



Università degli Studi di Torino  
Corso di Laurea in Fisica  
Tesi di Laurea Triennale  
Anno Accademico 2019/2020



# Taratura in camera radon di rivelatori ad elettretti



Tesi elaborata presso: ARPA Valle d'Aosta, laboratorio radioattività ambientale

Candidato: Elisa Visentin

Relatore: Silvia Ferrarese

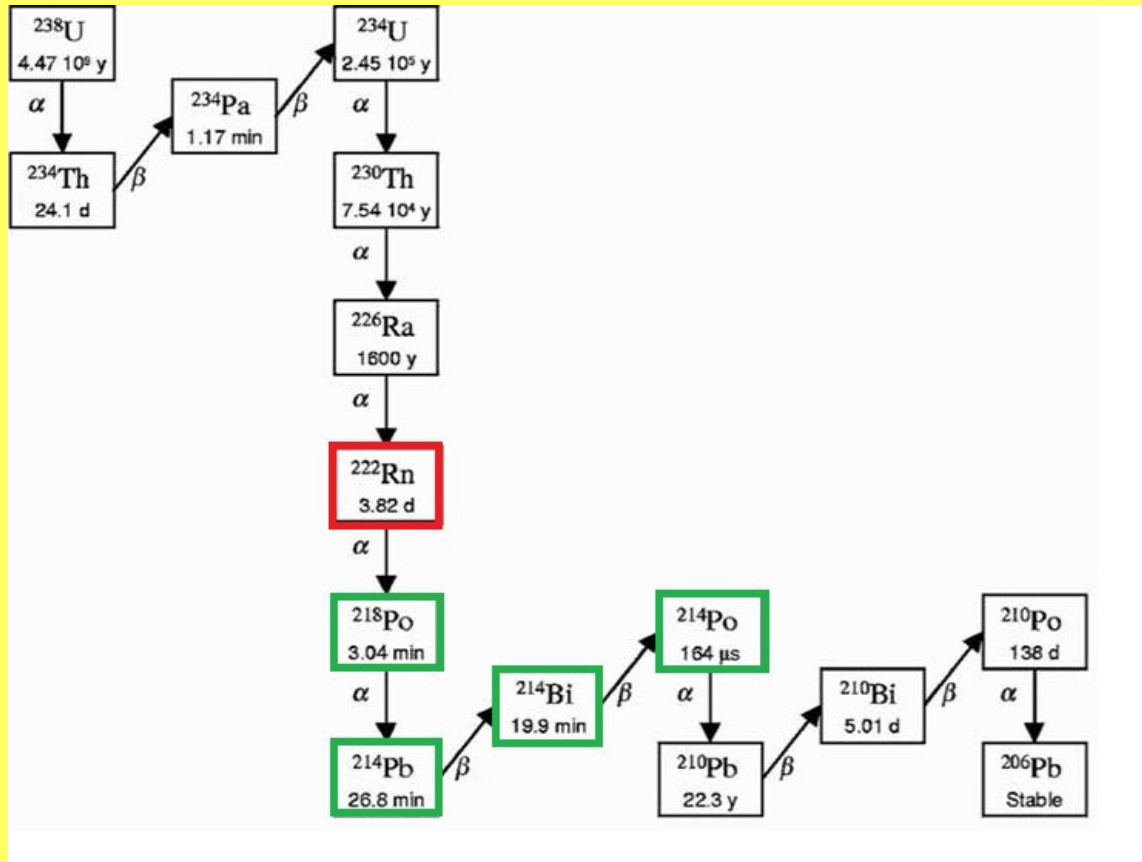
Correlatore: Filippo Berlier

# Indice

- Introduzione a radon e strumenti di misura
- E-PERM
- Scopi
- Metodo
- Esposizioni: analisi AlphaGUARD  
analisi E-PERM: ritaratura; influenze
- Esperimento sul campo
- Conclusioni

