Gas radon: errori comuni e soluzioni nelle fasi di misurazione, valutazione e attività di risanamento

Alessandro Bonora[1], Andrea Gritti[1], Antonio Parravicini[1], Filippo Silvani[1], Tiziana Tunno[1]

[1]*Assoradon APS via Matris Domini n.25 24121 Bergamo*

segreteria@assoradon.org

Riassunto

Il rischio radon nei luoghi di lavoro è un tema ben noto dal punto di vista dell'articolazione normativa in Italia; il recente ampliamento al settore delle abitazioni (art. 19 del D. Lgs. 101/2020 e ss.mm.ii.) abbraccia nuove problematiche gestionali solo apparentemente di semplice risoluzione. Nelle attività in campo, tuttavia, si rilevano spesso modalità di approccio non propriamente adeguate a quella che si configura come materia di intrecci disciplinari e che spazia dalla geologia all'impiantistica, passando per la fisica e la radioprotezione. I quattro principali ambiti di operatività su cui si propone un focus riguardano la fase di misurazione, le valutazioni del rischio e di dose e i risanamenti di edifici, in particolare articolati in campagne di misura annuale; misurazioni di breve periodo; misurazioni nel suolo per la stima del rischio sito-specifica nella nuova edificazione/ristrutturazione; attività di risanamento di edifici; valutazione di dose ai lavoratori.

Si espliciteranno casi studio relativi a situazioni reali da attenzionare e la relativa interpretazione/gestione nell'ottica di una congrua esecuzione della misurazione o del servizio più efficace, con lo scopo di favorire la divulgazione di corrette e buone pratiche.

INTRODUZIONE

Il D. Lgs. 31 luglio 2020, n. 101 [1], entrato in vigore il 27 agosto 2020, ha recepito la Direttiva 2013/59/Euratom [2] e riordinato organicamente la disciplina italiana in materia di radiazioni ionizzanti. Il decreto ha contestualmente abrogato il precedente D. Lgs. 230/1995, come modificato dal D. Lgs. 241/2000, che aveva di fatto posto le prime basi in materia di obbligo della valutazione del rischio da radon negli ambienti di lavoro. A seguire il D. Lgs. 25 novembre 2022, n. 203 [3], in vigore dal 18 gennaio 2023, ha corretto e integrato il D. Lgs. 101/2020 incidendo anche sulla tematica radon. Sono stati, dunque, introdotti cambiamenti che hanno comportato un diverso approccio alla problematica del radon e più precisamente:

- il concetto di livello di riferimento riferito alla concentrazione media annua di gas radon in aria pari a 300 Bq/mc per i luoghi di lavoro;
- un valore più conservativo per le nuove costruzioni nel settore residenziale pari a 200 Bq/mc;
- l'inserimento di nuove figure professionali abilitate alla progettazione edile e formate ad intervenire sugli interventi di risanamento radon;
- un livello dosimetrico pari a 6 mSv/anno, da valutare solo a seguito di azioni di risanamento e basato su un fattore convenzionale di conversione più cautelativo.

Tutto quanto sopra esposto va a favore di una gestione del problema da trattare utilizzando un approccio multidisciplinare e rigoroso.

L'adozione del Piano Nazionale d'Azione per il Radon – PNAR [4], quale strumento unitario di programmazione delle politiche di prevenzione e riduzione del rischio, ha ulteriormente dettagliato la strada da seguire e la pubblicazione delle aree prioritarie da parte delle Regioni sta fornendo man mano l'identificazione dei territori a maggior rischio.

Il nuovo articolato normativo ha, tuttavia, generato nel percorso che costituisce la transizione tra vecchia e nuova gestione del rischio radon alcune criticità che in questa sede si intende rappresentare e attenzionare.

CAMPAGNE DI MISURA ANNUALI

L'obbligo di misurazione annua della concentrazione di gas radon di cui all'art. 16 del D. Lgs. n.101/2020 si applica a: luoghi di lavoro sotterranei, luoghi di lavoro semisotterranei o al piano terra in aree prioritarie, specifiche tipologie di luoghi di lavoro (elenco in tabella 16 - PNAR), stabilimenti termali. L'esercente è tenuto a completare le misurazioni della concentrazione media annua di attività di radon in aria entro ventiquattro mesi decorrenti dall'inizio dell'attività nei luoghi di lavoro sotterranei e negli stabilimenti termali.

Diversamente, per specifiche tipologie di luoghi di lavoro e per luoghi di lavoro semisotterranei o situati al piano terra i termini sono decorrenti rispettivamente dalla data di pubblicazione in gazzetta ufficiale del Piano Nazionale di Azione per il Radon o dall'inizio dell'attività se successivo (24 mesi) e della definizione delle Aree Prioritarie (18 mesi) individuate dalle singole Regioni e dalle Province Autonome di Trento e Bolzano.

