

Gas radon: tutto quello che avremmo voluto sapere

Storia della misurazione di questo gas radioattivo

a cura di

Marco Caresana e Luisella Garlati

Fin dagli inizi degli anni '80 del precedente secolo, l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha iniziato a porre l'attenzione alla qualità dell'aria indoor. La popolazione dei Paesi industrializzati trascorre infatti circa l'80-90% del suo tempo in ambienti chiusi, siano essi abitazioni, luoghi di lavoro o di svago, trovandosi così esposta a una notevole quantità di contaminanti chimici e fisici, la cui concentrazione è spesso maggiore nell'aria interna ai locali rispetto a quella esterna [1].

L'evoluzione subita nel tempo dalle tipologie edilizie, i materiali impiegati per costruire e per arredare, i prodotti utilizzati per la pulizia domestica, il migliorato isolamento degli edifici e la diminuzione dei ricambi d'aria legati anche al risparmio energetico, hanno influito sulla qualità dell'aria indoor. Di conseguenza anche la normativa e le norme di standardizzazione hanno posto l'attenzione a questi inquinanti. In particolare, la serie delle norme ISO 16000 è dedicata alla qualità dell'aria indoor per migliorare le condizioni abitative e di conseguenza la qualità della vita [2].

Tra gli inquinanti di origine naturale e ubiquitario, vi è il radon.

Introduzione al problema

Dal 2000 il problema del radon, noto fin dai primi decenni del XX secolo, è diventato oggetto della normativa circa i pericoli derivanti dall'esposizione a sorgenti radioattive naturali. In un primo tempo, era obbligo il monitoraggio di particolari luoghi di lavoro; con l'entrata in vigore del Decreto Legislativo 101/2020 [3], il monitoraggio del radon e le relative opere di risanamento sono state estese anche agli edifici pubblici e alle abitazioni. Prima di illustrare quanto previsto dal decreto legislativo attualmente in vigore in Italia, per una comprensione esaustiva del problema sanitario legato all'esposizione al radon, non si può prescindere da una introduzione dal punto di vista fisico di questo agente inquinante. A differenza di altri inquinanti indoor, infatti, questo presenta la caratteristica di essere radioattivo e la pericolosità è legata a questa peculiarità. Si ricorda che la radioattività, o decadimento radioattivo, è un insieme di processi fisico-nucleari attraverso i quali alcuni nuclei (radionuclidi), trovandosi in condizioni di instabilità atomica, si trasformano (decadono) in nuclei di energia inferiore, raggiungendo uno stato di maggiore stabilità con emissione di radiazioni ionizzanti. Questa trasformazione avviene in un certo lasso di tempo, detto tempo di decadimento, variabile da radionuclide a radionuclide, ma costante per un certo radionuclide. Quando si parla di radon, si intende il radionuclide radon-222, essendo quello con maggior abbondanza in natura e con tempo di decadimento maggiore. Il gas radon viene prodotto a seguito del decadimento radioattivo dell'uranio, naturalmente presente in natura. Quest'ultimo si trova nella crosta terrestre in misura più o meno maggiore a seconda dell'origine geologica del particolare suolo. In linea di massima, formazioni di tipo vulcanico presentano concentrazioni maggiori, ma sono frequenti variabilità locali che prescindono da

questa regola. L'uranio è il capostipite di una catena radioattiva, decadendo in altri isotopi a loro volta radioattivi. La maggior parte degli elementi della catena sono metalli che restano confinati nella matrice originaria contenente l'uranio. Fa eccezione il radon perché, essendo un gas nobile con scarsissima tendenza a formare legami chimici, può diffondere agevolmente attraverso le porosità del materiale (roccia o terra) e fuoriuscire dallo stesso. Se la fuoriuscita avviene verso un ambiente confinato, il radon si può accumulare fino a raggiungere concentrazioni importanti e potenzialmente pericolose per chi vi risiede. Il radon è caratterizzato da un tempo di decadimento di 3,82 giorni, ovvero in questo tempo dimezza la sua concentrazione. Tuttavia, il tempo di decadimento del capostipite, cioè l'uranio, è di circa 4,5 miliardi di anni e rappresenta quindi una fonte a tutti gli effetti inesauribile di radon, che compensa costantemente le perdite per decadimento. Anche il diretto precursore del radon, cioè il radio-226 (definito radionuclide padre) è una fonte inesauribile di radon, se isolato dalla matrice uranifera, avendo un tempo di decadimento di circa 1600 anni (in figura 1 la catena radioattiva della serie dell'uranio-238). Le vie di introduzione del radon in ambienti confinati sono molteplici. Il gas può diffondere dai materiali da costruzione, può essere veicolato dall'aria o dall'acqua, ma la sorgente principale è costituita dalla diffusione attraverso il suolo su cui insiste la casa. I processi diffusivi del gas sono fortemente influenzati anche da deboli gradienti di pressione e temperatura. Anche le abitudini relative alla frequenza di ricambio dell'aria nei locali influenzano la concentrazione. Ne deriva che questa è soggetta a importanti variazioni sia su base giornaliera, sia su base stagionale. Normalmente è più alta nelle ore notturne e si abbassa in quelle diurne. Nel lungo termine sono più alte le concentrazioni nei mesi freddi, mentre in estate la concentrazione scende, aiutata anche da una maggiore ventilazione degli ambienti. In figura 2 sono schematizzati i vari percorsi di ingresso del radon all'interno dell'abitazione. A seconda della specificità del sito, una via di accesso può essere preponderante rispetto all'altra e l'individuazione della sorgente di maggiore importanza può essere un compito molto complesso e che rende ogni singolo caso un problema a sé.

