

Come e perché misurare il radon: **prima,** **durante e dopo il risanamento**

Christian Di Carlo



CENTRO NAZIONALE
**PROTEZIONE DALLE RADIAZIONI
E FISICA COMPUTAZIONALE**

Introduzione: rivelare radiazioni ionizzanti

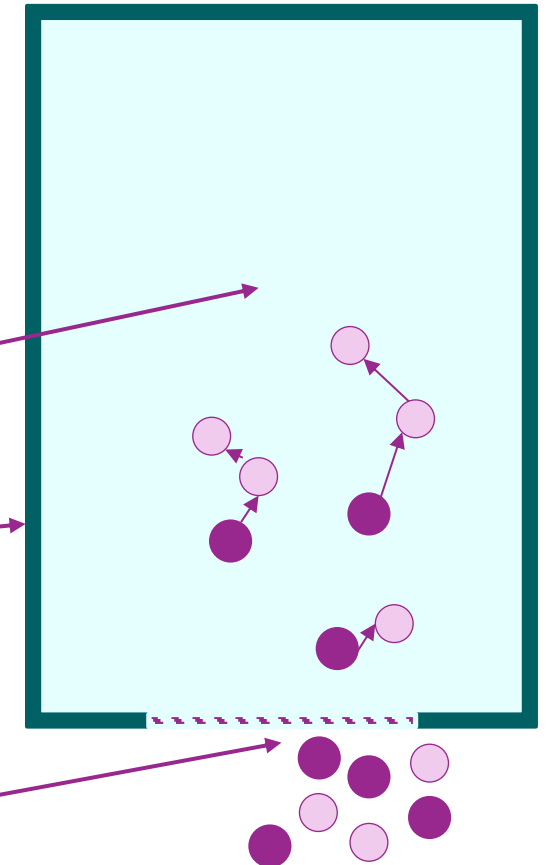
I **rivelatori di radiazioni ionizzanti**, tra cui quelli che verranno descritti in questa lezione, hanno lo scopo di **scoprire se sono presenti**, in un certo punto e in un certo momento, dei **campi di radiazione** e, nel caso siano presenti, di **quantificarli**

- N.B. Si parla di **rivelatori** di radiazione e non di **rilevatori**
 - I primi hanno lo scopo di rivelare la presenza di una grandezza e di quantificarla
 - I secondi sono invece utilizzati per quantificare una grandezza già scoperta
- Per essere rivelata, la radiazione deve interagire in maniera utile, ovvero in maniera che l'interazione produca un segnale, con elementi contenuti all'interno del rivelatore. L'informazione prodotta deve essere:
 - quantificabile
 - misurabile, o equivalentemente trasducibile in una grandezza che sappiamo misurare

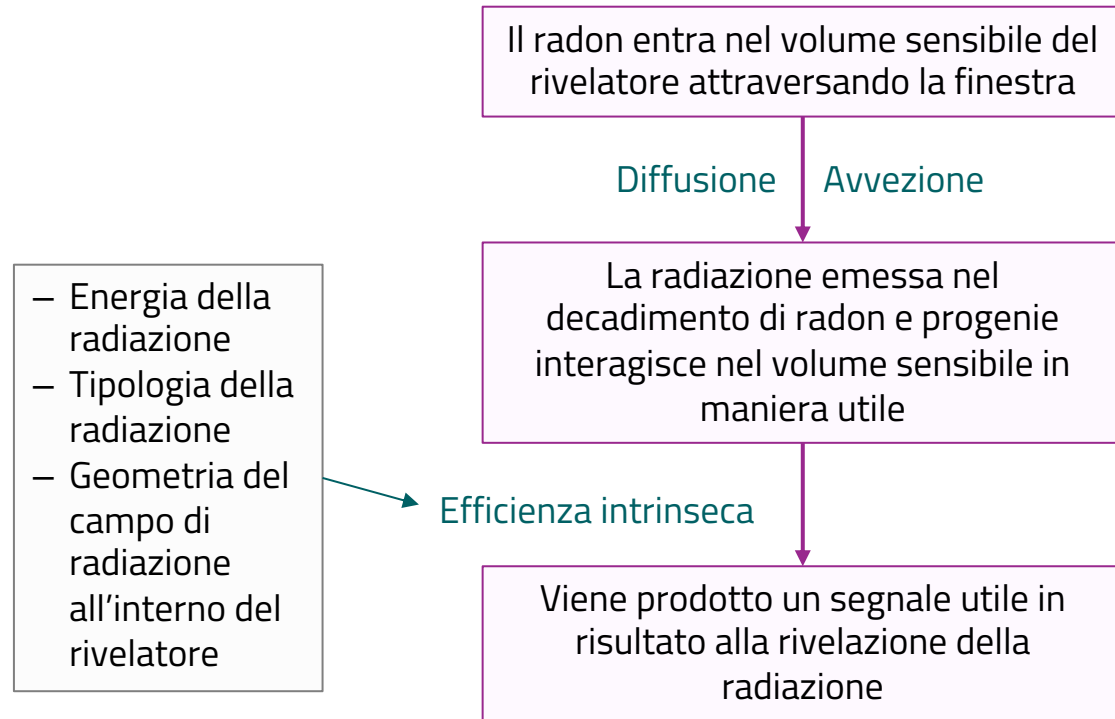
Introduzione: elementi costitutivi di un rivelatore di radiazioni ionizzanti

