



RADON. L'ESPOSIZIONE UMANA ALLE RADIAZIONI IONIZZANTI NATURALI

Misurazioni di radon: stato dell'arte delle tecniche di
misura e modelli previsionali sperimentali

Romolo Remetti (Sapienza - Università di Roma)

Convegno Nazionale Ambiente e Lavoro
Bologna, 26 maggio 2026



GAZZETTA UFFICIALE
DELLA REPUBBLICA ITALIANA

ARTE PRIMA Roma - Mercoledì, 21 febbraio 2024

REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARDENNA, 70 - 00187 ROMA - TEL. 06-498101 - FAX 06-49810211
DISTRIBUZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - VIA SALARIA, 691 - 00138 ROMA - CENTRALINO 06-85081 - LIBRERIA DE
CASA E UFFICI, 1 - 00198 ROMA

DECRETO DEL PRESIDENTE DEL CONSIGLIO DEL GOVERNO
11 gennaio 2024.

**Adozione del piano nazionale d'azione
per il radon 2023-2032.**

Considerazioni preliminari: cosa misurare?

- D. Lgs. 101/2020 ss.mm.ii. –
in vigore dal 27 Agosto 2020,
modificato e integrato dal D.
Lgs. 203/2022, in vigore dal 18
gennaio 2023
- Piano Nazionale d'Azione per
il radon (GU 21 febbraio 2024)

GAZZETTA UFFICIALE
DELLA REPUBBLICA ITALIANA

ARTE PRIMA Roma - Mercoledì, 12 agosto 2020

SI PUBBLICANO
GIORNI NON

REDAZIONE PRESSO IL MINISTERO DELLA GIUSTIZIA - UFFICIO PUBBLICAZIONE LEGGI E DECRETI - VIA ARDENNA, 70 - 00187 ROMA - TEL. 06-498101 - FAX 06-49810211
DISTRIBUZIONE PRESSO L'ISTITUTO POLIGRAFICO E ZECCA DELLO STATO - VIA SALARIA, 691 - 00138 ROMA - CENTRALINO 06-85081 - LIBRERIA DE
CASA E UFFICI, 1 - 00198 ROMA

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, e
modifica le direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom,
96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom
e riordino della normativa di settore in
attuazione dell'articolo 20, comma 1, lettera a), del
Decreto Legge 4 ottobre 2019, n. 117.**

D.Lgs. 101/2020 ss.mm.ii.

Titolo IV “Sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti”

Capo I “Esposizione al radon”

- **Sezione I – Disposizioni generali**
- **Articoli da 10 a 15**
 - Viene demandata al PNAR l’identificazione dei criteri per la determinazione delle Aree Prioritarie per il radon.
 - Incarica le Regioni e Province Autonome di pubblicare l’elenco delle aree prioritarie entro 24 mesi dalla pubblicazione del PNAR.
 - Fissa i seguenti livelli di riferimento **massimi**:
 - 300 Bq m⁻³ per le abitazioni esistenti;
 - 200 Bq m⁻³ per le abitazioni costruite dopo il 31 dicembre 2024;
 - 300 Bq m⁻³ per i luoghi di lavoro.
 - Istituisce la sezione radon della banca dati sulla radioattività dell’ISIN e l’interazione con l’Archivio Nazionale Radon dell’ISS.
 - Promozione delle campagne di informazione.



SINRAD - Sistema Informativo Nazionale sulla Radioattività

Ispettorato Nazionale per la Sicurezza Nucleare e la Radioprotezione



Radon

Istituto Superiore di Sanità

[Home](#)

[Effetti sulla salute](#)

[Piano Nazionale Radon](#)

[Archivio Nazionale Radon](#)

[Quanto radon c'è...](#)

D.Lgs. 101/2020 ss.mm.ii.

Titolo IV “Sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti”

Capo I “Esposizione al radon”

- **Sezione II – Esposizione al radon nei luoghi di lavoro**

- **Articolo 16**

- Identifica i luoghi di lavoro ove si applica la normative:
- Locali sotterranei.
- Locali semisotterranei o situati al piano terra nella Aree Prioritarie.
- Specifiche tipologie di luoghi di lavoro individuate dal PNAR.
- Stabilimenti termali.

*Il piano **interrato** di un edificio è il piano che sta sotto terra o sotto il livello del terreno. La luce e l'aerazione dei locali del piano interrato sono generalmente di tipo artificiale o forzata.*

*Il piano **seminterrato** di un edificio è il piano che si trova in parte interrato, cioè parzialmente sotto il livello del suolo. La luce e l'aerazione dei locali del seminterrato sono generalmente assicurati da caratteristiche finestrate poste a livello del terreno. L'accesso al piano seminterrato è in genere consentito tramite una scala che scende al livello dello stesso.*



Esempio di locale sotterraneo (ST)



Esempi di locali seminterrati (S)

Il PNAR definisce sotterraneo un locale con almeno tre pareti interamente sotto il piano di campagna e fornisce l'esempio in figura.

Il PNAR definisce come luogo di lavoro un locale con una frequentazione di almeno 100 ore per anno

D.Lgs. 101/2020 ss.mm.ii.

Titolo IV “Sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti”

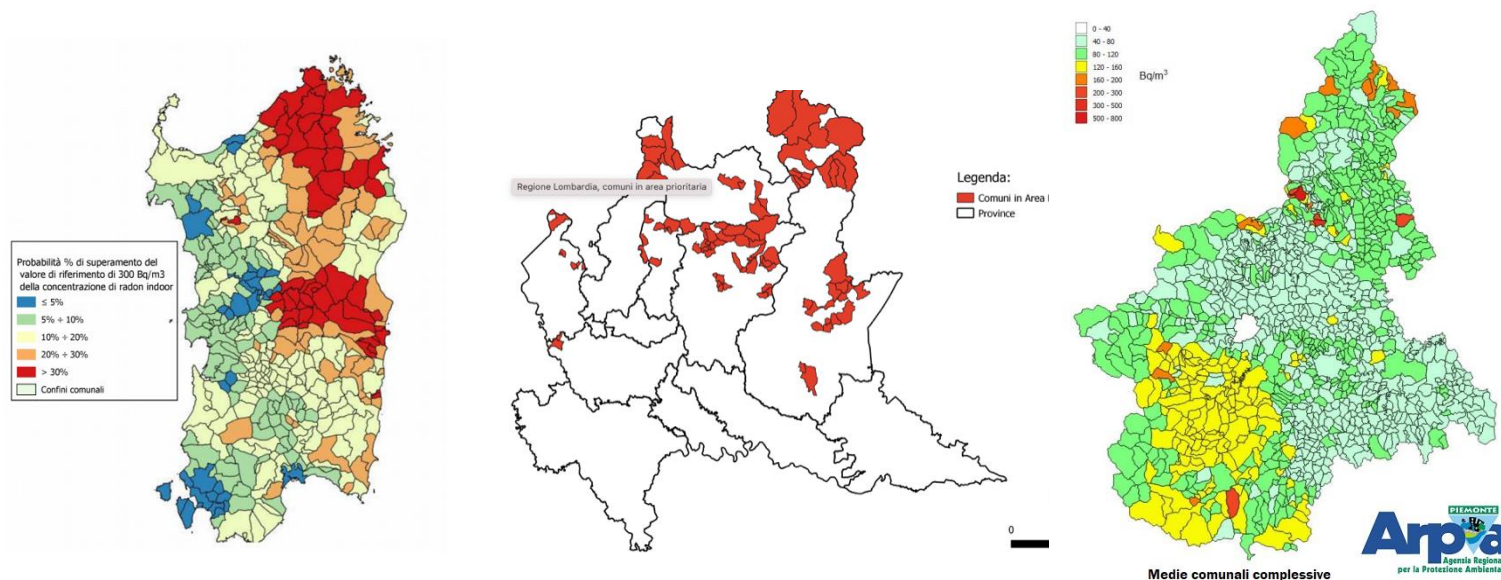
Capo I “Esposizione al radon”

Sezione II – Esposizione al radon nei luoghi di lavoro

• Articolo 16

Identifica i luoghi di lavoro ove si applica la normative:

- Locali semisotterranei o situati al piano terra nella Aree Prioritarie.
- Specifiche tipologie di luoghi di lavoro individuate dal PNAR.

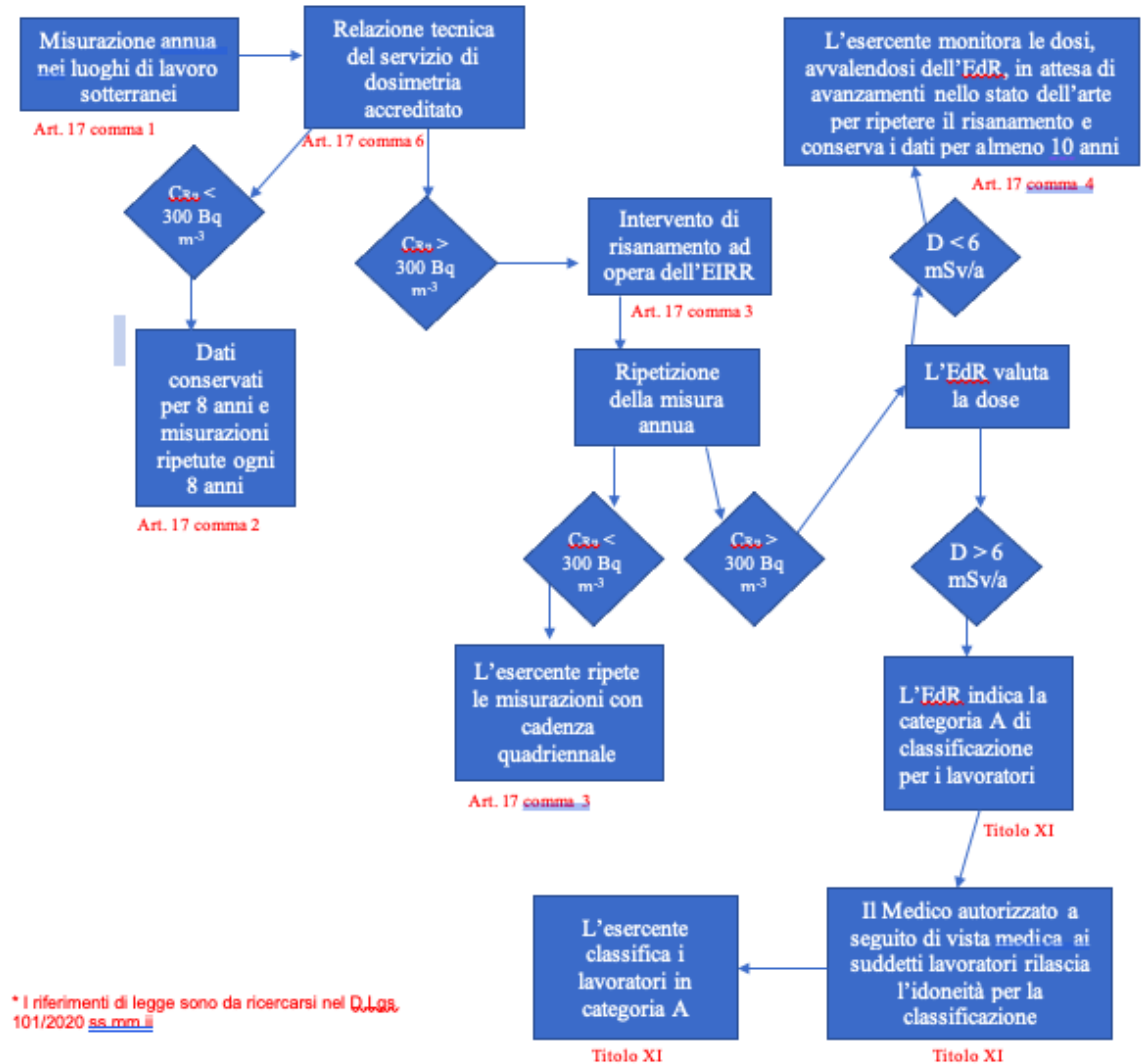


Il PNAR prende atto che Sardegna, Piemonte e Lombardia hanno già pubblicato l'elenco delle Aree Prioritarie.

