



ITALIAN NATIONAL AGENCY FOR  
NEW TECHNOLOGIES, ENERGY AND  
SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

# Tecniche attive e passive di misurazione del radon. Principali metodologie di risanamento

*Roma, 24 aprile 2026*

**Luigi LEPORE, NUC-IRAD-CRGR**



1101 0110 1100  
0101 0010 1101  
0001 0110 1110  
1101 0010 1101  
1111 1010 0000



# Il radon nel contesto di impiego di impianti HVAC

## Focus

Il D.Lgs. 101/2020 e s.m.i. ci obbliga a porre attenzione al  $^{222}\text{Rn}$  nel contesto della radioattività naturale. Dal punto di vista fisico, la **migrazione** e l'accesso agli edifici è governata da **processi avvettivi e diffusivi**. Gli **impianti HVAC possono agire creando  $\Delta p$** , potenzialmente incentivando l'accesso del  $^{222}\text{Rn}$  agli ambienti ove si va a mitigare.

1. Il radon NON è solo radioprotezione
2. È un problema di flussi d'aria e pressioni
3. È quindi un problema HVAC

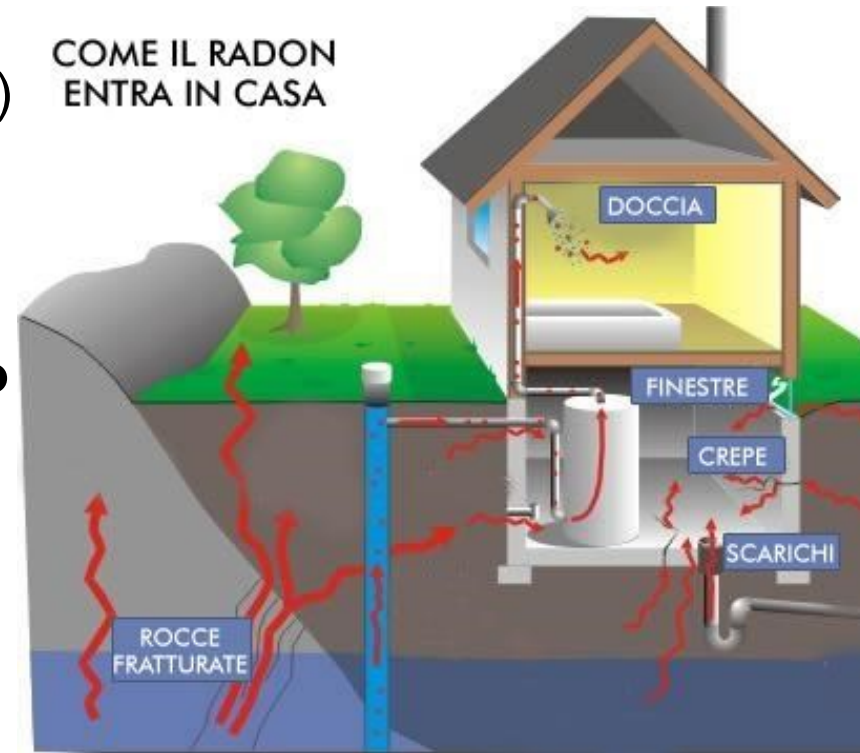
### *MODELLO UNSCEAR*

*Per una casa tipica con  $50 \text{ Bq m}^{-3}$  al piano terra:*

- *60% proviene dal suolo*
- *20% dai materiali edili*
- *20% da acqua, aria esterna e gas.*

# Il vero driver: $\Delta p$

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



# Flusso di lavoro

Suolo → ingresso in edificio (specie piani bassi) → accumulo in aria (importanti event sigillature) → esposizione individui

- Ogni fase può essere controllata.
- **Azioni sul suolo** \* -> via uscita preferenziale, es. pozzetto a lato o nelle fondamenta (riduce immissione in edificio).
- **Azioni sull'edificio**\* -> evacuazione post-immissione, es. vespaio areato.
- **Azioni sull'edificio/membrane** \* -> aumento resistenza “idraulica” AAT.
- Diluizione di aria interna con aria ambiente \* (**impianti HVAC**).
- Gestione tempi di permanenza.
- Gli impianti hanno un impatto su tutte.

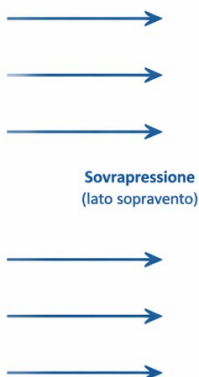
# Errori comuni #1

- Estrazione verso esterno senza immissione
- Edificio in depressione (naturale o forzata)
- Richiamo continuo dal suolo (per effetti naturali o forzati)

## EDIFICIO IN DEPRESSIONE

Pressione interna < Pressione esterna  
Richiamo d'aria continuo dal suolo e dalle fessure

VENTO ESTERNO



Sovrapressione  
(lato sopravvento)

CAMINO  
La canna fumaria estrae aria verso l'esterno

RISULTATO: L'EDIFICIO È IN DEPRESSIONE  
L'ARIA VIENE RICHIAMATA CONTINUAMENTE DALL'ESTERNO E DAL SUOLO

IMPIANTO HVAC  
L'estrazione dell'aria da bagni/cucina crea depressione

RISCALDAMENTO  
L'aria calda sale verso l'alto e fuoriesce, abbassando la pressione ai piani inferiori

Depressione  
(lato sottovento)

