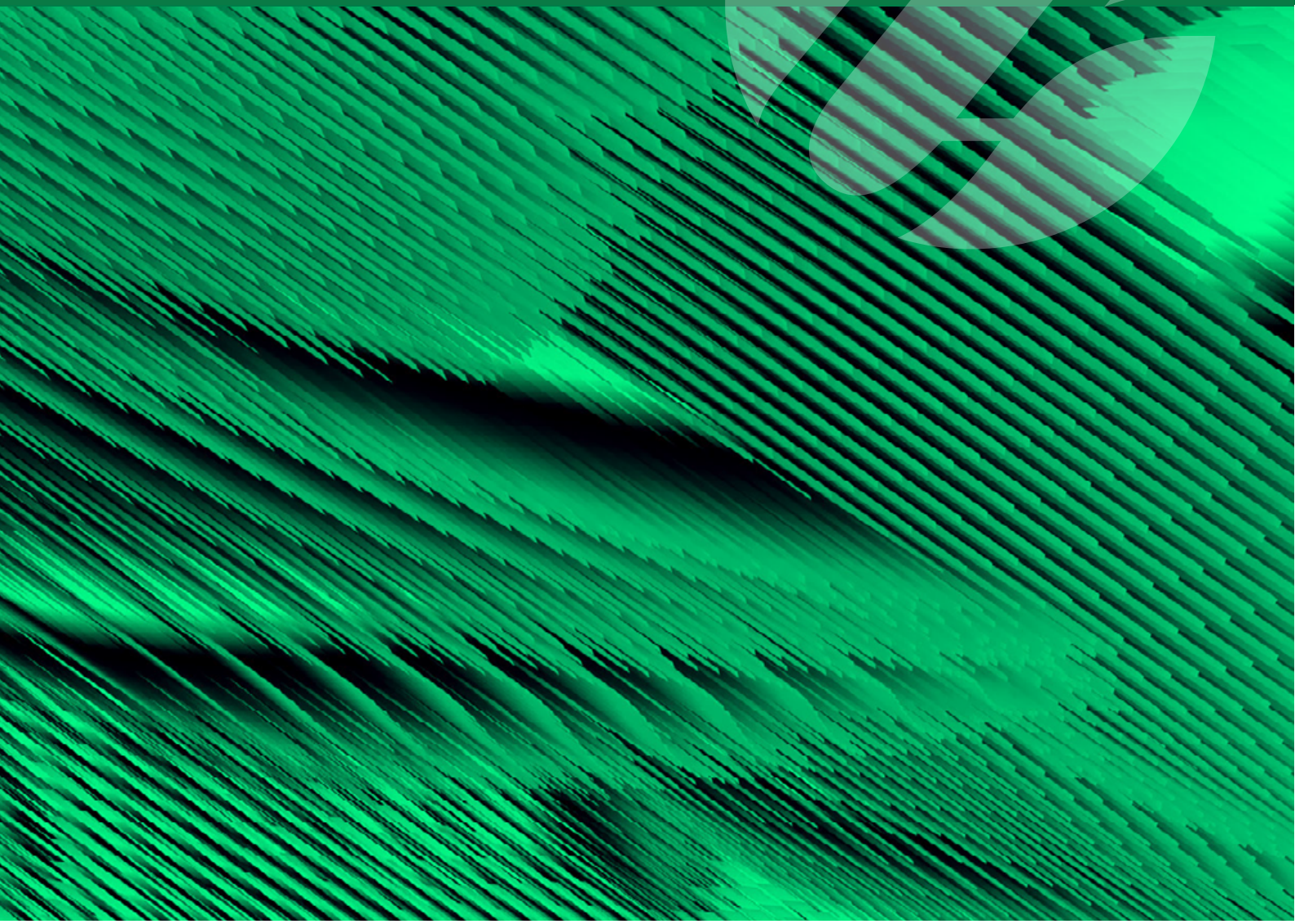
TECNORAD®
Personal dosimetry service

24ORE PROFESSIONALE

Febbraio 2025

Newsletter di aggiornamento

Realizzata da 24 Ore Professionale in collaborazione con TECNORAD©



TECNORAD®
Personal dosimetry service

TECNORAD S.r.l.
via Schiaparelli, 5
37135 Verona VR
+ 39 045 8201066

C.F./P.IVA 00645130238
R.E.A. Verona 148587
tecnorad.it

dosimetry.service@tecnorad.it
commerciale@tecnorad.it
tecnorad@registerpec.it
Radon@tecnorad.it

