



ORDINE degli
INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DELL'AQUILA



Il radon:

aspetti tecnici e normativi
per la mitigazione del rischio

CORSO DI FORMAZIONE
PER GLI ISCRITTI ALL'ORDINE



23 LUGLIO 2026
L'AQUILA

Stefania Gratisti
Esperto di Radioprotezione



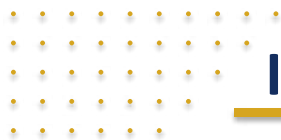
Programma del corso



-  **1. Legislazione e quadro normativo**
-  **2. Radiazioni ionizzanti e radon**
-  **3. Rischi sanitari connessi all'esposizione al radon**
-  **4. Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio**
-  **5. Radioprotezione e interventi di mitigazione**
-  **6. Casi studio e conclusioni**

Stefania Gratisti
Esperto di Radioprotezione

Dal quadro normativo alla progettazione degli interventi di mitigazione: un percorso tecnico per comprendere, valutare e gestire il rischio radon.

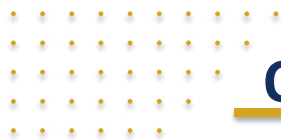


Introduzione al radon



Il **radon** è una **sorgente di radiazioni naturali**, è il figlio «nobile» dell'uranio: nasce nel materiale, migra come gas e diventa rilevante quando trova ambienti chiusi dove accumularsi.

Il radon rappresenta un pericolo per la salute con una soluzione semplice: monitorare costantemente gli ambienti ed agire efficacemente sulla prevenzione del rischio.



Obiettivo del corso



Al termine di questo corso saprete rispondere a **sei domande fondamentali**:

1. Perché il radon richiede un'attenzione normativa?
2. Che cos'è il radon?
3. Perché rappresenta un rischio per la salute?
4. Come si misura?
5. Come si interviene?
6. Che cosa ci insegnano i casi reali?

Stefania Gratisti
Esperto di Radioprotezione



01

LEGISLAZIONE E QUADRO NORMATIVO

*Riferimenti legislativi e linee guida
per la protezione dai rischi da radon*



Stefania Grattisti
Esperto di Radioprotezione

SERIE GENERALE

Anno 162° - Numero 153

GAZZETTA  UFFICIALE

DELLA REPUBBLICA ITALIANA

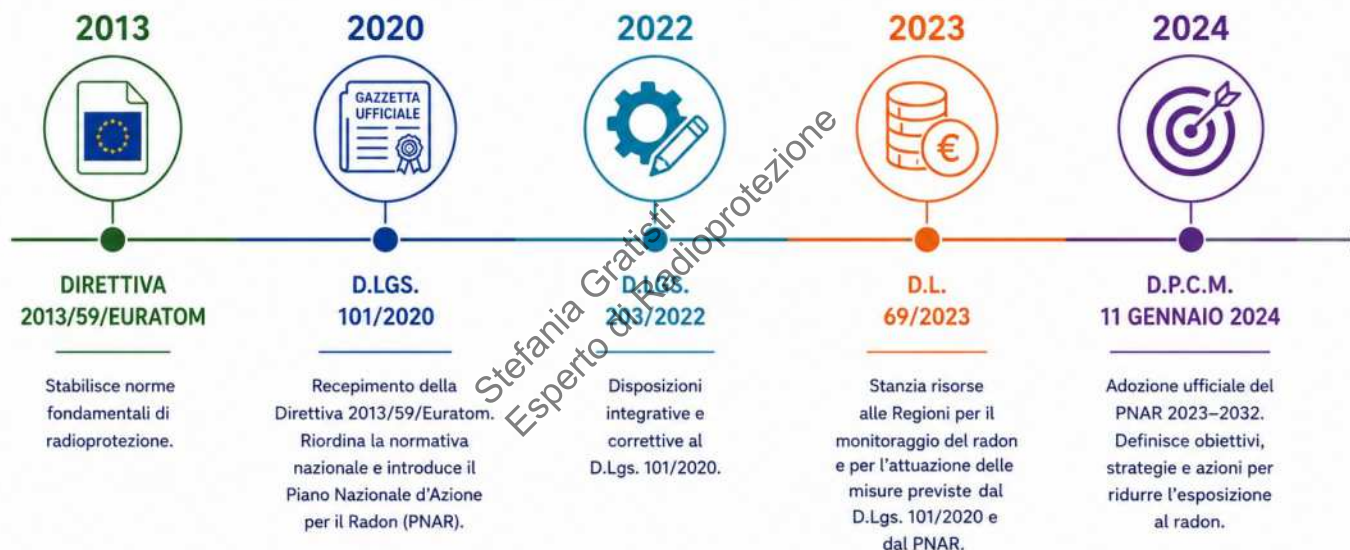
DECRETO LEGISLATIVO
31 luglio 2020, n. 101

Attuazione della direttiva 2013/59/Euratom,
che stabilisce norme fondamentali di sicurezza
relative alla protezione contro i pericoli
derivanti dall'esposizione alle radiazioni
ionizzanti.



IL PERCORSO NORMATIVO DEL RADON

Dalla Direttiva Euratom all'attuazione del Piano Nazionale d'Azione per il Radon



Dalla normativa europea alla protezione concreta di lavoratori e popolazione dall'esposizione al radon.



Legislazione e quadro normativo



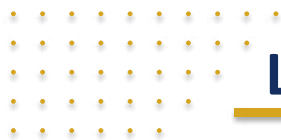
Il Decreto 101/2020 e ss.mm.ii. è composto da **245 articoli e 35 allegati**, ed è da considerarsi come il Testo Unico in materia di radioprotezione, infatti è denominato «**Decreto Radiazioni Ionizzanti**».

Ha riordinato e armonizzato la normativa di settore, assicurando il mantenimento delle misure di protezione dei lavoratori e della popolazione.

Legislazione e quadro normativo



Il Decreto è volto a minimizzare gli eventuali problemi sanitari legati al radon e ha introdotto **norme di sicurezza** fondate su oltre vent'anni di ricerca internazionale sulla radioprotezione svolta dall'Agenzia internazionale per l'energia atomica, dall'Organizzazione mondiale della sanità, dall'Organizzazione per la cooperazione e lo sviluppo economico e da altri organismi internazionali.



Legislazione e quadro normativo



Queste norme rappresentano un **significativo passo in avanti per la Radioprotezione** in diversi settori: medico, industriale, della produzione di energia e dello smaltimento dei rifiuti.

Il decreto è volto dunque a proteggere la salute non solo dei lavoratori, ma anche della popolazione in generale, dei pazienti e di altri individui garantendo un livello base di protezione uniforme.

Legislazione e quadro normativo



Il Titolo IV del decreto (Sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti) alla Sezione I artt. dal 10 al 15, ci descrive l'esposizione al gas radon nelle disposizioni generali, esplicita il **PNAR** e l'individuazione delle **aree prioritarie**, il **livello di riferimento** e la nuova figura degli Esperti in Interventi di Risanamento Radon (**EIRR**).

Il valore da ricordare è **300 Bq/m³** di concentrazione media annua di attività in aria, nonché **6 mSv** di dose efficace annua.

Legislazione e quadro normativo



LIVELLO DI RIFERIMENTO

Art. 12 – D.Lgs. 101/2020



L'art. 12 definisce il "livello di riferimento" come un valore di concentrazione di attività in aria da intendere **non come "soglia limite"**, ma come un valore al di sopra del quale **non è opportuno** che si verifichi l'esposizione e al di sotto del quale la protezione dovrebbe comunque essere attuata in funzione del **principio di ottimizzazione**.

MESSAGGIO CHIAVE



Il livello di riferimento non separa situazioni "sicure" da situazioni "pericolose".

È uno strumento per guidare l'ottimizzazione della protezione.



ABITAZIONI

300 Bq/m³

CONCENTRAZIONE MEDIA ANNUA
LIVELLO DI RIFERIMENTO



LUOGHI DI LAVORO



NON È
un limite di legge
o un valore massimo
accettabile.



È UN VALORE DI RIFERIMENTO
per il processo di ottimizzazione
della protezione.



OBIETTIVO
Mantenere l'esposizione
al livello più basso
ragionevolmente ottenibile
(ALARA).

COME SI UTILIZZA IL LIVELLO DI RIFERIMENTO



Il livello di riferimento è uno strumento previsto dal D.Lgs. 101/2020 per garantire che le esposizioni siano mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile.

Legislazione e quadro normativo



Il «**livello di riferimento**», in accordo con quanto raccomandato dall'ICRP 103 (pubblicazione dell'International Commission on Radiological Protection) rappresenta, per le situazioni di esposizione esistenti negli ambienti di vita e di lavoro, lo strumento operativo per la radioprotezione al posto del «**livello di azione**» del precedente decreto. Il valore 300 Bq/m^3 si deve applicare ai luoghi di lavoro e alle abitazioni esistenti, per le abitazioni costruite dopo il 31.12.24 si deve utilizzare il valore di 200 Bq/m^3 .

Legislazione e quadro normativo



DAL LIVELLO DI AZIONE AL LIVELLO DI RIFERIMENTO

L'evoluzione del concetto di protezione dal radon

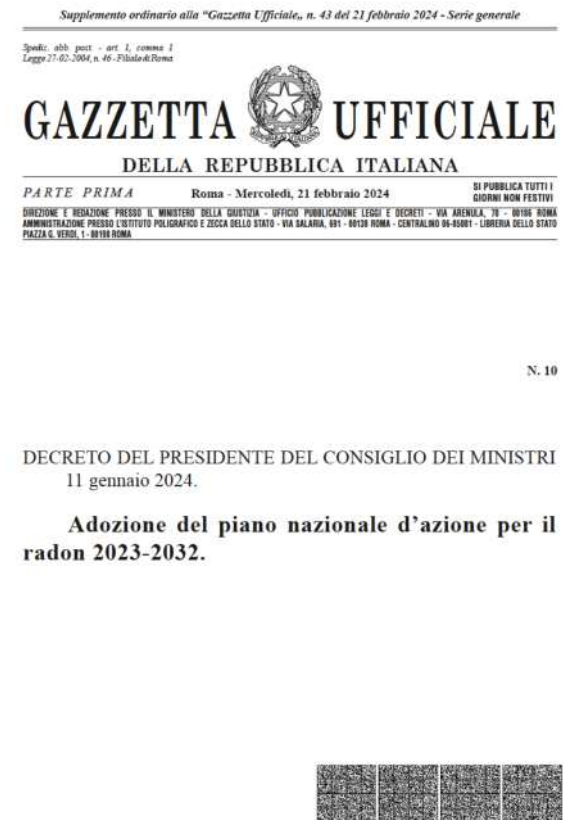


Legislazione e quadro normativo



L'attuazione del Piano Nazionale d'Azione per il Radon (D.P.C.M. 2024) è stata accompagnata da specifici finanziamenti destinati alle Regioni (D.L. 69/2023) per le attività di monitoraggio e per l'applicazione delle misure previste dal D.Lgs. 101/2020 e ss.mm.ii.

Inoltre a gennaio 2023 è andato in attuazione il D.Lgs. 203/2022 che ha corretto refusi ed incoerenze normative, con interventi di semplificazione e miglioramento del testo del 101.

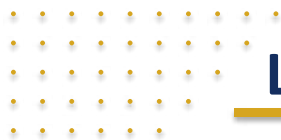


Legislazione e quadro normativo



L'adozione di un Piano Nazionale d'Azione Radon è stata un'innovazione importante perché aiuta a definire:

- ✧ specifiche attività lavorative per le quali il rischio di esposizione al lavoro deve essere oggetto di attenzione;
- ✧ strumenti metodologici necessari all'assolvimento degli obblighi previsti dalla legge;
- ✧ strumenti tecnici operativi (linee guida e procedure);
- ✧ strategie e criteri attraverso i quali le Regioni possono individuare le aree prioritarie;
- ✧ misure per rendere le politiche sul radon compatibili e coerenti con quelle sul risparmio energetico o sulla Indoor Air Quality (IAQ) e con le politiche sul fumo di tabacco.



Legislazione e quadro normativo



Il Titolo IV del decreto (Sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti) alla Sezione II artt. dal 16 al 18 entriamo nel vivo dell'esposizione nei luoghi di lavoro, considerando il campo di applicazione, gli obblighi dell'esercente e la comunicazione e trasmissione dei risultati dei monitoraggi e delle relazioni tecniche.

La Sezione III art. 19 considera per la prima volta la protezione alle esposizioni nelle abitazioni.



CAMPO DI APPLICAZIONE

Art. 16 – Esposizione al radon nei luoghi di lavoro



L'art. 16 definisce i luoghi di lavoro in cui è **obbligatoria** la valutazione del rischio radon.



IN SINTESI



L'art. 16 individua i luoghi di lavoro in cui la valutazione del rischio radon è **obbligatoria**.



Il decreto non definisce dove il radon è presente, ma dove il **rischio** deve essere valutato.



Le modalità operative, gli obblighi dell'esercente (Art. 17) e la gestione dei risultati (Art. 18) sono disciplinati negli articoli successivi.



Riferimento normativo

D.Lgs. 101/2020 – Titolo IV
Sezione II, Art. 16



OBBLIGHI DELL'ESERCENTE

Artt. 17 e 18 – D.Lgs. 101/2020



Gli obblighi specifici sono definiti dagli artt. 17 e 18 del D.Lgs. 101/2020

Responsabilità dell'esercente: garantire salute e sicurezza dei lavoratori

Legislazione e quadro normativo



I successivi Capi dal II al IV parlano dei **NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials)** e di tutti gli adempimenti relativi, delle attività che comportano esposizione alla radiazione cosmica e delle radiazioni gamma emesse dai materiali da costruzione (art. 29).

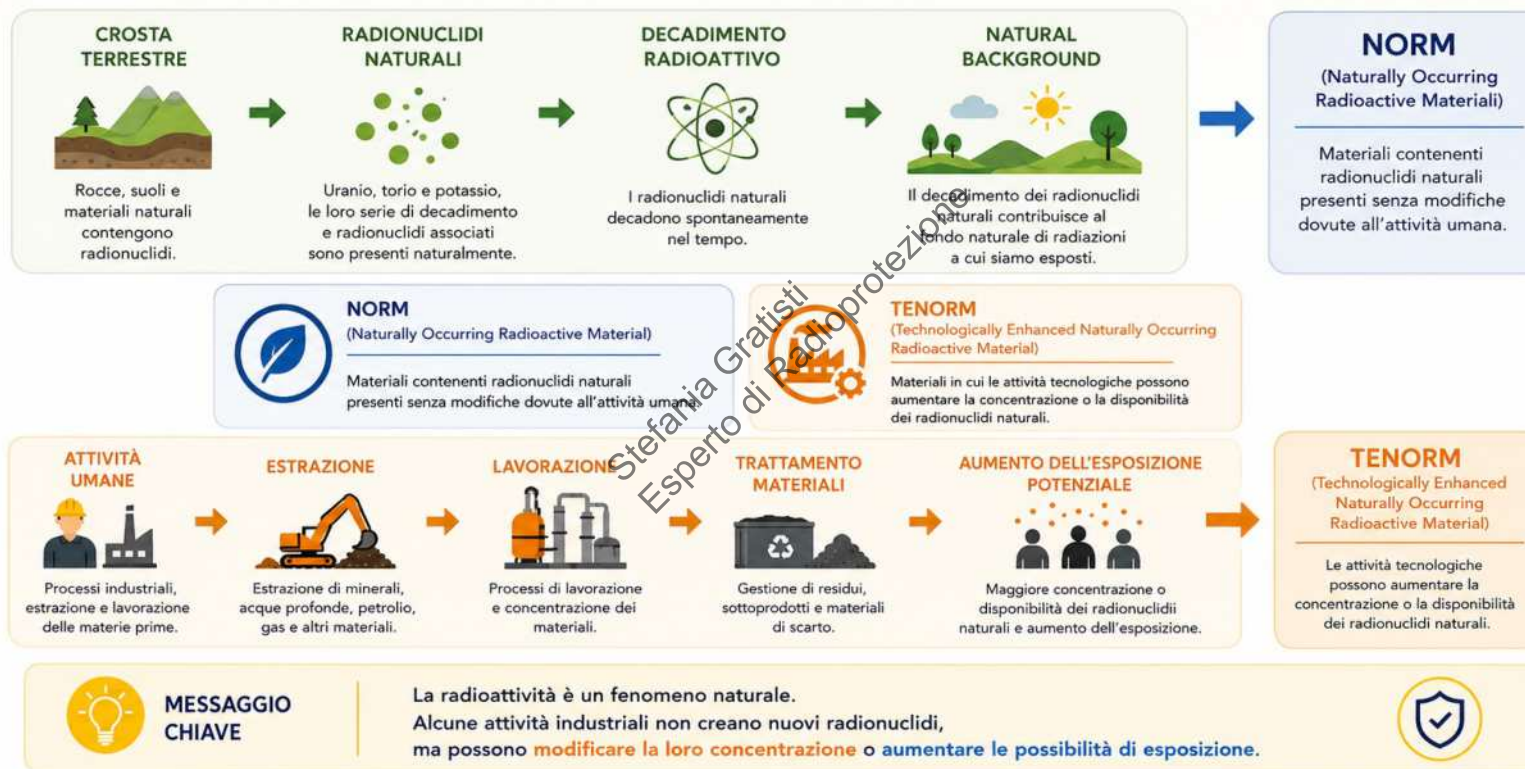
Infatti la presenza di minerali radioattivi nelle materie prime lavorate in vari tipi di impianti produttivi e settori industriali, quali ad esempio i cementifici e le fonderie, implica nuove misure di prevenzione e protezione del rischio da radiazioni ionizzanti.

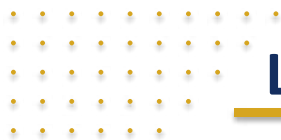
Legislazione e quadro normativo



DALLA RADIOATTIVITÀ NATURALE AI NORM E TENORM

Come le attività umane possono modificare l'esposizione ai radionuclidi naturali





Legislazione e quadro normativo



I NORM sono presenti nelle rocce e nel suolo, ciò significa che la maggior parte dei materiali naturali sono leggermente radioattivi. Sono ovunque: nel nostro corpo, nel cibo, nel terreno, nei materiali da costruzione, in vari prodotti, ecc.

Alcune pratiche industriali (ad esempio l'industria del petrolio/gas, la fusione di minerali metallici, l'estrazione mineraria, ecc.) che coinvolgono risorse naturali concentrano questi radionuclidi a un livello tale da poter rappresentare un rischio per l'uomo e l'ambiente se non vengono controllati, in quel caso si parla di TENORM ossia NORM tecnologicamente avanzati.

Legislazione e quadro normativo



IL RADON E I MATERIALI DA COSTRUZIONE

I materiali contengono quantità diverse di Ra-226 e possono contribuire alla concentrazione di radon negli edifici.

COSA È IMPORTANTE SAPERE



I **materiali** contengono quantità diverse di **Ra-226**, in base alla loro origine geologica.



Il **radon** può essere rilasciato anche dai materiali da costruzione.



Il **contributo** dipende dal tipo di materiale e dalle caratteristiche dell'edificio.

ATTIVITÀ DI Ra-226 NEI MATERIALI*		(Bq/kg)	
MATERIALE DA COSTRUZIONE		MEDIA	MIN – MAX
PIETRA SIENITE		317	239 – 384
TUFO		209	136 – 316
PIETRA PEPERINO		159	109 – 256
GRANITO		89	24 – 378
CEMENTO		42	7 – 98
PORFIDO		41	25 – 51
LATERIZI		29	0 – 67
CALCESTRUZZO		22	21 – 23
SABBIA		18	0 – 24
GHIAIA		15	11 – 21
CALCE		9	7 – 15
GESSO		8	0 – 16
MARMO		4	1 – 13
TRAVERTINO		1	0 – 2



MESSAGGIO CHIAVE

Nella maggior parte degli edifici la principale sorgente di radon è il **terreno**, ma alcuni materiali da costruzione possono **contribuire** alla concentrazione indoor.

Legislazione e quadro normativo



La regione Abruzzo ha approvato con la Delibera della Giunta Regionale (D.G.R. n. 552 del 14 settembre 2020) le «Linee guida per orientare i regolamenti edilizi in chiave ecosostenibile», che dedicano uno specifico capitolo al rischio radon e introducono criteri progettuali per la prevenzione e la mitigazione negli edifici.

La regione Abruzzo è stata una tra le prime regioni ad introdurre questo approccio. L'idea è quella della prevenzione: il radon viene considerato già nella progettazione dell'edificio, non solo come problema da risolvere dopo la costruzione.

Legislazione e quadro normativo



IL RADON IN ITALIA

Distribuzione del potenziale geogenico



La mappa rappresenta il potenziale geogenico del radon, ovvero la probabilità che il terreno possa favorire elevate concentrazioni di radon negli edifici.

Non indica la concentrazione reale negli ambienti indoor.



La distribuzione è influenzata dalla geologia del territorio.



Aree con simile potenziale possono avere concentrazioni diverse negli edifici.



La concentrazione di radon negli edifici può essere determinata solo mediante misure dirette.



La geologia influenza il potenziale di rilascio del radon, **ma la concentrazione negli edifici può essere determinata solo mediante misure dirette.**

Fonte: MASE – Piano Nazionale d'Azione per il Radon (PNAR)

Legislazione e quadro normativo



Il mio obiettivo oggi non è farvi ricordare tutti gli articoli del D.Lgs. 101/2020 e ss.mm.ii. e del resto della normativa, ma è darvi gli strumenti per sapere dove cercare e come interpretare correttamente le disposizioni quando vi serviranno nella pratica professionale.

I decreti si consultano, non si imparano necessariamente a memoria!



02

RADIAZIONI IONIZZANTI E RADON

Origine, proprietà
e comportamento del radon



Radiazioni ionizzanti e radon



La **radioattività** è la proprietà dei nuclei di alcuni elementi fisici di disintegrarsi spontaneamente emettendo radiazioni ionizzanti.

Secondo l'art. 7 comma 111 del D.Lgs.101/20 le radiazioni ionizzanti sono particelle o onde elettromagnetiche pari a una lunghezza d'onda non superiore a 100 nanometri o con frequenza non inferiore a $3 \cdot 10^{15}$ Hz, in grado di produrre ioni direttamente o indirettamente interagendo con la materia.

Radiazioni ionizzanti e radon



LA SCOPERTA DELLA RADIOATTIVITÀ

Le tappe fondamentali che hanno aperto la strada alla radioprotezione



1. UNA SCOPERTA PER TAPPE

1895



RÖNTGEN

Scopre i raggi X osservando la fluorescenza di uno schermo al platino-cianuro di bario. Nascono i raggi X.

1896



BECQUEREL

Scopre che alcuni sali di uranio emettono spontaneamente radiazioni in grado di impressionare lastre fotografiche. Nasce il termine **radioattività**.

1898



CURIE

Marie e Pierre Curie isolano due nuovi elementi molto più radioattivi dell'uranio, **polonio** e **radio**. Coniano il termine "radioattività".

1900



MISURE E CARATTERIZZAZIONE

Si studiano le proprietà delle radiazioni (emissione spontanea, penetrazione, effetto sulla materia) e si inizia a misurare con strumenti dedicati.

