

# La radioattività naturale nei materiali da costruzione: principali elementi del quadro europeo anche alla luce della futura normativa Euratom

Trevisi R.\*\*, Nuccetelli C.\*, Risica S.\*

*\*\*Dip Igiene del Lavoro, INAIL (Settore Ricerca), Roma*

*\* Dip. Tecnologie e Salute, ISS, Roma*

# Inventario della concentrazione di attività di radionuclidi naturali nei materiali da costruzione utilizzati nell'UE (1)

## Stato dell'arte:

### 1) raccolta di dati svolta nel 1996 relativa a 10 dei 15 Paesi allora appartenenti alla Unione Europea (UE)

EC, Enhanced radioactivity of building materials. Radiation Protection 96. Luxembourg, ISBN 92-828-6654-8

### 3) studio sui materiali italiani eseguito nel 1999

Risica S., Bolzan C., Nuccetelli C. Radioactivity in building materials: experimental methods, calculations and an overview of the Italian situation. "Radon in the Living Environment", 19-23 April 1999, Athens, Greece

- I paesi UE attualmente sono 27
- La precedente raccolta non effettuava alcuna analisi con criteri di limitazione, come l'applicazione dell'indice I (RP112)
- La proposta di direttiva BSS che prevede (art. 75) la regolamentazione del contenuto di radioattività naturale nei materiali da costruzione

# Inventario della concentrazione di attività di radionuclidi naturali nei materiali da costruzione utilizzati nell'UE (1)

ISS e ISPEL (ora INAIL) hanno ampliato ed esteso a tutti Paesi UE il precedente inventario di dati di materiali italiani, utilizzando le misure di concentrazione di attività dei radionuclidi naturali disponibili nella letteratura nazionale e comunitaria e dati non pubblicati, messi a disposizione da colleghi di altri Paesi.

L'inventario contiene complessivamente le misure di concentrazione di attività di quasi 10000 campioni relativi a **24 dei 27 MS** – non si dispone di dati relativi a Estonia, Lettonia e Malta.

Per alcuni Paesi non sono disponibili informazioni per tutte le categorie di materiali quindi **il numero di MS** e il **numero di campioni** catalogati è differente per ogni materiale.

# Inventario della concentrazione di attività di radionuclidi naturali nei materiali da costruzione utilizzati nell'UE (2)

<b>Materiale da costruzione</b>	<b>Uso</b>	<b>N. Di Campioni</b>
Mattoni e calcestruzzo	bulk	≅ 4400
Cemento e gesso	bulk/rivestimento	≅ 2500
Pietre naturali (igneie e metamorfiche)	bulk/rivestimento	≅ 900
Fosfogesso	bulk/rivestimento	≅ 290
Sottoprodotti industriali, ad es. ceneri volatili, ceneri pesanti, fanghi rossi	additivi	≅ 1300
Materiali vari quali legno, mattonelle e altro	rivestimento/limitato	≅ 500

# Sintesi dei dati raccolti e analizzati per ciascun MS



Paese	n di campioni	n di campioni analizzati	Paese	n di campioni	n di campioni analizzati
Austria	105	95	Lussemburgo	89	64
Belgio	218	214	Paesi Bassi	219	190
Bulgaria	42	38	Polonia	1331	1173
Cipro	55	55	Portogallo	78	62
Danimarca	307	223	Repubblica Ceca	1531	1531
Finlandia	439	366	Regno Unito	284	280
Francia	44	44	Romania	737	378
Germania	299	257	Slovacchia	60	57
Grecia	1032	572	Slovenia	6	6
Irlanda	35	35	Spagna	423	317
Italia	1112	738	Svezia	625	625
Lituania	2	2	Ungheria	849	810

24 Paesi Membri:

**Totale dei campioni** = 9922

**Totale dei campioni analizzati** = 8132

**Trevisi R., D'Alessandro M., Risica S., Nuccetelli C.**  
*Natural radioactivity in building materials in the  
European Union: a database and an estimate of  
radiological significance*  
**J. Environ. Radioactivity 2012; 105: 11-20**

# Indice di concentrazione di attività /: approccio generale

Per identificare i materiali critici in molti Paesi sono stati elaborati degli strumenti di indagine sotto forma di indice /:

$$I = \frac{C_{\text{Ra-226}}}{A_{\text{Ra-226}}} + \frac{C_{\text{Th-232}}}{A_{\text{Th-232}}} + \frac{C_{\text{K-40}}}{A_{\text{K-40}}} \leq 1$$

Dove

CX = concentrazione di attività del nuclide X (Bq kg<sup>-1</sup>)

AX = coefficiente parametrico (Bq kg<sup>-1</sup>)