Tabella 16 Specifiche tipologie di luoghi di lavoro, ai sensi dell'articolo 16, c.1, lettera c)

Specifiche tipologie di luoghi di lavoro, ai sensi dell'articolo 16, c.1, lettera c)	
1.	Locali chiusi con impianti di trattamento per la potabilizzazione dell'acqua in vasca aperta
2.	Impianti di imbottigliamento delle acque minerali (naturali e di sorgente)
3.	Centrali idroelettriche

- D.Lgs. 101/2020 ss.mm.ii.
- Titolo IV “Sorgenti naturali di radiazioni ionizzanti”
- Capo I “Esposizione al radon”
- Sezione 2 – Esposizione al radon nei luoghi di lavoro
- **Articolo 17 – Obblighi dell’Esercente**



Servizi di dosimetria

«3. I soggetti che svolgono attività di servizio di dosimetria individuale e quelli di cui agli articoli 17, comma 6, 19, comma 4, e 22, comma 6, devono essere riconosciuti idonei, nell'ambito delle norme di buona tecnica, tenendo anche conto delle decisioni, delle raccomandazioni e degli orientamenti tecnici forniti dalla Commissione europea o da organismi internazionali. Nel procedimento di riconoscimento si tiene conto dei tipi di apparecchi di misura e delle metodiche impiegate. Con uno o più decreti del Ministro del lavoro e delle politiche sociali, di concerto con il Ministro della salute, sentiti i Ministri dell'ambiente e della sicurezza energetica e dell'interno, nonché l'ISIN, l'Istituto di metrologia primaria delle radiazioni ionizzanti e l'INAIL, sono disciplinate, nel rispetto dei requisiti minimi di cui al comma 3-bis e dell'allegato II, le modalità per il riconoscimento dei soggetti che svolgono attività di servizio di dosimetria e il riconoscimento degli organismi di misura. Ai fini del riconoscimento è acquisito il parere tecnico dell'ISIN e dell'INAIL.

3-bis. I servizi di dosimetria e gli organismi di misura riconosciuti idonei garantiscono i seguenti requisiti minimi:

a) hanno una organizzazione conforme ai requisiti della norma tecnica UNI CEI EN ISO/IEC 17025 ovvero sono in possesso di un accreditamento in conformità alla norma 17025 per il servizio di dosimetria;

b) operano con personale tecnico dipendente o con rapporto esclusivo di collaborazione;

c) garantiscono l'effettuazione di test di interlaboratorio per verificare la correttezza della misura dosimetrica e radiometrica;

d) utilizzano un sistema di misurazione conforme allo stato della tecnica;

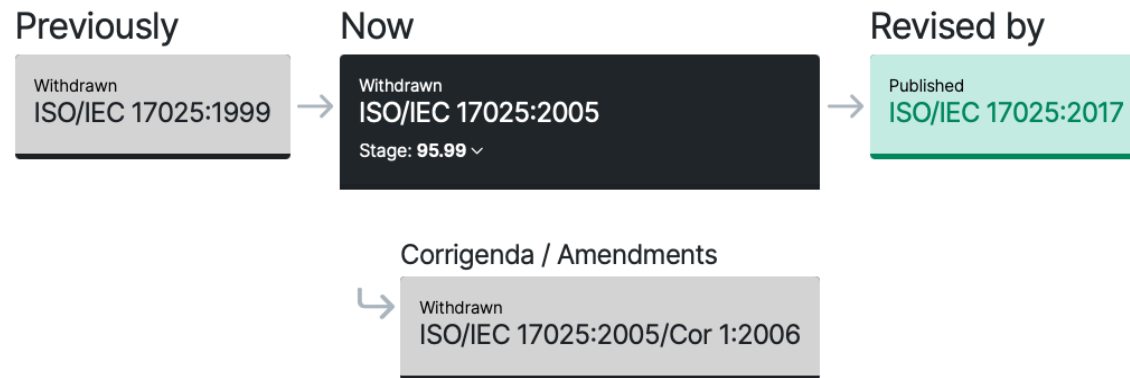
e) assicurano la formazione e informazione e l'aggiornamento del personale addetto ai servizi di dosimetria;

f) stipulano una polizza assicurativa a copertura delle attività oggetto del servizio di dosimetria o dell'organismo di misura.

I decreti di cui al comma 3 indicano i titoli di studio e professionali per il personale del servizio di dosimetria o dell'organismo di misura, che deve essere in numero sufficiente per poter svolgere il servizio.

ISO/IEC 17025:2005

General requirements for the competence of testing and calibration laboratories

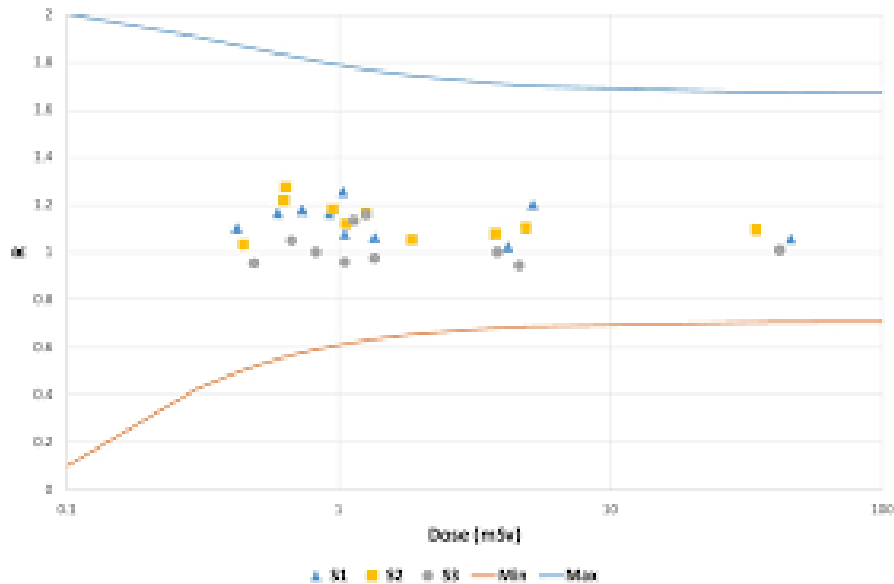


- La norma UNI EN ISO/IEC 17025 è uno standard comprensivo di requisiti gestionali e tecnici, impiegato in tutto il mondo per conseguire l'accreditamento di prove, metodi di misura e taratura da parte di laboratorio

accreditamento

ISO 14146:2018

Radiological protection — Criteria and performance limits for the periodic evaluation of dosimetry services



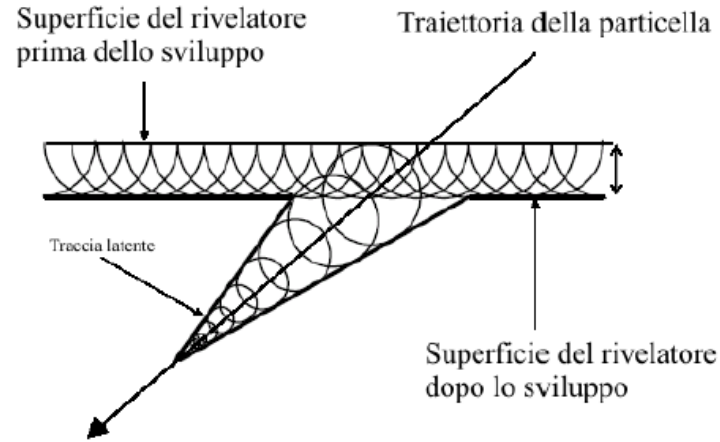
- La qualità di un fornitore di un servizio di dosimetria dipende sia dalle caratteristiche del sistema di dosimetria approvato sia dalla formazione e dall'esperienza del personale, nonché dalle procedure di taratura e programmi di garanzia della qualità.
- La norma ISO 14146 specifica i criteri e le procedure di prova da utilizzare per la verifica periodica delle prestazioni dei servizi di dosimetria che forniscono dosimetri personali e/o di area.
- La valutazione delle prestazioni può essere effettuata come parte della procedura di approvazione per un sistema di dosimetria o come controllo indipendente per verificare che un servizio di dosimetria soddisfi le prestazioni della prova di tipo nazionale o internazionale specificate nelle condizioni di esposizione effettive o che riproducono gli ambienti di lavoro delle attività radiologiche monitorate.