1903



RICONOSCIMENTO

Premio Nobel per la Fisica a Becquerel e ai coniugi Curie per le loro scoperte sulla radioattività.



2. COSA ABBIAMO SCOPERTO?



La radioattività è un fenomeno naturale di alcuni elementi.



Gli elementi radioattivi emettono radiazioni invisibili ad alta energia.



Le radiazioni possono ionizzare la materia e attraversarla con diversa capacità.



Queste scoperte hanno aperto la strada a molte applicazioni ma anche alla necessità di **proteggere** l'uomo.

I PROTAGONISTI



W. RÖNTGEN

1845 – 1923

Scopre i raggi X.



H. BECQUEREL

1852 – 1908

Scopre la **radioattività** nei sali di uranio.



M. E. P. CURIE

1867 – 1934 / 1859 – 1906

Isolano **polonio** e **radio** e approfondiscono lo studio della radioattività.



Dalla scoperta della radioattività nasce una nuova scienza e, con essa, **la consapevolezza della necessità di proteggere la salute dell'uomo.**



Radiazioni ionizzanti e radon



Le radiazioni elettromagnetiche sono rappresentate da **energia che si propaga**, la componente elettrica interagisce con la materia e da questa viene assorbita.

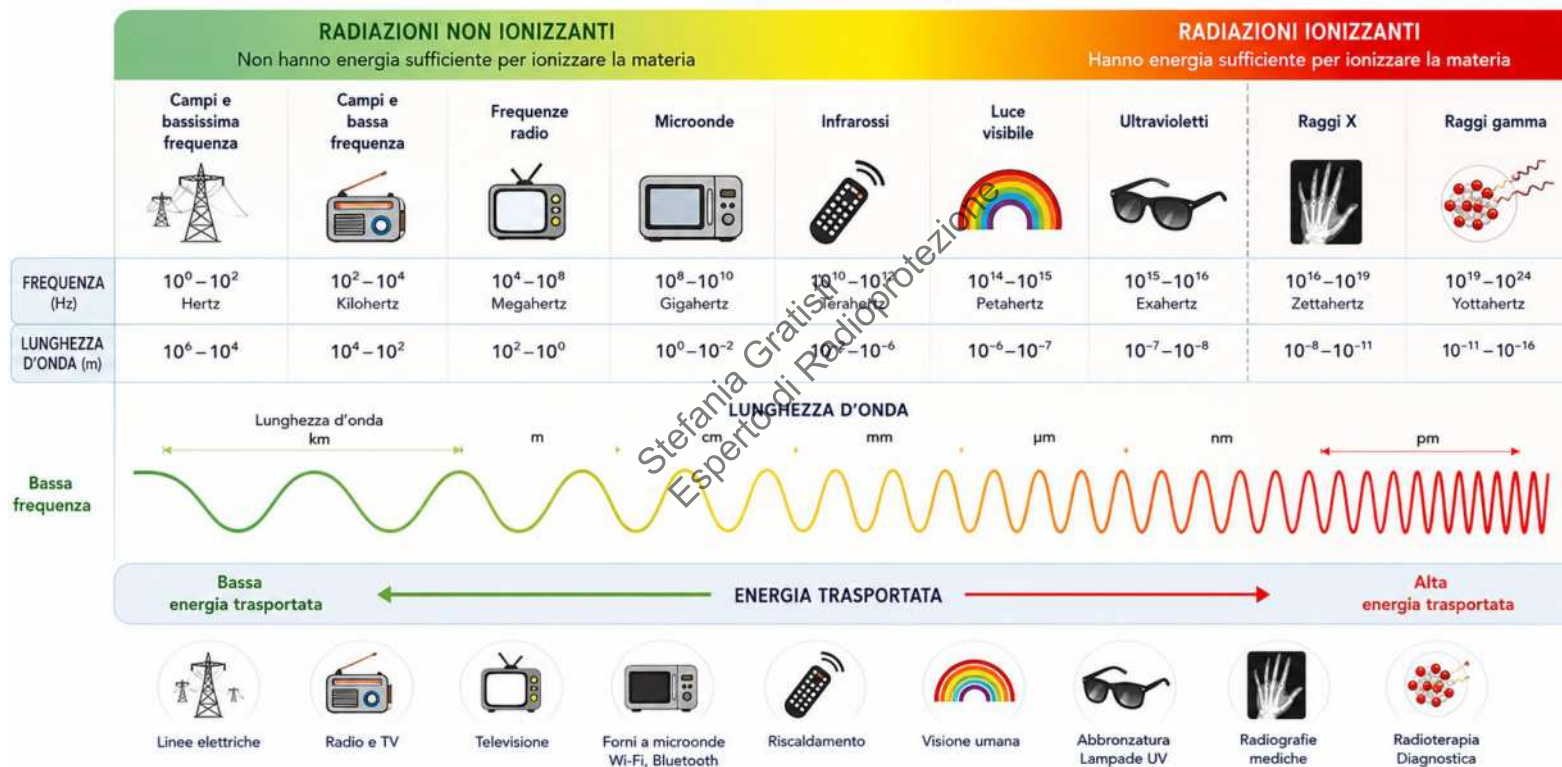
Esistono differenti tipi di radiazioni elettromagnetiche che nel loro insieme danno origine allo spettro elettromagnetico, si parla di radiazioni non ionizzanti e di radiazioni ionizzanti, vediamole nella seguente slide.

Radiazioni ionizzanti e radon



LE RADIAZIONI NON IONIZZANTI E IONIZZANTI

Uno spettro di energia



Radiazioni ionizzanti e radon



Le radiazioni quindi possono trasferire energia da una sorgente ad un mezzo assorbente. L'energia proveniente da una fonte di calore può essere assorbita dalla materia (in particolare dalla materia biologica) e aumentarne la temperatura.

Il corpo umano è in grado di rilevare livelli dannosi di calore (percepisce addirittura variazioni di T molto piccole, anche di 0,2°C) grazie ad una fitta rete di recettori termici nella pelle e in altri tessuti, ma NON riesce a rilevare l'energia assorbita dalle radiazioni ionizzanti, nemmeno in quantità letali, quindi attenzione!

Radiazioni ionizzanti e radon



La radioattività è normalmente presente ovunque, nelle rocce, nell'acqua, nei minerali, nei gas. La cosiddetta radioattività ambientale, indicata generalmente come **radiazione di fondo**, è composta dal contributo naturale e da quello artificiale, oltreché dai raggi cosmici. Sono quattro le principali vie di ingresso di radon all'interno degli edifici:

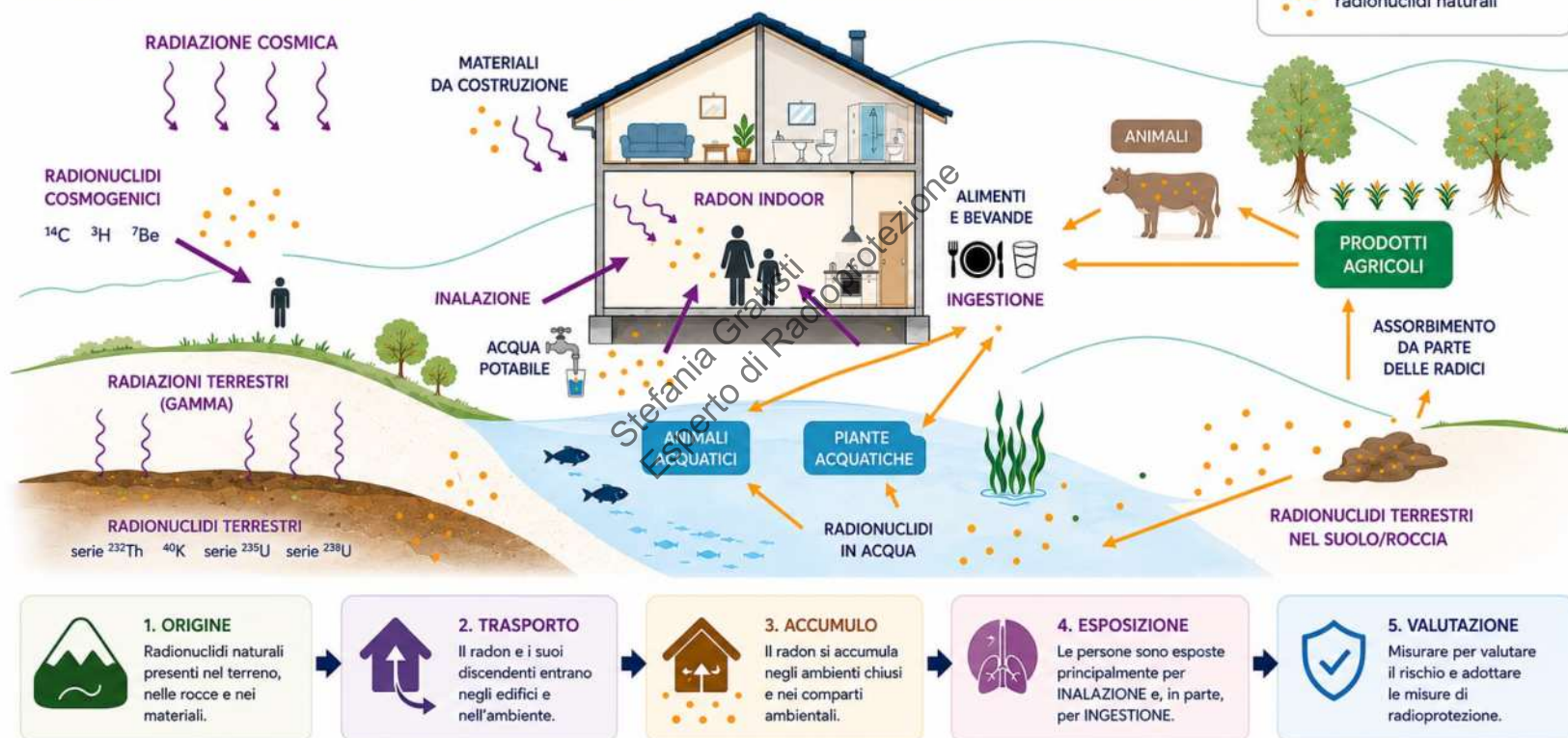
- Direttamente dal **suolo** dove è prodotto;
- Attraverso dei radon-carriers come l'**acqua** e il **gas naturale**;
- Indirettamente da materiali della crosta terrestre non più incorporati in essa ma nelle strutture dell'edificio come i **materiali da costruzione**;
- Dall'ambiente **outdoor**, dove il radon esiste in concentrazioni genericamente molto basse, i.e. $0.1-10 \text{ Bqm}^{-3}$.

Radiazioni ionizzanti e radon



LE RADIAZIONI NATURALI E IL RADON

Origini, vie di trasporto e vie di esposizione



Radiazioni ionizzanti e radon



Le **radiazioni ionizzanti** si chiamano così perché hanno energia sufficiente a ionizzare la materia e possono causare reazioni chimico-fisiche sugli atomi che incontrano, producendo effetti biologici a vari livelli, con azione diretta o indiretta sulle molecole sensibili.



Ionizzare significa strappare uno o più elettroni dalla loro orbita intorno al nucleo: l'atomo non è più neutro ma diviene carico positivamente (ione +). Il comportamento chimico-fisico dello ione è differente da quello di un atomo neutro e questo altera la materia (es. cellula) di cui lo ione fa parte.



INTERAZIONE DELLE RADIAZIONI CON LA MATERIA

Le radiazioni cedono energia alla materia attraverso eccitazione e ionizzazione.

I PRINCIPALI TIPI DI RADIAZIONI



FOTONI (γ , X)

Interazione indiretta

- Effetto fotoelettrico
- Diffusione Compton
- Produzione di coppie
(solo ad alte energie)



Cedono energia agli elettroni, che producono la ionizzazione.



PARTICELLE CARICHE (α , β , p, ioni)

Interazione diretta

- Interazioni coulombiane
- Ionizzazione
- Eccitazione



Depositano energia lungo tutta la loro traiettoria.



NEUTRONI (n)

Interazione nucleare

- Urti elastici
- Urti anelastici
- Reazioni nucleari



Trasferiscono energia ai nuclei atomici.

PERCHÉ ANCHE UNA PICCOLA ENERGIA PUÒ PRODURRE DANNI BIOLOGICI



Un uomo di 70 kg è costituito da circa

$$7 \times 10^{27}$$

atomi.

Se assorbe 1 joule di energia da radiazioni ionizzanti, l'energia media corrisponde a

$$\frac{1 \text{ J}}{7 \times 10^{27} \text{ atomi}} = 1,4 \times 10^{-28} \text{ J/atomo}$$

(energia media)



L'energia non viene distribuita uniformemente a tutti gli atomi, ma si deposita lungo le tracce delle radiazioni attraverso milioni di interazioni microscopiche.



Gli effetti biologici delle radiazioni derivano dalla deposizione localizzata dell'energia su scala atomica e molecolare.

Radiazioni ionizzanti e radon



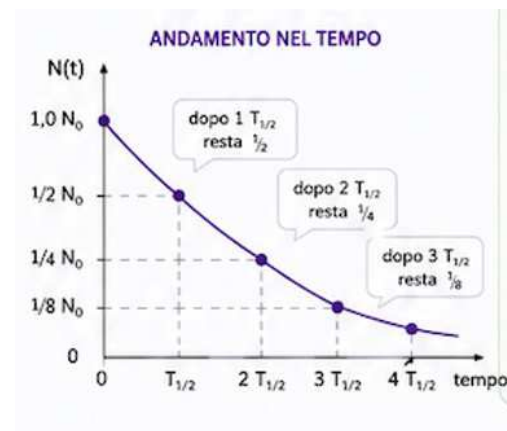
Il numero di nuclei radioattivi diminuisce nel tempo secondo una legge esponenziale.

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$N(t)$ = nuclei non decaduti al tempo t

N_0 = nuclei iniziali

λ = costante di decadimento (s^{-1})



Il tempo di dimezzamento effettivo dipende da quello fisico ma anche da quello biologico, secondo questa relazione:

RELAZIONE FONDAMENTALE

$$\frac{1}{T_{\text{eff}}} = \frac{1}{T_{\text{fis}}} + \frac{1}{T_{\text{bio}}}$$

Ne segue che:

$$T_{\text{eff}} < T_{\text{fis}} \quad \text{e} \quad T_{\text{eff}} < T_{\text{bio}}$$



TEMPO DI DIMEZZAMENTO BIOLOGICO



Il **tempo di dimezzamento biologico** è la stima del tempo di permanenza del radionuclide nel corpo umano.



ESEMPI



Il **Cesio-137** ha un tempo di dimezzamento di 30 anni e un tempo di dimezzamento biologico di circa **70 giorni**: abbandona l'organismo avendo rilasciato solo una piccola parte delle sue radiazioni.



Lo **Iodio-131** ha un tempo di dimezzamento di soli 8 giorni, ma un tempo di dimezzamento biologico dell'ordine dei **100 giorni**: se viene assorbito (ad es. con gli alimenti), ha una capacità molto maggiore di rilasciare le sue radiazioni prima di abbandonare il corpo.



Il **Radon-222** ha un tempo di dimezzamento fisico di 3,82 giorni. Viene eliminato molto rapidamente con la respirazione; l'eliminazione biologica avviene in tempi dell'ordine di **minuti-ore** e non ha un valore di riferimento nella radioprotezione.

TEMPI DI DIMEZZAMENTO FISICI E BIOLOGICI DI ALCUNI RADIONUCLIDI

RADIONUCLIDE	TEMPO DI DIMEZZAMENTO FISICO	TEMPO DI DIMEZZAMENTO BIOLOGICO
RADON-222 (Rn-222)	3,82 giorni	Eliminazione rapida (minuti-ore)
CESIO-137 (Cs-137)	30 anni	circa 70 giorni
CESIO-134 (Cs-134)	2 anni	circa 70 giorni
IODIO-131 (I-131)	8,1 giorni	circa 138 giorni

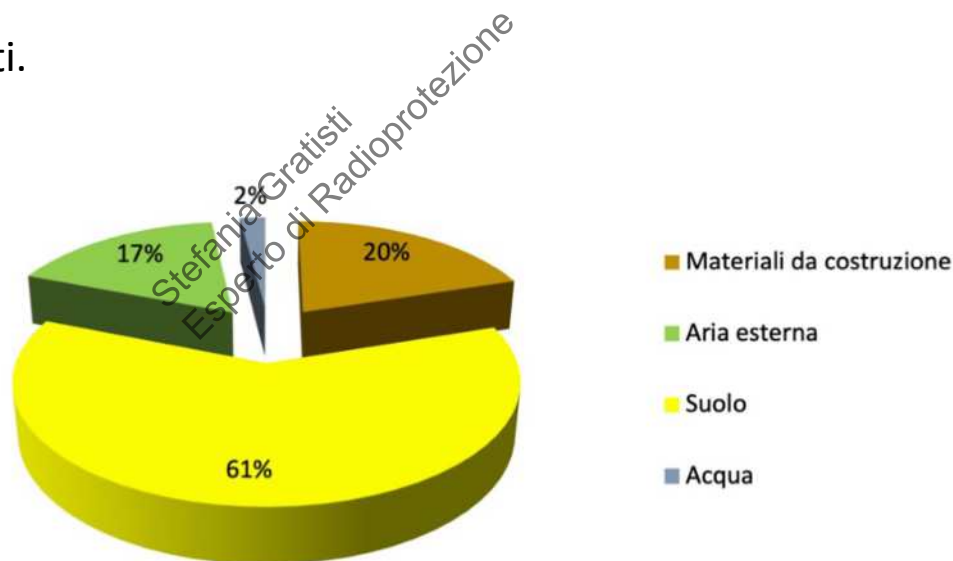


Il tempo di dimezzamento biologico dipende dal comportamento del radionuclide nell'organismo: **più è lungo, maggiore è la dose** che l'organismo può assorbire prima di eliminarlo.

Radiazioni ionizzanti e radon



La radioattività naturale determina il maggior contributo all'esposizione della popolazione mondiale. La media annua per ogni persona è intorno ai $2 \div 3$ mSv. Il mSv è una grandezza che descrive il rischio e ci permette di valutare la dose alla quale si è esposti.



Radiazioni ionizzanti e radon

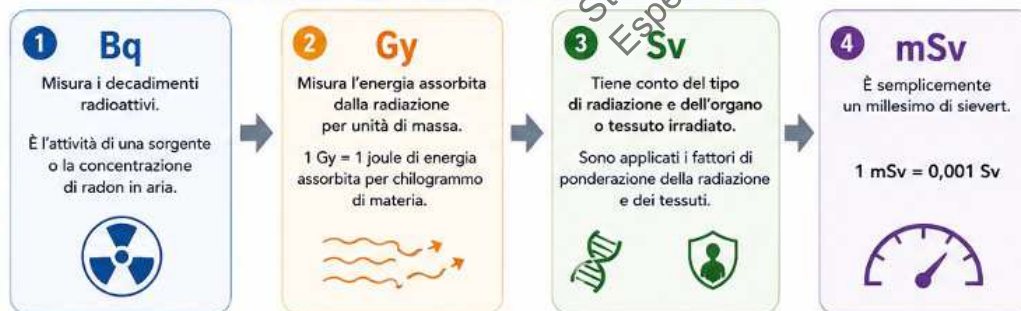


COSA RAPPRESENTA UN MILLISIEVERT (mSv)?

Non misura la radioattività, ma il possibile effetto biologico sull'uomo.



IL PERCORSO: DALLA RADIOATTIVITÀ ALLA DOSE EFFICACE



CHE COS'È IL mSv?

Il **millisievert (mSv)** è l'unità di misura della **dose efficace**, che stima il rischio di effetti dannosi per la salute a seguito di esposizione a radiazioni ionizzanti.

- Tiene conto del **tipo di radiazione** (es. alfa, beta, gamma).
- Tiene conto della sensibilità dei diversi **organi e tessuti**.
- Permette di **confrontare rischi diversi** su una base comune.
- È lo strumento utilizzato per definire **limiti di esposizione** e azioni di radioprotezione.

ESEMPI DI DOSE EFFICACE

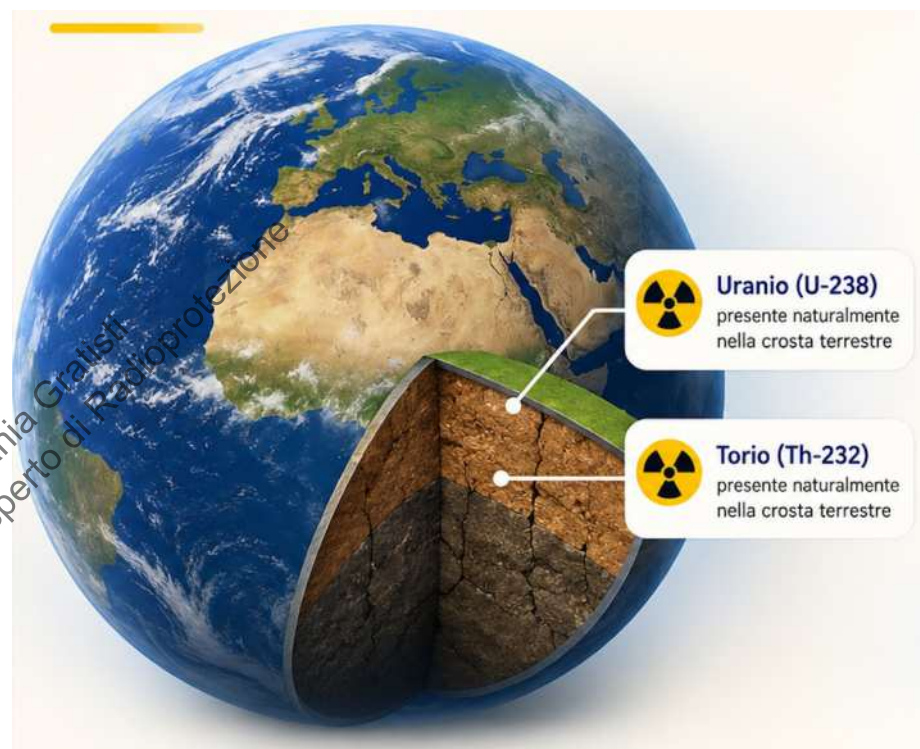
	Fondo naturale in Italia (radon incluso)	2 – 3 mSv/anno
	Volo aereo Roma-New York (andata e ritorno)	0,08 – 0,12 mSv
	Radiografia del torace	0,1 mSv
	TC addome	6 – 10 mSv

I valori possono variare in base alla tecnologia e ai protocolli utilizzati.

Radiazioni ionizzanti e radon



Gli elementi radioattivi naturali, come uranio e torio, sono presenti sulla Terra sin dalla sua formazione. Essendo distribuiti, in concentrazioni variabili, nella crosta terrestre, generano radionuclidi gassosi come **radon** e thoron, naturalmente presenti nei suoli e nelle rocce.



Radiazioni ionizzanti e radon



RADON

Un gas radioattivo naturale

86
Rn
Radon
(222)



CARATTERISTICHE PRINCIPALI



GAS NOBILE

Chimicamente inerte: non reagisce, non si combina e non viene trattenuto dalle superfici.



ORIGINE NATURALE

Deriva dal decadimento dell'uranio presente nelle rocce e nel suolo.



INCOLORE, INODORE, INSAPORE

Non è percepibile dai sensi.