Grandezze fisiche

La grandezza fisica che caratterizza il decadimento di una sostanza radioattiva è l'"attività". Questa grandezza misura il numero di decadimenti radioattivi che avvengono nell'unità di tempo. Nel sistema internazionale essa prende il nome di Becquerel (Bq) e 1 Bq rappresenta una disintegrazione (decadimento) che avviene in un secondo. La concentrazione di radon in aria misura il numero di disintegrazioni al secondo in un metro cubo di aria e si esprime in Bq/m³ (Bequerel al metro cubo). Questa è la grandezza fisica in cui la normativa, nazionale e internazionale, esprime i livelli di riferimento. Utile menzionare un'ulteriore grandezza, chiamata esposizione al radon, definita come la concentrazione di radon in aria integrata nel tempo di esposizione, espresso in ore. La grandezza si misura in Bq·h/m³ (Bequerel ora al metro cubo) Il tempo di esposizione può essere rappresentativo del tempo che un individuo passa nello specifico ambiente o del tempo di misura di un rivelatore di radon. Infatti, esistono categorie di strumenti che misurano direttamente l'esposizione. In questi casi è importante conoscere il tempo per

cui gli strumenti sono lasciati in misura, per poter risalire alla concentrazione. Esistono altre grandezze fisiche utilizzate per valutazioni più dettagliate, ma si preferisce non approfondire in questa sede.

Le informazioni sopra riportate sono da ritenersi gli elementi imprescindibili per la comprensione della parte del D.Lgs 101/20 che regola l'esposizione al radon.

In questo caso si prende in considerazione la sopracitata dose efficace, espressa nel sistema internazionale in Sievert (Sv). Questa deriva dalla misura dell'energia che la radiazione cede per unità di massa di tessuto e, attraverso coefficienti noti che tengono conto del tipo di radiazione e del tipo di tessuto, fornisce una stima del rischio da esposizione alle radiazioni. A titolo di esempio, la radiazione naturale (escluso il radon) espone mediamente un individuo della popolazione ad una dose efficace di 1 mSv per anno. Il limite per i lavoratori professionalmente esposti è di 20 mSv per anno.

Principi di radioprotezione

La stima del rischio di esposizione al radon si inquadra nella più ampia disciplina che si occupa della valutazione dei rischi da radiazioni ionizzanti e che va sotto il nome di radioprotezione.

Essa si basa su tre principi fondamentali: giustificazione, ottimizzazione e limitazione della dose individuale. Il principio di giustificazione stabilisce che qualsiasi decisione che altera la situazione di esposizione alle radiazioni deve comportare, per il singolo individuo e per la società, un beneficio che supera il detrimento sanitario conseguente all'esposizione (per esempio, eseguire una radiografia per individuare una frattura ha un beneficio rispetto alla dose ricevuta nell'eseguire l'esame). Il principio di ottimizzazione muove dal fatto che l'attuale modello dose-effetto universalmente adottato è di tipo lineare.

