UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'INSUBRIA

Convegno: **La gestione del rischio Radon**

Varese, 12 aprile 2024

Tecniche di risanamento

aspetti teorici e pratici

Mauro Gandolla ing dipl ETH/SIA - Gianluca Bertoni ing POLIMI

ECONS SA, CH-6934 Bioggio



Definizioni

Il Radon è un **gas radioattivo naturale**, inodore ed incolore, prodotto dal decadimento dell'Uranio. L'Uranio è fra i più antichi elementi naturali esistenti ed è distribuito più o meno ovunque sulla crosta terrestre, perciò anche il radon è presente in tracce nel sottosuolo quasi dappertutto.

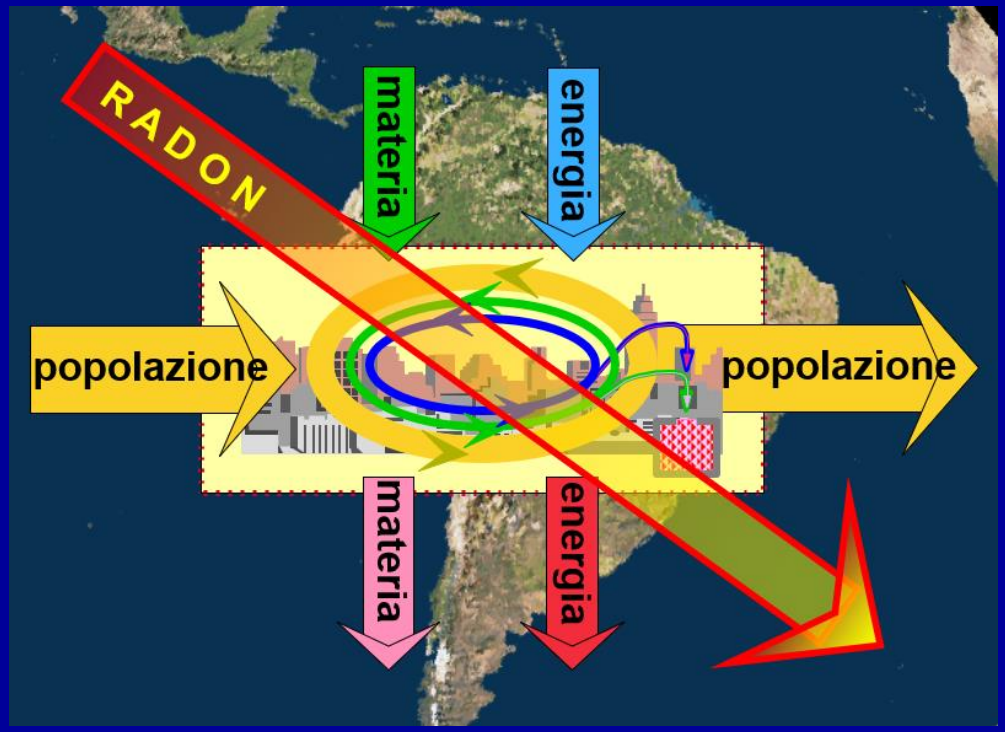
Esistono 3 isotopi naturali dell'elemento radon: il più noto è il Radon **Rn-222**, altri 2, meno ***considerati legalmente,*** sono Rn-220 (detto Thoron) e Rn-219 (detto Actinon).

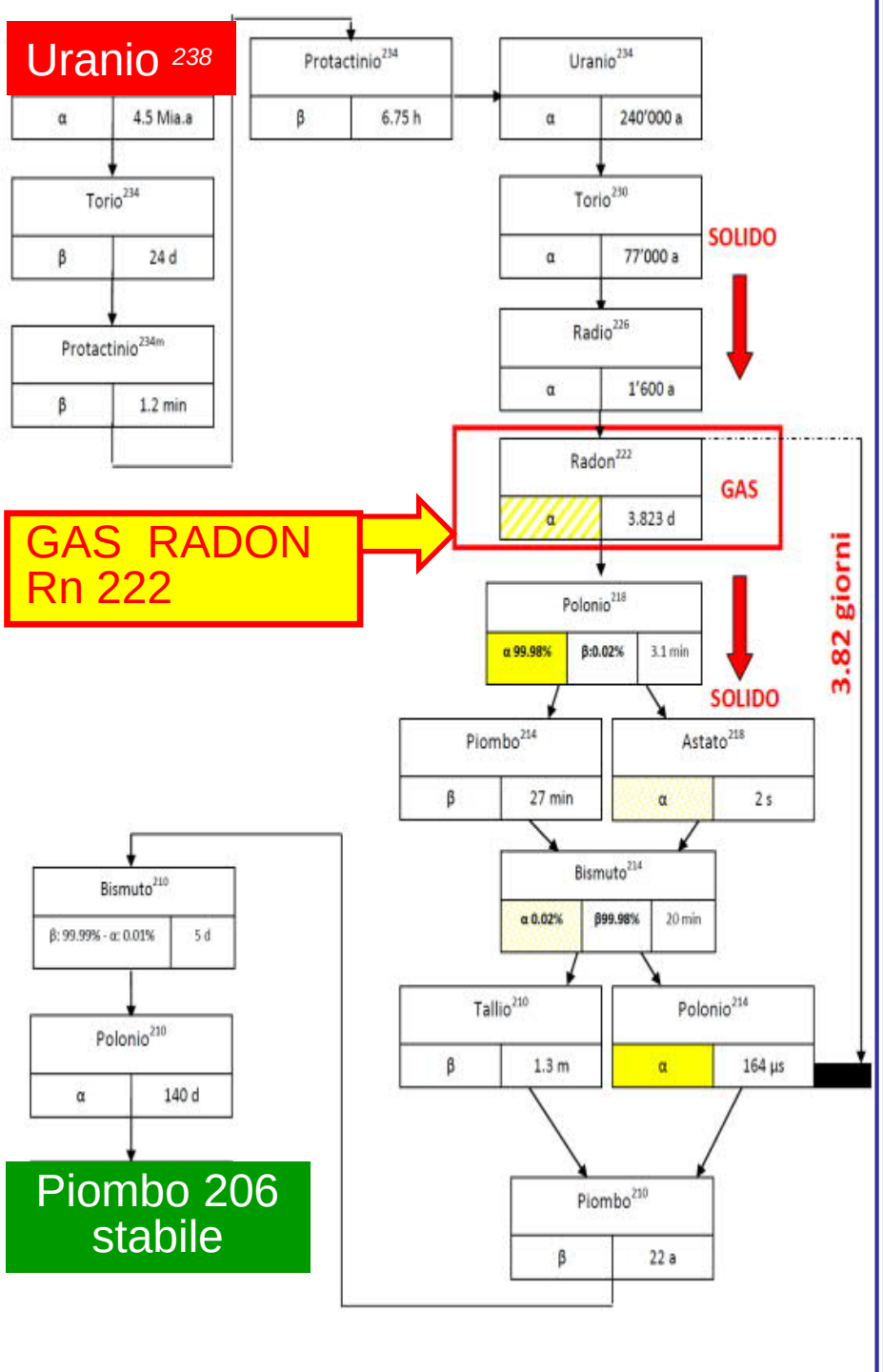
Dal punto di vista del rischio per la salute, i citati isotopi non sono da trascurare.