ELEVATA MOBILITÀ

Si diffonde facilmente in aria grazie al moto browniano e può accumularsi negli ambienti chiusi e poco ventilati.



TEMPO DI DIMEZZAMENTO FISICO

3,82 giorni.



MISURABILE IN Bq/m³

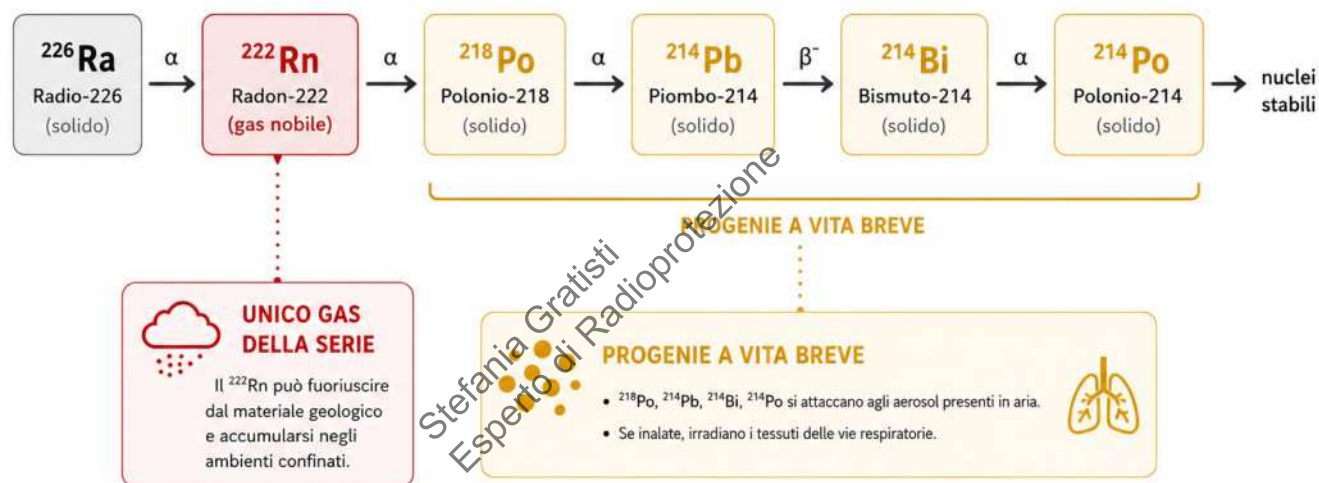
La misura è indispensabile per valutare la concentrazione e il rischio.

Radiazioni ionizzanti e radon



CATENA DI DECADIMENTO DELL'URANIO-238

Focus sulla porzione rilevante per il rischio da inalazione



MESSAGGIO CHIAVE

Il rischio radiologico da radon non dipende solo dalla concentrazione di ^{222}Rn , ma soprattutto dalle sue progenie a vita breve e dal fattore di equilibrio (F).



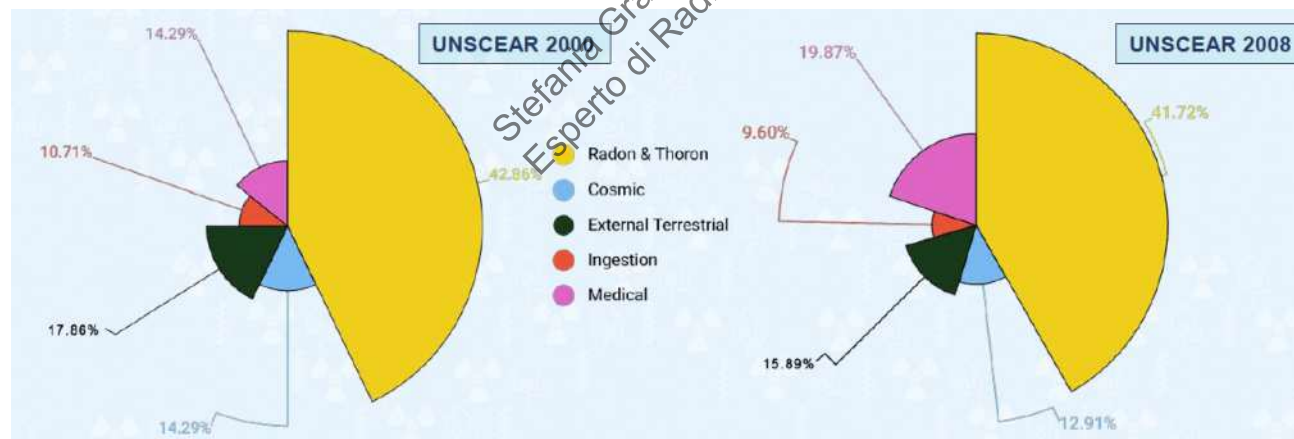
Legenda: Radionuclide solido (sorgente) Radionuclide gassoso Progenie a vita breve (principali responsabili della dose) α = decadimento alfa β^- = decadimento beta meno

Radiazioni ionizzanti e radon



Il radon (il thoron in percentuale minore) e i suoi prodotti di decadimento forniscono il contributo più rilevante alla dose che gli individui ricevono dalle sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti.

La diffusione ubiquitaria del radon fa sì che l'esposizione possa avvenire in qualunque ambiente interno. Il report UNSCEAR del 2008 riporta una dose efficace dovuta all'inalazione di radon e thoron di, rispettivamente, 1.15 e 0.1 mSv y⁻¹



Radiazioni ionizzanti e radon



CONFRONTO TRA RADON E THORON

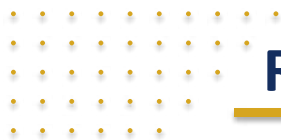
Caratteristiche dei principali isotopi rilevanti per l'esposizione indoor

ASPETTO	RADON (^{238}U)	THORON (^{232}Th)
 DECADIMENTO	 3,8 giorni	 55,6 secondi
 ORIGINE	 ^{238}U	 ^{232}Th
 COMPONENTI DI PAEC/EEC (progenie a vita breve)	 ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi (^{214}Po)	 ^{212}Pb , ^{212}Bi (^{212}Po)
 ENERGIE ALFA SIGNIFICATIVE	 • 5 MeV (^{218}Po) • 7,7 MeV (^{214}Po)	 • 6,1 MeV (^{212}Bi) • 8,8 MeV (^{212}Po)
 FATTORI DI EQUILIBRIO INDOOR	 0,4 (tipicamente) 0,2 – 0,6	 nessuno



Il **radon**, con una vita media più lunga, può accumularsi negli ambienti chiusi.
Il **thoron**, a vita molto breve, richiede sorgenti vicine e ricambio d'aria ridotto per raggiungere concentrazioni significative.





Radiazioni ionizzanti e radon



La concentrazione media di gas radon in aria rappresenta solo il punto di partenza.

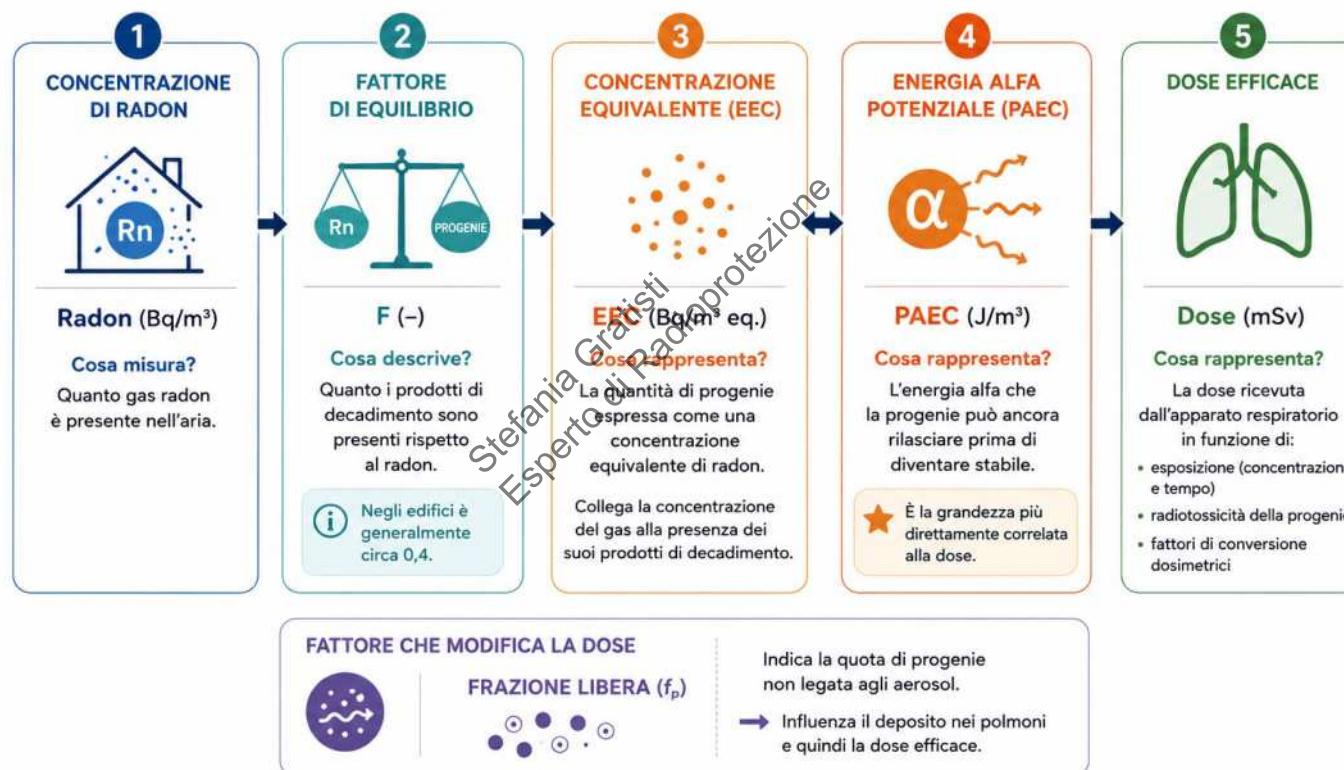
Una corretta valutazione richiede la conoscenza delle grandezze fisiche che ne descrivono il comportamento e delle variabili ambientali che ne influenzano la presenza negli edifici.

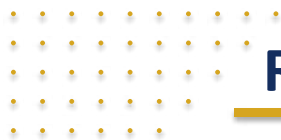
Vediamo quali sono le grandezze e come possiamo agire per una stima efficace del rischio.



LE GRANDEZZE CHE DESCRIVONO IL RADON

Dalla misura della concentrazione alla stima della dose





Radiazioni ionizzanti e radon

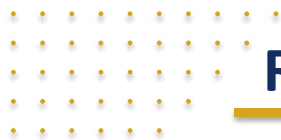


La concentrazione di radon in aria da sola quindi non descrive completamente il rischio radiologico.

Il contributo dosimetrico principale deriva infatti dai prodotti di decadimento del radon, che una volta inalati possono depositarsi nelle vie respiratorie.

Alcuni parametri radioprotezionistici possono diventare importanti, come l'energia alfa potenzialmente emessa dai prodotti di decadimento del radon presenti in un volume d'aria (**PAEC**), la concentrazione equivalente all'equilibrio (**EEC**), il fattore di equilibrio (**F**) e la frazione di progenie libera (**f_p**).

Nelle mie stime della dose efficace annua dei lavoratori ho utilizzato in maniera cautelativa il fattore di equilibrio.



Radiazioni ionizzanti e radon



Il legame tra concentrazione di radon, progenie e dose efficace dipende infatti dal **fattore di equilibrio F**, fortemente influenzato da ventilazione, aerosol, umidità e deposizione sulle superfici. Il valore di F in equilibrio secolare è pari ad 1.

In ambienti reali, per via di ventilazione e deposizione dei figli sulle superfici, F ha un valore tra 0,2 e 0,8, e spesso si assume $F \approx 0,4$ in situazioni indoor tipiche (in caso di miniere e cunicoli si utilizza il valore 0,2).

Quando misuriamo il radon ad esempio in un seminterrato, il valore di concentrazione va sempre 'pesato' con il fattore di equilibrio, poiché il danno sanitario viene dalla progenie del radon e non dal genitore.

Radiazioni ionizzanti e radon

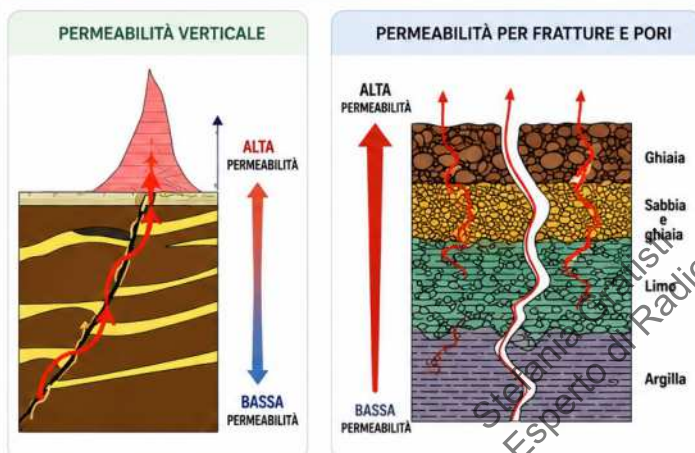




PERMEABILITÀ DEI TERRENI E MIGRAZIONE DEL RADON

Il radon risale dal sottosuolo e migra attraverso i materiali porosi e permeabili

EFFETTO DELLA PERMEABILITÀ SULL'EMANAZIONE DI RADON



Il radon tende a muoversi dalle zone a maggiore pressione verso l'atmosfera attraverso percorsi a maggiore permeabilità (fratture, pori, cavità).

TIPI DI TERRENI E PERMEABILITÀ RELATIVA

TERRENO	DESCRIZIONE	PERMEABILITÀ RELATIVA
	Ghiaia, ghiaia grossolana	MOLTO ALTA ↑↑↑↑↑
	Sabbia grossolana	ALTA ↑↑↑↑↑
	Sabbia fine, sabbia limosa	MEDIA ↑↑↑↑
	Limo	BASSA ↑↑
	Argilla, argilla compatta	MOLTO BASSA ↑



PERCHÉ È IMPORTANTE?

La permeabilità del terreno è il fattore chiave che controlla l'emanazione del radon dal sottosuolo e la sua migrazione verso gli ambienti superficiali e ipogei (es. catacombe, gallerie, cunicoli).



IN SINTESI

Più un terreno è permeabile, più il radon può risalire e accumularsi.

Radiazioni ionizzanti e radon



I gas endogeni, tra cui anidride carbonica (CO_2), idrogeno solforato (H_2S), metano (CH_4) e radon (Rn-222), possono **risalire in superficie** per diverse cause, tra cui:



PRESENZA DI SISTEMI DI FAGLIE O FRATTURE

Le fratture nelle rocce costituiscono vie preferenziali di risalita dei gas.



SCAVI E PERFORAZIONI DI POZZI

Possono creare collegamenti diretti tra profondità e superficie.

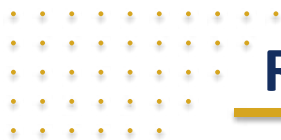


POROSITÀ DELLE ROCCE, COME LAVA E TUFO

Le rocce porose permettono la migrazione e l'accumulo dei gas.



Il fenomeno può variare nello spazio e nel tempo:
infatti i terremoti possono produrre l'apertura di nuove fratture e la circolazione di acqua termale può sigillarne altre.



Radiazioni ionizzanti e radon



Il trasporto convettivo avviene quando il radon viene trascinato da un **moto d'aria** o da un flusso di gas nel mezzo poroso o nella cavità.

Negli ambienti sotterranei il motore principale è spesso un **gradiente di pressione**, che può essere legato a **ventilazione naturale**, **effetto camino** o **pumping barometrico**.

In questo caso il trasporto è più rapido della sola diffusione e può generare zone con concentrazioni molto diverse nello stesso ambiente.

Radiazioni ionizzanti e radon



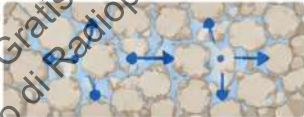
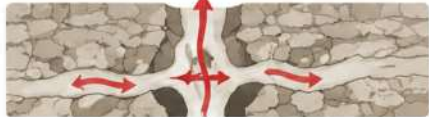
 TRASPORTO DIFFUSIVO	
 PARAMETRI PRINCIPALI	D_0, D, D_e, R, C_{Rn}
 EQUAZIONE (GENERALE)	$J_{Rn}^d = -D_0 \frac{\tau^2}{\epsilon} \nabla C_{Rn}$ Legge di Fick
i DOVE: • D_0 è il coefficiente di diffusione del radon in aria libera, $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. • D è il coefficiente di diffusione di «bulk» del radon nel mezzo poroso ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$). • D_e è il coefficiente di diffusione efficace del radon nel mezzo poroso ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$). • R è la lunghezza di diffusione del radon nel mezzo poroso (m). • C_{Rn} è la concentrazione di radon (Bq m^{-3}). • ϵ è la porosità del mezzo poroso (#). • τ è la tortuosità del mezzo poroso (#).	

 TRASPORTO CONVETTIVO	
 PARAMETRI PRINCIPALI	K, P
 EQUAZIONE (GENERALE)	$J_{Rn}^d = -C_{Rn} \frac{1}{\mu} \frac{K}{\epsilon} \nabla P$ Legge di Darcy
i DOVE: • K è la permeabilità del mezzo poroso (m^2). • C_{Rn} è la concentrazione di radon (Bq m^{-3}). • P è la pressione assoluta (Pa). • ϵ è la porosità del mezzo poroso (#). • τ è la tortuosità del mezzo poroso (#). • μ è la viscosità dinamica del fluido <i>carrier</i> (Pa s).	

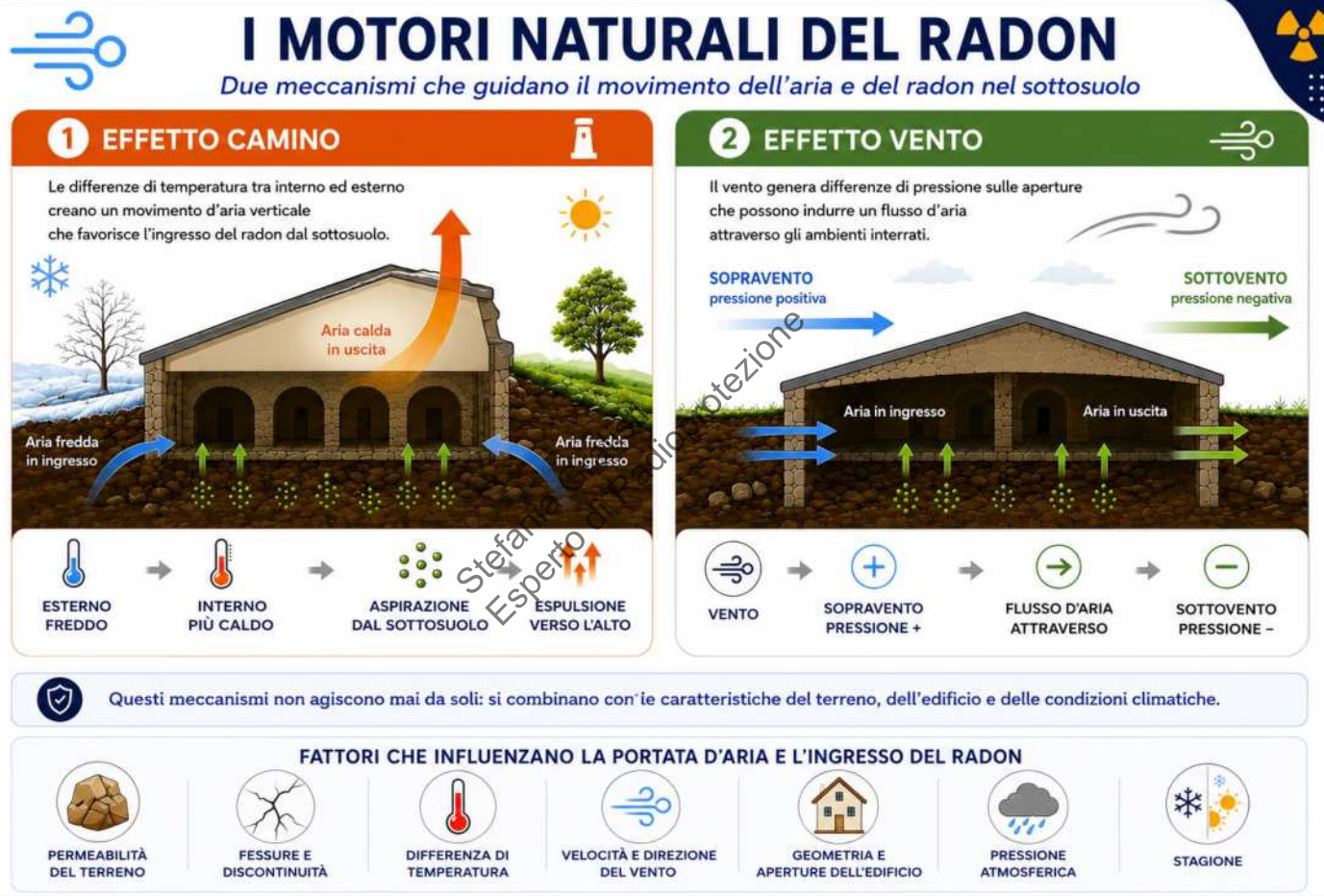
Radiazioni ionizzanti e radon



Il trasporto di radon può avvenire per **diffusione**, quando il gradiente di concentrazione è il fattore dominante oppure per **convezione/avvezione**, quando contano soprattutto differenze di pressione, ventilazione naturale ed effetto camino. In molte realtà il comportamento reale è **misto**: il radon entra dal materiale, migra lungo pori e fratture, e si accumula dove la ventilazione è scarsa.