Fessure nelle fondazioni

Giunti costruttivi e passaggi impiantistici

Ingressi da pavimento/platea

Passaggi di tubazioni e cavi

Muri controterra e fessure

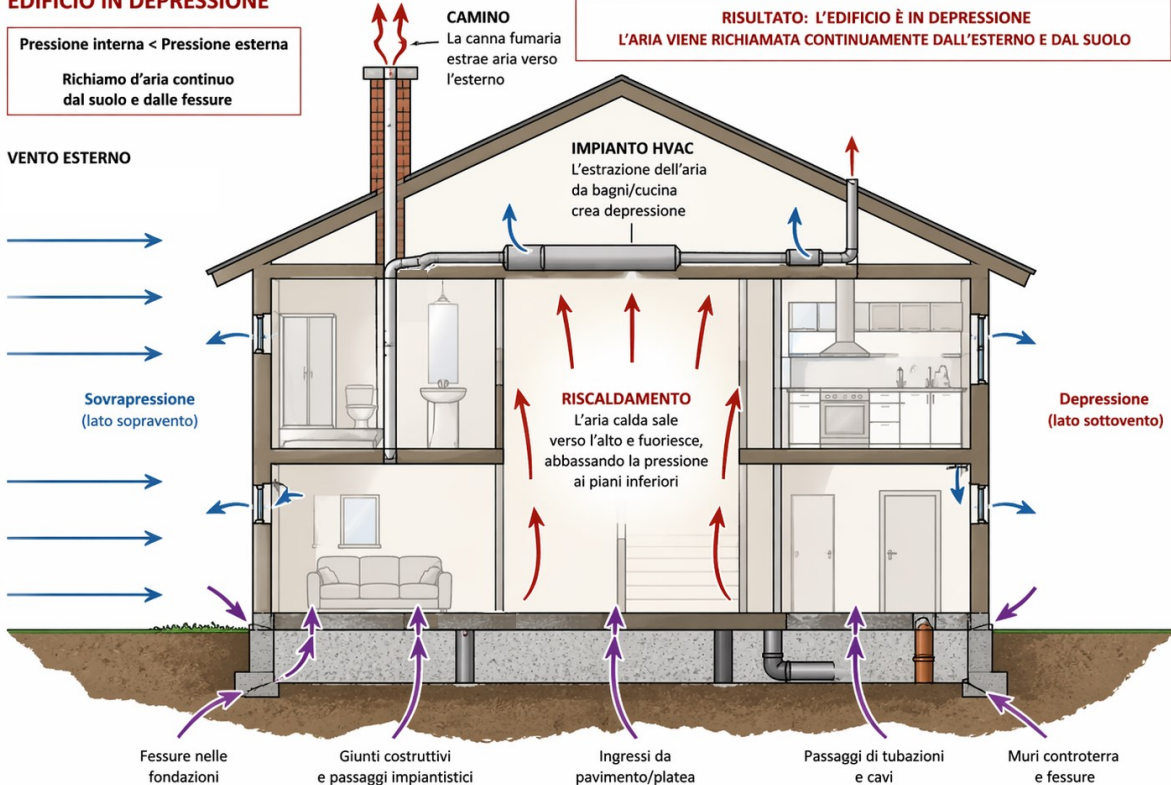
# Errori comuni #2

- Riqualificazione energetica spinta, edifici ZEB o N-ZEB vs. mancanza di accorgimenti costruttivi su AAT
- Edificio sigillato, infissi air-tight piuttosto che microfiltrati
- Radon intrappolato

## EDIFICIO IN DEPRESSIONE

Pressione interna < Pressione esterna  
Richiamo d'aria continuo dal suolo e dalle fessure

VENTO ESTERNO



RISULTATO: L'EDIFICIO È IN DEPRESSIONE  
L'ARIA VIENE RICHIAMATA CONTINUAMENTE DALL'ESTERNO E DAL SUOLO

# Errori comuni #3

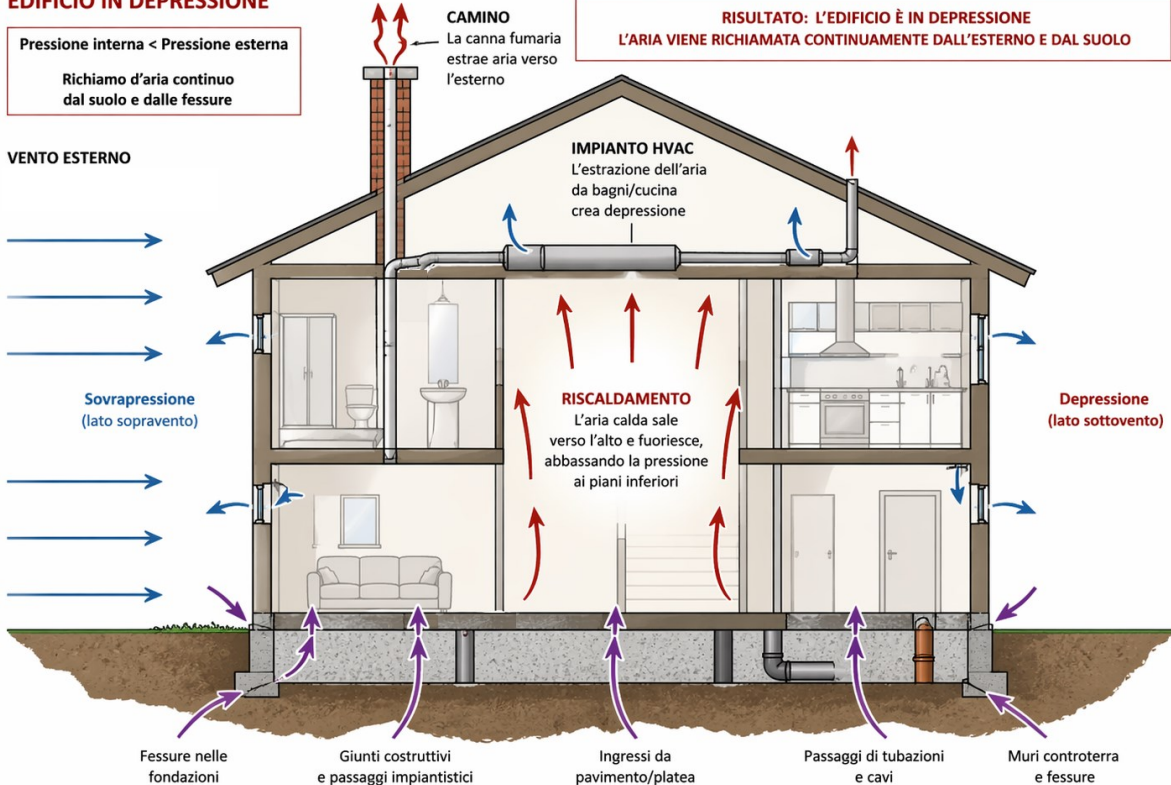
- Ventilazione non bilanciata
- Portate non controllate
- Distribuzione inefficace

