito da un telaio in plastica conduttiva e da due coperchi dello stesso materiale, capaci di ospitare due rivelatori di tipo LR115 o CR39 (Figura 7 e Figura 8). Una volta assemblato, il dosimetro viene inserito in una busta in polietilene a bassa densità (Figura 9), permeabile al radon.



Figura 7
dosimetro ANPA/Arpa con il rivelatore LR115



Figura 8
il dosimetro ANPA/Arpa con il rivelatore CR39



Figura 9
dosimetri ANPA/Arpa con rivelatori LR115 e CR39 in configurazione di misura

3 La distribuzione territoriale del radon in Piemonte

I dati sono rappresentati su base cartografica e per ogni comune piemontese si forniscono i seguenti indicatori:
la **media della concentrazione** di attività radon e la **percentuale di abitazioni** in cui le concentrazioni superano 400 Bq/m^3

3.1 Rappresentazione cartografica dei dati

L'insieme delle misure radon idonee alla mappatura sono state rappresentate in forma cartografica mediante l'impiego di un Sistema Informativo Geografico (GIS) che, nel nostro caso, ha impiegato come coordinate geografiche il sistema WGS84.

Nella cartina (**Figura 10**), sono indicate le singole misure, opportunamente normalizzate al piano terra, disponibili al giugno 2008. A titolo puramente esplicativo il colore dei punti di misura sulla cartina è stato differenziato in base ai livelli di concentrazione di radon riscontrati: blu $0 - 40 \text{ Bq/m}^3$; verde $40 - 80 \text{ Bq/m}^3$; giallo $80 - 120 \text{ Bq/m}^3$; rosso $120 - 200 \text{ Bq/m}^3$; viola $> 200 \text{ Bq/m}^3$.

Da questa prima rappresentazione si può osservare che il numero di Comuni piemontesi al cui interno ricade almeno una misura sperimentale, sono in tutto solo 353, su un totale di ben 1206.

È quindi evidente che, basandosi sulle sole misure sperimentali finora disponibili, sarebbe impossibile ottenere dei valori rappresentativi per tutte le municipalità del Piemonte. Pertanto, tenendo conto del fatto che un programma di monitoraggio diretto della concentrazione del radon esteso a tutti i Comuni privi di dati sperimentali, stante le risorse a disposizione, sarebbe stato di fatto impossibile, si è scelto un approccio alternativo che consentisse ugualmente la definizione di una "mappa radon" per il Piemonte. Tale approccio prevede lo sviluppo e la validazione di un modello di correlazione tra la geolitologia e il radon.

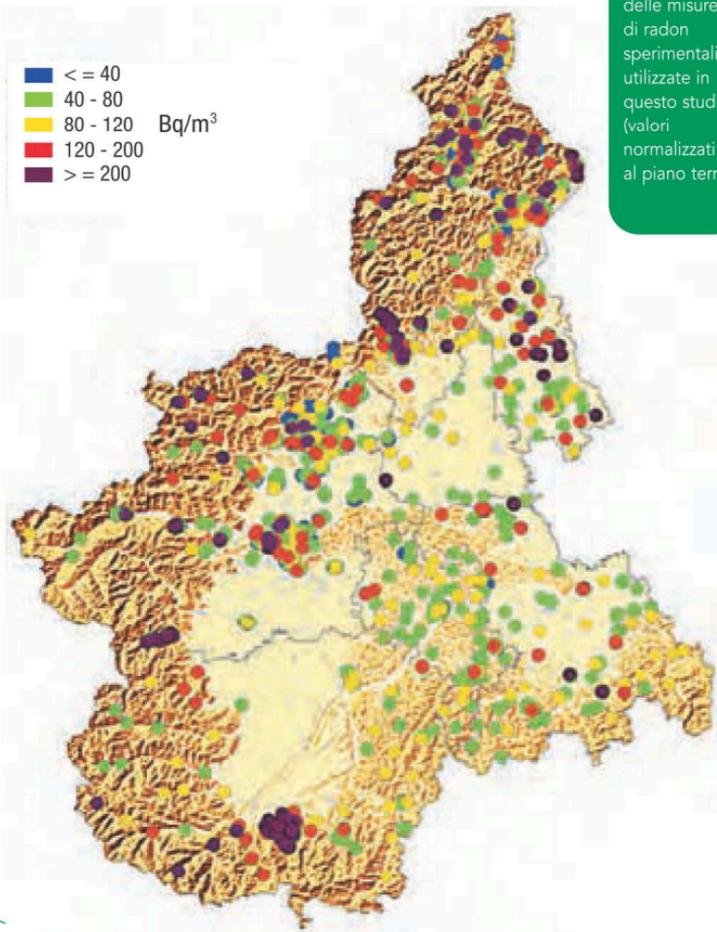


Figura 10
 distribuzione
 territoriale
 delle misure
 di radon
 sperimentali
 utilizzate in
 questo studio
 (valori
 normalizzati
 al piano terra)

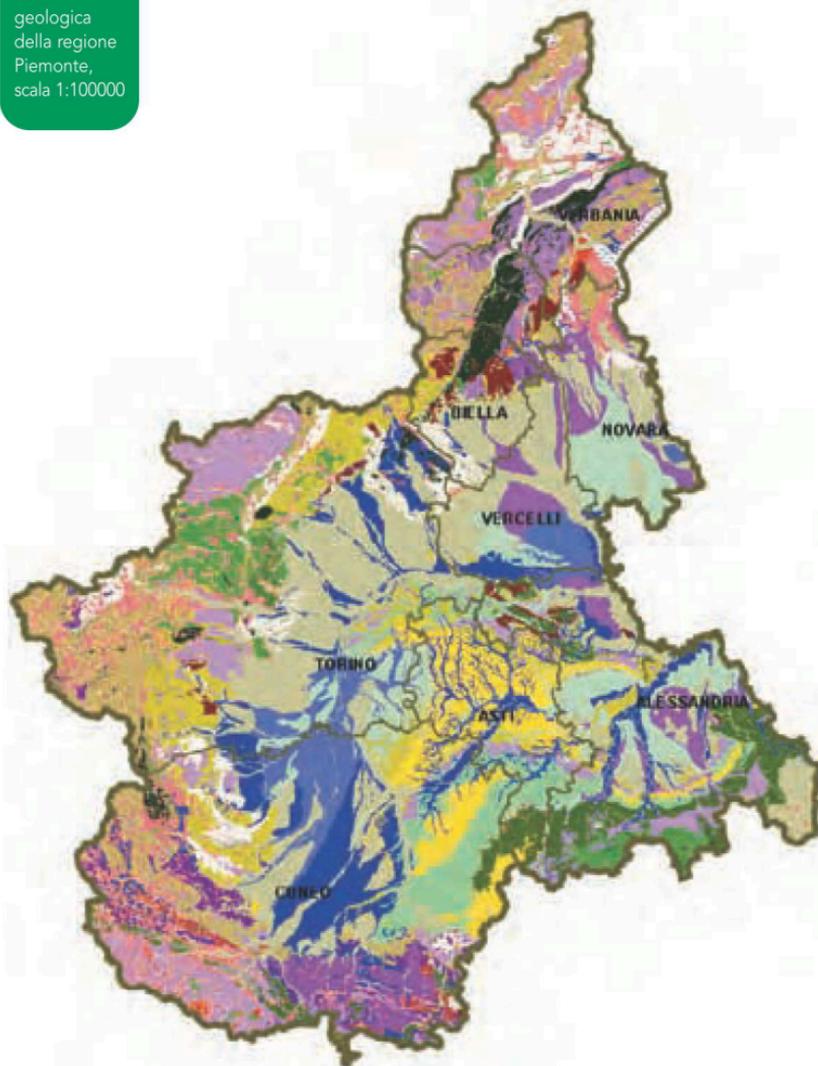
3.2 Il problema della stima del radon in unità territoriali prive di dati sperimentali: il modello di correlazione geolitologica

Per lo sviluppo di questo modello di correlazione si è partiti dalla carta geologica del Piemonte 1:100000, nella quale sono rappresentati una quarantina di litotipi (Figure 11 e 12).