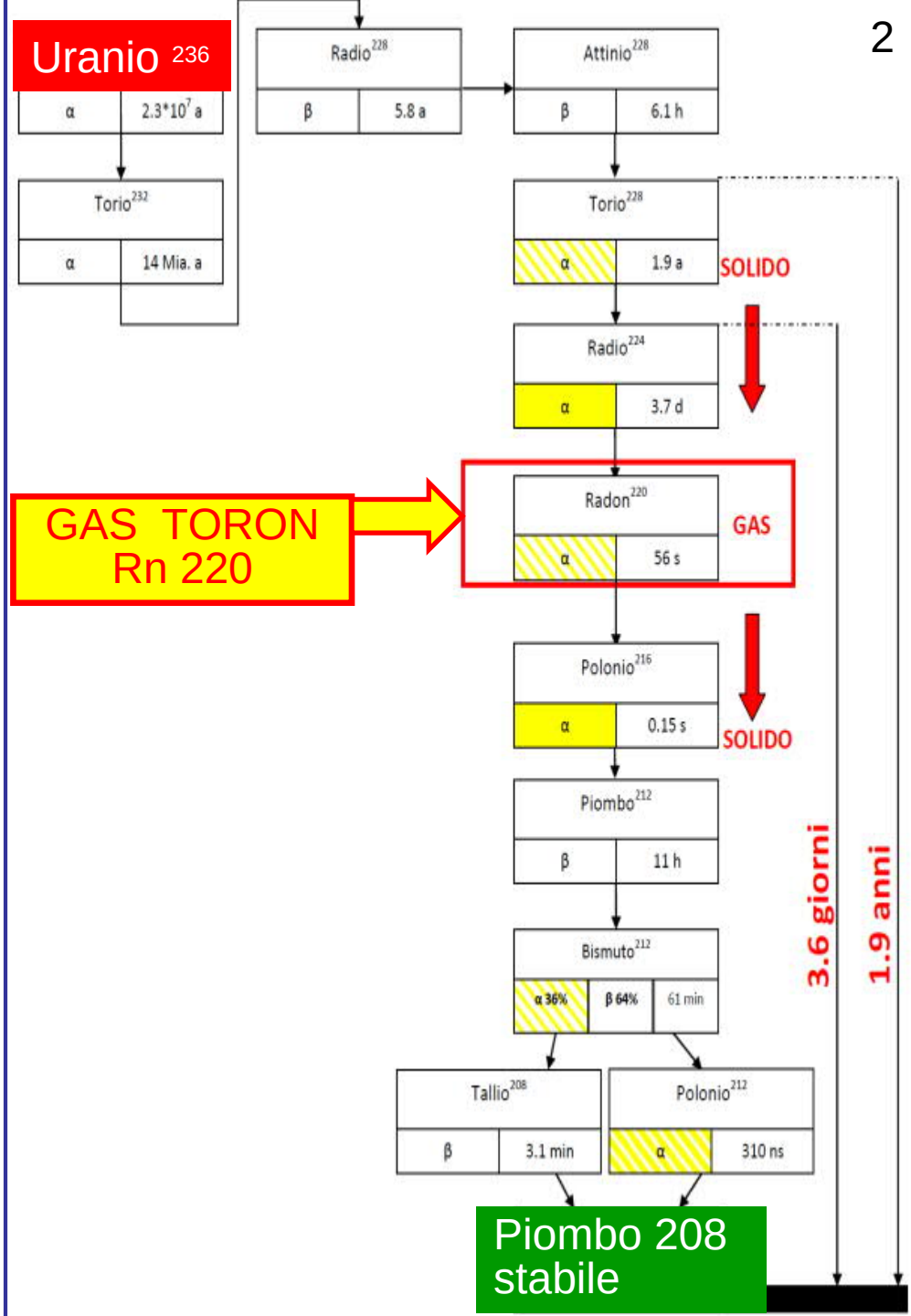
Metabolismo: insieme delle trasformazioni e dei flussi di materia e di energia che avvengono nelle cellule e negli organismi viventi, durante la loro vita.

Metabolismo dell'edificio: insieme delle trasformazioni e dei flussi di persone, di materia e d'energia che avvengono in un edificio, durante la sua vita.

In questo metabolismo, il radon può condizionare la salute degli occupanti




Uranio 238
α 4.5 Mia.a
Protactinio234
β 6.75 h
Uranio234
α 240'000 a
Torio234
β 24 d
Torio230
α 77'000 a
SOLIDO
Protactinio234m
β 1.2 min
Radio226
α 1'600 a
GAS RADON Rn 222
Radon222
α 3.823 d
GAS
3.82 giorni
Polonio218
α 99.98% β:0.02% 3.1 min
SOLIDO
Piombo214
β 27 min
Astato218
α 2 s
Bismuto214
α 0.02% β99.98% 20 min
Tallio210
β 1.3 m
Polonio214
α 164 µs
Piombo210
β 22 a
Bismuto210
β: 99.99% - α: 0.01% 5 d
Polonio210
α 140 d
Piombo 206 stabile


Uranio 236
α 2.3*10^7 a
Radio228
β 5.8 a
Attinio228
β 6.1 h
Torio232
α 14 Mia. a
Torio228
α 1.9 a
SOLIDO
Radio224
α 3.7 d
GAS TORON Rn 220
Radon220
α 56 s
GAS
Polonio216
α 0.15 s
SOLIDO
Piombo212
β 11 h
Bismuto212
α 36% β 64% 61 min
3.6 giorni
1.9 anni
Tallio208
β 3.1 min
Polonio212
α 310 ns
Piombo 208 stabile

Movimenti del Radon

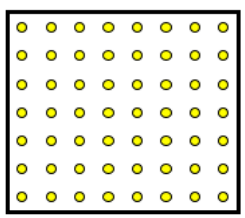
La velocità di decadimento dal precursore solido al gas Radon, in relazione all'emivita dello stesso, non è in grado di produrre sovrapressioni tali da causarne una migrazione significativa.

nome elemento	n.o.	simbolo	peso atomico	emissione	perdita massa	tempo di *mezza vita (dimezzamento)* anni	anni	densità kg/dm^3
Radio	***88***	***Ra***	***226***	***α***	***-12***	***1.60 10^3 y***	***1'600***	***9.32***
Radon	***86***	***Rn***	***222***	***α***	***-16***	***3.82 d***	***0.010466***	***0.00973***
Polonio		***Po***	***218***	***α***	***-20***	***3.11 min***	***0.000006***	***9.196***

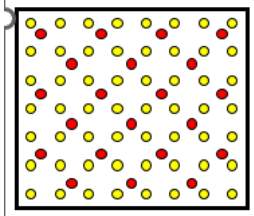
In pratica, il gas Radon si sposta solo per diffusone o per convezione, se trascinato da un altro fluido, sia gassoso (aria, biogas, ..) che liquido (acqua, ..).

Movimenti del Radon

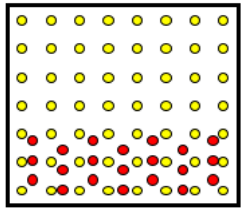
Diffusione: il gas Radon tende ad espandersi all'interno di un volume chiuso, occupando omogeneamente tutto lo spazio e compenetrando gli altri gas. Non esiste una stratificazione dei gas, con la quale il gas più pesante che si concentrerebbe in basso e quello più leggero in alto.



Un solo gas occupa tutto il volume disponibile; la stratificazione per gravità è praticamente trascurabile.



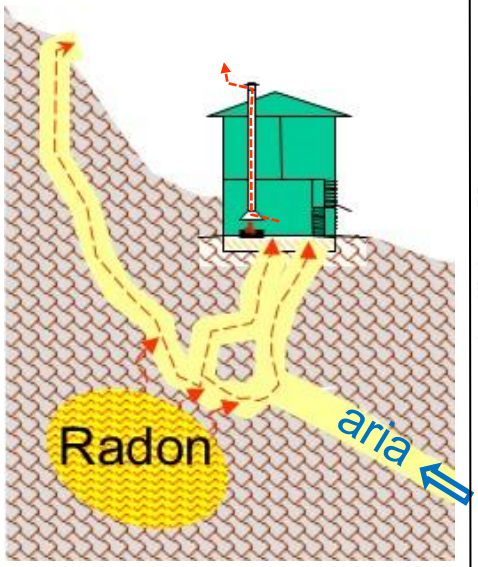
La presenza di 2 gas comporta la compenetrazione delle singole componenti, che tendono a ripartirsi su tutto il volume disponibile.



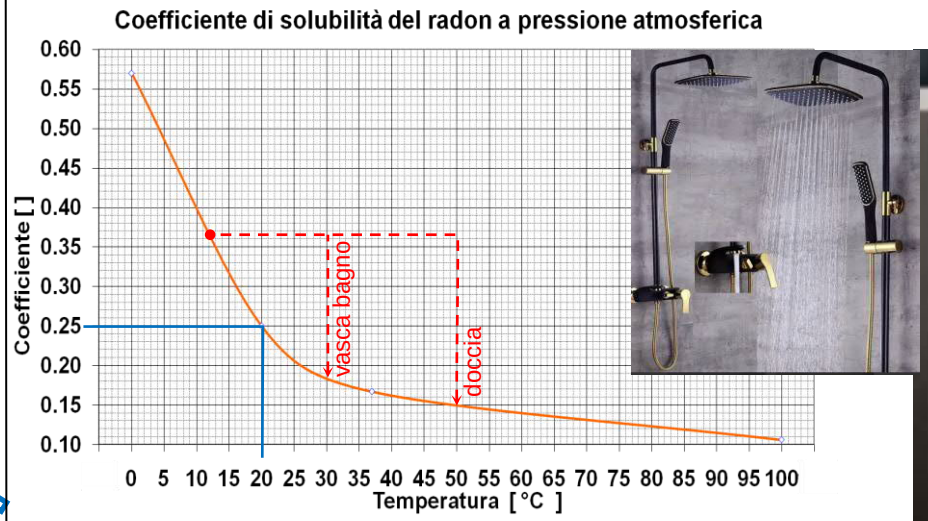
L'introduzione in un volume chiuso di un secondo gas più pesante (come il Radon), può causare una stratificazione temporanea, fino a quando quest'ultimo non ha compenetrato il primo.

