

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Università degli Studi di Napoli Federico II

Tesi di laurea triennale in
Ingegneria per l'ambiente e il territorio
Il Rischio da radon "indoor"

Relatore:
Prof. Paolo Budetta

Candidato:
Mario Ferrigno
N49/746

Anno accademico 2018/2019

Il rischio da radon indoor

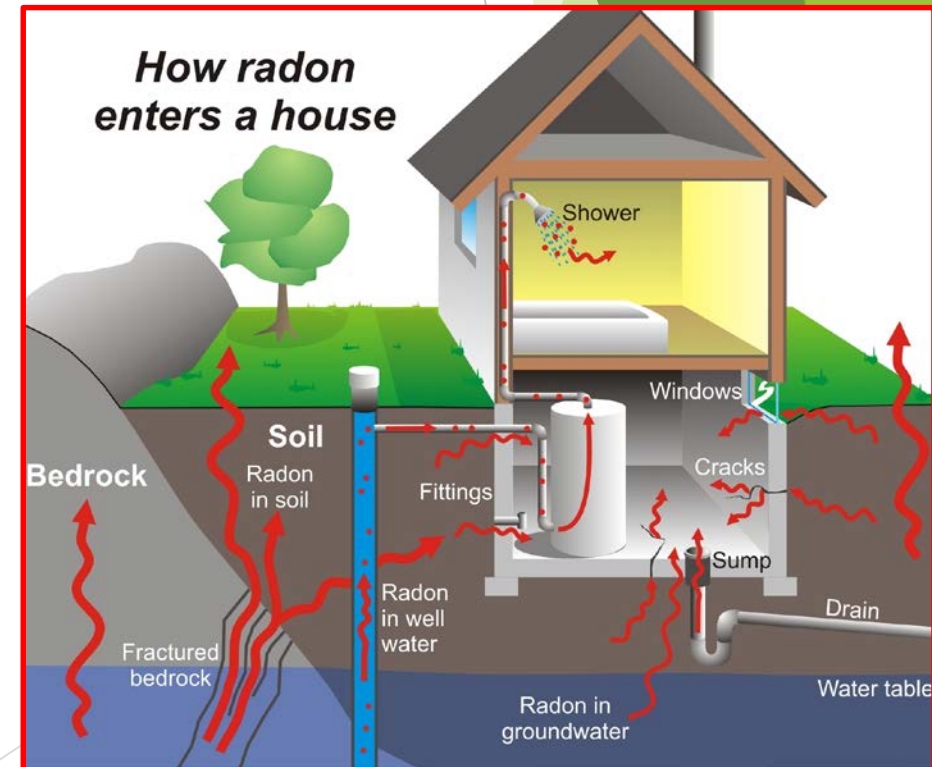
Il rischio radon è tra i rischi naturali più importanti a cui è esposto il territorio nazionale.

Tale gas essendo per natura tossico rappresenta una minaccia per la salute umana a causa dell'alta incidenza di tumori polmonari che esso provoca.

In Italia si stimano circa 1500 morti l'anno imputabili alla presenza di questo gas radioattivo.

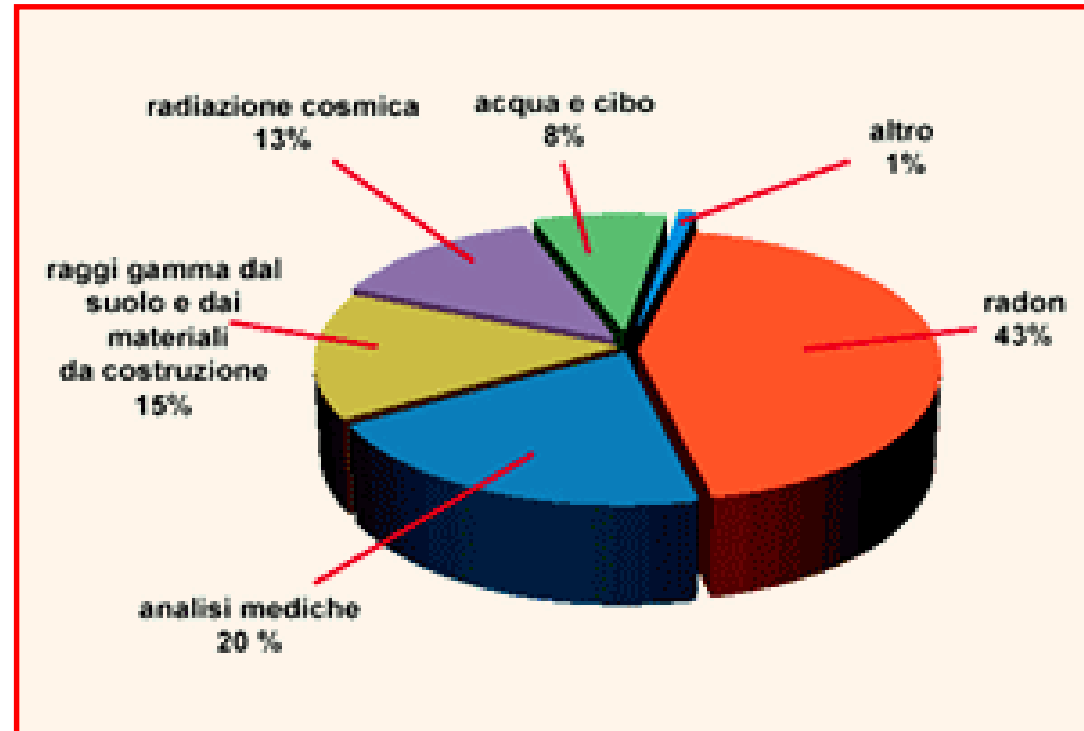
Esso è spesso presente, in elevate concentrazioni, in ambienti chiusi (abitazioni, ospedali, scuole, etc...), costituendo il cosiddetto

«**radon indoor**»



