

a cura di

Franco Cioce
Francesco Romano
Valeria Ciriello
Tiziana Tunno

RADON

- Chi ha messo il radon in casa
- Perché dobbiamo avere paura del radon...e non solo
- Perché non dobbiamo avere paura del radon
- Come lo possiamo misurare
- Quanto tempo occorre per misurarlo
- Come e chi può valutare se il radon trovato è tanto o poco
- Caso pratico
- Conclusioni

Chi ha messo il radon in casa?

Non è una diavoleria tecnologica di nuova invenzione e neppure il risultato di scellerati esperimenti.

Il radon esiste da sempre. È un gas radioattivo ed è un elemento chimico che viene rappresentato sulla tavola periodica di Mendeleev dal simbolo **Rn** e numero atomico **86**.

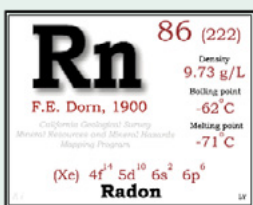
Considerando la sua posizione nella tavola periodica, il radon è un gas nobile ossia un gas inerte, quasi incapace di reagire con altri elementi a formare legami molecolari. In quanto gas nobile, il radon è un gas raro, presente solo in piccolissime percentuali nell'atmosfera.

La sua scoperta, effettuata da Robert B. Owens ed Ernest Rutherford, risale al 1899 quindi poco dopo la scoperta del Polonio e del Radio (da cui discende il radon) da parte dei coniugi Curie (1898).

Pur essendo un gas, il radon è molto pesante (il più pesante tra i gas nobili) e a temperatura e pressione standard è inodore e incolore e non percepibile dai nostri sensi. Grazie alla forte dispersione in atmosfera, all'aperto la concentrazione di radon non raggiunge mai livelli elevati ma, nei luoghi chiusi (case, uffici, scuole, ecc) può arrivare a valori che comportano un rischio rilevante per la salute dell'uomo, specie per i fumatori [1].

Abbiamo detto che il radon discende dal radio che a sua volta discende dall'uranio e poiché quest'ultimo elemento è presente in tutta la crosta terrestre, è possibile trovare il radon nel terreno e nelle rocce in quantità variabile. Il suolo è la principale sorgente del radon che ritroviamo nelle case ma gli stessi materiali edili che derivano da rocce vulcaniche (come il tufo), o estratti da cave o derivanti da lavorazioni di terreni che presentano elevate concentrazioni di uranio, possono essere ulteriori sorgenti di radon negli edifici.

Essendo un gas, il radon può spostarsi e sfuggire dalle porosità del terreno disperdendosi nell'aria o nell'acqua, di conseguenza l'acqua sorgiva trasporta radon in concentrazioni variabili ed è naturale ritrovare il radon anche nelle acque potabili, ma essendo questo un gas insolubile in acqua, una volta



a contatto con l'atmosfera viene rilasciato in continuazione per volatilizzazione. Analogamente le acque naturali di superficie (sorgenti, fiumi, laghi...) a contatto con l'atmosfera lo rilasciano, generalmente in quantità molto limitate. Nelle falde profonde, invece, il radon può essere presente in concentrazioni anche elevate.

Come altre scoperte nella storia della scienza, anche il radon ha subito gli effetti del tempo e della "moda".

Nelle locandine che pubblicizzavano le località termali italiane ed europee, la presenza del gas radon era considerata un tempo il punto di forza per invogliare la popolazione a sceglierle come meta turistica e di cura.

Lo vediamo, ad esempio, nelle locandine delle terme di Acqui Terme (Piemonte) dove campeggia l'immagine evocativa di un paziente che, lasciando cadere la gruccia che lo aiutava a deambulare, si aggrappa alla grande mano tesa delle terme che gli permettono di abbandonare le sindromi morbose da cui era affetto grazie ai "fanghi naturali radioattivi". Col tempo però nella medesima immagine i "nuovi" fanghi naturali perdono l'aggettivo "radioattivi".

