



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA**  
**DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIRURGICHE,**  
**RADIOLOGICHE E ODONTOSTOMATOLOGICHE**  
Sezione di Fisica Medica Ambientale ed Epidemiologica  
Direttore: Prof. R.Borio

## Le misure radiometriche su materiali da costruzione

Dott. Andrea Calandra

# Sommario

- Introduzione: perché fare tali misure?
- Radioattività nei materiali da costruzione
- Normativa vigente
- Significato dell'indice di concentrazione di attività I
- Misure radiometriche eseguite e loro risultati
- Analisi dei risultati e conclusioni



# Introduzione

- Le “sorgenti” di radon nelle abitazioni possono essere **molteplici**:
  - **Suolo**: attraverso fessurazioni del pavimento, crepe, cattivo isolamento dal terreno etc. sia per **diffusione** sia per moti convettivi (**advezione**);
  - **Aria esterna**: sia attraverso crepe e fessure, ma soprattutto tramite porte e finestre (**infiltrazione**);
  - **Acqua o gas naturale**: attraverso le linee degli scarichi, degli impianti idrici e/o di gas e per **emanazione** dai fluidi stessi;
  - **Materiali da costruzione**: per **diffusione (esalazione)** del gas dai materiali stessi, qualora ricchi di **elementi radioattivi progenitori** appartenenti alla serie naturale dell'uranio 238 (in particolare: **Ra-226**)



# Rateo d'ingresso di radon nelle abitazioni

Valori medi per edifici standard in buone condizioni

(UNSCEAR 1993 Report)

Sorgenti di radon	Rateo d'ingresso (Bq/m <sup>3</sup> h)	Percentuale
Suolo (diffusione + advezione)	27.5	56
Aria esterna (infiltrazione)	10	20
Acqua e gas (emanazione)	1.5	3
<b>Materiali da costruzione</b>	10	<b>21</b>

Utilità di individuare la sorgente "primaria" di radon nel locale e il suo principale meccanismo di ingresso



azioni di rimedio più mirate



# Fondo naturale di radiazioni di *origine terrestre*

- I radionuclidi naturali (primordiali) sono diffusi ovunque nel substrato della crosta terrestre (suolo e rocce) e rappresentano una delle principali fonti di irraggiamento all'uomo (maggior contributo alla dose efficace annua agli individui della popolazione).
- La loro concentrazione (di attività) dipende però in modo critico dalla conformazione geologica delle diverse aree e quindi varia fortemente da luogo a luogo
- Ad es. valori tipici per i **tufi** sono i seguenti:
  - 1245-2335 Bq/kg per il  $^{40}\text{K}$
  - 99-542 Bq/kg per il  $^{232}\text{Th}$
  - 136-316 Bq/kg per il  $^{226}\text{Ra}$ , membro della famiglia radioattiva dell' $^{238}\text{U}$



# Radioattività naturale nei materiali da costruzione

I materiali da costruzione sono fatti spesso di rocce tal quali, in alcuni casi naturalmente ricche di radionuclidi naturali (rocce ignee).

Es. tufi, graniti

Oppure possono contenere componenti derivate da rocce, per via dell'aggiunta di "inerti" o "leganti" che, se ad esempio di origine vulcanica, possono aumentare nettamente la concentrazione di attività del materiale

Es. pozzolana nell'intonaco o cemento pozzolanico



materiale	concentrazione di attività tipica/(Bq/kg)			concentrazione di attività massima/(Bq/kg)		
	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
<i>Materiali edilizi comuni</i>						
Calcestruzzo	40	30	400	240	190	1600
Calcestruzzo aerato e alleggerito	60	40	430	2600	190	1600
Mattone argilloso (rosso)	50	50	670	200	200	2000
Mattone di sabbia e calce	10	10	330	25	30	700
Pietra naturale da costruzione	60	60	640	500	310	4000
Gesso naturale	10	10	80	70	100	200
<i>Sottoprodotti industriali comuni impiegati in materiali edilizi</i>						
Derivati del gesso (fosfogesso)	390	20	60	1100	160	300
Scorie di altoforno	270	70	240	2100	340	1000
Ceneri di carbone volanti	180	100	650	1100	300	1500



# Normativa vigente

- Ad oggi **NON** esiste una normativa organica che stabilisca **limiti di concentrazione** di attività dei radionuclidi naturali nei materiali da costruzione, né a livello nazionale né europeo.

