

Analisi della risposta dei monitori radon in continuo a gradienti di concentrazione e miglioramento della risposta in frequenza

Chiaberto E.M.(), Panero L.M.(*°), Magnoni M.(*), Serena
E. (*), Tripodi R.(*),
Prandstatter A.(*), Faure Ragani M.(#)*

(*)ARPA Piemonte – Dipartimento Radiazioni


(°)Università degli Studi dell'Insubria

(#)ARPA Valle d'Aosta

**ARPA - Quinto Convegno Nazionale Agenti Fisici:
Il controllo degli agenti fisici: ambiente, salute e qualità della vita.**




Novara, 6-8 Giugno 2012



Gli strumenti per la misura in continuo del radon non sempre forniscono un dato corretto, specialmente a fronte di una rapida variazione della concentrazione


L'efficienza del rivelatore è generalmente valutata, in sede di taratura, in condizioni di equilibrio secolare tra il radon e i suoi prodotti di decadimento a vita breve

Nei casi reali di misura, però, non si ha la certezza del verificarsi di tale ipotesi di equilibrio



Una risposta fedele alla realtà in termini di risposta al gradino e in frequenza è importante:


- Calcolo emanazione materiali (nuova Direttiva europea)
- Flusso radon dal suolo
- Stima tassi di ingresso e uscita del radon da edifici (*entry rate*)
- Azioni di bonifica
- Correlazione con eventi geologici?
- ...



Sono stati esaminati alcuni tra i più comuni monitori in continuo per la misura del radon

- AlphaGUARD - Camera a ionizzazione
- MR1 - Scintillazione celle di Lucas
- RADIM - Silicio capacitato da campo elettrico