- Gli Ax variano in funzione del criterio di dose scelto e del valore di fondo (solitamente outdoor) sottratto
- Dipendono dalle caratteristiche dell'ambiente di riferimento (geometria, spessore delle pareti, ecc), e dal coefficiente di dose/unità di concentrazione (*room model*)
- Variano significativamente tra i diversi Paesi

# L'indice / nella RP112 (1999)

$$I = \frac{C_{\text{Ra-226}}}{300 \text{ Bq kg}^{-1}} + \frac{C_{\text{Th-232}}}{200 \text{ Bq kg}^{-1}} + \frac{C_{\text{K-40}}}{3000 \text{ Bq kg}^{-1}}$$

**Ipotesi di base: "Within the European Union, doses exceeding 1 mSv y<sup>-1</sup> should be taken into account from the radiation protection point of view"**

- **Criterio di dose = 1 mSv y<sup>-1</sup> (eccesso rispetto al fondo medio outdoor)**
- **Fattore di occupazione = 7000 h y<sup>-1</sup>**
- **Coefficiente di conversione della dose = 0,7 Sv Gy<sup>-1</sup>**
- **Fondo medio outdoor = 50 nGy h<sup>-1</sup>  $\cong$  0,25 mSv y<sup>-1</sup>**

# L'indice / nella RP112 (1999)

Modalità di utilizzo	Criterio di Dose (mSv y <sup>-1</sup> )*	
	0,3**	1
Materiali strutturali	$I \leq 0,5$	$I \leq 1$
Materiali di rivestimento	$I \leq 2$	$I \leq 6$

\*rateo di dose efficace aggiuntiva rispetto a quella outdoor

\*\*Per il criterio di dose 0,3 mSv y<sup>-1</sup> la RP112 riduce il valore di I a 0,5 senza ricalcolare Ax

**RP112:** "the activity concentration index should be used only as a screening tool for identifying materials which might be of concern", but "any actual decision on restricting the use of the material should be based on a separate dose assessment".

Nel 2002 la Danimarca ha adottato l'indice IRP112 per l'esenzione dei materiali da costruzione (criterio di dose 0,3 mSv y<sup>-1</sup> e  $I \leq 0,5$ )



# L'indice / in Austria (Önorm 5200)

## Nel 1995

$$I = (1 + 0.15k) \frac{C_{\text{Ra-226}}}{1000 \text{ Bqkg}^{-1}} + \frac{C_{\text{Th-232}}}{600 \text{ Bqkg}^{-1}} + \frac{C_{\text{K-40}}}{10000 \text{ Bqkg}^{-1}} \leq 1$$

**k** = termine che dipende dallo spessore e dalla densità del materiale e dal potere emanante (radon)

## Nel 2009

$$I = (1 + 0.07\varepsilon\rho d) \frac{C_{\text{Ra-226}}}{880 \text{ Bqkg}^{-1}} + \frac{C_{\text{Th-232}}}{530 \text{ Bqkg}^{-1}} + \frac{C_{\text{K-40}}}{8800 \text{ Bqkg}^{-1}} \leq 1$$

**ε** = potere di emanazione di radon (tipicamente 10%)

**ρ** = densità del materiale (tipicamente 2000 kg/m<sup>3</sup>)

**d** = spessore delle pareti (tipicamente 0,3 m)

- Criterio di dose = 1 mSv y<sup>-1</sup> (eccesso rispetto al fondo outdoor)
- Dose da fondo medio outdoor = 1,2 mSv y<sup>-1</sup>

# Indice I in Israele

(Standard SI 5098, 2009)

Precedenti formulazioni nel 2002-2007. Lo standard contiene due indici:

## Indice di concentrazione di attività / totale

$$\frac{C_K}{A_K(\rho d)} + \frac{C_{Ra}}{A_{Ra}(\rho d)}(1 - \varepsilon) + \frac{C_{Th}}{A_{Th}(\rho d)} + \frac{\varepsilon \cdot C_{Ra}}{A_{Rn}(\rho d)} \leq I$$

Ax dipende dalla densità superficiale (*surface density -  $\rho d$* ) e si calcola assumendo un criterio di dose pari 0,3 mSv y-1 in eccesso rispetto a tipici livelli di esposizione indoor

1°, 2° e il 3° tengono conto dell'eccesso di dose  $\gamma$  indoor

2° dose  $\gamma$  dagli elementi della catena del  $^{226}\text{Ra}$ , ridotti del termine che tiene conto del  $^{222}\text{Rn}$  esalato

4° dose da radon (inalazione)

Kovler K., Legislative aspects of radiation hazards from both gamma emitters and radon exhalation of concrete containing coal fly ash. *Construction and Building Materials* 2011; 25: 3404–3409