Ulteriore obbligo di misurazione annua interviene nei locali semisotterranei e sotterranei nei casi di deroga all'utilizzo degli stessi ai sensi regolamentata dell'art. 65 del D. Lgs. n.81/08 e s.m.i. [5], come espressamente stabilito nella nota che fornisce le indicazioni operative dell'Ispettorato Nazionale del Lavoro n. 811/2025 [6]. Sulla base dell'Allegato II del D. Lgs. n.101/2020, della definizione di "luogo di lavoro" indicata nel D. Lgs. n. 81/2008 e della norma ISO 11665-8:2020 [7] le misure vanno eseguite:

- in tutti i locali separati del luogo di lavoro;
- in presenza di un elevato numero di locali analoghi in termini strutturali, d'uso e di ventilazione, è possibile eseguire misurazioni su un campione ridotto, comunque non inferiore al 50%;
- nei locali fino a 100 m², con almeno un punto ogni 50 m² o frazione;
- nei locali oltre 100 m², con almeno un punto ogni 100 m² o frazione;
- nei tunnel, nelle sottovie, nelle catacombe, nelle grotte, nelle metropolitane e in ambienti analoghi. Nei casi citati i dispositivi devono essere collocati preferibilmente nelle posizioni in cui stazionano gli operatori, utilizzando tecniche compatibili con le condizioni microclimatiche.

Nel caso in cui si riscontri il superamento del livello di riferimento almeno in un locale, le misurazioni dovranno essere estese a tutti gli altri ambienti non misurati nella precedente campagna.
La scelta di escludere degli ambienti dalla misura è opportuno che sia oggetto di dichiarazione da parte del datore di lavoro, previa valutazione dei tempi di occupazione.
Resta inteso che qualora gli esiti delle misurazioni annuali evidenziassero concentrazioni di gas radon in aria superiori al livello di riferimento previsto dalla normativa vigente, potrebbe essere conveniente prevedere, qualora non già programmato, l'inserimento di tali ambienti in una campagna di misurazione a breve termine. Ciò al fine di non trascurare possibili fonti di risalita preferenziale del radon dal sottosuolo che possano interferire con le modalità di mitigazione intraprese (ai sensi dell'art. 17 c.3 del D. Lgs. n. 101/2020).
In caso di superamento di 300 Bq/m³, entro un mese dal rilascio della relazione tecnica, l'esercente deve trasmettere una comunicazione contenente la descrizione delle attività svolte e la relazione relativa gli esiti di misura a:

- Ministero del lavoro e delle politiche sociali;
- ARPA o APPA territorialmente competente;
- organi del Servizio sanitario nazionale competenti;
- sede territoriale dell'Ispettorato nazionale del lavoro.

Entro un mese dalla relazione di verifica successiva al risanamento devono essere comunicati agli stessi soggetti gli interventi correttivi realizzati; i risultati delle nuove misurazioni; la verifica dell'efficacia delle misure.
Il D. Lgs. 101/2020 ha esteso la politica di prevenzione del radon alle abitazioni, ambito che nel precedente regime non era disciplinato. Nelle aree prioritarie le Regioni devono promuovere campagne di misurazione nelle abitazioni con locali al piano terra, semisotterranei o sotterranei; incentivare i proprietari a effettuare le misure; avviare programmi specifici per l'edilizia residenziale pubblica; adottare interventi correttivi nel patrimonio abitativo pubblico; registrare gli interventi di risanamento nella banca dati nazionale.
Per le abitazioni private il D. Lgs. 101/2020 non introduce un obbligo generalizzato nazionale di misurazione a carico di ogni proprietario. La norma attribuisce principalmente alle Regioni compiti di promozione, incentivazione, monitoraggio e programmazione, ai quali possono aggiungersi le specifiche disposizioni regionali. Un elemento peculiare è rappresentato dall'articolo 19 c.3: quando in un'abitazione esistente viene misurata una concentrazione superiore al livello previsto per le nuove costruzioni, cioè **200 Bq/m³**, le Regioni devono promuovere e monitorare l'adozione di misure correttive secondo il principio di ottimizzazione:

- 300 Bq/m³ resta il livello nazionale di riferimento per le abitazioni esistenti;
- oltre 200 Bq/m³ è prevista un'azione regionale di promozione al risanamento;
- per le abitazioni costruite dopo il 31 dicembre 2024 il livello di riferimento da rispettare è pari a 200 Bq/m³.

CASI REALI E CRITICITÀ DA CONSIDERARE

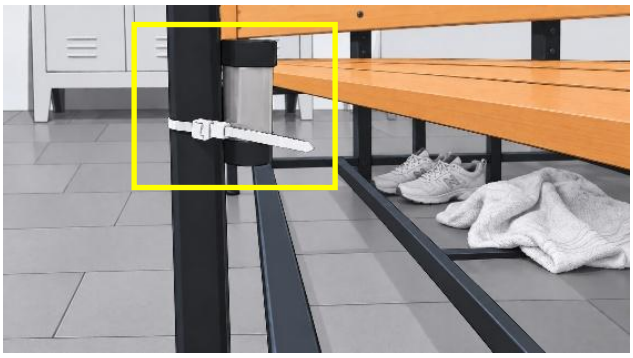
Le misurazioni annue eseguite con strumentazione passiva rappresentano il dato più affidabile della valutazione della concentrazione radon in un ambiente. È tuttavia necessario che l'operazione di posa dei misuratori nei locali soggetti alla misura sia rigorosa in termini di criteri di posizionamento e congrua rispetto alle indicazioni dell'Allegato II del D. Lgs. n.101/2020 per numerosità di rivelatori e locali da monitorare. Nelle

figure di seguito si rappresentano alcuni casi critici osservati (le immagini sono state modificate per escludere qualsiasi possibile riferimento ai luoghi reali). In fig.1 è raffigurato il caso di una misurazione di concentrazione radon annua eseguita "outdoor". In fig.2 si rappresenta il caso di una misurazione di concentrazione radon annua eseguita indoor con posizionamento a livello della pavimentazione.