	 DIFFUSIONE	 CONVEZIONE
 MECCANISMO	Trasporto molecolare del radon attraverso i pori del materiale 	Trasporto del radon per movimento d'aria attraverso fratture, cavità e vie preferenziali 
 MEZZO PREVALENTE	Pori fini, materiali poco fratturati	Fratture, cavità, vie preferenziali
 MOTORE FISICO	Gradiente di concentrazione	Gradiente di pressione / ventilazione
 VELOCITÀ DI TRASPORTO	LENTA 	PIÙ RAPIDA 
 RUOLO DELL'UMIDITÀ	Può ridurre la diffusione efficace	Può modificare i moti d'aria e la circolazione
 AMBIENTE TIPICO	Mezzi compatti o poco ventilati	Ipogei con effetto camino o ventilazione naturale
 EFFETTO SUL RISCHIO	Accumulo graduale e più uniforme 	Accumuli localizzati e più variabili 

Radiazioni ionizzanti e radon

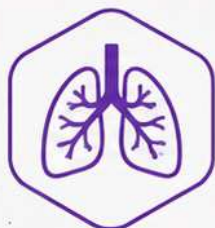




03

RISCHI SANITARI CONNESSI ALL'ESPOSIZIONE AL RADON

*Effetti sulla salute
e stima del rischio*



Stefania Grattisti
Esperto di Radioprotezione



Rischi sanitari connessi all'esposizione al radon

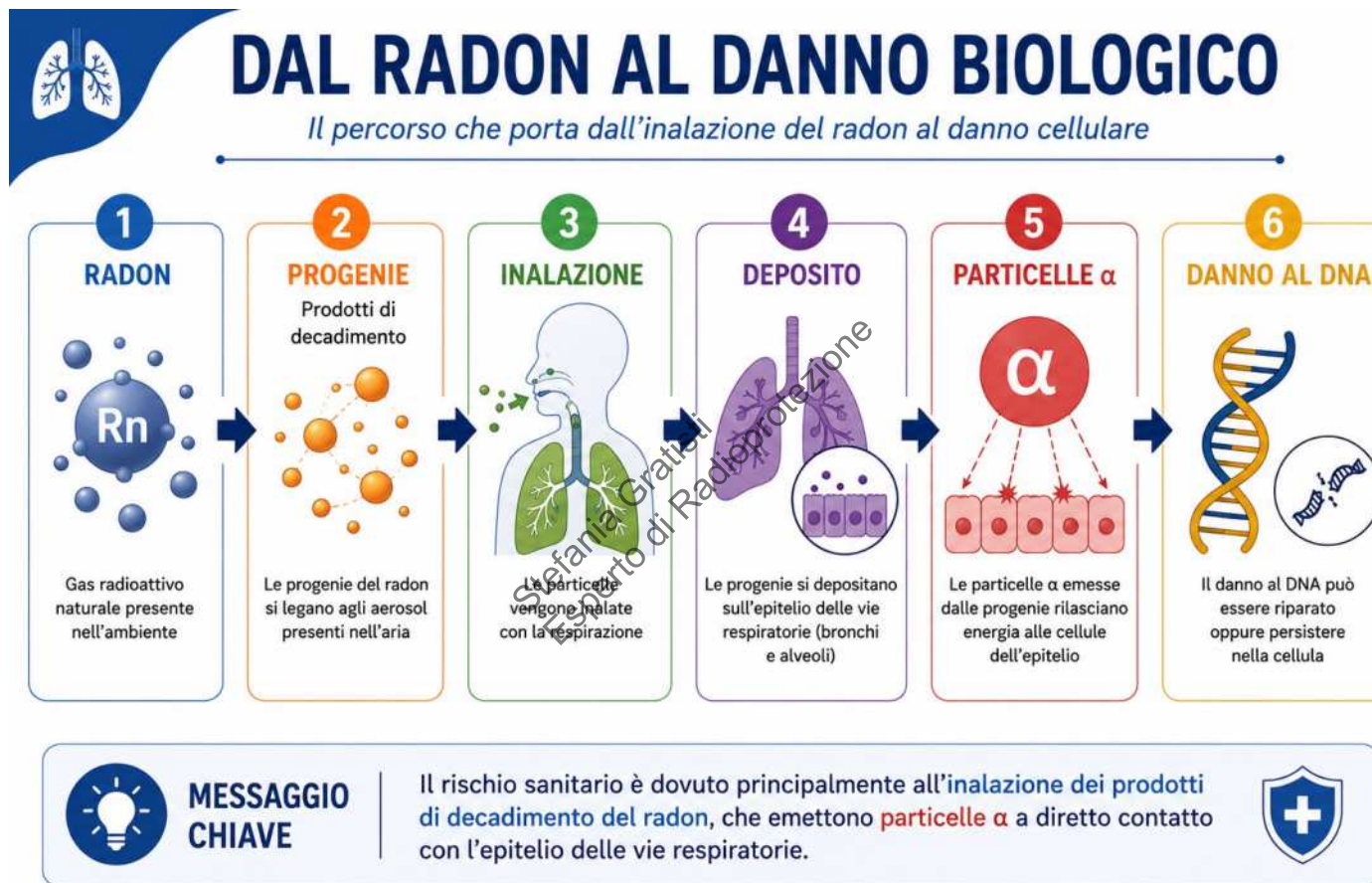


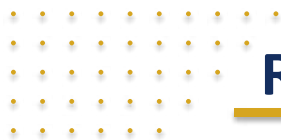
Come abbiamo visto, quando la radiazione elettromagnetica incontra la materia, la sua energia viene trasmessa ed assorbita. La penetrazione nella materia biologica provoca effetti termici e fisico-chimici a vari livelli.

La **ionizzazione** delle cellule infatti può portare a cambiamenti molecolari e alla formazione di sostanze chimiche che possono danneggiare i cromosomi e portare a modificazioni nella struttura e nella funzione della cellula (effetti biologici).

Le radiazioni non hanno una specificità di azione ma colpiscono in maniera casuale qualsiasi bersaglio cellulare, gli effetti dipendono dalla differente radiosensibilità dei tessuti.

Rischi sanitari connessi all'esposizione al radon





Rischi sanitari connessi all'esposizione al radon



Il processo complessivo di trasmissione delle radiazioni ionizzanti nel mezzo biologico avviene in QUATTRO FASI:

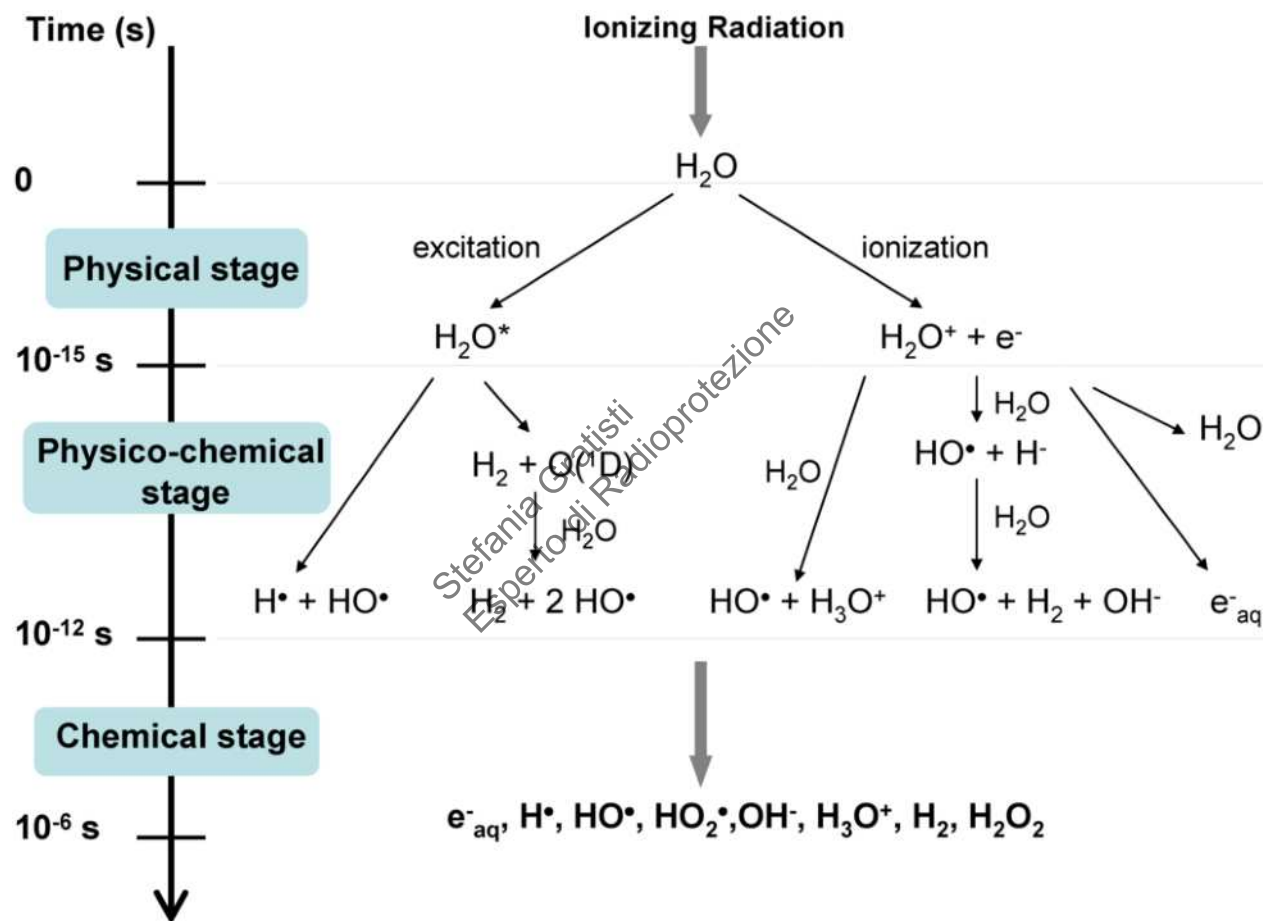
Fase fisica: dura solo una frazione estremamente piccola di secondo (circa 10^{-16}). L'energia delle radiazioni si deposita nell'acqua della cellula e provoca la ionizzazione.

Fase fisico-chimica: dura circa 10^{-6} secondi. Gli ioni interagiscono con altre molecole d'acqua dando origine a una serie di nuovi prodotti.

Fase chimica: dura pochi secondi, i prodotti della reazione della fase precedente interagiscono con le molecole nella cellula. I radicali liberi e gli agenti ossidanti attaccano le molecole complesse che formano i cromosomi.

Fase biologica: può variare da 10 minuti a 10 anni a seconda dei sintomi. I cambiamenti chimici possono influenzare la cellula in diversi modi.

Rischi sanitari connessi all'esposizione al radon

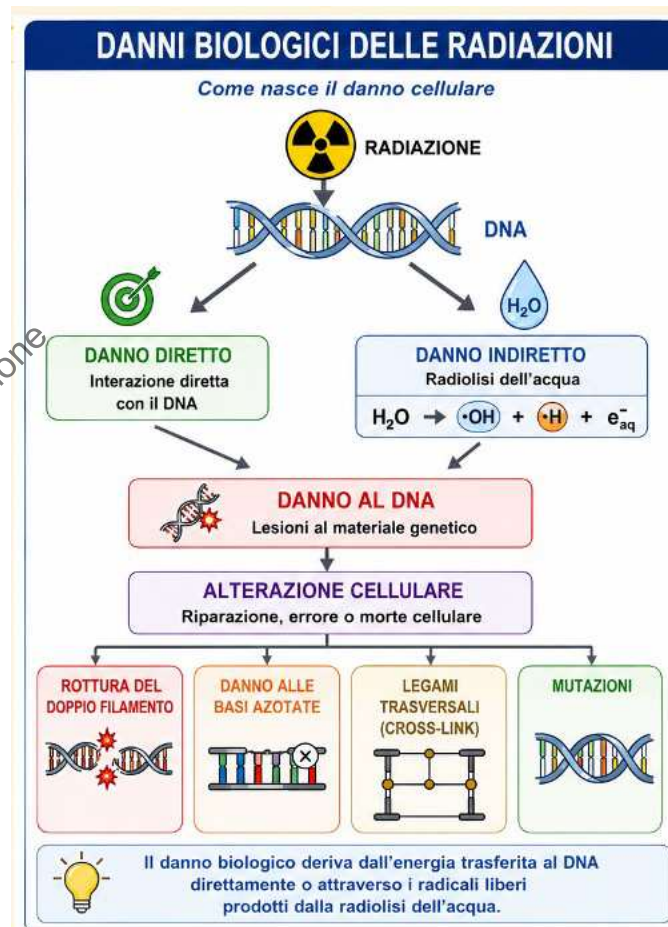


Rischi sanitari connessi all'esposizione al radon



Si ritiene che la formazione di radicali liberi, in particolare lo ione ossidrile $\text{OH}^\bullet$, e del perossido di idrogeno H_2O_2 , sia la causa più importante delle lesioni da radiazioni ionizzanti, anche più importante rispetto all'azione diretta sul DNA.

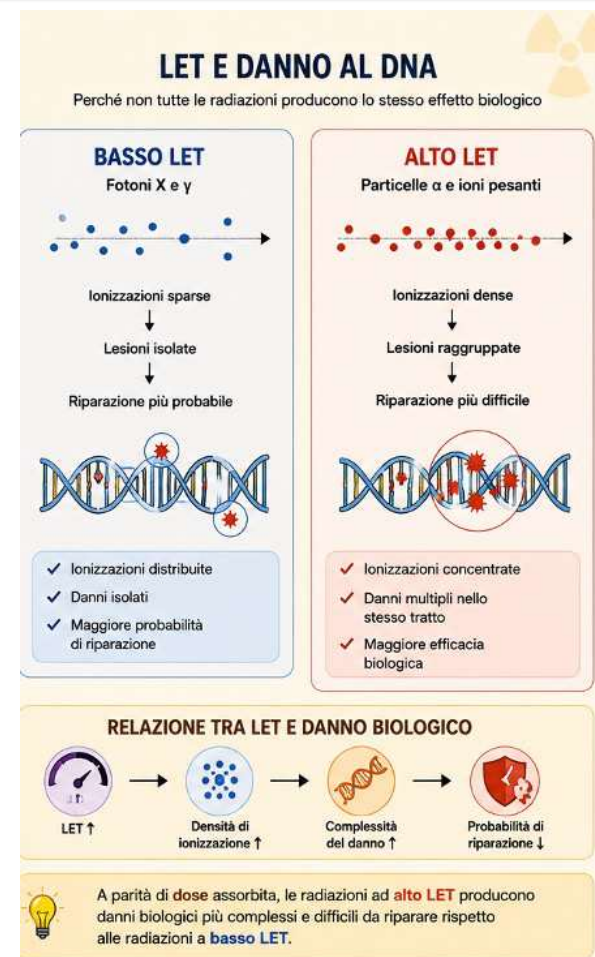
Il **DNA** rappresenta comunque il bersaglio più **sensibile** in quanto struttura complessa con maggiore difficoltà a riparare il danno.



Rischi sanitari connessi all'esposizione al radon



Il danneggiamento del DNA cresce con il LET (Linear Energy Transfer, che indica il rateo di energia trasferita) della radiazione incidente: bassi LET (fotoni X o gamma) producono poche tracce di ionizzazione per unità di percorso; alti LET (particelle cariche) producono un gran numero di tracce ed un conseguente maggior danneggiamento.



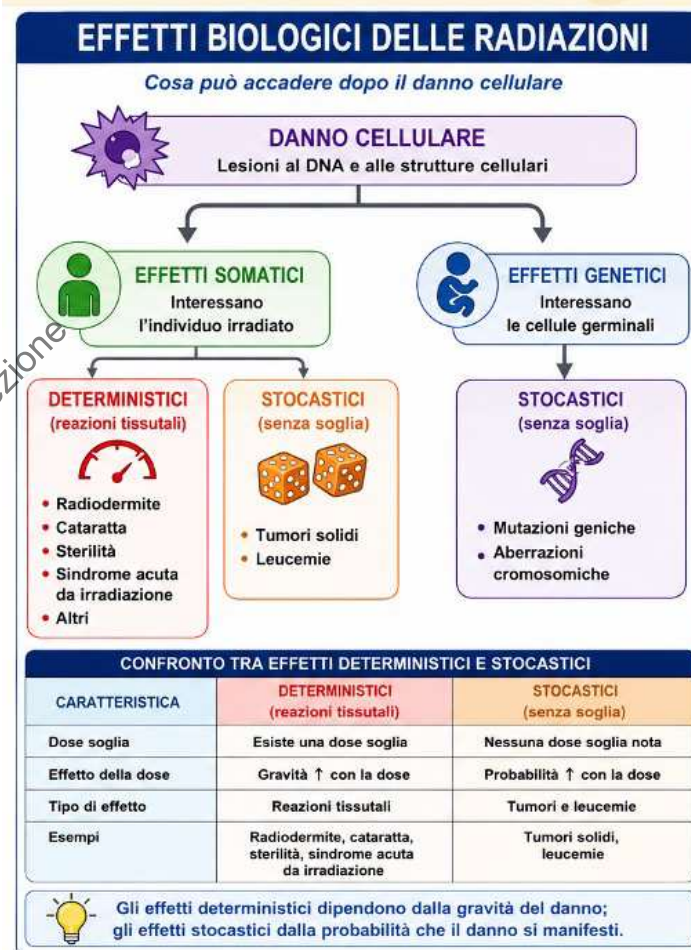
Rischi sanitari connessi all'esposizione al radon



I potenziali effetti biologici e i danni causati dalle radiazioni dipendono dalle condizioni di esposizione alle radiazioni.

Sono determinati da:

- Qualità della radiazione;
- Quantità di radiazioni;
- Dose ricevuta di radiazioni;
- Condizioni di esposizione (distribuzione spaziale).



Rischi sanitari connessi all'esposizione al radon



EFFETTI DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

Due modalità diverse con cui le radiazioni possono provocare effetti sulla salute

EFFETTI DETERMINISTICI (o TISSUTALI)

Dipendono dalla dose



Esiste una **soglia di dose**: al di sotto della soglia non si manifesta l'effetto.



Una volta superata la soglia, con l'aumentare della dose aumenta la gravità dell'effetto.



Esempi tipici

- Eritema cutaneo
- Cataratta
- Necrosi tissutale
- Effetti a carico del midollo osseo



Si manifestano generalmente a **dosi elevate**, in esposizioni acute o in brevi periodi di tempo.



Soglia



Relazione dose-risposta



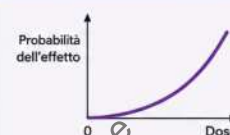
Esempi



Comparsa

EFFETTI STOCASTICI

Dipendono dalla probabilità



Il modello adottato dalla radioprotezione internazionale (LNT) assume che **anche basse dosi** possano comportare un **incremento della probabilità** di effetto. (Non è riconosciuta una soglia.)



Con l'aumentare della dose (a qualsiasi livello) **aumenta la probabilità** che l'effetto si manifesti.



Esempi tipici

- Tumori (es. polmone, leucemie)
- Effetti ereditari
- Possibili mutazioni genetiche



Possono manifestarsi **anche a basse dosi**, dopo lunghi periodi di latenza (anni o decenni).

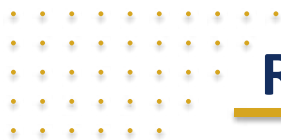


L'ORMESI DA RADIAZIONI è un'ipotesi secondo cui dosi molto basse potrebbero attivare meccanismi di riparazione cellulare con effetti neutri o benefici. Alcuni studi lo suggeriscono, altri non lo confermano. Ad oggi non esiste un consenso scientifico sufficiente e **non modifica le raccomandazioni di radioprotezione**.



L'ESPOSIZIONE AL RADON È ASSOCIATA A EFFETTI STOCASTICI, IN PARTICOLARE ALL'AUMENTO DEL RISCHIO DI TUMORE POLMONARE.





Rischi sanitari connessi all'esposizione al radon



I prodotti di decadimento del radon possono essere veicolati dal fumo di tabacco, fino a giungere a contatto con l'epitelio bronchiale. Le stesse foglie di tabacco contengono radioisotopi come Pb e Po, presenti nel suolo in concentrazioni variabili, spesso incrementate dall'uso intensivo di alcuni tipi di fertilizzanti.

La maggiore vulnerabilità al radon da parte dei fumatori è di tipo biologico: il danno da radon al DNA può essere riparato, ma questa capacità di riparazione viene indebolita nei fumatori a causa della costante esposizione al fumo di tabacco.

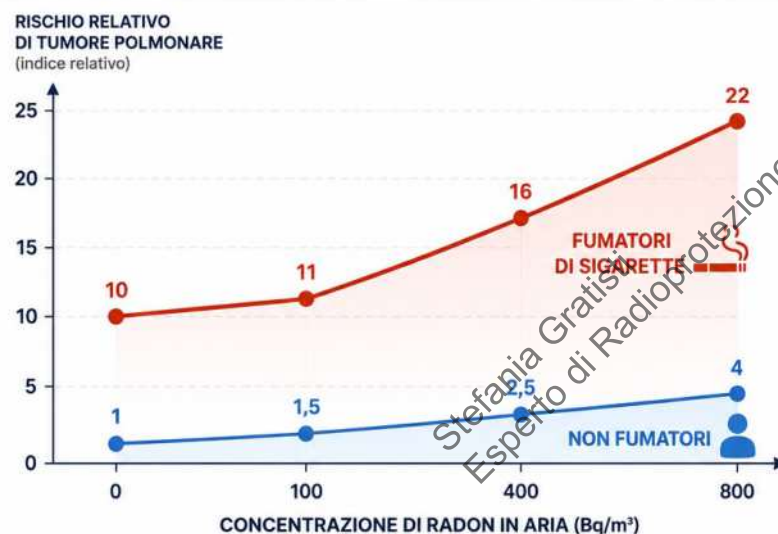
Gli effetti biologici di tale interazione, in soggetti esposti al radon e fumatori, incrementano di circa 25 volte.

Rischi sanitari connessi all'esposizione al radon



RADON E FUMO: UN EFFETTO SINERGICO

Il fumo di sigaretta amplifica il rischio di tumore polmonare associato all'esposizione al radon



NON FUMATORI

Il rischio di tumore polmonare aumenta con l'aumentare della concentrazione di radon, ma rimane relativamente basso.



FUMATORI

Il rischio è già elevato anche a basse concentrazioni di radon e aumenta ulteriormente con l'esposizione.



RADON + FUMO

Radon e fumo agiscono in sinergia: il rischio complessivo è molto superiore alla somma dei due fattori presi singolarmente.

Schema qualitativo ispirato ai dati epidemiologici di BEIR VI (U.S. National Research Council), ICRP e WHO - Handbook on Indoor Radon.



LA RIDUZIONE DEL FUMO E LA MITIGAZIONE DEL RADON SONO INTERVENTI COMPLEMENTARI PER RIDURRE IL RISCHIO DI TUMORE POLMONARE.



Rischi sanitari connessi all'esposizione al radon



COSA DICONO GLI STUDI EPIDEMIOLOGICI?

Decenni di ricerche in tutto il mondo, coerenti e concordi.

NEI MINATORI



I primi studi, già dagli anni '50, hanno evidenziato un aumento del rischio di tumore polmonare negli esposti al radon.

NELLE ABITAZIONI



Ampi studi condotti in diverse abitazioni hanno confermato l'associazione anche alle concentrazioni tipiche degli edifici.

EVIDENZE INTERNAZIONALI



Decine di migliaia di persone studiate in diversi Paesi, con differenti livelli di esposizione e abitudini di fumo.



EVIDENZA SCIENTIFICA CONCORDE



L'AUMENTO DELLA CONCENTRAZIONE DI RADON È ASSOCIATO A UN AUMENTO DEL RISCHIO DI TUMORE POLMONARE.



Nella popolazione generale il radon è la **seconda causa** di tumore polmonare, dopo il fumo di sigaretta. Nei non fumatori rappresenta la **prima causa** di tumore polmonare.

DALLA RICERCA ALLA NORMATIVA

Un percorso basato su solide evidenze scientifiche

1988



IARC

Il radon è classificato come cancerogeno per l'uomo (Gruppo 1).

2005-2006



Grandi studi epidemiologici

Studi europei (Darby et al., 2005) e nordamericani (Krewski et al., 2006) confermano l'associazione tra esposizione al radon e tumore polmonare.

2009



WHO

Pubblicazione del "WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective".

2013



DIRETTIVA 2013/59/EURATOM

Stabilisce norme fondamentali di sicurezza contro i pericoli delle radiazioni ionizzanti, incluso il radon.