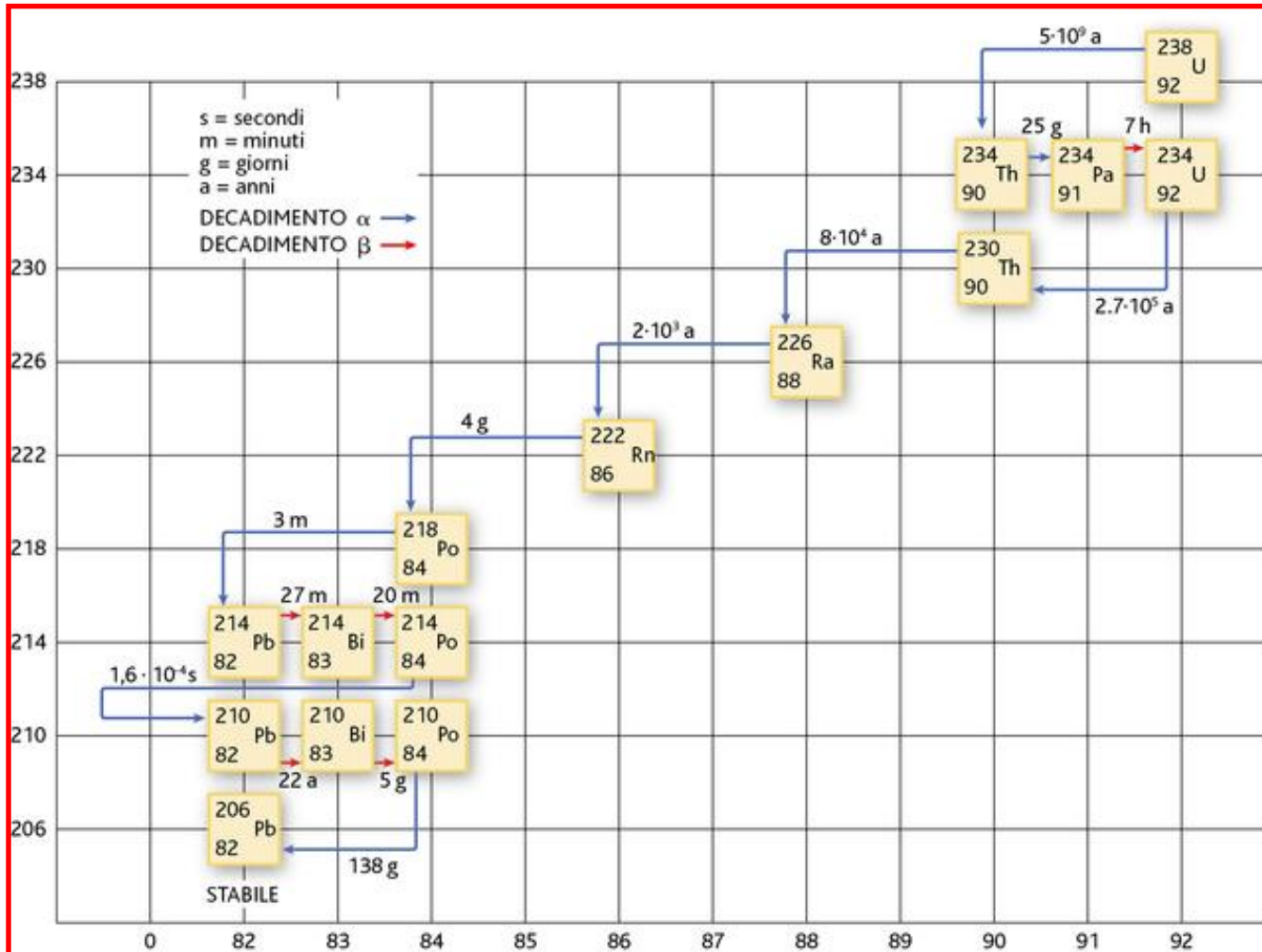
Origine e formazione del radon

Il Radon è un gas nobile altamente volatile, inodore, incolore ed è l'unico gas naturale radioattivo. Inoltre rappresenta il gas nobile più pesante presente nella Tavola periodica degli elementi.



Si forma dal decadimento alfa del radio, che a sua volta proviene dal decadimento del Torio e dell'Uranio. Esistono tre isotopi del radon: l'**Rn222** derivante dall'isotopo radioattivo Uranio 238, l'Rn219 (Actinon) derivante anch'esso dall'Uranio235 ed infine Rn220 (Thoron) derivante dal Torio (Th232).

L'**Rn222** è l'isotopo più pericoloso per la salute umana perché il suo decadimento avviene con un tempo di dimezzamento pari a 3,82 giorni, mentre l'Rn219 in 3,92 secondi e l'Rn220 in 5,15 secondi. Un tempo di dimezzamento così elevato consente una sua facile diffusione nell'aria. L' Rn222 è l'unico "figlio" dell' U238 che rimane allo stato gassoso ed è estremamente **cancerogeno, tossico, incolore, insapore e inodore** .