IMQ CERTIFIED
Certificato n. 9175TRAD

AXE REGISTERED ISO 14001
Certificato n. IT22-07412B

ACCREDIA L'ENTE ITALIANO DI ACCREDITAMENTO
LAB N° 1829 L

AXE REGISTERED ISO 27001
Certificato n. IT21-23003D

Il radon e le aree prioritarie: uno strumento di prevenzione

Introduzione: radon e salute

Il radon è un gas nobile radioattivo di origine naturale presente in modo ubiquitario nella crosta terrestre e la cui presenza è dovuta all'uranio. L'uranio è infatti il capostipite di una serie di elementi radioattivi che si generano per mezzo di una trasformazione spontanea, detta decadimento radioattivo. L'insieme di questi elementi radioattivi fanno parte della cosiddetta catena o famiglia radioattiva dell'^{238}U, il cui schema è riportato nella seguente Figura 1.1 e all'interno della quale, più o meno a metà, compare appunto il radon, indicato anche più precisamente come ^{222}Rn. Al termine della catena di successivi decadimenti radioattivi si trova un isotopo stabile (cioè non radioattivo) del piombo, il ^{206}Pb.

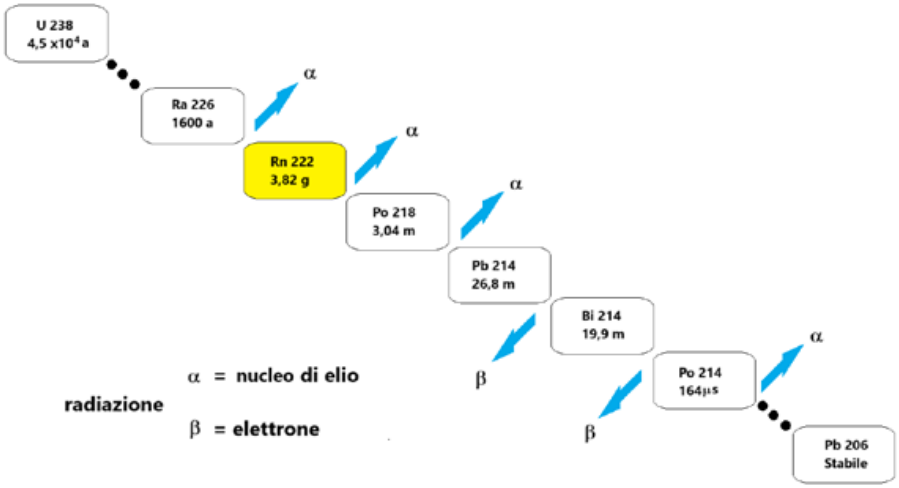


Figura 1.1 – La famiglia radioattiva dell'uranio è composta da 14 elementi radioattivi: sono evidenziati il capostipite uranio (^{238}U), il radio (^{226}Ra), immediato precursore del radon, il radon stesso (^{222}Rn), i suoi figli a vita breve (^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi, ^{214}Po) e infine il piombo (^{206}Pb) l'elemento stabile che chiude la catena. Accanto al simbolo è indicato anche il valore dell'emivita; il suffisso a sta per anni, g per giorni, m per minuti e ms per microsecondi

La caratteristica essenziale di tutti gli elementi radioattivi è l'emivita, detto anche tempo di dimezzamento, un parametro che indica il tempo necessario affinché una data quantità di radioattività si dimezzi. L'emivita del radon è di 3,82 giorni. Ciò significa che, una qualunque quantità di radon, se opportunamente isolata, si riduce a zero nel giro di poche decine di giorni, come è bene illustrato dalla seguente Figura 1.2 che mostra la curva del decadimento radioattivo del radon.

Trascorsi 5-6 tempi di dimezzamento, cioè circa 20 giorni, la quantità di sostanza radioattiva residua si è ormai ridotta a una frazione trascurabile di quella iniziale.