Tecniche di misura

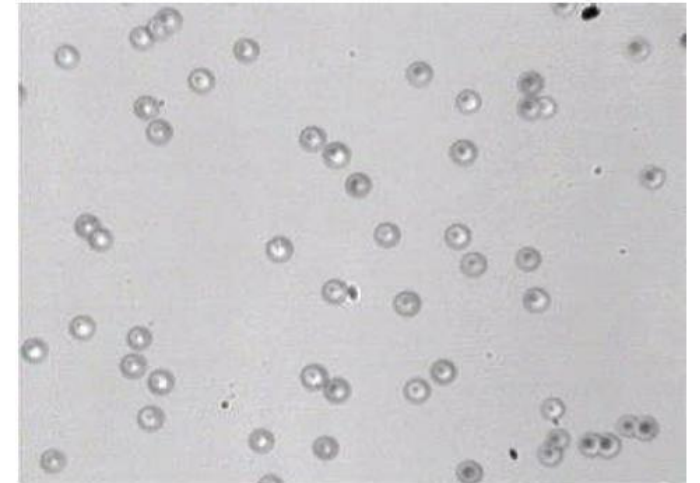


Rivelatori di tracce nucleari

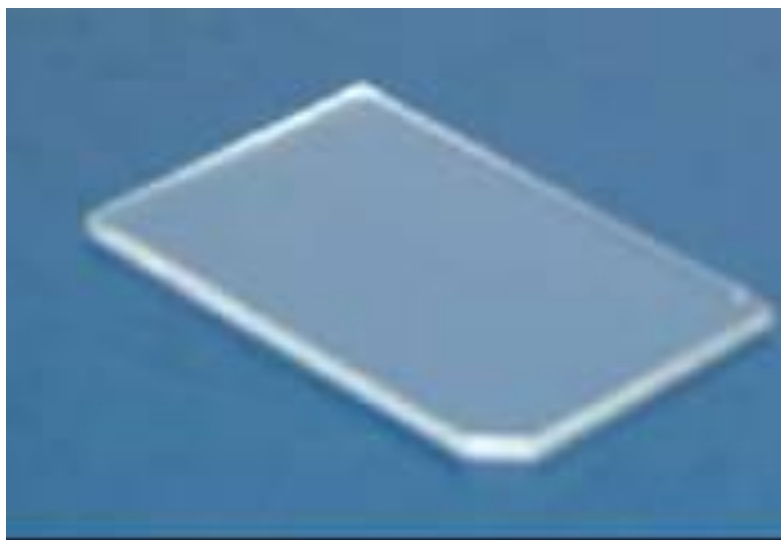
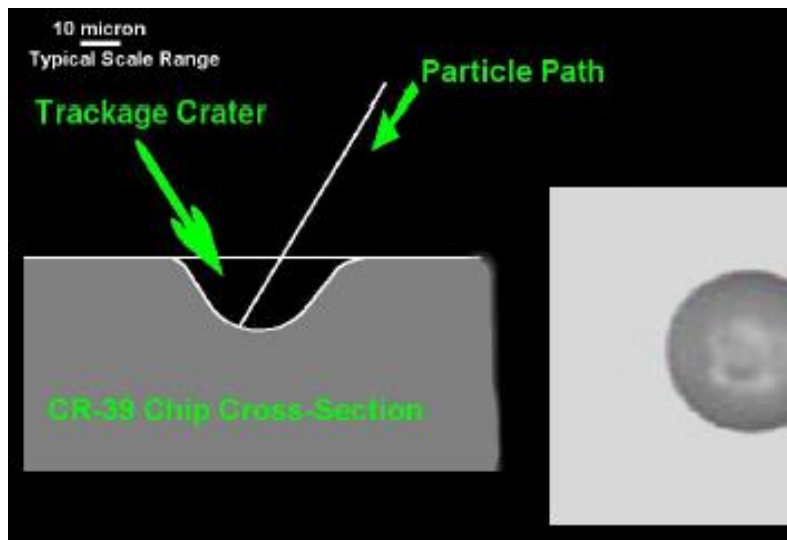
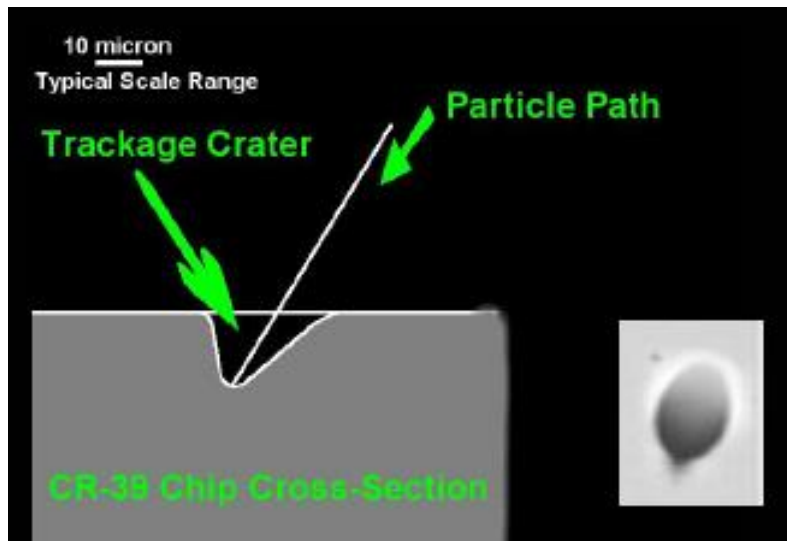
► L'energia rilasciata da particelle cariche, in opportuni materiali, può produrre un vero e proprio danneggiamento strutturale che, molto spesso, viene evidenziato con un processo chimico. Un esempio è lo sviluppo delle lastre di CR39 utilizzate per la rivelazione del radon.



Rivelatori passivi: misura di concentrazione media annua di attività di radon in aria

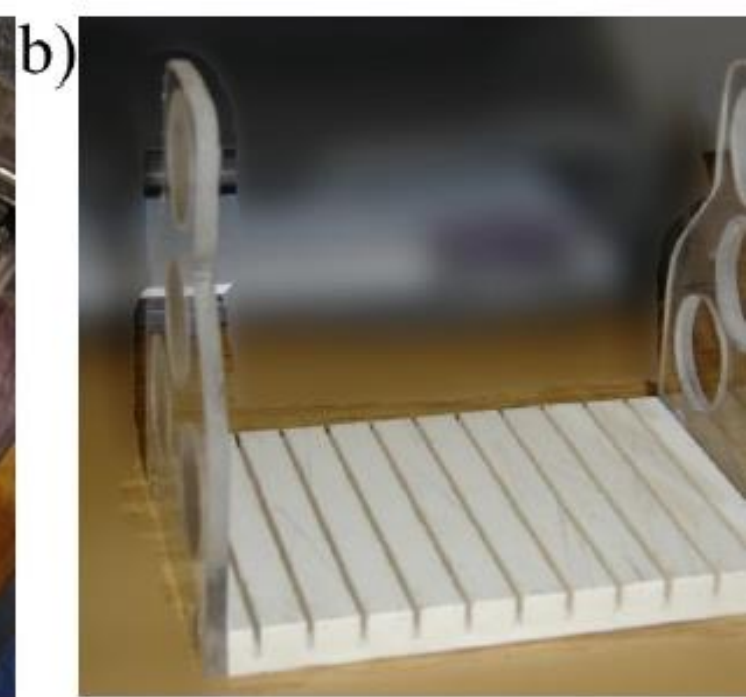


Tracce di particelle alfa accelerate a 11 MeV incidenti normalmente su pellicola CR39

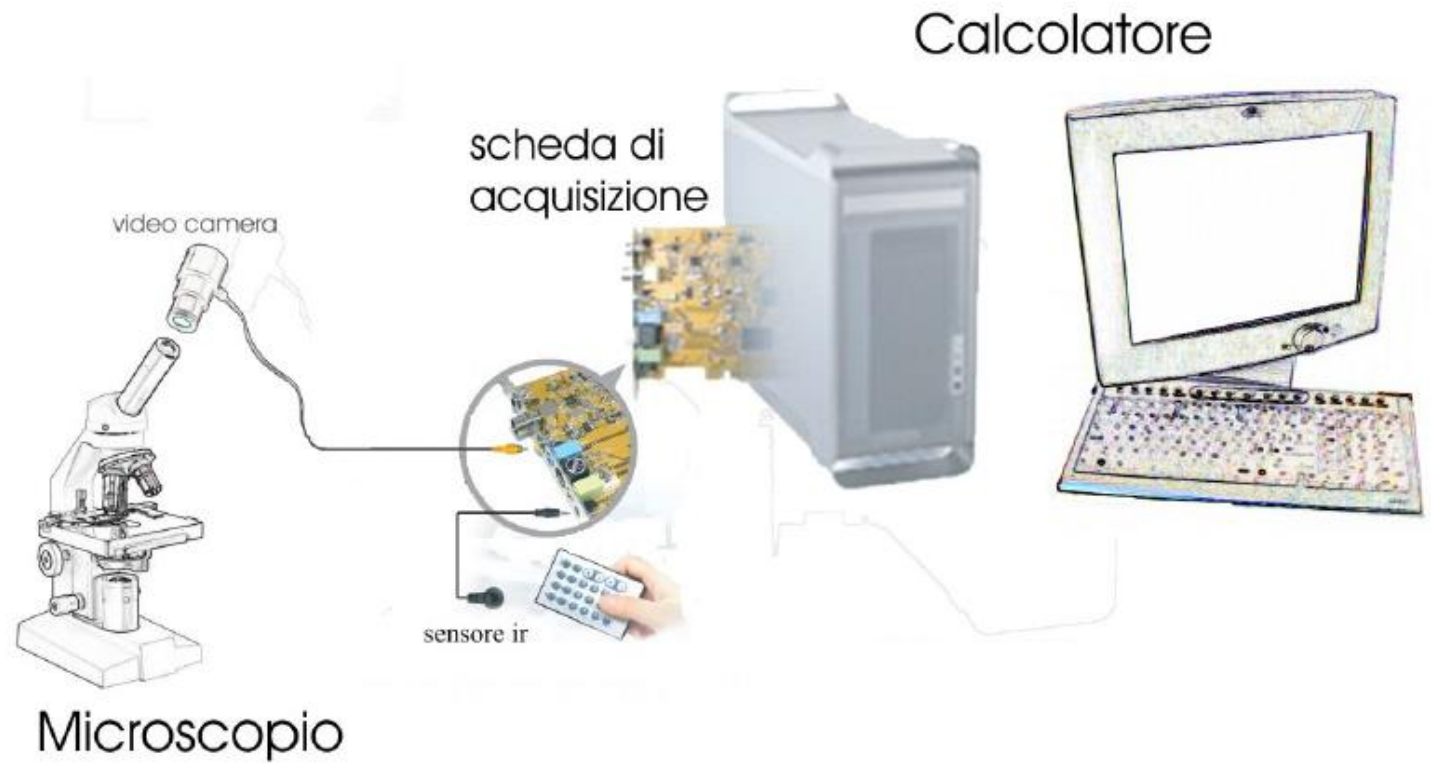


Rivelatori di tracce nucleari

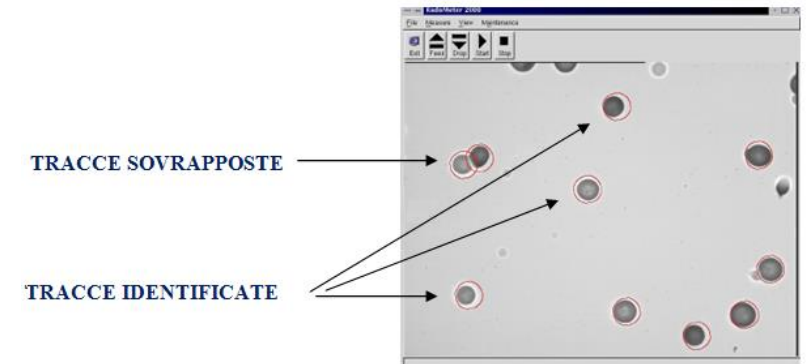
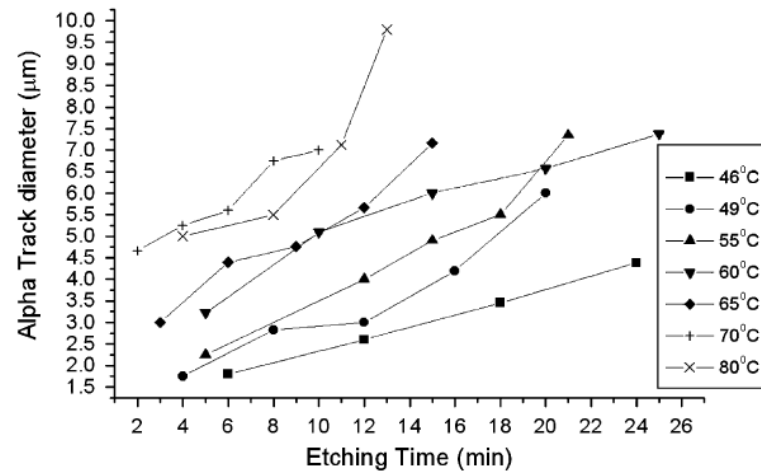
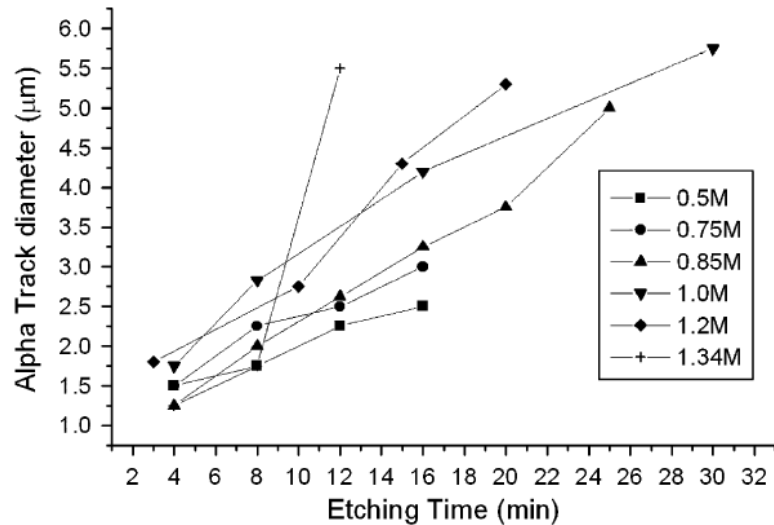
Rivelatori di tracce nucleari: sviluppo chimico