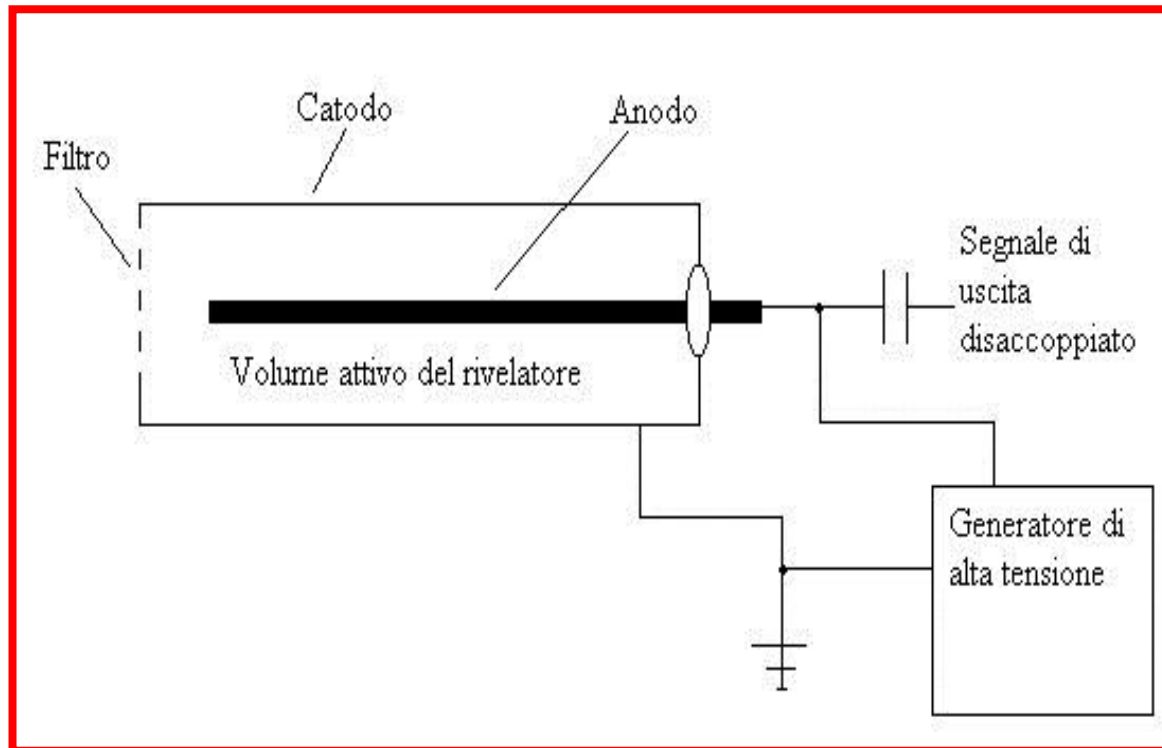


L' Rn222 deriva direttamente dal radio 226 (Ra226) per decadimento di tipo α . Anch'esso per decadimento di tipo α causa la formazione di altri elementi radioattivi solidi come Pb214, Bi214, Po214, Pb210, Bi210, Po210 ed infine un elemento non radioattivo: il **Piombo 206**.

L'unità di misura della concentrazione di Rn222 in aria è il **Becquerel/m³ (Bq/m³)**.
Esso misura i decadimenti di radon che avvengono in un secondo e deve il suo nome al premio Nobel **Antoine Henri Becquerel**.

Gli strumenti di misura attualmente disponibili si dividono in due categorie:

- **strumenti passivi** (dosimetri, film a tracce, *canisters*)
- **strumenti attivi** (celle di Lucas, camere a ionizzazione)



Schema
esemplificativo di
una Camera a
ionizzazione

Origine del radon

La maggior fonte di gas radon è il **suolo**. Altre fonti sono i materiali da costruzione e le acque sotterranee.

I principali fattori che influenzano la migrazione del gas nel suolo sono essenzialmente la **porosità** e la **permeabilità** della roccia (in cui esso si origina) e del suolo sovrastante, oltre al **contenuto d'acqua dei pori** presenti nel terreno.

In presenza di rocce fratturate (permeabili) la concentrazione di radon è sempre piuttosto elevata mentre nei terreni scarsamente permeabili (argille) essa risulta più bassa.

Le fonti di **radon indoor** sono:

- i terreni di fondazione;
- i materiali naturali impiegati nelle costruzioni;
- la falda acquifera.

Le modalità di risalita del radon indoor negli edifici sono essenzialmente due:

- **depressione**
- **infiltrazione**

La **depressione** è causata dalle differenze di temperatura che intercorrono tra l'edificio e il suolo sottostante. Ciò si traduce in un effetto «camino» che causa la risalita del gas dal suolo.

I fattori che influenzano la depressione sono molteplici:

- Il gradiente di pressione;
- il tiraggio delle canne fumarie prive di prese d'aria esterne;
- l'azione del vento (posizione ed isolamento dell'edificio)

L'**infiltrazione** è funzione di diversi fattori quali: crepe nei pavimenti, giunti difettosi, solai in legno, laterizi forati, muri in pietra, etc...

Anche i **Fattori climatici** e la **natura litologica** del suolo influiscono sulla risalita del radon.

In **Alto Adige** la concentrazione di radon negli edifici aumenta quando il terreno ghiaccia. Ciò è verosimilmente dovuto al fatto che il ghiaccio costituisce normalmente un ostacolo per la fuoriuscita del gas dal terreno. In tal caso, il gas si concentra nel sottosuolo di fondazione non ghiacciato, aumentando sensibilmente la sua concentrazione.

Le più alte concentrazioni di radon si rilevano:
in **rocce fratturate**, in zone in prossimità di **faglie** ed in **aree vulcaniche**.

Mentre nel suolo le concentrazioni di radon possono essere molto alte (alcune decine di Bq/m³), nell'aria il gas si disperde velocemente in quanto volatile.

Di norma, la concentrazione di radon **outdoor** disperso in aria è pari a circa **10 Bq/m³** (UNSCEAR Report, 2000)

Il quadro normativo

La Comunità Europea distingue due valori limite di concentrazione del radon:

- 400 Bq/m³ per edifici esistenti
- 200 Bq/m³ per edifici di nuova costruzione

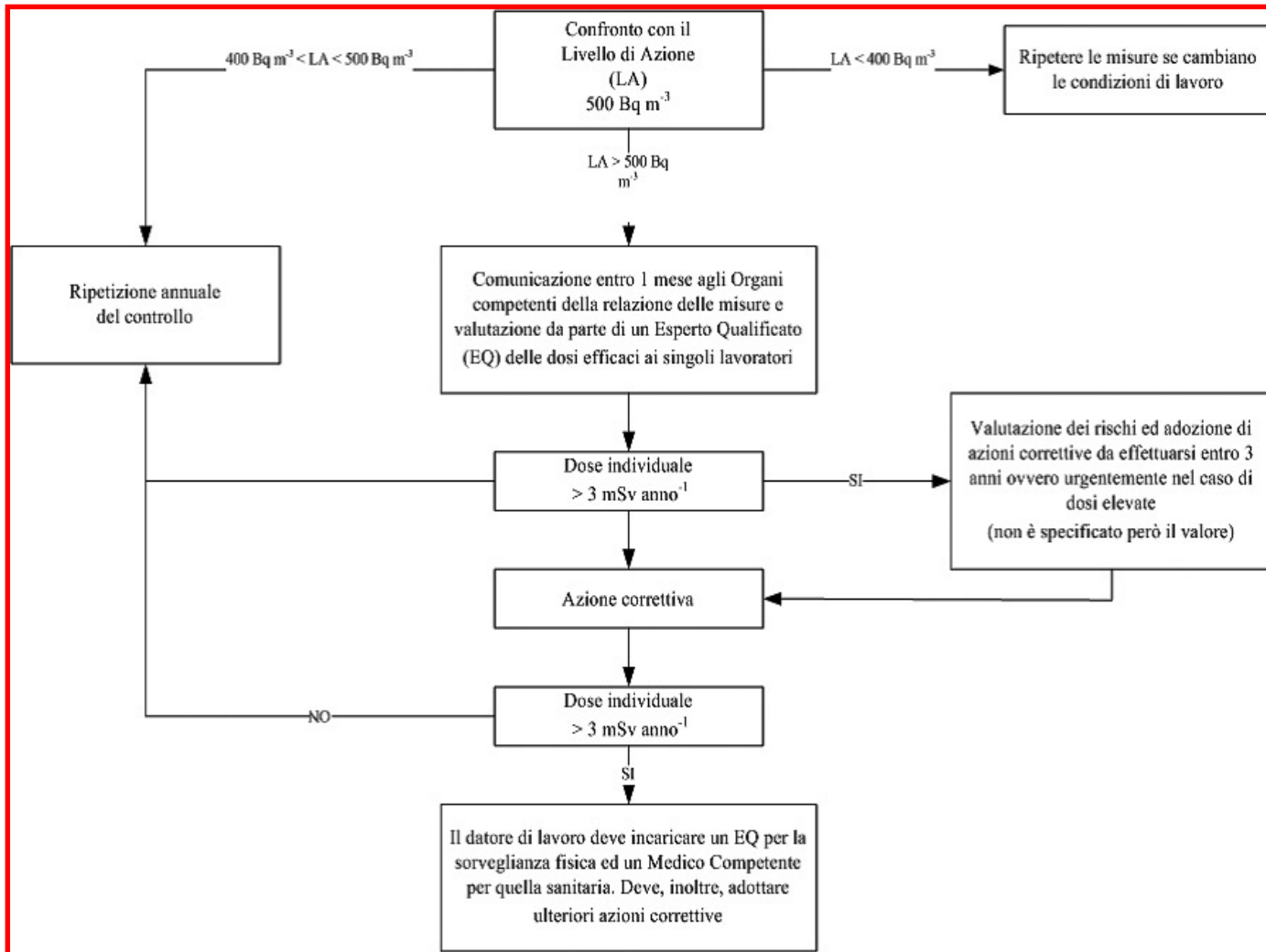
Nel 2000, l'Italia ha emanato il D.Lgs 241/2000 che prevede l'obbligo da parte dei proprietari ed imprenditori di misurare la concentrazione del gas nei locali sotterranei frequentati. Se la concentrazione supera 500 Bq/m³ bisogna agire con interventi di bonifica.