Movimenti del Radon

Convezione: il gas Radon viene trascinato da flussi liquidi in movimento, diluito in aria o disciolto in acqua.



Il vento può influenzare i movimenti sotterranei dei gas.

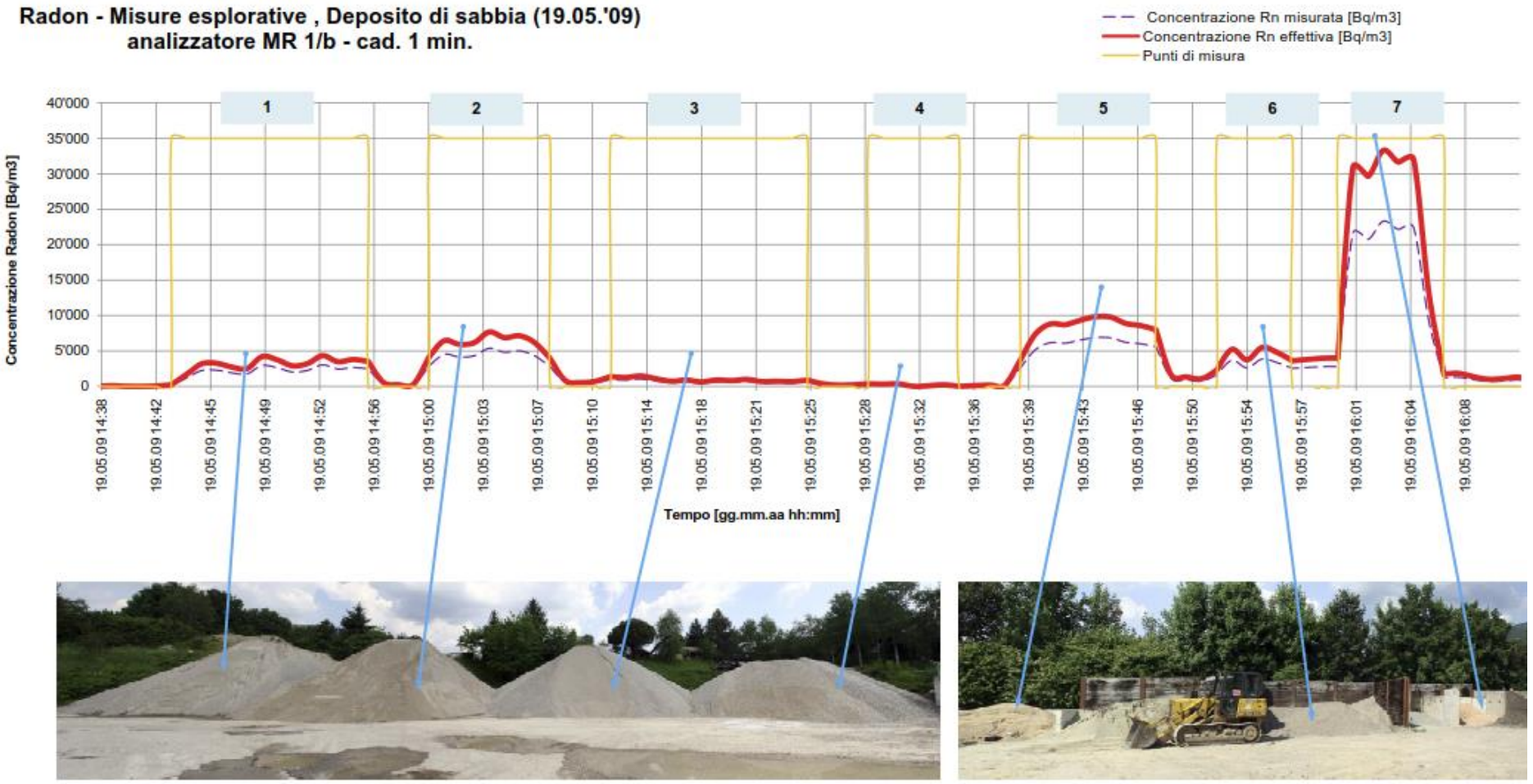


La solubilità del Radon in acqua, a parità di pressione, diminuisce con l'aumento della temperatura.



Movimenti dei precursori del Radon

L'eventuale trasferimento di elementi precursori del Radon (per esempio sabbie radioattive o materiali da costruzione) è causa di movimento della sorgente di Radon, che poi migrerà per diffusione o convezione.

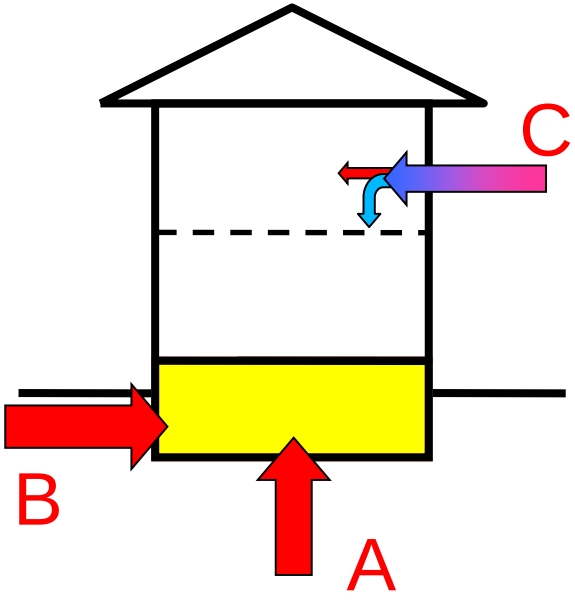


Sabbie utilizzate per la produzione di calcestruzzo (Ticino - Lombardia)

Infiltrazioni e origini del Radon

Principali vie d'infiltrazione di Radon negli edifici

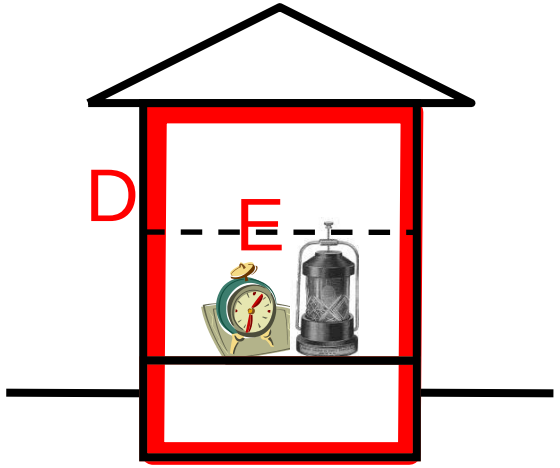
- Direttamente dal terreno (A) (casi frequenti)
- Tramite le reti urbane interrate (B): condotte elettriche, canalizzazioni, condotte di distribuzione di acqua, … (casi frequenti)
- Tramite l'atmosfera e/o dall'approvvigionamento di acqua potabile o industriale (C): disciolto in acqua e strippato all'interno (casi rari)



Principali cause di produzione di Radon negli edifici

Trattasi di casi sporadici, ma non da sottovalutare

- Beton realizzato con inerti troppo radioattivi (D)
- Elementi e oggetti vari contenenti Radio (E)