Questo significa che anche piccole dosi di radiazione possono produrre un effetto, che nel caso specifico è l'aumento del rischio di tumore radioindotto. Questo approccio rende impossibile la definizione di una soglia al di sotto della quale il rischio è nullo. Piuttosto è necessario un approccio ottimizzato tale per cui il numero di persone esposte, ed il valore della esposizione del singolo, debbano essere tenuti tanto bassi quanto ragionevolmente ottenibile, tenuto conto dei fattori economici e sociali. Questo principio è noto con l'acronimo di ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Il terzo principio invece pone un limite superiore alla dose che può ricevere il singolo individuo, fermo restando il principio ALARA. Nel caso dell'esposizione al radon in ambienti indoor il beneficio è chiaro e la normativa si focalizza sul principio di ottimizzazione, introducendo un limite di riferimento che rappresenta un valore al di sopra del quale il principio di ottimizzazione non si ritiene soddisfatto. Tuttavia, questo livello di riferimento deve essere interpretato alla luce del principio di ottimizzazione [ICRP 126], nel senso che è necessario valutare se piccoli interventi con costi contenuti possano ulteriormente ridurre la concentrazione. Qualora si ravvisi questa possibilità, essa deve essere perseguita.

Effetti biologici

In generale gli effetti biologici delle radiazioni si possono dividere in due classi: effetti precoci ed effetti tardivi. I primi sono prodotti da irraggiamenti acuti, ovvero intensi e di breve durata temporale e sono caratterizzati da reazioni tissutali, che possono andare da arrossamento della pelle o eritema, abbassamento dei globuli del sangue e, crescendo con la dose, progressiva perdita funzionale dei vari organi secondo la loro specifica radiosensibilità. Gli effetti tardivi sono prodotti da mutazioni cellulari indotte dall'energia che la radiazione ionizzante deposita nelle cellule che compongono il tessuto. Queste mutazioni possono innescare lo sviluppo di neoplasie. Si tratta quindi di un effetto stocastico, i cui danni si manifestano a distanza di anni dalla esposizione, secondo i tempi caratteristici dello sviluppo tumorale. L'inalazione di radon durante l'atto respiratorio fa sì che l'energia delle particelle emesse durante il decadimento venga depositata ai tessuti che compongono l'apparato respiratorio, comportando effetti tardivi di insorgenza di tumore polmonare. L'Organizzazione Mondiale della Sanità classifica il radon come seconda causa di tumore polmonare dopo il fumo di sigaretta. Come detto in precedenza il radon appartiene alla catena di decadimento radioattivo avente come capostipite l'uranio. Tuttavia, il radon non termina la catena, ma decade a sua volta in altri radionuclidi secondo lo schema di figura 1, dove sono indicati i simboli chimici dei prodotti di decadimento assieme al tempo di dimezzamento e al tipo di decadimento (alfa o beta). Tralasciamo quest'ultima informazione per semplicità di trattazione e focalizziamoci sulla natura chimica e sul tempo di dimezzamento. I figli del radon sono metalli pesanti, con una forte tendenza ad aggrapparsi al particolato e possono restare in sospensione in aria per un tempo che dipende dalla granulometria del particolato. Particolato di grosse dimensioni tende a precipitare rapidamente, a differenza del particolato sottile. Inoltre, l'apparato respiratorio dispone di filtri biologici per proteggersi da particolato di relativamente grosse dimensioni e solo particelle estremamente piccole, con diametro inferiore a 3-5 micron, penetrano in profondità nei polmoni. Un individuo che staziona in un ambiente, raggiunge all'interno dei propri polmoni la stessa concentrazione di radon dell'ambiente, perché la stessa quantità inalata viene anche esalata. Diverso è invece il discorso per i figli del radon, dove possono verificarsi due diversi scenari:

1) nel caso in cui il decadimento avvenga all'interno dei polmoni, i figli del radon si aggrappano ai tessuti polmonari, non vengono esalati e lì si accumulano fino al completo decadimento;

2) L'inalazione del particolato contaminato da figli del radon può penetrare più o meno profondamente nell'apparato respiratorio, a seconda della granulometria del particolato e difficilmente viene esalato al successivo atto respiratorio. Anche in questo caso si ha un accumulo di figli del radon. In definitiva la quota preponderante di dose al tessuto respiratorio è dovuta ai figli del radon a vita breve. Osservando l'ultimo elemento della sottocatenata, il piombo-210, si vede che ha un tempo di dimezzamento fisico di 22 anni circa. Questo tempo è molto maggiore del tempo di dimezzamento biologico (alcuni giorni), ovvero del tempo che l'organismo impiega ad espellere agenti nocivi introdotti durante la respirazione. Il piombo-210 quindi viene rimos-

