Un indice più flessibile e accurato per stimare il contributo dei materiali da costruzione alla dose gamma indoor

*Cristina Nuccetelli, ^Federica Leonardi, ^Rosabianca Trevisi

*Istituto Superiore di Sanità, Viale Regina Elena 299, 00161 Roma

^INAIL, Settore Ricerca e Certificazione, Via Fontana Candida 1, 00040 Montep. Catone (Roma)

Articolo 75

Radiazioni gamma emesse da materiali da costruzione

1. Il livello di riferimento applicabile all'esposizione esterna in ambienti chiusi alle radiazioni gamma emesse da materiali da costruzione, in aggiunta all'esposizione esterna all'aperto, è fissato a 1 mSv all'anno.

2. Per i materiali da costruzione che sono stati individuati dagli Stati membri come oggetto di attenzione dal punto di vista della radioprotezione, tenendo conto dell'elenco indicativo di materiali di cui all'allegato XIII in riferimento alle radiazioni gamma emesse da tali materiali, gli Stati membri garantiscono che, prima dell'immissione sul mercato di tali materiali:

a) siano determinate le concentrazioni di attività dei radionuclidi specificati nell'allegato VIII e che

b) siano fornite su richiesta alle autorità competenti informazioni sui risultati delle misurazioni e il corrispondente indice di concentrazione di attività, nonché altri fattori pertinenti come definito nell'allegato VIII.

3. Per i tipi di materiali da costruzione determinati in base al paragrafo 2 che possono comportare dosi superiori al livello di riferimento, gli Stati membri decidono in merito alle misure appropriate da adottare, che possono comprendere obblighi specifici nell'ambito di norme edilizie pertinenti o restrizioni specifiche sull'uso previsto di tali materiali.

Dalla Direttiva 59/2013/EURATOM

Articolo 75
Radiazioni gamma emesse da materiali da costruzione

- livello di riferimento = 1 mSv per anno

- Allegato XIII – *Elenco indicativo dei tipi di materiali da costruzione considerati in riferimento alle radiazioni gamma emesse da tali materiali di cui all'articolo 75*

- Allegato VIII – ***Definizione e uso dell'indice di concentrazione di attività per le radiazioni gamma emesse dai materiali da costruzione di cui all'articolo 75***

Indice I delle BSS

Le nuove BSS introducono l'indice I **(dalla guida RP112)** come strumento di screening per i materiali da costruzione che possano determinare più di 1 mSv/anno di dose gamma in eccesso rispetto al fondo *outdoor*

$$I_{RP112} = C_{Ra\text{-}226}/300+C_{Th\text{-}232}/200+C_{K\text{-}40}/3000$$

"Il valore dell'indice di concentrazione di attività pari a 1 può essere utilizzato come uno strumento di controllo prudenziale per individuare materiali che possono portare al superamento del livello di riferimento di cui all'articolo 75,...**Nel calcolo della dose occorre tener conto di altri fattori, tra cui la densità, lo spessore del materiale, nonché fattori relativi al tipo di edificio e all'uso previsto del materiale (strutturali** *sfusi* **o superficiali)..**" (Allegato VIII, BSS 2013/59).

Indice I delle BSS (cont.)

I_{RP112} è stato sviluppato per il calcestruzzo, tenendo conto dei valori medi di **d** e ρ di questo materiale e di altri parametri.

-criterio di dose = **1 mSv y^{-1}**
oltre *outdoor background* of 50 nGy h^{-1} (v. RP 112 + UNSCEAR)

-occupazione indoors = 7000 h y^{-1}

-coefficiente di conversione di dose = 0.7 Sv Gy^{-1}

-dimensioni della stanza = 5m x 4m x 2.8 m
(input of room model)

-**densità** = **2350 kg m^{-3}**
(input del room model)

-**spessore** = **0.2 m**
(input del room model)

Indice I delle BSS (cont. I)