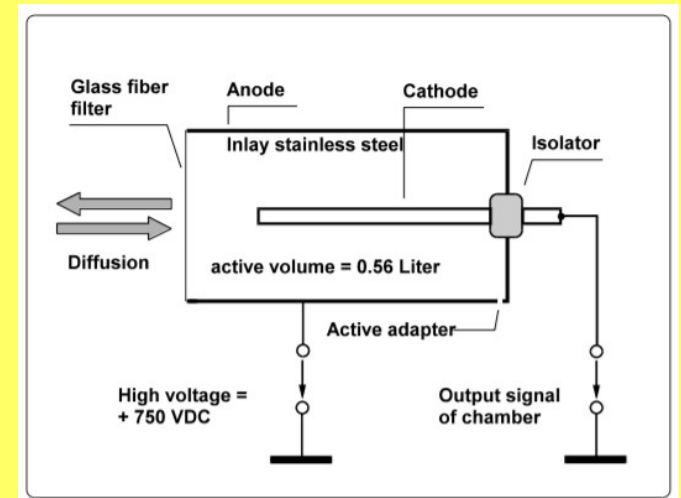
## Radon

- Gas nobile, inodore, incolore,  $Z=86$
- $^{222}\text{Rn}$  ( $t_{1/2} = 3,82 \text{ d}$ , uranio-238),  $^{220}\text{Rn}$  ( $t_{1/2} = 55,6 \text{ s}$ , toron, torio-232),  $^{219}\text{Rn}$  ( $t_{1/2} = 3,9 \text{ s}$ , actinon, uranio-235)
- Decadimento alfa
- Emesso da rocce, acqua, materiali da costruzione
- Figli a vita breve (solidi; polonio-218, piombo-214, bismuto-214, polonio-214): ioni che si legano a particolato atmosferico e entrano nei polmoni → rischio per salute:  
CONCENTRAZIONE → misura concentrazione radon ( $\text{Bq/m}^3 = \text{decadimenti}/(\text{s} \cdot \text{m}^3)$ )



# AlphaGUARD

- Strumento attivo (risultato immediato, contemporaneo a interazione)
- Camera a ionizzazione cilindrica con filtro per figli: ingresso aria+radon → alfa → ionizzazione → raccolta su catodo → segnale
- Diffusion mode
- Display: concentrazione (10 min), T, p, RH
- PC (DataExpert): andamento concentrazione (10/60 min)
- Tarato presso ENEA-INMRI (Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente-Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti): conforme a standard metrologici → taratura E-PERM



## E-PERM (electret passive environmental radon monitor)

- Strumento passivo (risultato successivo a interazione, dopo lettura in laboratorio)
- Camera + elettrete (4 combinazioni → scelta: concentrazione di radon e tempo di misura), filtro per figli
- Elettrete: disco di teflon con carica positiva semipermanente
- Ingresso aria+radon → alfa → ionizzazione → raccolta su elettrete → parziale scaricamento
- Concentrazione media ↔ perdita voltaggio (voltmetro:  $\sigma_v = 2 \text{ V}$ )
- Sensibili a gamma → misura fondo gamma



ELETTRETI LONG-TERM



ELETTRETI SHORT-TERM



VOLTMETRO

- Sigle: - LLT = camera long con elettrete long-term per tempi lunghi e/o alte concentrazioni
  - LST = camera long con elettrete short-term per misure su tempi e/o concentrazioni intermedi
  - SLT = camera short con elettrete long-term per misure su tempi e/o concentrazioni intermedi
  - SST = camera short con elettrete short-term per tempi brevi e/o basse concentrazioni



CAMERA L



CAMERA S CHIUSA



CAMERE S APERTE

# E-PERM

$$CF = \left( A + \frac{B \cdot (V_i + V_f)}{2} \right) \cdot 1/37 \quad [V \cdot m^3 / (Bq \cdot d)] \text{ fattore di calibrazione}$$

$$RnC = \left( \frac{V_i - V_f}{CF \cdot D} - BG \right) \cdot H \quad [Bq/m^3] \text{ concentrazione di radon, } BG = C \cdot R_\gamma \quad [Bq/m^3]$$

$V_i$  e  $V_f$  voltaggio iniziale e finale dell'elettrodo in V

D periodo di esposizione in giorni

BG concentrazione radon equivalente dovuta al fondo gamma ambientale

H fattore correttivo per altitudine

$R_\gamma$  rateo di fondo gamma in nGy/h

1 gray = 1 joule/1 chilogrammo  
(dose assorbita)

$$\sigma_{CF} = CF \cdot 0,05$$

$$\sigma_{RnC} = H \cdot \sqrt{\left( \frac{1}{CF \cdot D} \right)^2 \cdot \sigma_{(V_i - V_f)}^2 + \left( \frac{V_i - V_f}{CF^2 \cdot D} \right)^2 \cdot \sigma_{CF}^2 + C^2 \cdot \sigma_{(R_\gamma)}^2}$$