Rivelatori di tracce nucleari: sistema di lettura



Rivelatori di tracce nucleari – qualità della misurazione



Rivelatori di tracce nucleari – qualità della misurazione

AGEING & FADING

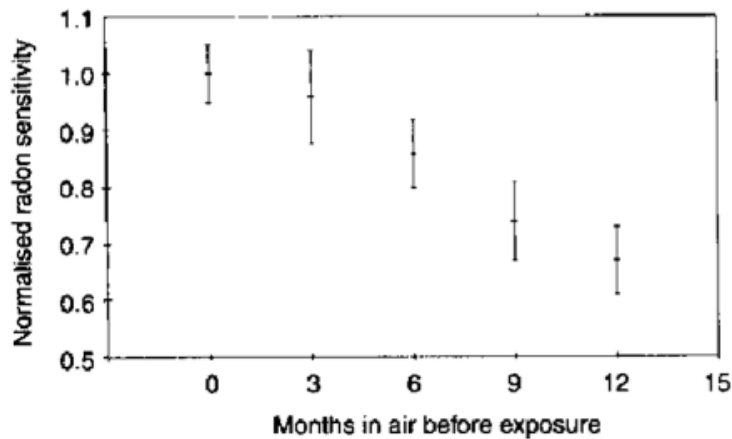


Figure 2. Ageing effect on radon track sensitivity.

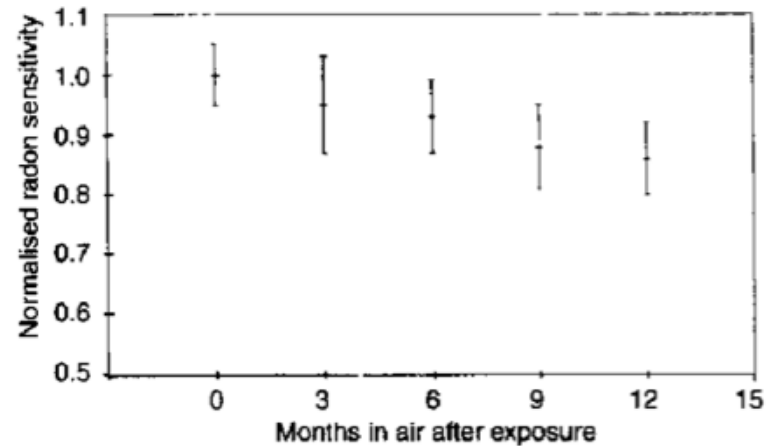


Figure 3. Fading effect on radon track sensitivity.

Table 1. Overall reduction in radon track sensitivity due to ageing and fading.

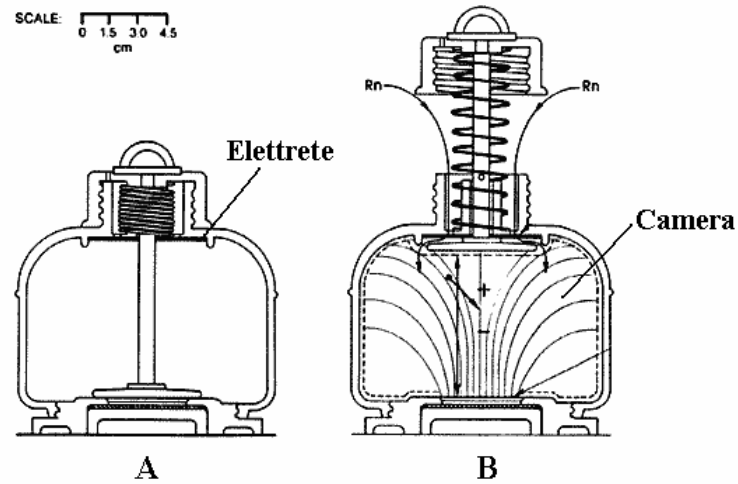
Duration of exposure (months)	Overall reduction in sensitivity (%)
3	5
6	11
9	17
12	23

Rivelatori ad elettrete

Questo tipo di rivelatore si basa sull'uso di un voltmetro digitale per misurare la variazione di potenziale indotta su un elettrete dalla raccolta degli ioni prodotti dal decadimento del radon e dei suoi figli. L'elettrete è un disco di materiale dielettrico, generalmente Teflon, che presenta una carica elettrica stabile se rimane imperturbato.

Rivelatori passivi: misura di concentrazione media di attività di radon in aria a medio e lungo termine.



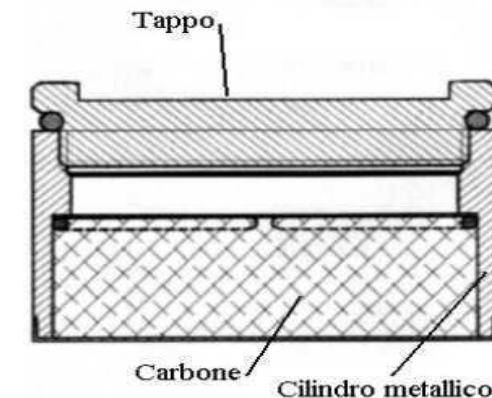


Il rivelatore, inizialmente chiuso (figura A), viene aperto per permettere l'ingresso del campione di aria contenente il radon da misurare (figura B). L'elettrete è posto in una camera contenente un certo volume di aria e raccoglie gli ioni prodotti dalle particelle emesse nel decadimento del radon e dei suoi figli. In seguito a tale fenomeno il potenziale elettrostatico si riduce in modo proporzionale alla radioattività presente nella camera. Misurando la perdita di potenziale durante un certo intervallo di tempo e utilizzando appropriati fattori di calibrazione si determina la concentrazione media di radon nella camera e quindi nell'ambiente. Sono strumenti che vengono utilizzati per tempi di misurazione medio – corti che vanno dai 5 giorni fino ai 2 mesi.

Rivelatori a carboni attivi

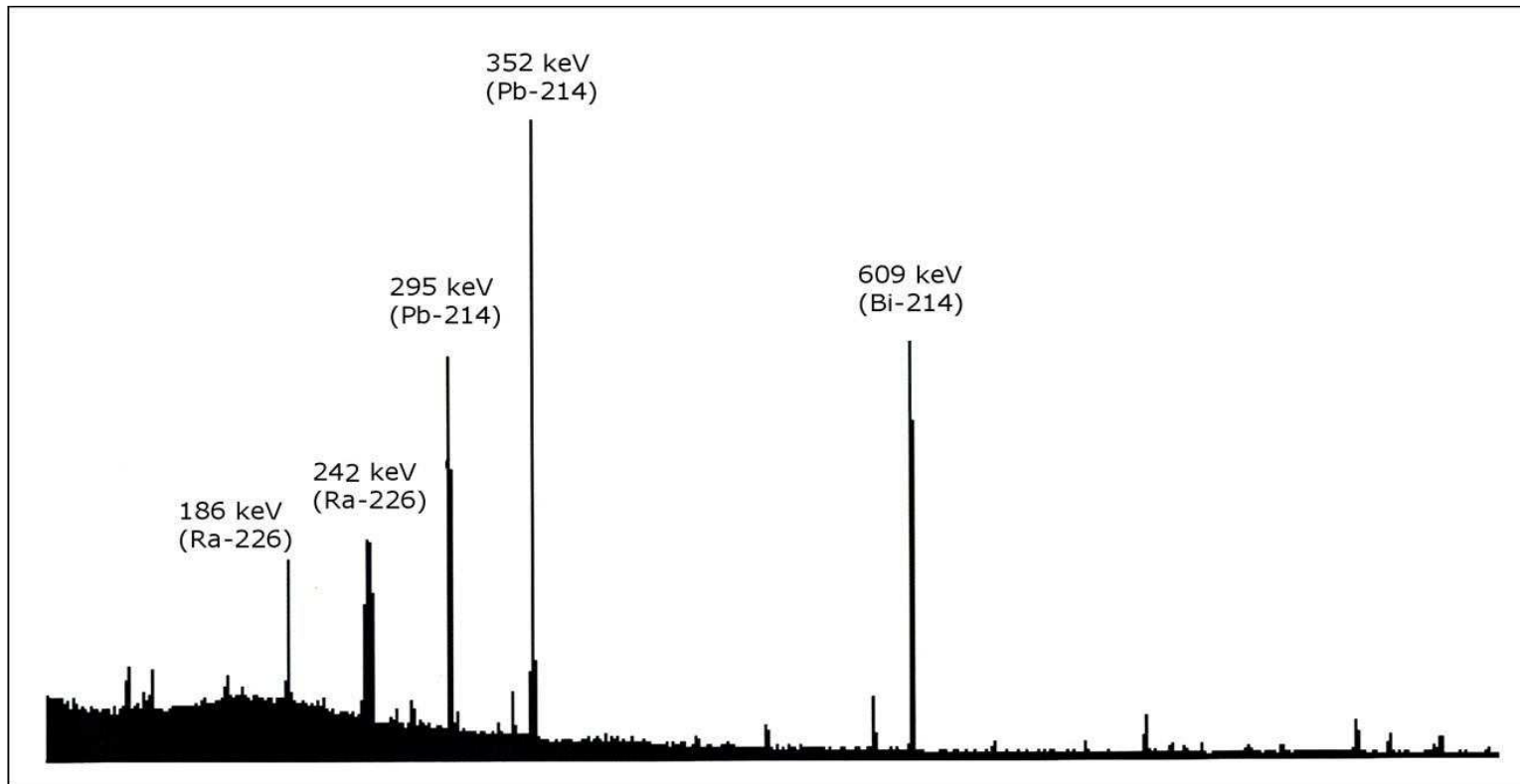
Rutherford fu il primo a mostrare che il carbone può essere utilizzato per trattenere il radon mediante adsorbimento e fare una misura della sua concentrazione in aria. Per adsorbimento si intende il fenomeno chimico che consiste nell'accumulo di una o più sostanze chimiche, fluide, liquide o gassose dette "adsorbati" sulla superficie di un materiale solido o liquido, detto "adsorbente", mentre la penetrazione della sostanza all'interno del materiale è chiamata assorbimento. L'attività del ^{222}Rn è determinata mediante spettrometria γ , di solito con un rivelatore ad NaI(Tl) o con un rivelatore a semiconduttore al Germanio. I picchi analizzati sono quelli corrispondenti alla diseccitazione dei nuclei prodotti nei decadimenti di ^{214}Pb (295 e 352 keV) e ^{214}Bi (609 keV).