Figura 11
classificazioni
litologiche
della carta
geologica
1:100000
della regione
Piemonte

Figura 12
carta
geologica
della regione
Piemonte,
scala 1:100000



A questo punto sono stati semplicemente sovrapposti alla carta delle litologie piemontesi i dati di radon disponibili, adeguatamente georeferenziati, in modo che fosse possibile associare a ciascuna misura sperimentale una ben precisa classe litologica. È stato così possibile, a partire dai dati sperimentali radon che ricadono in ciascuna classe, calcolare una "media litologica" (concentrazione media di radon corrispondente ad una determinata classe litologica) per ogni generica classe e quindi, a partire da ciò, sovrapponendo alla carta geolitologica del Piemonte quella delle suddivisioni amministrative, arrivare a stimare la presenza del radon in ciascun Comune semplicemente sulla base della caratterizzazione del suo territorio in classi geolitologiche.

Nella definizione di tali classi si è anche tenuto conto del contenuto di radioattività naturale delle rocce, ricavato da analisi di spettrometria gamma, effettuate su ben 131 campioni, rappresentativi delle litologie del Piemonte.

Un tale approccio, prima di essere adottato, ha dovuto ovviamente essere definito tramite un modello matematico che è stato poi sottoposto a validazione statistica. I dettagli tecnici di questi procedimenti sono riportati nello studio completo disponibile su supporto informatico.

In definitiva, il risultato pratico di questo lavoro è stato quello di riuscire ad ottenere, anche per quei Comuni privi di riscontri sperimentali, un'indicazione sui livelli di radon che ci si può attendere.

3.3 Gli indicatori impiegati per la mappatura del radon

Per descrivere in modo sintetico l'impatto ambientale e sanitario di un qualsiasi inquinante si fa spesso uso di indicatori, cioè di grandezze fisiche in grado di esprimere in modo sintetico lo stato dell'ambiente, relativamente al problema che si sta affrontando. Per la qualità dell'aria, ad esempio, viene comunemente impiegato come indicatore il valore medio giornaliero della concentrazione del particolato sottile (il cosiddetto PM10 o anche il PM2.5). Le caratteristiche che fanno di una grandezza fisica un buon indicatore per la descrizione di un particolare problema sono da un lato la sua solidità scientifica, dall'altro l'immediatezza e la sua comprensibilità per il cittadino.

Gli indicatori che sono stati scelti per la rappresentazione cartografica del radon in Piemonte e che quindi sono stati calcolati o stimati per tutte le unità di campionamento, cioè per tutti i Comuni del Piemonte, sono due:

- 1) il valor medio M delle concentrazioni (al piano terra), espresso in Bq/m^3 , (Becquerel al metro cubo);
- 2) la percentuale $P_{\%LR}$ di abitazioni eccedenti un dato livello di riferimento LR , fissato a priori.

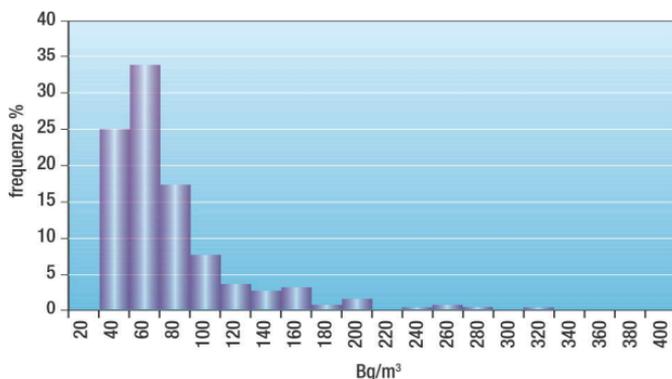
Il primo, di più semplice e immediata comprensione, esprime semplicemente il valore medio della concentrazione di radon che ci si aspetta di osservare al piano terra delle abitazioni di ciascun Comune.

Il secondo esprime invece la percentuale di abitazioni, $P_{\%LR}$ appunto, che presentano concentrazioni di radon superiori a un livello di riferimento prefissato LR, definito a priori sulla base di considerazioni pratiche e/o legislative. Nel nostro caso, è stato posto $LR = 400 \text{ Bq/m}^3$, una scelta che, in assenza di indicazioni nazionali precise, si richiama alla Raccomandazione Europea del 1990.

L'introduzione di questo indicatore, dal significato un po' meno immediato, è giustificata dal fatto che il fenomeno "radon nelle abitazioni" presenta la peculiarità che la distribuzione delle concentrazioni è altamente asimmetrica: ciò significa, in pratica, che vi è una certa probabilità, piccola ma non insignificante, di avere concentrazioni elevate nelle abitazioni anche in un'area dove mediamente i livelli di radon sono relativamente bassi. Questo concetto risulta evidente osservando, nella seguente **Figura 13**, l'istogramma della distribuzione delle concentrazioni medie di radon del Piemonte, ottenuto in occasione della Campagna Nazionale Radon, durante la quale venne stimato un valore medio per le concentrazioni di radon nelle abitazioni del Piemonte pari a 69 Bq/m^3 : come si vede, nonostante il valore piuttosto contenuto della media, si osservarono però, in alcuni casi, concentrazioni molto più elevate.

Figura 13

istogramma della distribuzione percentuale delle concentrazioni radon nelle abitazioni del Piemonte (dati Campagna Nazionale 1990-1991)



3.3.1 La mappa del radon in Piemonte

Il significato degli indicatori prescelti è quello di fornire indicazioni sulla “vulnerabilità”, per quanto concerne il radon, di alcune aree del territorio regionale rispetto ad altre. Non è però possibile, a partire da esse, effettuare sic et simpliciter valutazioni di tipo dosimetrico e/o di quantificazione dell’esposizione della popolazione.

Per quanto riguarda la rappresentazione dei valori medi comunali M, a fini pratici di rappresentazione visiva, sono stati definiti 5 intervalli di concentrazioni a cui corrispondono diverse soglie cromatiche:

- $M < 40 \text{ Bq/m}^3$: blu
- $40 \text{ Bq/m}^3 \leq M < 80 \text{ Bq/m}^3$: verde
- $80 \text{ Bq/m}^3 \leq M < 120 \text{ Bq/m}^3$: giallo
- $120 \text{ Bq/m}^3 \leq M < 200 \text{ Bq/m}^3$: rosso
- $M \geq 200 \text{ Bq/m}^3$: violetto

La suddivisione percentuale dei Comuni rispetto a queste classi è riportata nel diagramma a torta della seguente **Figura 14**.

La corrispondente cartina del Piemonte dei valori medi comunali è riportata nella successiva **Figura 15**.