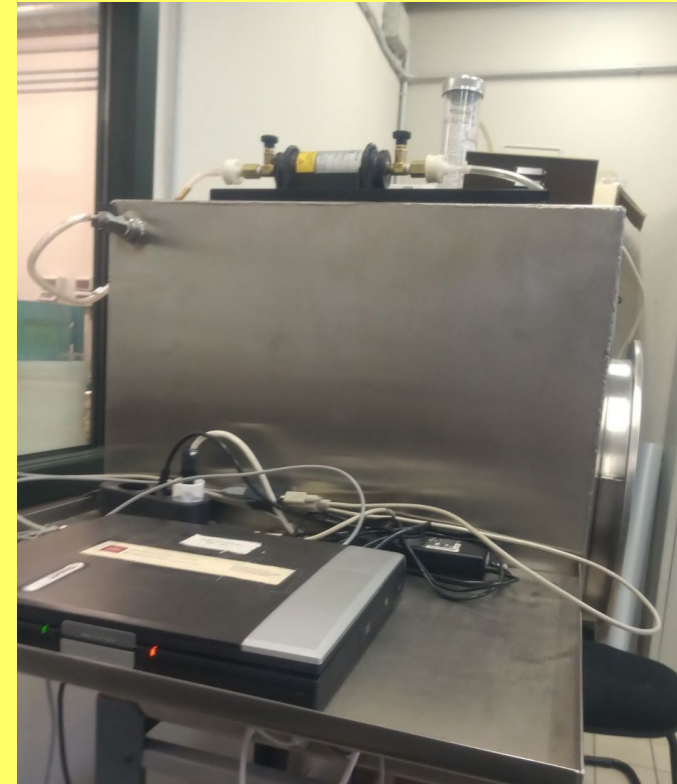
A, B, C, H parametri  
forniti dal costruttore

H dipendente da  
altitudine (550 m s.l.m.)

Formule per incertezze date da costruttore

## Scopi

- Stage e tesi: misurazione del radon ambientale mediante E-PERM
- Attività svolta: uso E-PERM e AlphaGUARD, allestimento della camera radon per il confronto fra i due strumenti → determinazione dei coefficienti di taratura per la misura della concentrazione di radon tramite E-PERM



## Metodo

- Esposizione contemporanea al radon di AlphaGUARD e E-PERM → confronto fra la media sul tempo della concentrazione data dall'AlphaGUARD e la media sugli E-PERM della concentrazione da loro misurata → fattori di taratura da applicare alla formula per CF oppure a quella per RnC per far convergere i due risultati



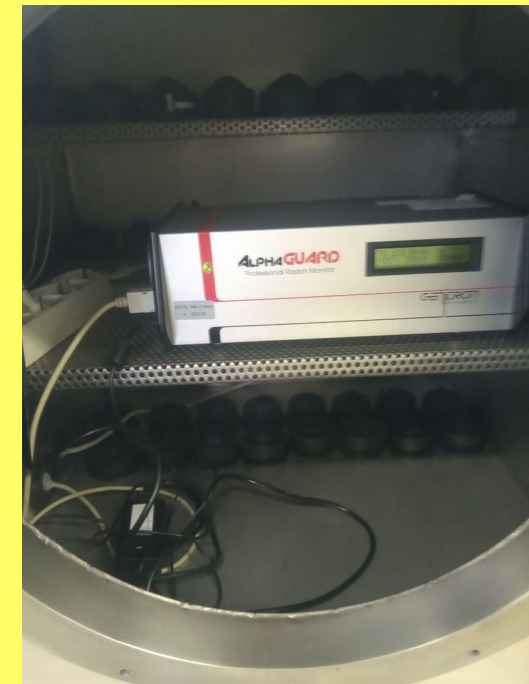
# Prima esposizione: 17/20 dicembre 2019