## EDIFICIO IN DEPRESSIONE

Pressione interna < Pressione esterna  
Richiamo d'aria continuo dal suolo e dalle fessure

VENTO ESTERNO

Sovrappressione  
(lato sopravvento)

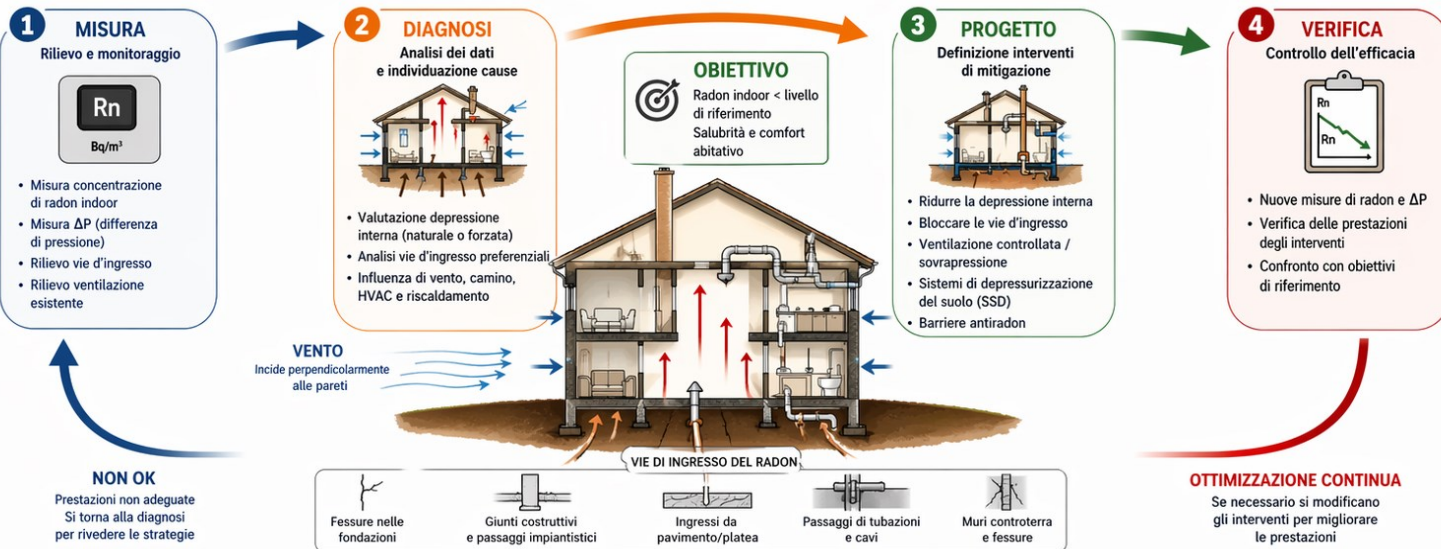




# Come risolvere il problema?

## ITER CICLICO PER IL RISANAMENTO RADON

Ottimizzazione continua



### DIAGRAMMA DI FLUSSO - RISANAMENTO RADON





# Misura: cosa serve davvero

- **Strumenti passivi**, concentrazione media annua (es. CR39):
  - dato «**normativo**», confrontabile con 300 Bq/m<sup>3</sup> (LdR)
  - informazione **integrale nel tempo** (tipicamente 3-6 mesi)
  - dato **asettico rispetto alle dinamiche** orarie/giornaliere
  - informazione più di variabilità stagionale
  - dà **informazioni generali su quanto sia significativo il problema**, poco comunicativa in termini di diagnosi
  - **granularità spaziale** potenzialmente estesa (ambienti critici)
  - **facilità d'installazione/impiego**
  - **lettura da parte del laboratorio ed emissione di certificato**

# Misura: cosa serve davvero

- **Strumenti attivi**, es. concentrazione su base oraria:
  - **dati non confrontabili** con  $300 \text{ Bq/m}^3$  (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)
  - **granularità spaziale più limitata** (numero e costo dispositivi)
  - **qualità della misurazione** (scelta del dispositivo)
  - **interpretazione dei dati**
  - **incertezze di misura**

# Diagnosi avanzata: combinazione di dati

## Uso ottimale strumentazione passiva

- Il **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 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).

# Scelta dei dispositivi

## Strumentazione passiva

Scelta 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**.

## 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 monitorate.

Come valutare la **qualità del dispositivo** e dei **risultati** che produce?

# Scelta dei dispositivi attivi

## Classificazione delle tecniche di misura: il tempo

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

“**Continuous sampling**”, tecnica che prevede l’analisi continuativa della concentrazione di radon nell’aria contenuta nell’ambiente monitorato.

# Scelta dei dispositivi attivi «Grab-sampling»

La **maggior statistica di conteggio** garantita dal **campionamento forzato** restituisce valori affidabili di concentrazione di radon indoor su intervalli temporali anche molto contenuti, i.e. fino a un minuto.

Tali rivelatori trovano impiego preferenziale durante le fasi di sopralluogo finalizzate alla determinazione delle vie principali di accesso del radon.

- ❑ il **Durridge RAD7**, un **rivelatore a semiconduttore**, con elemento sensibile al silicio e sensibilità di 81 cph per 100 Bq m<sup>-3</sup>.
- ❑ Il **Radon Mapper** (e il suo predecessore MR1), un **rivelatore a scintillazione** del tipo a cella di Lucas (ZnS (Ag)), con sensibilità di 240 cph per 100 Bq m<sup>-3</sup>.