Figura 1 – Misurazione annua outdoor con dosimetro a tracce nucleari. Immagine elaborata con AI



Figura 2 – Misurazione annua indoor con dosimetro a tracce nucleari a livello pavimento. Immagine elaborata con AI



CRITERI DA ADOTTARE PER LA RILEVAZIONE ANNUA

La misurazione della concentrazione di gas radon annua deve essere condotta con le modalità esplicitate in Allegato II del D. Lgs. n. 101/2020 e nelle normali condizioni d'uso del locale/edificio, con i seguenti ulteriori accorgimenti:

- la distanza dalla muratura dovrebbe essere di almeno 20 cm. Qualora le caratteristiche del locale non consentano il rispetto della distanza indicata, la posizione effettivamente adottata deve essere documentata nel verbale di posizionamento, specificandone la motivazione e, ove possibile, mantenendo comunque il rivelatore in una posizione rappresentativa dell'ambiente;
- evitare il posizionamento in prossimità di porte, finestre, bocchette di ventilazione, radiatori, sorgenti di calore o altri elementi che possano alterare localmente il ricambio d'aria;
- l'altezza di posizionamento dovrebbe essere compresa tra 1 metro e 3 metri, come esplicitato nel documento di Guida Tecnica di Arpa Puglia [8] o "at breathing height" – Handbook on radon indoor WHO [9];
- per misure di durata annua sono da prediligere i dosimetri passivi e, in particolar modo, quelli a tracce nucleari (CR39). I dosimetri ad elettrete, pur essendo strumentazione di tipo passivo, mostrano basse performance nella configurazione LLT impiegata per misure annue [10];
- è utile eseguire il monitoraggio annuo con una scansione almeno semestrale per evitare:
    - di perdere il dato di un intero monitoraggio annuo in caso di smarrimento dell'unico rivelatore/punto;
    - di subire effetti di fading delle plastiche a causa dell'effetto di temperature alte nella stagione calda, come attenzionato in letteratura scientifica [11,12];
    - di subire effetti di saturazione e perdita dell'informazione in situazioni critiche con elevate concentrazioni;
- in caso di somma di periodi inferiori all'anno di misura non devono esserci delle pause tra due posizionamenti consecutivi;
- l'involucro del locale/edificio deve essere provvisto di serramenti durante il monitoraggio;
- in caso di condizioni particolarmente critiche, nel primo periodo di valutazione e per l'esito del quale sia già accertato il superamento del livello di riferimento annuo, è utile attivare in via immediata misure di mitigazione del rischio radon a tutela dei lavoratori.

Individuazione dei locali interrati e seminterrati: un aspetto che deve essere chiarito nella fase preliminare riguarda la qualificazione dei locali come sotterranei, semisotterranei o fuori terra. Ai fini del D. Lgs. 101/2020, la qualificazione dei luoghi di lavoro sotterranei non dovrebbe essere effettuata esclusivamente sulla base della classificazione catastale o della destinazione urbanistica del locale. La disciplina del decreto individua, infatti, specifici criteri tecnici: per i luoghi di lavoro sotterranei la definizione è riferita ai locali o

ambienti con almeno tre pareti sotto il piano campagna, indipendentemente dal fatto che tali pareti siano direttamente a contatto con il terreno. Ne consegue che l'accatastamento del locale costituisce un'informazione utile ma non dovrebbe, di per sé, determinare la qualificazione radioprotezionistica del locale. È opportuno invece documentare la reale configurazione dell'edificio rispetto al piano campagna, mediante planimetrie, sezioni, fotografie e, ove necessario, sopralluogo tecnico.

Chiusura dei locali in caso di superamento del livello di riferimento: l'eventuale interdizione del locale non dovrebbe essere considerata come conseguenza automatica del superamento del livello di riferimento di un risultato semestrale o annuale. La gestione, infatti, deve essere effettuata secondo un approccio graduato considerando: concentrazione rilevata; durata e modalità di esposizione dei lavoratori; permanenza abituale nei locali; caratteristiche del locale; possibilità di limitare temporaneamente l'accesso; possibilità di migliorare la ventilazione; possibilità di attuare interventi di mitigazione; eventuale presenza di lavoratori esterni.
Nel caso in cui la concentrazione media annua risulti superiore al livello di riferimento, l'art. 17 del D. Lgs. 101/2020 disciplina l'adozione delle misure correttive appropriate e i successivi adempimenti. Ne consegue che, in presenza di una concentrazione semestrale particolarmente elevata, è raccomandabile non attendere passivamente il completamento dei dodici mesi prima di valutare e attuare eventuali azioni di mitigazione.