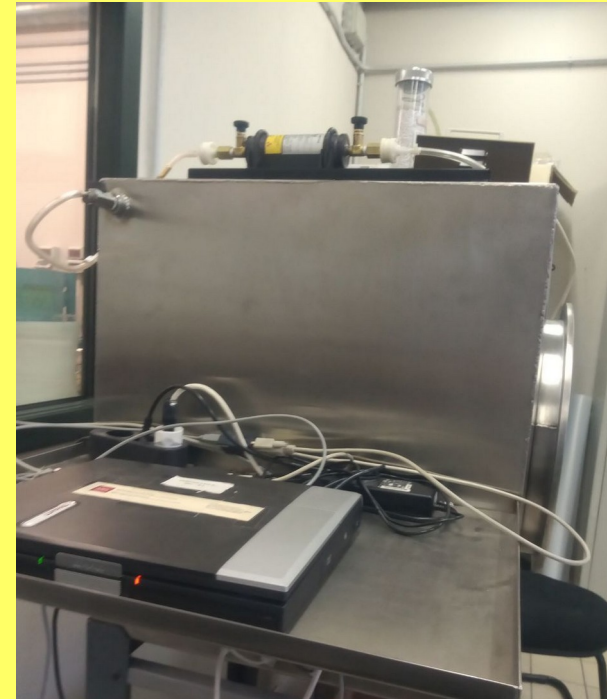
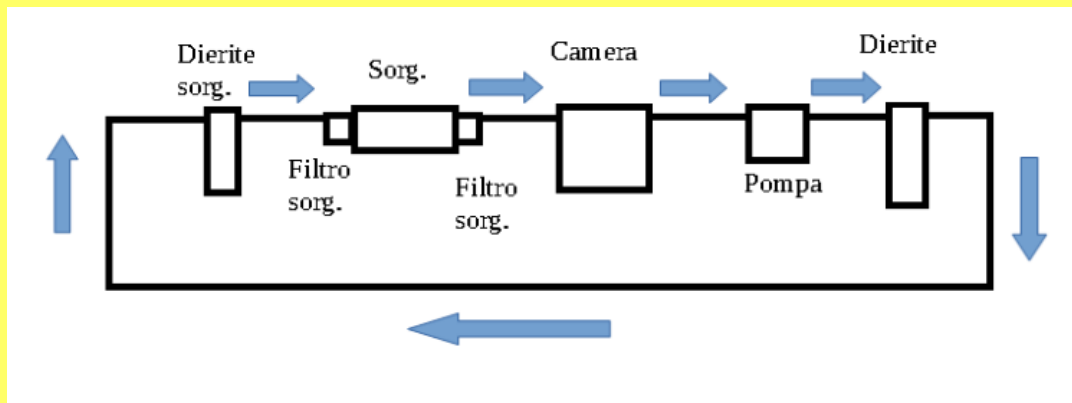
Sorgente: cilindro con radio-226

## Caratteristiche camera radon e sorgente

camera (dimensioni esterne)	64,0 cm (largh.)x63,3 cm (prof.)x70,5 cm (alt.) circa
spessore pareti	0,5 cm circa
volume totale	0,273 m <sup>3</sup> circa
radio in sorgente al 20/02/1992	3552 Bq
radio al 27 <sup>a</sup> anno (NDecay)	3511 Bq
sorgente svuotata	12 giorni prima
attività Rn (NDecay)	3112 Bq
concentrazione Rn in camera	11409 Bq/m <sup>3</sup> circa

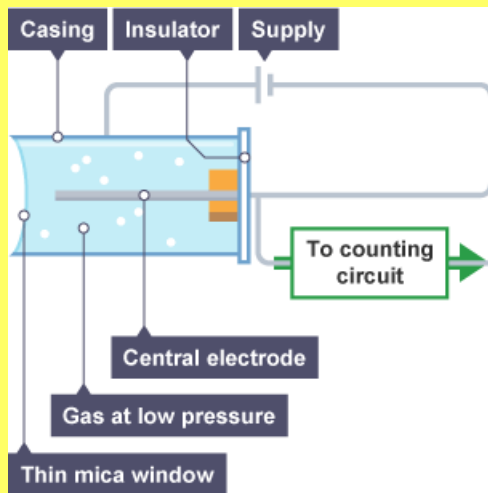


- 40 elettreti (10 a  $V_i \sim 400$  V, 10 a  $V_i \sim 500$  V, 10 a  $V_i \sim 600$  V e 10 a  $V_i \sim 700$  V) in configurazione LLT in camera
- Allestimento apparato (dierite per togliere umidità dall'aria, filtri per bloccare i figli del radon):