In generale, in un rivelatore di radiazioni ionizzanti per applicazioni relative alla misura della concentrazione di attività di radon in aria sono sempre distinguibili almeno **tre elementi indispensabili** al suo corretto funzionamento:

- Il **volume sensibile**, ovvero la zona, posta all'interno del rivelatore, in cui il radon si accumula e produce, per decadimento, la sua progenie
- Il **materiale strutturale** che ha lo scopo di confinare il volume sensibile
- La **finestra**, una zona di spessore di sottile che garantisce il contenimento del volume sensibile ma contestualmente consente (spesso) al solo radon l'ingresso all'interno del volume sensibile



Introduzione: generalità sulla rivelazione di radiazioni ionizzanti



- Le radiazioni rivelate sono le **particelle alfa** prodotte da radon e progenie
- La **radiazione** viene **prodotta** in seguito a decadimento direttamente **all'interno del volume sensibile** del rivelatore
- L'efficacia di un rivelatore nel convertire un decadimento che si realizzi al suo interno in segnale utile è quantificata per mezzo di una grandezza definita **sensibilità**
- La **sensibilità**, quindi, combina:
 - la **probabilità che un atomo di radon entri all'interno del volume sensibile** del rivelatore;
 - la **probabilità che una radiazione** emessa dal radon o da un figlio a vita media breve (Po-218, Po-214) **interagisca in maniera utile** alla rivelazione
- La sensibilità si valuta in conteggi al minuto per una specifica concentrazione di riferimento, e.g., 100 Bq m^{-3}

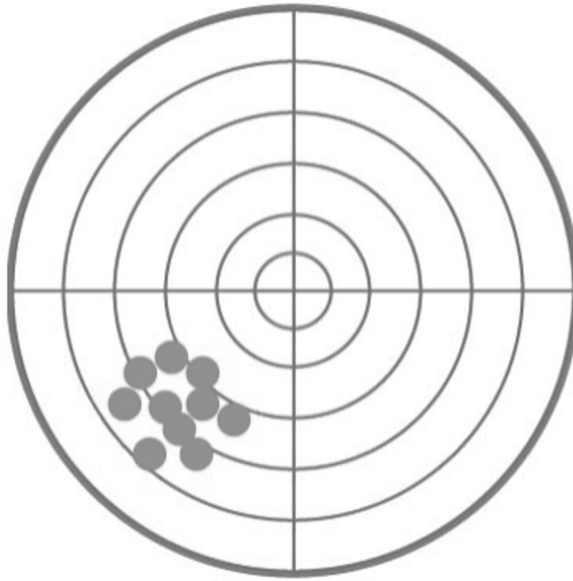
Introduzione: proporzionalità tra energia della radiazione e segnale

- La proporzionalità del segnale prodotto rispetto all'energia della radiazione consente di distinguere le energie delle radiazioni rivelate e quindi quali radionuclidi siano responsabili delle emissioni
- Nel campo della **misurazione della concentrazione di radon indoor**, due sono le strade seguite dai rivelatori commerciali:
 - distinguere le energie delle radiazioni rivelate da radon e figli, cioè effettuare **spettrometria alfa**
 - rivelare le radiazioni senza discriminarne l'energia, cioè raccogliere il **lordo dei conteggi**
- Entrambi gli approcci presentano, in generale, vantaggi e svantaggi