A questa pubblicità possiamo aggiungere quella delle terme e grotte "parlanti" di Monsummano terme (Toscana): "*Grande Sorgente di Acqua Minerale Radioattiva*" [2], oppure quella di Lacco Ameno, la "secolare e modernissima stazione termale **radioattiva** dell'isola d'Ischia" che nel mese di aprile 1957 ha inaugurato le "Terme Radioattive Regina Isabella - tutte le cure termali radioattive: bagni, fanghi docce, le cure ginecologiche, le cure inalatorie, massaggi e chinesiterapia, le cure radioattive di bellezza".

E ancora troviamo il riferimento alle caratteristiche radioattive nelle immagini di S. Angelo, le terme radioattive di Cava Scura (Na), o nelle immagini delle terme di Montecatini.

Le "terme di Stigliano - le antiche *termae stigianae* etrusco-romane - Bagni e fanghi Jodo-Solforosi di alta radioattività e temperatura - Cure efficacissime per tutte le malattie del ricambio e della pelle" erano in competizione con le terme di Saturnia che si definivano "Le più radioattive di Europa".

Questa tendenza ha riguardato non solo il mondo termale: nel ventennio dello scorso secolo, veniva realizzata e commercializzata una brocca chiamata "Radium Ore Revigator" che aveva lo scopo di arricchire l'acqua potabile che vi veniva introdotta con "l'elemento perduto della freschezza originale: la radioattività". Le istruzioni disponevano di riempire il contenitore ogni notte e di bere liberamente otto o più bicchieri al giorno di acqua così trattata dopo essersi alzati al mattino.

In realtà, nell'acqua contenuta si formava radon quale prodotto di decadimento del radio presente nelle pareti del "revigator".

La pubblicità era eloquente: l'acqua trattata era considerata praticamente miracolosa, poteva curare e alleviare quasi tutto, dai dolori dell'artrite, all'invecchiamento, ai dolori intestinali e gastrici...

Il "revigator" realizzato in ceramica e rivestito con elementi radioattivi ($K_2(UO_2)_2(VO_4) \cdot 2 \cdot 3H_2O$) fu prodotto a partire dal 1912 (anno del brevetto depositato da R.W. Thomas) ed ebbe l'apice del successo tra gli anni 1920 e 1930: era talmente ricercato che il produttore iniziale fu costretto a vendere la sua "invenzione" alla Società "Herriman Pump & Machinery Company" che lo replicò in migliaia di esemplari [3], [4].





La pubblicità era, allora come oggi, l'anima del commercio e l'opinione pubblica, propensa a credere che nessuno avrebbe mai consigliato qualcosa di pericoloso, maturò la convinzione che la radioattività rappresentasse una sicura proiezione verso il futuro e promosse la distribuzione di questi dispenser.

Successive analisi (circa 1930) accertarono la presenza, oltre all'uranio, anche di arsenico, vanadio e piombo, ulteriori fonti di rischio per la salute.

Non ci sono dati al riguardo dello stato di salute degli utenti di Revigator, soprattutto perché all'epoca le cause di morte e di tante malattie non erano sempre ricercate e/o comprese.

Con il passare del tempo la diffusione del Revigator si ridimensionò. Cosa era successo? La grande crisi annichì i consumi di qualsiasi bene e contemporaneamente prese corpo una maggiore consapevolezza determinata dall'attività di diversi scienziati che compresero i pericoli propri delle radiazioni. Alcune ricerche scientifiche condotte secondo il principio di Paracelso per il quale *“tutto è veleno e nulla esiste senza veleno, solo la dose fa in modo che il veleno non faccia effetto”*, furono conseguenti a diversi episodi di impiego deliberato di elementi radioattivi anche in beni di consumo ed infine alcune patologie furono direttamente ricondotte alle radiazioni stesse.