MISURAZIONI DI BREVE PERIODO

Le misurazioni di breve periodo eseguite con strumentazione elettronica (rivelatori a stato solido, celle a scintillazione, camere a ionizzazione) o strumentazione passiva (dosimetri ad elettrete, dosimetri a tracce nucleari), pur non trovando una collocazione nel D. Lgs. 101/2020 in quanto impiegate su periodi temporali di durata inferiori all'anno, rappresentano una modalità di misura estremamente utile in quanto possono evidenziare specifiche criticità del locale/edificio (ad es. variabilità giorno/notte) nella fase preliminare di diagnosi, in occasione dell'integrazione delle opere di risanamento, nella procedura di valutazione del rischio radon ai sensi del D. Lgs. n. 81/2008. Le misure brevi possono offrire caratterizzazioni tempestive per quei locali non inseriti nella campagna di misurazione annuale e che rappresentano spesso potenziali punti caldi di ingresso del radon per l'intero piano/edificio. Tale tipologia di misurazione trova la sua massima espressione nella fase di implementazione delle tecniche di risanamento così come espressamente puntualizzato nel documento del PNAR - Appendice alle Azioni 2.1 e 2.2 Fase di monitoraggio in corso d'opera e finale*: "Indipendentemente dalle tecniche di intervento impiegate, è di fondamentale importanza prevedere un adeguato monitoraggio, sia in corso d'opera che finale. In corso d'opera le misure di protezione contro il radon devono essere oggetto di attenzione da parte della direzione dei lavori e del collaudatore. In particolare, occorre eseguire verifiche intermedie, se non veri e propri collaudi parziali, delle misure poste in opera, nonché misurazioni della effettiva concentrazione di radon. Infine, solo dopo aver verificato la regolare effettuazione delle lavorazioni a regola d'arte, si potrà procedere all'esecuzione degli ulteriori lavori che comportino la ricopertura delle lavorazioni effettuate e ne impediscano ulteriori controlli. Da non sottovalutare la possibilità di utilizzare strumentazioni per rilevazioni della presenza di radon in tempo reale, al fine di effettuare una immediata verifica delle scelte adottate in prima istanza."*

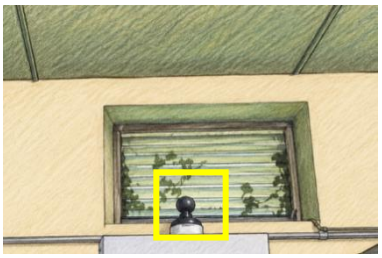
CASI REALI E CRITICITÀ DA CONSIDERARE

Le misurazioni di breve periodo sono suscettibili di un margine di errore maggiore rispetto a quelle di durata annua, dunque, deve essere massima l'attenzione alle condizioni al contorno in cui sono utilizzate e che possono sensibilmente alterare gli esiti di misura, vanificandone l'utilità. Nelle figure di seguito si rappresentano alcuni casi critici osservati (le immagini sono state modificate per escludere qualsiasi possibile riferimento ai luoghi reali). In fig.3 è raffigurato il caso di una misurazione di concentrazione radon di breve periodo eseguita "outdoor" con finalità non nota. In fig.4 si rappresenta il caso di una misurazione di concentrazione radon di breve periodo eseguita indoor in prossimità di una griglia di areazione.

Figura 3 – Misurazione di breve periodo "outdoor" con dosimetro ad elettrete. Immagine elaborata con AI



Figura 4 – Misurazione di breve periodo indoor con dosimetro ad elettrete in prossimità di griglia di areazione. Immagine elaborata con AI



In fig.5 si riporta il caso di una misurazione di concentrazione radon di breve periodo eseguita in un locale da ristrutturare, ubicato al piano interrato, sprovvisto di serramenti.

Figura 5 – Misurazione di breve periodo indoor con dosimetro ad elettrete in locale senza serramenti Immagine elaborata con AI



CRITERI DA ADOTTARE PER LA RILEVAZIONE NEL BREVE PERIODO

Le misurazioni della concentrazione di gas radon è buona norma che siano condotte nelle regolari condizioni d'uso del locale/edificio da valutare o al più nelle condizioni peggiorative. Ogni rilevamento eseguito in condizioni di diluizione (locale senza serramenti, prossimità di griglie di ventilazione, prossimità ai sistemi di ventilazione attiva, etc.) ha come conseguenza una misura non utilizzabile sia nel caso si stia eseguendo una valutazione del rischio radon sia per considerazioni utili alle opere di mitigazione.

Si propongono nel seguito alcune modalità di valutazione passando in rassegna considerazioni rispetto ai metodi di misura.

La tempistica di campionamento è da differenziare in base alla stagione di monitoraggio, con misura di durata non inferiore a 7 giorni, ed in particolare:

- almeno 7 giorni nel periodo invernale;
- almeno 10 giorni nel periodo primaverile/autunnale;
- almeno 15 giorni nel periodo estivo.

In base all'esperienza sul campo e a valutazioni di tipo statistico, in funzione della stagionalità cambia la probabilità di apprezzare le variazioni climatiche: in inverno può essere sufficiente un periodo di monitoraggio più breve (comunque non inferiore a 7 gg) per valutare l'effetto di tali variazioni sulle dinamiche del radon. È, pertanto, importante ottenere, insieme al dato di concentrazione, anche il maggior numero di informazioni correlate ad esso, ottimizzando le procedure di misura. A tal fine si ritiene opportuno impiegare strumentazione di tipo elettronico per valutare contemporaneamente i parametri microclimatici (pressione, temperatura, umidità). Si consiglia di eseguire un sopralluogo accurato, preferibilmente durante la fase di posizionamento degli strumenti, al fine di controllare che non vi siano aperture nel locale che potrebbero indurre una sottostima dei risultati di misura della concentrazione di radon. La presenza di aperture funzionali (grigliate senza serramenti, fori di aerazione della cucina o di ventilazione per la caldaia…) possono