2020



D.LGS. 101/2020

Recepimento della Direttiva Euratom. Definizione di livello di riferimento e misure per la protezione della popolazione.



Le raccomandazioni internazionali e la normativa vigente si basano su **SOLIDE EVIDENZE EPIDEMIOLOGICHE** accumulate in oltre quarant'anni di ricerca.

Rischi sanitari connessi all'esposizione al radon



Il radon è un rischio che possiamo conoscere, valutare e controllare.

COME SI RIDUCE IL RISCHIO SANITARIO?

- ✗ Non possiamo eliminare il radon dal sottosuolo MA
- ↓
- ✓ Possiamo misurarne la concentrazione negli edifici E
- ↓
- 🛡️ Possiamo adottare interventi di mitigazione efficaci.

La misura rappresenta il collegamento tra la conoscenza del rischio e la scelta degli interventi di protezione.



04

METODOLOGIE DI MISURAZIONE E TECNICHE DI VALUTAZIONE DEL RISCHIO

*Misurare correttamente
è il primo passo per decidere*



Stefania Giusti
Esperto di Radioprotezione



Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



CONOSCERE PER MISURARE

Comprendere il comportamento del radon per pianificare correttamente le misure.



Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



Perché misurare il radon? Perché non si può mitigare ciò che non si conosce e per mitigare al meglio bisogna utilizzare delle tecniche di valutazione del rischio in grado di ottimizzare.

I metodi di misura quindi servono a:

- verificare il livello di esposizione
- individuare le cause
- progettare gli interventi
- verificare l'efficacia

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



IL PERCORSO DELLA DIAGNOSI

Un percorso in 4 fasi per conoscere, intervenire e verificare



PERCHÉ È IMPORTANTE?



Protegge la salute delle persone



Migliora la qualità degli ambienti



Ottimizza i costi degli interventi



Supporta la conformità normativa



La diagnosi non è un fine, ma l'inizio di un percorso per ridurre il rischio e migliorare la qualità degli edifici.



Misurare, analizzare, progettare e verificare: questo è il ciclo continuo per gestire il radon in modo efficace.

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



1. Misura

Misurare il radon: quale informazione cerchiamo?

- ❖ devo verificare il rispetto del livello di riferimento?
- ❖ devo capire come varia la concentrazione?
- ❖ devo individuare le vie di ingresso?

Lo strumento si sceglie in funzione dell'obiettivo.

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



MISURE DEL RADON: ATTIVE E PASSIVE A CONFRONTO

Scegliere lo strumento giusto in base all'obiettivo della misura

MISURE PASSIVE

Concentrazione media a lungo termine



ANNUALI
misura integrata
nel tempo

ESEMPI DI RIVELATORI



CR-39



Elettrette
(Track-Etch)



Carbone attivo



VANTAGGI

- ✓ Dato normativo (confrontabile con il LdR 300 Bq/m³)
- ✓ Informazione integrata nel tempo
- ✓ Alta affidabilità e stabilità
- ✓ Copertura spaziale estesa
- ✓ Costo contenuto
- ✓ Facili da installare



LIMITI

- Nessuna informazione sulle variazioni orarie
- Scarsa capacità diagnostica
- Non adatte a valutare rapidamente interventi



IDEALI PER

Verifiche normative
Valutazioni a lungo termine

MISURE ATTIVE

Concentrazione in tempo reale



IN TEMPO REALE
misura dinamica
su base oraria

ESEMPI DI STRUMENTI



AlphaGUARD



Radon Scout



TeraTera



RAD7



VANTAGGI

- ✓ Informazione dinamica (oraria)
- ✓ Ottima per diagnosi e studio dell'edificio
- ✓ Individua correlazioni con HVAC e uso degli spazi
- ✓ Valuta in tempo reale l'efficacia degli interventi



LIMITI

- Costo elevato per strumento
- Numero di punti di misura limitato
- Necessaria interpretazione dei dati
- Dato non direttamente confrontabile con il LdR



IDEALI PER

Diagnosi approfondita
Studio delle dinamiche
Verifica rapida degli interventi

CONFRONTO SINTETICO

CARATTERISTICHE	PASSIVE	ATTIVE
OBIETTIVO	Verifica normativa	Diagnosi e analisi delle dinamiche
DURATA	Annuali	Ore - giorni
RISOLUZIONE TEMPORALE	Integrata nel tempo	Oraria (o inferiore)
COPERTURA SPAZIALE	Alta (molti punti)	Limitata (pochi strumenti)
COSTO INDICATIVO	Basso (~30 € / punto)	Alto (>300 € / strumento)
CONFRONTABILE CON 300 Bq/m³	✓ SÌ	✗ NO
CAPACITÀ DIAGNOSTICA	Limitata	Alta
IDEALE PER	Controlli normativi Screening Monitoraggio a lungo termine	Diagnosi Valutazione interventi Ottimizzazione HVAC



LA SCELTA MIGLIORE?



La combinazione delle due tecniche offre la strategia più efficace:
passive per **conoscere**, attive per **capire**.



PASSIVE per **conoscere**.
ATTIVE per **capire**.
INSIEME per **agire**.

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



Strumenti passivi, concentrazione media annua (es. CR39):

- dato «**normativo**», confrontabile con 300 Bq/m³ (LdR)
- informazione **integrale nel tempo** (tipicamente 6 mesi X 2 periodi consecutivi)
- dato **asettico rispetto alle dinamiche** orarie/giornaliere
- dà **informazioni generali su quanto sia significativo il problema**, poco comunicativa in termini di diagnosi
- **copertura spaziale** potenzialmente estesa (numero alto di punti di misura negli ambienti critici)
- **facilità d'installazione/impiego**
- **lettura da parte del laboratorio ed emissione di certificato**

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio

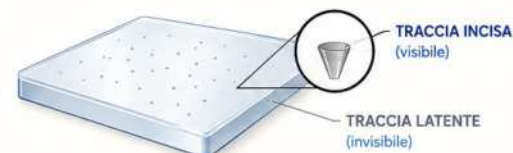


CR-39 e LR-115

RIVELATORI A TRACCE DI PARTICELLE α

COME FUNZIONANO

CR-39 e LR-115 sono rivelatori solidi che registrano il passaggio di particelle cariche (particelle α) nel materiale plastico sotto forma di tracce latenti.



IL PROCESSO IN 5 FASI

1 ESPOSIZIONE

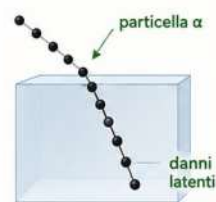
Il rivelatore viene esposto al radon e ai suoi prodotti di decadimento (particelle α) presenti nell'aria.



Le particelle α attraversano il materiale lasciando tracce latenti lungo il loro percorso.

2 TRACCE LATENTI

Le particelle α interagiscono con il materiale rompendo legami molecolari lungo la loro traiettoria.



Si formano zone di danno submicroscopico non visibili ad occhio nudo.

3 ATTACCO CHIMICO

Il rivelatore viene immerso in una soluzione alcalina (NaOH) a temperatura controllata.



L'attacco chimico rimuove il materiale nelle zone danneggiate più velocemente che nel resto del volume.

4 FORMAZIONE DELLE TRACCE INCISIONE

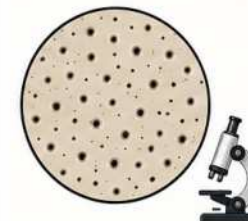
Le tracce latenti vengono ingrandite e diventano visibili come microfori a forma di cono.



Il diametro dell'apertura è proporzionale all'energia della particella α .

5 LETTURA

Le tracce incise vengono osservate al microscopio ottico e contate.



La densità di tracce (tracce/cm²) è proporzionale alla concentrazione di radon nel periodo di esposizione.

CARATTERISTICHE PRINCIPALI

- ✓ Sensibili principalmente alle particelle α
- ✓ Integratori passivi: misurano la concentrazione media di radon su lunghi periodi (mesi/anni)
- ✓ Non richiedono alimentazione elettrica
- ✓ Stabili e leggeri, facili da trasportare e utilizzare

CR-39



- ✓ Poli(alil diglicol carbonato)
- ✓ Elevata sensibilità
- ✓ Standard per il monitoraggio del radon
- ✓ Misure annuali

LR-115



- ✓ Pellicola di nitrato di cellulosa
- ✓ Maggiore selettività energetica delle particelle α
- ✓ Utilizzato in applicazioni specifiche e dosimetriche

APPLICAZIONI

- ✓ Valutazione della concentrazione di radon negli ambienti di vita e di lavoro
- ✓ Studi in ambienti sotterranei, scuole, abitazioni, siti geologici
- ✓ Monitoraggi a lungo termine e campagne di screening
- ✓ Supporto alla sorveglianza e alla radioprotezione

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



Strumenti attivi, es. concentrazione su base oraria:

- **dati non confrontabili** con 300 Bq/m³ (LdR)
- informazione **dinamica** (tipicamente su base oraria) ottima per diagnosi e studio dell'edificio (es. per correlazioni HVAC)
- **diagnosi**, oltre che delle dinamiche giorno/notte, anche dell'uso degli spazi da parte degli individui (es. ventilazione ambienti per effetto di apertura/chiusura infissi)
- **copertura spaziale più limitata** (numero e costo dispositivi)
- **qualità della misurazione** (scelta del dispositivo)
- **incertezza di misura**

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



STRUMENTI ATTIVI PER LA MISURA DEL RADON

Misura continua della concentrazione e analisi delle variazioni nel tempo



Gli strumenti attivi rilevano in tempo reale la concentrazione di radon indoor e consentono di analizzare l'andamento temporale e i picchi di concentrazione.

ALPHAGUARD



Camera a ionizzazione

Riferimento professionale per misure continue ad alta sensibilità e stabilità.

Ideale per:

- monitoraggi a lungo termine
- studi di variabilità
- verifiche post-mitigazione

RAD7



Rivelatore a semiconduttore

Misura rapida e precisa della concentrazione di radon e dei suoi progeni.

Ideale per:

- misure rapide
- indagini diagnostiche
- valutazioni puntuali

RADON SCOUT



Monitor continuo

Misura continua con elevata risoluzione temporale e registrazione dei dati.

Ideale per:

- analisi delle variazioni orarie
- studi stagionali
- ambienti residenziali e lavorativi

RADONEYE



Monitor compatto in tempo reale

Trasmissione dati via Wi-Fi e visualizzazione su App.

Ideale per:

- monitoraggi domestici
- controllo in tempo reale
- facilità di installazione



PERCHÉ USARLI?



Misura continua e in tempo reale



Analisi dell'andamento temporale e dei picchi



Diagnosi degli ambienti e individuazione delle cause



Verifica dell'efficacia degli interventi di mitigazione



MESSAGGIO CHIAVE:

Gli strumenti attivi sono essenziali per comprendere il comportamento del radon negli ambienti indoor e per supportare decisioni efficaci di gestione e riduzione del rischio.

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



Uso ottimale della strumentazione passiva:

Basso costo (es. 30 € /punto di misura) consente **campagne di analisi spazialmente estese** (dosimetri **in contemporanea**), specie in edifici vasti, con decine di stanze site nel piano di attacco a terra, identificando gli ambienti critici.

Uso ottimale della strumentazione attiva:

Costo elevato (es. > 300 € /strumento) consente campagne di analisi in ambienti selezionati. In edifici vasti, in funzione dei dispositivi disponibili, **necessità di dividere la campagna di diagnosi in intervalli temporali differenti** (conseguenti riflessioni sulla **confrontabilità dei dati acquisiti** in momenti differenti).

Per una diagnosi avanzata si utilizza una combinazione di dati

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



E' fondamentale il posizionamento dei dosimetri!



Rappresentatività dell'ambiente

- ❖ collocare il dosimetro nei locali effettivamente occupati;
- ❖ scegliere una posizione rappresentativa dell'esposizione delle persone.



Distanza dalle superfici e dalle sorgenti di disturbo

- ☐ evitare la vicinanza a finestre, porte, bocchette di ventilazione, termosifoni e fonti di calore;
- ☐ mantenere le distanze previste dalla norma tecnica.



Stabilità della misura

- non spostare il dosimetro durante il periodo di esposizione;
- evitare urti, coperture o manipolazioni.

Una misura è affidabile solo se il dosimetro è posizionato correttamente

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



2. Diagnosi

- analisi della distribuzione spaziale;
- andamento temporale;
- relazione con ventilazione, pressione, temperatura e uso dei locali;
- individuazione delle possibili vie d'ingresso.

La diagnosi è la fase in cui bisogna stare più attenti a non dimenticare nessun dettaglio

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



Nello studio di un edificio con concentrazioni di radon oltre il livello di riferimento la valutazione del rischio comprende **l'analisi attenta dei flussi d'aria e delle pressioni**.

È quindi un problema **HVAC** (**H**eating, **V**entilation and **A**ir **C**onditioning) che, come ben sapete, è fondamentale nelle analisi degli impianti degli edifici. Nel contesto radon, quando parliamo di HVAC intendiamo l'insieme degli impianti che movimentano l'aria all'interno di un edificio e che possono influenzare la concentrazione di radon modificando le pressioni e i ricambi d'aria.

Gli impianti HVAC possono agire **creando ΔP** , potenzialmente incentivando l'accesso del radon agli ambienti ove si va a mitigare.



3. Progetto

Dalla diagnosi alla scelta dell'intervento

- ☐ agire sulla sorgente;
- ☐ agire sulle vie di ingresso;
- ☐ agire sull'aria interna.

Il progetto deve analizzare ognuno dei punti elencati, individuando l'intervento migliore per il caso specifico

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



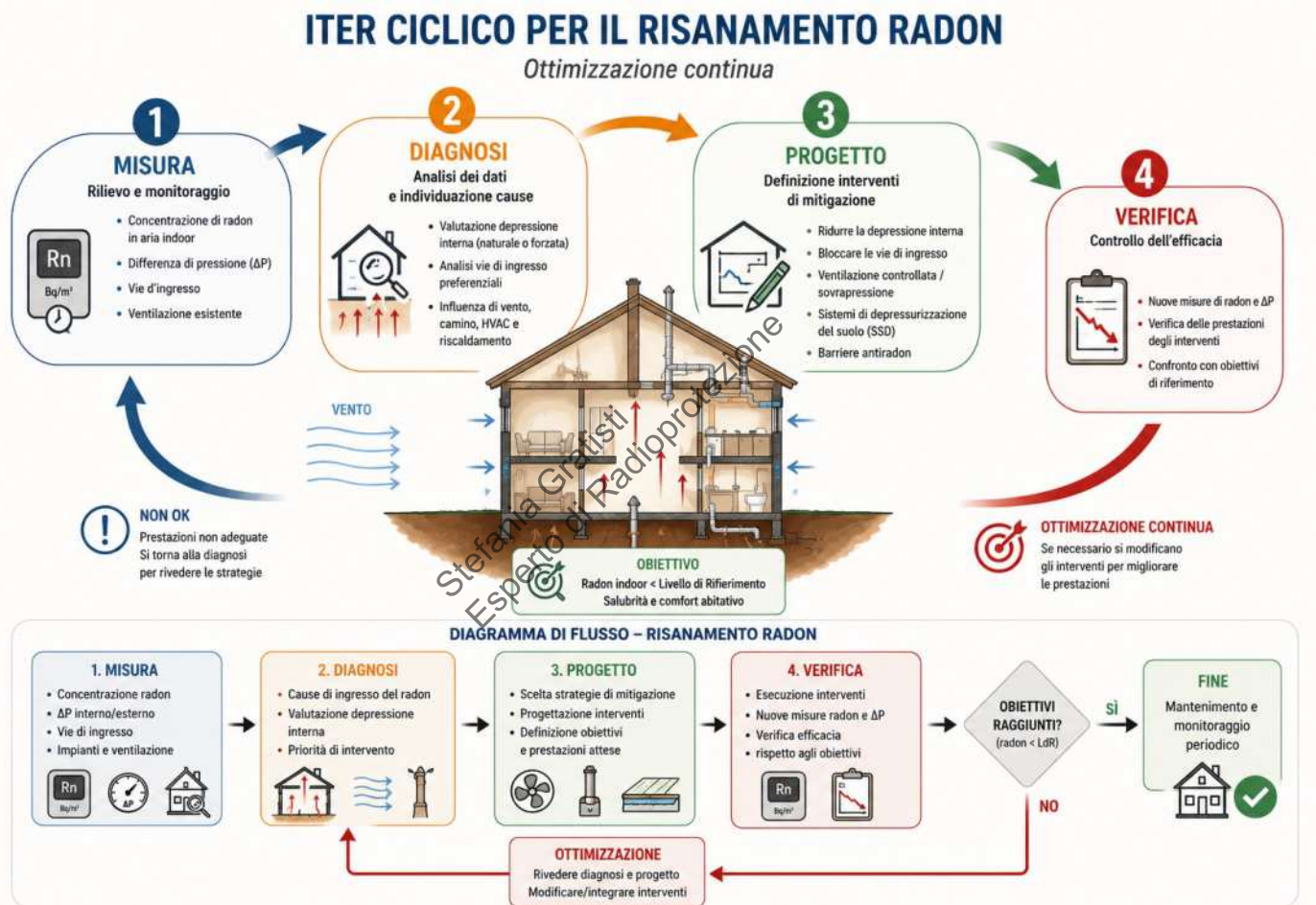
4. Verifica

Un intervento è efficace solo se viene valutato in fase iniziale e verificato in fase conclusiva:

- ✓ misura post-intervento;
- ✓ confronto prima/dopo;
- ✓ controllo nel tempo;
- ✓ eventuale correzione del progetto.

Stefania Gratisti
Esperto di Radioprotezione

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



Scelta dei dispositivi:

Strumentazione passiva: a discrezione del laboratorio di riferimento (Servizio di Dosimetria Riconosciuto ex art. 17 D.Lgs. 101/2020). Generalmente **scelta cost-oriented**, ma **qualità dei risultati comunque accettabile**.

Seguire sempre le istruzioni rilasciate dal laboratorio circa modalità d'uso e installazione dei dispositivi. In caso di dubbio, farsi aiutare nella scelta del tempo di esposizione ottimale.

Strumentazione attiva: è il tecnico Esperto di Risanamento a **scegliere quale dispositivo** impiegare, **quanti** installarne, secondo quali **filosofia e modalità** in funzione della **disponibilità** in magazzino, dei **costi** di eventuali nuovi dispositivi, della specifica situazione da monitorare.

Opportuno impiegarli secondo quanto specificato nel **manuale d'uso del dispositivo**, in special modo a riguardo di **compatibilità con i parametri ambientali** e **potenziali eventuali interferenze legate al thoron**.

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



Quello che davvero guida i nostri studi e le valutazioni dell'EIRR è il ΔP .

Si analizzano i seguenti punti:

- ❖ Differenza di pressione interno/esterno (effetto vento, effetto camino)
- ❖ Depressione interna → ingresso radon
- ❖ Vie d'accesso preferenziali nell'edificio (importanza dell'attacco a terra)
- ❖ Combattere la depressione
 - Evitare che si verifichi
 - Impianti in leggera sovrappressione
 - barriera fisica

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio

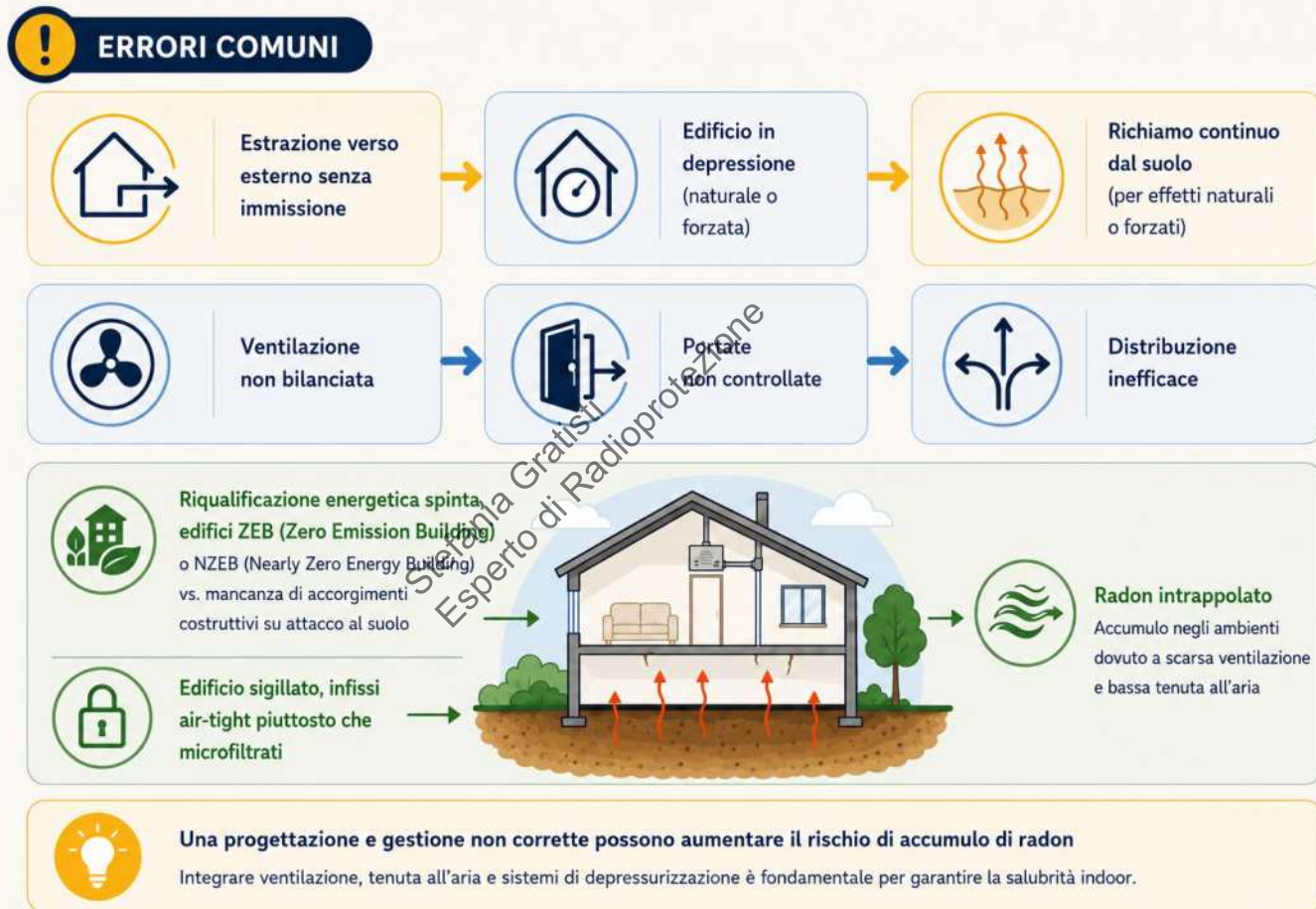


Lo schema mentale da seguire è il seguente:

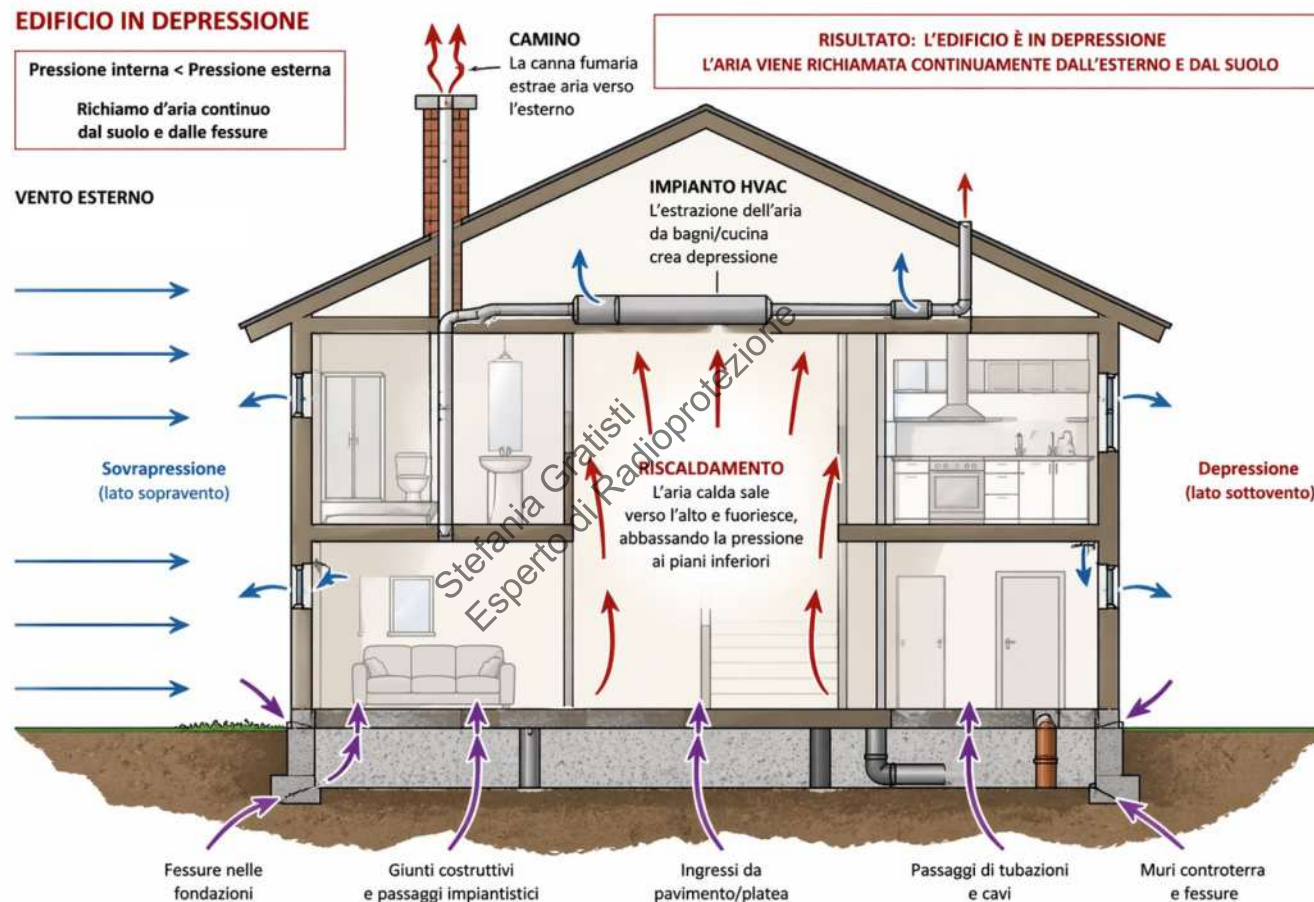
- ❑ Suolo → ingresso in edificio (specie nei piani bassi) → accumulo in aria (importanti le sigillature) → esposizione individui;
- ❑ Ogni fase può essere controllata
 - Azioni sul suolo-> via di uscita preferenziale (es. pozzetto che riduce l'immissione in edificio);
 - Azioni sull'edificio -> evacuazione post-immissione (es. vespaio aerato),
 - Azioni sull'edificio/membrane-> aumento resistenza "idraulica" al contorno;
 - Diluizione di aria interna con aria ambiente (impianti HAVC);
 - Gestione dei tempi di permanenza.

Gli impianti hanno un impatto su tutte le fasi!

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



Qual è la scelta tecnica migliore?

- **alte concentrazioni** (migliaia Bq/m³)
 - richiedono tipicamente interventi attivi
 - ventilazione meccanica controllata (VMC) come unico rimedio se non si può intervenire su edificio
- **concentrazioni medie** (centinaia Bq/m³)
 - ventilazione con sistemi semplici e/o ventilazione naturale
 - sigillatura
- verifiche operative
 - occorre **monitorare il funzionamento continuativo** (sistemi attivi)
 - verifica del **mantenimento efficacia nel tempo** (sistemi passivi)

Metodologie di misurazione e tecniche di valutazione del rischio



FATTORI CHE INFLUENZANO IL RISCHIO RADON NEGLI EDIFICI



1 CONTESTO GEOLOGICO E TERRITORIALE



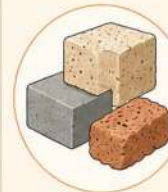
- Area con potenziale radon elevato
- Zone geologiche favorevoli alla presenza di radon
- Aree prioritarie individuate dal PNAR

2 POSIZIONE DEL LOCALE NELL'EDIFICIO



- Locali interrati
- Seminterrati
- Piano terra a contatto con il suolo

3 MATERIALI DA COSTRUZIONE



- Materiali di origine vulcanica
- Tufo
- Pozzolana
- Altri materiali naturalmente ricchi di radio

4 STATO DI CONSERVAZIONE DELL'EDIFICIO



- Crepe e fessurazioni
- Giunti di dilatazione deteriorati
- Attraversamenti impiantistici non sigillati
- Discontinuità tra strutture e pavimenti

5 VENTILAZIONE E RICAMBIO D'ARIA



- Scarso ricambio d'aria naturale
- Assenza o inefficienza di VMC
- Pressione interna negativa (depressione)
- Ostruzione delle aperture di ventilazione

6 DESTINAZIONE D'USO E IMPIANTI



- Attività con uso di grandi quantità di acqua
- Impianti di condizionamento/ventilazione mal progettati
- Elevati tassi di ricircolo dell'aria (es. centri commerciali, grande distribuzione)
- Alcune attività lavorative specifiche (es. lavanderie, cucine di ristoranti, ecc.)



Nessuno di questi fattori è sufficiente da solo:
la misura resta l'unico metodo per determinare la concentrazione di radon.





05

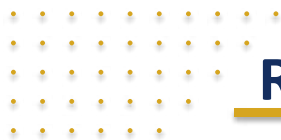
RADIOPROTEZIONE E INTERVENTI DI MITIGAZIONE

*Ridurre il radon
è possibile
e necessario*



Stefania Grattisi
Esperto di Radioprotezione





Radioprotezione e interventi di mitigazione



Individuare i **rischi correlati alla radioattività** significa conoscerne il pericolo e valutarne il rischio, anche ai sensi del D. Lgs. 81/2008.

- il **pericolo** è una proprietà o qualità intrinseca di un determinato fattore avente il potenziale di causare danni;
- il **rischio** è la probabilità di raggiungimento del livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego o di esposizione ad un determinato fattore o agente oppure alla loro combinazione.



IL RISCHIO IN RADIOPROTEZIONE

Il **rischio** in Radioprotezione dà la misura degli effetti deleteri causati dall'esposizione a **radiazioni ionizzanti**.

È un discorso di **probabilità**, che viene espressa mediante coefficienti di rischio, che rivelano l'**incremento dell'incidenza** o **mortalità annuale per dose unitaria**.



MISURA

Quantifica il potenziale danno per la salute.



COEFFICIENTI DI RISCHIO

Indicano la probabilità di effetti per unità di dose ricevuta.



OBIETTIVO

Stimare e ridurre il rischio per proteggere l'uomo e l'ambiente.



Radioprotezione e interventi di mitigazione



I TRE PRINCIPI DELLA RADIOPROTEZIONE

La base di ogni attività che comporta esposizione a radiazioni ionizzanti



I tre principi sono applicati in ordine gerarchico e costituiscono il riferimento fondamentale per la protezione dei lavoratori, della popolazione e dei pazienti.

1

GIUSTIFICAZIONE

Nessuna pratica che implichi esposizione alle radiazioni può essere adottata se non produce un beneficio netto.

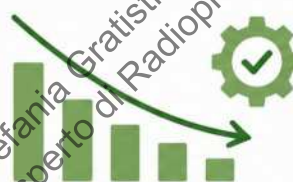


- ✓ Valutare sempre i benefici attesi
- ✓ Confrontare i benefici con i possibili danni
- ✓ Applicabile a qualsiasi pratica che comporti esposizione

2

OTTIMIZZAZIONE

Le esposizioni devono essere mantenute al livello più basso ragionevolmente ottenibile (ALARA).



- ✓ Ricercare soluzioni tecniche e organizzative migliori
- ✓ Ridurre la probabilità e l'entità delle esposizioni
- ✓ Considerare fattori economici e sociali

3

LIMITAZIONE DELLE DOSI

Le dosi individuali non devono superare i limiti di dose stabiliti dalla normativa.



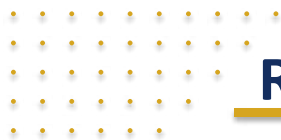
- ✓ Rispettare i limiti di dose per lavoratori, popolazione e studenti
- ✓ Garantire che nessun individuo riceva dosi superiori ai limiti previsti
- ✓ Applicare il principio di limitazione a tutte le esposizioni pianificate



I tre principi sono inscindibili e complementari:

giustificare ogni pratica, **ottimizzare** ogni esposizione, **limitare** ogni dose.

Solo la loro applicazione congiunta garantisce una radioprotezione efficace.



Radioprotezione e interventi di mitigazione



I principi di radioprotezione guidano tutte le decisioni di un radioprotezionista, dalla valutazione del rischio fino alla scelta degli interventi di mitigazione.

La misura non conclude il percorso: orienta la scelta dell'intervento. Quali sono gli interventi possibili:

- **Interventi sul suolo**
 - depressurizzazione del suolo al perimetro edificio
 - depressurizzazione del suolo sotto fondazione edificio
- **Sigillatura e barriere**
 - vespai areati (ventilazione naturale o forzata)
 - membrane anti-radon
- **Ventilazione degli ambienti**
 - diluzione accumulo di radon in aria con ricambi aria ambiente
 - controllo delle pressioni (leggera sovrappressione)

Radioprotezione e interventi di mitigazione



INTERVENTI SUL SUOLO



Intercetta il radon
prima ingresso.



Massima efficacia se sistema ben dimensionato (generalmente necessario inserire estrattori a intervalli regolari per coprire tutta la pianta dell'edificio).



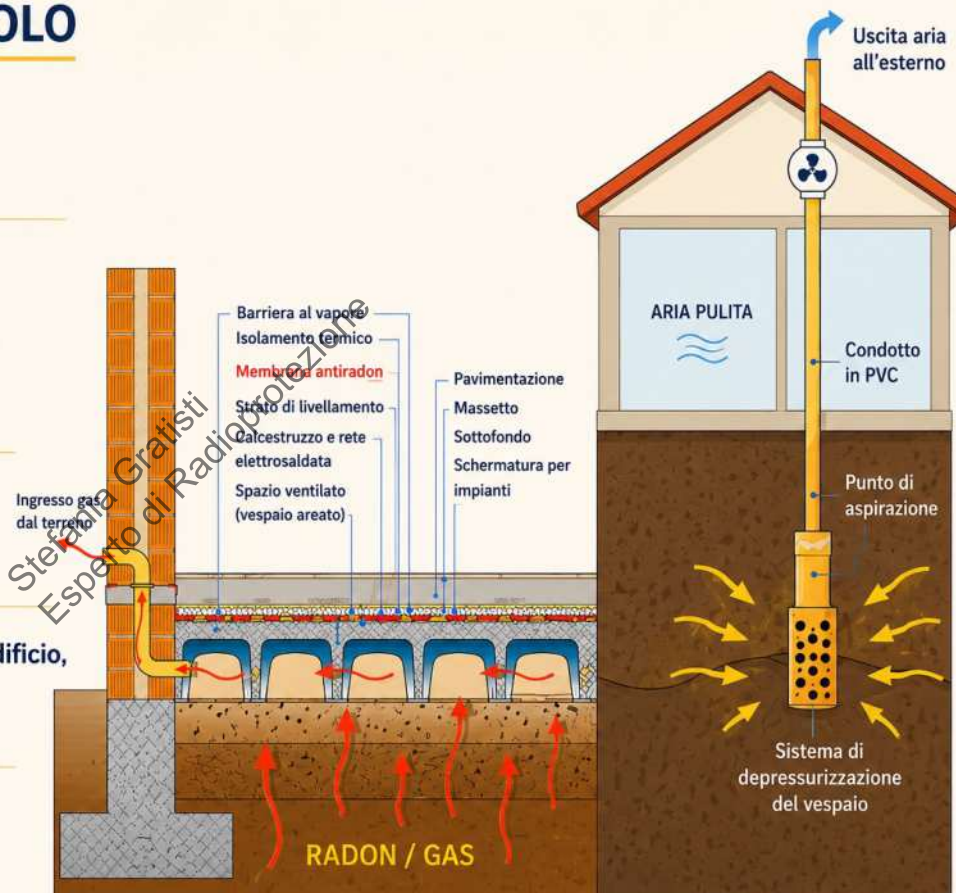
Molto efficace se vespaio areato sotto tutta la pianta dell'edificio.



Se pozzetti al perimetro edificio, occorre prestare attenzione alla loro effettiva efficacia.



Standard internazionale.



Radioprotezione e interventi di mitigazione



SIGILLATURA E BARRIERE



Riduce ingressi puntuali
sigilla fessure, giunti, passaggi
e microaperture.



Difficilmente sufficiente da sola
è necessario integrarla con altre
misure di mitigazione.



Occorre verificare stabilità nel tempo
i materiali devono mantenere le
proprietà di tenuta nel tempo.



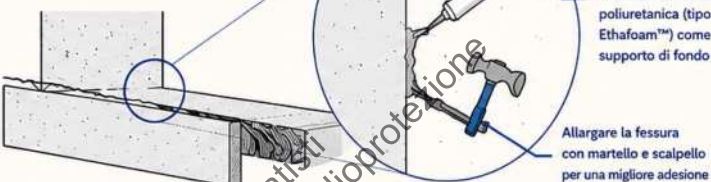
Tecnica complementare
va combinata con depressurizzazione
del sottofondo e ventilazione.



**Normalmente utilizzata per evitare
risalite dell'umidità.**
Nel caso del radon, installazione
anche sotto le mura.

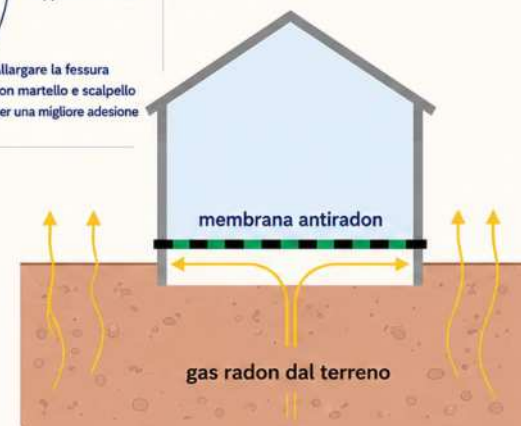
SIGILLARE OGNI VIA DI INGRESSO

Una corretta preparazione della
superficie è fondamentale per
ottenere una tenuta efficace.
Segui le istruzioni del produttore.



TIPO DI INTERVENTO

- Membrane bituminose "barriera al vapore" non certificate "anti-radon"
- Membrane sintetiche certificate "anti-radon" – base
- Membrane sintetiche certificate "anti-radon" – rinforzate (resistenti all'usura ed al calpestio)



La sigillatura e le barriere riducono gli ingressi di radon, ma **devono essere** progettate, installate e mantenute correttamente per garantire efficacia nel tempo.

Radioprotezione e interventi di mitigazione



VENTILAZIONE DEGLI AMBIENTI



Diluizione del contaminante



Richiede bilanciamento



Attenzione alla Δp



Barriera attiva



La ventilazione diluisce il radon ma deve essere correttamente progettata e bilanciata per garantire efficacia e comfort indoor.



PRESA D'ARIA ESTERNA

Deve trovarsi a un'altezza di almeno 3 m da terra nelle aree accessibili al pubblico o a 1,5 m nelle aree private senza accessibilità. La condotta deve essere ermetica.



POZZO CANADESE

Scambia calore con il terreno e pre-tratta l'aria esterna. La presa deve essere portata ad almeno 1,5–3 m da terra e la condotta deve essere ermetica.



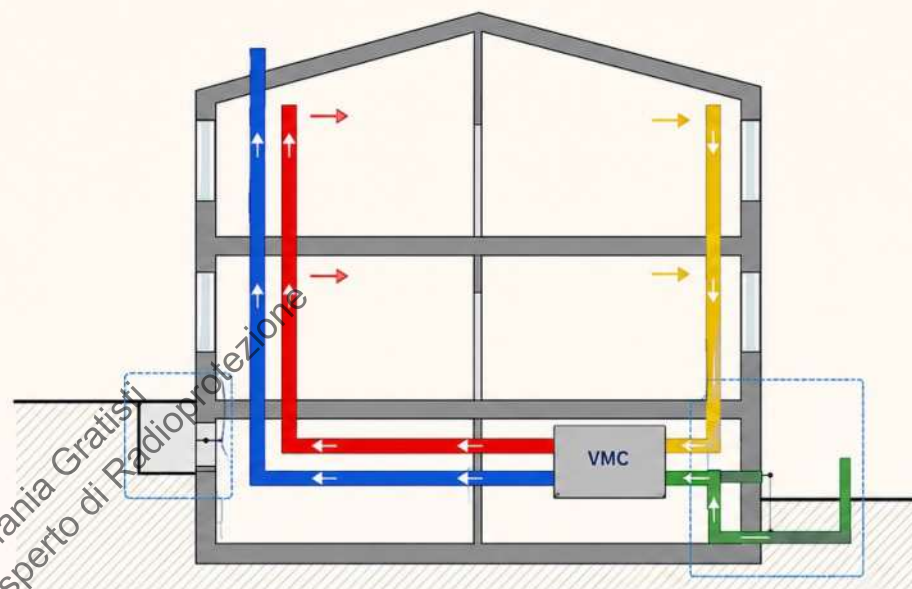
FINESTRA IN UN POZZO LUCE

Presenta rischi se il pozzo luce è a tenuta stagna (es. cemento, muratura, impermeabilizzante in PP): il rischio di radon si riduce notevolmente. L'impermeabilizzazione deve continuare anche nel pozzo.



SISTEMA DI VENTILAZIONE

L'impianto deve essere bilanciato e la differenza di pressione (Δp) correttamente gestita per evitare ingressi incontrollati di radon.



La ventilazione è una **barriera attiva** contro il radon: diluisce il contaminante e migliora la qualità dell'aria.

Radioprotezione e interventi di mitigazione



Radon indoor ed efficientamento energetico

Il miglioramento dell'ermeticità dell'involucro edilizio, a scopi di efficientamento energetico, riguarda principalmente la parte dell'involucro edilizio che si trova sopra l'attacco a terra.

Il pavimento e i locali a diretto contatto con il suolo non sono generalmente inclusi. Quindi i differenziali di pressione tra l'interno e l'esterno potrebbero essere accentuati e aumentare la penetrazione di radon negli edifici attraverso il pavimento.

Considerando questo fenomeno unitamente a una possibile riduzione del tasso di ventilazione con l'esterno (es. per installazione di infissi a tenuta e riduzione degli "spifferi"), è facilmente intuibile il conseguente innalzamento delle concentrazioni di radon indoor negli edifici sottoposti a interventi di riqualificazione energetica.

Radioprotezione e interventi di mitigazione



Radon indoor ed efficientamento energetico

In realtà l'utilizzo della "sigillatura" degli ambienti interni per questioni di bilancio energetico può provocare un aumento generale dell'inquinamento dell'aria indoor e conseguente peggioramento della sua qualità.

Inoltre la sostituzione degli infissi all'atto di una riqualificazione energetica è l'intervento cui è correlato il maggior aumento delle concentrazioni di radon se non abbinato ad un sistema di ventilazione adeguato.

A meno di infissi che prevedono micro-ventilazione (solo di recente implementazione, per contrastare la sigillatura degli ambienti di cui sopra), nella maggior parte dei casi la sostituzione degli infissi riduce fortemente il tasso di ventilazione di un ambiente, aumentando potenzialmente il radon indoor.

Radioprotezione e interventi di mitigazione



EFFICIENZA ENERGETICA E QUALITÀ DELL'ARIA: UN EQUILIBRIO POSSIBILE

Progettare edifici che siano **salubri** ed **efficienti**



L'obiettivo non è scegliere tra efficienza energetica e qualità dell'aria, ma progettare edifici che garantiscano entrambe.



PNAR 2023–2032 – AZIONE 2.7

Integrare radon, qualità dell'aria indoor ed efficienza energetica nella progettazione e nella riqualificazione degli edifici.



Radioprotezione e interventi di mitigazione



MISURE COMPORTAMENTALI

Piccole azioni quotidiane per ambienti più **salubri**, confortevoli ed **efficienti**

1. ARIEGGIARE

Arieggiare costantemente gli ambienti favorendo l'ingresso di aria "primaria" e quindi la diluizione degli inquinanti indoor. Gestione di finestre e dei sistemi di VMC (Ventilazione Meccanica Controllata) per tenere conto dell'efficienza energetica.

2. TEMPERATURA E UMITÀ

Mantenere un livello di umidità relativa compreso tra il 40% - 60% e una temperatura compresa tra i 18°C - 22°C per ridurre la formazione di muffe e batteri.

3. NON FUMARE

Non fumare negli ambienti indoor domestici.

4. CAPPE ASPIRANTI

Utilizzare cappe aspiranti durante la cottura dei cibi, oltre a mantenere aperte le finestre quando possibile.

5. PRODOTTI DI PULIZIA

Utilizzare prodotti per la pulizia e la manutenzione degli ambienti per il tempo strettamente necessario, con le minime quantità possibili ed arieggiando costantemente i locali.

6. PULIZIA DEGLI AMBIENTI

Mantenere una sufficiente pulizia degli ambienti.

Una buona gestione degli ambienti interni contribuisce alla riduzione dell'esposizione al radon e al miglioramento della qualità dell'aria indoor.