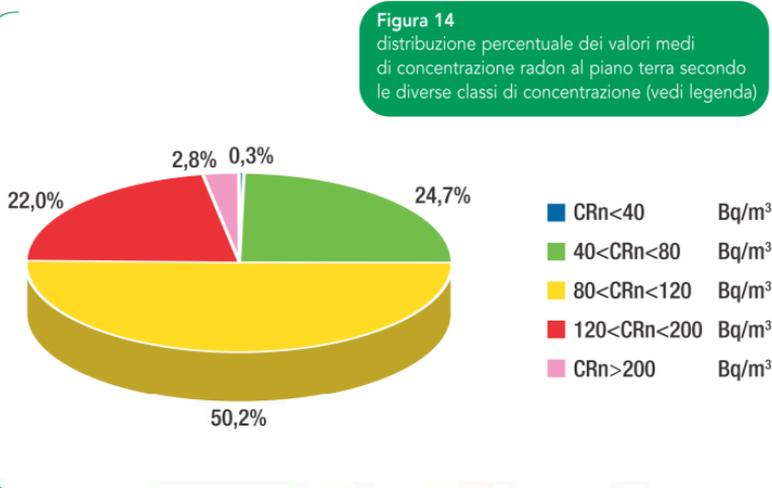
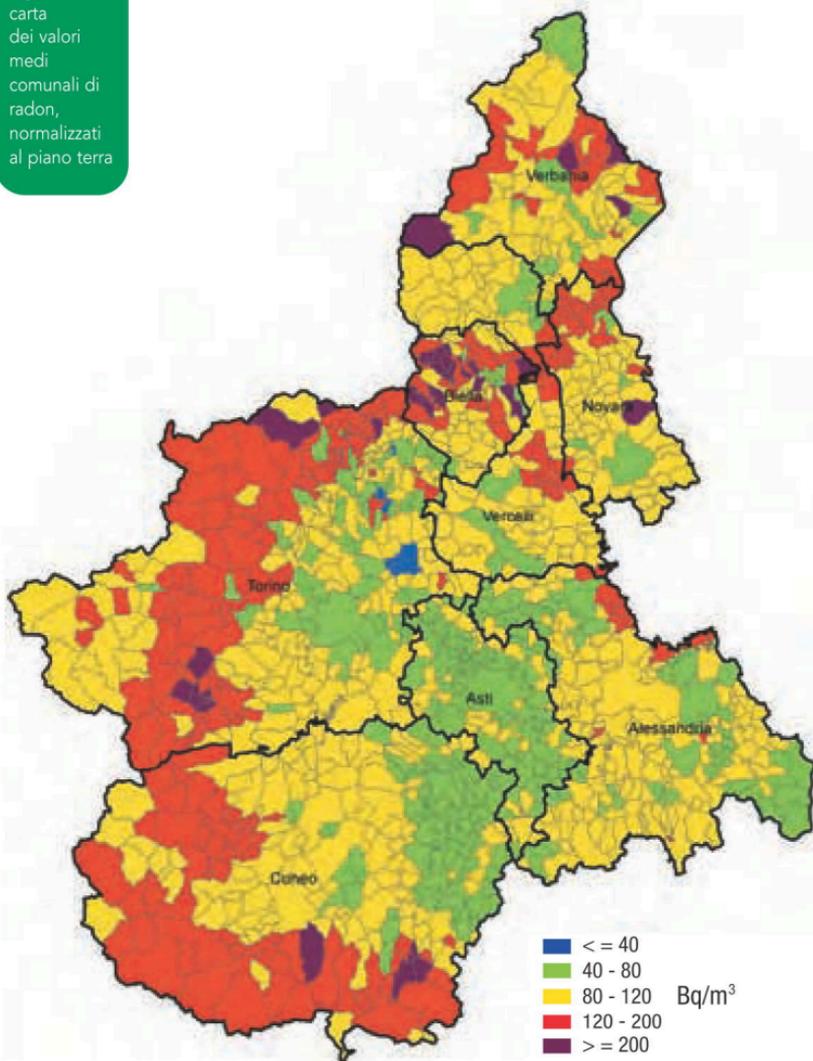


Figura 15
carta
dei valori
medi
comunalni di
radon,
normalizzati
al piano terra



Per quanto concerne invece la percentuale $P_{\%400}$, sono state impiegate le medesime soglie cromatiche (blu, verde, giallo, rosso, violetto) che, in questo caso, assumono il seguente significato:

- $P_{\%LR} < 0,1\%$: blu
- $0,1 \leq P_{\%LR} < 0,5\%$: verde
- $0,5\% \leq P_{\%LR} < 1\%$: giallo
- $1\% \leq P_{\%LR} < 5\%$: rosso
- $P_{\%LR} \geq 5\%$: violetto

La suddivisione percentuale dei Comuni che ricadono nelle suddette categorie è riportata in **Figura 16**, con un diagramma a torta analogo al precedente. La corrispondente cartografia è invece riportata in **Figura 17**.

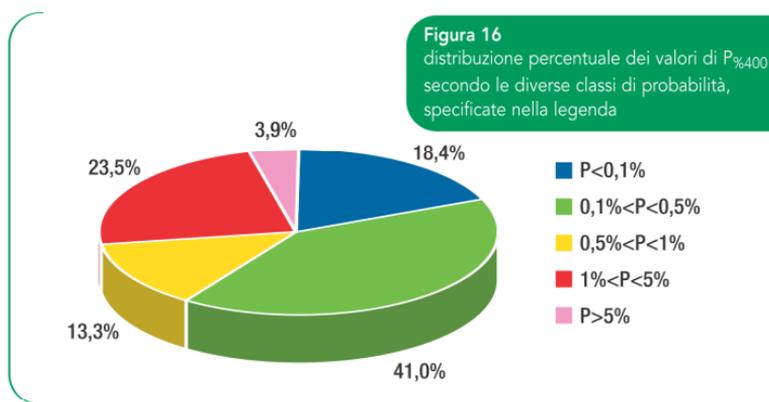
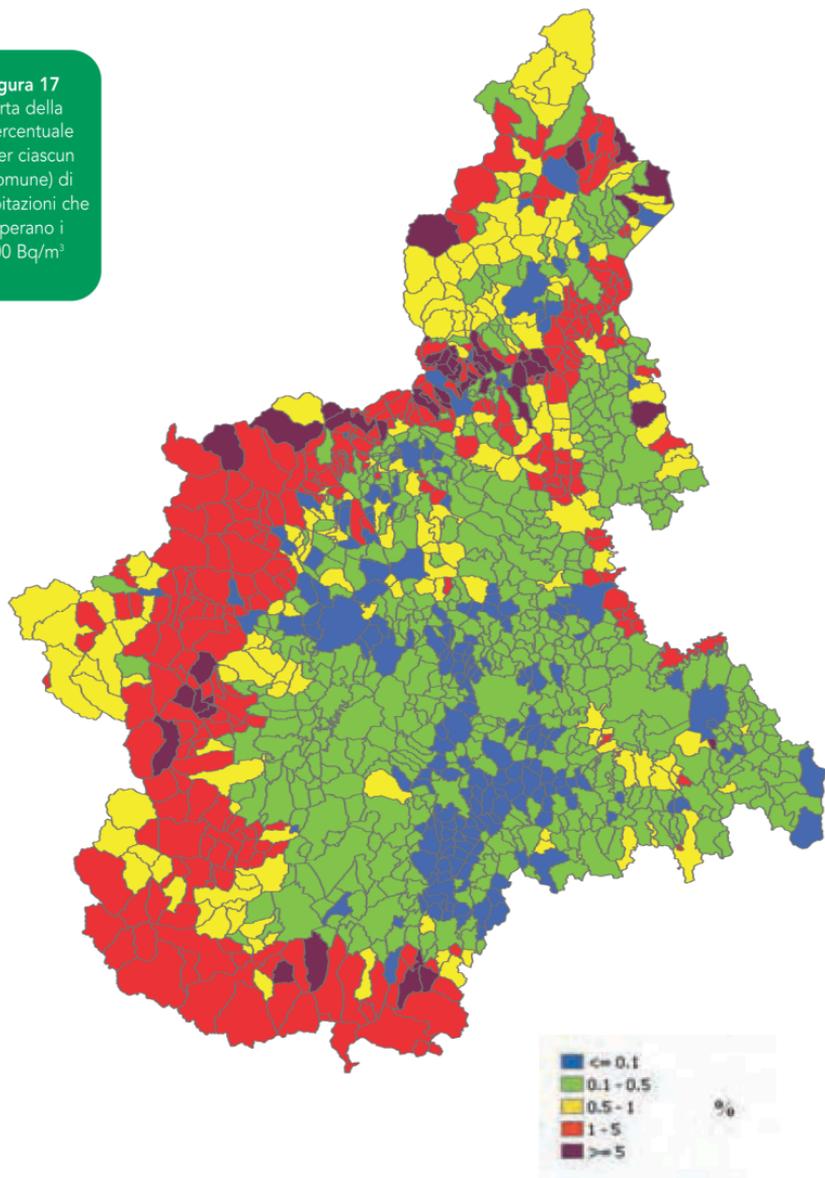


Figura 17
carta della
percentuale
(per ciascun
Comune)
di abitazioni
che
superano i
400 Bq/m³



Da questa mappa possono essere ricavate informazioni quantitative sull'incidenza, in un determinato Comune, di elevati livelli di radon: tale informazione può essere assai utile, soprattutto nella prospettiva di indirizzare risorse (regionali o locali) per la prevenzione e/o la bonifica.