Rivelatori passivi: misura di concentrazione media di attività di radon in aria a medio e lungo termine.

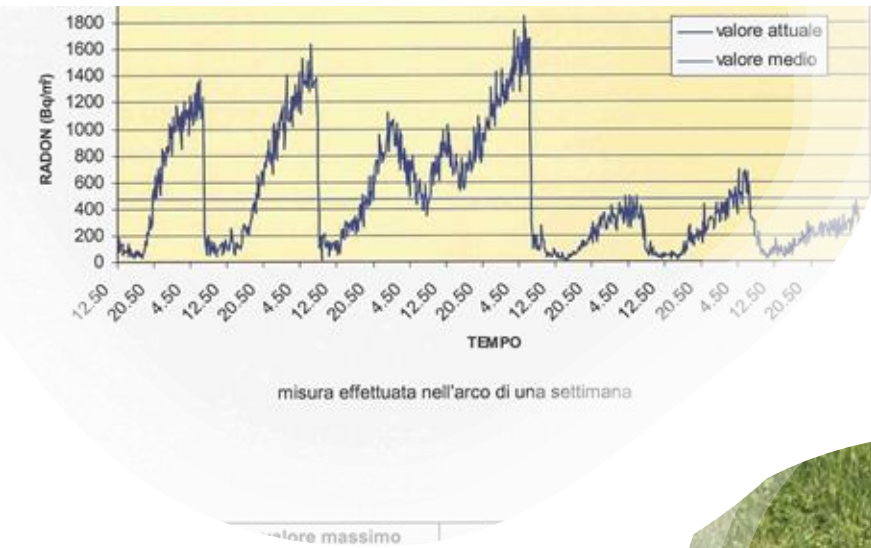


Contenitori di metallo cilindrici con un diametro compreso tra 5 e 10 cm e un altezza tra i 2 e i 5 cm, riempiti con una quantità di carbone variabile da 25 a 250 g

L'accuratezza della misura può essere influenzata dal tempo di esposizione, dalla massa del carbone, dalla accuratezza con cui viene eseguita la spettrometria e dall'eventuale adsorbimento dell'acqua presente nell'atmosfera. La correzione per la ritenzione dell'acqua, che di solito è valutata pesando il rivelatore prima e dopo l'esposizione, può essere superiore al 50%.



- **Rivelatori Attivi: misurazione quasi-continua della concentrazione**



Un esempio di variabilità giornaliera di concentrazione di attività di radon

Abitazione a risparmio energetico

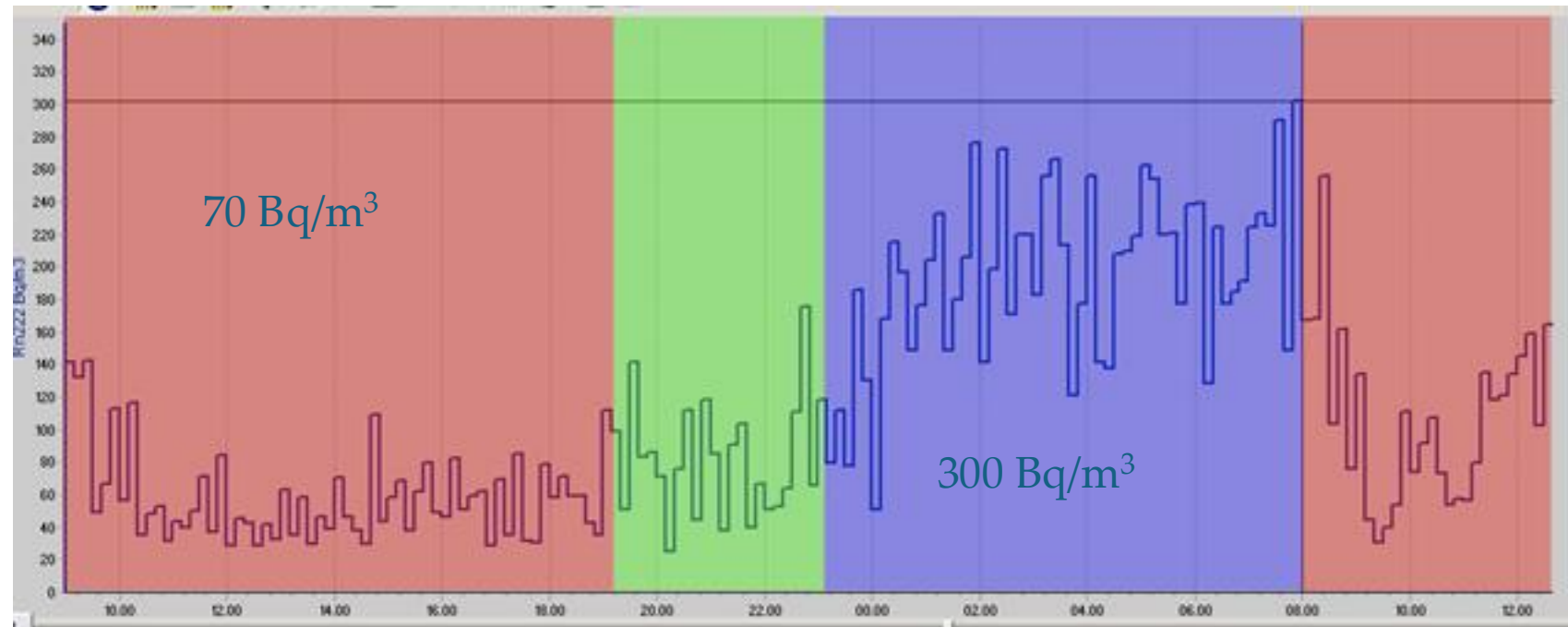
- Sabbie sottili, limi, argille marnose cineree
- Zona sismica 3
- Assenza di faglie