$I_{RP112} = C_{Ra\text{-}226}/A_{Ra} + C_{Th\text{-}232}/A_{Th} + C_{K\text{-}40}/A_K$

dove

$A_{Ra} = 300$ Bq
$A_{Th} = 200$ Bq
$A_K = 3000$ Bq

I valori di $A_{Ra,Th,K}$ al denominatore sono stati ottenuti da

$$1 \text{ mSv y}^{-1} = (SDR_x A_x - 50)\, 10^{-9} \text{Gy h}^{-1} \times 0.7 \text{ Sv Gy}^{-1} \times 7000 \text{ h y}^{-1}$$

dove SDR_x = ratei di dose specifici (nGy h^{-1} per Bq kg^{-1}) calcolati con il *room model* del RP 112 per Ra, Th, K

Indice I delle BSS (cont. II)

- Questo strumento di screening potrebbe non essere appropriato in caso di materiali con valori di **d** e/o ρ significativamente diversi.

- Un nuovo strumento di screening, **conservativo ma più accurato**, può tener conto di questi fattori che influenzano l'esposizione gamma.

- Questo indice può essere utile per lo screening dei materiali esistenti (contenenti o no i NORM) e dei nuovi (ad esempio geopolimeri).

- Un altro indice funzione di **d** e ρ è stato sviluppato dal CEN/TC 351/WG3/TG32 e contenuto nella bozza finale di una relazione tecnica che è circolata per la consultazione.

Una proposta per un indice generale che tenga conto di ρ e d dei materiali

L'indice $\mathbf{I_{RP112}}$ dal RP 112 (e BSS)

$I_{RP112} = C_{Ra\text{-}226}/300 + C_{Th\text{-}232}/200 + C_{K\text{-}40}/3000$

può essere considerato il **risultato particolare**, nel caso del calcestruzzo, di un indice $I(\rho d)$ più generale funzione di ρ e d.

$I(\rho d)$ ha la stessa struttura di I_{RP112} ma A_{Ra}, A_{Th} e A_K dipendono da $\rho \cdot d$

$$I(\rho d) = \frac{C_{Ra-226}}{A(\rho d)_{Ra-226}} + \frac{C_{Th-232}}{A(\rho d)_{Th-232}} + \frac{C_{K-40}}{A(\rho d)_{K-40}}$$

Una proposta per un indice generale che tenga conto di ρ e d dei materiali (cont.)

$$I(\rho d) = \frac{C_{Ra-226}}{A(\rho d)_{Ra-226}} + \frac{C_{Th-232}}{A(\rho d)_{Th-232}} + \frac{C_{K-40}}{A(\rho d)_{K-40}}$$

L'espressione generale di $A_x(\rho d)$ è

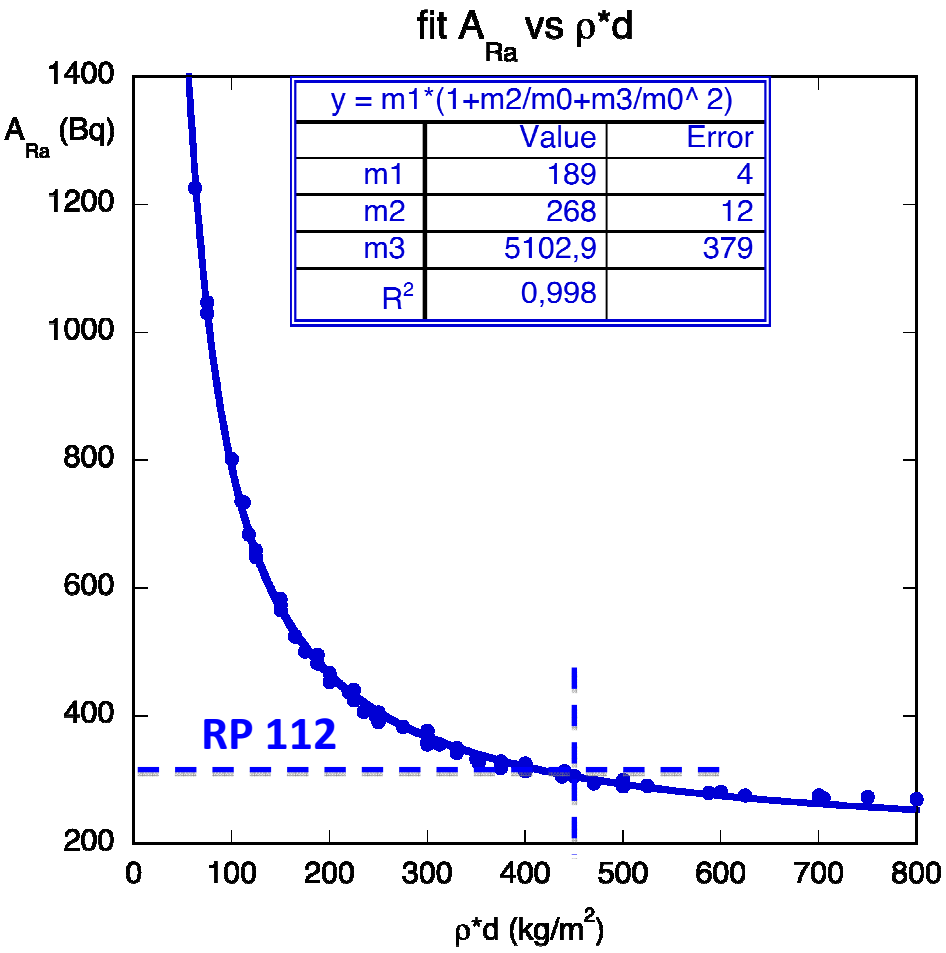
$$A(\rho d)_X = m_1 \left[1 + m_2 (\rho d)^{-1} + m_3 (\rho d)^{-2})\right]$$