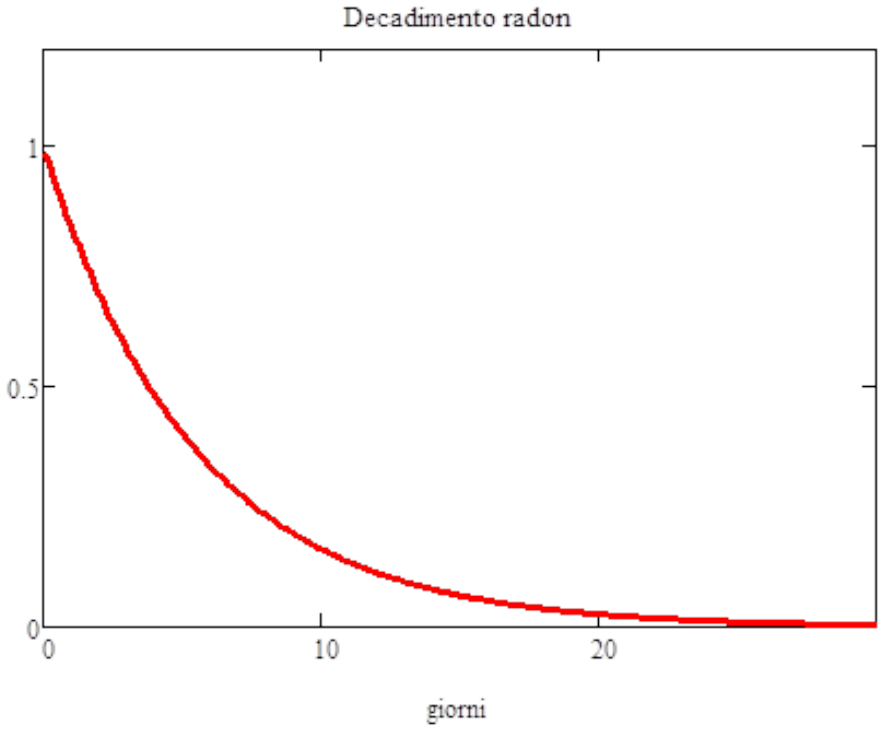


Figura 1.2 – Curva esponenziale del decadimento del radon: si può osservare che, trascorsi 20 giorni dall'istante iniziale, corrispondenti a poco più di 5 tempi di dimezzamento, la quantità di radon residua è quasi nulla.

Tuttavia, tutto ciò nella pratica non si osserva sperimentalmente quasi mai. Nel suolo e nelle rocce infatti il radon, pur diminuendo rapidamente secondo la legge fisica del decadimento, viene però anche costantemente prodotto dall'elemento che lo precede nella catena di decadimento, il radio (^{226}Ra). Il radio è a sua volta generato da un altro elemento e così via fino a giungere al capostipite della famiglia radioattiva, l'uranio (^{238}U) che, con la sua lunghissima emivita di circa 4 miliardi e mezzo di anni, assicura una costante produzione di radon per un tempo che, su scala umana, è di fatto infinito. Si stabilisce così, all'interno delle rocce e del suolo, una situazione di equilibrio, con una quantità di radon pressoché costante.

Il radon, essendo un gas nobile, non interagisce chimicamente con gli altri elementi presenti nell'ambiente; esso è in grado di muoversi per diffusione all'interno del reticolo cristallino delle rocce. Una frazione del radon presente nel suolo e nelle rocce, dove è continuamente prodotto, riesce quindi a fuoriuscire in atmosfera dove può accumularsi, talvolta in modo assai consistente, soprattutto in ambienti poco aerati. È in queste circostanze che il radon può costituire una minaccia per la salute umana.

Il rischio per la salute è dovuto non solo e non tanto al radon in sé, quanto piuttosto agli elementi radioattivi suoi immediati discendenti nella catena di decadimento: si tratta di radioisotopi del polonio, del piombo e del bismuto; per la precisione: ^{218}Po, ^{214}Pb, ^{214}Bi e ^{214}Po, i cosiddetti *figli a vita breve del radon*, caratterizzati cioè da un breve o brevissimo

tempo di dimezzamento (Figura 1.1). Essendo tutti metalli, essi tendono ad attaccarsi al particolato fine e ultrafine (diametro ⌀ < 1 mm) presente in atmosfera. Possono quindi essere facilmente inalati ed andare così ad irraggiare gli organi dell'apparato respiratorio, in particolare polmoni, bronchi e alveoli.