Utilizzati in modalità diffusione
e con tempo di
campionamento orario

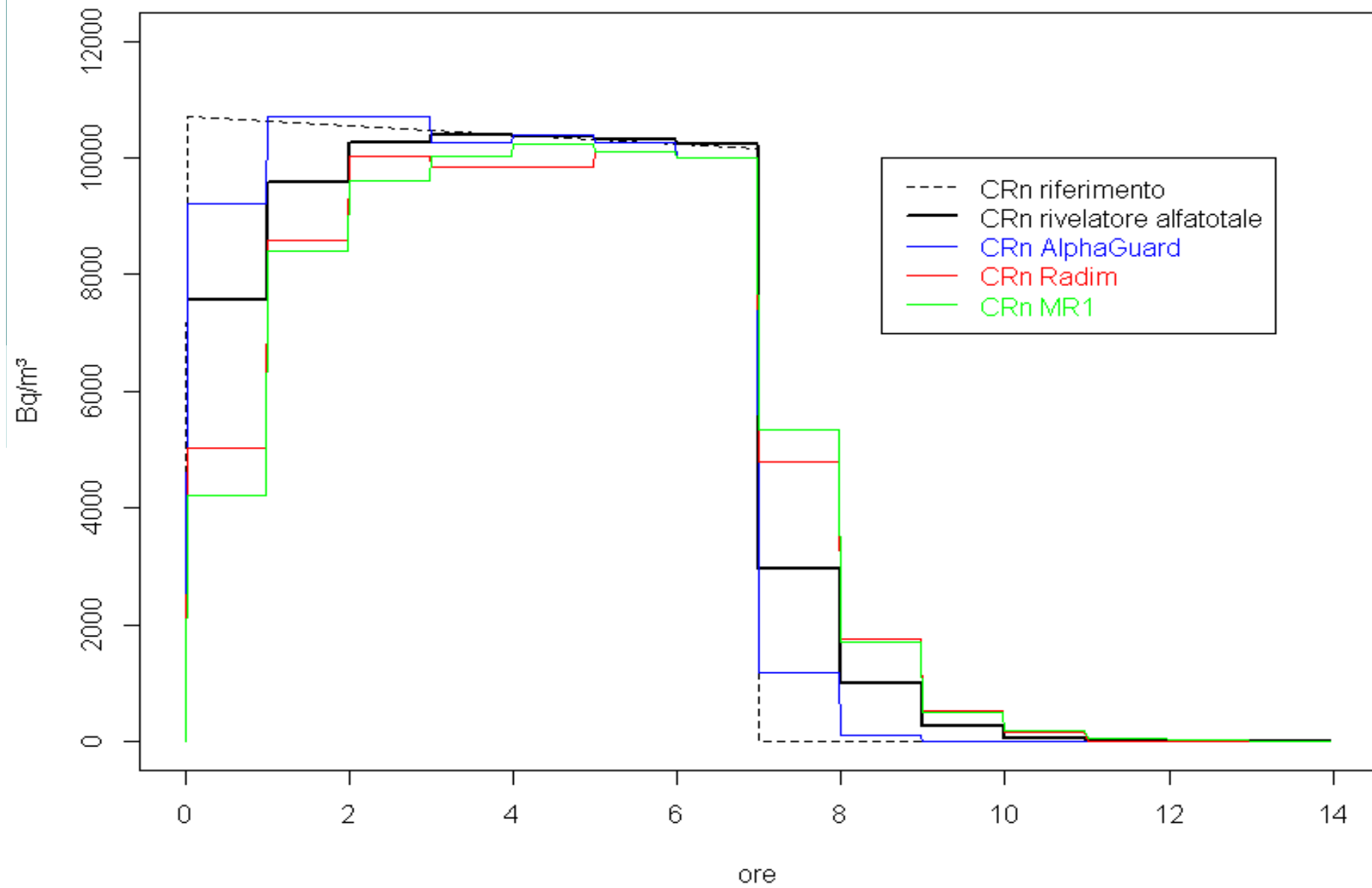


Esposizione in camera radon ad una forma d'onda di concentrazione radon rettangolare

Confronto tra risposte sperimentali degli strumenti e crescita teorica degli alfa emettitori che seguono il noto sistema che descrive la formazione dell'equilibrio secolare tra radon e figli

$$\left\{ \begin{array}{l} dN_{Rn222} / dt + \lambda_{Rn222} N_{Rn222} = 0 \\ dN_{Po218} / dt + \lambda_{Po218} N_{Po218} = \lambda_{Rn222} N_{Rn222} \\ dN_{Pb214} / dt + \lambda_{Pb214} N_{Pb214} = \lambda_{Po218} N_{Po218} \\ dN_{Bi214} / dt + \lambda_{Bi214} N_{Bi214} = \lambda_{Pb214} N_{Pb214} \\ dN_{Po214} / dt + \lambda_{Po214} N_{Po214} = \lambda_{Bi214} N_{Bi214} \end{array} \right.$$

Risposta di monitori radon a fronti di salita e di discesa di radon



Risposta degli strumenti:
 costante di tempo τ per fronte di salita e discesa
 tempo di salita e discesa (10% ÷ 90% del gradino)

	Rivelatore Ideale alfatotale		Alphaguard		Radim		MR1	
	salita	discesa	salita	discesa	salita	discesa	salita	discesa
$\tau_{h^{-1}}$	0,737	0,733	0,47	0,47	1,30	1,12	1,65	1,24
$t_{\text{salita/discesa}}_{2,2\tau}$	1,6	1,6	1,0	1,0	2,9	2,5	3,6	2,7

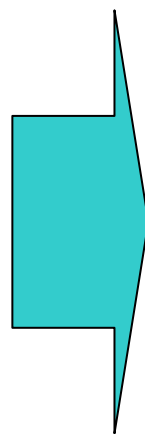
Numeri molto diversi tra loro




A determinare le caratteristiche della risposta di uno strumento intervengono

- diffusione
- formazione e decadimento del ^{218}Po e ^{214}Po internamente al rivelatore
- diverse efficienze per le alfa del ^{222}Rn , ^{218}Po e ^{214}Po