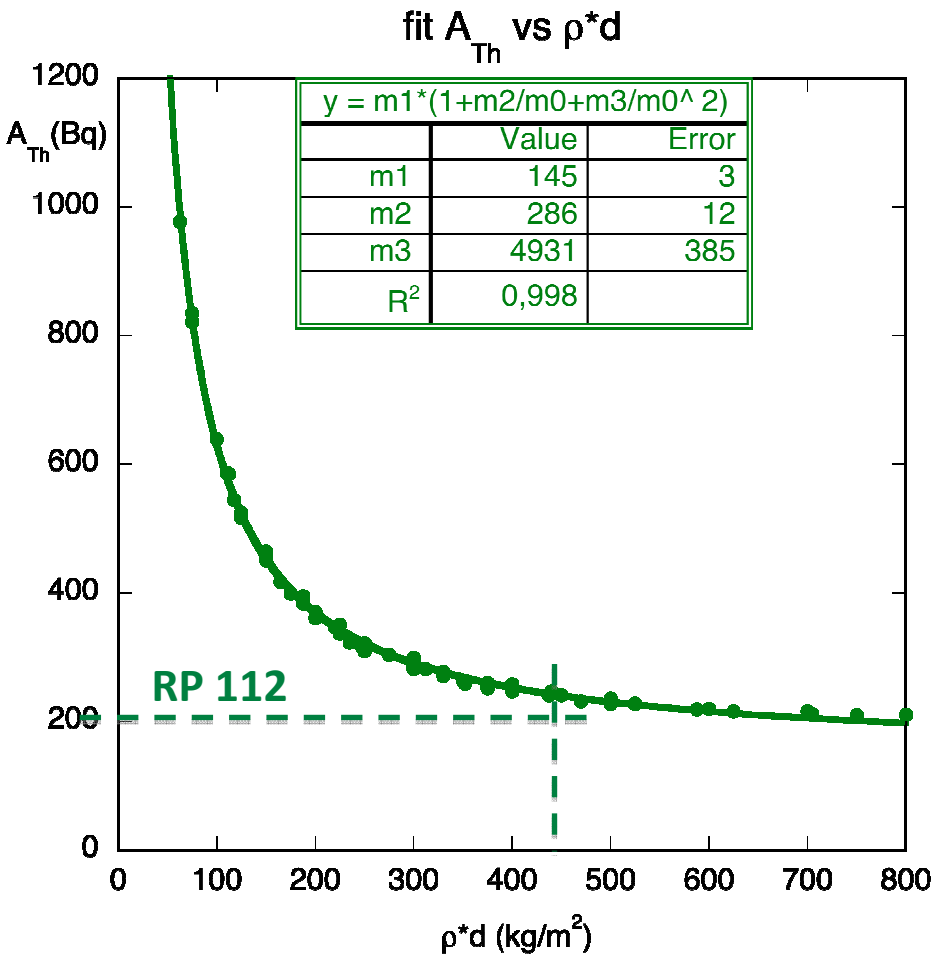
Tipici valori di $\rho \cdot d$ sono:

calcestruzzo	=	**450 - 470**	**kg m^{-2}**
mattoni	=	**210 - 330**	**kg m^{-2}**

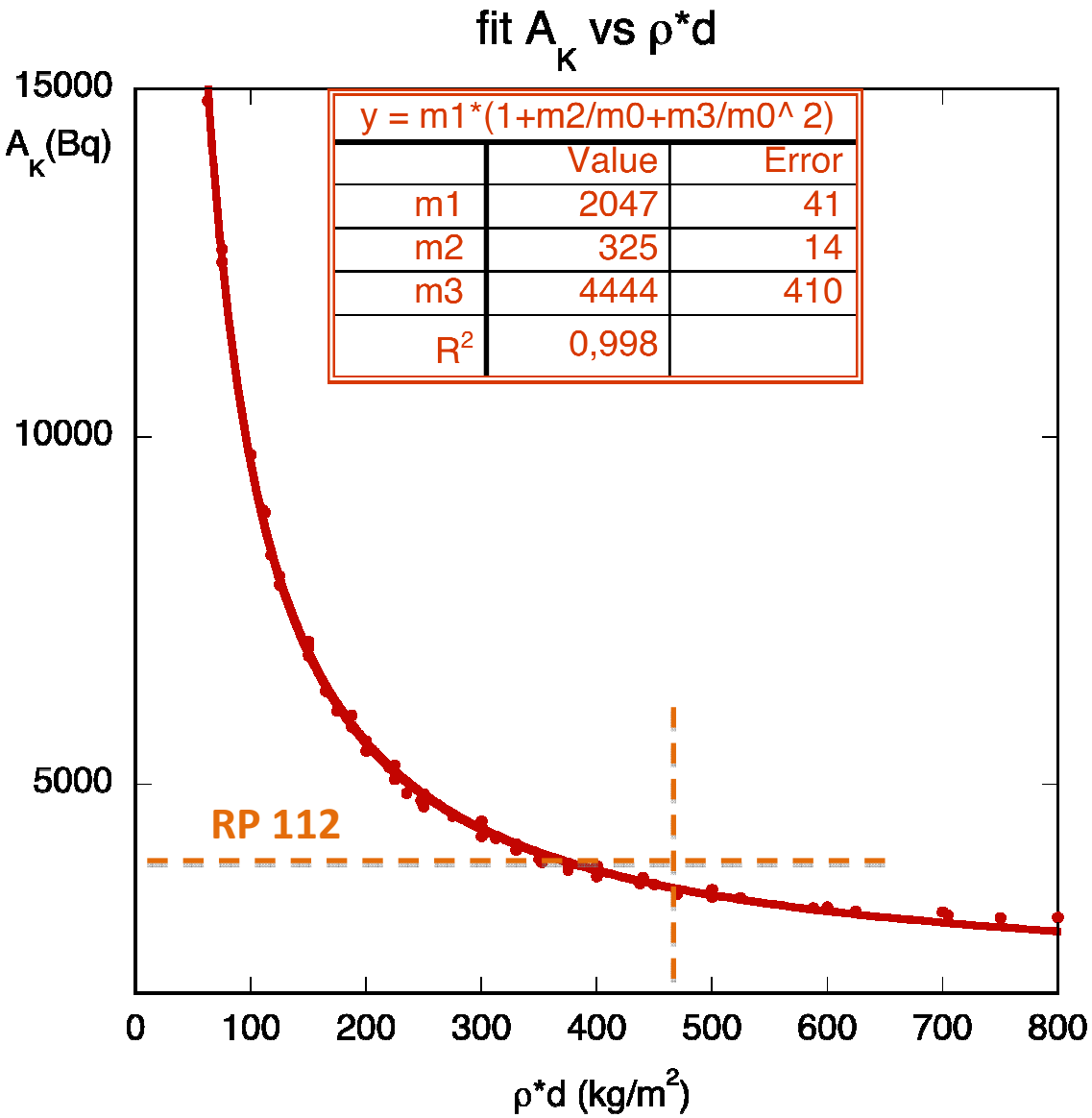
C Nuccetelli, F Leonardi, R Trevisi. *A new accurate and flexible index to assess the contribution of building materials to indoor gamma exposure. J.Environ. Rad. 143 (2015) 70-75*