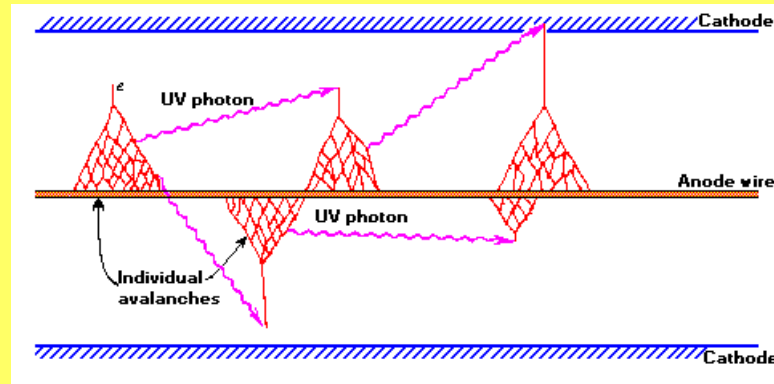


- Frequenza AlphaGUARD: 10 minuti ( $\sigma_t = 1$  s)
- Ventola sempre accesa (uniforma aria)
- Misura fondo gamma (gamma-scout)
  - $R_\gamma = (138 \pm 7)$  nGy/h (incertezza: 5%)





# Gamma-scout



- Rivelatore Geiger-Müller, per misurare solo gamma schermato da una piastrina di alluminio da alfa e beta
- Rivelatore Geiger-Müller: tubo contenente gas a bassa pressione con alta differenza di potenziale fra parete esterna (catodo) e filo centrale (anodo):  
 radiazione → ionizzazione gas → accelerazione elettrone → ionizzazioni “a valanga”;  
 valanga: diseccitazione molecolare → fotoni visibile/UV → altre valanghe;  
 raccolta elettroni su anodo → segnale

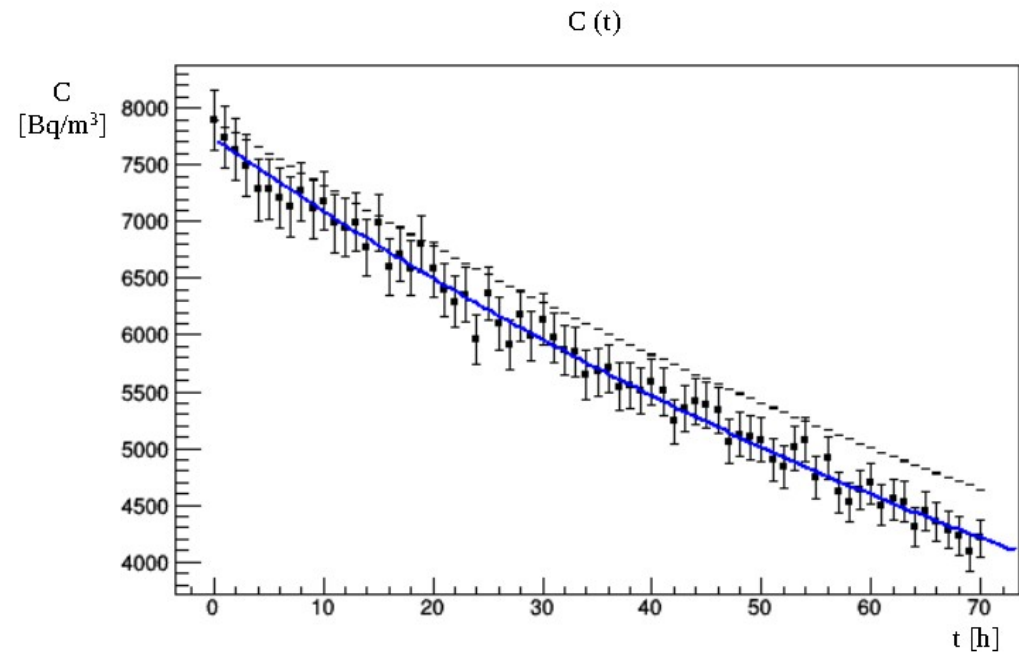
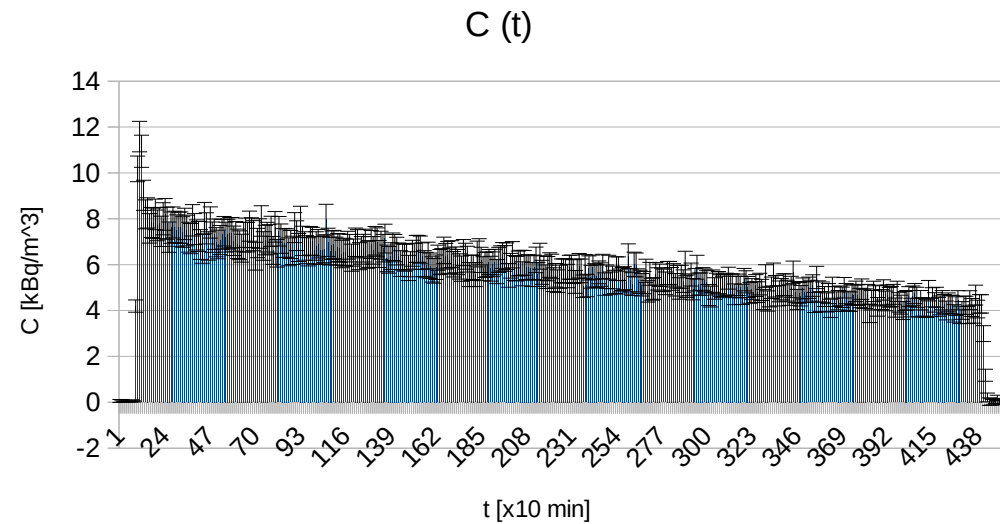
## Disposizione degli elettretti nei tre livelli della camera e schema dei tempi