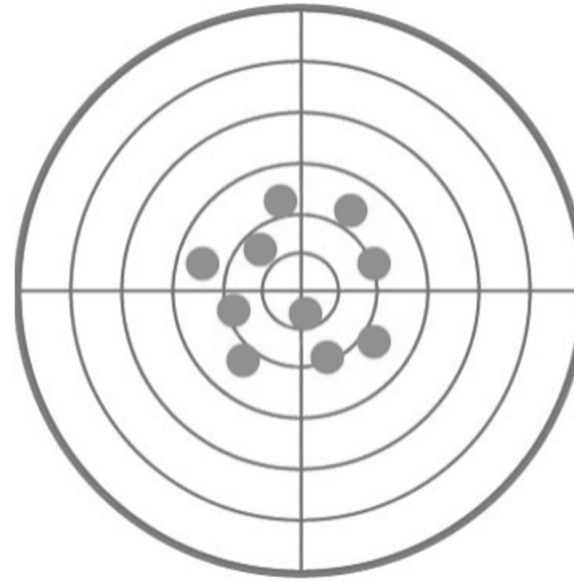
Precisione e accuratezza: la definizione



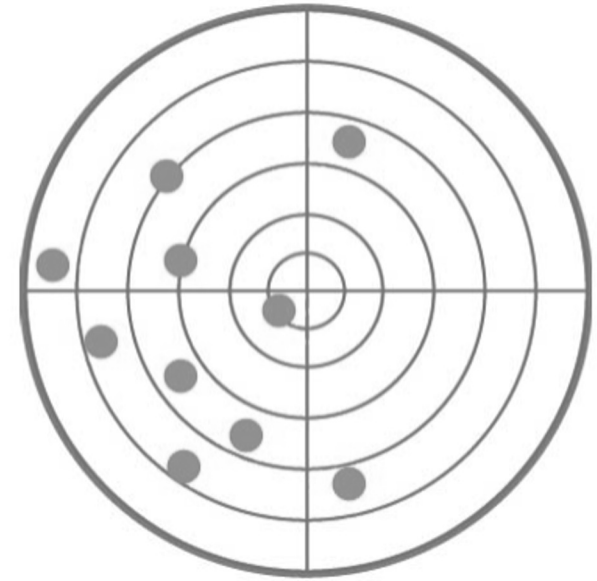
Accurata e precisa



Non accurata ma precisa



Accurata ma non precisa



Non accurata e non precisa

- L'**accuratezza** esprime la vicinanza del valore misurato rispetto a quello reale
- La **precisione** esprime il grado di dispersione dei valori misurati

Incerteza nelle misure: precisione e accuratezza

L'incerteza, nella misura, è imputabile a sorgenti diverse:

- La natura «randomica» del processo di decadimento radioattivo 
 - 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 da quelle oggetto della misura
 - Assunzioni, di varia natura, in merito alla natura dell'atmosfera protagonista del campionamento
-
- L'importanza relativa delle diverse fonti d'incerteza dipende dalla regione, del range di misura.
 - A basse concentrazioni, l'incerteza associata alla natura statisticamente randomica del decadimento radioattivo è largamente predominante.
 - In generale, è possibile migliorare la precisione aumentando il volume di aria campionato o allungando il campionamento
 - L'accuratezza, in genere, può essere migliorata sottoponendo a taratura periodica i rivelatori.
 - L'influenza delle altre fonti d'errore possono essere mantenute, mediante opportune precauzioni, al di sotto del 15%.

Le due principali fonti di interferenze: fondo e toron

Interferenza dovuta al fondo

- È imputabile all'accumulo di ^{210}Pb all'interno della camera e, nello specifico, alle emissioni alfa da 5.31 MeV del ^{210}Po
- Cresce con il tempo
- Particolarmente rilevante per gli strumenti contestualmente impiegati per la misura della concentrazione di radon in acqua mediante emanometria
- Difficile da discriminare anche per gli strumenti con potenzialità spettrometriche
- Può essere corretto mediante opportuni algoritmi che valutino analiticamente l'accumulo di ^{210}Pb all'interno del volume sensibile
- È, in generale, opportuno mantenere il rivelatore sempre acceso per consentire a tali algoritmi di stimare correttamente l'accumulo di ^{210}Pb all'interno della camera

Interferenza dovuta alla contestuale presenza di toron nel punto di misura

- È imputabile all'ingresso di toron all'interno della camera di misura e, nello specifico, alle emissioni alfa del toron e dei suoi figli a vita media breve
- È generalmente trascurabile lontano da pareti e pavimenti.
- Cresce con l'avvicinarsi a potenziali sorgenti di toron, i.e. mura perimetrali
- Il contributo di toron e figli può essere «facilmente» discriminato da strumenti con potenzialità spettrometriche.
- Esistono algoritmi specifici anche per gli strumenti senza potenzialità spettrometriche

Caratteristiche operative dei rivelatori di radiazioni ionizzanti

- Accuratezza
 - Taratura (*quality assurance*)
 - Controlli intermedi (*quality control*)
- Precisione
 - Sensibilità
 - Durata della misura
- Sensibilità alle interferenze
 - Capacità spettrometriche
 - Dinamica e meccanica di campionamento
- Risoluzione temporale
 - Sensibilità
- Altro
 - Caratteristiche elettriche ed elettroniche
 - Accesso per modifiche software
 - Tipologia di alimentazione
 - Interfaccia per download dati