Dall'analisi comparativa delle mappe di Figura 15 e Figura 17, tuttavia, si nota una notevole somiglianza cromatica tra le due rappresentazioni, segno che, anche impiegando indicatori diversi, le linee generali di tendenza rimangono le stesse: le aree alpine e pedemontane presentano infatti solitamente livelli più elevati, mentre quelle di pianura hanno valori in generale assai più contenuti.

Una maggior presenza del radon in queste aree era del resto attesa: in molte zone montane e pedemontane era infatti da diverso tempo nota l'esistenza di livelli di radioattività naturale superiori alla media. La principale novità di questa realizzazione è però quella di fornire per la prima volta e per tutti i Comuni del Piemonte, una quantificazione dei livelli di radon presenti nei rispettivi territori. Si tratta di una prima caratterizzazione che necessiterà senz'altro di ulteriori approfondimenti ma che, comunque, fin d'ora, può costituire una prima base per impostare correttamente le auspicabili future attività di ricerca e prevenzione.

Nel paragrafo successivo sono presentate in dettaglio le mappe provinciali, con l'elenco dei Comuni e i relativi dati.

3.3.2 Le mappe del radon nelle Province del Piemonte

Il questo paragrafo sono presentati in maggior dettaglio i risultati già esposti a livello regionale e sintetizzati nelle mappe di **Figura 15** e **Figura 17**. Vengono perciò presentate le mappe delle 8 Province piemontesi, relativamente all'indicatore M, valore medio comunale al piano terra. Accanto alle cartine provinciali vengono mostrate anche delle corrispondenti tabelle, nelle quali sono riportati, per ciascun Comune, oltre al valore medio dell'indicatore M anche un altro indicatore, il valore medio complessivo M_c , che sta ad indicare il valore medio di concentrazione a cui è esposta la popolazione di ciascun Comune.

Il valore M_c è in pratica la stima della concentrazione media per un generico locale residenziale, indipendentemente dal piano abitato. Si tratta, quest'ultimo, di un parametro che consente quindi di stimare l'esposizione della popolazione al radon e il conseguente rischio radiologico complessivo, a differenza di M che ha invece la funzione di descrivere la "vulnerabilità" al radon di un particolare territorio e che quindi, per questa ragione, è stato scelto come indicatore principale per la mappatura del radon in Piemonte. Dal momento che M_c comprende anche locali che stanno a piani superiori al piano terra, tale parametro sarà ovviamente sempre inferiore a M.

PROVINCIA DI ALESSANDRIA



Tabella 1: Medie comunali della concentrazione radon (per i comuni contrassegnati con "*" la media è stata ottenuta dalle sole misure sperimentali, mentre per quelli non contrassegnati la media è stata stimata dalle medie sperimentali di concentrazione radon per litologia).

COMUNE	MEDIA PIANO TERRA Bq/m ³	VALORE MEDIO COMPLESSIVO Bq/m ³
Acqui Terme	81	69
Albera Ligure	79	67
Alessandria	91	78
Alfiano Natta	81	69
Alice Bel Colle	73	62
Alluvioni Cambiò	79	67
Altavilla Monferrato	79	67
Alzano Scrivia	80	68
Arquata Scrivia	87	74
Avolasca	83	70
Balzola	88	74
Basaluzzo	102	87
Bassignana	126	106
Belforte Monferrato	107	91
Bergamasco	97	82
Berzano di Tortona	88	75
Bistagno	76	65
Borghetto di Borbera	88	74
Borgo San Martino	85	72
Borgoratto Alessandrino	113	96
Bosco Marengo	94	80
Bosio	112	95
Bozzole	159	135
Brignano Frascata	87	74
Cabella Ligure	76	64
Camagna	81	69
Camino	83	71
Cantalupo Ligure	82	70
Capriata d'Orba	104	88
Carbonara Scrivia*	54	46
Carentino	113	96
Carezzano	83	70
Carpeneto	97	83
Carrega Ligure	71	61

Carrosio	89	75
Cartosio	82	70
Casal Cermelli	84	71
Casale Monferrato*	48	41
Casaleggio Boiro	97	82
Casalnoceto	88	74
Casasco	93	79
Cassano Spinola	91	77
Cassine	83	71
Cassinelle	100	84
Castellania	69	59
Castellar Guidobono	85	72
Castellazzo Bormida	88	75
Castelletto d'Erro	87	74
Castelletto d'Orba	75	64
Castelletto Merli	76	65
Castelletto Monferrato	89	76
Castelnuovo Bormida	89	76
Castelnuovo Scivia	89	75
Castelspina	88	74
Cavatore	87	74
Cella Monte	83	71
Cereseto	77	66
Cerreto Grue	88	75
Cerrina	73	62
Coniolo	99	84
Conzano	77	66
Costa Vescovato	79	67
Cremolino	92	78
Cuccaro Monferrato	82	70
Denice	102	87
Dernice	87	74
Fabbrica curone	69	58
Felizzano	98	83
Fraconalto	88	74
FrancaVilla Bisio	108	92
Frascaro	124	105
Frassinello Monferrato	81	69
Frassineto Po	140	119
Fresonara	90	77
Frugarolo	80	68
Fubine	92	78
Gabiano	81	69
Gamalero	117	99

Garbagna	85	72
Gavazzana	78	66
Gavi	82	69
Giarole	88	75
Gremiasco	108	91
Grogardo	86	73
Grondona	79	67
Guazzora	73	62
Isola Sant'Antonio	124	105
Lerma	86	73
Lu	83	71
Malvicino	94	80
Masio	100	84
Melazzo	97	82
Merana	100	85
Mirabello Monferrato	90	77
Molare	110	93
Molino dei Torti	79	67
Mombello Monferrato	79	67
Momperone	83	70
Moncestino	69	59
Mongiardino Ligure	76	65
Monleale	86	73
Montacuto	77	65
Montaldeo	66	56
Montaldo Bormida	88	75
Montecastello	96	81
Montechiaro d'Acqui	91	77
Montegioco	106	90
Montemarzino	88	75
Morano sul Po*	92	78
Morbello	100	85
Mornese	84	72
Morsasco	84	71
Murisengo	78	66
Novi Ligure*	72	61
Occimiano	77	66
Odalengo Grande	70	60
Odalengo Piccolo	70	60
Olivola	81	69
Orsara Bormida	69	59
Ottiglio	75	64
Ovada	92	78
Oviglio	102	86

Ozzano Monferrato	72	62
Paderna	85	72
Pareto	86	73
Parodi Ligure	67	57
Pasturana	116	99
Pecetto di Valenza	92	78
Pietra Marazzi	93	79
Piovera*	70	59
Pomaro Monferrato	125	106
Pontecurone	79	67
Pontestura	85	72
Ponti	98	83
Ponzano Monferrato	76	64
Ponzone*	85	72
Pozzol Groppo	82	70
Pozzolo Formigaro	105	89
Prasco*	64	54
Predosa	108	92
Quargnento	94	79
Quattordio	100	85
Ricaldone	75	63
Rivalta Bormida	87	74
Rivarone	98	84
Rocca Grimalda	98	83
Roccaforte Ligure	76	65
Rocchetta Ligure	91	77
Rosignano monferrato	83	70
Sala monferrato	81	69
San Cristoforo	83	71
San Giorgio Monferrato	67	57
San Salvatore Monferrato	82	69
Sale	76	65
San Sebastiano Curone	85	72
Sant'Agata Fossili	72	61
Sardigliano	77	66
Sarezzano*	70	59
Serralunga di Crea	75	64
Serravalle Scrivia	92	78
Sezzadio	105	89
Silvano D'Orba	88	75
Solero	91	77
Solonghelo	81	69
Spigno monferrato*	62	53
Spineto Scrivia	91	78



Stazzano	76	64
Strevi	81	68
Tagliolo Monferrato	88	74
Tassarolo	119	100
Terruggia	79	67
Terzo	73	62
Ticineto	144	122
Tortona*	58	49
Treville	74	63
Trisobbio	75	64
Valenza	101	86
Valmacca	159	135
Vignale Monferrato	82	69
Vignole Borbera*	90	77
Viguzzolo	87	74
Villadeati	94	80
Villalvernia*	158	134
Villamiroglio	66	56
Villanova Monferrato*	126	107
Villaromagnano	83	70
Visone	87	74
Volpedo	83	70
Volpeglino	85	72
Voltaggio	96	82

4 Conclusioni e prospettive

- Questo studio offre per ogni Comune una **stima del valor medio di concentrazione radon** (la media regionale piemontese è 69 Bq/m^3). Nel 75% dei Comuni, la media radon al piano terra di un edificio risulta inferiore a 120 Bq/m^3 , mentre nel restante 25%, i valori sono superiori.
- Il lavoro di mappatura del radon si inserisce nell'ambito del problema della **definizione delle aree** ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon (D.Lvo 241/00).
- La **prevenzione del radon** è possibile intervenendo sugli edifici in costruzione o esistenti migliorando le condizioni di ricambio d'aria, impedendo l'ingresso nell'edificio del radon proveniente dal suolo e variando le condizioni di pressurizzazione dei locali.