Questi elementi radioattivi, attaccati al particolato atmosferico, vengono facilmente trattenuti all'interno dell'apparato respiratorio, mentre il radon, essendo un gas, viene riemesso con l'esalazione. In conseguenza di ciò, *i figli a vita breve del radon* si accumulano internamente e sottopongono polmoni, bronchi ed alveoli a un costante irraggiamento da parte soprattutto delle particelle a emesse dai radioisotopi del polonio, il ^{218}Po e ^{214}Po, irraggiamento che è proporzionale alla concentrazione di radon presente nell'ambiente. È questo il meccanismo fisico che si pensa stia alla base della carcinogenicità del radon che venne per la prima volta evidenziata con certezza negli Stati Uniti a partire dalla fine degli anni sessanta e l'inizio degli anni settanta del secolo scorso, grazie a studi epidemiologici sui minatori delle miniere sotterranee di uranio. Tali studi misero in evidenza una stretta relazione tra esposizione al radon e incremento dell'incidenza dei tumori polmonari. A seguito dell'accumularsi di sempre più chiare evidenze scientifiche, già nel 1988 il radon venne ufficialmente riconosciuto quale agente cancerogeno certo da parte dell'OMS (gruppo 1, secondo la classificazione dello IARC, l'Istituto per la Ricerca sul Cancro dell'OMS). A partire dagli anni novanta del secolo scorso fu poi chiaro che l'aumento del rischio di tumore polmonare riguardava anche l'esposizione residenziale, nelle abitazioni. Da qui la necessità di programmi nazionali e locali per la riduzione del rischio, programmi che non possono prescindere dalla conoscenza della distribuzione del rischio radon nei territori. Il radon è infatti sì ubiquitario, ma la sua presenza non è affatto geograficamente omogenea ed uniforme, non essendo omogenea e uniforme sulla crosta terrestre la presenza dell'uranio, il suo lontano progenitore. E' proprio a partire da queste considerazioni che si è pensato di costruire delle mappe che andassero a descrivere la diversa presenza del radon nel territorio.

Mappe radon: significato, normativa e aree prioritarie

Il fatto che la presenza del radon nella crosta terrestre e più in generale nell'ambiente sia strettamente legata all'uranio che si trova nei suoli e nelle rocce potrebbe far pensare che la costruzione di una mappa del radon possa di fatto ridursi soltanto alla caratterizzazione del contenuto di uranio nei suoli e nelle rocce. Purtroppo la situazione non è così semplice. Il contenuto di uranio nel suolo è senza dubbio un fattore importantissimo, ma vi sono moltissimi altri fattori che concorrono all'accumulo del radon nelle abitazioni e negli edifici in genere. Bisogna infatti tenere presente che anche suoli con contenuti di uranio bassi o molto bassi sono comunque in grado di produrre una quantità di radon sufficiente ad "inquinare" un'abitazione oltre livelli accettabili. Da questo punto di vista il fattore decisivo è l'interfaccia suolo-abitazione: quanto più il suolo sarà in comunicazione con l'abitazione tanto più quest'ultima sarà soggetta al radon. Le caratteristiche costruttive sono dunque essenziali: presenza di vespai e cantine, diversa aerazione degli ambienti, tipologia degli infissi, ecc.. Un altro fattore molto importante sono anche

gli aspetti strutturali del suolo come la permeabilità che rende più agevole il flusso del radon dal suolo all'interno dell'edificio. Le stesse abitudini di vita e di utilizzo di un edificio possono influire. L'accumulo del radon all'interno di un qualunque locale è dunque un fenomeno multifattoriale, molto difficile da prevedere a priori. Questa peculiare caratteristica del fenomeno radon è bene evidenziata dal fatto che la distribuzione dei dati di qualunque indagine sperimentale effettuata in una data area è sempre fortemente asimmetrica, come può essere visto dall'istogramma riportato in Figura 2.1.