comportare sensibili variazioni nelle concentrazioni rilevate; tale aspetto deve essere tenuto in considerazione se, a seguito di ulteriori interventi, ne sia prevista la chiusura.
Qualora non sia possibile eseguire misure in ambienti chiusi le valutazioni potranno essere supportate da misurazioni nel terreno/sottopavimento.
Riguardo alla numerosità dei punti di valutazione si consiglia di posizionare, se possibile, strumenti passivi in tutti locali, a meno di particolari situazioni, e impiegare uno strumento elettronico nel locale a maggior criticità. Nel caso di abitazioni si suggerisce di scegliere come locale rappresentativo la camera da letto in quanto ambiente ad occupazione significativa.
L'interpretazione dei risultati, avendo a disposizione solo misure di breve periodo, richiede particolare sensibilità nella gestione del dato ottenuto tenendo conto dei fattori ambientali e della tipologia dell'edificio.
Infine, l'impiego delle misure di breve periodo, nella fase in itinere dell'installazione degli impianti di risanamento radon, oltre a permettere la valutazione dei rischi per gli operatori delle imprese coinvolte, consente di dimostrare in tempo reale l'efficacia di riduzione.
L'impiego delle misure brevi rappresenta un ottimo alleato, infine, nella valutazione del rischio quando si renda necessaria una stima "veloce" in locali non soggetti all'obbligo di misura annua ed esclusi dalla campagna di monitoraggio annua (ad esempio locali tecnici, spogliatoi, con permanenza sotto le 100 ore annue - rif. tabella 17 PNAR) che tuttavia prevedono, in casi sporadici, permanenze prolungate del personale (es. manutenzioni straordinarie).
Si attenziona come sia opportuno eseguire un regolare (almeno biennale) accertamento sul buon funzionamento degli strumenti elettronici utilizzati mediante la partecipazione a circuiti di inter confronto [10], campagne di validazione autonome con l'ausilio di strumentazione tarata da usare come riferimento o mediante il supporto del venditore/servizio di dosimetria/centro di taratura.

MISURAZIONE NEL SUOLO PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SITO SPECIFCA

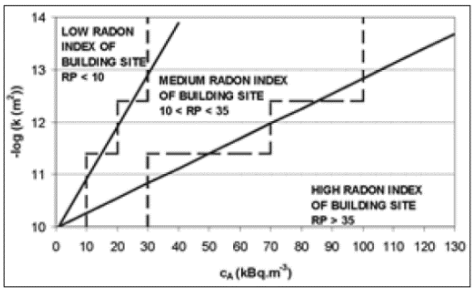
Il D. Lgs. n. 101/2020 fornisce l'indicazione relativa agli "*elementi da prendere in considerazione per il Piano Nazionale d'Azione per il Radon concernente i rischi a lungo termine*" e la esplicita in Allegato III pt. 1 dove si indica la necessità di stabilire una "*strategia per l'esecuzione di indagini sulle concentrazioni di radon in ambienti chiusi o concentrazioni di gas radon nel suolo al fine di stimare la distribuzione delle concentrazioni di radon in ambienti chiusi, per la gestione dei dati di misurazione e per la determinazione di altri parametri pertinenti (quali suolo e tipi di roccia, permeabilità e contenuto di radio226 della roccia o del suolo*".
Tale approccio è fondamentale anche nella diagnosi e progettazione del risanamento di edifici esistenti: la misura nel terreno circostante è concettualmente equiparabile a quella eseguita al di sotto della pavimentazione, consentendo di quantificare il termine sorgente reale (specie con involucro compromesso o in ristrutturazione) e di dimensionare correttamente gli impianti di depressurizzazione.
Il trasferimento del gas dal terreno o dal vespaio all'ambiente indoor è guidato dal trasporto convettivo causato dalla depressione naturale dell'edificio rispetto al suolo. La velocità con cui il gas si muove dipende direttamente dalla permeabilità intrinseca del mezzo e dal gradiente di pressione presente tra interno ed esterno. Mentre nei terreni naturali la permeabilità si quantifica con "permeametri" pneumatici dedicati, al di sotto della soletta la prova viene eseguita senza infissione di sonde nel terreno profondo ma praticando semplici fori pilota sotto massetto. L'applicazione di un'aspirazione meccanica consente di misurare la differenza di pressione indotta tra il punto di aspirazione e i fori di controllo. La caduta di pressione che si riscontra nei vari punti di ispezione, a parità di portata d'aria, esprime la resistenza fluidodinamica opposta dal sottofondo, ottenendo una valutazione dell'inverso della permeabilità del mezzo.
Il rilievo direttamente nel suolo può essere eseguito su più punti di misura in base alla complessità ed estensione dell'area o della struttura, mediante l'impiego di sonde da inserire nel terreno, un apparato strumentale di estrazione dell'aria, un monitore elettronico attivo per la misurazione della concentrazione di radon e toron [13]. I risultati possono essere poi valutati statisticamente, ad esempio, con la tecnica del "contouring" per ottenere un valore di riferimento e la sua distribuzione areale. In questo modo si ottiene una indicazione del potenziale di rischio dell'intera area utile ad orientare la progettazione/ristrutturazione edilizia verso un'appropriata azione di contenimento del rischio di risalita del radon dal sottosuolo negli spazi indoor. Ai fini della valutazione è possibile far riferimento alle indicazioni in tabella 1 dello Swedish Radiaction Protection Institute [14] che prevedono la definizione di tre classi di rischio in funzione della concentrazione rilevata nel suolo.