Il Piano Nazionale Radon (2008) prevede Raccomandazioni per la prevenzione dal radon nelle nuove costruzioni e suggerisce agli Enti locali di predisporre, nei Piani regolatori, soluzioni costruttive al fine di ridurre la presenza del gas.

Il D.Lgs 81/2008, impone ai Datori di lavoro di munirsi di una «Certificazione di conformità».

L'Organizzazione Mondiale della sanità (OMS) raccomanda di limitare le concentrazioni di radon indoor a valori inferiori ai 300 Bq/m³

Nel 2013, l'Unione Europea (Direttiva 59/2013) ha sancito l'obbligo, per i diversi Stati membri, di stabilire valori soglia per le concentrazioni di radon negli ambienti chiusi (concentrazione media annua < di 300 Bq/m³).



La **Regione Campania** (settembre 2018) ha pubblicato una disposizione legislativa denominata "*Norme in materia di riduzione dalle esposizione alla radioattività naturale derivante dal gas radon in ambiente confinato chiuso*".

La **provincia autonoma di Bolzano** (1998) ha inserito regole sul radon nella regolamentazione edilizia.

La **Regione Veneto** (2002) ha deliberato come valore soglia 200 Bq/m³, superato il quale bisogna intraprendere azioni di bonifica.

Schema riassuntivo del D.Lgs. 241/2000

Il Radon nei materiali naturali e da costruzione

- *Radon nei materiali naturali*

La quantità di gas presente in una roccia dipende dal tipo e proprietà della roccia stessa. In linea generale in un terreno ghiaioso oppure in rocce molto fratturate la diffusione del radon è facilitata dalla presenza dei pori o di vuoti beanti lungo le discontinuità, mentre, al contrario, in uno strato argilloso la bassa permeabilità rappresenta un ostacolo al passaggio del gas.

Uno studio effettuato dall' INGV ha dimostrato che nelle **rocce magmatiche**, la concentrazione dei radionuclidi sopra descritti è molto alta. Tramite l'utilizzo di 12 sensori posizionati in 7 edifici dell'area etnea è stato dimostrato che molte delle faglie del vulcano rilasciano radon con concentrazioni medie annue superiori ai 100 Bq/m^3 , con picchi superiori a 300 Bq/m^3 .

Per la definizione del potenziale pericolo da radon geogenico si propongono 2 fattori relativi alla Geologia:

- Potenziale radioattivo comune (U)
- Permeabilità al gas (P)

Roccia	^{238}U (ppm)
Ultrafemiche	0.03
Rocce basiche	2.00
Gabbri	0.94 – 0.46
Rocce intermedie	1.4 – 3.0
Graniti	2.8 – 4.0
Graniti alcalini	10.0 – 100
Crosta terrestre	0.2

Tipologie di rocce con
rispettivi valori di U-238

Tipologie di suoli con rispettivi
valori di Ra-226 e Rn-222

Tipo di suolo	^{226}Ra (Bq/Kg)	^{222}Rn (Bq/m³)
Suoli con contenuto normale di radio	15 - 65	5000 – 30000
Suoli con frammenti di granito	130 – 125	10000 – 60000
Suoli con frammenti di granito ricco in uranio	125 – 360	10000 – 200000
Ghiaia	30 – 75	10000 – 150000
Sabbia	5 – 35	2000 – 20000
Limo	10 – 50	5000 – 60000
Argilla	10 – 100	10000 – 100000
Suolo contenente frammenti di alum shale	175 – 2500	50000 - >10 ⁶

- **Radon nei materiali da costruzione**

Secondo l'UNSCEAR (*Comitato Scientifico della Nazioni Unite sull'effetto delle radiazioni ionizzanti*), il quantitativo del radon indoor imputabile al suolo è circa il 60% mentre l'aliquota imputabile ai materiali edili è circa il 20%.

Tutti i materiali edili provenienti da rocce contengono radionuclidi primordiali. Alcuni di essi possono fungere sia da sorgenti che da produttori di radon. Tra i più pericolosi si annoverano: il **tufo**, il **basalto** e il **granito**; stesso discorso vale anche per le **pietre ornamentali**.

La pericolosità di un materiale edile dipende dalla destinazione d'uso (utilizzo per esigenze strutturali oppure come rivestimenti).