## In ambito nazionale:

**DPR 246/93:** Regolamento di attuazione direttiva 89/106/CEE sui prodotti da costruzione.

All'Allegato A: "Requisiti essenziali ai quali debbono rispondere le opere", punto 3): *Igiene, salute ed ambiente*, recita:

*"..... l'opera deve essere concepita e costruita in modo da non costituire una minaccia per l'igiene o la salute degli occupanti o dei vicini, causata, in particolare, .....**dall'emissione di radiazioni pericolose**"*

## In ambito europeo:

**Radiation Protection 112:**

"Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials".

Documento specifico contenente linee guida sui principi di radioprotezione riguardanti la radioattività naturale nei materiali da costruzione e **pubblicato agli inizi del 2000**.





# Indice di concentrazione di attività I

Nel citato documento della Commissione Europea (Radiation Protection 112) viene introdotto un indice di concentrazione di attività “I” per identificare i materiali critici, così definito:

$$I = \frac{C_{Ra-226}}{300 \cdot Bq / kg} + \frac{C_{Th-232}}{200 \cdot Bq / kg} + \frac{C_{K-40}}{3000 \cdot Bq / kg}$$

Deve sempre essere:  $I \leq 1$  affinché un determinato materiale possa essere considerato “idoneo” per la costruzione di un nuovo edificio, anche se viene raccomandato di **tendere verso:  $I \leq 0.5$ .**

Tutto ciò allo scopo di **NON esporre le persone** a una dose efficace annua superiore rispettivamente a: **1 mSv/a o 0.3 mSv/a.**



(segue)

In effetti alcuni paesi, sia europei che non, hanno comunque fissato nella propria legislazione nazionale un limite al contenuto di radioattività dei materiali da costruzione proprio impiegando l'indice I.

Tuttavia non vi è consenso unanime nella scelta dei denominatori della sommatoria di definizione di I, che vengono stabiliti con criteri variabili da paese a paese e in funzione del materiale e della sua tipologia di utilizzo (infrastrutture, abitazioni, fabbriche etc.)

Da ciò l'esigenza di certificazioni dei materiali edilizi in cui siano riportate dettagliatamente le concentrazioni di attività dei singoli radionuclidi presenti, in caso di esportazione all'estero.

Non vi è neppure accordo sul modo di imporre la restrizione, nel senso che a volte si impone:  $I \leq 1$ , in qualche caso invece:  $I < 1$ .



# Misure eseguite e risultati ottenuti

- Sono state effettuate dunque analisi radiometriche in spettrometria  $\gamma$  su campioni prelevati in vari punti degli edifici scolastici in esame (quelli con "criticit  radon), utilizzando uno spettrometro HpGe di tipo "p" ad alta risoluzione, della EG&G ORTEC;
- Si   andati in cerca di radionuclidi naturali ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) e per la procedura di analisi quantitativa ci si   attenuti alla norma UNI 10797;
- Sono stati condotti preliminarmente sopralluoghi tecnici per individuare i punti di campionamento pi  opportuni (cio  pi  significativi);
- E' stato prelevato spesso sia il materiale da costruzione vero e proprio sia l'intonaco di copertura perch  in esso a volte era evidente la presenza di pozzolana (addizionato come inerte)