Non sempre i dati tecnici sono disponibili specialmente su diffusione e efficienze



Tale problema si supera calcolando efficienze sperimentali per la 1^a 2^a e 3^a ora



l'efficienza teorica e sperimentale di risposta ad un gradino durante le prime 3 ore

teorica

$$\varepsilon_s_i = \frac{\frac{1}{3} \int_{i-1}^i [\varepsilon_{Po214} {}^{214}Po(t) + \varepsilon_{Po218} {}^{218}Po(t) + \varepsilon_{Rn222} {}^{222}Rn(t)] dt}{\int_{i-1}^i {}^{222}Rn(t) dt} \quad i = 1, 2, 3$$

sperimentale

$$\varepsilon_s_i = \frac{\langle Rn_misurato \rangle_i}{\langle Rn_riferimento \rangle_i} \quad i = 1, 2, 3$$



Nel caso del fronte di discesa

teorica

$$\varepsilon d_i = \frac{\frac{1}{3} \int_{i-1}^i [\varepsilon_{Po214} {}^{214}Po(t) + \varepsilon_{Po218} {}^{218}Po(t) + \varepsilon_{Rn222} {}^{222}Rn(t)] dt}{Rn(0^-)} \quad i = 1, 2, 3$$

sperimentale

$$\varepsilon d_i = \frac{\langle Rn_misurato \rangle_i}{Rn(0^-)} \quad i = 1, 2, 3$$

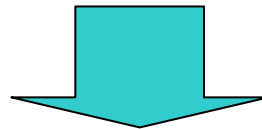
Efficienze calcolate

	Rivelatore ideale alfatotale		Alphaguard		Radim		MR1	
i	ϵS_i	ϵd_i	ϵS_i	ϵd_i	ϵS_i	ϵd_i	ϵS_i	ϵd_i
1	0,6995	0,2904	0,85	0,12	0,48	0,48	0,39	0,53
2	0,8910	0,0975	0,99	0,01	0,82	0,18	0,79	0,17
3	0,9629	0,0256	1,00	0,00	0,97	0,05	0,91	0,05