La Commissione Europea, al fine di diminuire la dose di irraggiamento gamma del radon indoor al di sotto di 0,3 e 1 mSv/anno in eccesso all'aliquota derivante dal suolo, ha fornito una relazione per definire l' **Indice di concentrazione di attività (I)**

$$I = \frac{C_{Ra}}{300 \text{ Bq kg}^{-1}} + \frac{C_{Th}}{200 \text{ Bq kg}^{-1}} + \frac{C_K}{3000 \text{ Bq kg}^{-1}}$$

Valori medi, massimi e minimi delle concentrazioni dei radionuclidi primordiali nei materiali da costruzione (da Risica et al.,.....)

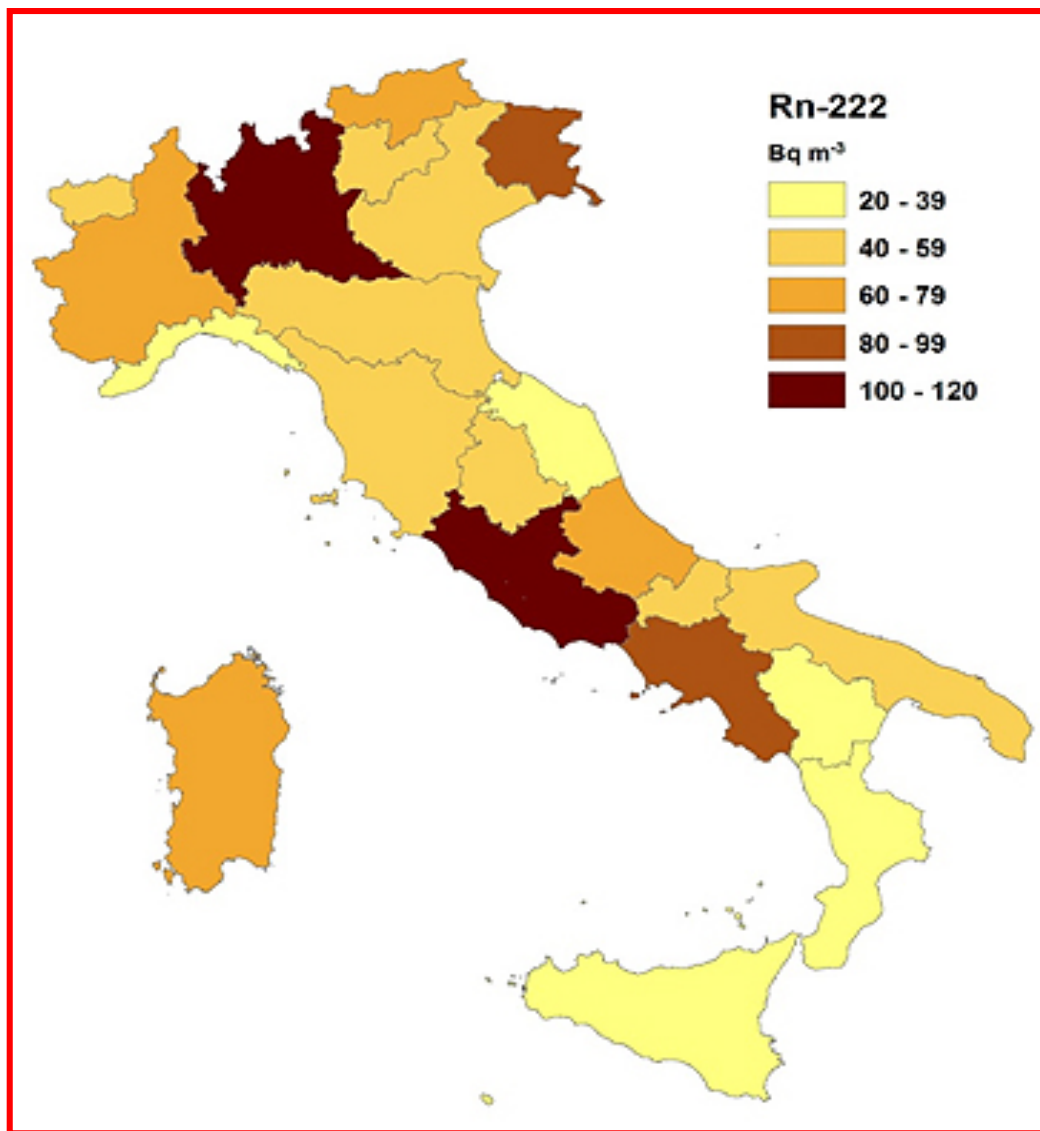
materiale da costruzione	campioni misurati	C_{Ra-226} (Bq / kg)		C_{Th-232} (Bq / kg)		C_{K-40} (Bq / kg)	
		media	min-max	media	min-max	media	min-max
tufo	46	209	136–316	349	99–542	1861	1245–2335
pozzolana	31	164	33–352	229	53–481	1341	374–2000
lava	7	473	79–709	230	36–750	1781	426–2350
ceneri di carbone	302	160	130–170	130	100–150	420	330–470
cemento	185	42	7–98	66	9–240	369	80–846
basalto	4	308	113–498	466	175–733	2178	1973–2354
sienite	10	317	239–384	234	173–342	1255	1181–1390
peperino	18	159	109–256	171	152–231	1422	1312–1790
calcestruzzo	23	22	21–23	16	16	237	253–290
laterizi	185	29	0–67	26	3–51	711	198–1169
argilla	8	37	29–45	40	31–49	550	412–687
piastrelle	25	43	31–55	36	18–56	689	474–1026
sabbia	43	18	0–24	22	6–27	530	379–750
ghiaia	11	15	11–21	14	13–16	157	100–248
gesso	15	8	0–16	3	1–8	160	59–277
calce	18	9	7–15	6	2–8	265	77–312
pietra	13	24	1–31	37	2–96	645	11–1285
travertino	15	1	0–2	0	0–1	4	1–18
marmo	26	4	1–13	1	0–3	8	0–30
granito	43	89	24–378	94	36–358	1126	738–1560
gneiss	9	87	30–166	71	12–114	1040	496–1480
beole	12	63	34–102	48	14–84	1432	1199–1891
serizzo	16	31	11–42	42	12–54	782	440–1014
porfido	8	41	25–51	59	45–73	1388	1164–1633
calcare	2	12	12	1	1	5	5
ceppo	4	59	46–64	12	1–47	238	3–942
tracheite	3	36	36	52	51–54	1154	1154

Il Radon indoor in Italia

In Italia, i dati forniti dall'ISS (Istituto Superiore di Sanità) e dall'APAT (Agenzia per la Protezione per l'Ambiente e per i Servizi Tecnici) dimostrano che la concentrazione di radon è variabile su tutto il territorio nazionale. Tale variazione è dovuta specialmente alla variabilità delle **caratteristiche geologiche** dei terreni. Tale studio, inoltre, ha permesso per la prima volta di effettuare una ricognizione generale, attraverso criteri e obiettivi ben definiti:

- Criteri su scala regionale;
- Distribuzione lineare ed uniforme del numero delle abitazioni;
- Calcolo della concentrazione media nazionale.