# Scelta dei dispositivi attivi «Continuous-sampling»

In essi la **statistica di conteggio**, a parità di concentrazione, è **peggiore** rispetto ai grab sampler. Tempi di integrazioni standard sono di 60 minuti, in alcuni casi anche su intervalli di misura di 10 minuti.

- ❑ L'**AlphaGUARD** (Saphymo), un **rivelatore a camera a ionizzazione**, con sensibilità di 300 cph per 100 Bq m<sup>-3</sup>.
- ❑ Il **Tesla Tera**, un **rivelatore a semiconduttore**, con elemento sensibile al silicio e sensibilità di 25 cph per 100 Bq m<sup>-3</sup>.
- ❑ L'**R-Stone** (R-Sens), un **rivelatore a semiconduttore**, con elemento sensibile al silicio e sensibilità di 5 cph per 100 Bq m<sup>-3</sup>.
- ❑ L'**AER-C** (Algade), un **rivelatore a semiconduttore**, con elemento sensibile al silicio e sensibilità di 4 cph per 100 Bq m<sup>-3</sup>.
- ❑ L'**AlphaE** (Saphymo), un **rivelatore a semiconduttore**, con elemento sensibile al silicio e sensibilità di 3 cph per 100 Bq m<sup>-3</sup>.
- ❑ Il **RadonEye** (FTLab), un **rivelatore a camera a ionizzazione**, con sensibilità di 81 cph per 100 Bq m<sup>-3</sup>.



# Scelta dei dispositivi attivi: confronto numerico

Dispositivo	Sensibilità [cph per 100 Bq/m <sup>3</sup> ]	100 Bq/m <sup>3</sup>			300 Bq/m <sup>3</sup>			1000 Bq/m <sup>3</sup>		
		Conteggi in 1 h [cnt]	Incertezza a [%]	Minima attività rivelabile [cnt]	Conteggi in 1 h [cnt]	Incertezza a [%]	Minima attività rivelabile [cnt]	Conteggi in 1 h [cnt]	Incertezza a [%]	Minima attività rivelabile [cnt]
Durridge RAD7	81	81	11%	45	243	6%	75	810	4%	135
Radon Mapper / MR1	240	240	6%	75	720	4%	127	2400	2%	231
Saphymo AlphaGUARD	300	300	6%	83	900	3%	142	3000	2%	257
Tesla Tera	25	25	20%	26	75	12%	43	250	6%	76
R-sens R-Stone	5	5	45%	13	15	26%	21	50	14%	36
Algade AER-C	4	4	50%	12	12	29%	19	40	16%	32
Saphymo AlphaE	3	3	58%	11	9	33%	17	30	18%	28
FTLab RadonEye	81	81	11%	45	243	6%	75	810	4%	135

# Scelta dei dispositivi passivi

## Classificazione delle tecniche di misura: il tempo

Rispetto alle tecniche attive «**grab**» o «**continuous**», i rivelatori passivi si basano su tecniche “**integrative**” a lungo termine (3-6 mesi tipicamente) che prevedono una **singola esposizione di un rivelatore all'interno dell'ambiente da monitorare** per intervallo di tempo stabilito (la cui scelta è opera del tecnico incaricato), restituendo **un unico valore di concentrazione mediato** su tale intervallo.

- attenzione a fenomeni di **saturazione**, es. il dosimetro ha densità di tracce troppo elevata, lettura inaffidabile.
- **vanno conservati e gestiti bene** per evitare distorsioni di lettura (ageing/fading).

# Scelta dei dispositivi passivi

I più largamente più diffusi sono quelli noti con il nome di Solid State Nuclear Track Detectors (SSNTDs).

**Semplici ed economici → ampia diffusione.**

Tali rivelatori sono largamente impiegati in campagne di misura su media e larga scala nonché nell'ambito degli adempimenti previsti dal D.Lgs. 101/2020.

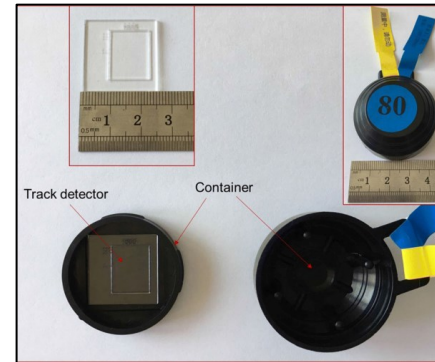
Per tutti questi dispositivi è necessario porre estrema attenzione alle **condizioni di stoccaggio pre e post esposizione** per evitare fenomeni di ageing e fading tali da deteriorare la qualità delle tracce e influenzarne la numerosità rivelabile in fase di lettura. Le due tipologie di rivelatori a stato solido maggiormente impiegate sono CR-39 e LR 115.

# Scelta dei dispositivi passivi

Il **CR-39** è un polimero plastico utilizzabile per valori di esposizione da un minimo di  $20 \text{ kBq h m}^{-3}$  fino a un massimo di  $40.000 \text{ kBq h m}^{-3}$ .

Il CR-39 viene inserito, in un'apposita camera di diffusione che permette la diffusione del radon al suo interno per gradiente di concentrazione impedendo disturbi legati alla progenie. Sono sensibili alla presenza di toron con interferenze medie sulla concentrazione di radon misurata di circa il 5%, valutato in termini percentuali rispetto alla concentrazione di toron nella posizione della misura.

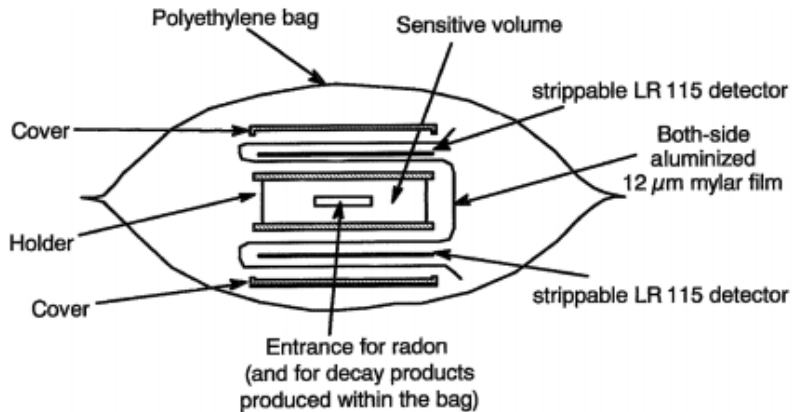
Tra i vantaggi si hanno l'indipendenza della temperatura fino a  $110^\circ\text{C}$  e dall'umidità nel range 5–95%. La problematica principale è legata alla variabilità del numero di tracce per batch di materiale (dosimetri di controllo). Da gestire fading ed ageing.