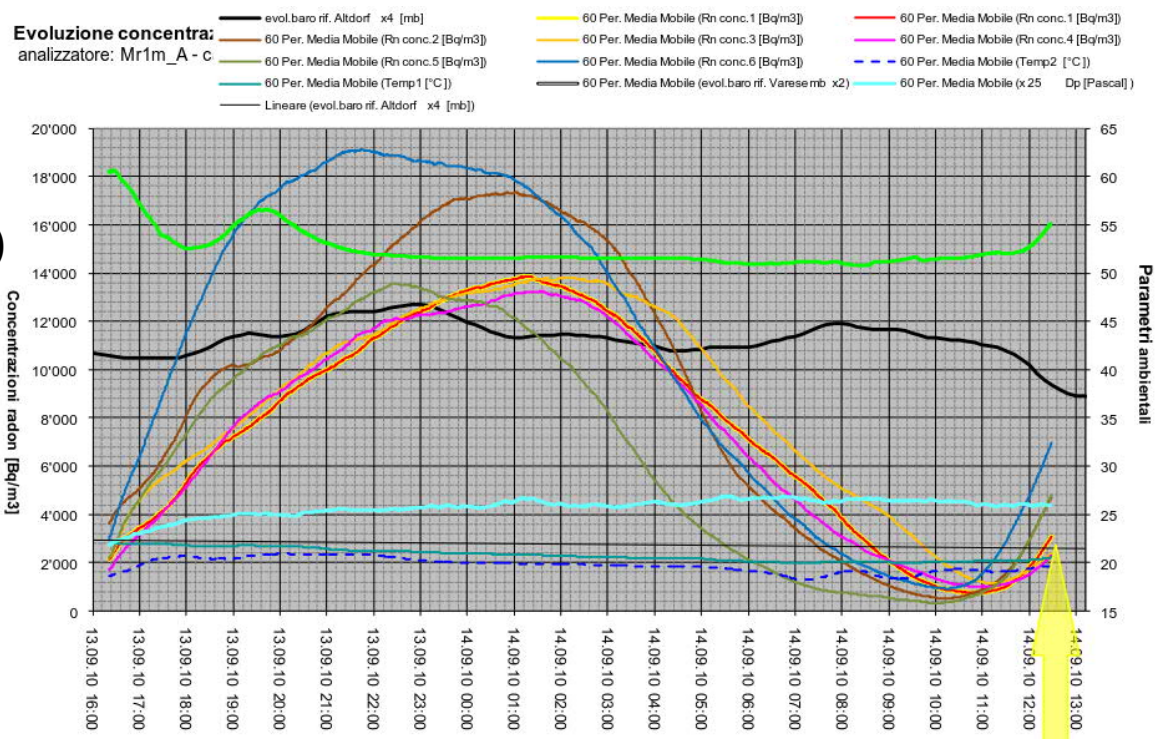
Origini e infiltrazioni del Radon

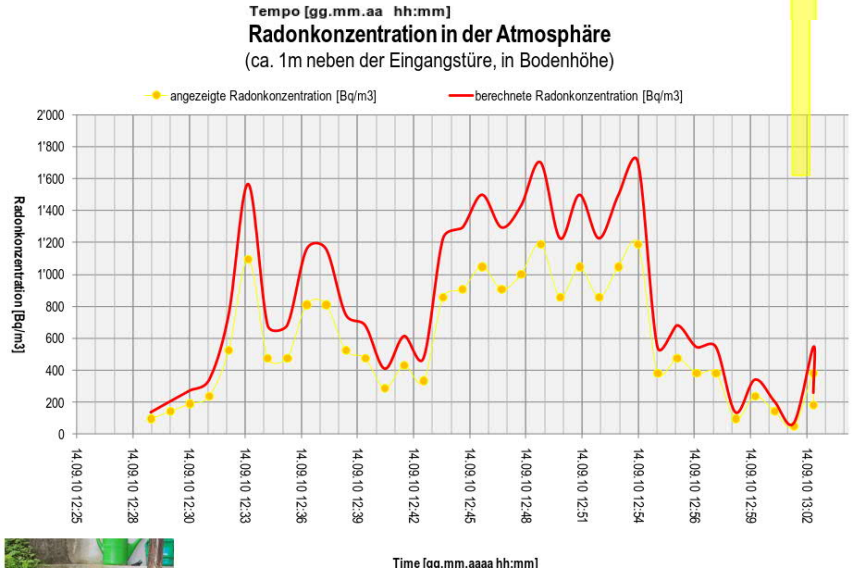
Svizzera:

Vecchia abitazione, edificata presso un deposito di materiale proveniente dallo scavo (1870 ca) di una galleria delle ferrovie del Gottardo.

In alcuni casi il Radon è misurabile anche in atmosfera, a qualche metro dal suolo, in concentrazioni significative. Probabile presenza di rocce fortemente uranifere







Origini e movimenti del Radon

Luogo di utilizzo
Kazakistan

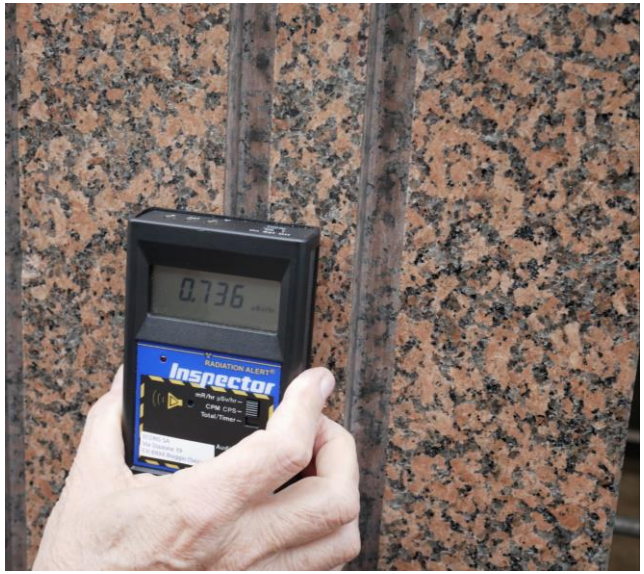
Sodalite
pietra ornamentale
Origine: Bolivia o Cina
via Italia e Svizzera



Luogo di utilizzo
Zurigo

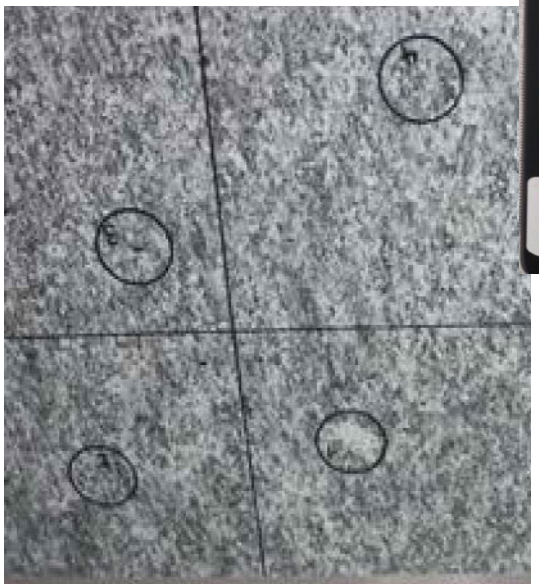
Granito Capão Bonito,
pietra ornamentale
Brasiliana





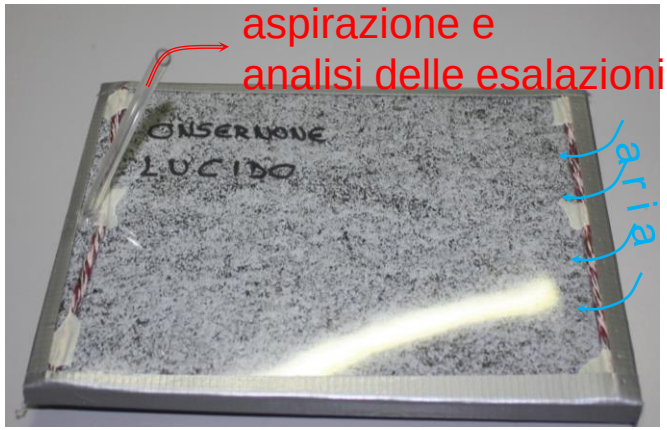
Origini e movimenti del Radon

Alcune pietre ornamentali possono essere fonti di esalazione di Rn220 e Rn222.





Rilevamento
delle esalazioni



Granito ticinese, in alcuni casi presenza di eccessive esalazioni di Rn 222 e Rn 220: quali limitazioni di utilizzo ?
Utilizzazioni interna (edifici): sconsigliata e subordinata all'esecuzione di ulteriori analisi di esalazioni di Radon!

Radiazione	Unità di misura	Fondo	*Rilevamento 1	Rapporto rilevamento 1/fondo	*Rilevamento 2	Rapporto rilevamenti 2/fondo	*Rilevamento 3	Rapporto rilevamenti 3/fondo	*Rilevamento 4	Rapporto rilevamenti 4/fondo	Media valori dei campioni	Rapporto media/fondo
$\alpha + \beta + \gamma$	c.p.m.	48.5	120.3	2.5	108.5	2.2	108.5	2.2	120.9	2.5	114.6	2.4

Obiettivi principali delle migrazioni di Radon

I luoghi di presenza antropica sono da considerare come obiettivi di potenziali significative migrazioni dei gas Radon; essi sono:

Edifici	abitativi professionali industriali
Strutture sotterranee	gallerie magazzini
Acquedotti	distribuzione acqua potabile locali di trattamento locali di accumulo (fanghi)

A protezione degli occupanti, per i tre precedenti luoghi, le normative EU hanno recepito gran parte delle raccomandazioni dell'OMS.

Principi di prevenzione per la presenza di Radon nel sottosuolo

Prima di realizzare una struttura è opportuno valutare il livello di presenza dei gas Radon nel sottosuolo o nelle reti sotterranee di collegamento urbane.

