



UNIVERSITÀ
DEL SALENTO



RADON

STRUMENTI DI MISURA ATTIVI, CARATTERISTICHE DEGLI AMBIENTI E METODI DI BONIFICA

ESERCITAZIONE PRATICA

A cura di:
Dr. Manuel Fernández
Dipartimento di Matematica e Fisica "Ennio De Giorgi"
Università del Salento

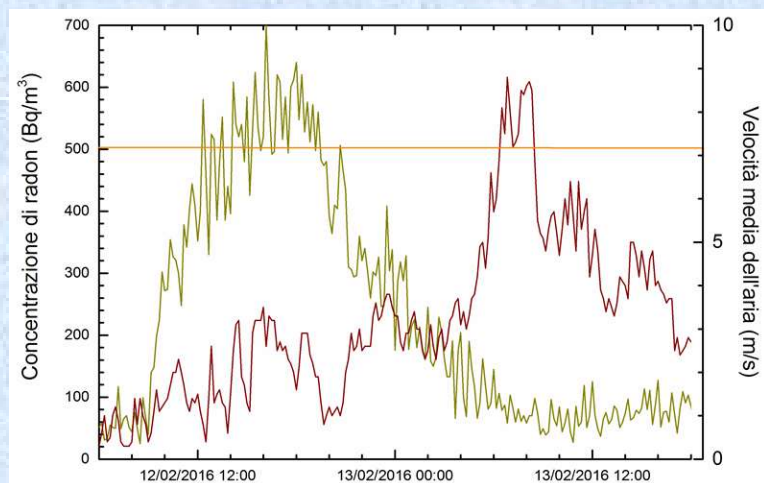
Tecniche di misurazione del radon

Il **campionamento** può essere fatto attraverso:

Metodi rapidi, in cui vi è un riscontro in tempi molto brevi (< 1 ora) della concentrazione di radon.



Metodi continui, in cui si fa l'analisi in funzione del tempo della concentrazione di radon e di altri parametri microclimatici (alcune settimane).



Metodi a integrazione, in cui si risale alla concentrazione **media** di radon integrando su intervalli di tempo significativi (fino ad un anno).



Dosimetri ad elettrete (passivi)

Un **elettrete** è un materiale dielettrico, in genere Politetrafluoroetilene (Teflon) che dispone di una **carica elettrica 'quasi permanente'**;

- Genera un campo elettrico pressoché stazionario;
- Quando il **radon decade** nelle vicinanze **le particelle α** ad alta energia **spezzano i legami delle molecole di aria** lungo il loro percorso;
- Gli **ioni positivi** prodotti vengono attratti dal campo elettrico dell'elettrete e si **depositano sul disco**, riducendo la carica residua;
- Da un **confronto** tra **carica iniziale e finale** si determina la **concentrazione di radon**;
- È racchiuso in una cameretta di volume ben definito.



Forellino per ingresso aria / radon

Vantaggi e svantaggi del sistema ad elettreti rispetto ai dosimetri a tracce

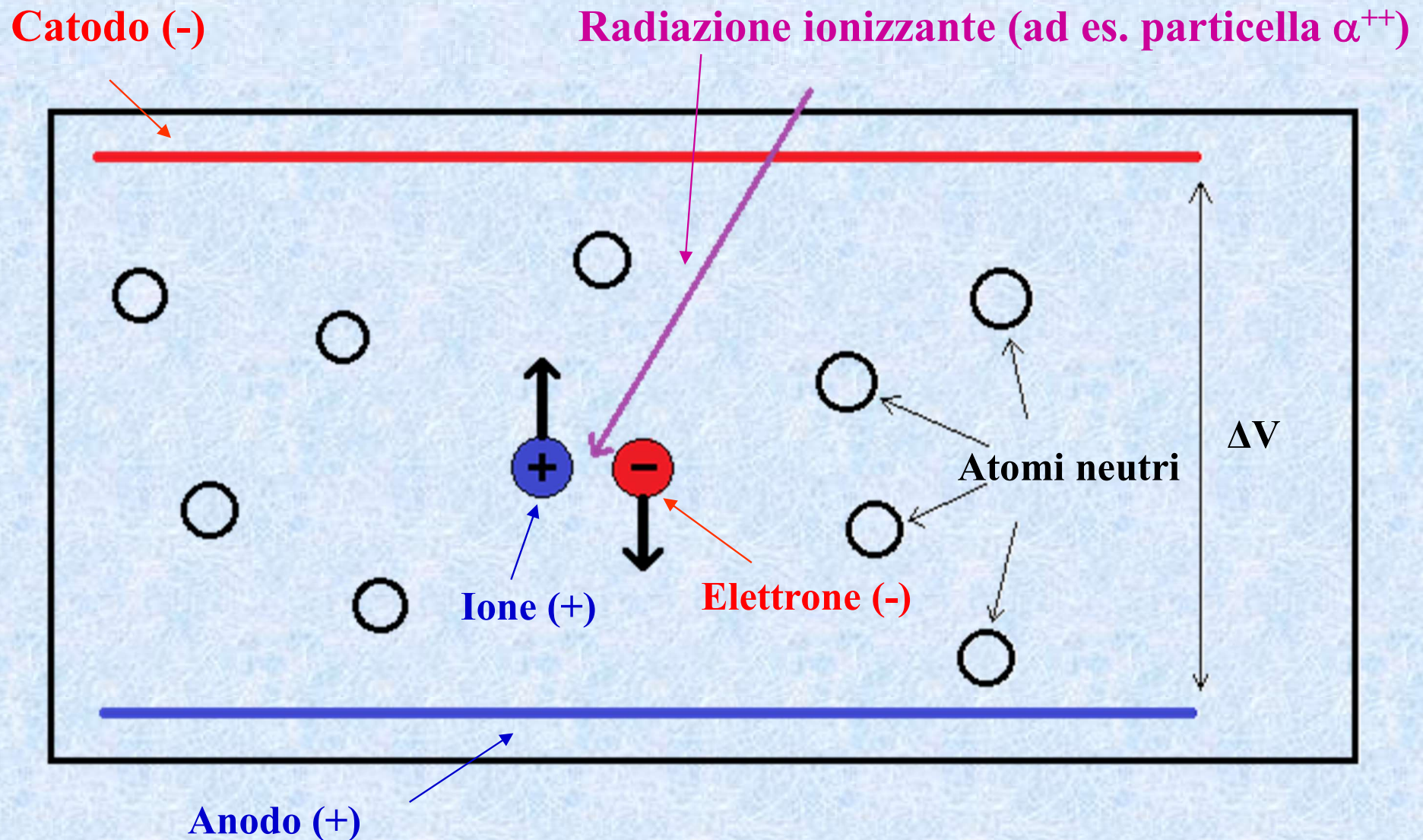
Vantaggi:

- Facilità di fare **misure in tempo reale** con lettura immediata;
- Al contrario dei dosimetri a tracce, **nessuna esigenza di utilizzare dosimetri 'sentinella'** per valutare il contributo fino alla collocazione in loco;
- Possibilità di essere **riutilizzati diverse volte** se la concentrazione di radon non è elevata.