Liu, C., Zeng, Z., Ma, H. et al. The CR-39 etching optimization and measurement for radon in China Jinping Underground Laboratory. J Radioanal Nucl Chem 318, 1369–1377 (2018).

# Scelta dei dispositivi passivi

I rivelatori a tracce noti con il nome di **LR 115** sono invece costituiti da un sottile film di nitrato di cellulosa fissato su un supporto trasparente di poliestere più spesso (100  $\mu\text{m}$ ). Questo l'elemento sensibile. La loro realizzazione costruttiva è più complessa e richiede maggiori accorgimenti.



Aranzulla, Massimo. (2005). Misure di Radon con la tecnica dei rivelatori a tracce nucleari CR-39. Progettazione ed applicazioni.

F. Bochicchio, F. Forastiere, S. Farchi, D. Marocco, M. Quarto, F. Sera, Quality assurance program for LR 115 based radon concentration measurements in a case-control study: description and results, Radiation Measurements, Volume 36, Issues 1–6, 2003, 205-210, [https://doi.org/10.1016/S1350-4487\(03\)00124-0](https://doi.org/10.1016/S1350-4487(03)00124-0).



# Accorgimenti generali

## Strumentazione passiva

**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

Opportuno impiegarli secondo quanto specificato nel **manuale d'uso del dispositivo**, in special modo a riguardo di **compatibilità con i parametri ambientali** (T, p, u.r.) e **potenziali eventuali interferenze legate a  $^{220}\text{Rn}$** .

# Panoramica interventi di risanamento

## **Interventi sul suolo**

- depressurizzazione del suolo al perimetro edificio,
- depressurizzazione del suolo sotto fondazione edificio,

## **Sigillatura e barriere**

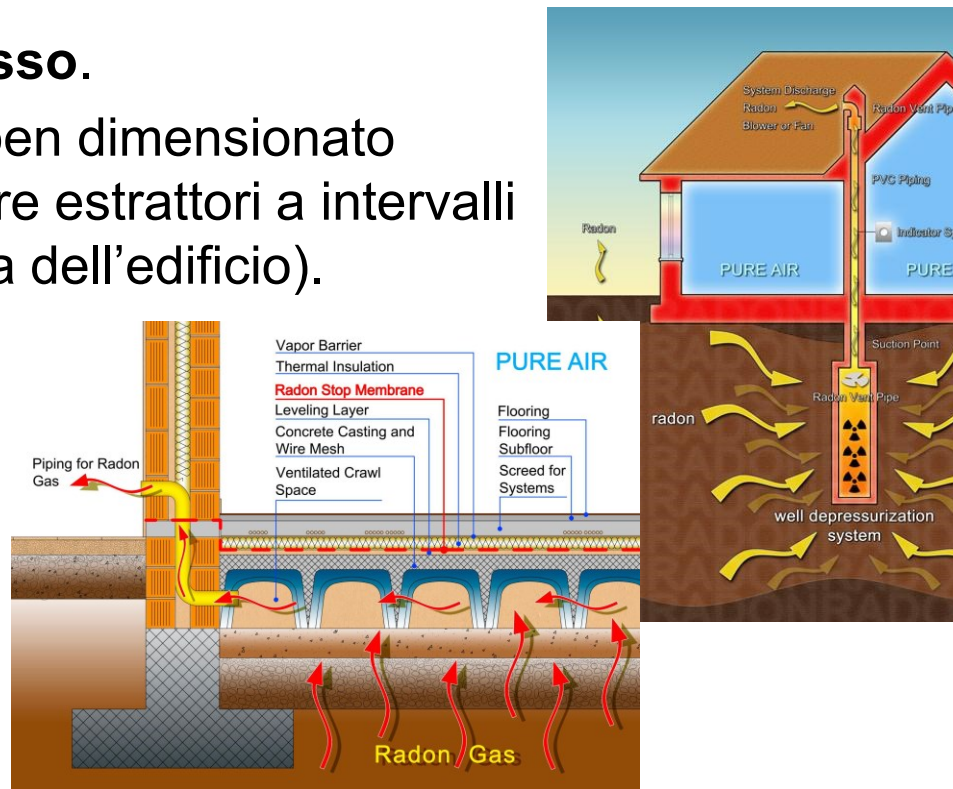
- vespai areati (ventilazione naturale o forzata),
- membrane anti-radon,

## **Ventilazione degli ambienti**

- diluizione accumulo di radon in aria con ricambi aria ambiente,
- controllo delle pressioni (leggera sovrappressione).

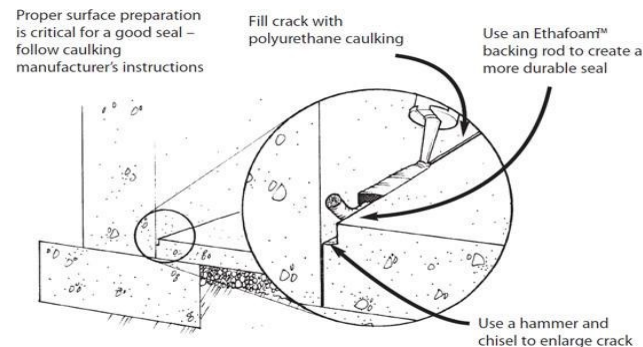
# Tecnica 1 – depressurizzazione suolo e barriera

- **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.