Carte geologiche: forniscono indicazioni generali su scala di diversi km^2

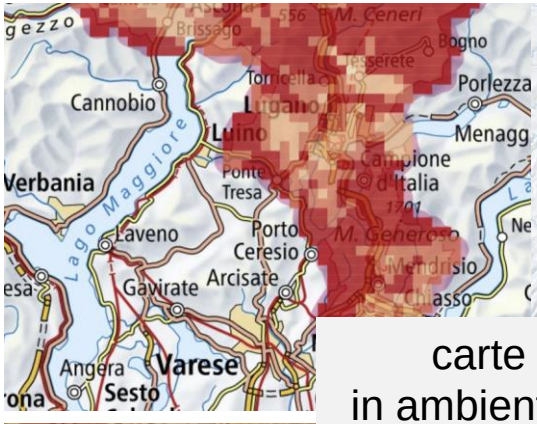
Carte Radon nel sottosuolo: poco diffuse e non sempre suddivise in Rn-222 e Rn-220

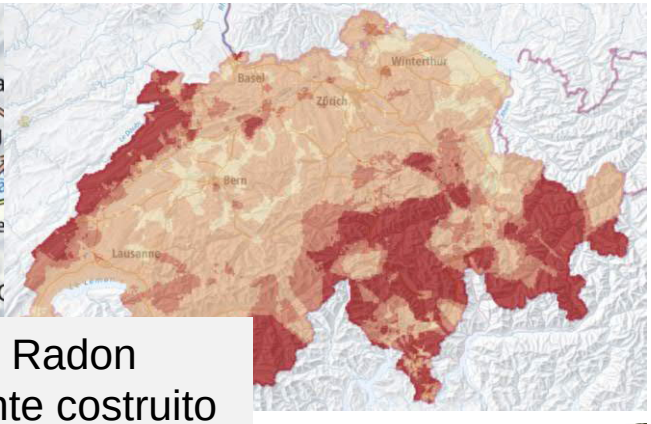
Carte Radon nell'ambiente costruito: relativamente diffuse, spesso basate su analisi dosimetriche eseguite all'interno di edifici esistenti, senza una sufficiente descrizione delle caratteristiche costruttive dei singoli edifici. Non suddivise in Rn-222 e Rn220; di regola forniscono indicazioni generiche su scala di 1 km^2

Carte delle reti urbane sotterranee: reti elettriche, delle canalizzazioni, della distribuzione di acqua potabile, nonché reti telefoniche e di altri segnali, fino al previsto allacciamento all'edificio interessato.

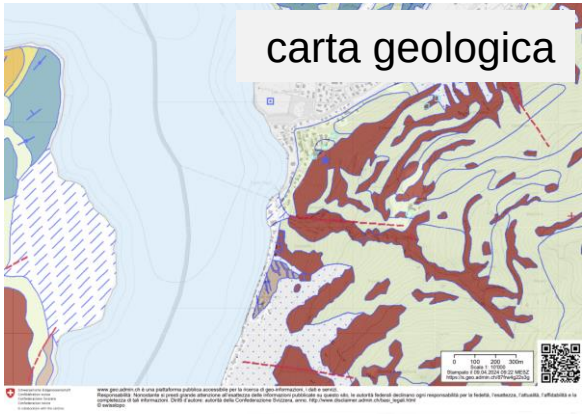
A complemento delle informazioni sopra elencate è comunque particolarmente utile eseguire una campagna di analisi di Radon nel terreno che verrà edificato, prima dello scavo. Dette analisi dovranno indicare le concentrazioni di RN-222 separatamente da quelle dei Rn-220. Profondità >0.5 m e distanze di ca 10 m.
A scavo eseguito è utile rilevare la stratificazione del terreno ed eventuali strati ad alta concentrazione di Rn.

Principi di prevenzione per la presenza di Radon nel sottosuolo

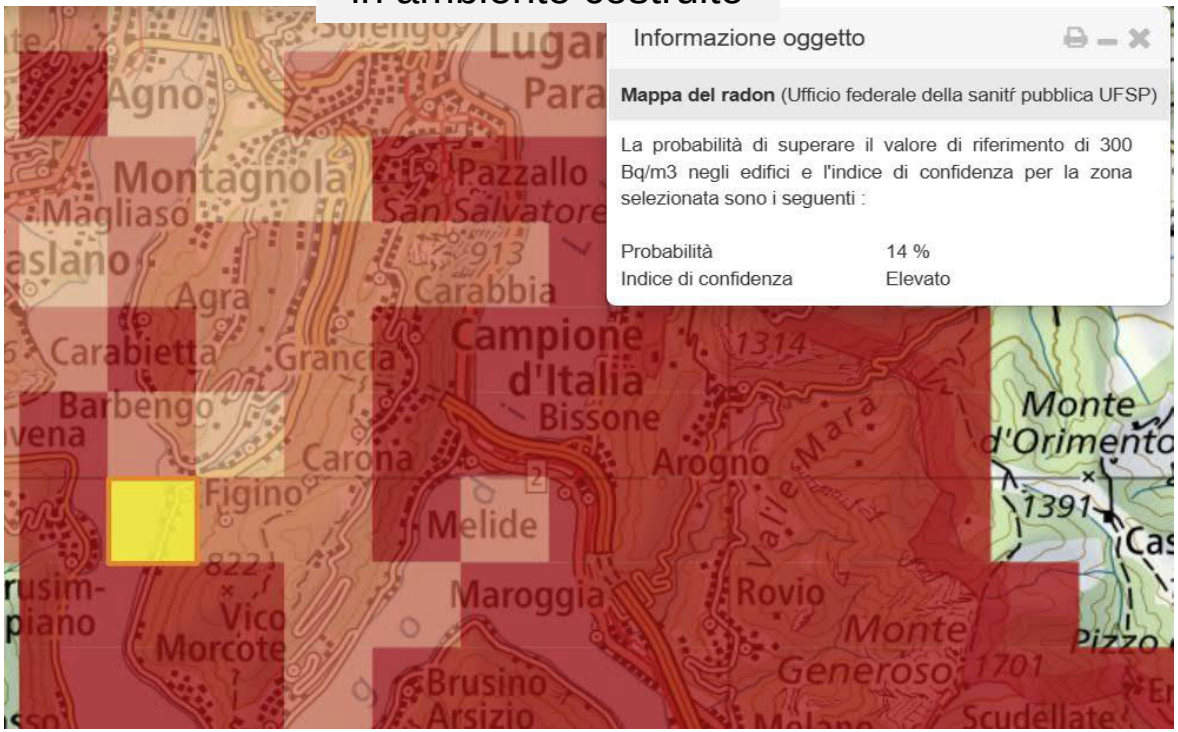


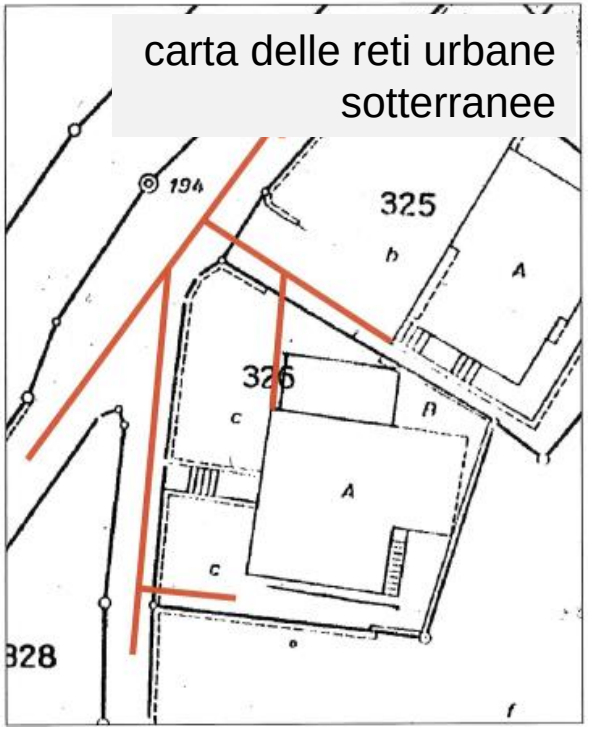


carte Radon
in ambiente costruito



carta geologica





carta delle reti urbane
sotterranee

Principi di prevenzione per la presenza di Radon nel sottosuolo







analisi di Radon nel terreno
valori tipici per Rn 222 + Rn 220:
5’000 – 150’000 Bq/m3



Principi di protezione e di risanamento per le infiltrazioni di Radon (1)

Per gli edifici, i principi di protezione e di risanamento per le infiltrazioni di Radon sono sostanzialmente 2 :

1) **Intercettazione del Radon all'esterno dell'edificio**

1.1) **Barriere statiche**, composte da pareti continue e sufficientemente impermeabili ai gas.