Svantaggi:

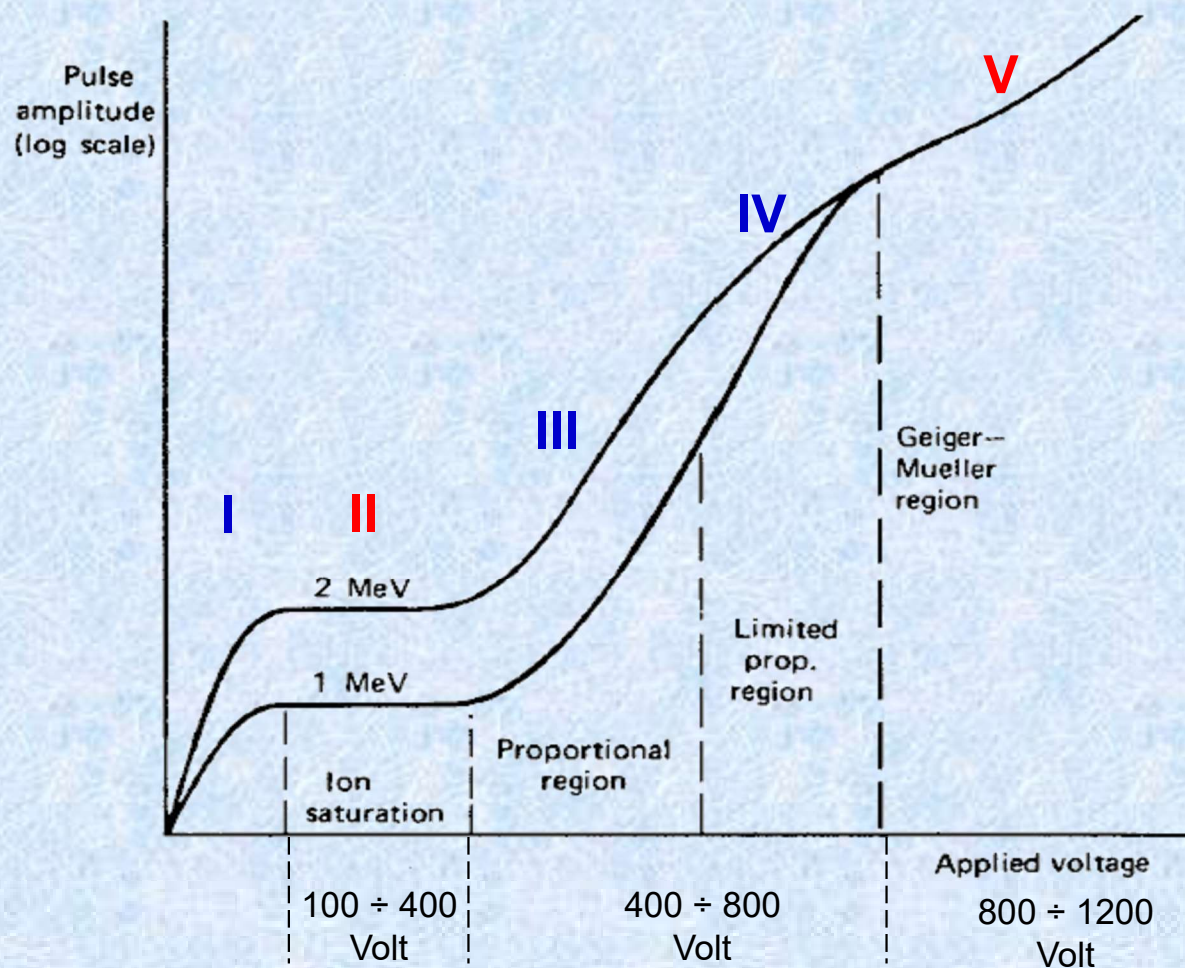
- Esigenza di determinare separatamente il fondo γ ambientale;
- In condizioni critiche di umidità e gradiente di temperatura possono scaricarsi (talvolta conviene utilizzare 2 elettreti nello stesso ambiente);
- Costi + elevati rispetto ai dosimetri a tracce (che possono essere ammortizzati a lungo termine).

Funzionamento dei rivelatori attivi



Regimi di funzionamento di un rivelatore

A seconda della tensione applicata tra due elettrodi (catodo – e anodo +) nel passaggio di radiazioni ionizzanti si distinguono diversi regimi di funzionamento:



Zona I - di ricombinazione

Zona II - di saturazione:

- Camere a ionizzazione

Zone III, IV - di proporzionalità:

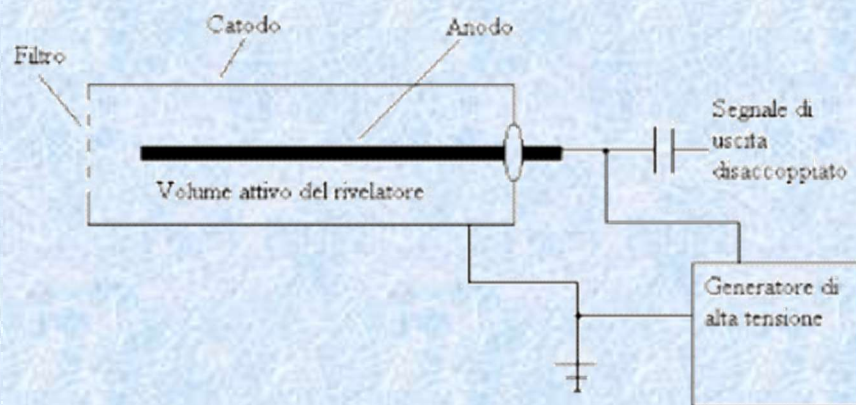
- Camere a scintillazione

Zona V: di Geiger-Müller

- Rivelatori Geiger-Müller

Camere a ionizzazione

- ❖ Si tratta di **strumenti** appositamente progettati per **distinguere** le radiazioni emesse da **un dato radioisotopo** dagli **altri**. Analizzano in dettaglio:
 - Il **valore dell'energia** della radiazione emessa;
 - La **forma spettrale** del picco di energia.
- In particolare ce ne sono alcuni progettati specificamente per il radon. Riescono ad analizzare anche impulsi generati da radiazioni emesse dal toron e quindi possono essere utilizzate per risalire alla concentrazione di questo.



Schema di una camera a ionizzazione



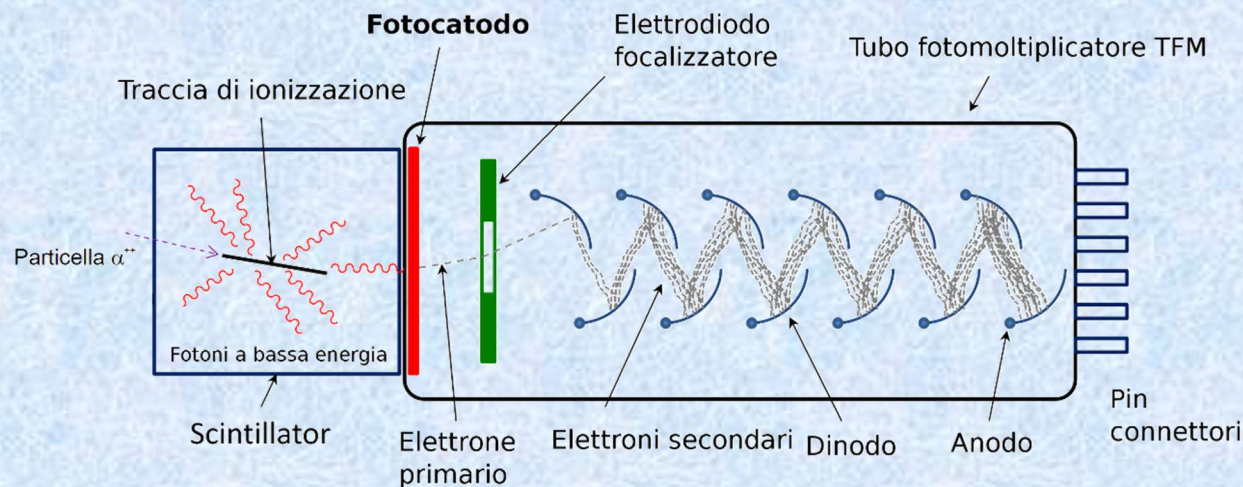
Rivelatori a scintillazione

Il **rivelatore** è costituito da una **cella di Lucas (scintillatore)** di solfuro di zinco drogato con argento (ZnS:Ag) accoppiata con un **tubo fotomoltiplicatore**.

La diffusione del radon nella cella avviene attraverso una membrana permeabile oppure tramite flusso continuo di aria nella cella stessa.

Quando decadono, il radon e i suoi figli emettono particelle α^{++} che colpiscono il ZnS all'interno della cella. **L'energia delle particelle α^{++} viene convertita in impulsi luminosi che si trasformano in elettroni nel fotocatodo tramite effetto fotoelettrico e quindi nel tubo vengono amplificati e contati.**

L'**equilibrio** tra il **radon** e i suoi **prodotti di decadimento** all'interno della cella si raggiunge dopo circa **tre ore**. Dopo tale periodo, la lettura sarà corrispondente al valore di concentrazione radon presente nell'ambiente esaminato.