Grazie al presente lavoro di caratterizzazione del territorio, si è riusciti a fornire una stima delle concentrazioni di radon attese per ogni Comune del Piemonte.

Tale studio si è avvalso di una notevole mole di dati sperimentali, cioè di misure dirette di radon negli edifici, ma anche di informazioni di tipo geologico e litologico, opportunamente elaborate tramite modelli. Inoltre, nella caratterizzazione delle litologie, si è fatto uso anche di dati radiometrici ricavati dall'analisi del contenuto di radioattività nelle principali rocce prelevate in tutto il Piemonte.

La media complessiva della nostra regione, pari a 69 Bq/m^3 , conosciuta già dal 1991 come risultato della Campagna Nazionale radon, è stata confermata dai risultati di questo studio: dalla base dati è stato possibile ricavare, con un opportuno procedimento matematico, una concentrazione media di $70,45 \text{ Bq/m}^3$.

Dallo studio emerge, inoltre, una notevole variabilità delle singole medie comunali che spaziano da 40 Bq/m^3 fino a raggiungere valori anche superiori a 200 Bq/m^3 in alcune aree dell'arco alpino, d'altronde già note in letteratura, come la Valle Cervo e alcune zone del cuneese.

Altre aree però, meno note da questo punto di vista, sono risultate affette da concentrazioni di radon superiori alla media. A fronte di una percentuale di circa il 75% di

territori comunali con valori medi compresi tra 40 e 120 Bq/m³, prevalentemente distribuiti in pianura, nel 22% dei Comuni si è ottenuta una media compresa tra 120 e 200 Bq/m³, mentre in circa 2,8 % di essi la media è superiore a 200 Bq/m³. Per questo motivo nel prossimo futuro proseguiranno diversi studi di approfondimento in numerosi Comuni della regione.

Sotto l'aspetto normativo, come discusso nel prossimo paragrafo 4.1, lo studio effettuato si colloca nell'ambito del problema della definizione delle aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon (D.L.vo 241/00) e fornisce alla Regione, in tal senso, uno strumento conoscitivo del territorio, condizione necessaria per assolvere gli obblighi di Legge.

Nel paragrafo 4.2 si affronta l'importante tema della prevenzione del radon che interessa in modo particolare gli aspetti edilizi: azioni mirate in fase di progetto di un nuovo edificio garantiscono infatti notevoli risultati nella riduzione dell'esposizione al radon della popolazione a fronte di costi assai contenuti.

Infine, sono anche fornite indicazioni per le azioni di bonifica da intraprendere, quando necessario, sul patrimonio edilizio esistente.

4.1 Il significato della mappatura e il problema della definizione delle "aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon" ex Decreto Legislativo 241/2000

La mappatura del radon scaturita da questo lavoro ha un significato per ora prettamente ambientale e conoscitivo: non si può quindi dedurre da essa, una definizione delle aree che sono da considerare "a rischio radon", né tantomeno fare immediate considerazioni di tipo dosimetrico e sanitario. È però vero che, a partire dai risultati ottenuti da questo studio sarà poi possibile affrontare tali questioni.

Per le valutazioni di tipo dosimetrico e sanitario sarà evidentemente necessario fare riferimento agli aspetti demografici, tramite i quali sarà poi possibile stimare più correttamente l'esposizione della popolazione. Su questi temi si sta infatti muovendo il Piano Nazionale Radon, e Arpa Piemonte, per parte sua, vuole dare il suo contributo in questo senso. Una più dettagliata trattazione di questi aspetti può comunque essere trovata nel rapporto tecnico completo, da cui questa sintesi è stata tratta.

Dal punto di vista politico-amministrativo, il passo successivo da fare sarebbe quello di adempiere ai compiti che il Decreto Legislativo 241/2000 attribuisce alle Regioni: cioè l'individuazione delle "aree a elevata probabilità di alte concentrazioni di atti-

vità di radon”, così sono testualmente definite dall’articolo 10-sexies del Decreto Legislativo 230/1995 e ss.mm.ii., e che noi per semplicità, con un evidente abuso di linguaggio, abbiamo chiamato “aree a rischio radon”.

Su questo aspetto si sconta attualmente la mancanza di linee guida nazionali che, in base alla norma vigente, avrebbero dovuto essere emanate dalla competente Sezione speciale della Commissione tecnica per le esposizioni a sorgenti naturali di radiazioni (art.10-septies del Decreto Legislativo 230/1995). Se dunque la concreta individuazione e definizione di tali aree “a norma di legge”, sancita dalla pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale, resta per ora un problema ancora da definire, è pur vero che, dal punto di vista sostanziale, da parte delle autorità regionali possono comunque essere compiuti tutti i passi necessari per raggiungere l’obiettivo prefissato dalla normativa.

Le cartografie prodotte in questo studio, pur essendo progressivamente aggiornabili e modificabili con il miglioramento delle conoscenze ambientali, costituiscono uno strumento già ora utilizzabile per gli scopi previsti dalla norma.

Va tuttavia specificato che, comunque, l’attività di ricerca di Arpa Piemonte sul radon non si arresta con la pubblicazione di questo studio, ma anzi è in continuo svolgimento ed evoluzione; saranno quindi da attendersi nel prossimo futuro aggiornamenti e modifiche del quadro attuale. In particolare le linee di ricerca che si stanno percorrendo sono sostanzialmente tre:

- i) nuove campagne di misura volte ad aumentare la base dati sperimentale
- ii) affinamento del modello di correlazione litologica con nuovi accorpamenti e/o differenziazioni tra diverse litologie
- iii) studi per la valutazione dell’esposizione al radon della popolazione

Mentre le prime due linee di ricerca potranno condurre a modifiche di alcuni aspetti delle attuali cartografie, rendendole più complete e attendibili, la terza, dedicata alla stima dell’esposizione e quindi alla quantificazione dei rischi sanitari e alla loro distribuzione sul territorio potrà condurre all’elaborazione di nuove mappe, più direttamente correlabili all’esposizione della popolazione e quindi anche agli effetti sanitari del radon.

4.2 L’attività di prevenzione del rischio radon: metodologie costruttive e azioni di rimedio

L’eventuale presenza di elevate concentrazioni di radon in un ambiente residenziale o lavorativo, allo stato attuale delle conoscenze scientifiche non dovrebbe destare eccessive preoccupazioni e ansie nella popolazione, perché il problema può comunque sempre essere affrontato positivamente, in un’ottica di prevenzione e quasi sempre a costi assai contenuti.