- Piano rialzato
- Pareti in muratura intonacate

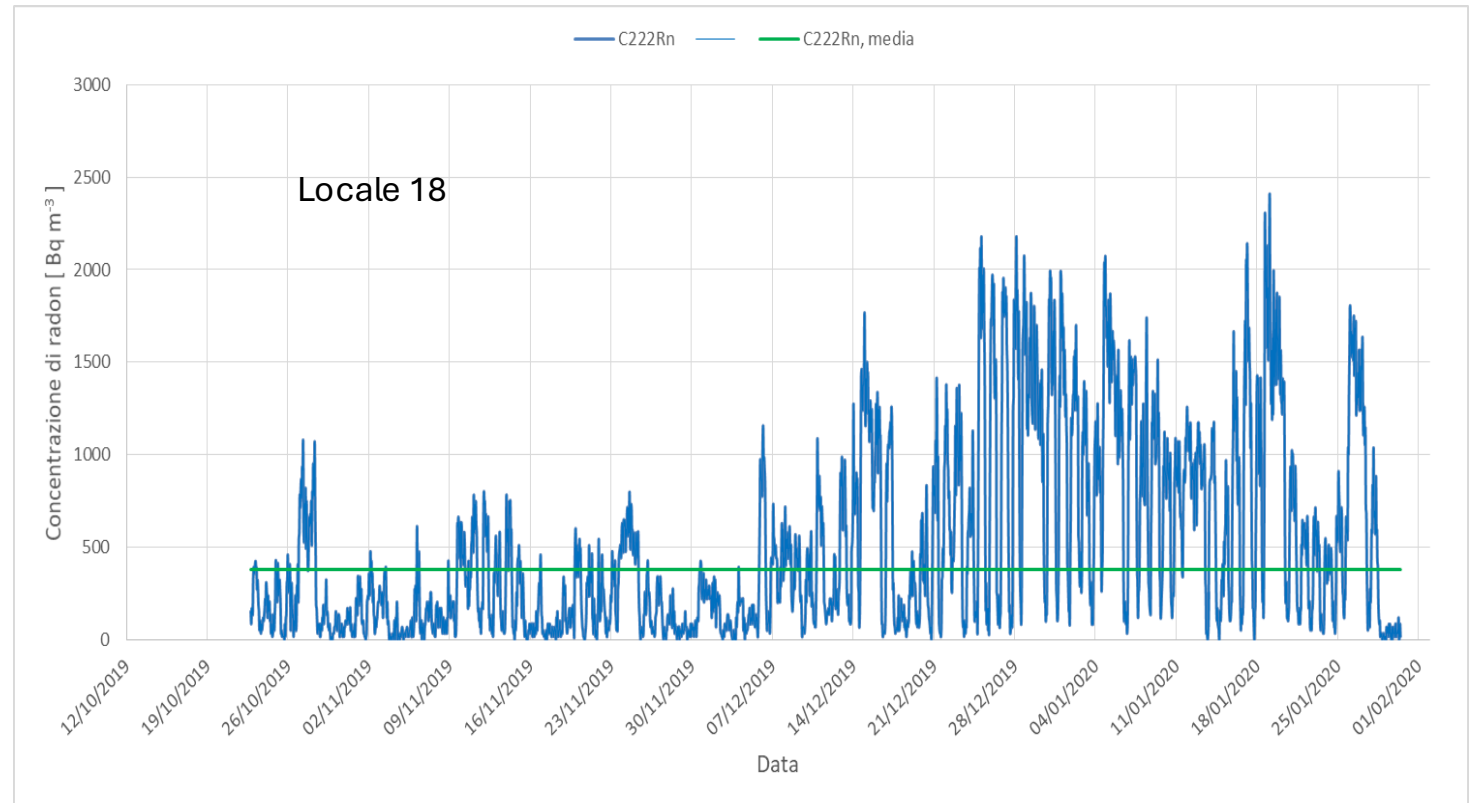
Accensione termocamino

Normale attività antropica

Notte

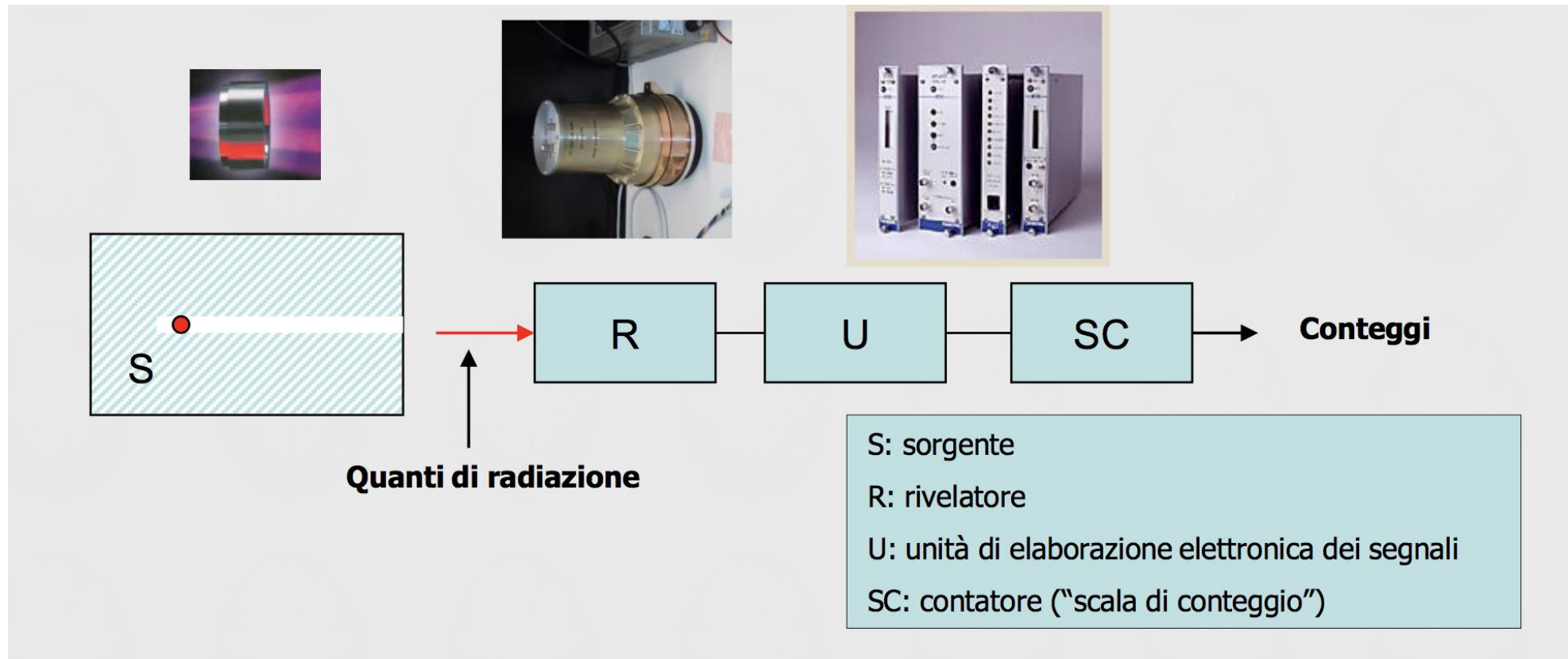


► I rivelatori
attivi sono
indispensabili
per
l'ottimizzazione
degli interventi di
risanamento



Misure nucleari

- Gli impulsi di tensione prodotti nei rivelatori, dopo elaborazione elettronica, danno origine a conteggi che rappresentano il numero di quanti di radiazione rivelati nel tempo di misura.
- **Rateo di conteggio = numero di conteggi/tempo di misura**

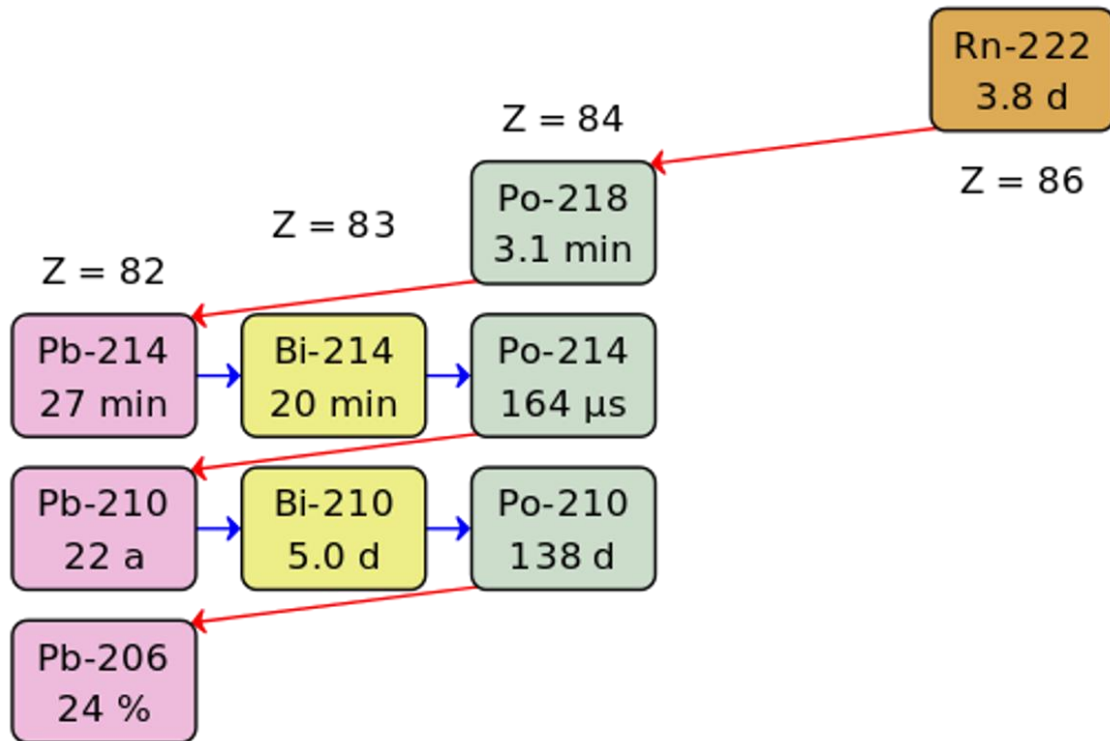


- Il Rateo di conteggio risulta :

- $R = A * b * \varepsilon_g * \varepsilon_i$

dove:

- A è l'attività della sorgente che si sta misurando e indica la *velocità* con cui la sorgente decade e quindi emette le sue radiazioni.
- b è la percentuale di decadimento della sorgente in uno specifico canale, che comporta l'emissione di una radiazione con una specifica energia. Alcune sorgenti infatti possono decadere in «modi diversi» e b ne tiene conto. Il prodotto di A * b indica quindi quante radiazioni sono emesse nell'unità di tempo
- ε_g è l'efficienza geometrica di rivelazione e indica quante radiazioni riescono a incidere sul rivelatore per unità di tempo
- ε_i è l'efficienza intrinseca del rivelatore e indica quante radiazioni sono assorbite nel rivelatore e quindi rivelate, per unità di tempo



- Nel caso del radon, le radiazioni emesse sono le particelle alfa prodotte dal radon e dalla sua progenie.
- La radiazione viene emessa all'interno del volume del rivelatore dopo il decadimento.
- Nel caso degli strumenti di misura di radon parliamo della sensibilità dello strumento. Questo concetto indica la combinazione di due probabilità: quella dell'ingresso dell'atomo di radon nel volume del rivelatore e quella che una particella alfa emessa dal radon stesso, o da un suo figlio, all'interno del rivelatore, interagisca in modo utile alla rivelazione.
- La **sensibilità** si valuta in conteggi al minuto per una specifica concentrazione di attività di riferimento: 100 Bq m^{-3} (parliamo sempre di concentrazioni medie di attività in un volume specifico di aria).

Tipologia di rivelatori attivi

- I rivelatori attivi nelle misure nucleari sono quelli che richiedono alimentazione elettrica.
- Nel caso dei rivelatori di radon esistono i rivelatori attivi si distinguono per il loro principio di funzionamento:
 - Rivelatori a gas – camera a ionizzazione
 - Rivelatori a semiconduttore – silicio
 - Rivelatori a scintillazione – Cella di Lucas



Precisione e accuratezza

Due fattori molto importanti per quanto riguarda le misure nucleari e quindi gli strumenti di misura sono la **precisione** e l'**accuratezza**.

L'accuratezza può dipendere da:

- Variazioni nella **risposta** dei diversi elementi che compongono la **catena di elettronica nucleare** (caratteristica dello specifico rivelatore);
- **Interferenze** causate dalla **rivelazione di specie atomiche diverse (toron)** da quelle oggetto della misura

La precisione invece dipende dalla natura casuale del decadimento radioattivo e può essere migliorata aumentando i conteggi, quindi aumentando il volume d'aria che si sta misurando, o il tempo di misura.

L'accuratezza invece può essere migliorata sottoponendo a taratura periodica gli strumenti.

Rivelatori attivi: classificazione temporale

Tra i rivelatori attivi si può fare un'ulteriore classificazione:

“**Grab-sampling**”, tecnica che prevede l'analisi del radon contenuto in una certa quantità discreta d'aria che viene campionata per mezzo di un opportuno compressore;

«**Continuos sampling**», tecnica che prevede l'analisi continuativa della concentrazione di radon nell'aria contenuta nell'ambiente monitorato.

I primi sono in grado di restituire, sfruttando la maggiore statistica di conteggio garantita dal campionamento forzato, il valore della concentrazione di radon indoor su **intervalli temporali molto contenuti**, fino ad un minuto. Tali rivelatori trovano impiego preferenziale durante le fasi di sopralluogo finalizzate alla determinazione delle vie prioritarie di ingresso di radon nell'ambiente che si sta monitorando e che eventualmente si intende risanare.

I secondi, hanno una statistica di conteggio, a parità di concentrazione, peggiore rispetto ai primi e se per la maggioranza di essi 60 minuti rappresenta la durata di riferimento del ciclo di conteggio, le realizzazioni più riuscite e ad alta sensibilità consentono l'ottenimento di valori sufficientemente precisi anche su intervalli di misura di 10 minuti. Trovano applicazione nelle situazioni più varie, dall'utilizzo come monitori di riferimento in ambito metrologico e non, fino al monitoraggio di ambienti indoor per la valutazione della variabilità temporale.

Alcuni strumenti possono funzionare in entrambe le modalità, ossia come grab sampler o come CRMs: per esempio il **Radon Mapper**.

Rivelatore tipo cella a scintillazione: Cella di Lucas

- Il dispositivo consta di un **vessel** la cui **superficie interna** è **parzialmente rivestita** con uno scintillatore al **solfo al zinco attivato all'argento ZnS (Ag)**. Il contenitore presenta generalmente una **superficie trasparente** piatta, che costituisce la finestra di visualizzazione. Il vessel presenta almeno una (a volte due) **porta di campionamento**, intercettata mediante opportune valvole. Una particella alfa prodotta all'interno della cella può perdere una porzione più o meno rilevante della sua energia all'interno dello scintillatore dando luogo all'emissione di una scintilla luminosa: quest'ultima viene vista dal **fotomoltiplicatore**, che si trova in corrispondenza della finestra trasparente.
- Durante l'analisi, un campione d'aria viene immesso nella cella. Nelle realizzazioni più precise, un'attesa di almeno 3 ore consente l'instaurarsi dell'equilibrio, nella catena di decadimento del radon, fino al ^{214}Po . Fissato un certo periodo di attesa e un intervallo di conteggio, l'ammontare del radon contenuto nel vessel è proporzionale al numero di decadimento osservato al netto dei conteggi del fondo.