Perché dobbiamo avere paura del radon ...e non solo

Come detto il radon è un gas radioattivo con numero atomico 86, dunque come tutti gli elementi della tavola periodica con un numero atomico (Z) superiore a 84 ha la caratteristica di essere instabile. Tale instabilità lo porta a trasformarsi, con un tempo caratteristico di circa 3.8 giorni (tempo di dimezzamento), nei suoi discendenti chiamati “figli”, radioattivi anch'essi ma in “forma solida” e “a vita breve”, caratterizzati cioè da un tempo di decadimento nettamente inferiore.

Questa trasformazione del radon nei suoi figli interessa quindi sia la forma fisica, perché dallo stato gassoso si passa allo stato solido, sia il tempo di decadimento che da più giorni si riduce a minuti/secondi: entrambi i cambiamenti determinano delle ripercussioni importanti nell'interazione tra l'individuo e un ambiente di vita o di lavoro caratterizzato dalla presenza di radon.

Nel loro decadimento il radon e i suoi figli emettono radiazioni ionizzanti. Ionizzare un atomo significa strappargli uno o più elettroni e “modificarlo” dal punto di vista dell'equilibrio della carica elettrica: un atomo non più neutro provoca un'alterazione della materia. L'effetto delle radiazioni ionizzanti sull'organismo umano è proprio quello di rompere i legami atomici e molecolari, degradando le macromolecole di cui è formato.

Il radon e i suoi figli a vita breve, Po-218, Po-214, sono emettitori di particelle α (alfa), radiazioni particolarmente energetiche e con il potere di ionizzare direttamente la materia che incontrano sul loro percorso.

Tabella 1. Caratteristiche chimico-fisiche del radon e dei suoi figli

Elemento chimico	Simbolo e numero di massa (A)	Grado di parentela	Stato fisico	Tempo di dimezzamento	Tipologia di radiazione emessa
Radon	Rn-222	“padre”	gassoso	3.8 giorni	α (energetica)
Polonio	Po-218	figlio	solido	3.1 minuti	α (energetica)
Piombo	Pb-214	figlio	solido	26.8 minuti	β-
Bismuto	Bi-214	figlio	solido	19.9 minuti	β-
Polonio	Po-214	figlio	solido	0.00016 secondi	α (energetica)

¹ Le radiazioni ionizzanti si distinguono in radiazioni direttamente ionizzanti come ad esempio la particella α (nucleo di elio) e radiazione β (β-, elettrone) e radiazioni indirettamente ionizzanti come i raggi γ e raggi x (radiazione elettromagnetica).

Nella fase di respirazione introduciamo nei polmoni aria ed anche il particolato atmosferico (particelle di fumo, polveri o vapor acqueo) a cui sono legati, in quanto particolarmente reattivi, i figli del radon caratterizzati da uno stato solido.

È utile sottolineare che il gas radon oltre che inalabile è anche facilmente eliminabile per via respiratoria grazie al suo tipico tempo di dimezzamento di 3.8 giorni, mentre i suoi figli, che restano aggrappati al particolato atmosferico, si possono stabilizzare nell'apparato respiratorio continuando, stavolta all'interno dell'organismo, a manifestare la loro radioattività mediante l'emissione di particelle alfa in tempi drasticamente più brevi (minuti/secondi).

Le particelle α emesse nei vari decadimenti di tutti questi elementi radioattivi possono quindi colpire il DNA delle cellule polmonari producendo danni chimici e fisici. Gran parte dei danni procurati al DNA dall'interazione con le radiazioni ionizzanti viene riparata grazie ad appositi meccanismi cellulari, ma i danni non riparati col tempo possono portare allo sviluppo di neoplasie. Tra il danno al tessuto polmonare e l'insorgenza di una neoplasia a carico dell'apparato respiratorio possono trascorrere anni o decenni.

Sulla base di numerosi studi epidemiologici il radon è stato classificato dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC), che è parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO), come cancerogeno per l'uomo e attualmente è considerato la principale causa di morte per tumore ai polmoni dopo il fumo di tabacco.