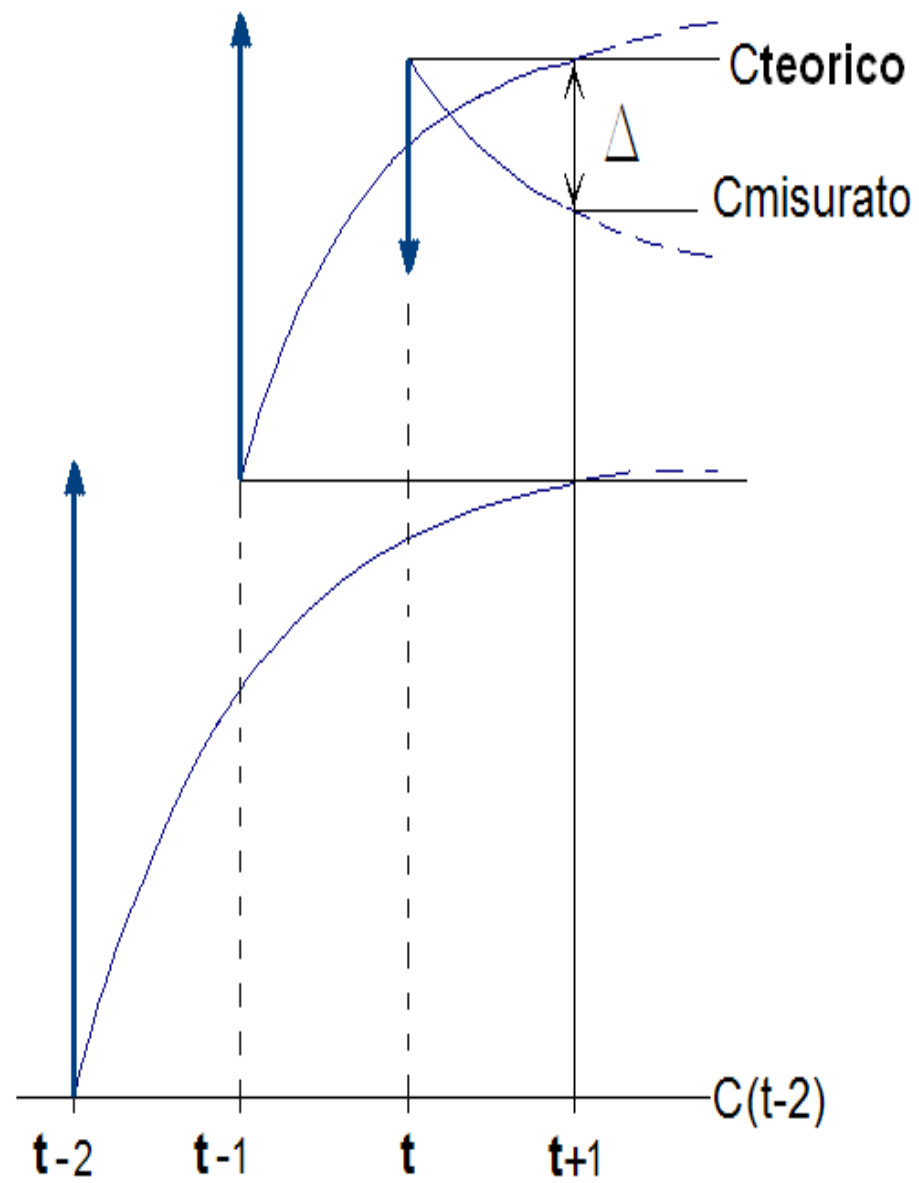