K.Kovler, personal communication

# L'indice I in Israele

## (Standard SI 5098, 2009)

### Indice di concentrazione di attività gamma $I_\gamma$

$$\frac{C_K}{A_K (\rho d)} + \frac{C_{Ra}}{A_{Ra} (\rho d)} + \frac{C_{Th}}{A_{Th} (\rho d)} \leq I_\gamma$$

I prodotti da costruzione devono soddisfare entrambi gli indici:

Building material type	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Total index I	Gamma Index $I_\gamma$
All building products	Above 1500	1.00	0.40
except superficial	600 – 1500	0.60	0.35
	Below 600	0.50	0.30

G. Haquin, K. Kovler, O. Pelled, S. Rozenberg, N. Lavi Y., Sikuler, A. Roitgur  
Radiological Principles of Israeli Standard 5098 "Content of Natural Radioactive Elements  
in Building Products", IRPA 13 Glasgow, 2012

# L'indice I in Israele

## (Standard SI 5098, 2009)

“...For the external gamma radiation, the background dose can be defined either as the average dose, which would be received outdoors, or as the average dose which would be received in a house built from materials with ‘typical’ activities...”  
(Markkanen, Sc. Tot Envir., 2001)

## livelli “tipici” di esposizione da materiale da costruzione

Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Esposizione Esterna [mSv/y]	Esposizione Interna* [mSv/y]	Radon [Bq/m <sup>3</sup> ]
> 1500	0,25	0,85	50
600 – 1500	0,20	0,35	20
< 600	0,15	0,35	20

\*L'esposizione al radon è calcolata applicando un fattore di conversione pari a 0,017 mSv/year per Bq/m<sup>3</sup> (ICRP 65)

G. Haquin, personal communication

## Nostra proposta:

$$I = (1 + \alpha) \frac{C_{\text{Ra-226}}}{300 \text{ Bq kg}^{-1}} + \frac{C_{\text{Th-232}}}{200 \text{ Bq kg}^{-1}} + \frac{C_{\text{K-40}}}{3000 \text{ Bq kg}^{-1}} \leq 1$$

- $\alpha$  è un termine che tiene conto del fondo outdoor da radon, del potere di emanazione di radon del materiale ( $\epsilon$ ), della sua densità e dello spessore delle pareti
- fondo outdoor da radon è stato assunto pari  $10 \text{ Bq m}^{-3}$  (UNSCEAR, 2006)  $\cong 0,3 \text{ mSv y}^{-1}$  in termini di dose efficace indoor nelle abitazioni (ICRP 2009)
- il criterio di dose per il 222Rn indoor =  $3 \text{ mSv y}^{-1} \cong 100 \text{ Bq m}^{-3}$  nelle abitazioni (ICRP 2009)

# Il metodo del Ra equivalente (Raeq)

## Ipotesi di base

$$\frac{C_{Ra}}{10} + \frac{C_{Th}}{7} + \frac{C_K}{130} \leq 1 \text{ pCi/g (37 Bq/kg)}$$

- $C_{Ra}$ ,  $C_{Th}$  e  $C_K$  = conc. di attività di  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$  ( $\text{Bq kg}^{-1}$ )
- $10 \text{ pCi g}^{-1}$  ( $=370 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) di  $^{226}\text{Ra}$ ,  $7 \text{ pCi g}^{-1}$  di  $^{232}\text{Th}$  e  $130 \text{ pCi g}^{-1}$  di  $^{40}\text{K}$  forniscono la stessa dose  $\gamma$  pari a  $150 \text{ mrad y}^{-1}$  (ora  $1,5 \text{ mGy y}^{-1} \cong 1 \text{ mSv y}^{-1}$ )
- Criterio di dose =  $1 \text{ mSv y}^{-1}$

## Quindi

$$R_{aeq} = C_{Ra} + 1.43 C_{Th} + 0.077 C_K$$

Raeq = Ra equivalente

E' ancora ampiamente utilizzato da diversi colleghi

Beretka I., Mathew P.I. Natural radioactivity of Australian building materials, waste and byproducts. Health Phys. 1985; 48: 87-95.

# L'indice / in Olanda Radiation Performance Index

$$E = C_h \text{cdc} + E_\gamma \leq 1 \text{ mSv y}^{-1}$$

$E$  = dose efficace annua (mSv y<sup>-1</sup>)

$C_h$  = concentrazione media annua di Rn indoor eccedente il valore outdoor (Bq m<sup>-3</sup>)

cdc = fattore di conversione di dose (mSv y<sup>-1</sup>/Bq m<sup>-3</sup>)

$E_\gamma$  = dose efficace da radiazione  $\gamma$  (mSv y<sup>-1</sup>)

$$E_\gamma = k_U C_{Ra} + k_{Th} C_{Th} + k_K C_K$$

$k_x$  = fattore di conversione di U, Th e K (mSv y<sup>-1</sup>/Bq kg<sup>-1</sup>)

I  $k_x$  dipendono dalla stanza di riferimento, dalla posizione, da composizione, densità e spessore del materiale (*room model* di Koblinger)

Van der Graaf E.R., Schaap L.E., Bosmans G.