Gli studi epidemiologici condotti dapprima sui minatori, per la specificità di rischio del luogo di lavoro e per l'evidente incremento nelle patologie a carico dell'apparato respiratorio, e poi sulla popolazione esposta al radon nelle abitazioni hanno portato a concludere che il rischio di tumore polmonare [5]:

- **aumenta proporzionalmente all'aumentare della concentrazione di radon, più è alta la concentrazione di radon maggiore è il rischio di tumore polmonare;**
- **aumenta proporzionalmente alla durata dell'esposizione, più è lunga la durata dell'esposizione al radon maggiore è il rischio di tumore polmonare;**
- **aumenta proporzionalmente all'età, come generalmente accade per questa patologia;**
- **è molto più alto (circa 25 volte) per i fumatori rispetto ai non fumatori, a parità di concentrazione di radon e durata dell'esposizione.**

Perché non dobbiamo avere paura del radon

Le caratteristiche fisico-chimiche del radon rappresentano contemporaneamente il rischio e la soluzione.

Il radon è un elemento chimico naturale, esiste da quando è nata la Terra e deriva dal processo di decadimento dell'elemento primordiale Uranio-238, la sua più grande criticità risiede nell'essere invisibile ai nostri sensi: è inodore, incolore e insapore perciò non possiamo percepirlo se non intervengono delle metodologie specifiche di misurazione e valutazione. Una volta accertata la presenza di radon in un ambiente di vita o di lavoro è però possibile, oltre che necessario, attivare una serie di attività atte a ridurre l'impatto sulla salute delle persone che frequentano tali spazi.

La presenza di gas radon in concentrazioni più o meno elevate può essere infatti gestita con le stesse modalità con cui sono gestiti altri rischi che si presentino in un luogo di lavoro o in ambiente domestico, agendo attraverso azioni mirate e progressive ed in particolare, nel caso del radon, sfruttando la sua caratteristica principale: lo **stato gassoso**.

Il radon viaggia liberamente dalle profondità del sottosuolo sino ad infiltrarsi negli edifici nel periodo di "libertà" che la natura gli ha concesso (circa 3.8 giorni) prima di trasformarsi in un elemento solido e arrestare la sua corsa.

Le vie di ingresso in un edificio sono molteplici (impianti idro-elettrici, crepe, fessurazioni, etc.) e altrettanto molteplici sono gli incentivi offerti al suo ingresso dai parametri microclimatici (temperatura e pressione) e dalle caratteristiche strutturali che uno specifico edificio può presentare per posizione geografica e tipologia edilizia (forma, dimensioni, presenza di cappe o camini, etc).

Una buona attività di analisi e diagnosi sul campo consente di sfruttare, a vantaggio della riduzione del rischio, questo suo grado di libertà per sfrattare uno scomodo coinquilino, oltretutto cancerogeno, direzionandone il flusso all'aperto, dove la diluizione in aria ne degrada la pericolosità.

Lo stato attuale delle metodologie di risanamento supportate da tecnologie impiantistiche mature e di facile installazione, l'esistenza di valida strumentazione per la rilevazione e la diagnosi unitamente all'esperienza dei tecnici del settore, definiti Esperti in interventi di risanamento, consente oggi di identificare le vie di ingresso preferenziali, intercettare il fulcro del problema ed intervenire in maniera specifica e puntuale ritagliando la tecnica adeguata, progettata e implementata su misura.

Come lo possiamo misurare

L'unico metodo sicuro per accertare la presenza di gas radon e la relativa concentrazione è effettuare delle misurazioni tramite specifici strumenti di misura. I rivelatori in questione si distinguono per:

- modalità d'ingresso del radon al loro interno (per diffusione o mediante l'ausilio di una pompa);
- tempo di campionamento necessario per ottenere il dato di misura (istantanei, continui o a integrazione);
- necessità o meno di alimentazione elettrica per il loro funzionamento.

Nelle campagne di misurazioni radon è fondamentale definire con precisione il periodo temporale durante il quale i misuratori, una volta avviata la misura, restano posizionati nell'ambiente di interesse.