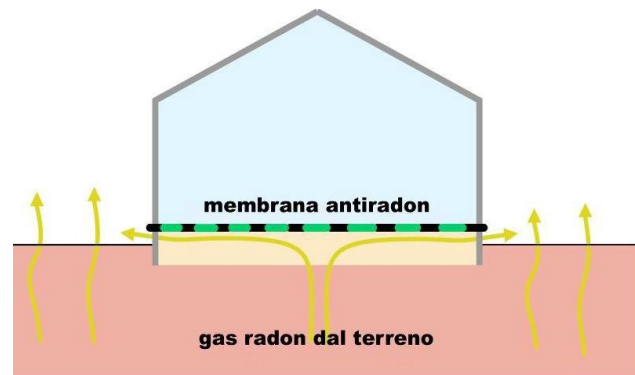


# Tecnica 2 – sigillature e membrane

- **Riduce ingressi puntuali**
- Difficilmente sufficiente da sola
- Occorre verificare **stabilità nel tempo**
- **Tecnica complementare**
- Normalmente utilizzata per evitare risalite dell'umidità. Nel caso del radon, installazione anche sotto le mura



Membrane bituminose "barriera al vapore" non certificate "anti-radon"	2,50-3,00 €/m <sup>2</sup>
Membrane sintetiche certificate "anti-radon" – base	5,00-6,00 €/m <sup>2</sup>
Membrane sintetiche certificate "anti-radon" – rinforzate (resistenti all'usura ed al calpestio)	9,00 €/m <sup>2</sup>
Messa in opera	Circa 3,00 €/m <sup>2</sup>



# Tecnica 3 – Ventilazione controllata / sovrappressioni

- Diluizione contaminante
- Richiede bilanciamento
- Attenzione a  $\Delta p$
- Barriera attiva

## P1.E1 Presa d'aria per sistemi di ventilazione

La presa d'aria esterna per i sistemi di ventilazione deve trovarsi a un'altezza di almeno 3 metri da terra nelle aree accessibili al pubblico. Questa altezza può essere ridotta a 1,5 metri nelle aree private senza possibilità di accesso. Se la condotta deve attraversare il terreno, deve essere resa ermetica (vedi dettaglio D1.2 – Pozzo canadese).

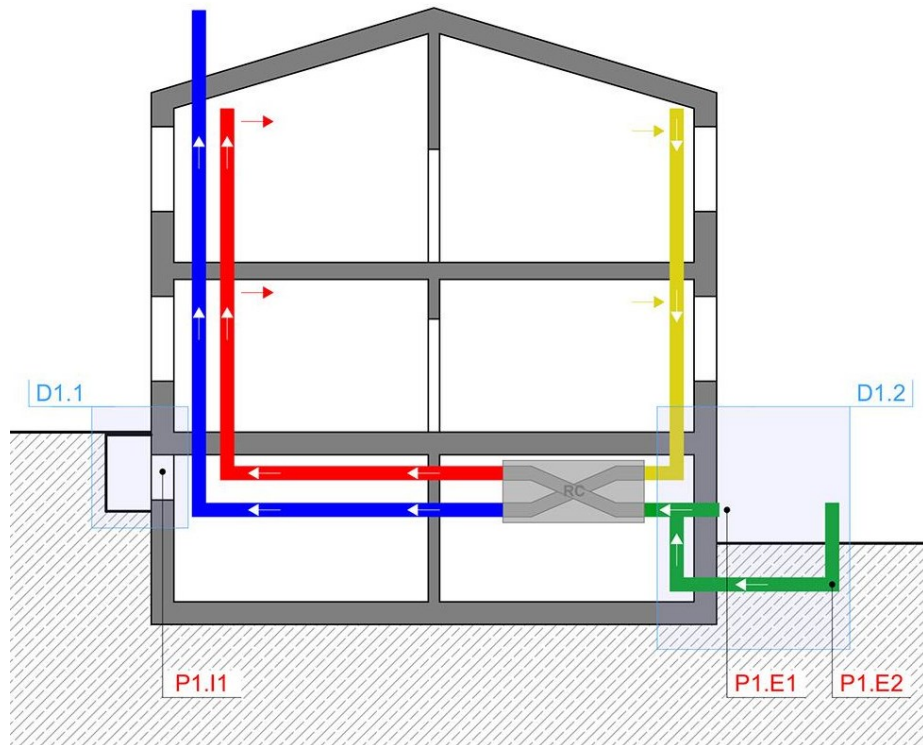
## P1.E2 Pozzo canadese

Lo scopo del pozzo canadese è quello di climatizzare l'aria esterna prima di introdurla nell'edificio. La presa d'aria deve essere portata ad almeno 1,5 m o 3 m da terra, a seconda della situazione. Il tubo deve essere reso ermetico, in PE o PP. I collegamenti tra i tubi devono essere ermetici. Nella rete deve essere prevista una pendenza minima del 2% per l'evacuazione dell'acqua di condensa tramite un sifone. L'introduzione nell'edificio deve avvenire in modo attento e con un manicotto a tenuta stagna.

Un'alternativa al pozzo canadese, che presenta minori rischi di contaminazione se non è a tenuta stagna, è uno scambiatore di calore geotermico ad acqua glicolata che consente di intervenire sulla temperatura dell'aria senza la necessità di perforare in profondità.

## P1.I1 Finestra in un pozzo luce

Una finestra in un pozzo luce presenta rischi per quanto riguarda il radon. Se il pozzo luce è a tenuta stagna (ad es. cemento, muratura, impermeabilizzante in PP), il rischio di radon si riduce notevolmente. È importante che l'impermeabilizzazione delle superfici dell'involucro sia continua anche nel pozzo.