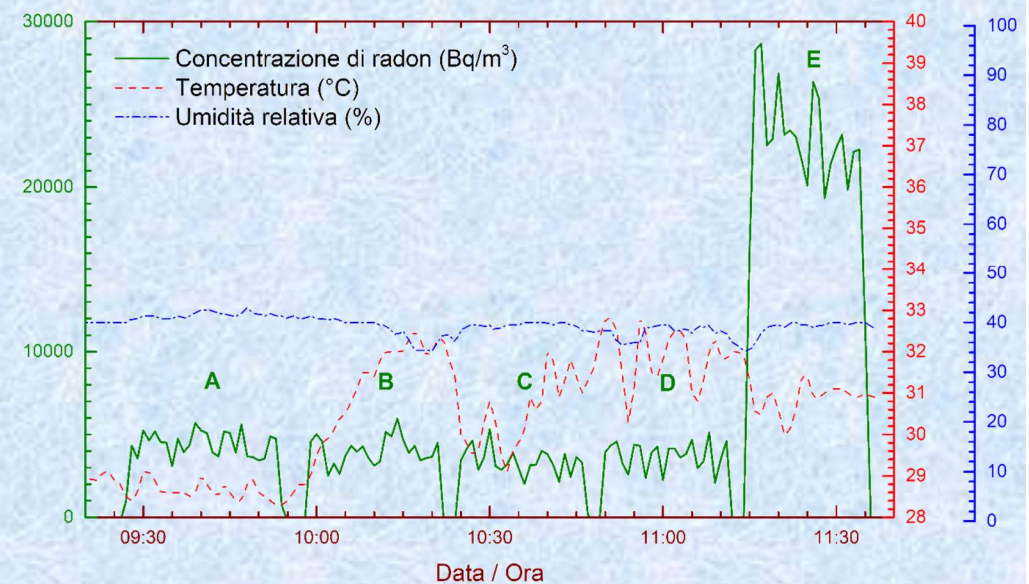
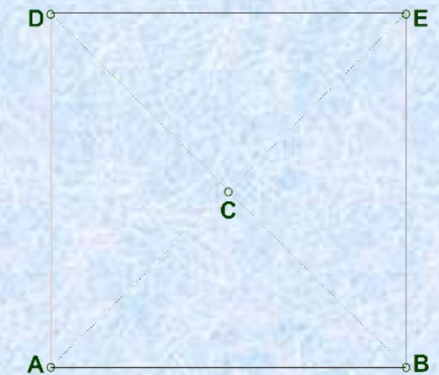


Dov'è possibile rilevare il radon con monitor attivi?

- In aria
- In acqua
- Nel terreno
- Velocità di emanazione dal suolo
- Velocità di emanazione da materiali di costruzione
- Velocità di emanazione da manufatti

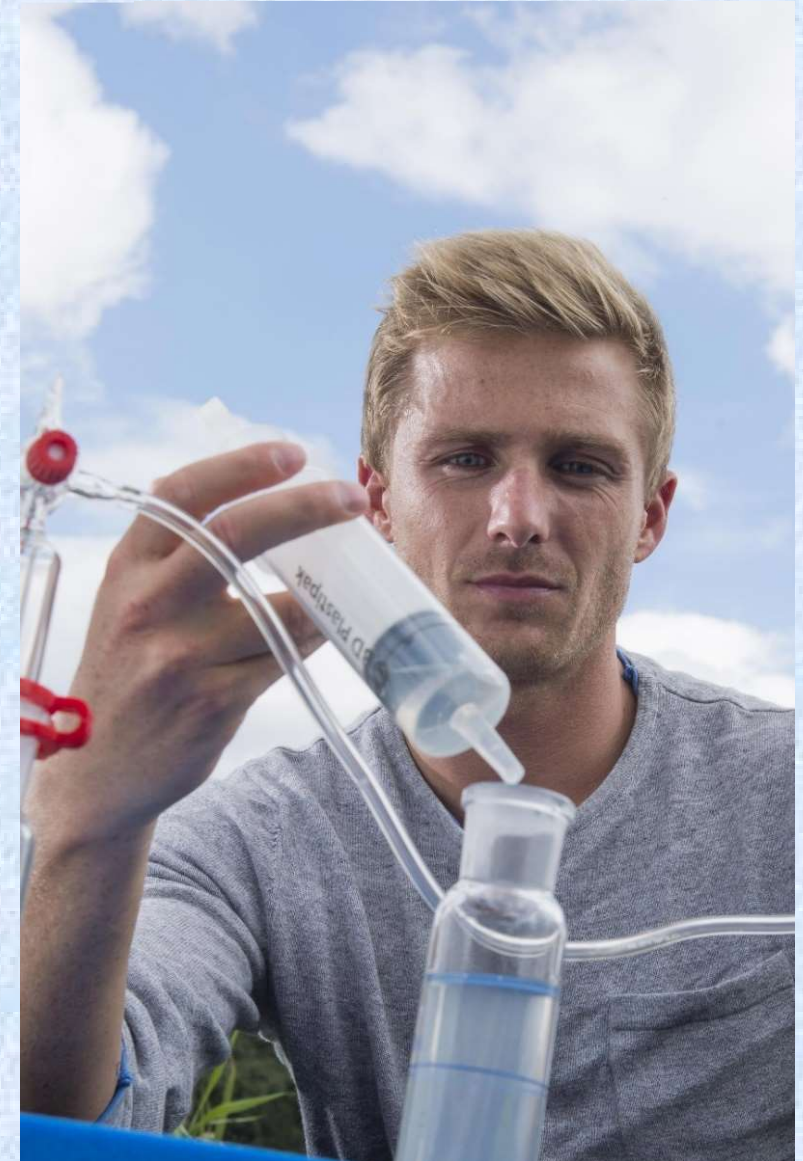
Radon nel terreno

- Utili per **controllare il terreno** prima di costruire un edificio;
- Si pratica un foro nel terreno con una profondità di almeno 70 cm;
- Si inserisce una sonda che va connessa ad una camera di ionizzazione oppure ad una cella a scintillazione attraverso una pompa con flusso prefissato;
- È importante coprire bene l'area attorno alla sonda, altrimenti penetra aria dall'esterno.