so dall'organismo prima che possa depositare una quantità significativa di energia ai tessuti e contribuisce in modo trascurabile al rischio da inalazione di radon. Il lettore a questo punto potrebbe chiedersi come mai il legislatore abbia posto il livello di riferimento sulla concentrazione di radon e non su una "concentrazione di figli del radon". Il motivo risiede nella misurabilità di queste grandezze. Una misura di concentrazione di radon è di basso costo, molto precisa e permette di integrare la misura su tempi molto lunghi fornendo un'indicazione rappresentativa della permanenza di un individuo nello specifico ambiente. Una misura di concentrazione di figli del radon non possiede nessuna di queste caratteristiche e, stante la complessità, deve essere condotta da laboratori o professionisti con adeguata formazione e dotati di idonea strumentazione. Il livello di riferimento viene quindi riferito alla concentrazione di radon essenzialmente per la facilità della misura e sottende una stima della corrispondente concentrazione di figli del radon ragionevolmente attesa in ambienti di lavoro/domestici. Ai fini pratici rappresenta quindi la scelta più idonea.

Evoluzione della normativa

In generale, limiti di legge sono imposti quando si ha un'evidenza di un rischio dovuto a un certo fattore. Per quanto riguarda la radioprotezione, l'ente nato per raccogliere tutti gli studi condotti sulle radiazioni e sugli effetti biologici delle radiazioni e conseguentemente dare indicazioni operative per la valutazione della dose è la Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica (International Commission on Radiological Protection - ICRP). Per poter illustrare l'evoluzione della normativa sul radon, occorre riassumere brevemente quanto indicato nei documenti di questa commissione.

La direttiva 96/29/EURATOM e il decreto legislativo 241/2000

Di fronte a indicazioni chiare di ICRP e dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS o WHO), EURATOM (la Comunità europea dell'energia atomica) ha emanato nel 1996 la direttiva 96/29 in materia di radiazioni ionizzanti, che ha introdotto un capitolo circa l'aumento significativo dell'esposizione dovuta a sorgenti di radiazioni naturali. In particolare, la direttiva ha dato indicazioni per individuare "attività lavorative durante le quali i lavoratori e, se del caso, individui della popolazione sono esposti a prodotti di filiazione del toron o del radon, o a radiazioni gamma o a ogni altra esposizione in luoghi di lavoro quali stabilimenti termali, grotte, miniere, luoghi di lavoro sotterranei e luoghi di lavoro in superficie in zone ben individuate". Questa direttiva è stata recepita in Italia col decreto legislativo 241/2000 [4], integrazione del decreto legislativo 230/1995 [5]. Dal momento che quest'ultima legge è stata abrogata, non si ritiene utile entrare nel dettaglio dei vari articoli, mentre è importante mettere in evidenza i cambiamenti e i risultati di vent'anni di applicazione della legge. Prima di tutto il monitoraggio del radon secondo il D. Lgs. 241/2000 era effettuato solo nei luoghi di lavoro con determinate caratteristiche: qualsiasi luogo di lavoro definito come sotterraneo, come tunnel, sottovie, catacombe, grotte; stabilimenti termali e attività estrattive ma non di uranio; attività di stoccaggio e di lavorazione di prodotti contenenti radionuclidi naturali,