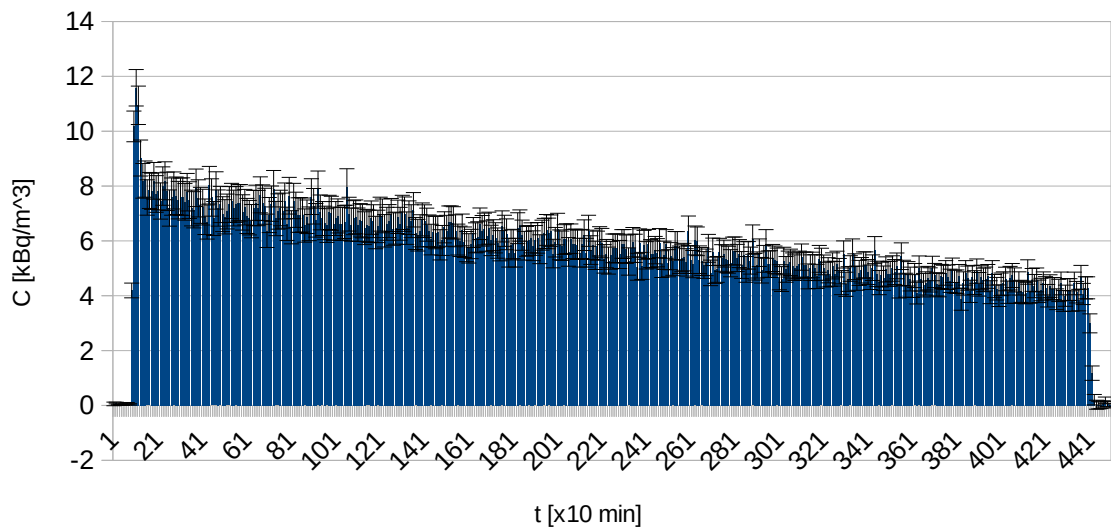
Inizio misure AlphaGUARD (ogni 10 minuti)	17/12/2019_10.00
Misura V elettreti, inserimento in camere e nella camera	17/12/2019_10.43-11.02
Chiusura camera	17/12/2019_11.02-11.04
Accensione pompa e apertura sorgente	17/12/2019_11.10
Spegnimento pompa e chiusura sorgente (camera isolata)	17/12/2019_12.10
Apertura camera	20/12/2019_11.10
Rilettura elettreti	20/12/2019_11.15-11.40
Fine misure AlphaGUARD	20/12/2019_12.50