Tabella 2. Tipologia di misuratori

Misuratore	Principio di funzionamento	Tempi di campionamento possibili	Costo	Utilizzo normativo
Dispositivi digitali	Fotodiodi al silicio con elettronica associata	Visualizzazione della concentrazione media di radon in un certo intervallo di tempo (tipicamente ultimi 7 giorni e/o dall'inizio della misura)	Basso	–
Rivelatori a integrazione	Rivelatori a carbone attivo Rivelatori ad elettrete Rivelatori a tracce (o Solid-State Nuclear Track Detector SSNTD)	Misure da 1 settimana fino ad 1 anno a seconda della configurazione e del principio di funzionamento usato	Basso	Misure annue come da D. Lgs. n. 101/20 Monitoraggio ambientale per deroghe art. 65 D. Lgs. n.81/08 Leggi regionali
Rivelatori istantanei e/o continui	Camere a ionizzazione, celle a scintillazione, diodi al silicio	Misurazione in regime continuo	Medio-Alto	Monitoraggio ambientale per deroghe art. 65 D. Lgs. n.81/08 Leggi regionali

Quanto tempo occorre e perché

Le tecniche di misura del radon possono essere differenziate in funzione della finalità per cui si esegue la misura stessa. La macro-suddivisione è definita anche da esigenze normative, pertanto si distinguono:

- ***misurazioni annue***, con un periodo di misura di almeno 365 giorni di misura, e
- ***misurazioni di breve periodo***, con durata variabile da pochi giorni a qualche settimana.

Le *misurazioni annue* sono le **uniche** a cui la normativa italiana (D. Lgs. n.101/2020 e ss.mm.ii.) affida il valore di concentrazione media di radon in un dato ambiente e possono essere eseguite con uno o più periodi di campionamento fino a coprire un'intera annualità, con il fine di tener in giusto conto le fluttuazioni che la concentrazione di radon subisce in funzione delle significative variazioni giornaliere e stagionali in uno specifico edificio. Le misurazioni di concentrazione di radon sono obbligatorie in tutti i luoghi di lavoro che rientrano nell'elenco riportato all'art. 16 del D. Lgs. n.101/2020 e ss.ms.ii., mentre le modalità di campionamento degli ambienti sono declinate nell'Allegato II dello stesso decreto.

Sempre di durata annua e altrettanto obbligatorie sono le misurazioni al termine di un'attività di risanamento che abbia interessato un locale, un piano o un edificio in cui si è riscontrato il superamento del livello di riferimento di concentrazione media annua di radon, pari a 300 Bq/mc. La necessità di eseguire nuovamente tali misure al termine delle attività di risanamento è legata alla valutazione dell'efficacia del particolare intervento tecnico-gestionale che si è messo in opera, così da poter riportare i valori di radon al di sotto del livello di riferimento previsto nella normativa.

Generalmente questa tipologia di misura viene eseguita con misuratori passivi, chiamati dosimetri, la cui lettura ed estrapolazione del risultato, al termine dell'esposizione su uno o più periodi di misura, viene gestita da servizi di dosimetria riconosciuti ai sensi degli artt. 13 e 155 del D. Lgs. n.101/2020 e ss.mm.ii..

Le *misurazioni di breve periodo*, sebbene non utilizzabili dal punto di vista normativo, sono di grande utilità quando è chiamato ad intervenire un professionista esperto in misurazioni e/o in interventi di risanamento che abbia la necessità di raccogliere rispettivamente informazioni utili alla diagnosi e a indirizzare le scelte sulla tecnica di risanamento da adottare. Queste misurazioni, consentono di analizzare l'andamento della concentrazione di radon con i suoi "alti e bassi" legati a una serie di parametri strutturali dell'edificio, di utilizzo degli spazi e microclimatici. Il risultato è sostanzialmente una curva che esprime la concentrazione del radon in funzione del tempo e associa indissolubilmente questo elemento naturale al luogo in cui viene rilevato: a meno che non intervengano variazioni strutturali è possibile ritrovare la stessa curva di concentrazione uguale a se stessa a distanza di anni.