# 1. Canonica: Scuola Materna

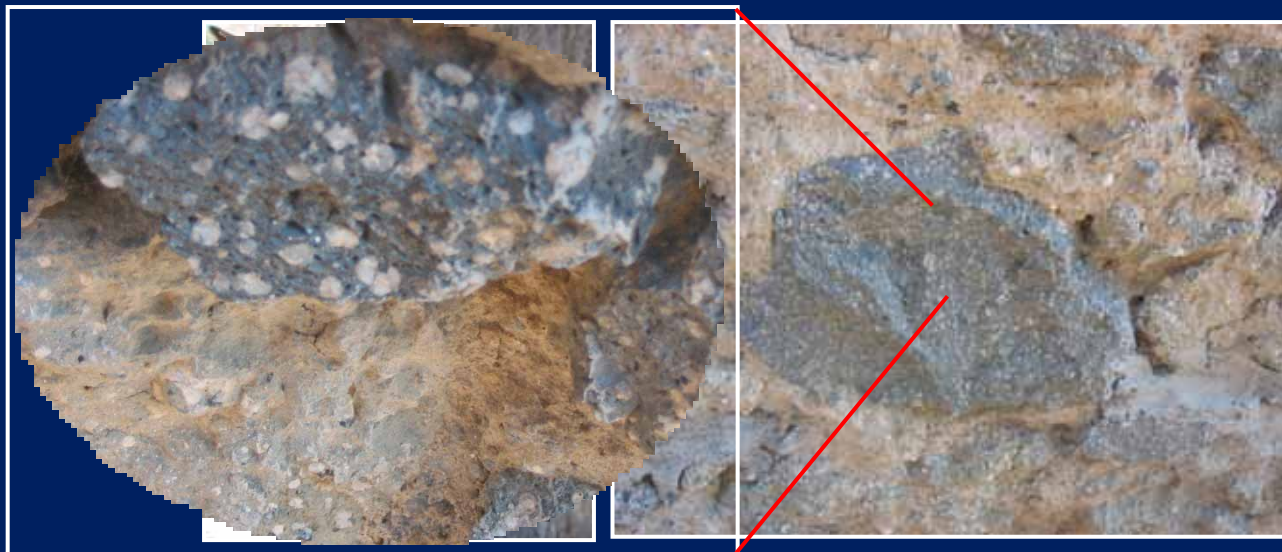
Campione	Data misura	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	Th-228 (Bq/kg)	INDICE I (*)
Muro esterno	27/09/2006	1507 ± 82	270 ± 120	187.0 ± 3.0	336 ± 17	344 ± 12	<b>2.85</b>



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIRURGICHE, RADIOLOGICHE ED ODONTOSTOMATOLOGICHE  
Sezione di Fisica Medica Ambientale ed Epidemiologica  
Direttore : prof. R.Borio

## 2. Sugano: Scuola elementare

Campione	Data misura	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	Th-228 (Bq/kg)	INDICE I (*)
Roccia parete esterna scuola	28/09/2006	2153 ± 51	282 ± 37	186.0 ± 7.0	479 ± 11	474 ± 25	<b>3.71</b>





# 3. Giove: Scuola materna

Campione	Data misura	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	Th-228 (Bq/kg)	INDICE I (*)
carota muro interno aula	26/09/2006	881 ± 12	175 ± 45	111,09 ± 0,59	161,6 ± 3,2	174,0 ± 2,2	<b>1.53</b>
intonaco locale sotto scuola	17/07/2006	1288 ± 37	169 ± 55	160,3 ± 7,6	237,7 ± 6,9	244,9 ± 5,0	<b>2.19</b>
cemento locale sotto scuola	14/07/2006	1294 ± 30	216 ± 18	138,7 ± 6,5	186,9 ± 4,4	190,1 ± 9,7	<b>1.84</b>
basamento (roccia cantina monastero)	17/07/2006	183,5 ± 9,4	63 ± 10	8,71 ± 0,94	78,3 ± 5,0	75,2 ± 3,2	0.47



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA  
 DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIRURGICHE, RADIOLOGICHE ED ODONTOSTOMATOLOGICHE  
 Sezione di Fisica Medica Ambientale ed Epidemiologica  
 Direttore : prof. R.Borio

## 4. Orvieto: Asilo Nido

Campione	Data misura	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	Th-228 (Bq/kg)	INDICE I (*)
Tufo	24/09/2007	2540 ± 110	578 ± 51	234.0 ± 7.0	394 ± 16	391 ± 11	<b>3.63</b>



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIRURGICHE, RADIOLOGICHE ED ODONTOSTOMATOLOGICHE  
Sezione di Fisica Medica Ambientale ed Epidemiologica  
Direttore : prof. R.Borio

## 5. Porano: Scuola materna

Campione	Data misura	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	Th-228 (Bq/kg)	INDICE I (*)
Intonaco	10/09/2007	1330 + 100	156.0 + 9.0	156.0 + 9.0	248 + 14	255.0 + 6.0	<b>2.24</b>
Tufo	10/09/2007	1738 + 79	223 + 28	199.0 + 6.0	401 + 10	417 + 13	<b>3.31</b>