Andamento di $A_{Ra}(\rho d)$ e di $A_{Th}(\rho d)$ vs ρd





Andamento di $A_K(\rho d)$ vs ρd



Applicazione di I(ρd) al database ISS-INAIL (~23000 campioni)

Per valutarne l'utilità, I(ρd) è stato applicato al *database* ISS-INAIL

- ✓ **calcestruzzo** (~ 2700 campioni)
- ✓ **mattoni** (~ 1600 campioni)

Indici (1 mSv y^{-1})	**Mattoni** (1607 campioni)	**Calcestruzzo** (2714 campioni)
I(ρd)	0%	5%
I_{RP112}	5%	5%

Come atteso, l'applicazione di I(ρd) al calcestruzzo dà gli stessi risultati di I_{RP112} (elaborato per **ρ** e **d** del calcestruzzo).

I risultati sono diversi per i mattoni con valori tipici $\rho = 1500$ kg m^{-3}, d = 0.15 m.

Tutti i 1607 campioni di mattoni hanno I(ρd) < 1.

Altre applicazioni di I(ρd)

Nel range tipico di $\rho_{mattoni}$ (700-1800 kg m^{-3}) e $d_{mattoni}$ (0.12 - 0.25 m), $A(\rho d)_x$ variano molto.

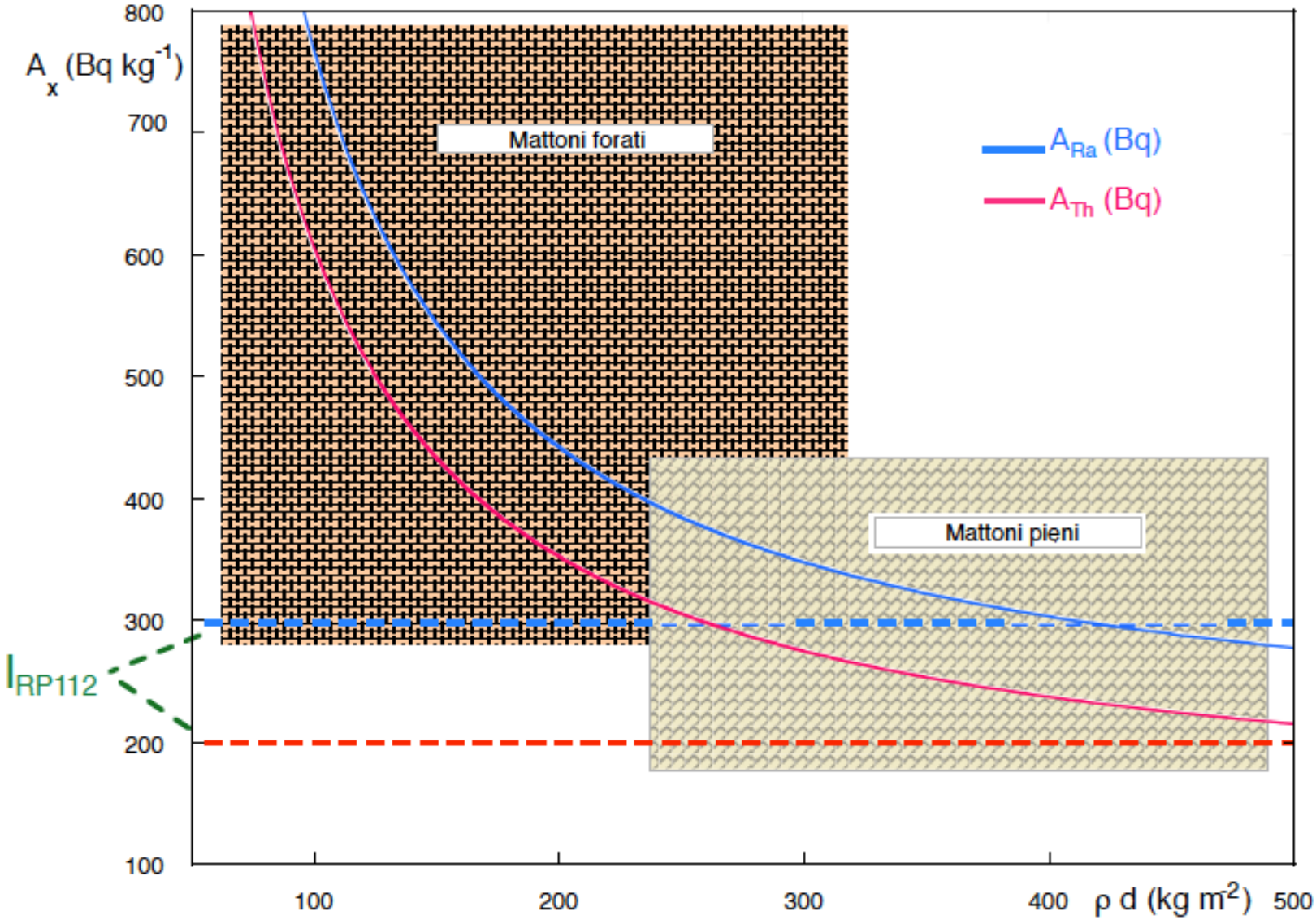
Per i **mattoni pieni** $(\rho d)_{mattoni}$ ~ 420 kgm^{-2} molto simile al $(\rho d)_{calcestruzzo}$