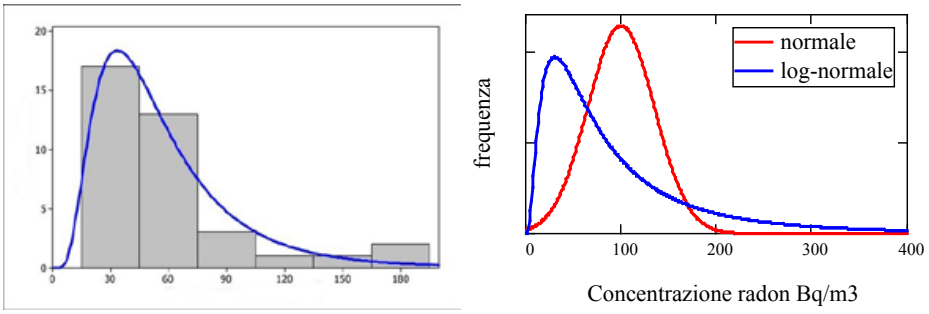


Figura 2.1 – A sinistra è riportato il tipico istogramma sperimentale della distribuzione delle concentrazioni di radon ottenuto per un generico territorio. In ascissa sono riportate le concentrazioni di radon, espresse in Becquerel al metro cubo (Bq/m^3), mentre in ordinata sono riportate le frequenze: come si vede la distribuzione è fortemente asimmetrica. A destra vengono invece messe a confronto le curve teoriche della distribuzione gaussiana o normale (rosso) e di quella log-normale (blu), tipica del radon e di altri fenomeni naturali multifattoriali: in questo esempio in entrambi i casi la media è 100 Bq/m^3

La forma dell'istogramma si discosta fortemente da quella simmetrica, tipica della classica distribuzione gaussiana (normale), che descrive i fenomeni aleatori semplici. La distribuzione delle concentrazioni di radon è infatti descritta approssimativamente da una distribuzione log-normale[1], tipica dei fenomeni complessi. Questa peculiarità ha un importante risvolto pratico: ci dice infatti che si possono avere elevate concentrazioni di radon praticamente quasi ovunque, anche in zone dove la presenza dei progenitori del radon, l'uranio e il radio, è relativamente scarsa.

Ma se le cose stanno così, che significato può avere costruire una mappa del radon? In realtà, anche tenendo conto di questi aspetti, disporre di una mappa radon per un dato territorio è comunque utile. Bisogna solo avere chiaro il concetto che una mappa non è assolutamente in grado di fare previsioni precise sui livelli di concentrazioni che si possono trovare in un dato edificio, ma occorre ragionare in termini probabilistici. Viste in questa prospettiva le mappe radon possono quindi essere viste come uno strumento per la programmazione di interventi di prevenzione sul territorio. Non tutti i territori sono infatti ugualmente soggetti al rischio radon: in alcune aree vi sarà una probabilità più elevata di avere alti livelli di radon rispetto ad altre. In tali aree si potranno così più efficacemente orientare le risorse a disposizione per contrastare il fenomeno e ridurre l'esposizione pubblica al radon. Ciò potrà essere fatto informando la popolazione, diffondendo una maggiore consapevolezza sui comportamenti da tenere per ridurre l'esposizione al radon e

1 Si dice che una certa quantità, nel nostro caso la concentrazione di radon, segue la distribuzione log-normale quando il logaritmo della quantità stessa segue una distribuzione normale (gaussiana)

anche promuovendo, laddove ce ne sia la necessità, specifici interventi di risanamento. La buona notizia è infatti che, anche laddove il radon è presente in concentrazioni elevate, gli interventi di risanamento sono quasi sempre possibili a costi tutto sommato contenuti.

La normativa, con il Decreto Legislativo 101/2020, emanato in attuazione della Direttiva europea 2013/59/Euratom), partendo dai concetti sopra espressi, ha cercato di affrontare il problema radon, introducendo tra gli altri strumenti, il concetto delle cosiddette *aree prioritarie*. Si tratta in realtà di un concetto non nuovo, noto da tempo a chi si occupa di radon. Nella letteratura scientifica, fino a una ventina di anni fa', si parlava, con locuzione inglese, di *radon prone areas*, un termine che potrebbe essere tradotto come "aree soggette a radon" o più precisamente come "aree in cui vi è una più elevata probabilità di incontrare livelli di radon elevati". In realtà la recente introduzione del termine *aree prioritarie* riflette anche un cambiamento semantico del concetto: mentre prima ci si focalizzava semplicemente sulla ricerca delle aree dove il radon è più presente del normale, adesso il *focus* è sugli interventi pratici che si vogliono promuovere per ridurre l'esposizione al radon e quindi in ultima analisi il rischio per il tumore polmonare.