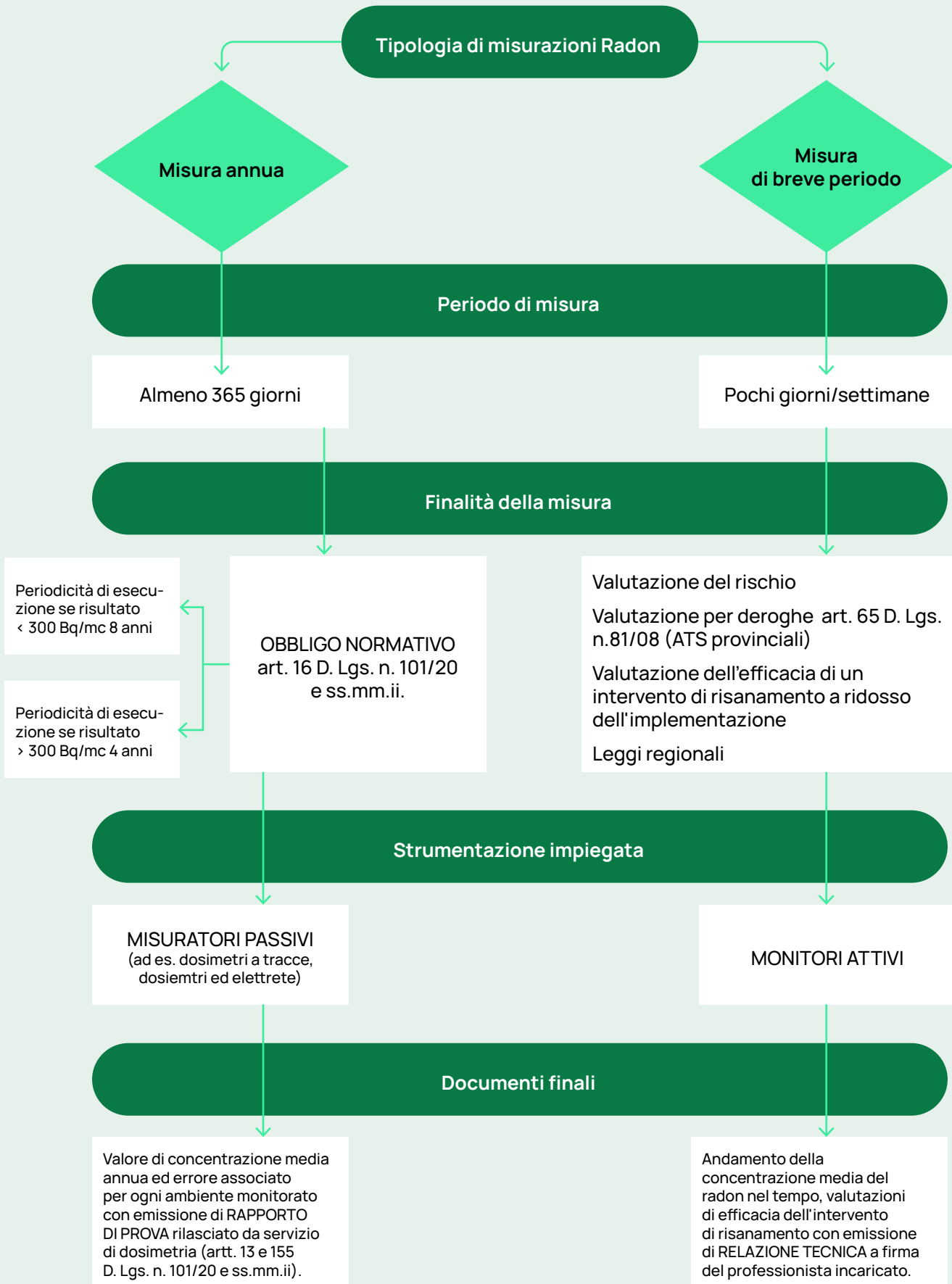
Le misure di breve periodo sono indispensabili ai fini della validazione di un intervento di risanamento in quanto lo studio dell'andamento della con-

centrazione radon nel tempo, a seguito di un'attività di risanamento, consegna immediatamente (misurazioni di giorni/settimane) un dato apprezzabile sull'efficacia di abbattimento ottenuta, senza nulla togliere all'effetto sorpresa che generalmente accompagna l'esito finale legato al risultato di misura annua svolto con misuratori passivi e necessario ad assolvere l'obbligo di controllo (art. 17 del D. Lgs. n. 101/2020 e ss.mm.ii.).