Tabella 1 - Classi di rischio per misure al suolo- Swedish Radiaction Protection Institute [14]

Classe di rischio	Concentrazione *soil radon* (Bq/m^3)	Tecniche costruttive richieste
High risk	> 50000	*Radon safe construction* (fondazione in calcestruzzo più spessa e rinforzata o ventilazione al di sotto della fondazione)
Normal risk	10000 ÷ 50000	*Radon protective construction* (nessuna fessura o apertura evidente nella fondazione)
Low risk	< 10000	Tradizionali

Ulteriore riferimento bibliografico in tale ambito è rappresentato dal documento tecnico in uso in Repubblica Ceca [15] che definisce la classe di rischio del terreno di fondazione combinando la valutazione della concentrazione di radon nel suolo a quella della permeabilità dei terreni. Il grafico in fig.n.6 rappresenta le aree relative a tre livelli di rischio per il sito oggetto di valutazione: basso, medio e alto.

Figura 6 – Livelli di rischio della normativa presente in Repubblica Ceca [15] per misure di concentrazione radon al suolo ed in funzione della permeabilità del terreno



INDICAZIONI E SUGGERIMENTI

L'esecuzione delle misure radiometriche nel gas interstiziale del suolo esige un elevato rigore metodologico, essendo l'incertezza associata al dato fortemente condizionata sia dalle specifiche metrologiche della strumentazione — che deve operare in regime di campionamento attivo con elevata sensibilità e stabilità volumetrica — sia dal protocollo di prelievo adottato [13]. Parametri quali la geometria dell'asta di campionamento, la profondità di posa della sonda, la tenuta pneumatica all'interfaccia di infissione per prevenire infiltrazioni d'aria atmosferica, lo stato di umidità della matrice porosa e la variabilità geostatistica del campo di misura rappresentano variabili critiche per l'accuratezza del rilievo. A ciò si aggiunga la potenziale interferenza del toron, che impone l'impiego di analizzatori capaci di discriminare i segnali alfa a vita brevissima. La riproducibilità e la significatività fisica del dato presuppongono, pertanto, una caratterizzazione integrata delle condizioni al contorno, con particolare riferimento alla permeabilità intrinseca del mezzo poroso, parametro cardine che governa il trasporto advettivo.

IL RISANAMENTO DI EDIFICI DA GAS RADON

In caso di superamento del livello di riferimento in uno o più locali accertato con misurazione annue, l'esercente deve:

- avvalersi di un esperto in interventi di risanamento radon;
- individuare e realizzare misure correttive;
- perseguire il livello più basso ragionevolmente ottenibile;
- completare gli interventi entro due anni dal rilascio della relazione tecnica;
- verificare l'efficacia del risanamento mediante una nuova misurazione annuale;
- assicurare il mantenimento nel tempo dell'efficacia degli interventi;
- ripetere successivamente le misurazioni ogni quattro anni.

Il superamento di 300 Bq/m^3, considerato isolatamente, non comporta automaticamente la chiusura del locale; determina però un obbligo giuridicamente vincolante di comunicazione, risanamento e verifica.

CASI REALI E CRITICITÀ DA CONSIDERARE

La progettazione delle opere di risanamento è affidata a professionisti con competenze di progettazione edile, figure recentemente e specificatamente formate sul tema radon e che sono in fase di acquisizione delle

competenze necessarie per gestire la misurazione e la valutazione del rischio. Massima attenzione va data alla campagna di esecuzione delle misurazioni annue, che hanno determinato il superamento del livello di riferimento; alle misure di breve periodo che è buona norma accoppiare per la raccolta di elementi utili di valutazione; alla fase di diagnosi strumentale che accompagna la decisione delle opere da attuare per la mitigazione del locale/edificio. Nelle figure di seguito si rappresentano alcune situazioni reali che sono state riscontrate in occasione di esiti negativi del processo di risanamento radon impiegando tecniche non efficaci/peggiorative alla risoluzione del problema: applicazione di membrana anti-radon posata outdoor rispetto all'edificio da risanare con finalità non note (fig.7); un pozzetto attivo di depressurizzazione del suolo non sigillato e lasciato fessurato, condizione che pone in comunicazione pozzetto e ambiente indoor non consentendo l'induzione dell'effetto di depressurizzazione del suolo (fig.8). Le fotografie sono state trasformate in disegni con l'ausilio della intelligenza artificiale (AI) omettendo riferimenti ai luoghi interessati.

Figura 7- Membrana anti-radon con posa esterna all'edificio. Immagine elaborata con AI



Figura 8. Pozzetto di depressurizzazione erroneamente fessurato. Immagine elaborata con AI



INDICAZIONI E SUGGERIMENTI

La diagnosi del locale/edificio resta l'approccio migliore per la valutazione delle opere necessarie al risanamento radon in quanto consente di individuare i punti caldi di risalita e rendere specifiche e puntuali le indicazioni degli interventi tecnici di mitigazione. Manuali, linee guida e schede tecniche di risanamento consentono di avere una visione amplia dei diversi approcci a disposizione, tuttavia, non suggeriscono quale possa essere quella più adeguata all'edificio specifico. Le misure di breve periodo/sniffing effettuate con strumentazione elettronica passiva/attiva in punti critici, le valutazioni di differenziale di pressione nel suolo/sotto massetto, le caratteristiche strutturali dell'edificio (presenza di vespaio, cavedi, canne fumarie, pozzetti, cisterne, passaggi impiantistici), la lettura dell'andamento giorno/notte del radon indoor in accoppiamento a quello dei parametri microclimatici e, in casi particolari, anche il contributo della muratura portante forniscono gli utili strumenti per la scelta della tecnica potenzialmente a maggior efficacia.