- I materiali generalmente usati sono: membrane o teli in PE, PPE, o altri prodotti sintetici analoghi, eventualmente anche stratificati o accoppiati con fogli di allumino. Il PVC è sconsigliato in quanto, a lungo termine, è chimicamente instabile.
- Anche il calcestruzzo, utilizzato per la costruzione di «*vasche bianche*» interrate è considerato materiale idoneo, ma soggetto a fessurazioni da assestamenti differenziali.
- Un ulteriore materiale utilizzato è il vetro cellulare (Foamglas) in piastre adiacenti e sigillate con un apposito mastice. Questo materiale è assolutamente impermeabile al gas Radon, ma è molto fragile e poco resistente in caso di assestamenti.

Quali garanzie possiamo dare a medio-lungo termine (> 10 anni) ?
Quali sono le difficoltà di riparazione in caso di disfunzione ?

Principi di protezione e di risanamento per le infiltrazioni di Radon (2)

1.2) **Barriere dinamiche**: trattasi di spazi sotterranei esterni, di regola a contatto con l'edificio che, sotto l'effetto di una differenza di pressione indotta artificialmente o naturalmente, ostacolano la migrazione del gas Radon verso l'interno del fabbricato.

- Se la differenza di pressione è negativa (aspirazione) il flusso gassoso viene captato e dovrà essere adeguatamente dissipato in atmosfera.
- Se la differenza di pressione è positiva (insufflazione) il flusso gassoso viene respinto verso altre direzioni, perdendone il controllo e creando un potenziale problema per il vicinato. In caso di vicinanza di altri edifici o di contatto con reti urbane sotterranee, questo sistema è sconsigliato.

Quali garanzie possiamo dare a medio-lungo termine (> 10 anni) ?
Quali sono le difficoltà di riparazione in caso di disfunzione ?

Principi di protezione e di risanamento per le infiltrazioni di Radon (3)

2) Ricambio d'aria all'interno dell'edificio

Ventilazione controllata tramite ricambio d'aria per insufflazione o aspirazione dai locali da proteggere.

- **per insufflazione**, oltre che ridurre significativamente le concentrazioni di Radon, per diluizione, genera una sovrapressione nei locali, ostacolando efficacemente la migrazione del gas Radon attraverso le pareti verso l'interno degli stessi. Tuttavia, essa favorisce un lento flusso d'aria verso l'esterno attraverso le fessure e/o le guarnizioni dei serramenti che può provocare indesiderati fenomeni locali di umidità.
- **per aspirazione**, riduce le concentrazioni di Radon, tuttavia, genera una depressione nei locali, provocando l'ulteriore migrazione del gas Radon verso l'interno degli stessi. Tuttavia, essa non provoca indesiderati fenomeni locali di umidità.

Principi di protezione e di risanamento per le infiltrazioni di Radon (3)

Conclusioni sintetiche dei principi di protezione e di risanamento

Le barriere dinamiche in depressione (aspirate) sono le tecniche di risanamento più consigliate in quanto sono le meno soggette ad effetti di invecchiamento dell'edificio (formazione di fessure di assestamento, ..).
Le tecniche di protezione/risanamento, basate su barriere statiche o dinamiche in sovrapressione (insufflazione) sono da valutare caso per caso.

Le altre tecniche di protezione/risanamento basate sulla diluizione per insufflazione e per aspirazione sono sconsigliate.

Principi di valutazione dello stato di concentrazione Radon in edifici

I valori limite sono riferiti a medie annue.

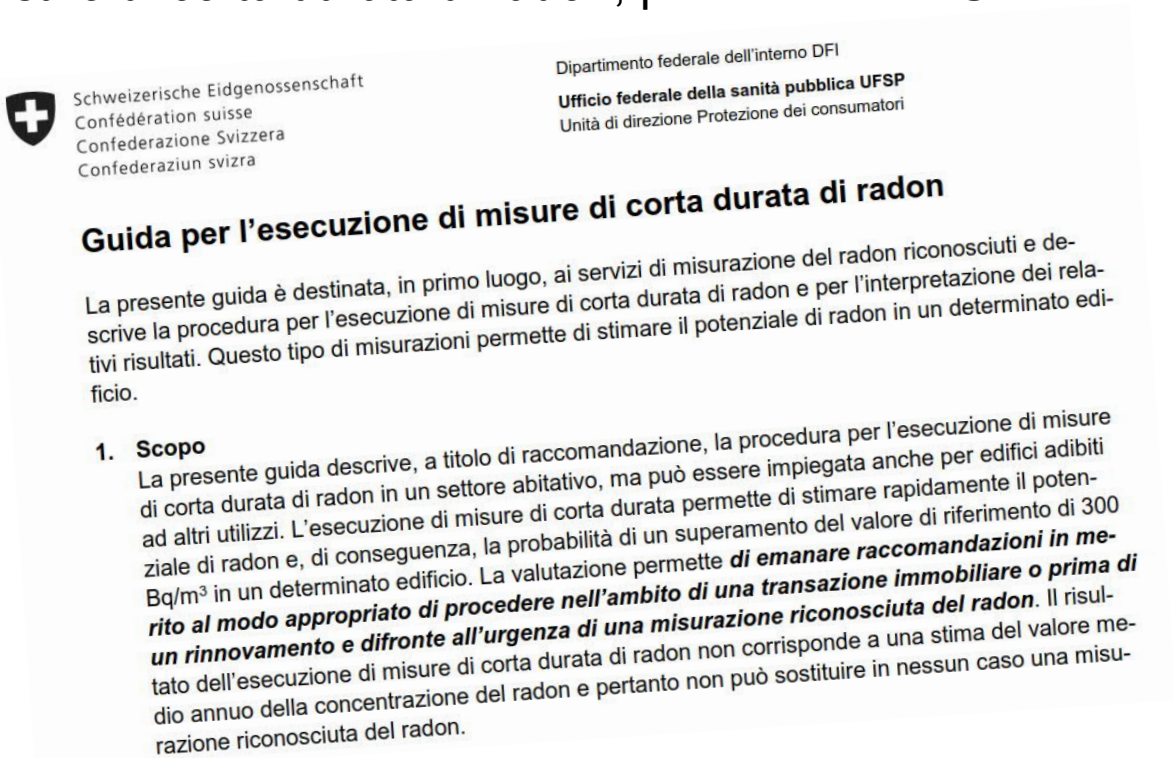
Durata del campionamento: 1 anno o 3 mesi invernali

Le migrazioni di radon sono fortemente influenzate dalle condizioni meteorologiche e dalle temperature stagionali (maggiori in inverno e minori in estate).
In alcuni casi, il tempo di rilevamento di 1 anno è troppo lungo.
La Svizzera accetta una misurazione di soli 3 mesi, a condizione che venga eseguita durante il periodo di riscaldamento dal 1° ottobre a 31 Marzo.

	Abitazioni [Bq/m^3]	Posti di lavoro [Bq/m^3]
UE	**300**	**300** *Dose efficace > 6 mSv/anno ⇒ persone prof. esposte*
Italia	**300** *esistenti e nuove* **200** *nuove costruzioni dal 2025*	**300** *Dose efficace > 6 mSv/anno ⇒ persone prof. esposte*
Svizzera	**300**	**300** *Dose efficace > 10 mSv/anno ⇒ persone prof. esposte*
OMS	**100** *consigliato* **300** *dove è difficile conseguire il 100*	**100** *consigliato* **300** *dove è difficile conseguire il 100*

Principi di valutazione dello stato di concentrazione Radon in edifici

Qualora fosse necessario disporre di dati sufficientemente sicuri in tempi ancora più ridotti, la ECONS SA propone una procedura basata sulla messa in depressione dell'edificio, equivalente alla condizione peggiore relativo alla contaminazione con Radon. La durata minima dei rilevamenti è di 5 giorni, con frequenza di almeno 1 analisi ogni 10 minuti.
L'Ufficio federale svizzero competente, in caso di necessità per transazioni immobiliari o prima di una ristrutturazione, raccomanda la citata procedura, come dalla *Guida per l'esecuzione di misure di corta durata di radon*, pubblicata dall'UFSP



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Dipartimento federale dell'interno DFI
Ufficio federale della sanità pubblica UFSP
Unità di direzione Protezione dei consumatori

Guida per l'esecuzione di misure di corta durata di radon

La presente guida è destinata, in primo luogo, ai servizi di misurazione del radon riconosciuti e descrive la procedura per l'esecuzione di misure di corta durata di radon e per l'interpretazione dei relativi risultati. Questo tipo di misurazioni permette di stimare il potenziale di radon in un determinato edificio.