06

CASI STUDIO E CONCLUSIONI

*Esperienze reali
per scelte consapevoli
e sostenibili*



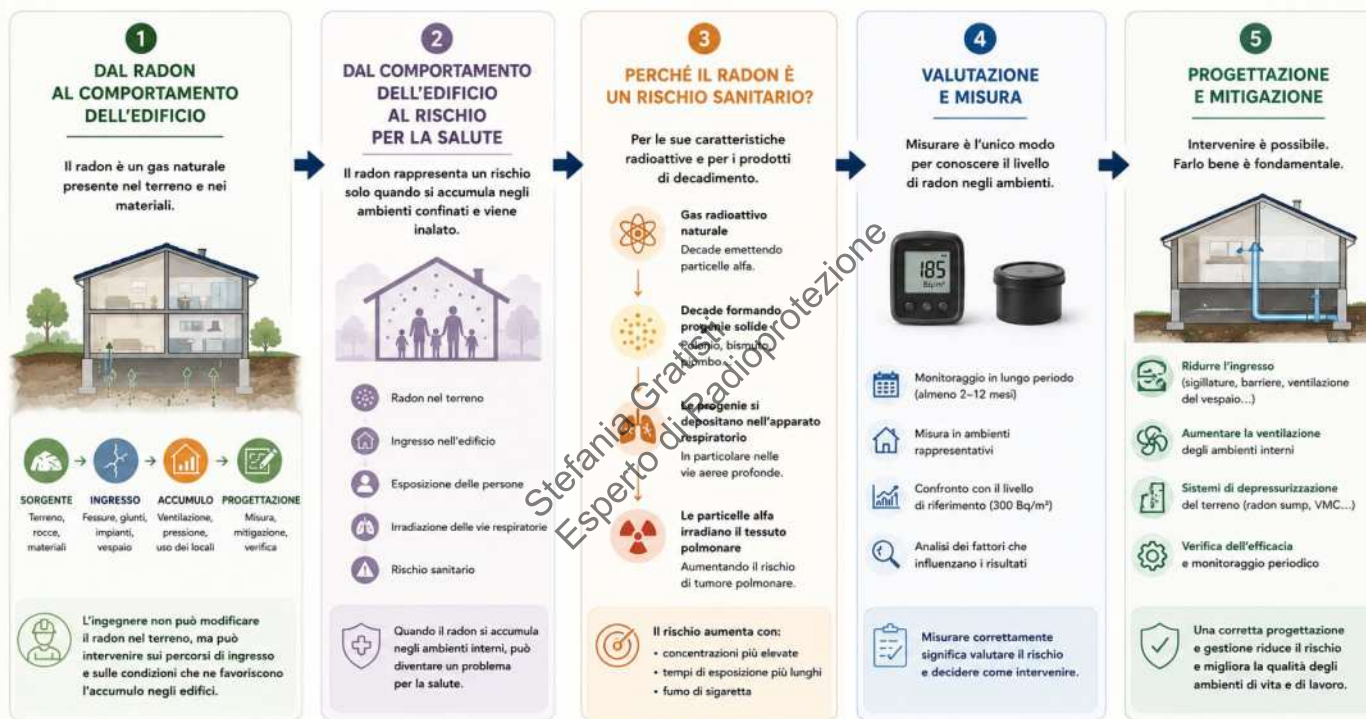
Stefania Grati
Esperto di Radioprotezione

Casi studio e conclusioni



IL RADON: DALLA SORGENTE ALLA SALUTE, FINO ALLA PROTEZIONE

Un percorso logico per comprendere il rischio e agire efficacemente



MESSAGGIO CHIAVE

Conoscere il radon, capire come entra e si accumula negli edifici, misurare correttamente e progettare interventi efficaci è il ruolo dell'ingegnere per costruire e gestire edifici più sicuri e salubri.



Casi studio e conclusioni



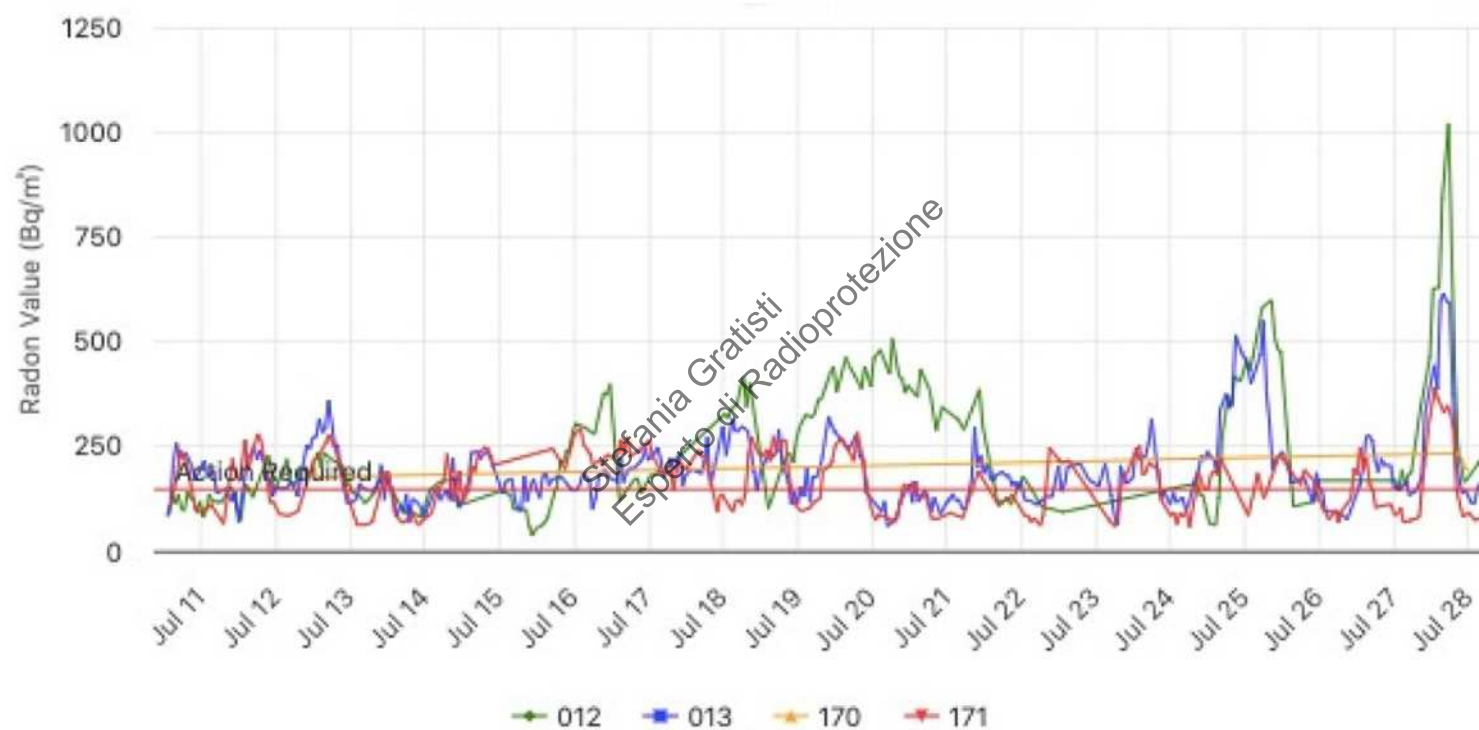
CASO 1: EDIFICIO STORICO (LUOGO DI LAVORO PUBBLICO) PROVINCIA DI ROMA

Problema: Edificio storico di tre piani, con lavoratori. Per motivi di privacy non ci sono immagini, edificio riqualificato nel 2022. Presenza di alte concentrazioni di radon in tutti i piani, è stato eseguito l'intervento nel 2022 (non aderente al decreto) utilizzando 4 ventilatori di estrazione a pozzetto + 4 ventilatori di estrazione connessi al vespaio aerato 5 cm sottopavimento. Si è ottenuta una mitigazione, ma i valori di concentrazione di radon in aria, determinati con monitoraggio passivo, hanno dato risultati $> \text{LdR}$.

Casi studio e conclusioni



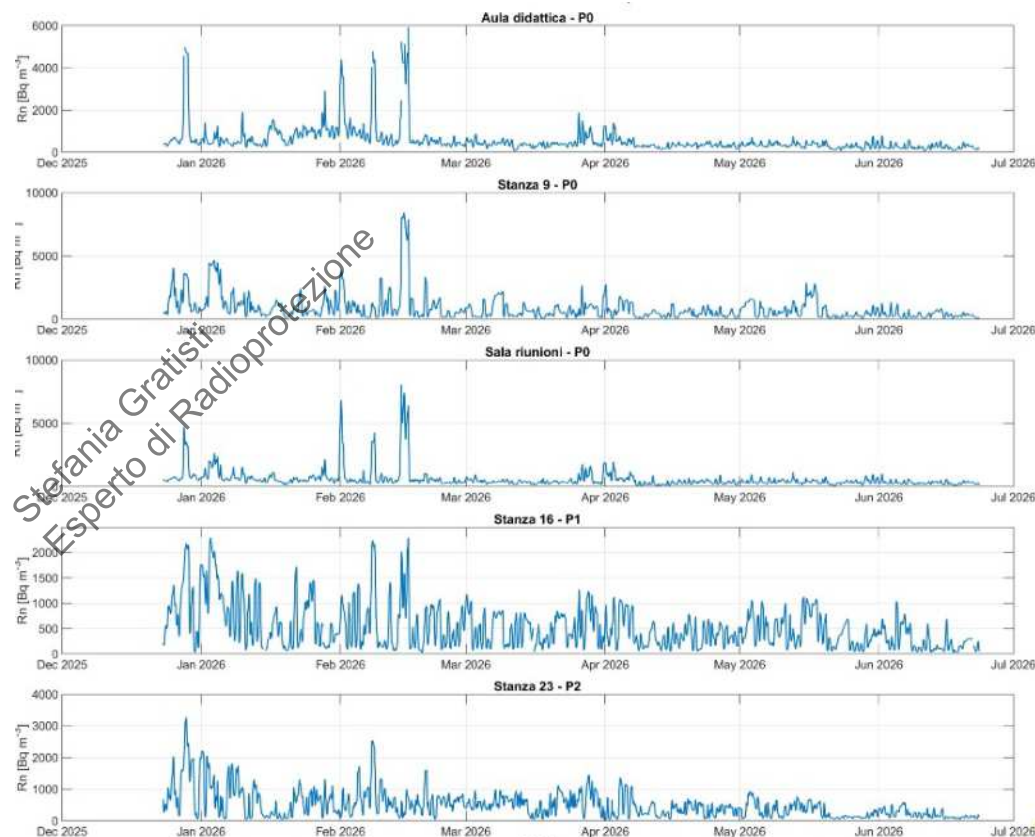
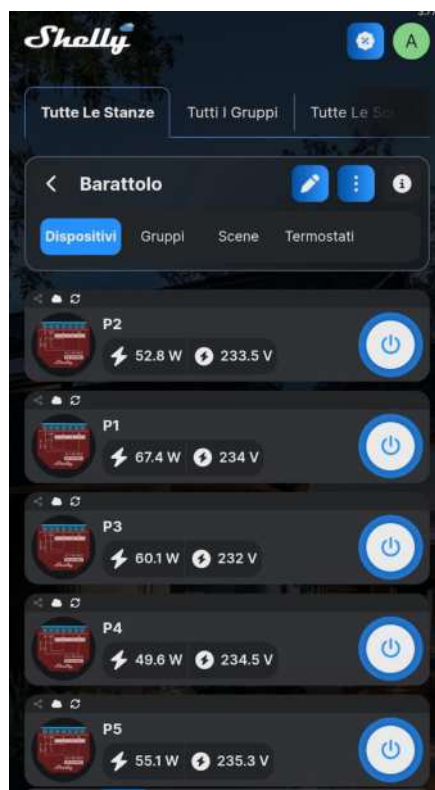
CASO 1: EDIFICIO STORICO (LUOGO DI LAVORO PUBBLICO) PROVINCIA DI ROMA



Casi studio e conclusioni



CASO 1: EDIFICIO STORICO (LUOGO DI LAVORO PUBBLICO) PROVINCIA DI ROMA



Casi studio e conclusioni



CASO 1: EDIFICIO STORICO (LUOGO DI LAVORO PUBBLICO) PROVINCIA DI ROMA

Si è deciso di effettuare un monitoraggio annuale passivo e contemporaneamente installare dispositivi attivi su tutti i piani. Inoltre abbiamo installato dispositivi shelly (per verifica da remoto) che indicano la potenza assorbita istantanea, eventuali sovraccarichi, e verificano in linea le aperture e chiusure delle pompe di ventilazione.

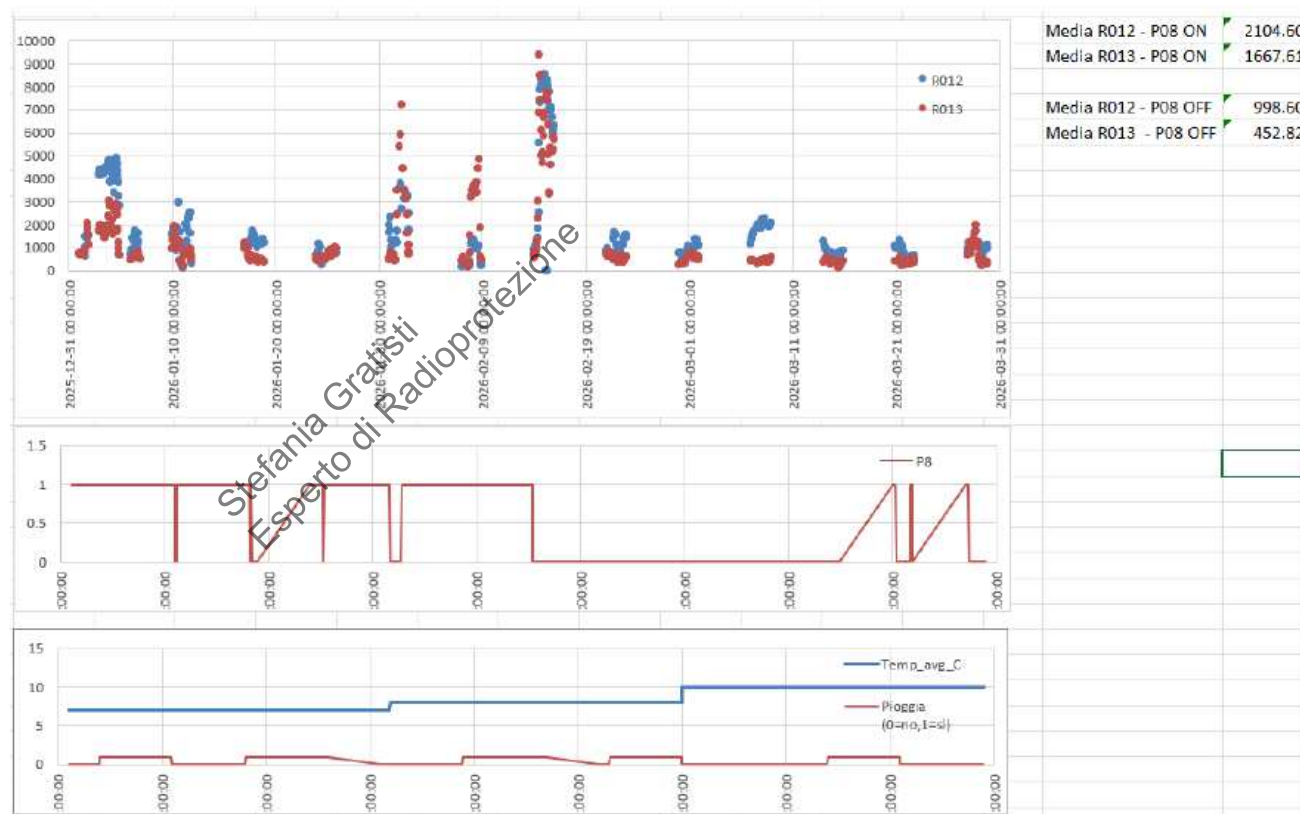


Casi studio e conclusioni



CASO 1: EDIFICIO STORICO (LUOGO DI LAVORO PUBBLICO) PROVINCIA DI ROMA

E' stato scoperto che il ventilatore P8 sul terrazzo creava una depressione interna che peggiorava la situazione radon (dati on/off sui sensori R012/R013).



Casi studio e conclusioni



CASO 1: EDIFICIO STORICO (LUOGO DI LAVORO PUBBLICO) PROVINCIA DI ROMA

La soluzione: VMC bilanciata per correzione ΔP .

Infatti nel prossimo futuro si prevede di intervenire sulla struttura aggiungendo un impianto di ventilazione meccanica controllata (a recupero di calore) per gestire la qualità interna dell'aria, nonché l'umidità.

Casi studio e conclusioni

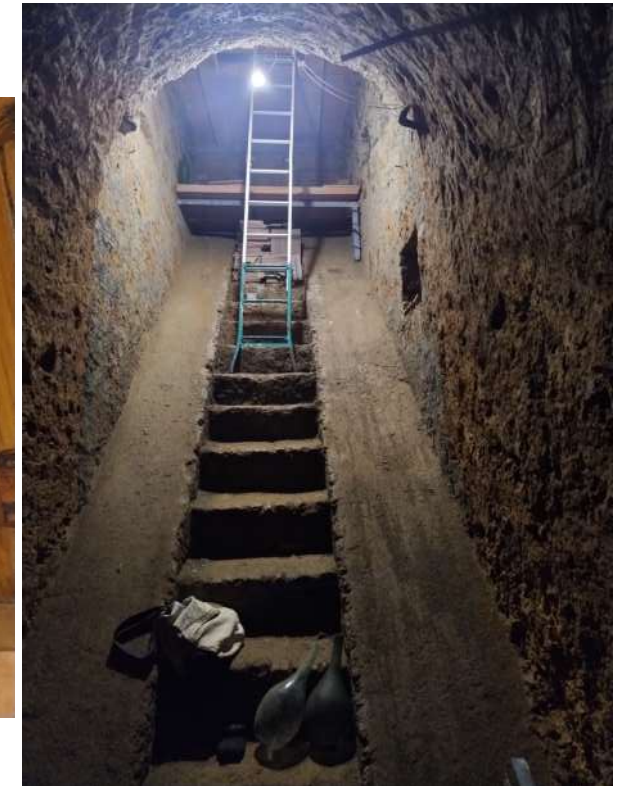


CASO 2: IMMOBILE RESIDENZIALE PROVINCIA DI VITERBO

Problema: abitazione residenziale con alti livelli di concentrazione radon indoor.

Hotspot: identificato in una grotta scavata nel tufo sotto l'edificio.

Soluzione: la grotta come «volume sacrificale» di intercettazione del radon (enorme pozzo radon).



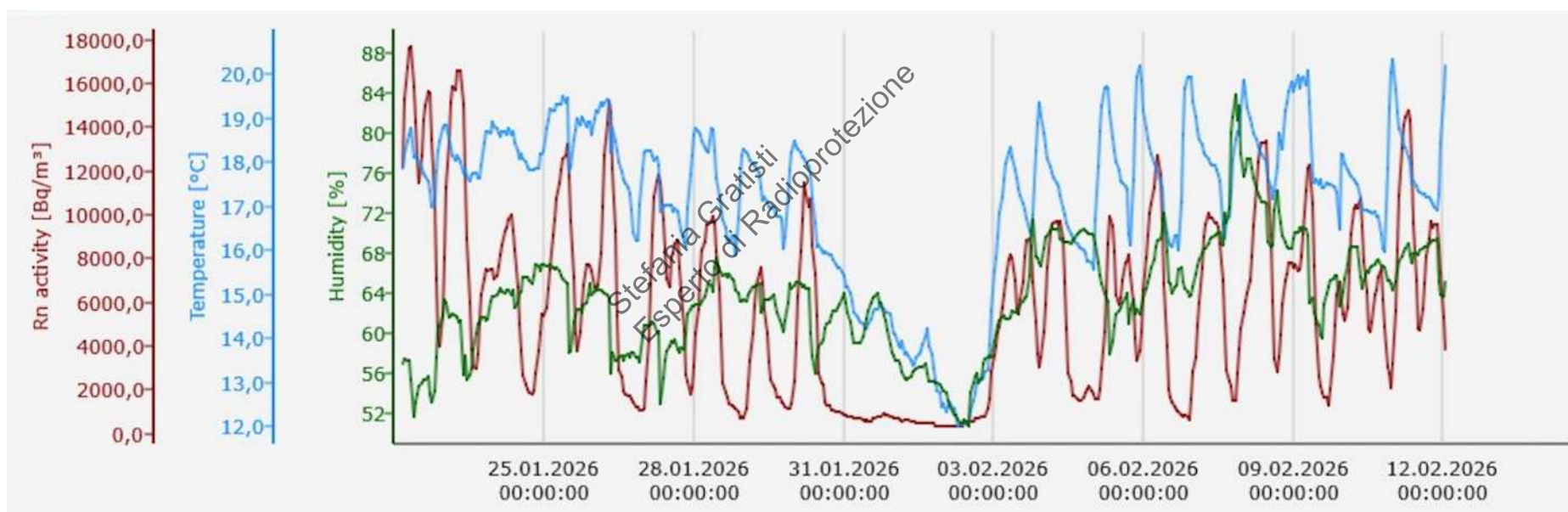
Immagini e planimetrie per gentile concessione dell'Arch. Marani

Casi studio e conclusioni



CASO 2: IMMOBILE RESIDENZIALE PROVINCIA DI VITERBO

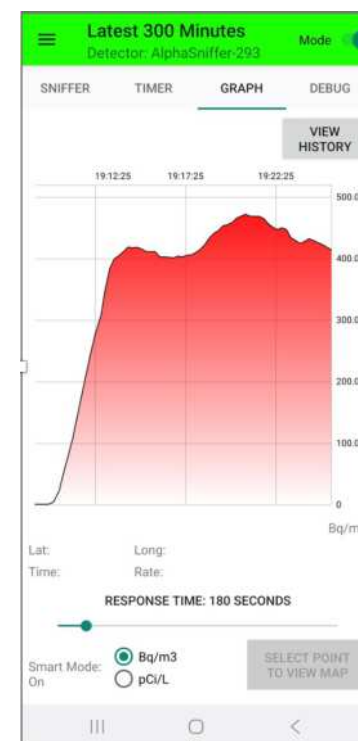
Concentrazione indoor: 6.000 - 20.000 Bq/m³