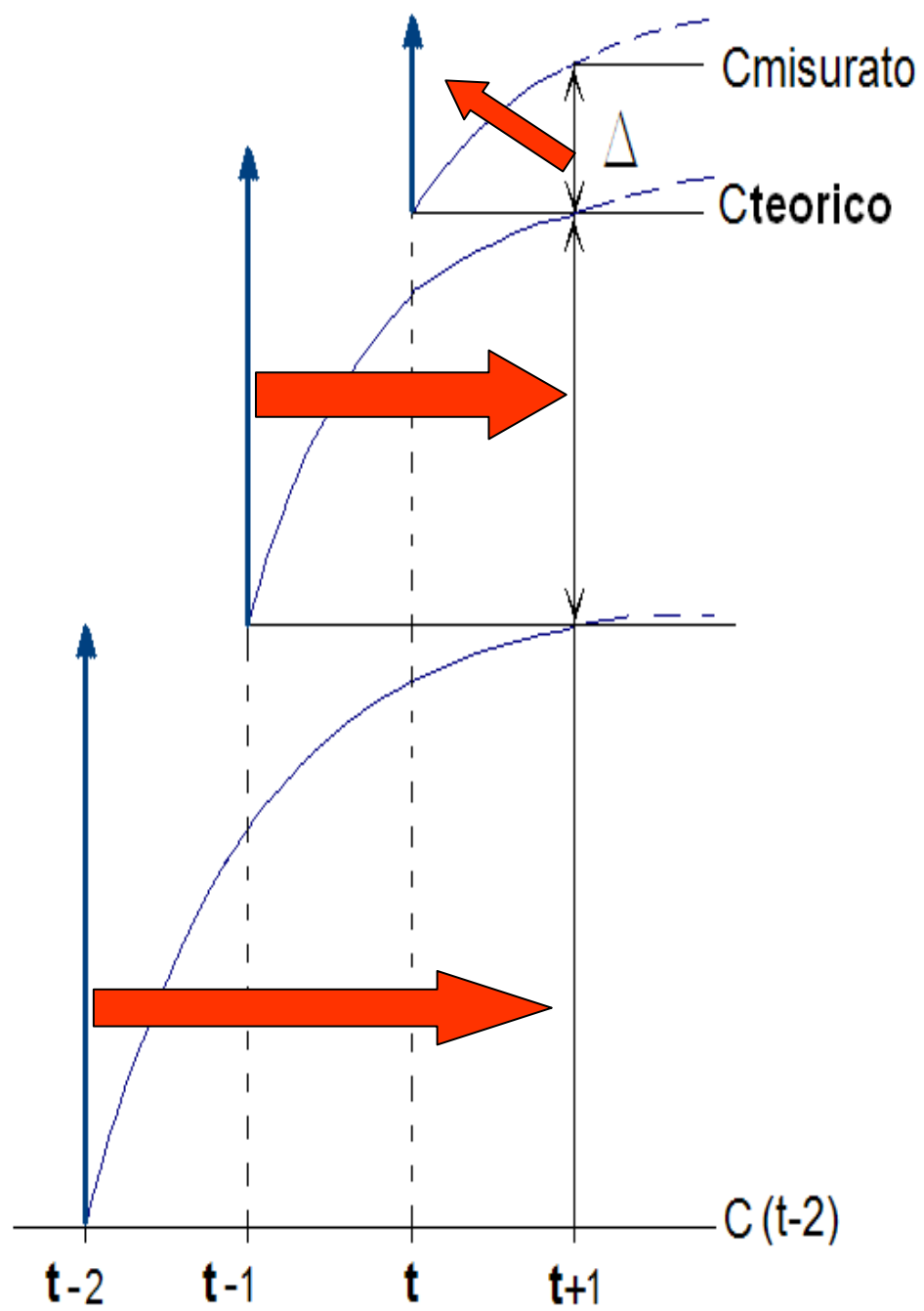