Il valore medio di concentrazione nazionale si attestò intorno ai **70 Bq/m³**.



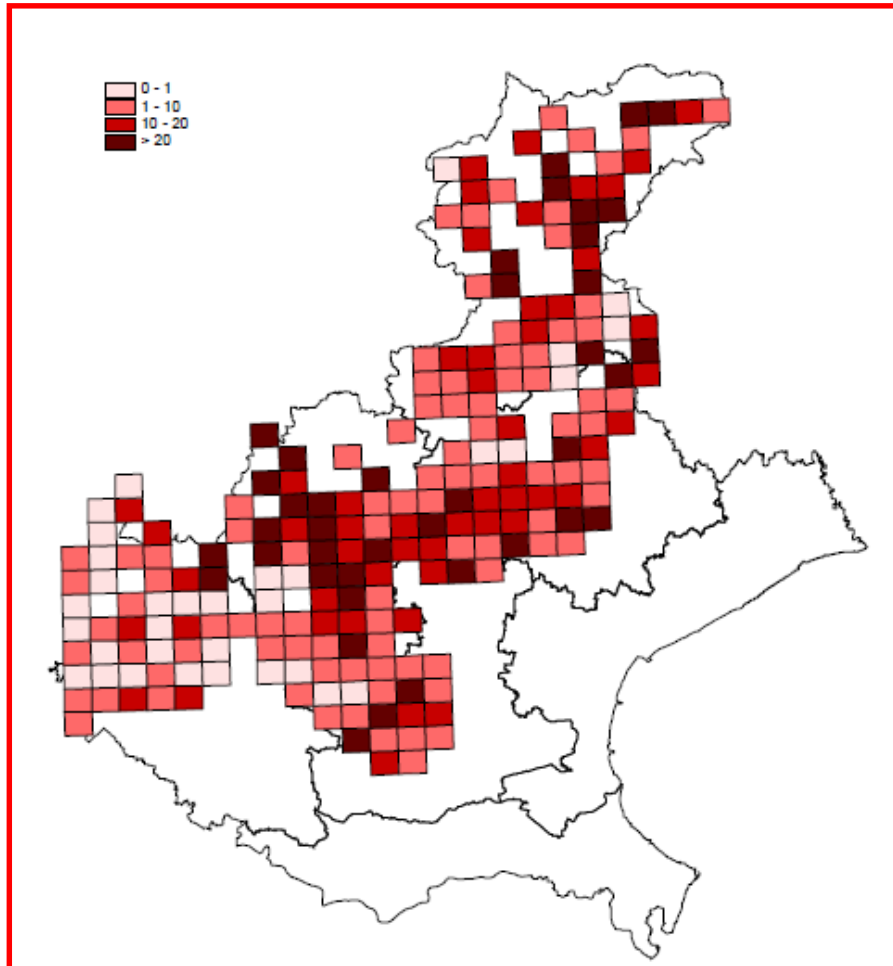
La concentrazione media regionale massima si è registrata in Lazio e in Lombardia; mentre quella più bassa in Sicilia e in Calabria.

Tuttavia, il reale rischio radon si può registrare solo attraverso misure in sito.

Livelli medi di radon indoor per Regione

Negli ultimi decenni si è sempre più affermato il criterio di individuazione delle *Radon Prone Areas*, quale strumento per mappare un territorio in maniera omogenea.

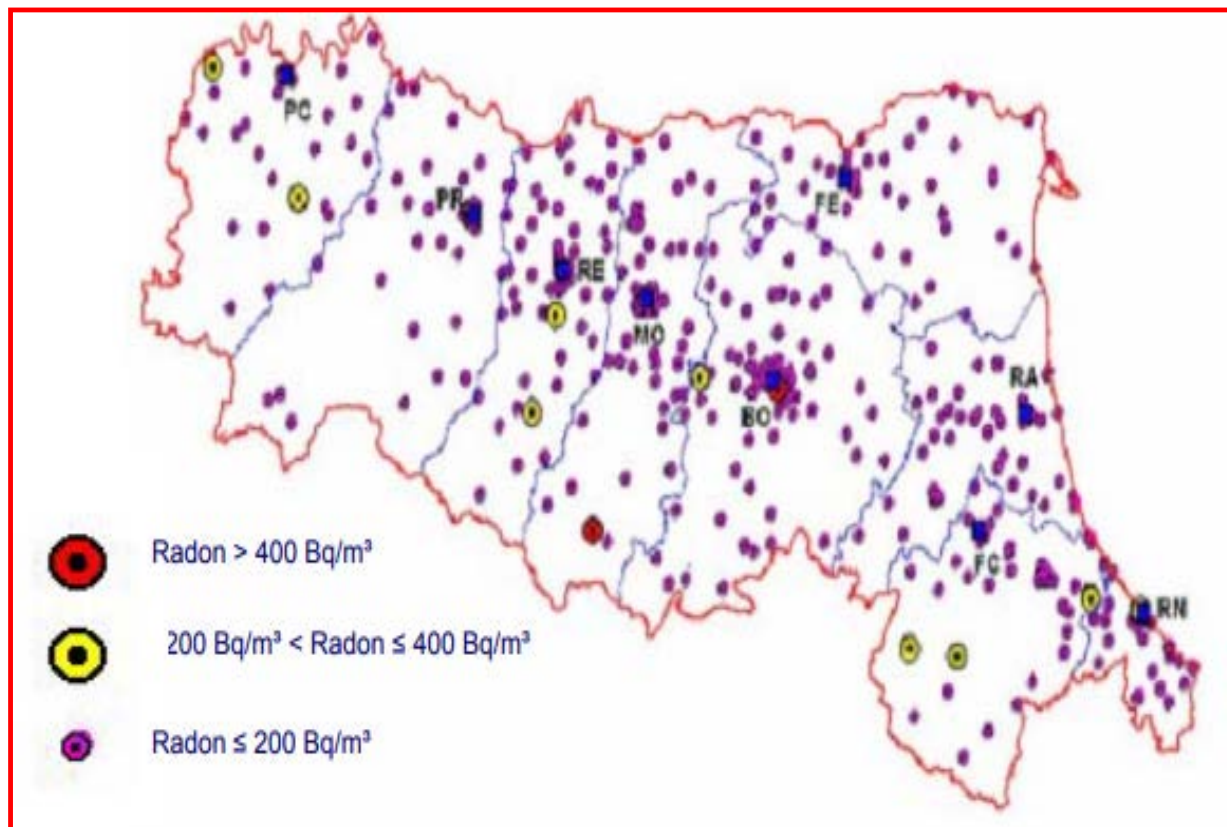
Nel 2004 l'**ARPA Lombardia**, ha svolto campagne di misura per individuare queste zone. Tramite il monitoraggio di 4000 punti di rilevazione in abitazioni civili ed in sito è stato accertato lo stretto legame esistente tra Radon, Morfologia e Litologia. L' 84% dei locali sotterranei risultò avere delle concentrazioni minori dei 200 Bq/m³ mentre il 4% maggiore di 400 Bq/m³.