Tuttavia, dal punto di vista pratico, il problema scientifico dell'elaborazione di una mappa del radon di un dato territorio, è sempre il medesimo e non è sostanzialmente cambiato nel tempo: si tratta cioè di ricavare per le porzioni del territorio in questione, opportunamente suddiviso secondo criteri amministrativi (confini comunali, di solito) o di altro genere, un indice del rischio (probabilità) di incontrare elevati livelli di radon.

Prima di un breve esame sulle modalità con cui si possono definire le *aree prioritarie*, è utile richiamare la loro definizione secondo la legge. Vengono definite *aree prioritarie*, ai sensi del comma 3 dell'art. 11 del D. Lgs. 101/2020, quelle porzioni di territorio nelle quali si stima che la percentuale di edifici che superano come media annua la concentrazione[2] di 300 Bq/m^3 sia superiore al 15%. Nella seguente Figura 2.2 è schematicamente illustrato

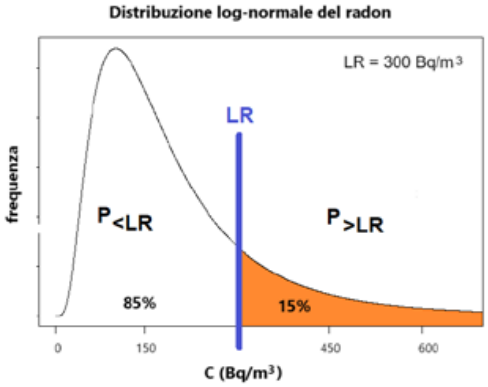


Figura 2.2 – Individuazione di un territorio come *area prioritaria*. Si parte dalla distribuzione delle concentrazioni di radon e si calcola la percentuale di abitazioni che superano il Livello di Riferimento LR=300 Bq/m^3, che altro non è che l'area sottesa alla curva per concentrazioni > LR, qui evidenziata in arancio. Se tale percentuale eccede il 15% il territorio in questione rientra nelle *aree prioritarie*

2 La concentrazione di radon di 300 Bq/m^3 è il Livello di Riferimento, valido sia per le abitazioni che per i luoghi di lavoro, superato il quale si è tenuti ad intervenire

Tale percentuale si riferisce agli edifici situati al piano terra. E' evidente che l'individuazione di tali *aree prioritarie* presuppone la costruzione di una "mappa radon": cioè la suddivisione del territorio in questione (le Regioni, nel nostro caso) in diverse aree (spesso i Comuni), ciascuna caratterizzata da un parametro che di solito è il valore medio della concentrazione del radon nelle aree stesse. Con questo articolo di legge viene per la prima volta fornito un preciso criterio per l'individuazione di tale aree. Tale compito spetta alle Regioni, di ciò incaricate ai sensi del comma 2 del medesimo articolo 11, che si esprimono in tal senso per mezzo di propri provvedimenti amministrativi (Decreti delle Giunte Regionali), il cui contenuto è in seguito pubblicato in Gazzetta Ufficiale. Nella norma non vengono date esplicite indicazioni tecniche sulle modalità di costruzione delle "mappe radon" che sono il supporto tecnico indispensabile per la definizione delle *aree prioritarie*, anche se nella recente pubblicazione in Gazzetta Ufficiale del Piano Nazionale di Azione per il Radon (PNAR, *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, supplemento n.10, 21-2-2024*), sono fornite alcune indicazioni di carattere generale.

Aree prioritarie radon in italia: la situazione attuale

Allo stato attuale sono solo quattro le Regioni italiane ad aver definito ufficialmente, secondo i criteri stabiliti dalla normativa nazionale, le *aree prioritarie* nei rispettivi territori: Sardegna (2022), Piemonte (2022), Lombardia (2023) e, più recentemente, la Toscana con una Delibera della Giunta Regione del 23-12-2024.