Radon in acqua

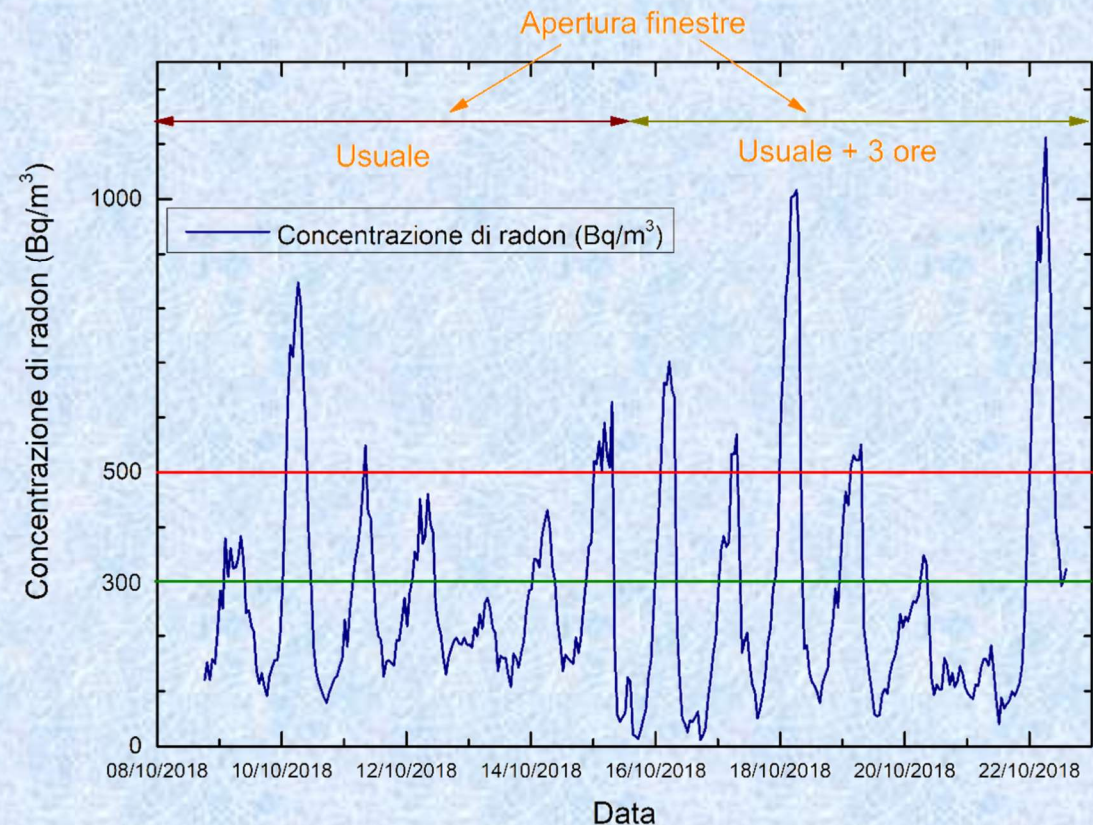
- In realtà si tratta di un metodo indiretto, in quanto il meccanismo determina la concentrazione di radon in aria in un volume prefissato, nel quale è stato inserito un quantitativo di acqua anch'esso noto;
- Le operazioni devono essere eseguite in un ambiente a bassa concentrazione di radon per limitare l'interferenza con il radon ambientale;
- Ha senso fare misure su acqua proveniente dal sottosuolo (ad es. un pozzo), ma non su quella proveniente dall'acquedotto.



Strumenti attivi per la misura del radon

I **vantaggi** / le **caratteristiche** principali sono:

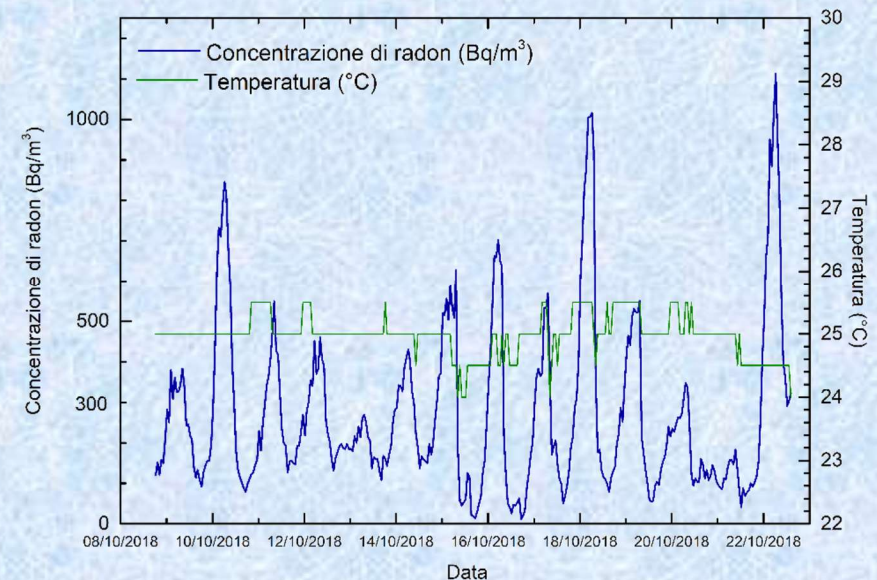
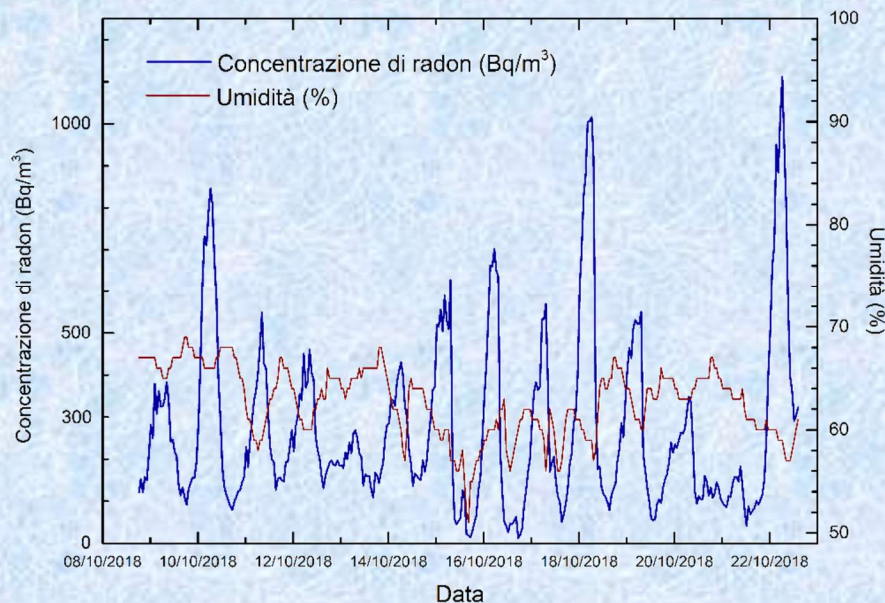
- Hanno un **ampio range** di misure della concentrazione di radon: da 2 Bq/m³ fino a 2.000.000 Bq/m³ per le camere a ionizzazione, da 15 Bq/m³ per le celle a scintillazione;
- **Integrano la risposta** su intervalli di tempo predeterminato (in genere da 10 a 60 min.);
- Permettono di fare **misure su periodi lunghi** (un mese ed oltre senza la perdita di dati) per verificare l'**andamento nel tempo della concentrazione di radon**;



Strumenti attivi per la misura del radon

I **vantaggi** / le **caratteristiche** principali sono:

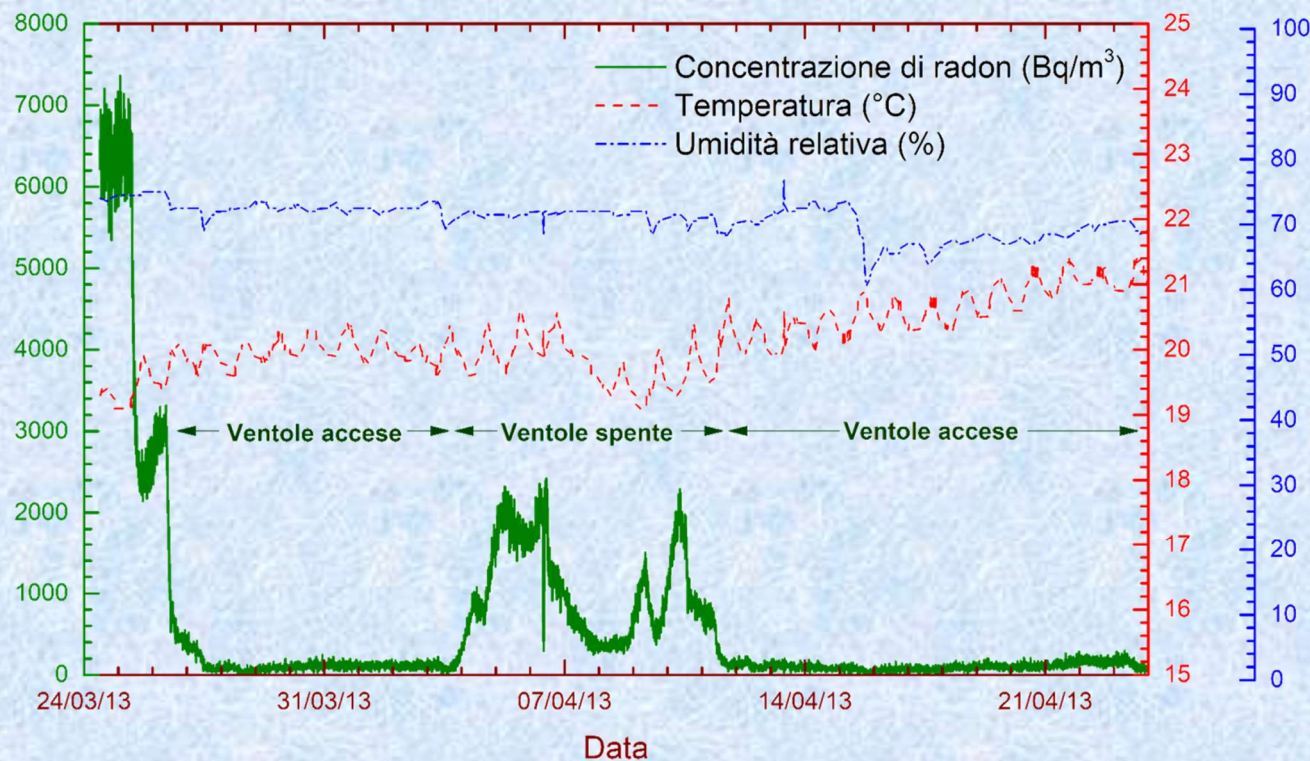
- Oltre a misurare la concentrazione di radon *permettono anche di determinare altri parametri microclimatici* (umidità, temperatura, pressione atmosferica), dando la possibilità di stabilire delle *correlazioni*;
- Possono essere *gestiti da remoto*;
- Gli scintillatori possono essere alimentati con *celle solari*.