Regione Lombardia: distribuzione delle maglie abitative (in %) con livelli eccedenti i 200 Bq/m³

Un altro esempio significativo è dato dalla **Regione Emilia Romagna**.

Su 330 maglie costituenti un reticolo ben strutturato, le aree a rischio radon sono quelle che presentano più del 10% delle abitazioni con livelli superiori ai 200 Bq/m³.



Regione Emilia Romagna:
cartografia dei punti di misura
del radon indoor

La situazione in Regione Campania

La **Regione Campania**, attraverso l'ARPAC, ha attivato campagne di monitoraggio e di misura su tutto il territorio regionale, al fine di individuare le **Radon Prone Areas**.

Tale Studio, basato su dati geologici e misure in sito, ha coinvolto le Asl (Aziende Sanitarie Locali) e ha consentito di stilare delle **Radon Potential Maps** basate sulle **Unità litologiche predominanti** e per le quali è stata misurata la concentrazione di Radon (valori massimi, minimi, medi e deviazione standard). Le U. litologiche sono:

Complesso carbonatico;

Complesso terrigeno arenaceo;

Complesso terrigeno argilloso marnoso;

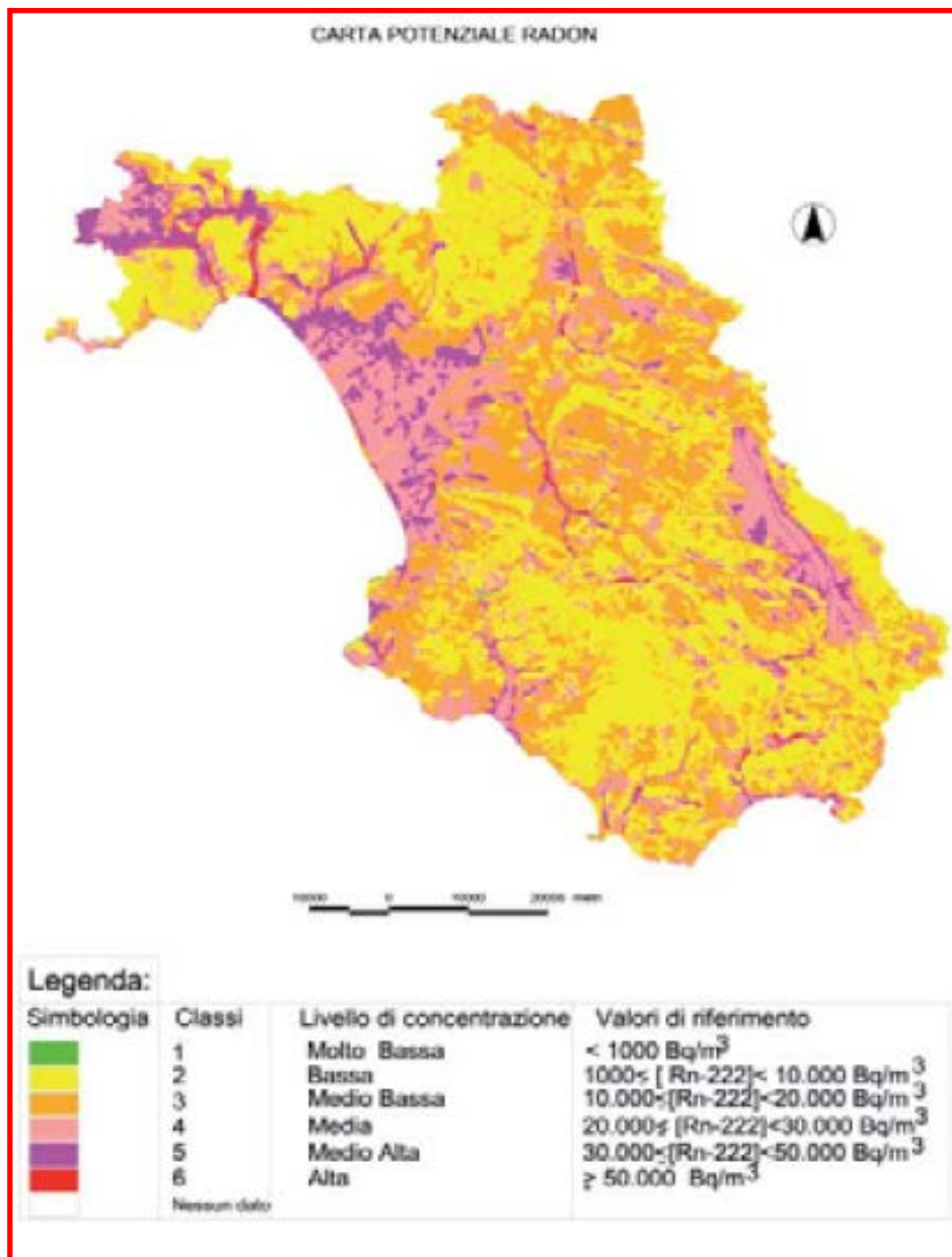
Complesso terrigeno conglomeratico;

Terreni clastici;

Terreni vulcanici.