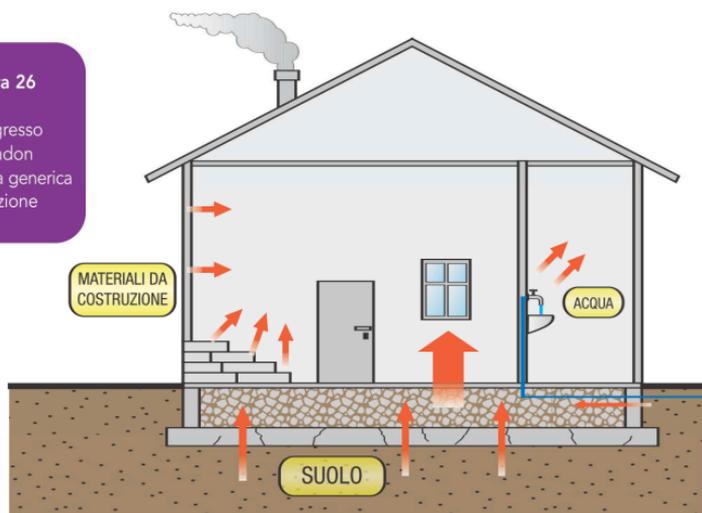
Prendendo come riferimento, per la valutazione della rilevanza del dato, i livelli di concentrazione internazionali (per le abitazioni, ad esempio, i 400 Bq/m³ della Raccomandazione UE) o nazionali (per i luoghi di lavoro i 500 Bq/m³ del Livello d'Azione stabilito dal D.Lgs. 241/2000), si può fare una prima valutazione dell'urgenza dell'intervento. È infatti evidente che laddove tali livelli sono ampiamente superati (cioè, in pratica, quando le concentrazioni di radon superano il migliaio di Bq/m³), e/o allorché i locali in questione sono soggetti a un'occupazione costante e prolungata, l'intervento deve essere attuato con solerzia.

È d'altra parte vero che, anche sulla scorta delle ultime acquisizioni in ambito epidemiologico, la riduzione della concentrazione di radon, anche laddove le concentrazioni non sono elevatissime, risulta comunque sempre auspicabile. Il problema della riduzione del rischio radon deve cioè essere impostato in generale in un'ottica di prevenzione. Questo significa che, soprattutto per le nuove costruzioni, andrebbero sempre previsti in fase costruttiva alcuni elementi di progetto che limitino l'ingresso del radon negli edifici dal sottosuolo e che consentano, laddove necessario, un'agevole adozione delle azioni di rimedio.

Occorre quindi anzitutto considerare quelle che sono le possibili fonti di ingresso del radon in un'abitazione (Figura 26). In ordine di importanza abbiamo:

- suolo
- materiali da costruzione
- acqua
- gas

Figura 26
fonti
di ingresso
del radon
in una generica
abitazione



Tenendo però presente che, in condizioni normali, il suolo è la fonte del 90% o anche più del radon che entra in un'abitazione, si comprende come le azioni che riducano l'ingresso del radon presente nel suolo siano quelle più efficaci per prevenirne l'accumulo. In base a considerazioni di questo tipo, il Sottocomitato Scientifico del progetto CCM "Avvio del Piano Nazionale Radon per la riduzione del rischio del tumore polmonare in Italia" ha recentemente emanato una Raccomandazione su questi temi che viene integralmente riportata in appendice.

Per quanto riguarda invece le azioni di rimedio, ve ne sono di vario genere. Le principali tipologie sono schematizzate in **Figura 27**. Gli interventi più diffusi e normalmente proposti per diminuire le concentrazioni radon in un edificio si basano su diverse azioni che sommariamente elenchiamo:

- aumento del ricambio d'aria naturale;
- imposizione di un sistema di aerazione forzata;
- pressurizzazione interna (immissione forzata di aria dall'esterno all'interno);
- aspirazione del radon dal suolo tramite pozzetto esterno (depressurizzazione del suolo sottostante l'edificio);
- sigillatura di tutte le canaline per il passaggio di cavi o tubazioni comunicanti col terreno;
- posa in opera nelle solette di apposite barriere radon impermeabili.

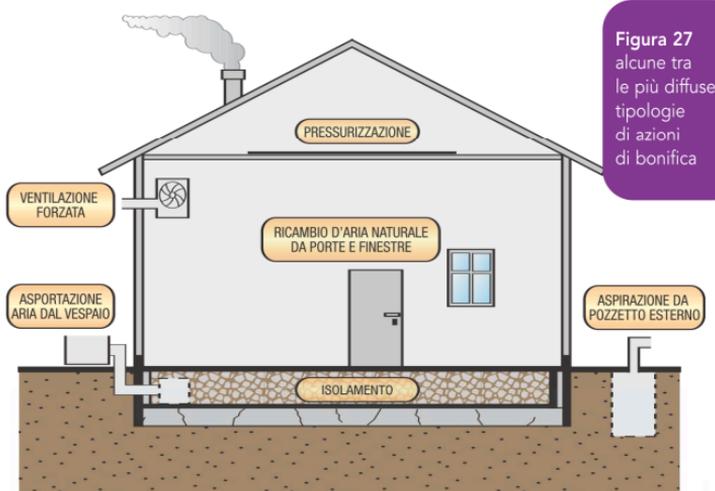


Figura 27
alcune tra
le più diffuse
tipologie
di azioni
di bonifica

Molti di questi interventi non sono tra loro mutuamente esclusivi potendo, nella pratica, essere anche adottati contemporaneamente. Un'indicazione di dettaglio della migliore strategia da percorrere non può tuttavia prescindere dall'analisi e dallo studio del singolo caso concreto. Per un approfondimento di tali temi si rimanda quindi alla lettura di testi specifici, di cui riportiamo in bibliografia i riferimenti [18-19-20-21-22-23-24] e nei quali potranno essere reperite informazioni e linee guida per portare a termine un'efficace azione di bonifica.

Riferimenti utili

Per ulteriori informazioni si può contattare il Centro di riferimento per le Radiazioni ionizzanti e non ionizzanti di Arpa Piemonte che ha sede ad Ivrea in via Jervis, 30 10015 (TO) - Fax 0125.6453584 - Tel.0125.6453511

I cittadini possono inoltrare richieste di informazioni presso l'Ufficio Relazioni col Pubblico (URP) - email: urp.ivrea@arpa.piemonte.it - Tel. 0125/6453502

Altre pubblicazioni inerenti al radon tra cui un opuscolo informativo possono essere reperite sul sito dell'Arpa Piemonte: www.arpa.piemonte.it.

Glossario

- Attività:** grandezza fisica che esprime la quantità di radioattività.
- Becquerel (Bq):** misura l'attività della sostanza radioattiva ed esprime il numero di disintegrazioni nell'unità di tempo; 1 Bq equivale ad una disintegrazione al sec.
- Campionamento integrato:** metodologia di misura che permette di avere la concentrazione di radon in un lungo periodo di tempo.
- Campionamento istantaneo:** metodologia di misura che permette di avere la concentrazione di radon in un breve intervallo di tempo (tipicamente minore di 1 ora).
- Concentrazione di attività (Bq/m³):** esprime l'attività di una sostanza radioattiva nell'unità di volume.
- Dose assorbita:** grandezza che esprime l'energia assorbita per unità di massa. L'unità di misura della dose è il Gray (Gy).
- Dose efficace:** grandezza radioprotezionistica che tiene conto delle dosi equivalenti nei diversi organi o tessuti opportunamente ponderate. L'unità della dose efficace è il Sievert (Sv).
- Dosimetria:** ramo della fisica che si occupa del calcolo dell'energia assorbita dalla materia e in particolare dagli esseri viventi sottoposti al flusso delle radiazioni. Dosimetro radon: dispositivo passivo utilizzato per la misura del gas radon contenente al suo interno un rivelatore di particelle α .
- Gas nobile:** gas inerte cioè che non si lega chimicamente con nessun altro elemento; appartiene al diciottesimo gruppo della tavola periodica degli elementi.
- Litologia:** studio delle caratteristiche chimiche e fisiche che definiscono una roccia.
- Livello d'Azione:** valore di concentrazione di attività di radon in aria o di dose efficace superato il quale è necessario intraprendere azioni di bonifica.
- Neutrone:** particella subatomica senza carica elettrica; ha quasi la stessa massa del protone.
- Particelle alfa (α):** nuclei dell'atomo di elio (He) carichi positivamente formati da due neutroni e due protoni: sono emesse da parecchi elementi radioattivi.
- Protone:** particella dotata di carica elettrica positiva che esiste libera o legata in un nucleo atomico.
- Radiazione gamma:** radiazione elettromagnetica ad elevato potere di penetrazione, avente una ben determinata energia, emessa da alcune sostanze radioattive.
- Radioattivo:** detto di elemento chimico il cui nucleo risulta instabile e che pertanto emette particelle subatomiche trasformandosi in un altro elemento.