La risposta di un monitor può migliorare grazie a queste efficienze

ci si basa sul fatto che la concentrazione al tempo t dipende non solo dal radon presente nel rivelatore, ma anche dai quantitativi di radon che sono entrati o usciti nei precedenti 3 periodi di campionamento orario da cui dipendono le concentrazioni di ^{218}Po e ^{214}Po



Si introduce l'ipotesi della stazionarietà su 3 ore delle variazioni di radon

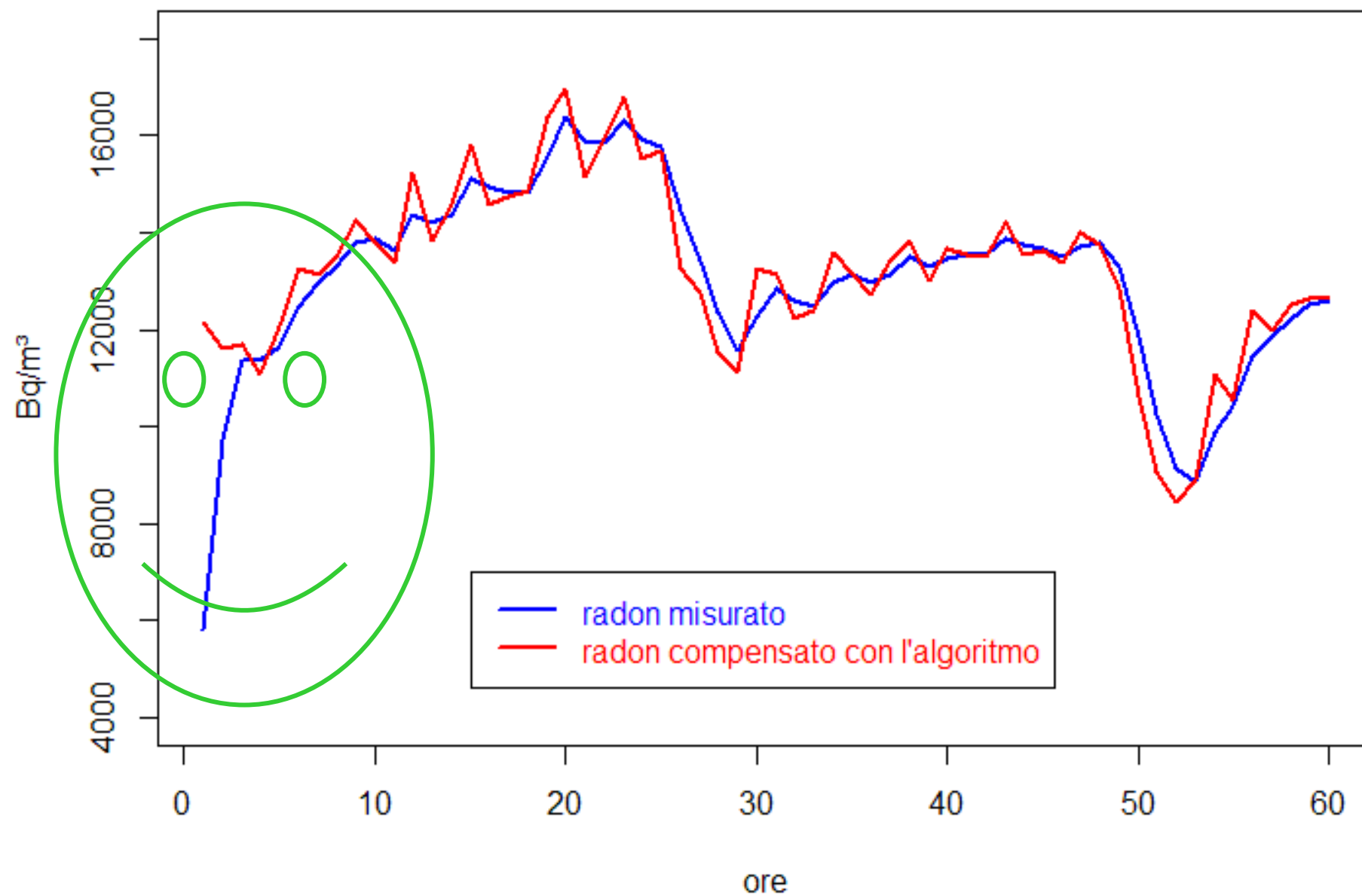




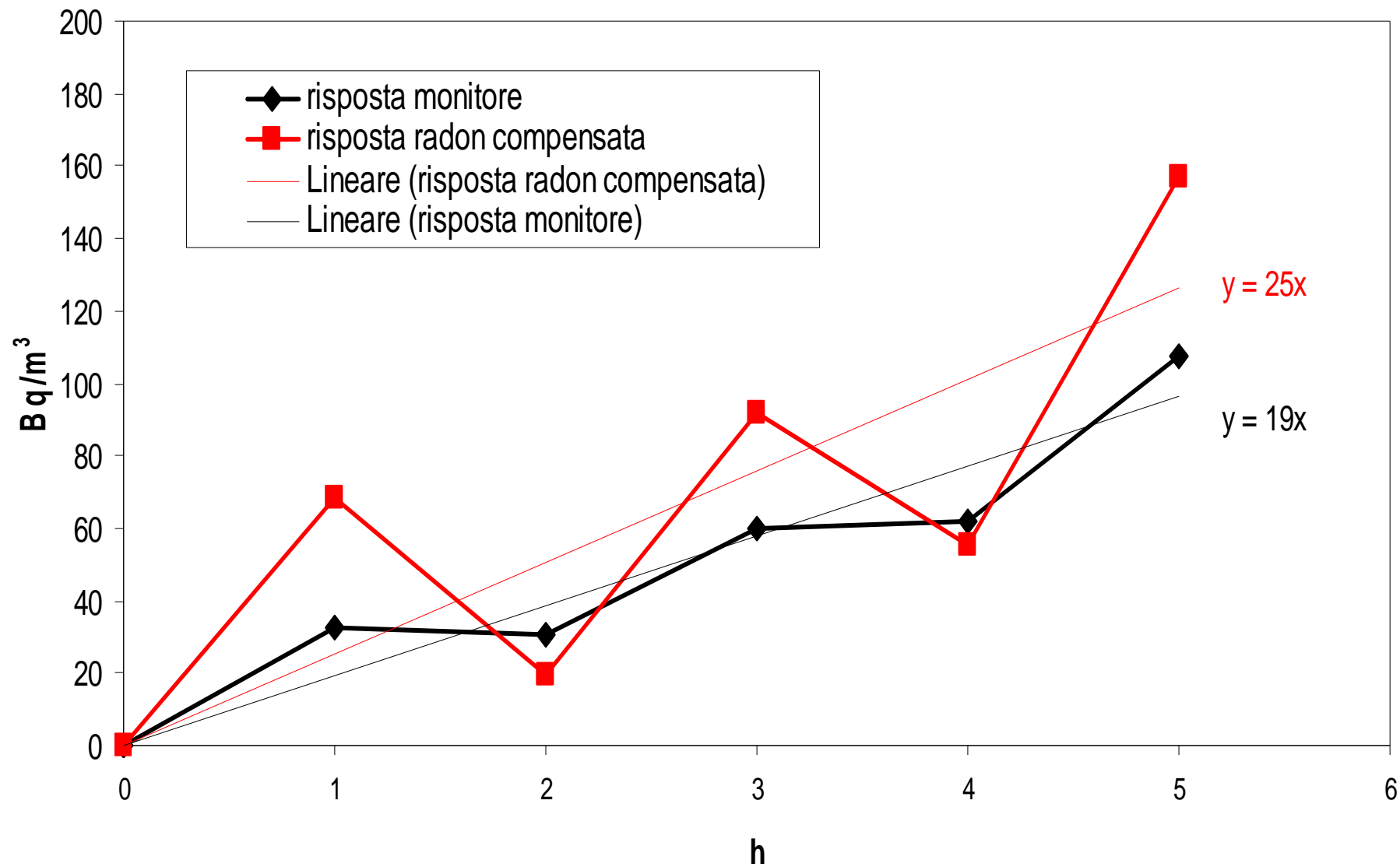
Nasce un algoritmo di tipo compensativo

La risposta dei monitori
“compensata” segue più
reattivamente le variazioni di radon:
l’algoritmo anticipa in modo
“teorico” la formazione dei figli ...