presenti in un elenco nel testo di legge. Oltre a questi luoghi ben definiti, ogni regione avrebbe dovuto mappare il proprio territorio per definire aree a rischio radon. Questa mappatura è stata eseguita in tempi diversi dalle varie regioni, anche a causa di difficoltà a uniformare le metodiche di misura e gli approcci di analisi dei dati. I dati non sono mai stati ufficializzati in Gazzetta Ufficiale, ma pubblicati nei siti delle varie Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA/APPA). Attualmente i dati disponibili sono stati inseriti nel database SINRAD (Sistema Informativo Nazionale sulla Radioattività dell'Ispettorato Nazionale per la Sicurezza Nucleare e la Radioprotezione ISIN) [6], accessibile a tutti i cittadini e in continua evoluzione con le future misure. Il livello di riferimento, definito come livello di azione (cioè un livello che, se superato, richiede l'adozione di azioni di rimedio volte a ridurre la concentrazione di radon a livelli più bassi del valore fissato), era pari a 500 Bq/m^3 . Superato questo limite, se il luogo di lavoro non era un asilo nido, una scuola materna o una scuola dell'obbligo per cui era valido solo questo livello, per tutti gli altri luoghi di lavoro l'esercente non era tenuto alle azioni di rimedio se dimostrava che nessun lavoratore era esposto ad una dose superiore di 3 mSv/anno (applicando coefficienti di conversioni inseriti nella legge e riferiti all'approccio epidemiologico). Nel caso in cui anche questo livello di dose fosse stato superato, l'esercente avrebbe dovuto porre in essere azioni di rimedio idonee a ridurre le grandezze misurate al di sotto del predetto livello, tenendo conto del principio di ottimizzazione, e procedere nuovamente alla misurazione al fine di verificare l'efficacia delle suddette azioni. Per la valutazione della dose e per le azioni di rimedio, l'esercente si doveva avvalere dell'esperto qualificato, cioè "una persona che possiede le cognizioni e l'addestramento necessari sia per effettuare misurazioni, esami, verifiche o valutazioni di carattere fisico, tecnico o radiotossicologico, sia per assicurare il corretto funzionamento dei dispositivi di protezione, sia per fornire tutte le altre indicazioni e formulare provvedimenti atti a garantire la sorveglianza fisica della protezione dei lavoratori e della popolazione." Attualmente l'esperto qualificato è definito esperto di radioprotezione. Per le abitazioni non si avevano indicazioni, lasciando valide le raccomandazioni della pubblicazione ICRP 65, che per gli edifici residenziali esistenti consigliava una soglia d'intervento di 400 Bq/m^3 , mentre per quelli di nuova costruzione di 200 Bq/m^3 . Quindi la scelta di effettuare misure ed eventuali opere di risanamento era a discrezione dei proprietari degli immobili, a meno di essere adibiti ad attività lavorativa. Per indicazioni circa le misure di monitoraggio della concentrazione di radon, una speciale commissione avrebbe dovuto stilare apposite linee guida. Nei vent'anni di vigore della legge queste linee guida non sono mai state emanate.

In attesa della loro stesura, la Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome di Trento e Bolzano nel 2003 ha emanato il documento Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei [7] rimasto a lungo l'unico documento di riferimento per queste misure. Per quanto riguarda invece i servizi di misura, il D. Lgs. 241/2000 ne faceva riferimento solo nell'articolo 107 (Taratura dei mezzi di misura - Servizi riconosciuti di dosimetria individuale) in questi termini: "[...] 3. Gli organismi che svolgono attività di servizio di dosimetria individuale

e quelli di cui all'articolo 10-ter, comma 4, devono essere riconosciuti idonei nell'ambito delle norme di buona tecnica da istituti previamente abilitati; nel procedimento di riconoscimento si tiene conto dei tipi di apparecchi di misura e delle metodiche impiegate. [...]". L'articolo 10-ter è quello relativo alle misure di radon nei luoghi di lavoro. Non essendo mai stati abilitati gli istituti per il riconoscimento dei servizi, non sono mai stati riconosciuti i servizi di misura. Ovviamente questo non vuol dire che non c'erano servizi di misura. Le varie Agenzie ARPA fornivano questo tipo di servizio, così come molti laboratori universitari e di ricerca avevano a disposizione strumenti per la misura, ma per scopi di ricerca scientifica. L'entrata in vigore di questo decreto ha dato vita a numerosi servizi di misura privati, alcuni dei quali all'interno di servizi di dosimetria individuali esistenti già da decenni. Alcuni di questi laboratori/servizi, in assenza di riconoscimenti ufficiali, hanno intrapreso la via dell'accreditamento secondo la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025 [8], che stabilisce i requisiti per la competenza dei laboratori di prova.

Le nuove indicazioni WHO: nuova direttiva e nuovo Decreto Legislativo 101

Alla luce dei nuovi studi epidemiologici, anche **l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha preso posizione sulla necessità di rivedere i livelli di riferimento per la concentrazione di radon in aria** Attraverso la pubblicazione di un handbook nel 2009 [9], l'Organizzazione ha fornito una **overview dei maggiori aspetti riguardanti il radon e la salute, fornendo elementi utili per eventuali programmi nazionali per il radon**. In questa pubblicazione è stata però data la seguente raccomandazione: "Quando si stabilisce un livello di riferimento, si devono tenere in considerazione vari fattori nazionali come la distribuzione del radon, il numero di abitazioni esistenti con alte concentrazioni di radon, il livello medio aritmetico di radon indoor e la prevalenza del fumo. Alla luce degli ultimi dati scientifici, **l'OMS propone un livello di riferimento di 100 Bq/m³ per ridurre al minimo i rischi alla salute dovuti all'esposizione interna al radon**. Tuttavia, se questo livello non può essere raggiunto nelle condizioni specifiche del paese, **il livello di riferimento scelto dovrebbe non superare i 300 Bq/m³ che rappresentano circa 10 mSv all'anno** secondo i recenti calcoli della Commissione Internazionale per la Protezione Radiologica." Il riferimento è alla pubblicazione ICRP 115. Questa raccomandazione era più stringente di quanto prescritto nella direttiva 96/29, dove si faceva riferimento ai livelli raccomandati nella pubblicazione ICRP 65 (un valore di radon non superiore a 1000 Bq/m³). Inoltre, **l'attenzione è posta sia sui luoghi di lavoro, sia sulle abitazioni, dove è possibile raccomandare o richiedere azioni di rimedio**. Ovviamente questa posizione netta di WHO e di ICRP ha avuto una ricaduta importante anche a livello di EURATOM. Nel 2013 è stata emanata una nuova direttiva [10], in cui il radon è stato ampiamente preso in considerazione. Oltre al nuovo livello di riferimento (diverso dal livello di azione presente nel