Rivelatore nucleare a tracce: materiale plastico che possiede una struttura molecolare che lo rende adatto a rivelare il passaggio di particelle cariche e, in particolare, delle particelle α .

Rivelatore attivo: sistema di misura di radiazioni che necessita di alimentazione elettrica per il suo funzionamento.

Rivelatore passivo: sistema di misura di radiazioni che non necessita di alcun tipo di alimentazione elettrica e utilizza dei componenti inerti.

Spettrometria gamma: tipo di analisi mediante la quale si identifica l'elemento radioattivo attraverso la misura dell'energia della radiazione gamma.

Studi epidemiologici: studi biomedici sulla correlazione tra malattie ed esposizione ad agenti o eventi nocivi alla salute.

Studi epidemiologici di tipo pooled: studi che rianalizzano, mettendoli insieme, dati provenienti da ricerche effettuate in tempi diversi e in diversi Paesi, aumentando in tal modo la potenza statistica del metodo.

Tempo di dimezzamento o emivita: il tempo necessario affinché la metà degli atomi di un elemento radioattivo subisca il processo di disintegrazione radioattiva.

Ringraziamenti

I risultati presentati in questo lavoro sono il frutto di uno sforzo collettivo che ha impegnato per anni tutto il personale del Centro Regionale Radiazioni Ionizzanti e Non Ionizzanti e delle altre strutture Arpa Piemonte coinvolte. A tutti loro va dunque un sentito ringraziamento da parte del gruppo di ricerca. Vogliamo però rivolgere un pensiero particolare di ricordo e gratitudine al nostro caro amico e collega Franco Righino, che ci ha lasciato prematuramente e tragicamente alla fine del 2007, per la passione e dedizione con cui ha contribuito a questa realizzazione.

Si ringraziano infine i colleghi dell'Assessorato Ambiente - Grandi Rischi Ambientali della Regione Piemonte, per i suggerimenti e il prezioso lavoro di rilettura del testo.

Appendice



Centro nazionale per la prevenzione
ed il controllo delle malattie



Istituto Superiore di Sanità

Raccomandazione del Sottocomitato Scientifico del progetto CCM
"Avvio del Piano Nazionale Radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia"
(approvata il 10 novembre 2008)

PREMESSA

Il Piano Nazionale Radon (previsto da due accordi Stato-Regioni del 2001⁽⁶⁰⁾) è stato preparato nel 2002 da un apposito gruppo di lavoro della "Commissione tecnico-scientifica per l'elaborazione di proposte di intervento legislativo in materia di inquinamento indoor", promossa dal Ministero della Sanità e della quale facevano parte esperti di altri Enti ed Amministrazioni regionali e nazionali. Nello stesso anno, il Piano Nazionale Radon ha avuto il parere positivo del Consiglio Superiore di Sanità ed è stato discusso e valutato positivamente in sede di Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano.

La realizzazione del Piano Nazionale Radon è stata approvata nel dicembre 2004 nell'ambito delle attività del Centro Nazionale per la Prevenzione ed il Controllo delle Malattie (CCM) – cui concorrono, oltre al Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali, le Regioni e Province Autonome e gli Enti nazionali competenti – tramite il progetto "Avvio del Piano Nazionale Radon per la riduzione del rischio di tumore polmonare in Italia", il cui coordinamento è affidato all'Istituto Superiore di Sanità, con la collaborazione di un apposito Sottocomitato Scientifico, di cui fanno parte esperti di diverse Regioni, Enti ed Amministrazioni.

Tale Sottocomitato Scientifico è stato nominato con Decreto Ministeriale del 31 marzo 2006, nel quale, all'art.3, sono riportati i suoi compiti, tra cui la "predisposizione di adeguamenti normativi in materia di rischi connessi con l'esposizione al radon, incluso linee guida", compiti ribaditi all'art.2 del Decreto Dirigenziale del 13 novembre 2007 con cui il Sottocomitato Scientifico è stato rinnovato.

Su questa base, tenendo conto delle recenti risultanze scientifiche e delle conseguenti evoluzioni normative in materia di esposizione al radon in altri Paesi e in ambito internazionale, e considerando che in molte Regioni e Comuni italiani si stanno aggiornando gli strumenti normativi e regolamentari urbanistici, il Sottocomitato Scientifico rivolge agli enti ed alle amministrazioni competenti la seguente:

RACCOMANDAZIONE SULL'INTRODUZIONE DI SISTEMI DI PREVENZIONE DELL'INGRESSO DEL RADON IN TUTTI GLI EDIFICI DI NUOVA COSTRUZIONE

1. Le stime del rischio di tumore polmonare connesso all'esposizione al radon (un gas radioattivo – prodotto dall'uranio ed emesso soprattutto dal suolo – che tende a concentrarsi nell'aria di luoghi chiusi, come gli edifici ad uso abitativo e lavorativo) sono state basate fino a pochi anni fa principalmente sugli studi epidemiologici su coorti di minatori di miniere sotterranee di uranio, caratterizzate da valori molto alti di concentrazione di radon⁽⁶¹⁾. I risultati così ottenuti sono stati estrapolati ai valori più bassi di concentrazione di radon riscontrabili nelle abitazioni e nei normali luoghi di lavoro, e sulla base di tali estrapolazioni molti Stati ed Organismi Internazionali hanno emanato norme o raccomandazioni per limitare l'esposizione al radon. In Italia, il D.Lgs 241/00, che ha recepito la Direttiva 29/96/Euratom modificando ed integrando il D.Lgs 230/95, ha introdotto la regolamentazione dell'esposizione al radon nei luoghi di lavoro.

⁶⁰ *Accordo tra il Ministro della sanità e le regioni e province autonome di Trento e Bolzano sulle linee-guida concernenti la prevenzione, la diagnostica e l'assistenza in oncologia* (8-03-2001, Suppl. Ordinario n.102 della G.U. n.100 del 2-05-2001).

⁶¹ *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»* (27-09-2001, Suppl. Ordinario della G.U. n.276 del 27-11-2001).

2. Le incertezze connesse all'extrapolazione dei risultati degli studi epidemiologici sui minatori hanno spinto ad effettuare studi epidemiologici (di tipo caso-controllo) per valutare direttamente il rischio di tumore polmonare connesso all'esposizione al radon nelle abitazioni. Dati i valori di esposizione generalmente più bassi rispetto alle miniere, è necessario analizzare in modo combinato i dati di molti studi per aumentarne la potenza statistica. Negli ultimi quattro anni sono stati pubblicati i risultati delle analisi combinate di tutti i principali studi epidemiologici di tipo caso-controllo condotti in Europa³ (13 studi, incluso uno studio effettuato in Italia), nel Nord-America⁴ (7 studi) e in Cina⁵ (2 studi).

3. I risultati di questi studi epidemiologici dimostrano che l'esposizione al radon nelle abitazioni aumenta in modo statisticamente significativo il rischio di tumore polmonare, e che tale aumento è proporzionale al livello di esposizione. In particolare, l'analisi combinata degli studi europei ha permesso di stimare che ad ogni incremento di 100 Bq/m³ di concentrazione di radon media corrisponde un incremento del rischio del 16% circa⁶. E' stata anche evidenziata una forte sinergia tra il radon ed il fumo di sigaretta, a causa della quale il rischio dovuto all'esposizione al radon è molto più alto (circa 25 volte) per i fumatori che per i non fumatori. Anche per i non fumatori, comunque, vi è un incremento di rischio significativo. Va sottolineato che il rischio aumenta in modo statisticamente significativo non solo per elevate esposizioni al radon, ma anche per esposizioni prolungate a concentrazioni di radon medio-basse, che non superano i 200 Bq/m³.

4. Sulla base di questi risultati si stanno sviluppando a livello sia nazionale (in diversi Paesi, tra cui il Canada, la Germania, il Regno Unito) che internazionale (nelle raccomandazioni di organismi internazionali, in particolare dell'Organizzazione Mondiale della Sanità⁷) nuovi approcci finalizzati a ridurre i rischi connessi all'esposizione al radon. Tali approcci non sono più incentrati esclusivamente sulla riduzione dei valori più elevati di concentrazione di radon nelle abitazioni e nei luoghi di lavoro, ma considerano giustificati anche interventi (incluso quelli normativi) finalizzati alla riduzione di concentrazioni di radon medio-basse, tenendo conto anche del rapporto costo/efficacia.