1. **Scopo**
La presente guida descrive, a titolo di raccomandazione, la procedura per l'esecuzione di misure di corta durata di radon in un settore abitativo, ma può essere impiegata anche per edifici adibiti ad altri utilizzi. L'esecuzione di misure di corta durata permette di stimare rapidamente il potenziale di radon e, di conseguenza, la probabilità di un superamento del valore di riferimento di 300 Bq/m³ in un determinato edificio. La valutazione permette ***di emanare raccomandazioni in merito al modo appropriato di procedere nell'ambito di una transazione immobiliare o prima di un rinnovamento e difronte all'urgenza di una misurazione riconosciuta del radon***. Il risultato dell'esecuzione di misure di corta durata di radon non corrisponde a una stima del valore medio annuo della concentrazione del radon e pertanto non può sostituire in nessun caso una misurazione riconosciuta del radon.

(https://www.bag.admin.ch/dam/bag/it/dokumente/str/srr/radonkurzzeitsmessprotokoll.pdf.download.pdf/KZM_Leitfaden_IT.pdf)

Origini e movimenti del Radon caso pratico 1

Giacimenti di inerti e di metalli: spesso, essi sono luoghi di significative concentrazioni di precursori dei gas Radon.
Le attività antropiche di estrazione (sabbie o ghiaia, pietre ornamentali,..) possono essere causa di dispersione in ambiente di precursori dei gas Radon.
Inoltre, i luoghi di trattamento dei materiali (frantoi depositi, ..) possono essere interessati da forti concentrazioni dei gas Radon, in particolare Rn-222**,** Rn-220 (detto anche Thoron) e, più raramente, il Rn-219 (detto anche Actinon).





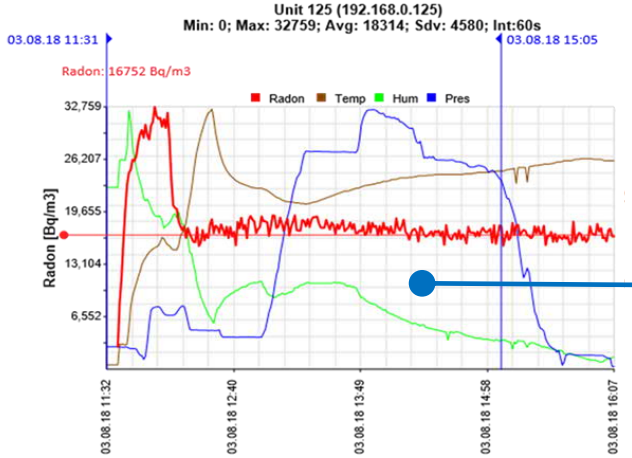
Giacimento di terre rare in Brasile (MG), con scarti >90 %, quale possibilità di riutilizzazione economica ?

Utilizzazioni interna (in edifici) sconsigliata e subordinata all'esecuzione di ulteriori analisi!

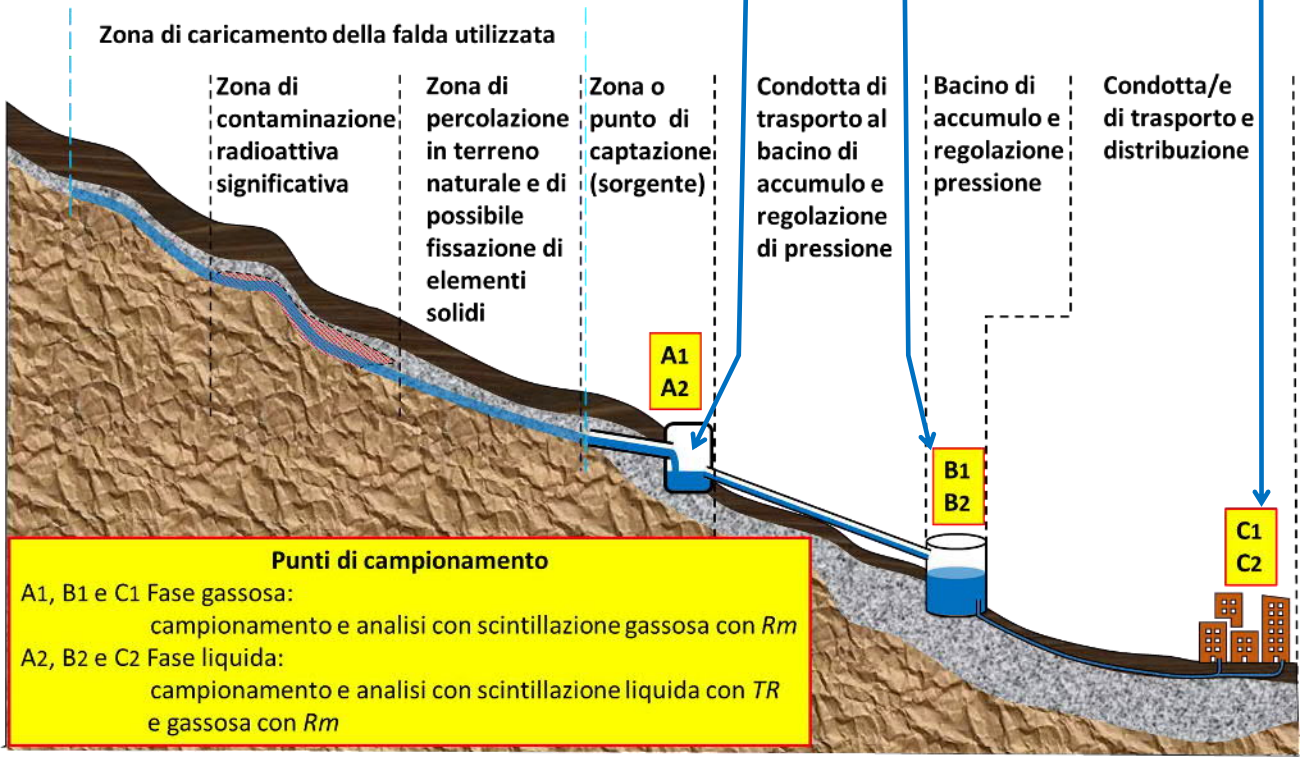
Quali protezioni per la mano d'opera ?



Acquedotto in Svizzera: Radon nell'acqua potabile, nei siti di trattamento/accumulo e depositi radioattivi nei bacini di accumulo



[redacted]



POTABILITÀ DELL' ACQUA

E

PERICOLI PER IL PERSONALE

Acquedotto in Svizzera: Radon nell'acqua potabile, nei siti di trattamento/accumulo e depositi radioattivi nei bacini di accumulo



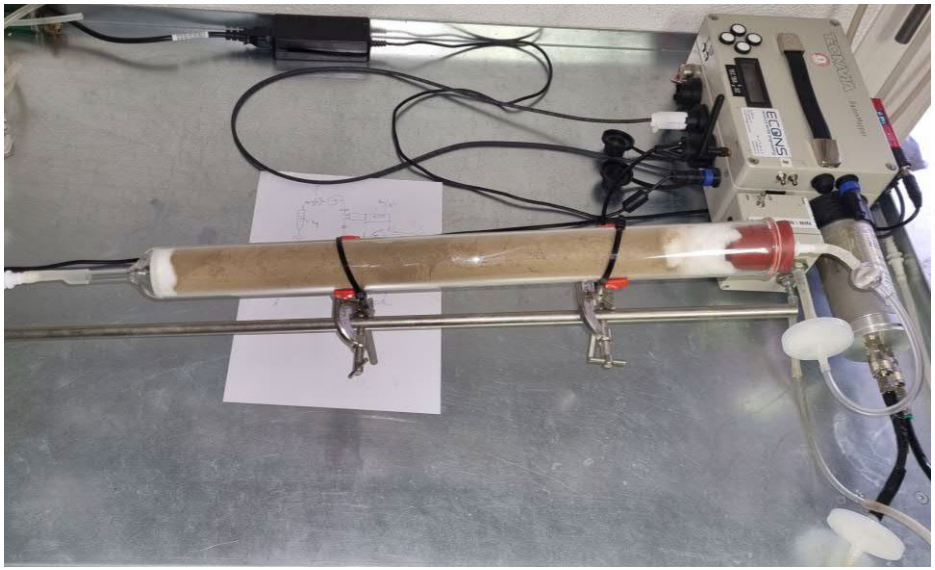


FANGHI RADIOATTIVI



Significativo deposito di fanghi nei bacini di accumulo

- necessità di pulizia almeno annuale;
- livelli di radioattività importanti per la protezione del personale (ventilazione preventiva);
- trattasi di gas radioattivi (^{222}Rn, ^{220}Rn, ^{219}Rn) o di altre sostanze solide radioattive presenti nei fanghi?
- se sostanze solide, trattasi di prodotti di decadimento dei gas o di precursori? Persistenza radioattiva? Pericolo per personale? Rispetto delle normative su acqua potabile? Rispetto delle normative per smaltire fanghi radioattivi (NORM)?
- quali contromisure possono evitare l'entrata di sostanze radioattive (gas, liquidi, solidi) nella distribuzione di acqua potabile?