# Analisi AlphaGUARD

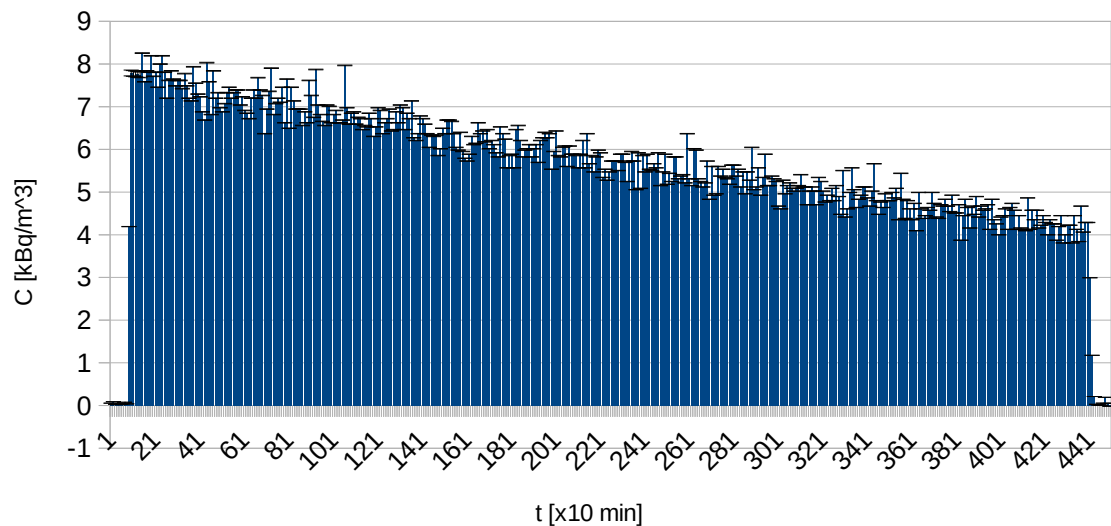
- Dati ogni 10 min: fluttuazioni → medie orarie → fit legge decadimento (no prima ora):  $\lambda > \lambda$  teorico ( $0,0076 \text{ h}^{-1}$ )
- Picco iniziale: dovuto a tempo di risposta di strumento a un'immissione istantanea di radon → sostituzione con fit
- Concentrazione iniziale AlphaGUARD (fit) < concentrazione attesa: perdite
- Concentrazione media cui sottoposti E-PERM → errore su concentrazione media: media errori percentuali su misure ogni 10 minuti → 9%



C (t)

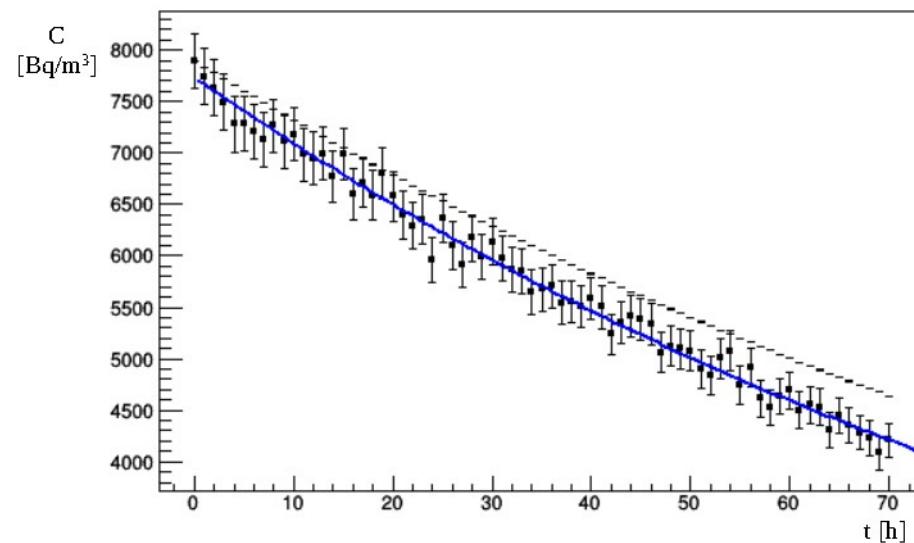


C (t) con sostituito fit



## Fit esponenziale

C (t)



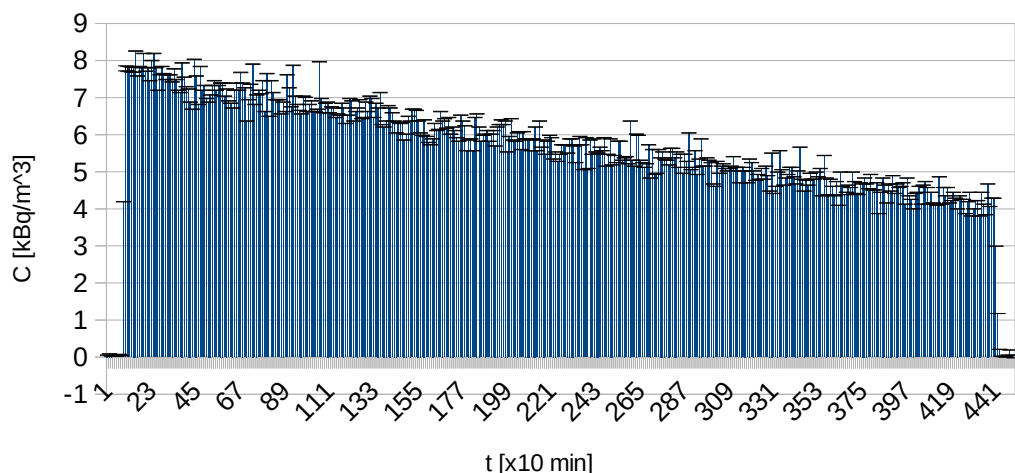
$\lambda$	$(0,00868 \pm 0,00022) \text{ hr}^{-1}$
$C_0$	$(7734 \pm 67) \text{ Bq/m}^3$
<b>test <math>\chi^2</math></b>	
$H_0$	funzione interpola bene dati
$\chi^2$	18,51
DoF	69
p-value	1
conclusioni	Accetto $H_0$ a liv. sign. 5%