La tipologia di strumentazione che viene utilizzata nei periodi brevi di esposizione è generalmente di tipo attivo e consente di accoppiare alla misurazione della concentrazione di radon in aria anche l'acquisizione di altri parametri microclimatici. Tuttavia esistono ulteriori tecnologie di tipo passivo che possono essere impiegate per la misura di radon su periodi brevi (giorni/mesi), come ad esempio i dosimetri ad elettret.

In conclusione le misure di radon sia di breve che di lungo periodo devono essere correttamente interpretate e sono utili ai fini di una corretta valutazione del rischio radon a supporto del datore di lavoro o dell'inquilino di un'abitazione privata. La finalità in entrambe le situazioni è quella di intervenire e programmare le attività di mitigazione prevedendo, ad esempio, soluzioni gestionali da integrare provvisoriamente e in via immediata, in attesa di porre in essere le opportune attività di risanamento cui la normativa assegna due anni di tempo per la messa in opera.

Diagramma 1. Misure annue e misure di breve periodo



Come e chi può valutare se il radon trovato è tanto o poco

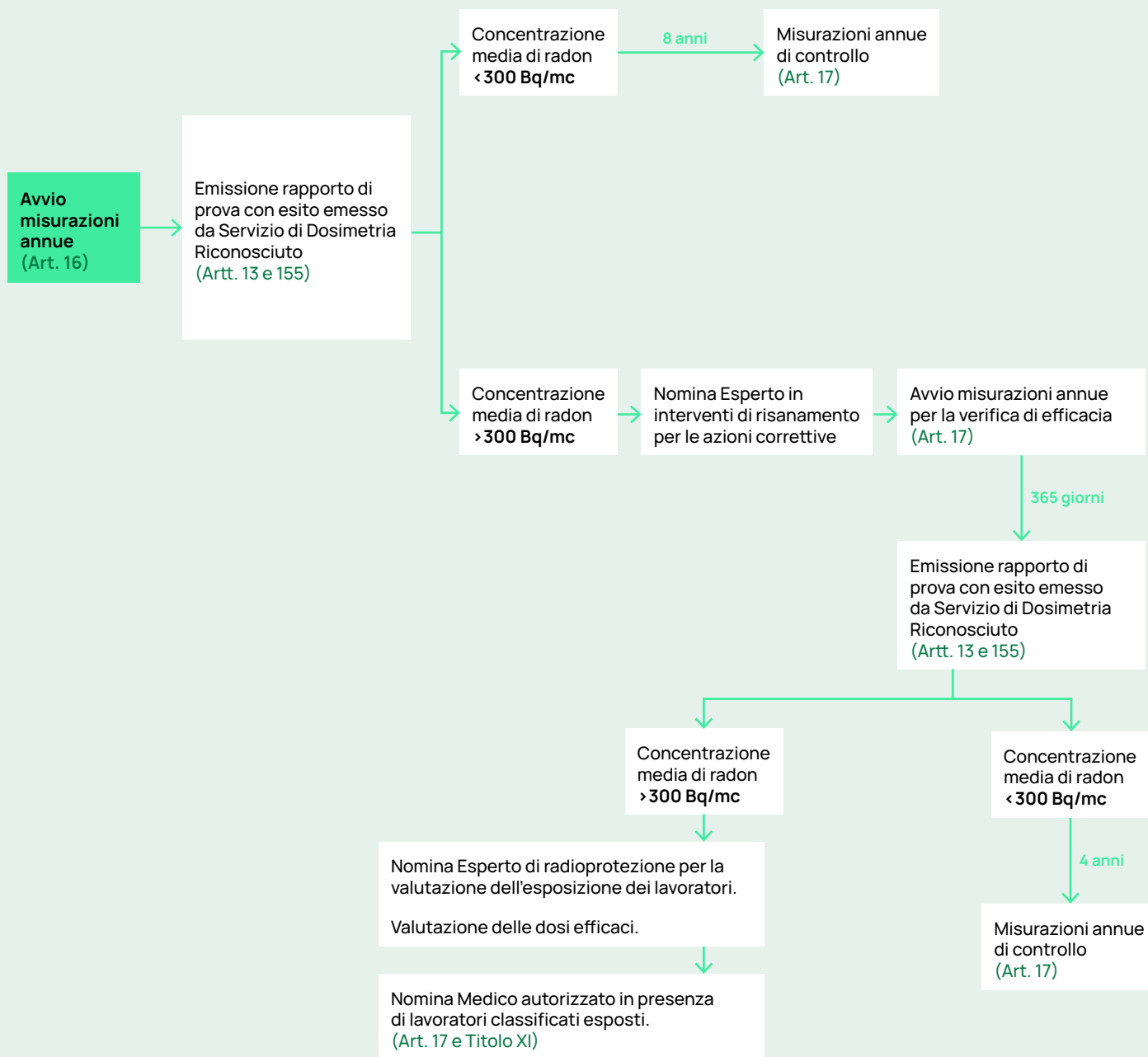
I professionisti cui la normativa italiana ha affidato il compito di gestire la complessità della problematica radon, in funzione delle proprie competenze tecnico-scientifiche, sono nell'ordine: l'Esperto in interventi di risanamento, l'Esperto di radioprotezione e il Medico autorizzato rispettivamente abilitati alla mitigazione delle concentrazioni, alla radioprotezione e alla valutazione degli effetti sulla salute degli individui esposti.