Correlazioni tra U. litologiche, concentrazione radon e indici statistici per la Campania

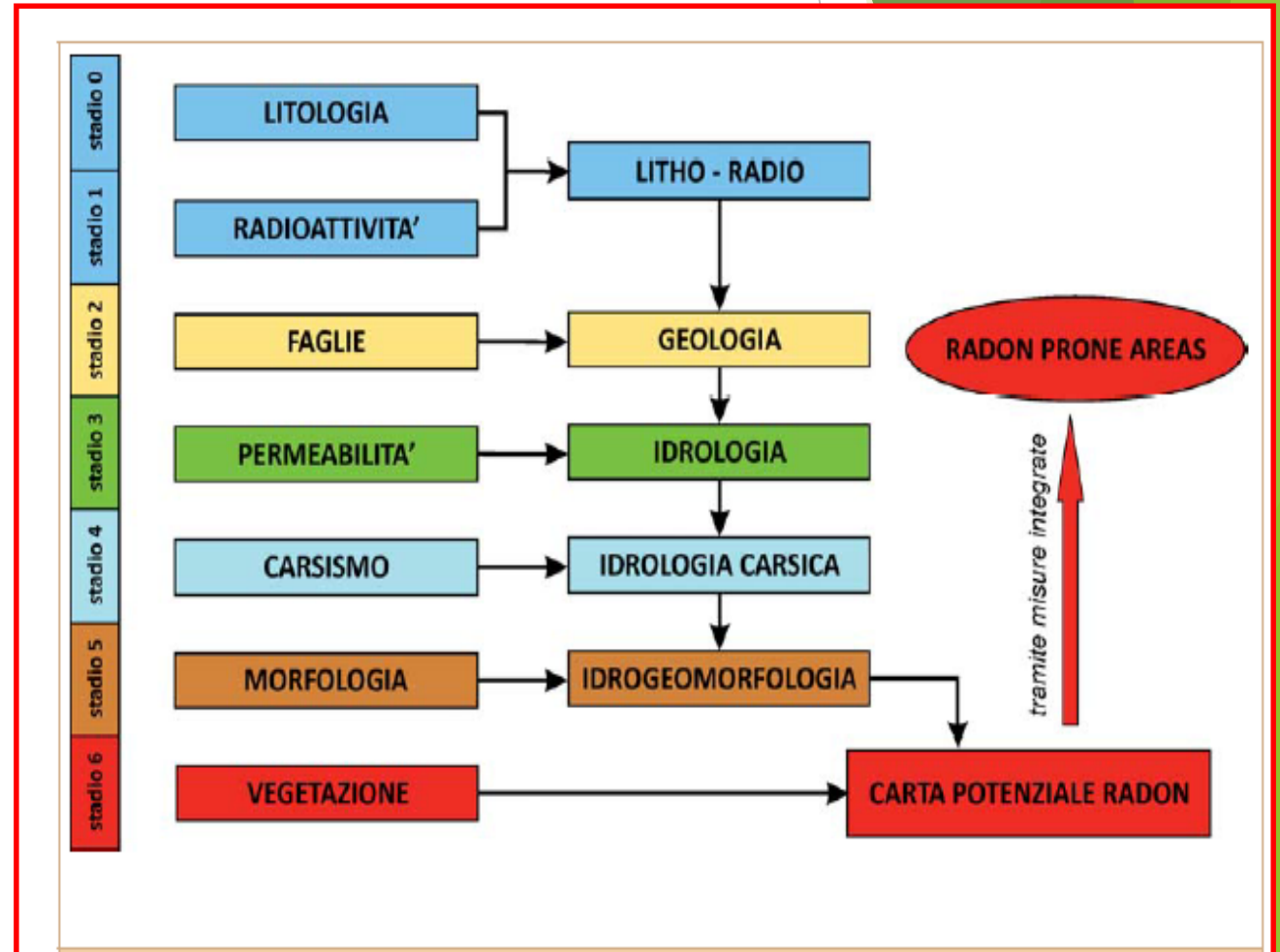
CODICE	SISTEMI LITOLOGICI	CONCENTRAZIONE RADON (Bq/m ³)	MEDIA ARITMETICA (Bq/m ³)	SD (Bq/m ³)	MEDIA GEOMETRICA (Bq/m ³)
1	Carbonatico	2.200-22.300	10.666,67	6.699	8.664,92
2	Terrigeno Arenaceo	20.300-35.000	27.650	10.394,47	26.655,21
3	Terrigeno Argilloso Marnoso	29.000-30.000	29.500	707,11	29.495,76
4	Terrigeno Condglomeratico	Assente	Assente	Assente	Assente
5	Clastico	1.000-31.000	15.450	16.273,0	18.515,3
6	Vulcanico	16.300-36.000	28.733	10.818,7	27.095,5



Qui si riportano i dati riassuntivi per la Provincia di Salerno.

In sintesi, lo studio dei fattori geologici rappresenta il primo *step* da affrontare per poter stimare la concentrazione di radon. Le situazioni litologiche maggiormente a rischio, e per le quali si hanno concentrazioni superiori alla media, posso identificarsi con:

- Presenza di rocce ricche di Uranio;
- Suoli molto permeabili;
- Suoli ben drenati e spesso asciutti;
- Rocce fratturate con discontinuità asciutte;
- Suoli «sottili» e bedrock sub-affiorante;
- Presenza di condotti carsici.



Procedura da adottarsi per la redazione delle **Radon Prone Areas**

Conclusioni

- A livello regionale, le concentrazioni di **radon indoor** possono variare in relazione all'assetto litologico delle aree e delle caratteristiche costruttive degli edifici.
- E' necessario disporre di una cartografia dettagliata (**radon prone areas**) e dei risultati di analisi quantitative con strumenti adeguati (**camere a ionizzazione**)
- Sono noti l'origine, la chimica, i metodi di diffusione e di trasporto nonché i rischi per la **salute umana**.
- Occorrono azioni di **prevenzione**, mediante campagne di sensibilizzazione che facciano seguito a monitoraggi su tutto il territorio nazionale.
- Nelle aree a più elevata pericolosità (**rocce fratturate, faglie, aree vulcaniche**) occorre infittire di dati di campionamento e provvedere ad interventi di risanamento/bonifica degli **edifici esistenti**.
- Per le **nuove costruzioni**, occorre adottare soluzioni volte a mitigare il rischio (isolamento dal terreno, areazione dei vespai e cantine, sigillatura delle vie di accesso del gas da fessure e condutture, impermeabilizzazione dei solai).

Grazie per l'attenzione