La definizione delle *aree prioritarie* nei vari territori regionali è importante perché è propedeutica a una serie di attività, previste dalla normativa, che consentono una più efficace attuazione delle politiche di prevenzione e di riduzione del rischio sanitario legato al radon. Si ricorda ad esempio che nelle *aree prioritarie* diventa obbligatoria la misurazione del radon non solo nei luoghi di lavoro interrati, ma anche in quelli che si trovano nei seminterrati e al piano terra: si tratta di una considerevole estensione del numero di locali da monitorare che porterà certamente all'individuazioni di situazioni critiche che altrimenti sarebbe molto più difficile far venire alla luce. Altre attività legate alla definizione di tali aree sono in capo alle Regioni e riguardano la promozione di interventi di misurazione *ad hoc*, l'obbligo di fare un'informazione mirata alla popolazione e di promuovere le azioni di risanamento.

La definizione delle *aree prioritarie*, al di là delle ricadute normative specifiche, che pure sono importanti, possono comunque essere viste come un'occasione per far emergere il problema radon e portarlo all'attenzione di un pubblico più vasto. Che si sia bisogno di questo sembra evidente. E' infatti indubbio che l'origine "naturale" di questo particolare agente fisico non ha sicuramente favorito la presa di coscienza collettiva di considerare il radon come una reale fonte di rischio. Di fatto, anzi, spesso accade il contrario: pur avendo il rischio radon una sua indubbia rilevanza oggettiva, esso viene spesso trascurato in favore di altre fonti di rischio, sicuramente molto meno rilevanti ma che hanno per così dire il "vantaggio" di avere un'origine antropica.

Una rapida estensione della definizione *aree prioritarie* a tutto il territorio

nazionale è dunque una buona occasione per una sempre migliore diffusione delle informazioni. A questo proposito c'è comunque da dire che in realtà, in molte altre Regioni, la conoscenza della distribuzione territoriale del radon, portata avanti negli ultimi due decenni soprattutto dal sistema delle Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA/APPA), è assai sviluppata e in molti casi, indipendentemente dalla definizione ufficiale delle *aree prioritarie* molto lavoro è stato e viene fatto. Dal un punto di vista delle conoscenze tecnico-scientifiche attualmente a disposizione sarebbe certamente possibile definire le *aree prioritarie* in tempi relativamente brevi, se non alla totalità, certamente in buona parte del territorio nazionale.

Riguardo ai criteri tecnico-scientifici seguiti per arrivare a definire le suddette aree, senza entrare in dettagli tecnici troppo specifici, si possono fare le seguenti considerazioni generali. Ci sono infatti moltissimi modi per costruire una mappa radon. In linea di principio si possono individuare, ai due estremi, due approcci radicalmente diversi:

a. Approccio puramente teorico, geologico-pedologico: la mappa «del potenziale radon» viene costruita a partire dalla conoscenza delle caratteristiche geologiche e pedologiche del suolo (origine delle rocce che hanno generato il suolo stesso, tessitura, permeabilità, ecc.)

b. Approccio puramente sperimentale (misura diretta del radon su un campione rappresentativo di abitazioni)

L'approccio a) ha il grosso vantaggio di consentire in linea di principio la costruzione di una mappa a partire da dati già conosciuti in letteratura ma ha dei limiti scientifici evidenti: le carte geologiche normalmente disponibili non sono state concepite a questo scopo e possono quindi talvolta fornire indicazioni non completamente affidabili. Esistono infatti rocce che dal punto di vista geologico sono classificate in modo analogo ma che hanno contenuti di radioattività naturale estremamente differenti: una classificazione puramente geologica può quindi essere fuorviante. Inoltre il solo aspetto geologico non tiene conto di altri fattori determinanti, come la tipologia edilizia prevalente di un luogo e le abitudini di vita spesso a loro volta correlate alla fascia climatica di appartenenza di un territorio. D'altra parte l'approccio b), puramente sperimentale, cioè prevedere campagne di misura delle concentrazioni di radon «a tappeto» può essere troppo oneroso, sia in termini di costi che dei tempi di attuazione.