Strumenti attivi per la misura del radon

I **vantaggi** / le **caratteristiche** principali sono:

- Possono funzionare sia in *modalità di diffusione* che in modalità di *flusso forzato*;
- Possono essere adattati anche per fare *misure di toron* (altro isotopo del radon) o dei *prodotti di decadimento del radon*;
- Sono particolarmente utili per *progettare e verificare le azioni di bonifica adottate*.

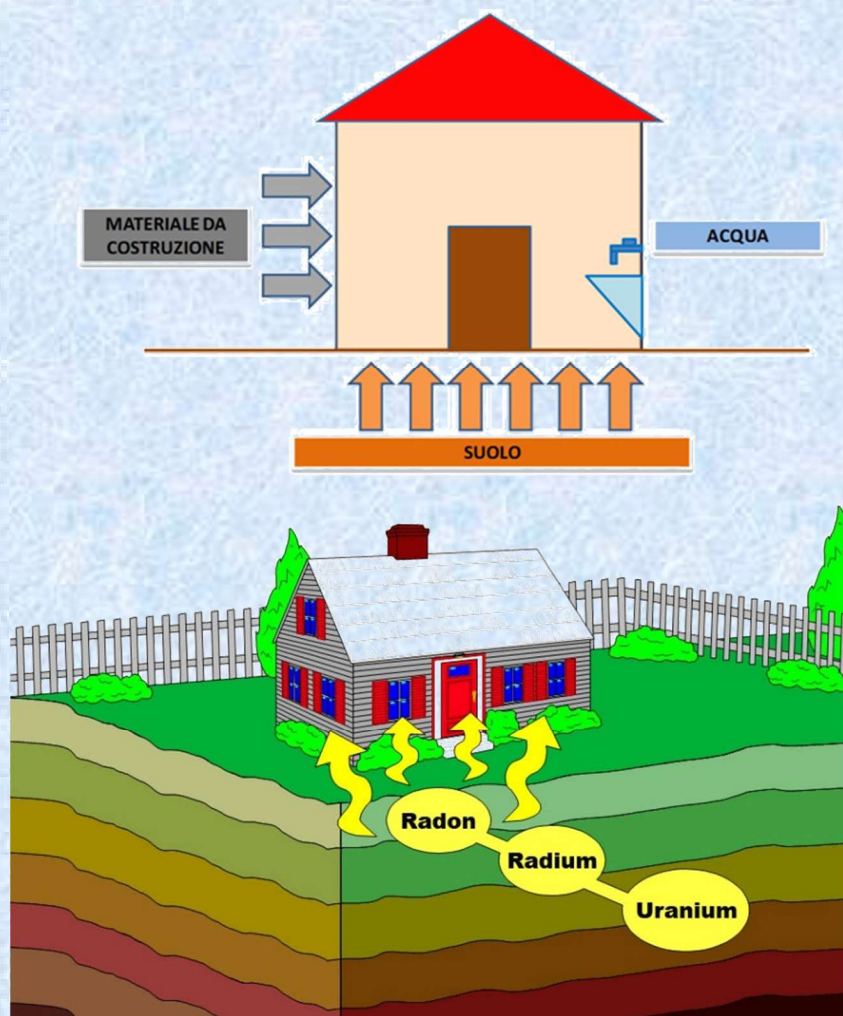


Strumenti attivi per la misura del radon

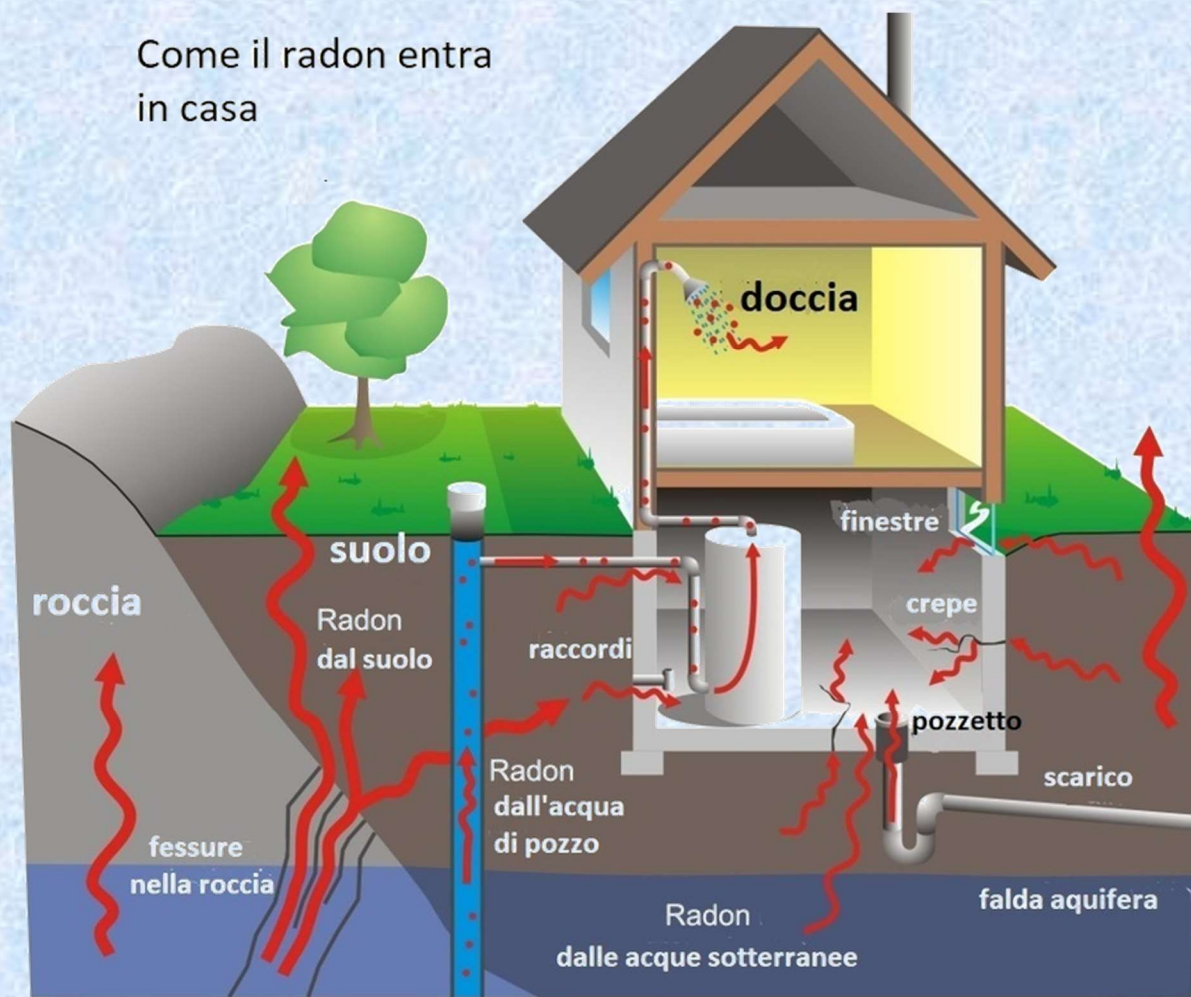
Gli **svantaggi** principali sono:

- Per ottenere misure affidabili richiedono un **tempo di assestamento di almeno 30 min. per le camere a ionizzazione**, che dev'essere incrementato se gli strumenti sono stati sottoposti in precedenza ad elevate concentrazioni di radon. Ciò è ancor più significativo per i **rivelatori a scintillazione** in cui la stabilità si raggiunge solo **dopo 3 ore**;
- Hanno un **costo relativamente elevato**, anche se ultimamente si è abbassato;
- Le misure non hanno **valore legale**.