Misura di concentrazione in edifici



Applichiamo al calcolo dell'emanazione



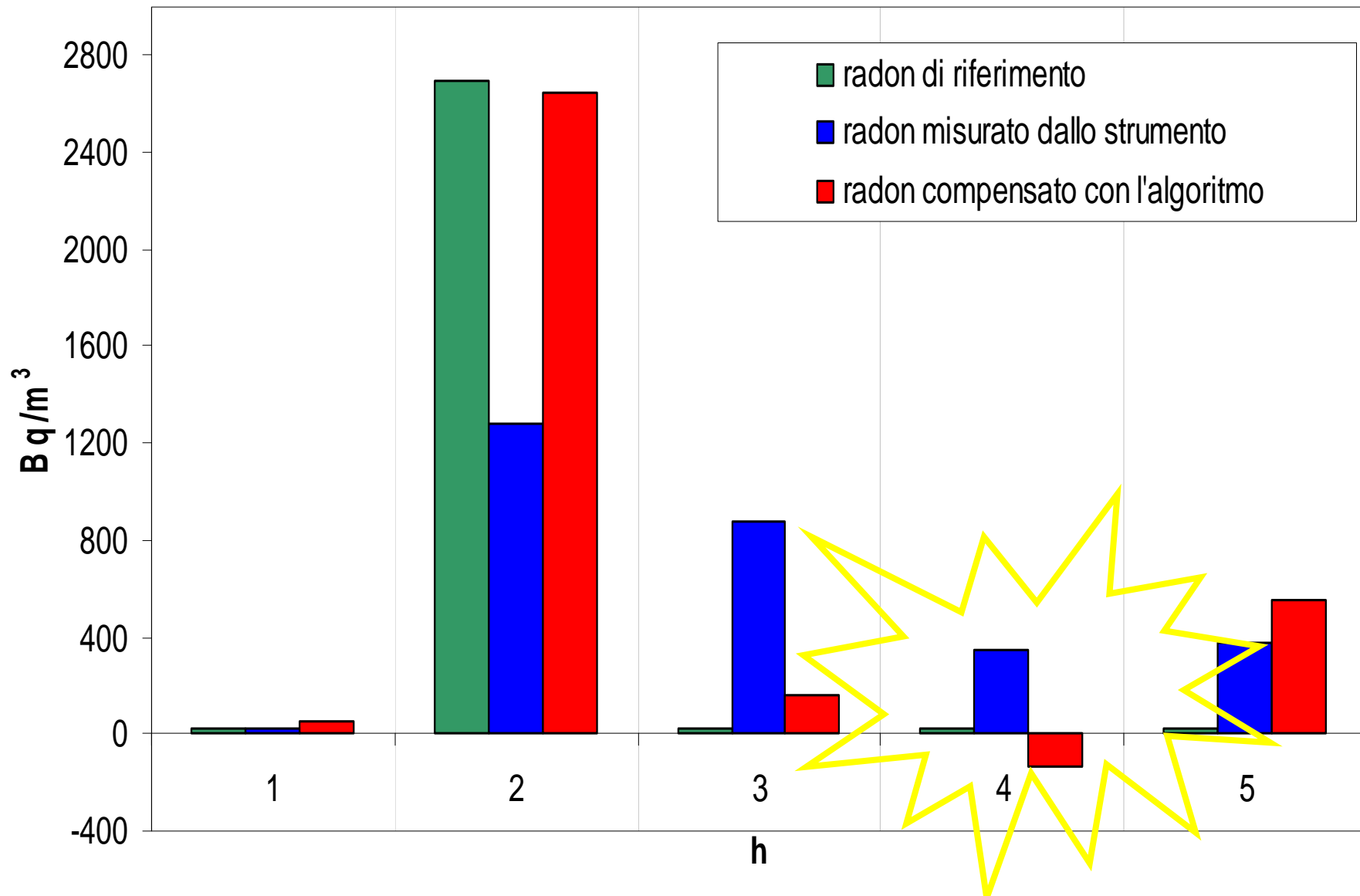
0,526 anziché 0,399 $\text{mBq}/(\text{m}^2\text{s})$



criticità

- L'ipotesi di stazionarietà delle variazioni radon su intervalli di tre ore può venire meno → in tali casi si determinano delle sovra compensazioni
- L'algoritmo per ora non distingue le fluttuazioni statistiche da quelle reali e perciò si ha un effetto di amplificazione delle incertezze


Esempio di sovra compensazione: risposta ad un impulso orario di un'ora





Alternative nei casi di non applicabilità

- Usare lo strumento in modalità ricircolo (se possibile)
- Vedere il monitore come un filtro passa basso sulle frequenze di fluttuazione del radon



L'andamento nel tempo del radon si può descrivere
come una sommatoria di infinite componenti
armoniche (trasformata di Fourier)

La risposta del sistema
monitore è dominata da
una specifica frequenza di
taglio

$$F_t = 1/(2\pi\tau)$$

I τ si ricavano fittando
la risposta al gradino
dello strumento con la
funzione esponenziale

$$c(t) = c_{\infty} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$



La funzione di trasferimento

$$H(j\omega) = \frac{c_{out}}{c_{in}} = \frac{1}{1 + j\omega\tau}$$

Dal modulo e fase di H si può applicare una correzione in ampiezza e fase su ogni armonica e ricomporre l'andamento del radon in ingresso C_{in}

Modulo e fase:

$$|H| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega\tau)^2}} \quad \varphi_H = -\arctg(\omega\tau)$$

Grazie per l'attenzione