$$\longrightarrow \quad A_x(\rho d)_{mattoni} \approx A_{x\ IRP112}$$

Per i mattoni leggeri (foratini o cavi) i valori di $A_x(\rho d)_{mattoni}$ sono più elevati, ovvio risultato dei calcoli più accurati del *room model* (ISS).

Lo stesso vale per i calcestruzzi aerati (ρ ~ 0,1 - 0,6 kg m^{-3}) e i materiali di rivestimento (mattonelle, lastre di pietra) (d ~ 0,02m)

Andamento degli A(ρd) per mattoni forati e pieni



Un po' di matematica

1) La struttura matematica di $A(\rho d)_x$ è tale che

$I(\rho d) \Rightarrow 0$ quando $\rho d \Rightarrow 0$

2) I coefficienti m_1 sono i valori di $A(\rho d)_x$ quando $\rho * d$ tende all'infinito

$\Downarrow$

gli m_1 rapprentano la minima concentrazione di attività che determina 1 mSv da ogni tipo di materiale da costruzione.

$m_{1Ra\text{-}226} = 182\ Bq\ kg^{-1}$

$m_{1Th\text{-}232} = 140\ Bq\ kg^{-1}$

$m_{1K\text{-}40} = 1969\ Bq\ kg^{-1}$

Ulteriori sviluppi per il calcolo della dose

Con procedure simili a quelle utilizzate per lo sviluppo di I(ρd) si può esprimere la dose determinata dai materiali da costruzione in funzione di ρ e d, oltre che di C_{Ra-226}, C_{Th-232} e C_{K-40}

$$D\ (mSv) = [B(\rho d)_{Ra-226}\, C_{Ra-226} + B(\rho d)_{Th-232}\, C_{Th-232} + B(\rho d)_{K-40}\, C_{K-40}] - 0{,}294$$