Rivelatori a Cella di Lucas: Radon Mapper

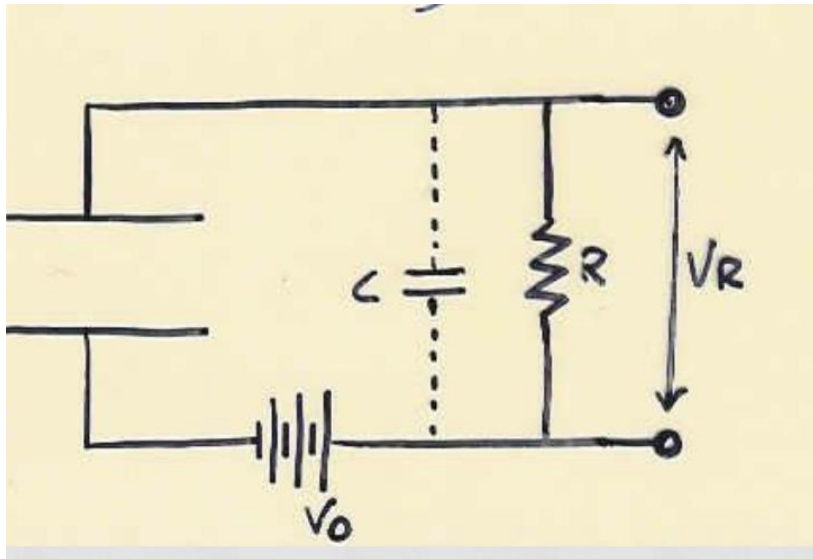
Dimensioni unità base
cm 41 x 16 x 13
Peso unità base kg 3.5



Batteria interna autonomia 6 h

- Radon Mapper nasce per i professionisti delle azioni di mitigazione, ove si richiedono rapidità di campionamento e accesso da remoto, e utilizza le soluzioni tecnologiche più avanzate per una completa versatilità
- I dati sono visibili in tempo reale a display o su dispositivi come smartphone, tablet, PC.
- Non occorre impostare un tempo di integrazione: i dati sono registrati ogni minuto!
- Non si richiede installazione di software: l'interfaccia utente è accessibile tramite browser
- Archiviazione dati su cloud, senza limiti di spazio
- Tramite il vostro account potrete facilmente richiamarli, ordinati in “campagne di misura”, in formato grafico o tabellare

Camera a ionizzazione



- Ogni quanto di radiazione genera un impulso di tensione registrabile
- La deriva delle cariche riduce la tensione V_0 applicata agli elettrodi della camera
- Ai capi della resistenza di carico R appare una tensione V_R che raggiunge il suo valore massimo quando tutte le cariche vengono raccolte agli elettrodi. Il ripristino delle condizioni iniziali è determinato dalla costante di tempo RC del circuito
- Se non ci fosse la resistenza di carico la tensione verrebbe ripristinata istantaneamente al valore precedente l'interazione e non verrebbe generato alcun segnale utile.

CRM-LPT funzionamento e caratteristiche

- E' un monitor basato sulla tecnologia della **camera a ionizzazione** con campionamento passivo. Registra con frequenza oraria la concentrazione radon rilevata e i parametri ambientali temperatura, umidità e pressione atmosferica. La memoria interna ha una capacità pari a 8 giorni di misura. La rapidità di risposta lo rende un ottimo strumento per screening anche di poche ore. Le batterie interne di lunga durata consentono un utilizzo fino a 12 mesi senza necessità di sostituzione, e questo permette l'utilizzo dello strumento anche in assenza di rete di alimentazione elettrica. Quando si fa partire la misura un self test automatico verifica il buon funzionamento della camera a ionizzazione e che il livello delle batterie sia sufficiente per almeno 8 giorni. CRM-510 è fornito completo di software e di valigia di trasporto.
- Il range di misura da circa 20 Bq m^{-3} a 750 Bq m^{-3} .
- La sensibilità è di circa $0,45 \text{ cpm per } 100 \text{ Bq m}^{-3}$
- Il peso è di $1,14 \text{ kg}$ e le dimensioni di $16 \times 15 \times 7 \text{ cm}$.

AlphaGUARD

- L'AlphaGUARD è un rivelatore del tipo camera a ionizzazione con un volume di 0,6 L, che usa la spettroscopia alfa delle particelle prodotte dal radon e dalla sua progenie sia in modalità diffusione che in aspirazione forzata
- Monitora una serie di parametri ambientali quali temperatura, pressione e umidità relativa
- I dati possono essere visualizzati tramite software dataVIEW ma è possibile anche visualizzare tramite l'intuitiva interfaccia display i dati graficati direttamente sullo strumento.

Radometro – Modello Alphaguard PQ2000 della Genitron GmbH



AlphaE



Questo è un dispositivo di misura portatile, veloce e pratico.

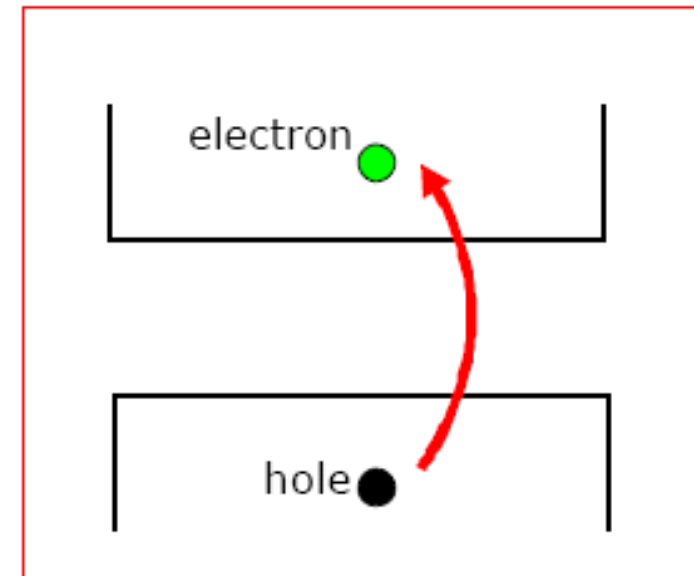
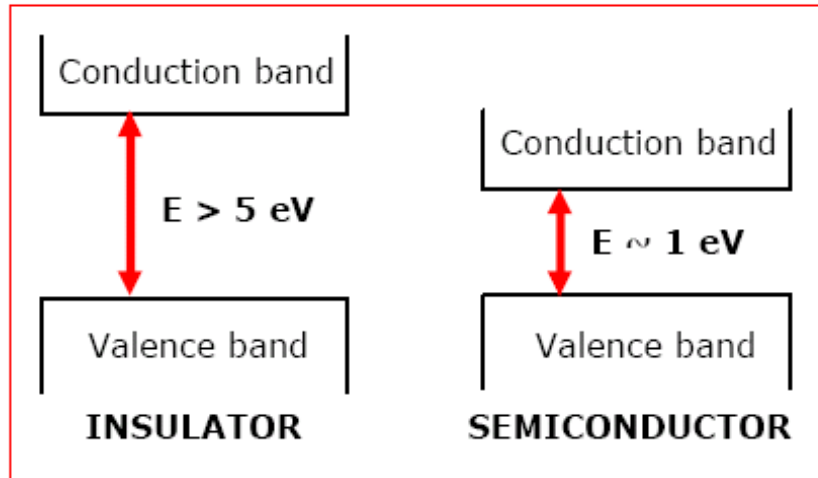
Essendo piccolo e maneggevole è adatto per la misura dell'esposizione personale al gas radon e quindi quando si vuole fare una stima rapida della dose di un lavoratore.

Ha una batteria con autonomia di 6 mesi e monitora i principali parametri ambientali quali temperatura, pressione e umidità relativa e ha anche un sensore di movimento per valutare la presenza del personale.

Anche questi dati sono immagazzinati e possono essere stampati in un secondo momento.

È Adatto per la misura di bassi livelli di concentrazione di radon, come nelle comuni abitazioni, o luoghi di lavoro.

Rivelatore a semiconduttore





La sonda si basa su un sistema di rivelazione a **semiconduttore**. Il radon entra nella camera per diffusione attraverso un filtro di ingresso nella parte inferiore della sonda.

La sonda misura e elabora continuamente i risultati a intervalli di 2 minuti, da cui calcola continuamente il valore della concentrazione di radon a breve termine (media mobile di 0,5 ore - media di 15 processi consecutivi di 2 minuti: Po218). Calcola anche la concentrazione di radon a lungo termine (media di 24 ore di (Po218) (Po214)). Gli spettri di energia misurati (in genere a intervalli di 12 ore) vengono registrati anche nella memoria della sonda. I dati della sonda possono essere scaricati continuamente durante la misurazione oppure dopo la misurazione.

I valori misurati possono essere scaricati direttamente dalla sonda sul PC tramite il connettore USB o in modalità wireless tramite l'unità centrale.

Confronti

	Sensibilità	Range di misura	Praticità	Misure complementari (suolo, acqua)	Ordine di grandezza costo
Radon Mapper	3,4 cpm/ 100 Bq m ³)	5 - 3.000.000 Bq m ³	cm 41 x 16 x 13 Peso kg 3.5	Si	10-15k €
CRM-LPT	0,45 cpm per 100 Bq m ⁻³	20 - 750 Bq m	16x15x7 cm Peso 1,14 kg	No	2-3 k €
AlphaGUARD	5 cpm per 100 Bq m ⁻³	2- 2000000 Bq m ⁻³	32,9 x 35,5 x12,3 cm Peso 6,2 kg	Si	7-16 k €
AlphaE	0,05 cpm per 100 Bq m	20 - 10000000 Bq m ⁻³	10,8 x 6,8 x 3,0 cm Peso165 g	No	1 – 1,5 k €
Tesla	0,4 cpm per 100 Bq m ⁻³	20 – 100000 Bq m ⁻³	8 (d) cm x 17,5 cm (h)	No	0.8 – 1 k€

Riflessioni

I rivelatori di radon perseguono scopi diversi.

I rivelatori passivi cercano di sopperire alle variabilità (spesso imprevedibili) delle concentrazioni di attività di radon, per ottenere un valore mediato nel tempo.

I rivelatori attivi, la cui validità è stata riconosciuta dal PNAR, sono molto più utili in fase di prevenzione, risanamento, validazione di interventi effettuati, monitoraggio in continuo degli ambienti.

I vantaggi dei rivelatori attivi in effetti sono numerosissimi, a partire dalla velocità della risposta, per continuare con la possibilità di analizzare e gestire i dati immagazzinati dagli strumenti e sono gli unici a consentirci di monitorare la variabilità temporale. In particolare consentono di stimare un coefficiente giorno/notte in grado di fornire utili indicazioni all'Esperto di Radioprotezione per il calcolo della dose efficace dovuta al radon.