D. Lgs. 241/2000) fissato a 300 Bq/m³, sono state date indicazioni puntuali per il radon nei luoghi di lavoro ma anche sulle esposizioni al radon in ambienti chiusi (quindi anche le abitazioni). Inoltre, **si è introdotto il piano d'azione per il radon, cioè un piano che affronta i rischi di lungo termine dovuti alle esposizioni al radon nelle abitazioni, negli edifici pubblici e nei luoghi di lavoro per qualsiasi fonte di radon (suolo, acqua, materiali da costruzione).** In Italia il recepimento di questa direttiva è avvenuto solo nel 2020, in ritardo rispetto ai tempi imposti.

Nel mentre ICRP ha emanato la pubblicazione n. 137, così che i nuovi coefficienti di conversione sono stati già considerati nel nuovo Decreto Legislativo 101/2020. Vista la portata dei cambiamenti introdotta da questa legge e il coinvolgimento di varie figure professionali, merita particolare attenzione l'analisi del decreto e le sue conseguenze.

Bibliografia

- [1] Istituto Superiore di Sanità, Indagine Nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni, ISTISAN Congressi 34, ISSN 0393-5620 (1994)
- [2] www.iso.org
- [3] 7. Decreto Legislativo n° 101 del 31 luglio 2020, Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom e riordina la normativa di settore in attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), della legge 4 ottobre 2019, n. 117, Gazzetta ufficiale <https://www.gazzettaufficiale.it/>
- [4] Decreto Legislativo n° 241 del 26 maggio 2000, Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti, Gazzetta ufficiale
- [5] Decreto Legislativo n° 230 del 17 marzo 1995, Attuazione delle direttive 80/836, 84/467, 84/466, 89/618, 90/641 e 92/3 in materia di radiazioni ionizzanti, Gazzetta ufficiale
- [6] <https://sinrad.isinucleare.it/radon/mapa-medie>
- [7] Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome di Trento e Bolzano, Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei, Coordinamento delle Regioni e delle Province autonome di Trento e Bolzano (6 febbraio 2003)
- [8] UNI CEI EN ISO/IEC 17025 Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura (2018)
- [9] World Health Organization, WHO handbook on indoor radon – a public health perspective, ISBN 978 92 4 154767 3
- [10] Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio, del 5 dicembre 2013, che stabilisce norme fondamentali di sicurezza relative alla protezione contro i pericoli derivanti dall'esposizione alle radiazioni ionizzanti, e che abroga le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TX-?uri=celex%3A32013L0059> Pubblicazioni ICRP inerenti il radon: [ICRP 12] ICRP, 1969. General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers. ICRP Publication 12. Pergamon Press, Oxford. [ICRP 24] ICRP, 1977. Radiation Protection in Uranium and Other Mines. ICRP Publication 24. Ann. ICRP 1 (1) [ICRP 32] ICRP, 1981. Limits for Inhalation of Radon Daughters by Workers. ICRP Publication 32. Ann. ICRP 6 (1). [ICRP 50] ICRP, 1987. Lung Cancer Risk from Exposures to Radon Daughters. ICRP Publication 50. Ann. ICRP 17 (1) [ICRP 65] ICRP, 1993. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. ICRP Publication 65. Ann. ICRP 23 (2). [ICRP 66] ICRP, 1994. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66. Ann. ICRP 24 (1-3) [ICRP 115] ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40(1). [ICRP 126] ICRP, 2014. Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3). [ICRP 137] ICRP, 2017. Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3. ICRP Publication 137. Ann. ICRP 46(3/4)

**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

© 2022 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: 3 Novembre 2022