Alcuni Paesi, come il Regno Unito hanno in passato seguito questa strada, suddividendo il Paese in griglie rettangolari all'interno delle quali hanno poi effettuato misurazioni dirette del radon in campioni di abitazioni estratte casualmente.

La strada seguita in Italia (e anche da altri Paesi) è stata però diversa, con una sorta di ibridazione dei due approcci estremi appena schematizzati. C'è da dire a questo proposito che, pur mancando linee guida cogenti a livello nazionale, l'approccio seguito da gran parte delle Regioni e delle ARPA/APPA che hanno affrontato il problema è stato alla fine molto simile: è stato in generale privilegiato l'approccio sperimentale, cioè quello basato sulla misura del radon in campioni di abitazioni, con l'aspetto geologico utilizzato come criterio accessorio, a supporto dei dati sperimentali. Anche l'approccio che più si avvicina a quello geo-

logico, cioè quello seguito dalla Regione Piemonte, che è basato sulla esplicita definizione di uno specifico modello radio-geo-litologico, trova infatti la sua validazione e robustezza in un ampio database di dati sperimentali (Figura 3.1).

E' auspicabile che a breve molte altre Regioni si aggiungano alle attuali quattro nella definizione delle *aree prioritarie*. Nel far ciò potranno giovarsi anche delle indicazioni presenti nel PNAR (Piano Nazionale di Azione per il Radon), recentemente approvato: in esso sono infatti contenuti diversi suggerimenti e indicazioni, tra cui anche un approccio generale, estendibile in linea di principio a tutto il territorio italiano, che consente di utilizzare le informazioni di carattere geologico attualmente disponibili su scala nazionale come ausilio per la costruzione delle mappe radon regionali.

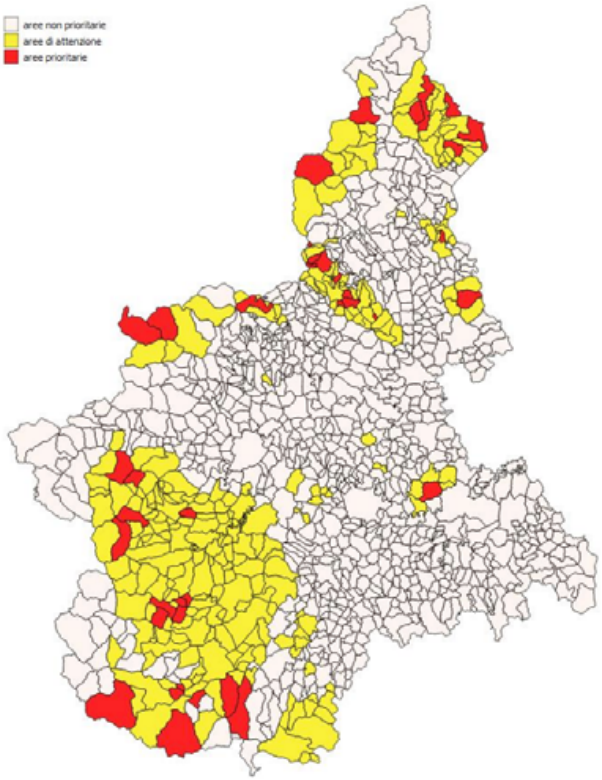


Figura 3.1 – Regione Piemonte: esempio di definizione di *aree prioritarie*: si tratta di 37 Comuni, evidenziati in rosso. In giallo sono indicate le cosiddette *aree di attenzione* che, sulla base delle indicazioni presenti nel PNAR, evolveranno a future *aree prioritarie* nel 2030

Per sapere come monitorare
il gas Radon nei tuoi ambienti
con i nostri prodotti

CLICCA QUI

Proprietario ed Editore
Il Sole 24 Ore S.p.A.

Sede legale e amministrazione
Viale Sarca, 223 - 20126 Milano

Redazione
24 Ore Professionale
© 2025 Il Sole 24 ORE S.p.a.
Tutti i diritti riservati.

È vietata la riproduzione anche
parziale e con qualsiasi strumento.
I testi e l'elaborazione dei testi, anche se curati con scrupolosa attenzione,
non possono comportare specifiche responsabilità per involontari errori e inesattezze.

Chiusa in redazione: 21 febbraio 2025