Classificazione delle tecniche di misura: il tempo

Un'angolazione classificatore che spesso viene impiegata è quella che distingue i diversi rivelatori di radon in base alla risoluzione temporale del dispositivo impiegato. In particolare, si distingue generalmente tra:

RIVELATORI ATTIVI

- “Grab-samplers”, rivelatori che effettuano la misura del radon contenuto in una certa quantità discreta d'aria campionata generalmente per mezzo di un opportuno compressore
- “Continuous radon monitors” (CRMs), rivelatori che misurano continuamente la concentrazione di radon nell'aria contenuta nell'ambiente monitorato
- Tecniche **integrative** che prevedono l'esposizione di un rivelatore all'interno dell'ambiente da monitorare per un certo intervallo di tempo, restituendo quindi un unico valore di concentrazione mediato su tale intervallo.

RIVELATORI PASSIVI

Grab-samplers

I rivelatori che sfruttano questa tecnica sono in grado di restituire, sfruttando la migliore statistica di conteggio garantita dal campionamento forzato, il valore della concentrazione di radon indoor su intervalli temporali molto contenuti, i.e. 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.

Tra i *grab sampler* di maggiore successo commerciale troviamo:

- il **Durridge RAD7**, un rivelatore a semiconduttore, con elemento sensibile al silicio e sensibilità di 81 cph per 100 Bq m^{-3} . Tale rivelatore effettua spettrometria alfa delle emissioni dei figli del radon alfa emettitori a vita media breve, i.e. Po-218 e Po-214. Il rivelatore ha capacità spettrometriche
- Il **Radon Mapper** (e il suo predecessore MR1), un rivelatore a scintillazione del tipo a cella di Lucas (ZnS (Ag) che ricopre la superficie interna della cella di conteggio), con sensibilità di 240 cph per 100 Bq m^{-3} . Il diametro delle celle impiegate è tipicamente di 5 cm con un volume di 100 cm^3 . Lo strumento non è in grado di effettuare spettrometria alfa



Continuous radon monitors

Per i *continuous radon monitors* (CRMs), la **sensibilità**, a parità di concentrazione, è **generalmente peggiore rispetto ai *grab-sampler*** 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.

I CRMs 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.

Di seguito alcuni dei CRMs più impiegati:

- L'**AlphaGUARD** (Saphymo), un rivelatore a camera a ionizzazione, con sensibilità di 300 cph per 100 Bq m^{-3} . Il volume della camera, i.e. 0.56 L, con un diametro di circa 7 cm e un'altezza di 14 cm. La superficie interna della camera, con funzione di anodo, durante il funzionamento è portata alla tensione di 760 V mentre il catodo centrale, a potenziale di terra, trasferisce il segnale all'unità di pre-amplificazione. L'ingresso all'interno della camera avviene per diffusione ed è consentito al solo radon: la progenie viene trattenuta su un filtro in fibra di vetro applicato in corrispondenza della finestra. Lo strumento non effettua spettrometria alfa dei quanti rivelati
- Il **Radon Mapper**, già menzionato come *grab sampler*, consente di essere impiegato come CRM semplicemente impiegando una cella di Lucas con finestra dotata di filtro in fibra di vetro che consente l'ingresso per diffusione al solo radon
- Il **Tesla Tera**, un rivelatore a semiconduttore, con elemento sensibile al silicio e sensibilità di 25 cph per 100 Bq m^{-3} . L'ingresso all'interno della camera avviene per diffusione e, con soluzioni analoghe alle precedenti, è consentito al solo radon. La successiva raccolta dei figli carichi in corrispondenza dell'elemento sensibile avviene in virtù di un campo elettrico applicato all'interno della camera di rivelazione
- L'**AER-C** (Algade), un rivelatore a semiconduttore, con elemento sensibile al silicio e sensibilità di 4 cph per 100 Bq m^{-3}
- L'**AlphaE** (Saphymo), un rivelatore a semiconduttore, con elemento sensibile al silicio e sensibilità di 3 cph per 100 Bq m^{-3}
- Il **RadonEye** (FTLab), un rivelatore a camera a ionizzazione, con sensibilità di 81 cph per 100 Bq m^{-3}



I rivelatori attivi: principi di funzionamento

Con l'espressione «**rivelatori attivi**» ci si riferisce a quei rivelatori di radiazioni ionizzanti, tra cui le particelle alfa emesse da radon e progenie, che richiedono un'alimentazione elettrica per produrre un segnale utile. Essi possono essere primariamente distinti sulla base del principio di funzionamento in:

- Rivelatori a gas
 - Camera a ionizzazione
 - Contatore proporzionale
 - Geiger–Müller
- Rivelatori a scintillazione
 - Scintillatori organici
 - Scintillatori inorganici
 - Celle di Lucas
- Rivelatori a semiconduttore
 - Germanio
 - Silicio

I rivelatori attivi: alcune considerazioni sul principio di funzionamento

Principio di funzionamento	Costo	Interferenza ^{220}Rn	Sensibilità al fondo	Spettrometria α	Sensibilità	Ingombro	Risoluzione temporale
Camera a ionizzazione	●○○○— ●●●●	Sì	Sì	NO	●●●○— ●●●●	●○○○—●●●●	●●●○—●●●●
Cella di Lucas	●●●●	Sì	Sì	NO	●●●●	●●●●	●●●●
Semiconduttore	●○○○— ●●○○	NO	NO	Sì	●○○○— ●●○○	●○○○—●●●○	●○○○—●●○○

- Per tutti e tre i principi di funzionamento sono disponibili applicazioni commerciali classificabili come *grab-sampler* e *continuous radon monitors* (CRMs).
- Relativamente alla sensibilità ai conteggi dovuti al fondo, per i rivelatori non in grado di realizzare spettrometria alfa, soprattutto per le applicazioni più riuscite, costose e ad elevata sensibilità, sono disponibili algoritmi di valutazione in grado di stimare tale contributo e sottrarlo ai conteggi lordi
- Nell'ambito delle applicazioni per la misura della concentrazione di radon indoor, i rivelatori più costosi posso raggiungere prezzi superiori alla decina di migliaia di euro mentre, le realizzazioni più economiche sono accompagnate da costi di qualche centinaio di euro.

Misurare la concentrazione di radon indoor: **quando e perché**

Quando?

Monitoraggio

Diagnostica

Monitoraggio a breve-medio termine
durante il risanamento

Monitoraggio a lungo termine dopo
l'intervento di risanamento

Misurare la concentrazione di radon indoor: quando e perché

Quando?	A quali fini?
Monitoraggio	• Valutazione del rischio sanitario • Adempimenti legislativi
Diagnostica	• Variabilità spaziale • Variabilità temporale • Sorgenti di radon • Via di ingresso
Monitoraggio a breve-medio termine durante il risanamento	• Efficacia dell'intervento di risanamento • Variabilità spaziale • Variabilità temporale
Monitoraggio a lungo termine dopo l'intervento di risanamento	• Efficacia dell'intervento di risanamento

Misurare la concentrazione di radon indoor: quando e perché

Quando?	A quali fini?	Quali caratteristiche sono necessarie?
Monitoraggio	• Valutazione del rischio sanitario • Adempimenti legislativi	• Basso costo • Facilità di posizionamento
Diagnostica	• Variabilità spaziale • Variabilità temporale • Sorgenti di radon • Via di ingresso	• Risoluzione temporale • Campionamento localizzato • Non sensibile alle interferenze
Monitoraggio a breve-medio termine durante il risanamento	• Efficacia dell'intervento di risanamento • Variabilità spaziale • Variabilità temporale	• Risoluzione temporale
Monitoraggio a lungo termine dopo l'intervento di risanamento	• Efficacia dell'intervento di risanamento	• Basso costo

Misurare la concentrazione di radon indoor: quando e perché

Quando?	A quali fini?	Quali caratteristiche sono necessarie?
Monitoraggio	• Valutazione del rischio sanitario • Adempimenti legislativi	• Basso costo • Facilità di posizionamento
Diagnostica	• Variabilità spaziale • Variabilità temporale • Sorgenti di radon • Via di ingresso	• Sensibilità • Campionamento forzato • Capacità spettrometriche
Monitoraggio a breve-medio termine durante il risanamento	• Efficacia dell'intervento di risanamento • Variabilità spaziale • Variabilità temporale	• Sensibilità
Monitoraggio a lungo termine dopo l'intervento di risanamento	• Efficacia dell'intervento di risanamento	• Basso costo

Misurare la concentrazione di radon indoor: quando e perché

Quando?	Quali rivelatori?
Monitoraggio	• Rivelatori passivi
Diagnostica	• Rivelatori attivi - grab-sampler - CRMs
Monitoraggio a breve-medio termine durante il risanamento	• Rivelatori attivi - CRMs
Monitoraggio a lungo termine dopo l'intervento di risanamento	• Rivelatori passivi