VALUTAZIONE DI DOSE AI LAVORATORI

Quando le azioni correttive non portano all'effetto sperato, e la concentrazione nei luoghi di lavoro resta superiore a 300 Bq/m³, l'esercente è tenuto ad effettuare la valutazione delle dosi efficaci annue assorbite dai lavoratori, avvalendosi dell'esperto di radioprotezione, o delle corrispondenti esposizioni integrate annue, ovvero il prodotto della concentrazione di attività per il numero di ore di esposizione, espresso in $kBq \cdot h \cdot m^{-3}$. Per una corretta comprensione del procedimento analitico è necessario ricordare che l'approccio dosimetrico alla base del calcolo della dose efficace viene adottato a partire dall'ICRP 115 [16] e, successivamente, dall'ICRP 137 [17]. Il principio fondamentale è che la dose non deriva direttamente dal radon ma dalla sua progenie a vita breve che, depositandosi nelle vie respiratorie, è responsabile dell'emissione di particelle alfa e della relativa energia assorbita dai tessuti. Per passare dalla misura della concentrazione di radon (Bq/m³) alla dose efficace (Sv), nella pubblicazione ICRP 137 vengono impiegati i concetti di PAEC (Potential Alpha Energy Concentration), che esprime la concentrazione di energia potenziale alfa dovuta ai figli a vita breve, e di fattore di equilibrio F, rapporto tra la concentrazione equivalente all'equilibrio e la concentrazione di radon misurata. Un fattore di equilibrio pari a 1 indica la condizione in cui il radon si trova in equilibrio

secolare con i figli (condizione difficilmente riscontrabile nella pratica). L'ICRP 137 fornisce, infine, i coefficienti di conversione che permettono di calcolare la dose efficace a partire dalla PAEC e dal tempo di esposizione. Il D. Lgs. 101/2020 adotta un metodo operativo semplificato per la valutazione della dose nei luoghi di lavoro che evita la stima esplicita della PAEC e l'uso diretto dei dettagli dosimetrici. La procedura normativa si basa sulla conoscenza del valore di concentrazione media annua di radon, dei tempi di permanenza espressi in ore, e consente la determinazione della dose efficace assorbita grazie all'impiego dell'unico, ben noto [1], fattore di conversione ($6.7 \cdot 10^{-9}$ Sv·Bq^{-1}·h^{-1}·m^3), assumendo un fattore di equilibrio F fissato e pari a 0,4. Questo approccio, intenzionalmente conservativo e di facile applicazione pratica, incorpora inevitabilmente una serie di approssimazioni. Queste devono essere tenute in considerazione dall'esperto di radioprotezione per produrre una valutazione accurata, che consenta un confronto realistico con il livello di riferimento introdotto dal D. Lgs. 101/2020 e fissato in termini di dose efficace annua pari a 6 mSv/anno.
Dal punto di vista pratico, le principali fonti di incertezza sono la variabilità stagionale e spaziale delle concentrazioni di radon (per cui non ci si può avvalere di valori di concentrazione su periodi di breve durata o, comunque, diversi da quelli indicati dalla normativa), l'accuratezza degli strumenti di misura impiegati (non tutti i dosimetri passivi sono uguali [7]), la rappresentatività spaziale delle misure e la stima dei tempi di permanenza effettivi. Seppure non previsto dal D. Lgs. 101/2020 e s.m.i., l'esperto di radioprotezione non dovrebbe perdere di vista l'assunzione alla base del metodo di calcolo che prevede un fattore di equilibrio F fissato per definizione a 0,4. Infatti, se l'approccio previsto dal decreto risulta adeguato a valutazioni operative, di screening e per applicare soglie e obblighi normativi, da un punto di vista strettamente radioprotezionistico può non esserlo. Un metodo più rigoroso, maggiormente aderente all'approccio indicato nella pubblicazione ICRP 137 è invece raccomandato quando è necessaria una caratterizzazione tecnica approfondita. In questi casi può essere necessaria una stima del fattore di equilibrio reale o una misura della PAEC. Il confronto tra i due approcci è utile per valutare la conservatività del metodo normativo e per giustificare eventuali interventi di mitigazione.
Da un punto di vista generale, errori operativi ricorrenti includono l'uso di misure non rappresentative (ad esempio valori di picco delle concentrazioni o misure su periodi brevi) e l'adozione di tempi di permanenza non coerenti con l'uso reale degli spazi. Anche seguendo il semplice approccio normativo, una valutazione corretta deve basarsi sul calcolo della dose efficace annua considerando l'intero monte ore lavorativo (tipicamente 2000 ore/anno), perché è rispetto a tale grandezza che è definito il livello di riferimento. La situazione ideale, pertanto, prevede che si abbiano informazioni sulle concentrazioni presenti in tutti i locali frequentati dal lavoratore nello svolgimento delle proprie attività. In mancanza di misure complete è necessaria l'adozione di ipotesi realistiche e documentate sulle frequenze, durate di permanenza e concentrazioni nei locali per i quali non si hanno dati reali. È quindi insufficiente limitarsi a poche misurazioni puntuali o a medie non rappresentative: la variabilità spaziale e temporale delle concentrazioni può portare a sottostime o sovrastime significative della dose. Un mero confronto tra la dose efficace calcolata su un monte ore inferiore a 2000/anno e il livello di riferimento di 6 mSv/anno può ritenersi definitivo esclusivamente nel caso in cui il primo valore (la dose calcolata) risulti una frazione trascurabile del secondo (il livello di riferimento).
In ultimo, si vuole sottolineare come non sia consigliabile utilizzare il procedimento inverso — partire dal limite di dose di 6 mSv/anno e, sulla base della concentrazione misurata in un singolo locale, calcolare il tempo massimo di permanenza in quel locale — perché tale approccio trascura il fatto che il lavoratore trascorre il proprio anno lavorativo frequentando anche altri ambienti con concentrazioni diverse. Tale "tempo massimo" risulta quindi fuorviante se non viene integrato in un bilancio di esposizione che consideri tutte le aree frequentate e le relative durate. Per una valutazione robusta è necessario esplicitare le ipotesi, considerare le incertezze (misura, rappresentatività, fattore di equilibrio) e, quando possibile, adottare scenari conservativi per verificare la solidità delle conclusioni. Quando la stima normativa si avvicina a soglie operative o quando la decisione di intervento ha impatti significativi, è sempre consigliabile una revisione delle ipotesi di partenza, riducendo i fattori di incertezza o implementando misure integrative, per avvalorare la robustezza delle conclusioni ottenute.