Vie di penetrazione del radon



Come il radon entra
in casa



Bonifica: Esempio di contesto operativo

Il vano analizzato corrisponde ad un locale di un edificio vincolato per motivi storici con destinazione d'uso quale ufficio dotato di **ampia volumetria** – superficie di base di ca. 25 m² e volta a cupola di altezza media 4 m – e **spessore delle pareti esterne consistente** (ca. 1,5 m).

Appartiene all'ala di un edificio che ha subito **interventi di ristrutturazione** compatibili con vincoli imposti dalla sovrintendenza ai beni archeologici e focalizzati a **ridurre i livelli di umidità nell'ambiente**, oltre a **garantire la stabilità** dell'edificio. **Tuttavia lo scopo principale non era quello di ridurre la concentrazione di radon.**

Possibili azioni di bonifica

In via generale, alcune delle **azioni di bonifica** di un ambiente sono le seguenti:

- Adeguamento degli infissi, in modo da permettere una regolare ventilazione naturale dei locali (preferibilmente la **mattina presto**, ma anche **più volte al giorno**);
- **Ventilazione forzata dei locali**, che ne permetta la **pressurizzazione**;
- Inserimento di sistemi di scambiatori di calore che permettano l'ingresso e uscita di aria tra l'ambiente e l'esterno senza perdita di calore all'interno;
- Sigillo di crepe, fessurazioni e condotte di collegamento verso il basso;
- **Uso di dispositivi o sistemi di deumidificazione che invertono la polarità dell'acqua (elettrosmosi)**;
- Ventilazione e/o creazione di vespai sottostanti;
- **Inserimento di una guaina isolante tra il locale e il vespaio** (pacchetto di isolamento);
- **Depressurizzazione del suolo tramite pozzetti.**

Sono evidenziate le azioni di bonifica a seguito degli interventi effettuati nell'edificio.

Effetto camino

L'effetto camino è dovuto alla differenza di temperatura tra interno ed esterno della casa, in funzione della quale si forma una differenza di pressione e l'aria fredda contenente radon viene risucchiata dal terreno.

È un fenomeno che si presenta principalmente durante l'inverno, quando la temperatura all'interno dell'edificio è superiore a quella del terreno e, più in genere, di quella esterna ad esso.



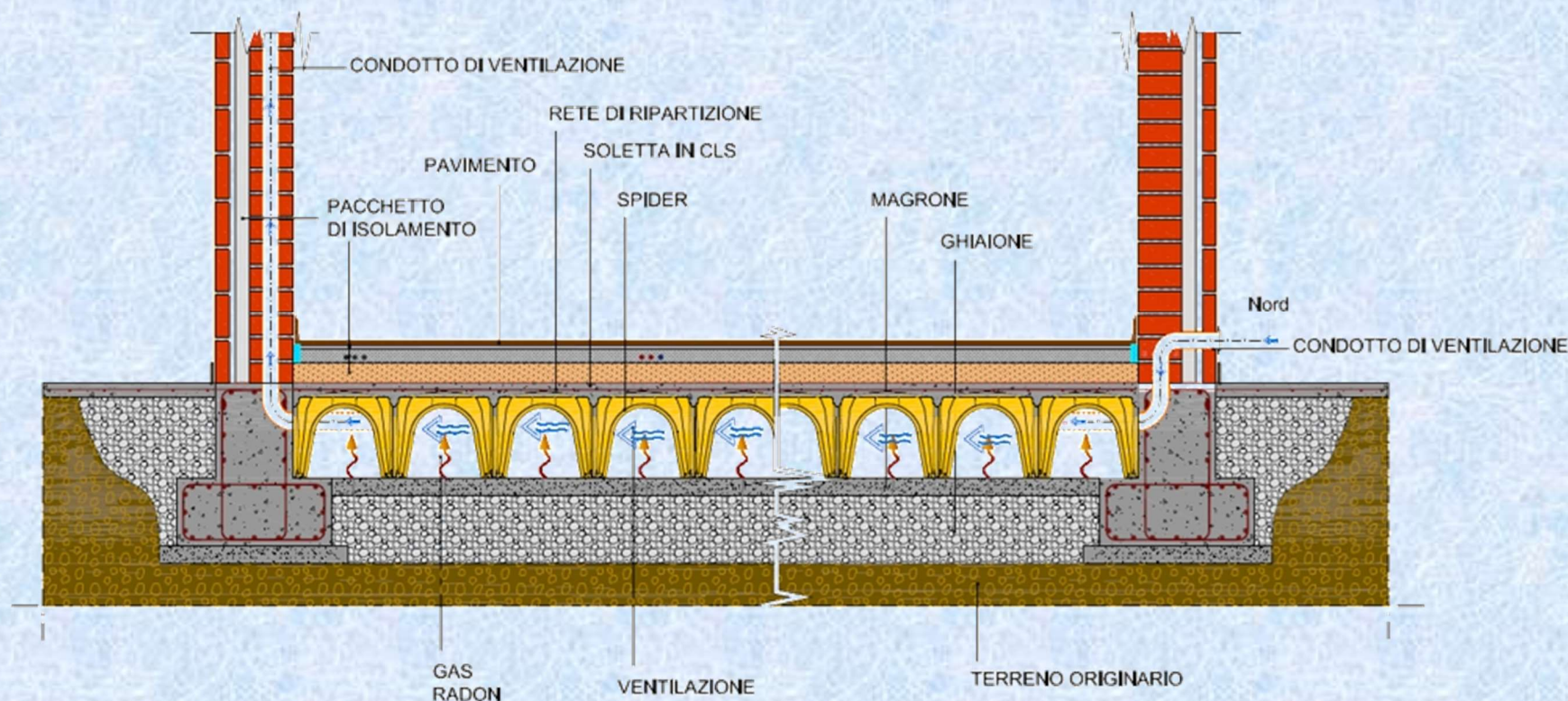
Effetto vento

L'esposizione ai venti dominanti può creare una zona di sovrappressione nel lato esposto e una zona di depressione nel lato riparato.

Questo effetto accentua le differenze di velocità dell'aria tra interno ed esterno contribuendo a ridurre la pressione interna e dando luogo a un risucchio di radon dal terreno.



Creazione di un vespaio sottostante



Al fine di garantire una migliore ventilazione del vespaio:

- Il condotto in uscita è posto in alto rispetto a quello in ingresso (effetto camino);
- Il condotto in ingresso è posto nella direzione di provenienza prevalente del vento (effetto vento);
- Nel vespaio non ci sono compartimentazioni che impediscano il passaggio d'aria.