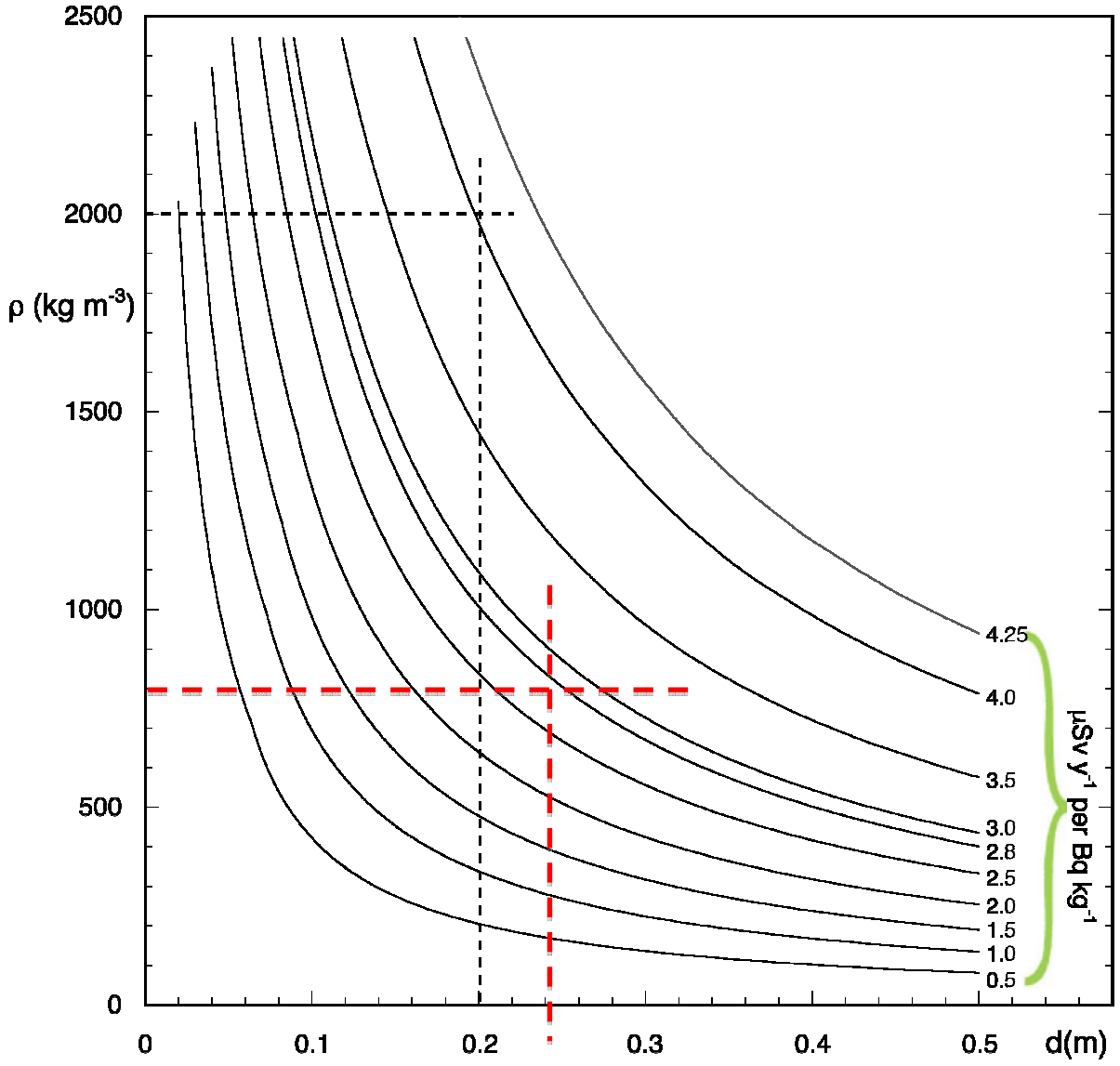
dove

$$\mathbf{B(\rho d)_x} = (\rho d)^2 / a_x\, [(\rho d)^2 + b_x \cdot (\rho d) + c_x]$$

0,294 = fondo out annuo (60 nGy h^{-1})

Da queste funzioni è possibile generare delle famiglie di curve isodose che indicano i contributi di ^{226}Ra, ^{232}Th e ^{40}K nei materiali da costruzione alla dose indoor in funzione di ρ e d e che possono essere utili per disegnare *a priori* materiali che soddisfino requisiti "radiologici".

Curva isodose per il contributo da Ra-226



Esempio con obiettivo di dose annuale = 1 mSv:

Ipotesi: il materiale contiene prevalentemente ^{226}Ra (calcest. + cemento+fly ash)

ρ = 2000 kg m^{-3}

d = 0,2 m (previsto)

concentrazione max

^{226}Ra = 250 Bq kg^{-1}.

Oppure:

ρ = 900 kg m^{-3}

d= 0,24 m

concentrazione max

^{226}Ra = 330 Bq kg^{-1}

Ovviamente se ne può fare l'uso inverso: noti i Bq kg^{-1} si pone un limite a ρ e d.

Grazie per l'attenzione!