Come già anticipato, dal punto di vista strettamente normativo va sottolineato che il processo di valutazione delle dosi si avvia nel momento in cui le azioni correttive non dovessero dare l'effetto sperato. Al termine del procedimento di calcolo:

1. se la valutazione della dose efficace per i lavoratori è inferiore a 6 mSv/anno, l'esercente è tenuto a tenere sotto controllo le dosi efficaci o le esposizioni dei lavoratori, fino all'adozione di ulteriori nuove azioni correttive;
2. se la valutazione della dose efficace per i lavoratori è superiore a 6 mSv/anno, l'esercente deve mettere in atto un sistema di radioprotezione per i lavoratori secondo quanto previsto dal Titolo XI del D. Lgs. 101/2020 . Come conseguenza di ciò, a prescindere dalla classificazione, di fatto obbligata, come lavoratori esposti di categoria A, l'esercente, assistito dall'esperto di radioprotezione, è tenuto ad attuare tutte le tutele previste dal titolo citato.

Concludendo, è opportuno sottolineare che le valutazioni sopra indicate devono essere effettuate esclusivamente dall'esperto di radioprotezione di II o III grado, figura qualificata e iscritta nell'elenco nominativo del Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali. Considerato che il processo di valutazione delle dosi, pur matematicamente semplice, richiede precise competenze di radioprotezione non sono abilitate altre figure quale, ad esempio, quella dell'esperto in interventi di risanamento radon. Si ricorda che l'art. 211 comma 10 del D. Lgs. n.101/2020 prevede per l'esercizio di funzioni proprie degli esperti di radioprotezione sanzioni che contemplano l'arresto o il pagamento di un'ammenda.

Bibliografia

[1] Decreto Legislativo 31 luglio 2020, n. 101, in materia di *Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme di sicurezza fondamentali per la protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti*. Gazzetta Ufficiale n. 201 del 12 agosto 2020.
[2] Direttiva 2013/59/Euratom. GUUE L 13 del 17/01/2014.
[3] Decreto Legislativo 25 novembre 2022, n. 203, in materia di *Disposizioni integrative e correttive al decreto legislativo 31 luglio 2020, n. 101, di attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti*. Gazzetta Ufficiale n. 2 del 3 gennaio 2023.
[4] PNAR -Piano Nazionale d'Azione per il Radon 2023-2032. DPCM 11 gennaio 2024.
[5] Decreto Legislativo 9 aprile 2008, n. 81, in materia di *Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro*. Gazzetta Ufficiale n. 101 del 30 aprile 2008.
[6] Ispettorato Nazionale del Lavoro nota n. 811/2025. Registro Ufficiale U. 0000811 del 29 01 2025
[7] UNI ISO 11665-8:2020 *Misura della radioattività nell'ambiente - Aria: radon-222 - Parte 8: Metodologie per le indagini iniziali e supplementari negli edifici (2020).*
[8] Vitucci, L et al Arpa Puglia, *Guida tecnica per le misure di concentrazione media annua di radon in aria in luoghi di lavoro, abitazioni, scuole e luoghi aperti al pubblico* (2017).
[9] WHO, *Handbook on indoor radon: a public health perspective (2009).*
[10] Atti interconfronto AIRP - https://www.airp-asso.it/2026/02/20/workshop-radon-2026/
[11] Caresana, M et al, *About ageing and fading of Cr-39 PADC track detectors used as air radon*. Radiation Measurements (2010), 1-7.
[12] Caresana, M et al., *Further studies on ageing and fading of CR39 PADC track detectors used as air radon concentration measurement devices*. Radiation Measurements 46 (2011) 1160-1167.
[13] ISO 11665-11, *Measurement of radioactivity in the environment — Air: radon-222 — Part 11: Test method for soil gas with sampling at depth, International Organization for Standardization* (2016).
[14] Åkerblom, G., *Investigation and Mapping of Radon Risk of Ground, Swedish Radiation Protection Institute (SSI)*. SSI Report 88-19 (1988).
[15] Neznal, M. et al., The New Method for Assessing the Radon Risk of Building Sites, Czech Geological Survey Special Papers 16 (2004).
[16] International Commission on Radiological Protection. *Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon*. ICRP Publication 115. Annals of the ICRP. 2010; 40(1):1-64.
[17] International Commission on Radiological Protection. *Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3*. ICRP Publication 137. Annals of the ICRP. 2017; 46(3-4), 1-486.