Eeguire una valutazione qualitativa a quantitativa della concentrazione di radon in un ambiente, soprattutto con misure di breve periodo, negli ultimi 20 anni è stata un'attività appannaggio degli Esperti di radioprotezione per motivi legati soprattutto alla preparazione specifica richiesta dal settore. I risultati delle misurazioni di durata annuale sono accompagnate da una documentazione tecnica, il rapporto di prova, che indica se è stato superato il livello di riferimento normativo e deve essere prodotta da un laboratorio di analisi e misure rispondente alle caratteristiche dei servizi di dosimetria riconosciuti ai sensi degli artt. 13 e 155 D. Lgs. n.101/2020 e ss.mm.ii..

Tabella 3. Caratteristiche delle figure professionali coinvolte

Figura Professionale	Competenze	Tempistica di nomina	Rif.to Normativo (D. Lgs. n. 101/20 e ss.mm.ii.)
Esperto in interventi di risanamento	Individuare le misure correttive per la riduzione della concentrazione di radon	Al termine delle prime misure annue di controllo con esito di misura superiore a 300 Bq/mc	Art. 15
Esperto di radioprotezione	Valutare l'esposizione dei lavoratori alle radiazioni ionizzanti e classificare i lavoratori esposti in base alle risultanze delle misurazioni eseguite. Individuare le zone di sicurezza. Applicare il principio di ottimizzazione.	Al termine delle misure annue post risanamento con esito di misura superiore a 300 Bq/mc	Art. 130
Medico autorizzato	Eeguire la sorveglianza sanitaria dei lavoratori esposti	A seguito delle valutazioni dell'Esperto di Radioprotezione	Art. 130

Diagramma 2. Quando, come e chi nominare ai sensi del D. Lgs. n. 101/2020 e ss.mm.ii.



Bibliografia

- [1] Istituto Superiore di Sanità – Il Radon <https://www.epicentro.iss.it/radon/>
- [2] Museo della radioattività – Sala 2 – terme (www.museodellaradioattivita.it)
- [3] Wikipedia - Radium ore Revigator
- [4] ORAU.org - Revigator
- [5] Pubblicazione INAIL Il radon in Italia: Guida per il cittadino
- [6] Decreto Legislativo n. 101/2020 e smi