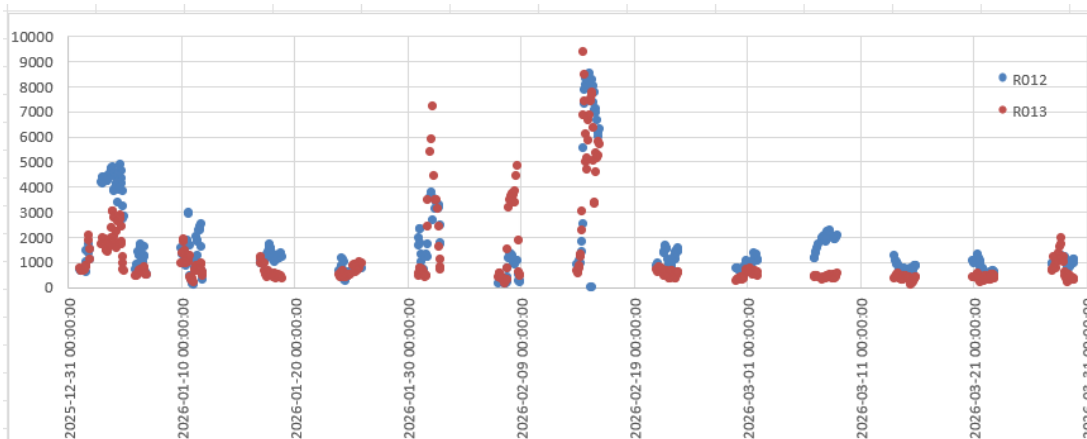
# Scelta tecnica

- **alte concentrazioni** (migliaia Bq/m<sup>3</sup>)
  - **richiedono tipicamente interventi attivi**,
  - VMC come unico rimedio se non si può intervenire su edificio.
- **concentrazioni medie** (centinaia Bq/m<sup>3</sup>)
  - ventilazione con sistemi semplici e/o ventilazione naturale
  - sigillatura
- verifiche operative
  - occorre **monitorare funzionamento continuativo** (sistemi attivi)
  - verifica **mantenimento efficacia nel tempo** (sistemi passivi)

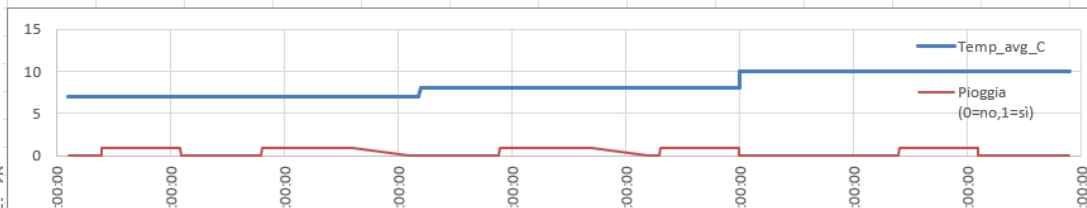
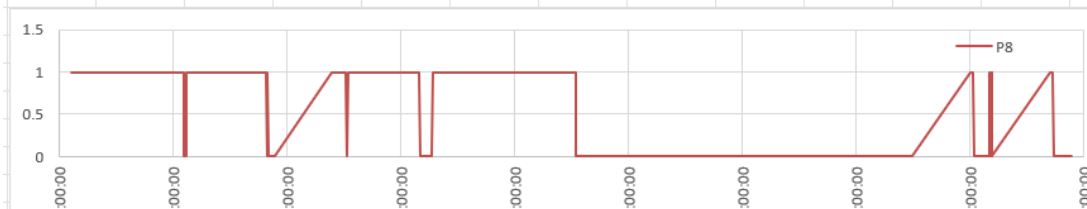


# Caso reale (1)

- Edificio  
riqualificato
- Radon  
aumenta  
(P8 crea  $\Delta p$   
interno)
- Soluzione:  
VMC  
bilanciata +  
correzione  
 $\Delta p$

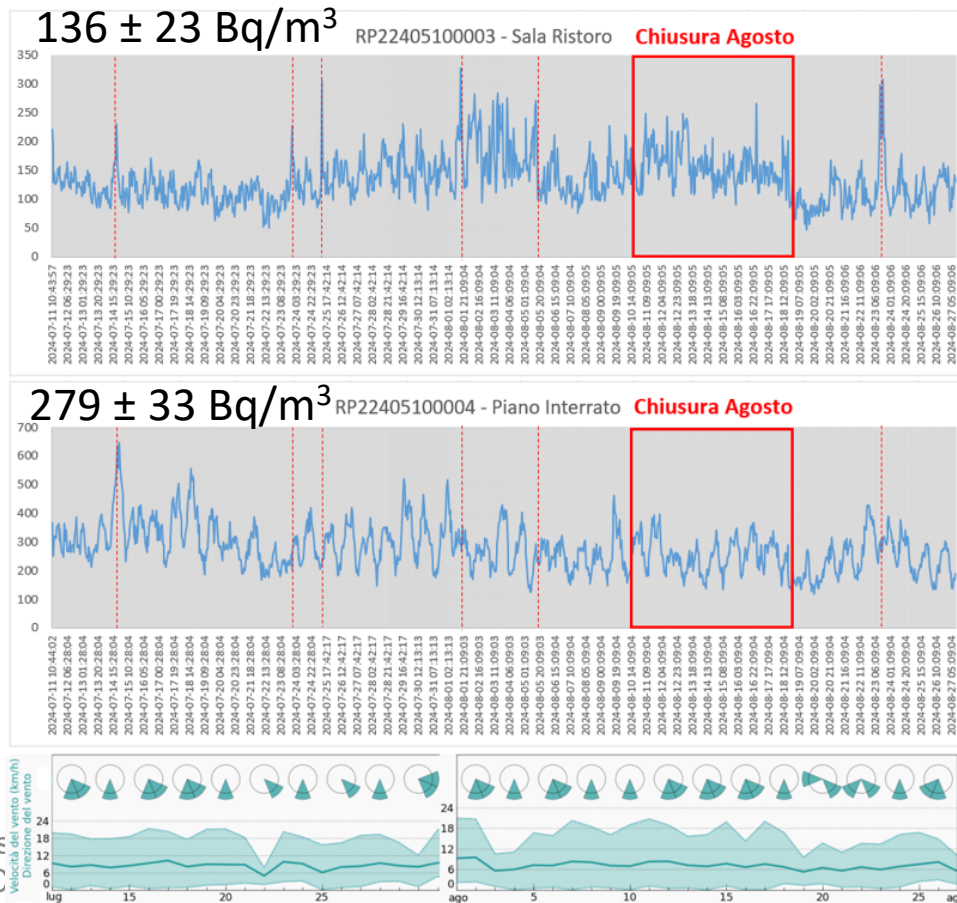


Media R012 - P08 ON	2104.60
Media R013 - P08 ON	1667.61
Media R012 - P08 OFF	998.60
Media R013 - P08 OFF	452.82