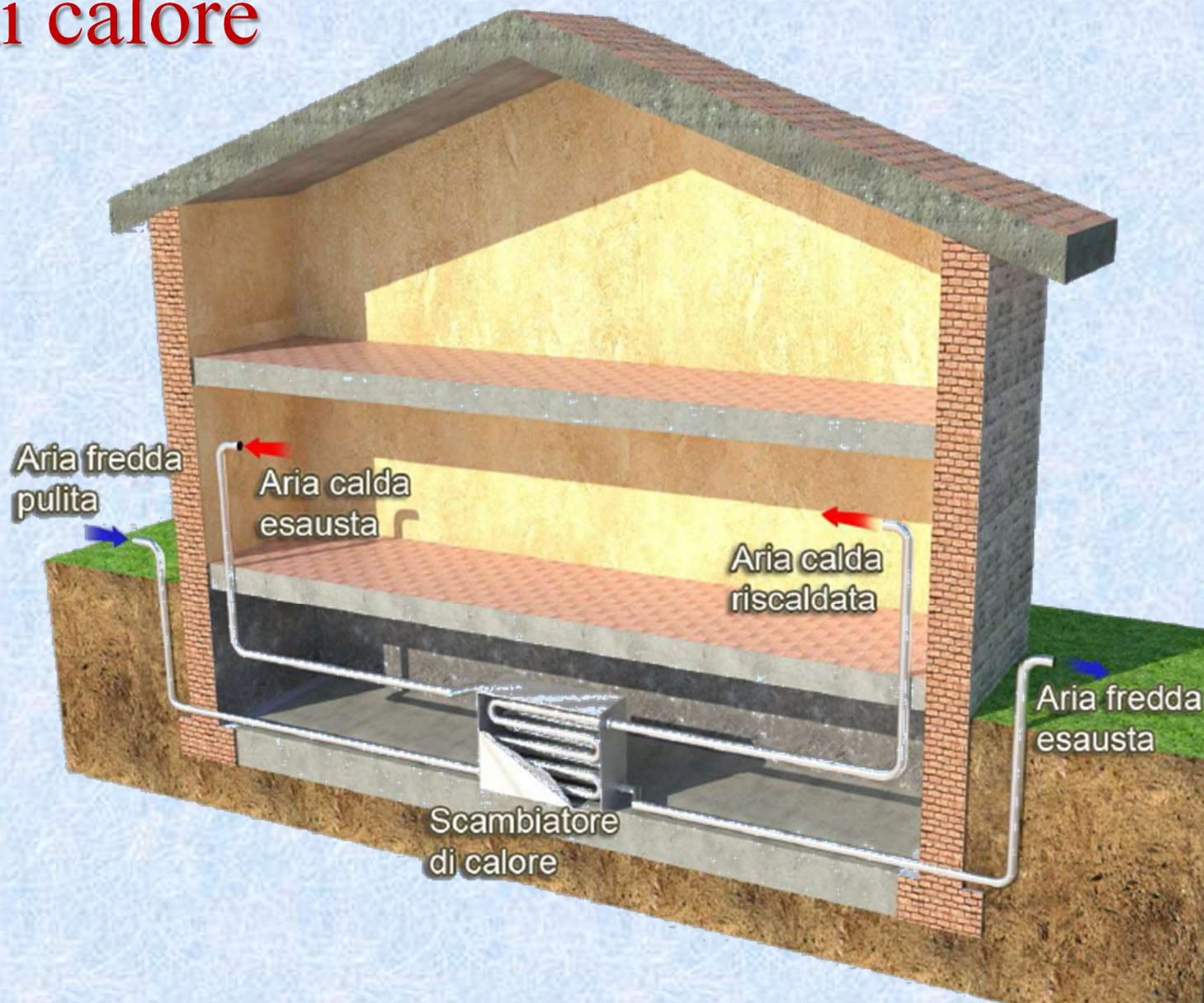
Ventilazione forzata / Pressurizzazione del locale o del vespaio

L'aria immessa spinge il radon fuori dal locale o dal vespaio. È bene che il sistema abbia alcune caratteristiche particolari:

- Ventilatori siano del tipo elico-centrifugo;
- Siano del tipo silenziato;
- Siano temporizzati con temporizzatore in luogo facilmente accessibile;
- Sul lato aspirazione / mandata abbiano delle reti di protezione, che prevengano l'ingresso di corpi estranei che li possano danneggiare.



Scambiatori di calore

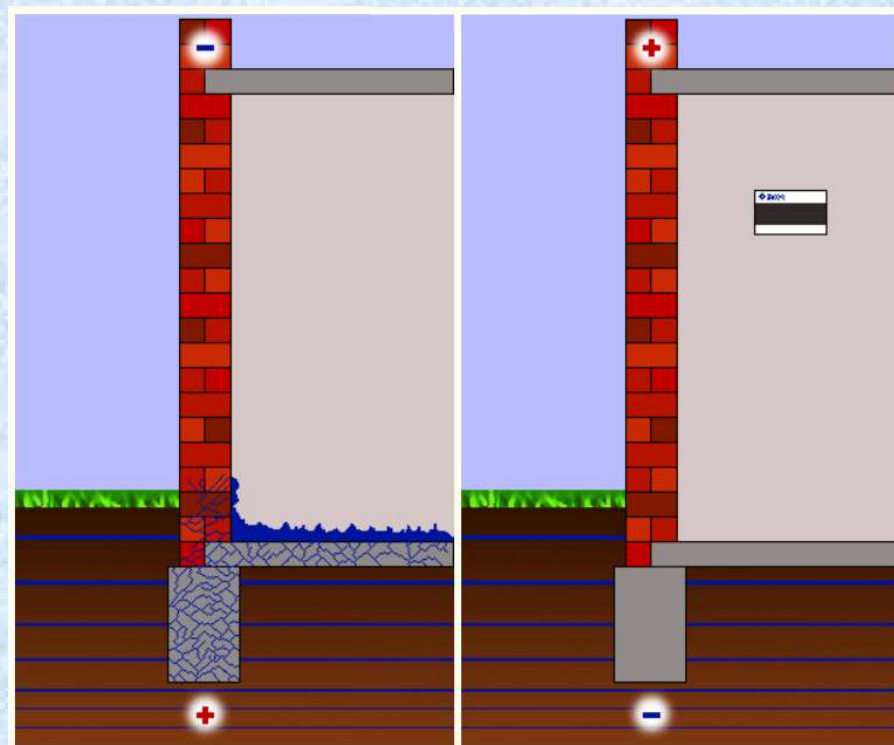
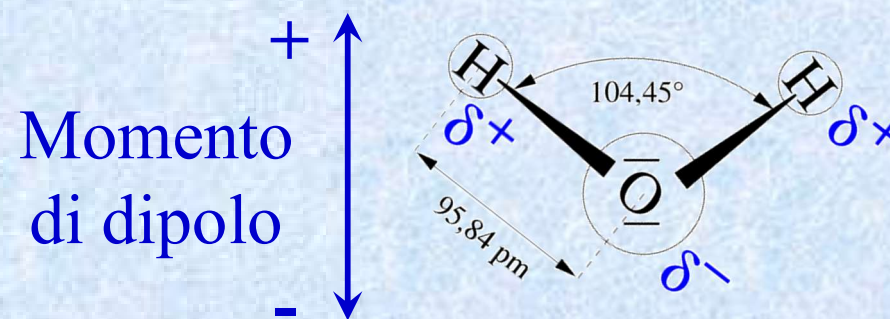


Elettrosmosi

L'acqua è un ottimo veicolo per il radon che attraverso l'**umidità di risalita** penetra nei locali.

Esistono apparecchiature che **invertono la polarità** delle molecole d'**acqua** nella muratura.

Questo fenomeno fa **perdere aderenza all'acqua** presente all'interno dei capillari della muratura e l'umidità ridiscende verso il terreno, limitando le vie di accesso per il radon.



Misure condotte nel vano e compiti assegnati

Nel file Excel sono riportati due fogli. Nel Foglio 1 sono riportati a sinistra i dati delle misure con il monitor attivo nell'arco di 4 mesi (9 gennaio 2018 – 9 maggio 2018). La rilevazione è stata effettuata ogni 10 minuti ed è stato riportato il valore di concentrazione (in Bq/m^3) medio in questo periodo. L'attività da svolgere consiste in:

- Osservare i valori di concentrazione di radon giorno per giorno sia durante l'arco dell'intera giornata (ogni giorno viene considerato dalle ore 09:00 alle 09:00 del giorno successivo), che nell'orario d'ufficio (09:00 alle 17:00). A tale fine sono state predisposte in alto a destra due tabelle in cui sono stati inseriti i rispettivi dati;
- Disegnare un grafico con i dati, settimana per settimana, della concentrazione di radon sia riferiti all'intera giornata, che durante l'orario lavorativo;
- Provare a dare una spiegazione del diverso andamento nelle due situazioni descritte;
- Provare a dare una spiegazione della variazione di comportamento nel corso dei 4 mesi.