5. Una delle strategie di intervento con migliore rapporto costo/efficacia consiste nell'introdurre in tutti gli edifici di nuova costruzione (e non solo in quelli situati in zone a maggiore presenza di radon) semplici accorgimenti costruttivi che riducano l'ingresso del radon e che facilitino (e rendano più efficace) l'eventuale successiva installazione di sistemi attivi di riduzione della concentrazione di radon. L'adozione di tali accorgimenti in fase di cantiere ha un costo generalmente molto limitato, sostanzialmente trascurabile rispetto al costo complessivo dell'edificio. Inoltre, alcuni di questi accorgimenti costruttivi hanno un effetto positivo anche in relazione all'isolamento dall'umidità del terreno. Questa strategia, già adottata in passato da alcuni Paesi quali l'Irlanda, si sta ora diffondendo come uno dei sistemi più efficaci per ridurre il numero complessivo di effetti sanitari attribuibili al radon. Per esempio, l'Health Protection Agency (UK) ha raccomandato (a maggio 2008) l'estensione a tutti gli edifici di nuova costruzione del livello base di protezione (cioè la posa di una membrana impermeabile al radon), prima non richiesto nelle zone a bassa probabilità di alte concentrazioni di radon.

6. Una tale strategia di prevenzione andrebbe applicata in Italia il prima possibile, in quanto ogni edificio di nuova costruzione realizzato senza queste tecniche preventive potrà aver bisogno, soprattutto nelle zone a maggiore presenza di radon, di un successivo intervento di mitigazione che avrà un costo più elevato ed un'efficacia inferiore, rispetto a un edificio costruito con adeguati accorgimenti.

Sulla base di quanto esposto, questo Sottocomitato Scientifico raccomanda che:

A) negli strumenti urbanistici (piani di coordinamento, piani regolatori, regolamenti edilizi, ecc.) di tutti gli enti preposti alla pianificazione e controllo del territorio (in particolare le amministrazioni comunali) sia introdotta la prescrizione per tutti i nuovi edifici di adottare semplici ed economici accorgimenti costruttivi finalizzati alla riduzione dell'ingresso di radon ed a facilitare l'installazione di sistemi di rimozione del radon che si rendessero necessari successivamente alla costruzione dell'edificio.

B) analoghe prescrizioni siano adottate per quegli edifici soggetti a lavori di ristrutturazione o manutenzione straordinaria che coinvolgano in modo significativo le parti a contatto con il terreno (attacco a terra).

Come ausilio all'applicazione di questa raccomandazione, si segnala che esistono diverse guide, sia in italiano che in inglese, che descrivono anche in dettaglio gli accorgimenti costruttivi citati, e che un apposito gruppo di lavoro di questo Sottocomitato Scientifico sta elaborando specifiche linee guida e schede tecniche. Tutti questi documenti verranno elencati e, ove possibile, messi a disposizione sui siti del CCM e dell'Istituto Superiore di Sanità relativi al Piano Nazionale Radon (www.iss.it/pnr oppure www.iss.it/radon).

Bibliografia

- 1 Organizzazione Mondiale della Sanità - Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro. *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Radon and man-made mineral fibres*, vol. 43. Lyon: IARC, 1988.
- 2 National Research Council. *Health effects of exposure to radon. Committee on health risks of exposure to radon: BEIR VI*. Washington, DC: National Academy Press, 1999.
- 3 Darby S., Hill D., Auvinen A., Barros-Dios J.M., Baysson H., Bochicchio F., Deo H., Falk R., Forastiere F., Hakama M., Heid I., Kreienbrock L., Kreuzer M., Lagarde F., Mäkeläinen I., Muirhead C., Oberaigner W., Pershagen G., Ruano-Ravina A., Ruosteenoja E., Schaffrath-Rosario A., Tirmarche M., Tomáček L., Whitley E., Wichmann H.E., Doll R. *Radon in homes and lung cancer risk: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies*. Br. Med. J. 330, 223-226, 2005.
- 4 Krewski D., Lubin J.H., Zielinski J.M., Alavanja M., Catalan V.S., Field R.W., Klotz J.B., Létourneau E.G., Lynch C.F., Lyon J.I., Sandler D.P., Schoenberg J.B., Steck D.J., Stolwijk J.A., Weinberg C., Wilcox H.B. *Risk of lung cancer in North America associated with residential radon*. Epidemiology 16, 137-145, 2005.
- 5 Lubin, J.H., Wang, Z.Y., Boice Jr, J.D., Xu, Z.Y., Blot, W.J., De Wang, L., Kleinerman, R.A. *Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies*. Int. J. Cancer 109, 132-137, 2004.
- 6 www.who.int/ionizing_radiation/env/radon/en/

Bibliografia

- [1] Nero and Nazaroff, Radon and its decay products, John Wiley, 1988.
- [2] WHO-IARC (World Health Organisation – 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.
- [3] IARC Il cancro cause frequenza controllo a cura di Renzo Tomatis L. Garzanti 1991
- [4] Barros- Dios J.M., Barreiro M.A. et al. Exposure to residential radon and lung cancer in Spain: a population –based case-control study. *Am J Epidemiol* 2002; 156:548-555
- [5] Pisa F.E., Barbone F., et al Residential radon risk of lung cancer in an Italian alpine area *Arch Environ Health* 2001 56; 208-215
- [6] Commissione della Comunità Europee, Raccomandazione sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon in ambienti chiusi, G.U. delle Comunità Europee L80 del 27 marzo 1990.
- [7] Clementi ML, Il punto sul radon *Epid Prev* 2002; 1; 9.
- [8] Ministero della Salute, Il Piano Nazionale Radon, 2002, <http://www.iss.it/tesa/prog/cont.php?id=182&lang=1&tipo=14>
- [9] S.Darby et al, Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies, *BMJ* Volume 330, 29 January 2005.
- [10] F. Bochicchio, Radon epidemiology and nuclear track detectors: methods, results and perspectives, *Radiation Measurements* Vol. 40, pp. 177- 190 (2005).
- [11] Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n°203 del 31 agosto 2000, Decreto Legislativo 26 maggio 2000 n°241.
- [12] Commissione delle Comunità Europee, Direttiva 96/29/EURATOM del Consiglio del 13 maggio 1996, G.U. delle Comunità Europee L159 del 29 giugno 1996.
- [13] E. Chiaberto, M. Magnoni, F. Righino, Il radon nel suolo: misure di concentrazione e di flusso, Atti del XXXI Congresso Nazionale AIRP, Ancona 20-22 settembre 2000.
- [14] Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n°276 del 27/11/2001 S.G., Accordo 27 settembre 2001.
- [15] M. Magnoni and S. Tofani, Indoor radon measurements in anomalous sites f Piedmont, Italy, *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 56, pp. 327-329, 1994.
- [16] ISS, I rivelatori a tracce nucleari per la misura della concentrazione di radon in aria: analisi critica ed esperienze italiane a confronto, Roma 28 novembre 2001;
- [17] L. Tommasino et al., A plastic-bag sampler for passive radon monitoring, *Nuclear Tracks*, Vol.12, (1986);
- [18] G. Zannoni, M.Bellezza, C. Bigliotto, I.Prearo, Gas radon tecniche di mitigazione, Edicom Edizioni/ architettura sostenibile/strumenti e tecniche

- [19] Linee guida relative ad alcune tipologie di azioni di risanamento per la riduzione dell'inquinamento da radon, APAT - RTI CTN_ AGF 4/2005
- [20] Surveying dwellings with high indoor radon levels: a BRE guide to radon remedial measures in existing dwellings, Building Research Establishment Report
- [21] Consumer's Guide to Radon Reduction. How to Reduce Radon Levels in Your Home, EPA www.epa.gov
- [22] Building radon out: a step-by-step guide on how to build radon resistant homes, EPA www.epa.gov
- [23] Model standards and techniques for control of radon in new residential buildings, EPA www.epa.gov
- [24] Radon Prevention in the Design and construction of schools and other large buildings, EPA www.epa.gov