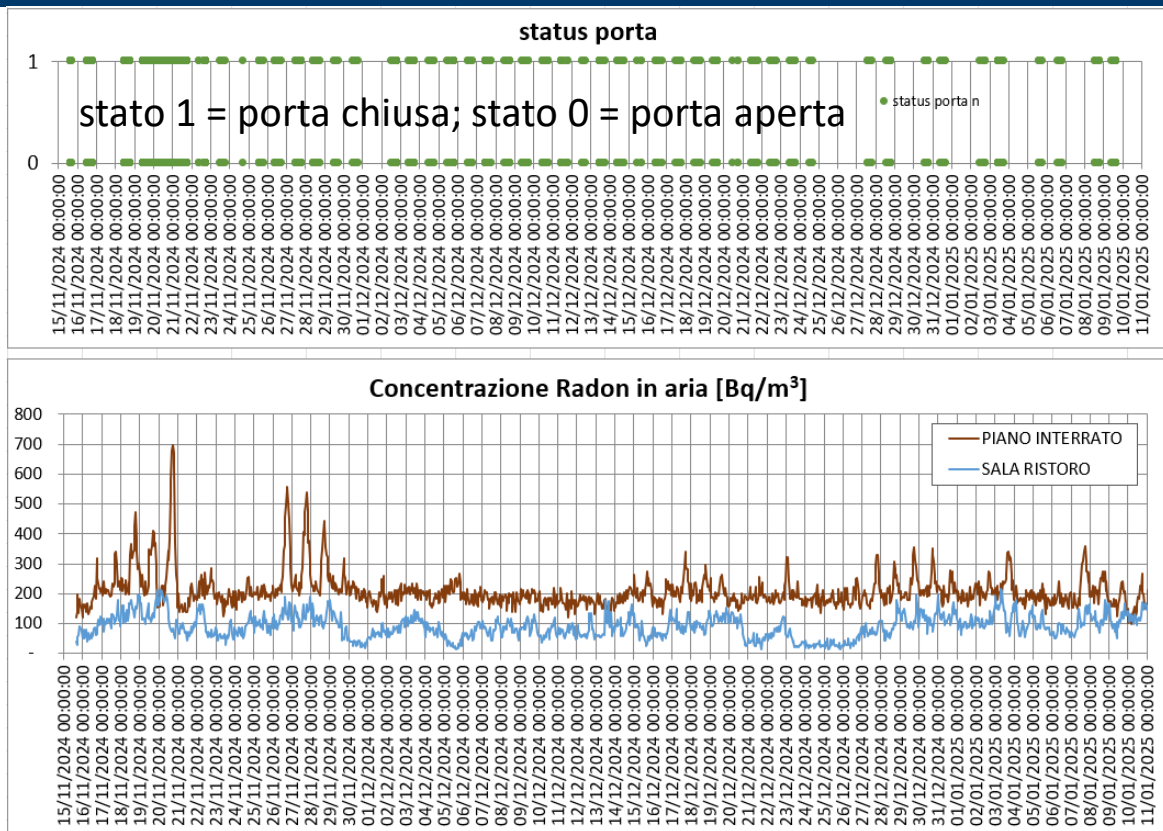
# Caso reale (2)

- Negozio esistente, bocche di lupo al piano interrato
- Apertura porte e finestre aumenta  $^{222}\text{Rn}$  al piano terra
- Soluzione: interruzione flusso aria tra piano interrato e piano terra mediante porta chiusa (porta acustica)



## Caso reale (2)

- Mis. 3.3, Sala ristoro, 15/11/2024 – 11/01/2025:  $91 \pm 18 \text{ Bq/m}^3$ ;
- Mis. 4.3, Piano interrato, 15/11/2024 – 11/01/2025 :  $208 \pm 28 \text{ Bq/m}^3$
- Controllo chiusura porta con sensore Arduino
- Complessiva riduzione concentrazione sia piano terra che interrato ( $\downarrow \Delta p$ ) nonostante periodo invernale



# Documentazione di riferimento

- Linee guida regione Lombardia  
[Regione Lombardia, DGR 9 dicembre 2025 - n. XII/5469 - Approvazione del documento «Linee guida per la prevenzione delle esposizioni al gas radon in ambienti indoor. Aggiornamento del quadro normativo, scientifico ed epidemiologico»](#)
- Guida tecnica Svizzera  
[Disposizioni legali relative al radon](#)  
[https://www.bag.admin.ch/dam/it/sd-web/aYL8KyFk7Tjm/Buch\\_Radon\\_IT.pdf](https://www.bag.admin.ch/dam/it/sd-web/aYL8KyFk7Tjm/Buch_Radon_IT.pdf)
- World Health Organization (WHO), *WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective*, Geneva, 2009.
- Radon Prevention and Remediation – RADPAR-RESPIRE  
[Project Management Plan Template](#)
- Linee guida Canada  
[Radon - Reduction Guide for Canadians - Canada.ca](#)  
[radon\\_canadians-canadien-eng.pdf](#)

# Conclusioni

- Non possiamo concepire intervento senza corretta misura del  $^{222}\text{Rn}$  e 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  $^{222}\text{Rn}$  indoor (aumento depressioni).
- Occorre **ragionare in termini di pressione**.
- È opportuno, in fase progettuale, **integrare** sempre HVAC e radon.
- Meglio progettare bene dall'inizio, evitando di dover correggere poi.

Luigi Lepore  
luigi.lepore@enea.it



1101 0110 1100  
0101 0010 1101  
0001 0110 1110  
1101 0010 1101  
1111 1010 0000