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIRURGICHE, RADIOLOGICHE ED ODONTOSTOMATOLOGICHE  
Sezione di Fisica Medica Ambientale ed Epidemiologica  
Direttore : prof. R.Borio



## 6. Castel Giorgio: Scuola elementare

Campione	Data misura	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	Th-228 (Bq/kg)	INDICE I (*)
Intonaco (Aula G 1° piano)	20/09/2007	1407 ± 59	237 ± 34	153.0 ± 5.0	225 ± 10	223.0 ± 7.0	<b>2.11</b>
Tufo (locale PT)	24/09/2007	1682 ± 70	360 ± 110	180.0 ± 5.0	332 ± 14	337 ± 10	<b>2.86</b>



# 7a. Guardea: Scuola media

Campione	Data misura	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	Th-228 (Bq/kg)	INDICE I (*)
Intonaco muro Aula 3 ( parte vecchia)	14/09/2007	881 ± 31	102.0 ± 3.0	102.0 ± 3.0	167.0 ± 7.0	154.0 ± 5.0	<b>1.37</b>
Roccia muro Aula 3 (parte vecchia)	14/09/2007	34.6 ± 2.5	4.97 ± 0.24	4.97 ± 0.24	8.94 ± 0.71	8.68 ± 0.32	0.07
Intonaco muro corridoio (parte nuova)	17/09/2007	915 ± 100	128.0 ± 9.0	128.0 ± 9.0	208 ± 29	170 ± 11	<b>1.6</b>
Tufo (parte nuova)	17/09/2007	1539 ± 73	146.5 ± 5.5	146.5 ± 5.5	363 ± 18	283.0 ± 9.4	<b>2.53</b>



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PERUGIA  
 DIPARTIMENTO DI SCIENZE CHIRURGICHE, RADIOLOGICHE ED ODONTOSTOMATOLOGICHE  
 Sezione di Fisica Medica Ambientale ed Epidemiologica  
 Direttore : prof. R.Borio

## 7b. Guardea: Scuola media

Campione	Data misura	K-40 (Bq/kg)	U-238 (Bq/kg)	Ra-226 (Bq/kg)	Ra-228 (Bq/kg)	Th-228 (Bq/kg)
ARGILLA carotaggio suolo basamento	22/10/2007	508 ± 22	51.9 ± 1.7	51.9 ± 1.7	195.3 ± 8.3	191.8 ± 5.7
TRAVERTINO carotaggio suolo basamento	22/10/2007	3.3 ± 1.0	3.55 ± 0.16	3.55 ± 0.16	2.22 ± 0.33	1.59 ± 0.15

- L'argilla ha valori di  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$  simili a quelli dell'intonaco della scuola parte nuova



# Conclusioni

- Salvo rare eccezioni, **tutti i materiali prelevati** sono risultati **NON idonei** dal punto di vista dell'**indice di concentrazione di attività I** secondo i limiti ad esso imposti nel documento Radiation Protection 112; ciò anche adottando il vincolo meno restrittivo per I (valore 1 e non 0.5).
- La discriminazione dei diversi radionuclidi presenti e la misura delle loro singole **concentrazioni di attività** permette di stabilire che spesso il **contributo preponderante** al valore di I, nella sua sommatoria di definizione, viene dal  $^{232}\text{Th}$  e dal  $^{40}\text{K}$ ; inoltre, lo stesso si può dire per il quasi costante superamento dell'unità da parte di questo indice.
- I **valori** ottenuti per il  $^{226}\text{Ra}$ , progenitore del radon, fanno comunque dire che **certamente il materiale da costruzione può essere all'origine degli alti valori della concentrazione di radon nelle scuole esaminate o quanto meno può esserne una delle cause principali.**



(segue)

- In ogni caso il fatto che sia quasi sempre risultato  $I > 1$  identifica questi materiali come “critici”, anche dal punto di vista generale della dose efficace annua di radiazioni agli occupanti degli immobili in questione;
- E' peraltro vero, tuttavia, che quelli analizzati sono “campioni isolati”, selezionati, anzi, appositamente per rivelare peculiari criticità degli edifici e il cui elevato contenuto di radionuclidi naturali può essere legato al particolare “pezzo” preso in esame; laddove un discorso di “media” prevedrebbe la ripetizione di differenti saggi in vari punti delle scuole (soluzione, questa, impraticabile!)