Radiation performance index for Dutch dwellings: consequences for some typical situations.

Sci. Tot. Environ. 2001; 272 (1-3): 151-158

# L'indice I nella ex- Jugoslavia

$$I = \frac{C_{\text{Ra-226}}}{400} + \frac{C_{\text{Th-232}}}{300} + \frac{C_{\text{K-40}}}{5000} + \frac{C_a}{4000} \leq 1$$

**Ca = somma della concentrazione di attività di tutti i nuclidi artificiali presenti nel campione**

**Pavlovic S., Pavlovic R., Avramovic I., Markovic S., Milanovic S.  
Radiological assessment of an imported building material: a case study.  
Environ. Intern. 1996; 22 suppl.1: 295-300.**



# Quadro di sintesi degli Indici/Standard

Ipotesi	Strumento di screening						
	IRP112		Raeq	Indice I (Austria)	Standard SI 5098 (Israele)		
Criterio di dose (mSv y-1)	≤0,3	≤1	≤ 1	≤ 1	≤ 0,3	≤ 1 γ ≤ 3 222Rn	
Fondo Outdoor* (mSv y-1)	0,25	0,25		1,2		0,25 γ 0,3 222Rn	
Fondo Indoor° (mSv y-1)					Calcestruzzo 0,25 γ 0,85 222Rn		
					Mattoni 0,20 γ 0,35 222Rn		
Potere di emanazione (Rn)					Calcestruzzo 0,12 ε	Calcestruzzo 0,12	
					Mattoni 0,07 ε	Mattoni 0,07	

\*Per la dose da fondo γ outdoor o la dose da radon si tiene conto del fattore di occupazione: il risultato è sottratto alla dose indoor da materiali

° Alla dose indoor totale si sottrae la dose da fondo indoor proveniente da un *materiale tipico*

# Percentuale di campioni che superano i limiti dei vari indici /

Materiale da costruzione	Indice/metodo di screening					
	IRP112		Raeq	Indice I Austria	Standard Israele	IRP112+222Rn
	0,3 mSv y-1	1 mSv y-1				
Mattoni	91%	5%	0%	0%	19%	16%
Calcestruzzo	62%	5%	4%	3%	61%	8%

- Generalmente la percentuale di campioni di calcestruzzo  $\geq$  la percentuale di campioni di mattoni
- La ragione? Conc. di  $^{226}\text{Ra}$  leggermente superiore ( $> 300 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) nel calcestruzzo di alcuni Paesi UE?
- Certamente è necessaria un'analisi più approfondita!
- L'aggiunta di un termine relativo al contributo del radon non cambia la situazione in modo drammatico: la sua adozione è quindi ipotizzabile e auspicabile in quanto porterebbe a rappresentare l'esposizione indoor in modo più accurato

I materiali da costruzione si confermano la sorgente gamma indoor più importante.

Si dispone di molti dati circa il contenuto di radionuclidi naturali nei materiali.

E' stata realizzata un inventario circa il contenuto di  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  e  $^{40}\text{K}$  nei campioni di materiali utilizzati in UE.

In molti Paesi e in UE è stato utilizzato un indice / quale strumento per identificare i materiali più attivi.

Disponiamo di diversi metodi di screening dei materiali da costruzione: questo portano a differenti risultati specie se consideriamo quelli che potrebbero essere esclusi dal mercato.

Questo non ci sorprende: metodi differenti, basati su diverse ipotesi di base.

In letteratura sono presenti altri metodi che impiegano *room model* più elaborati.

# Conclusioni (cont.)



Nella bozza EU BSS, il livello di esenzione è stato posto  $\leq 1$  mSv y<sup>-1</sup>. Questa scelta è stata principalmente basata sull'analisi dei dati raccolti, che ha permesso di stimare l'impatto sul mercato UE della scelta del criterio di dose da adottare.

Diversamente da quanto previsto nell'attuale bozza di BSS, è' auspicabile che non si consenta la sottrazione del fondo gamma outdoor nazionale nel calcolo degli Ax ai fini del livello di investigazione perché questo potrebbe portare a situazioni significativamente diverse tra i paesi UE.

Grazie per l'attenzione

[r.trevisi@inail.it](mailto:r.trevisi@inail.it)

[06/94181264](tel:0694181264)