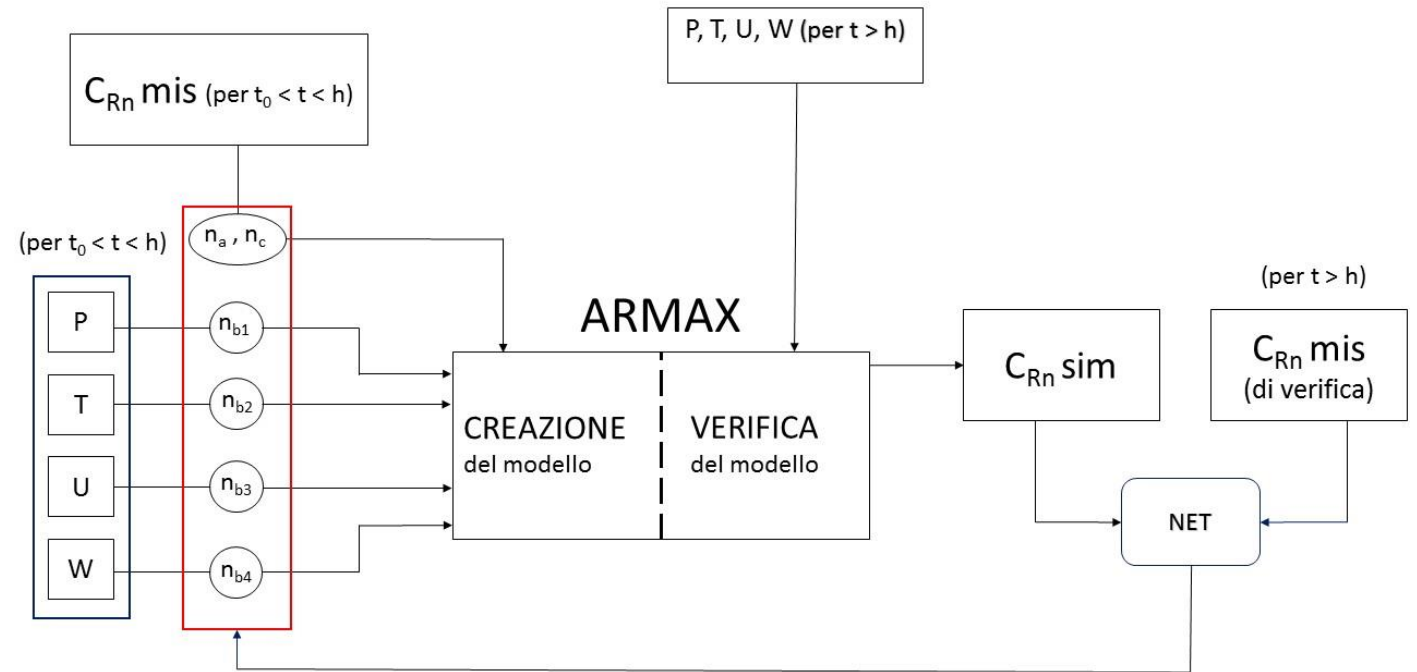
Possibili sviluppi futuri

- Nell'ottica del PNAR e dell'identificazione delle radon prone areas, ci si pone l'obiettivo di implementare le misurazioni di radon per edifici esistenti e di nuova costruzione in tutte le situazioni di compravendita, o eventuale affitto di immobili.
- In questa prospettiva risulta complesso pensare di condurre le misure con strumentazione passiva e quindi ritardare/attendere il tempo necessario per i vari campionamenti e analisi di laboratorio.
- Il riconoscimento degli strumenti attivi come rivelatori validi da un punto di vista normativo per raggiungere questi scopi, pone l'attenzione sull'affidabilità di questi ultimi e sul loro utilizzo in scala.
- L'attenzione quindi va concentrata sulle performance del singolo rivelatore ma anche sulla possibilità di usarne diversi in contemporanea per la mappatura degli ambienti. Le risposte di questi rivelatori devono essere piuttosto rapide e consentire un'agevole gestione dei dati. I dispositivi dovrebbero essere quanto più autonomi possibili dall'alimentazione elettrica e il controllo dei dati anche da remoto e in tempo reale risulta sicuramente un valore aggiunto.

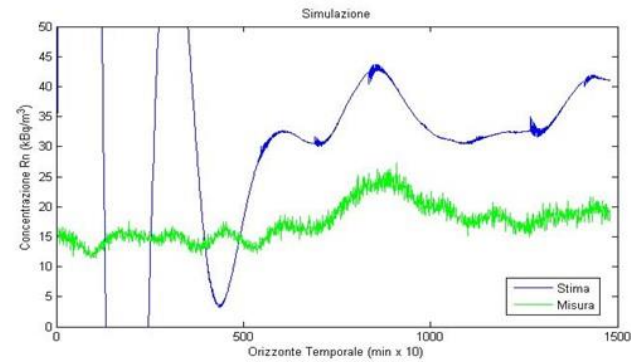
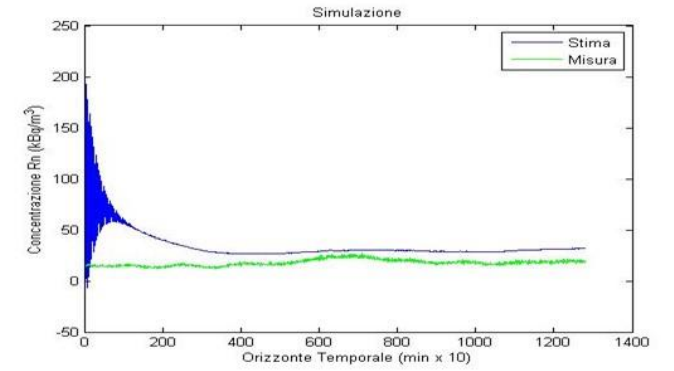
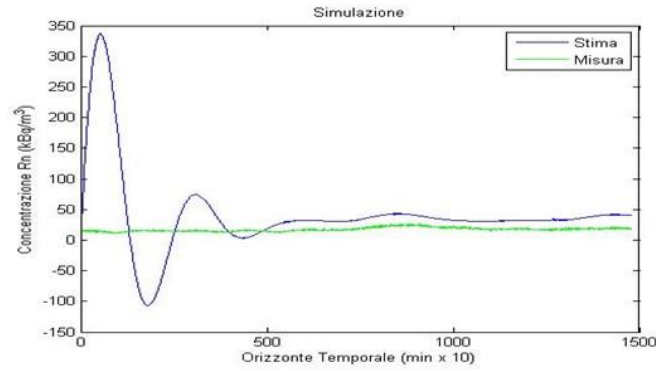
Possibili sviluppi futuri

- Tra i possibili sviluppi anche in termini di risanamento, c'è la prospettiva dell'uso combinato degli strumenti con sistemi di ventilazione che entrino in funzione sopra un determinato «valore di soglia» impostato dall'utente (alcuni dispositivi esistenti in commercio già hanno implementato un simile algoritmo)
- Inoltre risulta imprescindibile rammentare che il livello di riferimento si esprime in termini di concentrazione media annua, anche perché la dose efficace va rapportata a un valore annuo in virtù del concetto dell'esposizione e dell'espressione annuale dei limiti di dose in radioprotezione. Proprio per questo risulta interessante pensare di sviluppare modelli previsionali che, sulla base di un set di misure a breve termine di radon e parametri principali che ne influenzano la variabilità, possano stimare le concentrazioni future e quindi «prevedere» un valore medio annuo in breve tempo.

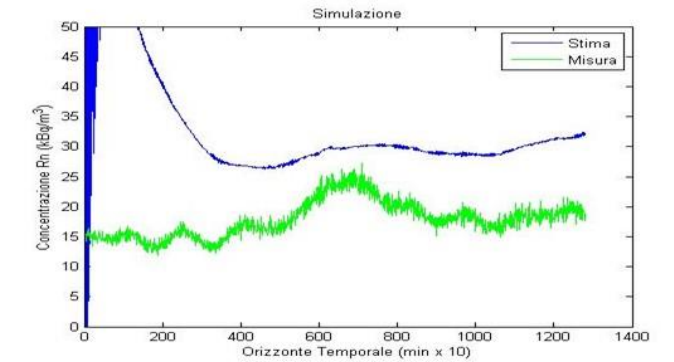
- Metodi ARMAX – Auto Regressive Moving Average with eXogenous inputs



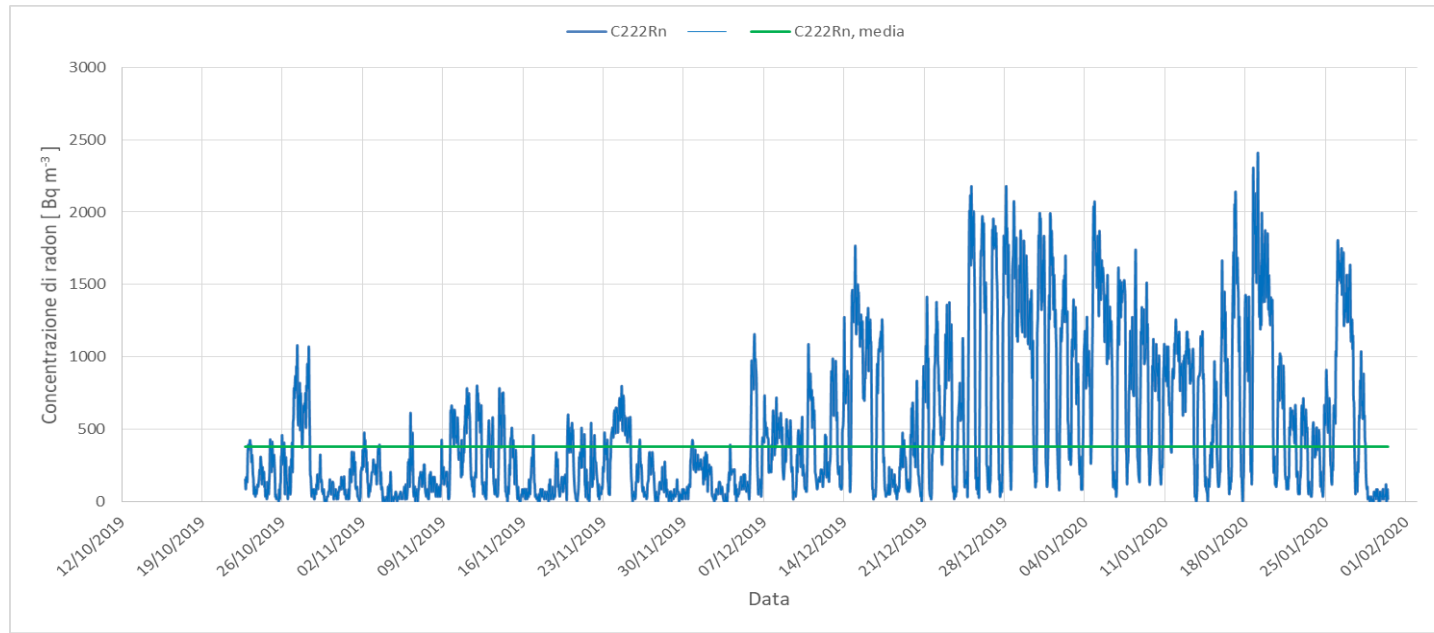
- Primi risultati sperimentali



h=400



h=600



Grazie per l'attenzione

romolo.remetti@uniroma1.it