Foglio 1 di Excel

	A	B	E	F	G	H	I	J	L
1	Tempo di misura	Concentrazione di radon (Bq/m ³)		Medie	Concentrazione di radon (Bq/m ³)			Medie	Concentrazione di radon (Bq/m ³)
2	09/01/2018 13:10	116		Totale complessivo	443,16			Totale complessivo	443,16
3	09/01/2018 13:20	227		09/01/2018	351,55	L'orario giornaliero da prendere in		09/01/2018	201,25
4	09/01/2018 13:30	226		10/01/2018	543,42	considerazione va dalle ore 09:00 alle	Orario di	10/01/2018	414,61
5	09/01/2018 13:40	215		11/01/2018	159,58	09:00 del giorno successivo, tranne nel	ufficio	11/01/2018	102,82
6	09/01/2018 13:50	250	Giornaliero	12/01/2018	389,22	primo e ultimo giorno in cui vanno presi	(09:00 -	12/01/2018	230,53
7	09/01/2018 14:00	204		15/01/2018	425,08	i dati effettivamente disponibili	17:00)	15/01/2018	422,67
8	09/01/2018 14:10	135		Totale esclusi sabato e domenica	373,77			Periodo lavorativo settimanale	274,38
9	09/01/2018 14:20	148		Totale Settimana	498,95			Totale Settimana	498,95
10	09/01/2018 14:30	184		16/01/2018	422,77			16/01/2018	289,12
118	10/01/2018 08:30	454		Totale esclusi sabato e domenica	347,85			Periodo lavorativo settimanale	263,85
119	10/01/2018 08:40	556		Totale Settimana	387,75			Totale Settimana	387,75
120	10/01/2018 08:50	372		Totale complessivo	443,16			Totale complessivo	443,16
121	10/01/2018 09:00	408							
122	10/01/2018 09:10	272							
123	10/01/2018 09:20	356							
124	10/01/2018 09:30	432							
125	10/01/2018 09:40	364							
126	10/01/2018 09:50	328							
127	10/01/2018 10:00	336							
128	10/01/2018 10:10	350							
129	10/01/2018 10:20	388							
130	10/01/2018 10:30	280							
131	10/01/2018 10:40	348							
132	10/01/2018 10:50	400							
133	10/01/2018 11:00	356							
134	10/01/2018 11:10	368							
135	10/01/2018 11:20	458							
136	10/01/2018 11:30	366							
137	10/01/2018 11:40	350							
138	10/01/2018 11:50	356							
139	10/01/2018 12:00	414							

Attività da effettuare:

- Osservare le tabelle sovrastanti, in cui sono stati utilizzati i dati a sinistra ed effettuate le medie giorno per giorno nell'arco delle 24 ore e quelle nell'orario d'ufficio (09:00 - 17:00)
- Disegnare un grafico con i dati settimana per settimana della concentrazione di radon sia considerando l'intera giornata (24 ore), che durante l'orario lavorativo (09:00 - 17:00)
- Provare a dare una spiegazione del diverso andamento nelle due situazioni descritte
- Provare a dare una spiegazione della variazione di comportamento nel corso dei 4 mesi

- Dalla tabella di sinistra disegnare un grafico riferito al periodo compreso tra il 13 e il 20 febbraio 2018 (considerando anche il periodo fuori da quello d'ufficio)
- Provare a dare una spiegazione dell'andamento del grafico nell'arco della settimana

- Dalla tabella di sinistra disegnare un grafico riferito al periodo 09/01/2018 - 06/03/2018

In questo periodo di tempo gli aspiratori del vespaio sono stati operativi in base ai seguenti orari (non obbligatoriamente in questo ordine):

- 1°) Sempre spenti
- 2°) Accessi nei seguenti orari: 05:00 - 09:00 e 18:30 - 22:00
- 3°) Accessi nei seguenti orari: 05:00 - 09:00, 14:00-15:00 e 18:30 - 22:00
- 4°) Accessi nei seguenti orari: 18:30 - 09:00

La programmazione degli aspiratori è stata modificata nei giorni 23/01/2018, 06/02/2018 e 20/02/2018 (ore 09:00)

- Provare intuitivamente a dare l'ordine giusto, in base all'andamento del grafico
- Provare a spiegare il motivo di scelta degli orari di funzionamento degli aspiratori

Misure condotte nel vano e compiti assegnati

- Dalla tabella di sinistra del foglio 1 estrapolare i dati riferiti al periodo 13 – 20 febbraio 2018 e disegnare un grafico corrispondente;
- Provare a dare una spiegazione dell'andamento del grafico nell'arco della settimana.

Nel periodo 9 gennaio – 6 marzo 2018 degli aspiratori del vespaio sono stati operativi in base ai seguenti orari (non obbligatoriamente in questo ordine):

- 1°) Sempre spenti;
 - 2°) Accesi nei seguenti orari: 05:00 - 09:00 e 18:30 - 22:00;
 - 3°) Accesi nei seguenti orari: 05:00 - 09:00, 14:00-15:00 e 18:30 - 22:00;
 - 4°) Accesi nei seguenti orari: 18:30 - 09:00.
- Dalla tabella di sinistra del foglio 1 estrapolare i dati riferiti al periodo 9 gennaio – 6 marzo 2018 e disegnare un grafico corrispondente;
 - Provare intuitivamente a dare l'ordine giusto, in base all'andamento del grafico;
 - Provare a spiegare il motivo di scelta degli orari di funzionamento degli aspiratori.

La programmazione degli aspiratori è stata modificata nei giorni 23/01/2018, 06/02/2018 e 20/02/2018 (ore 09:00).

Misure condotte nel vano e compiti assegnati

Nel foglio 2 vi è una tabella con i valori di concentrazione media di radon nell'arco di ogni settimana compresa tra il 9 gennaio e il 9 maggio 2018, misurati con i dosimetri passivi ad elettrete. I dati sono accompagnati dai valori di incertezza associata.

L'attività da svolgere consiste:

- Nell'inserire nella tabella del foglio 2 i valori di concentrazione di radon corrispondenti determinati con il monitor attivo (Vedasi tabella in alto a destra, foglio 1);
- Disegnare un grafico in cui riportare le concentrazioni di radon e relative incertezze, misurate con gli elettreti (passivi) ed i valori determinati con il monitor attivo (senza incertezze);
- Stabilire se i dati dei due metodi di misura sono compatibili.

Foglio 2 di Excel

	A	B	C	D	E
1	Data / orario	Elettreti		Monitor attivo	
2	fine periodo	Concentrazione di radon (Bq/m ³)	Incertezza associata (Bq/m ³)	Concentrazione di radon (Bq/m ³)	
3				(inserire i dati dai valori determinati nel Foglio 1 - Totale settimana)	
4	16/01/2018 09:00	494	54		
5	23/01/2018 09:00	431	48		
6	30/01/2018 09:00	287	85		
7	06/02/2018 09:00	319	87		
8	13/02/2018 09:00	841	119		
9	19/02/2018 09:00	1035	143		
10	26/02/2018 09:00	483	96		
11	05/03/2018 09:00	423	93		
12	12/03/2018 09:00	425	94		
13	19/03/2018 09:00	396	93		
14	26/03/2018 09:00	461	96		
15	03/04/2018 09:00	400	85		
16	10/04/2018 09:00	466	97		
17	17/04/2018 09:00	437	96		
18	24/04/2018 12:00	367	92		
19	30/04/2018 09:00	495	114		
20	09/05/2018 09:00	284	73		
21					
22	Attività da effettuare:				
23	- Fare un grafico in cui riportare le concentrazioni di radon e relative incertezze, misurate con gli elettreti (passivi) ed i valori determinati con il monitor attivo				
24	- Stabilire se i dati dei due metodi di misura sono compatibili				