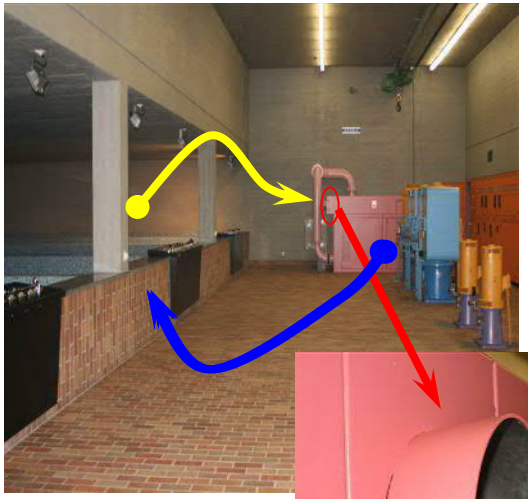


Acquedotto a Lugano: stazione di lavaggio in controcorrente dei filtri a sabbia



Origini e movimenti del Radon

caso pratico 3











Figli del radon su superfici



Radon in aria (fattore equil. ca. 0.7)

Figli del radon sui filtri

POSTI DI LAVORO CRITICI
esempio: acquedotti

Academy of Architecture
Mauro Gandolla
Gianluca Bertoni
03.04.2007

Università della Svizzera italiana

Origini e movimenti del Radon caso pratico 4

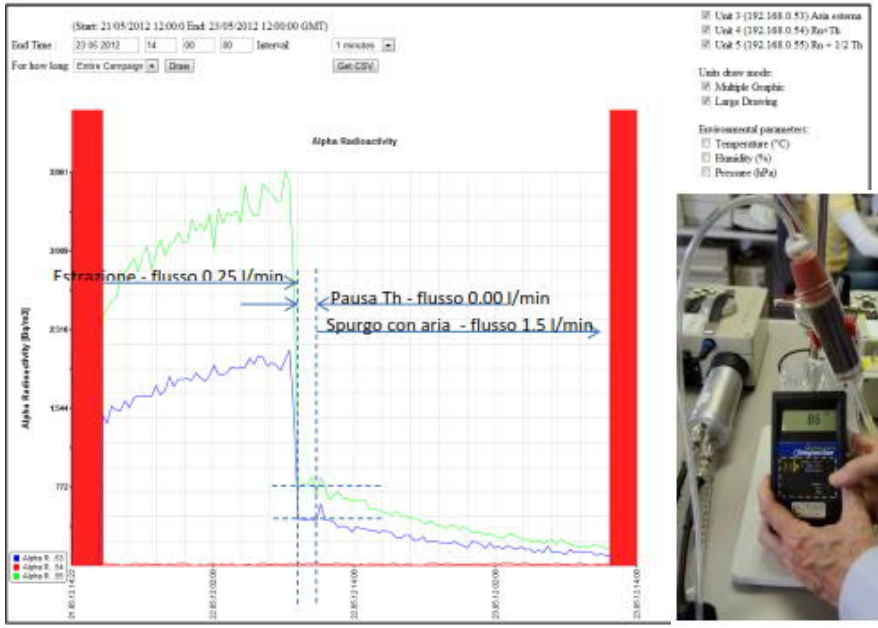
Guarapari (ES) Brasile: spiaggia di sabbia nera radioattiva







Radionucléide	A [Bq/kg]	u_{95} [%]
K-40	< 300	
Cs-137	< 50	
Série U-238		
U-238 et filles	9'470	± 10%
Ra-226 et filles	4'750	± 10%
Pb-210 et filles	350	± 50%
Série Th-232		
Th-232	101'000	± 10%
Ra-228 et sa fille	80'100	± 10%
Th-228 et filles	70'900	± 10%





Valori indicativi:

Volume celle: 0. 255 l (3 celle in serie)

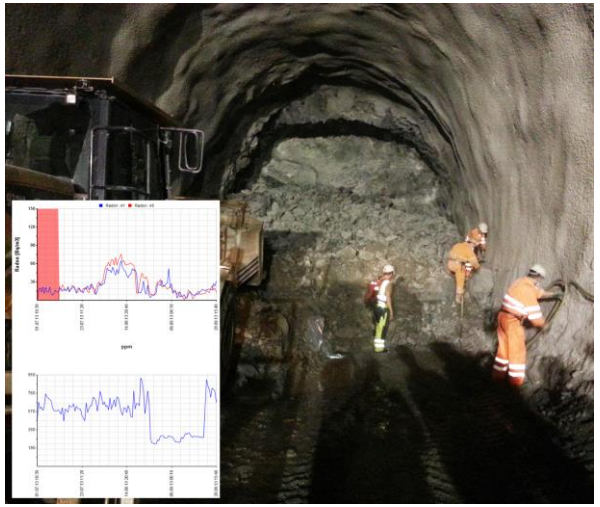
Flusso: ca . 0.25 l/min

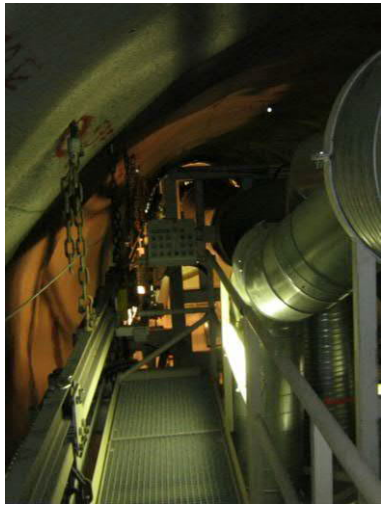
Massa: ca. 150 g

Tempo di permanenza: ca. 1 min

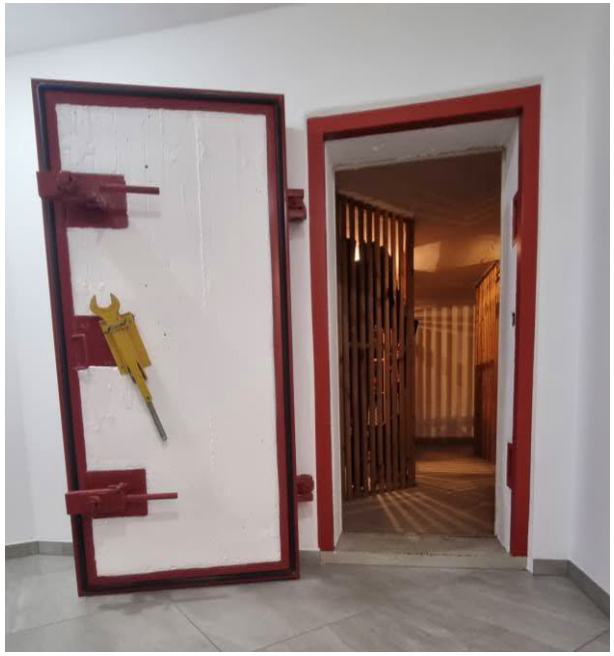
Radon in gallerie o rifugi sotterranei:

Durante la costruzione di gallerie, di regola il ricambio d'aria avviene per insufflazione (sovrapressione), per cui non dovrebbe sussistere presenza di gas Radon in concentrazioni significative. Per contro, durante la gestione la situazione potrebbe cambiare totalmente e una verifica è raccomandabile.
Un pericolo significativo per il personale potrebbe essere l'inalazione di polveri contenenti precursori (allo stato solido) di Radon-220 e radon 219.





I rifugi sotterranei (tipici svizzeri) sono in sovrapressione, per cui non dovrebbe sussistere presenza di gas Radon in concentrazioni significative. Per contro, se l'immissione per il ricambio d'aria non funziona correttamente, una verifica è raccomandabile



Grazie per l'attenzione

Mauro Gandolla e **Gianluca Bertoni**
Ing dipl ETH/SIA **ing POLIMI**
mauro.gandolla@econs.ch gianluca.bertoni@econs.ch

ECONS SA
Via Stazione 19 CH-6934 Bioggio
Tel. +41 91 604 54 51
E-mail: info@econs.ch