Casi studio e conclusioni



CASO 2: IMMOBILE RESIDENZIALE PROVINCIA DI VITERBO

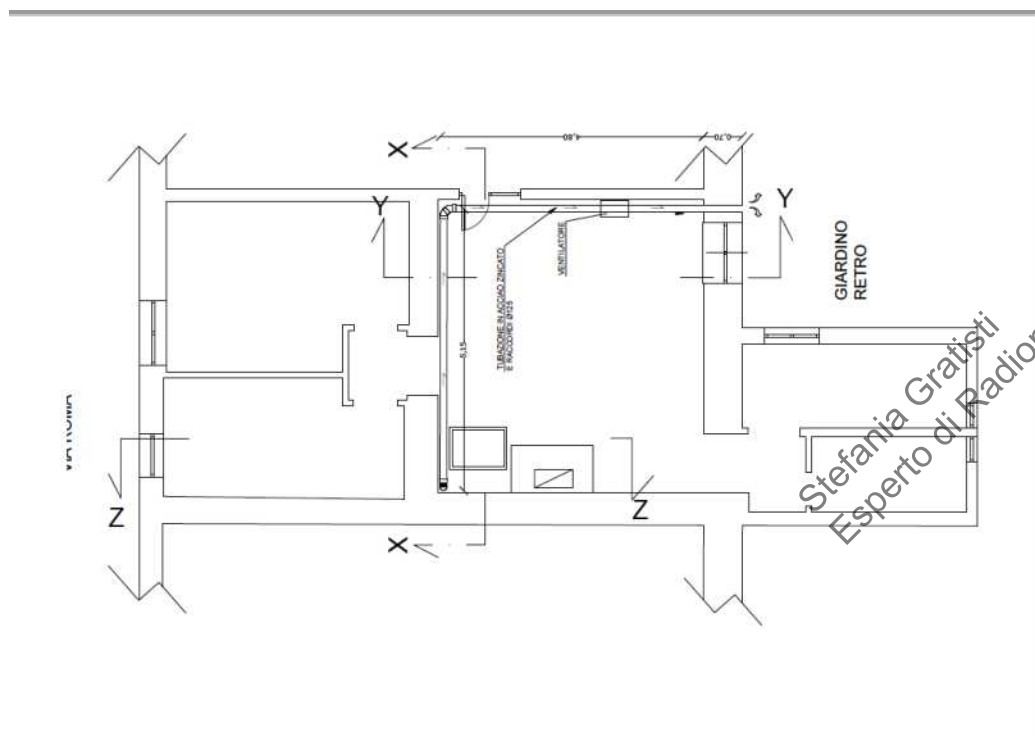


Indagine strumentale su forometria

Casi studio e conclusioni



CASO 2: IMMOBILE RESIDENZIALE PROVINCIA DI VITERBO



Progetto in pianta

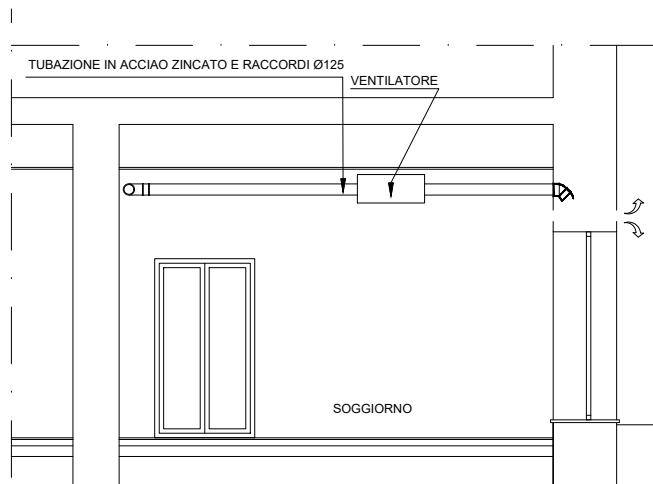


Sezione XX

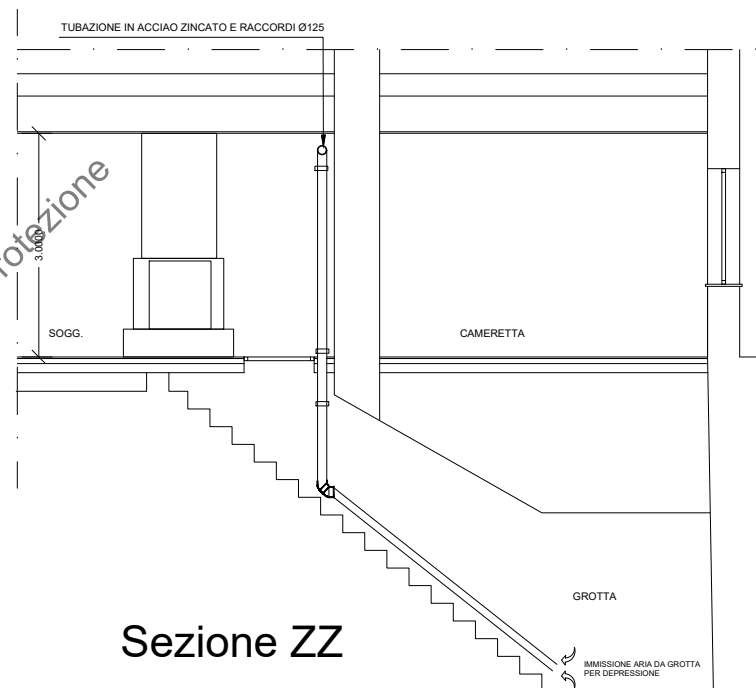
Casi studio e conclusioni



CASO 2: IMMOBILE RESIDENZIALE PROVINCIA DI VITERBO



Sezione YY



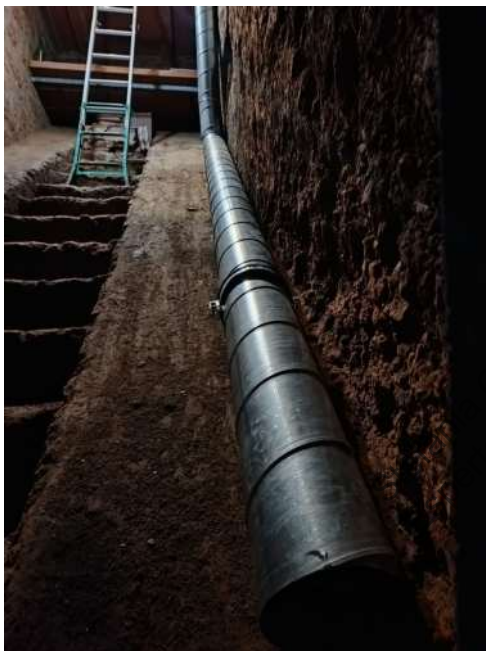
Sezione ZZ

Casi studio e conclusioni



CASO 2: IMMOBILE RESIDENZIALE PROVINCIA DI VITERBO

Realizzazione intervento



Botola grotta su soggiorno



Casi studio e conclusioni



CASO 2: IMMOBILE RESIDENZIALE PROVINCIA DI VITERBO

Realizzazione intervento



Impossibilità di arrivare al tetto



«carote» solaio a terra



Casi studio e conclusioni

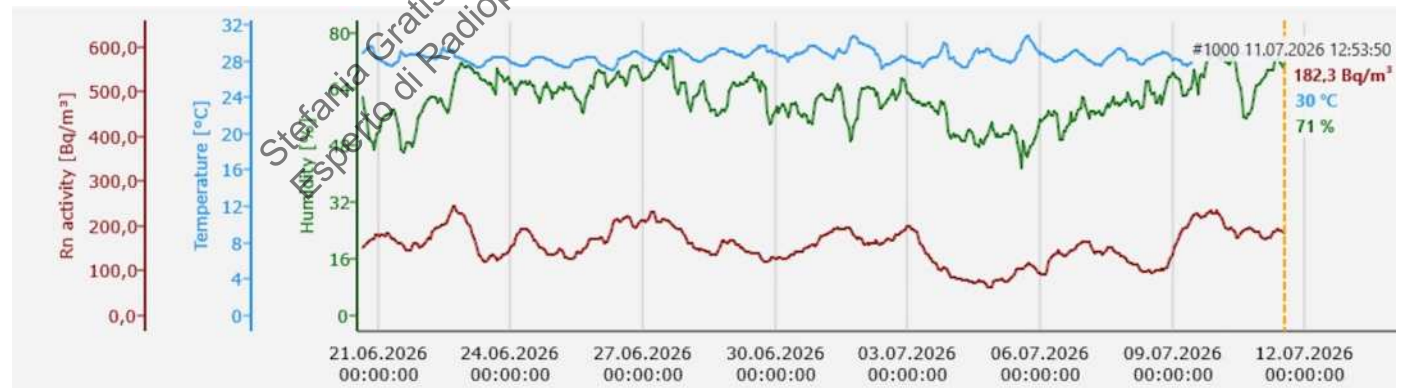


CASO 2: IMMOBILE RESIDENZIALE PROVINCIA DI VITERBO

Materiali utilizzati:

- canali spiroidali in lamiera zincata e classe di tenuta D fissati con collari antivibranti;
- ventilatore centrifugo in linea silenzioso con motore brushless a variazione continua;
- potenziometro per una perfetta taratura post operam;
- tenute dell'accoppiamento canali-ventilatore realizzate in opera.

Risultati post operam

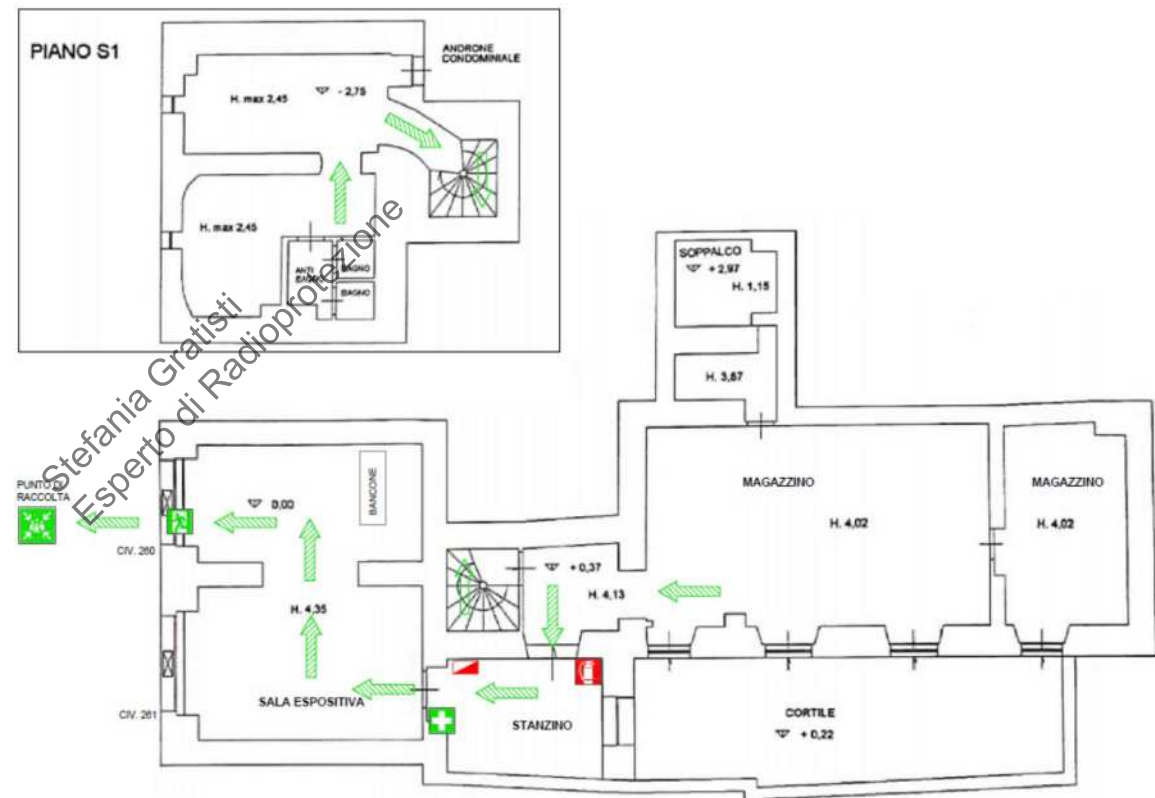


Casi studio e conclusioni



CASO 3: NEGOZIO AL CENTRO DI ROMA

Negozi esistente con bocche di lupo al piano interrato. Piano interrato e piano terra comunicano attraverso una porta, tenuta sempre aperta. Le aperture di porte e finestre al piano terra creano un flusso di aria dal basso verso l'alto e il radon risale dal piano interrato (valori da 150 a 300 Bq/m³). Al piano interrato (dove è presente il servizio igienico) si hanno valori superiori a LdR.

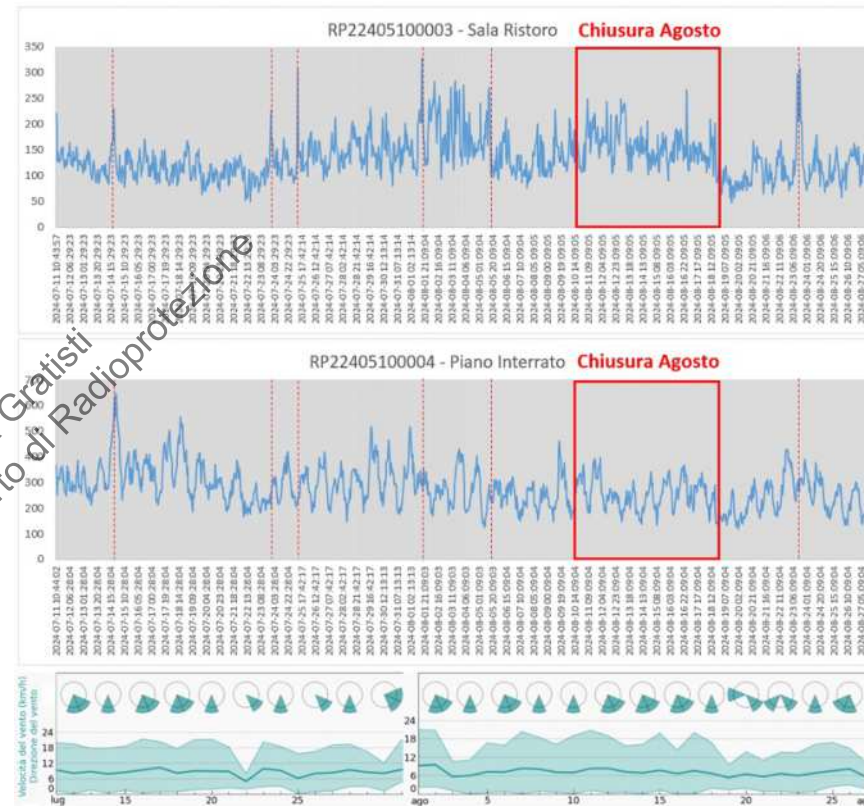


Casi studio e conclusioni



CASO 3: NEGOZIO AL CENTRO DI ROMA

La soluzione: interruzione del flusso d'aria tra piano interrato e piano terra mediante porta chiusa controllata. E' stata infatti prescritta la costante chiusura della porta, tale effettiva chiusura ha dunque l'effetto di separare idraulicamente il piano interrato dal piano terra, al netto di trafilementi legati alle tenute non perfette.

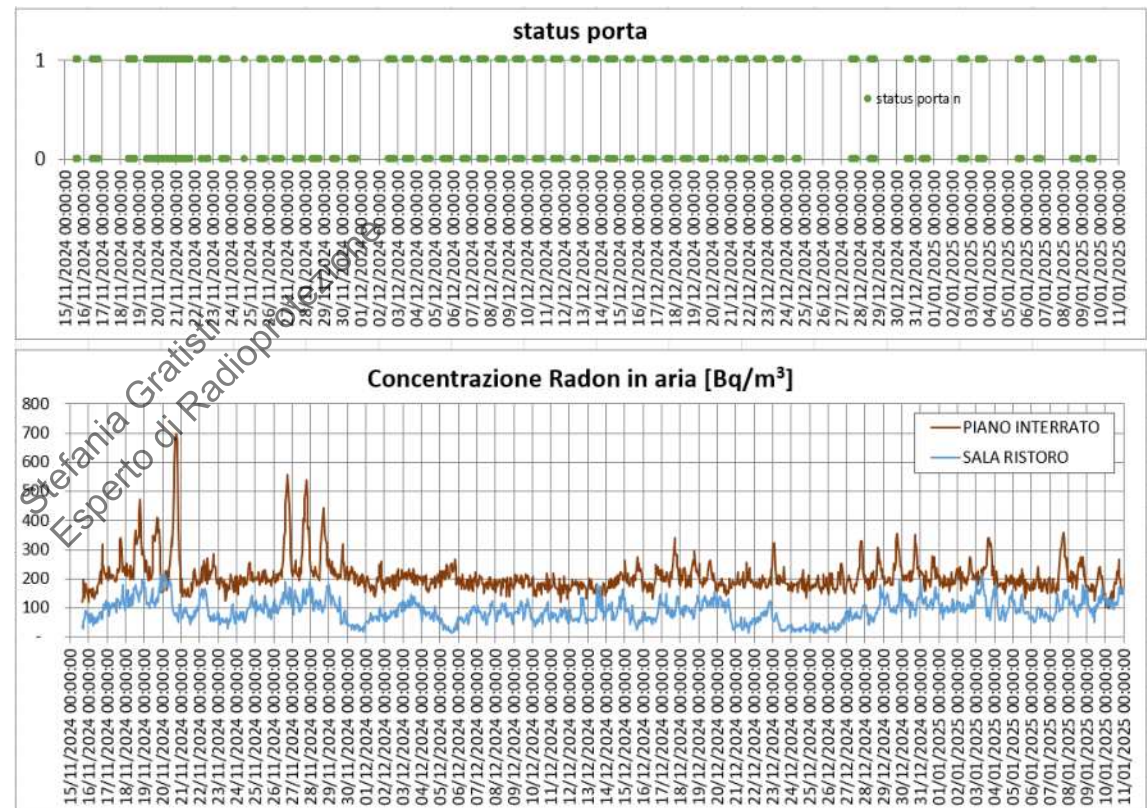


Casi studio e conclusioni



CASO 3: NEGOZIO AL CENTRO DI ROMA

Il controllo della chiusura della porta è stato effettuato con sensore magnetico controllato da piattaforma Arduino, ottenendo una complessiva riduzione di concentrazione sia al piano terra (valori non superiori a 200 Bq/m³) che al piano interrato ($\downarrow\Delta P$) nonostante il periodo invernale. La riduzione seppur limitata al piano interrato si è avuta perché è stato limitato l'effetto camino.





CONCLUSIONI

- Non possiamo ideare un intervento senza una corretta misura della concentrazione di radon e senza l'individuazione delle cause (**diagnosi**) che governano il suo accumulo indoor.
- Non esiste **ventilazione (naturale o forzata)** neutra, i cui effetti vanno studiati su un intervallo temporale sufficiente.
- Gli impianti **possono effettivamente anche peggiorare** le condizioni di radon indoor (aumento depressioni).
- Occorre **ragionare in termini di pressione**.
- È opportuno, in fase progettuale, **integrare** sempre HVAC e problema radon.
- Meglio **progettare bene dall'inizio**, evitando di dover correggere poi.



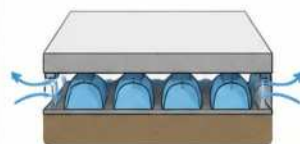
PREVENZIONE NELLE NUOVE COSTRUZIONI



Integrare misure antiradon nella progettazione dell'edificio è più **efficace, più semplice e più economico** rispetto agli interventi successivi.

01

VESPAIO AERATO



Realizzare un **vespaio aerato** per evacuare il radon presente nel terreno prima che possa entrare nell'edificio.

- ✓ Casseri modulari o igloo
- ✓ Ventilazione naturale o meccanica
- ✓ Punti di controllo e ispezione
- ✓ Collegamento all'esterno

02

BARRIERA ANTIRADON



Interporre una barriera continua e resistente al gas radon tra il terreno e gli ambienti occupati.

- ✓ Materiali certificati
- ✓ Posa continua e senza giunti
- ✓ Sigillatura dei passaggi impiantistici
- ✓ Protezione durante il cantiere

03

PREDISPOSIZIONE PER DEPRESSIONE DEL SUOLO



Predisporre un sistema di depressurizzazione del suolo per l'eventuale evacuazione del radon.

- ✓ Tubazione dedicata dal sottofondo al tetto
- ✓ Punto di connessione per aspiratore
- ✓ Facile attivazione futura
- ✓ Ispezionabilità garantita

04

ATTENZIONE AI DETTAGLI DELL'ATTACCO A TERRA



Curare i dettagli costruttivi è fondamentale per evitare vie preferenziali di ingresso del radon.

- ✓ Sigillatura di crepe e fessure
- ✓ Tenuta dei passaggi impiantistici
- ✓ Giunti di dilatazione sigillati
- ✓ Continuità della barriera



La prevenzione progettuale garantisce edifici più salubri e conformi alla normativa.

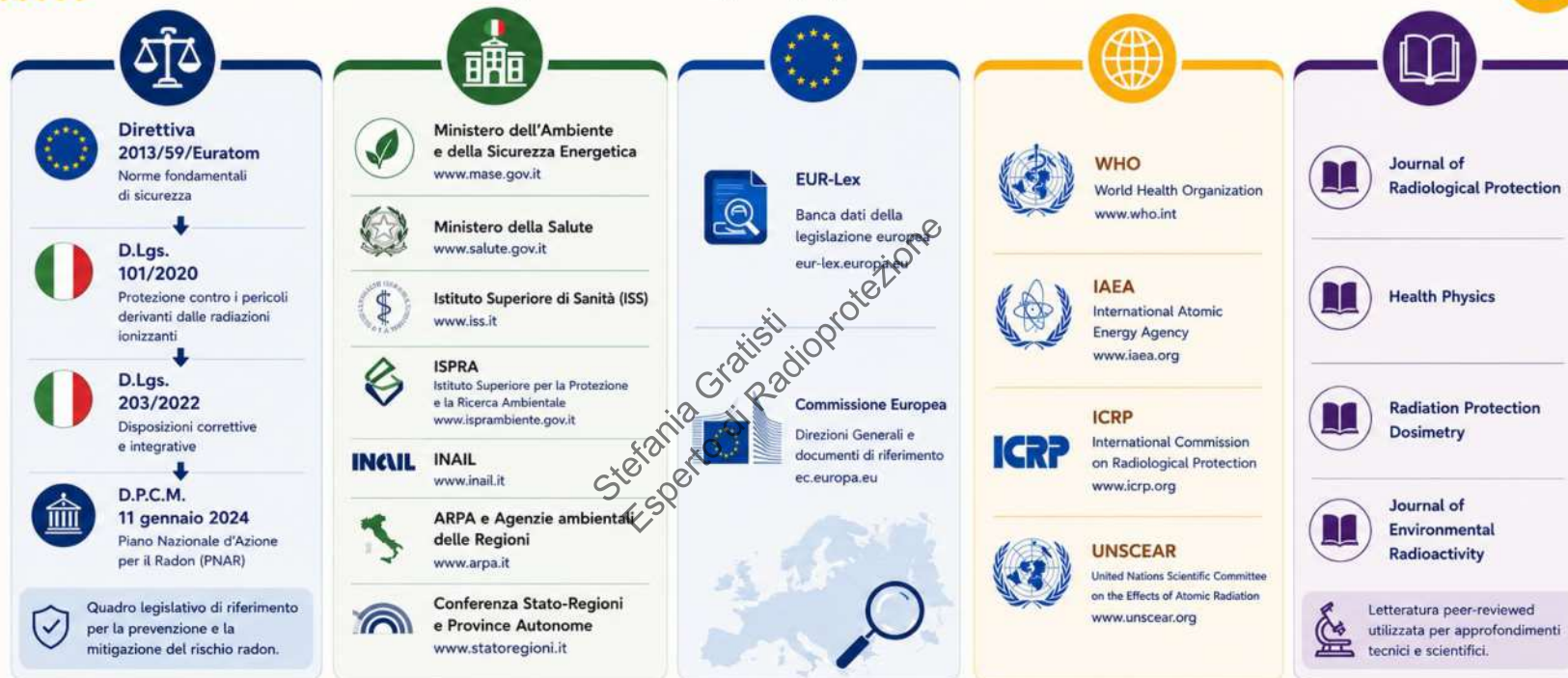


L'obiettivo è **impedire al radon di entrare**, non solo diluirlo una volta entrato.

Riferimenti normativi e sitografia



Principali fonti utilizzate per la preparazione del corso



Normativa, linee guida e letteratura scientifica rappresentano strumenti complementari per una corretta gestione del rischio radon.





GRAZIE
PER L'ATTENZIONE