C media AlphaGUARD =  $(5,82 \pm 0,52) \text{ kBq/m}^3$

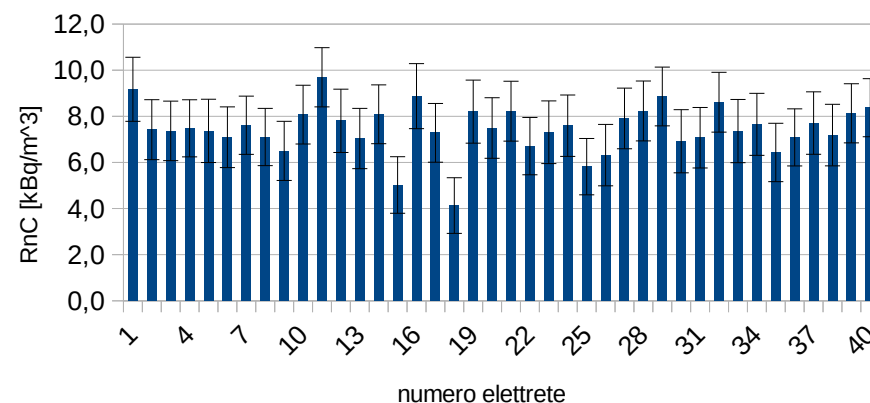
# Analisi E-PERM

- Misura  $V_f$  (apertura)  $\rightarrow$  RnC  $\rightarrow$  media su E-PERM
- RnC media E-PERM  $\neq$  C media AlphaGUARD  $\rightarrow$  coefficienti di ritardatura per CF/RnC (scartati 3 outliers: due di serie LF!)

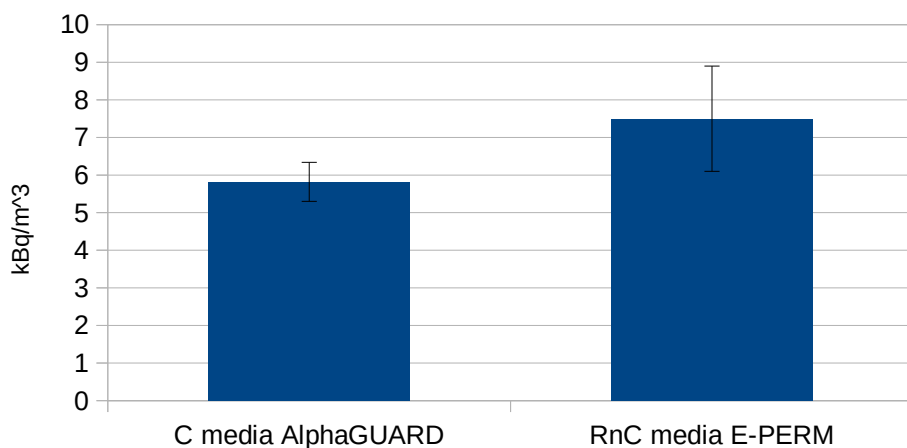
C (t) con sostituito fit



RnC E-PERM



confronto AlphaGUARD/E-PERM



$$\text{RnC media E-PERM} = (7,5 \pm 1,4) \text{ kBq/m}^3$$

$$\text{C media AlphaGUARD} = (5,82 \pm 0,52) \text{ kBq/m}^3$$

# Ritaratura

## Ritaratura su RnC:

$$RnC = \left( \frac{V_i - V_f}{CF * D} - BG \right) * H \quad [\text{Bq/m}^3]$$

Coefficiente prima esp.:

$$K_{RnC1} = 0,78$$

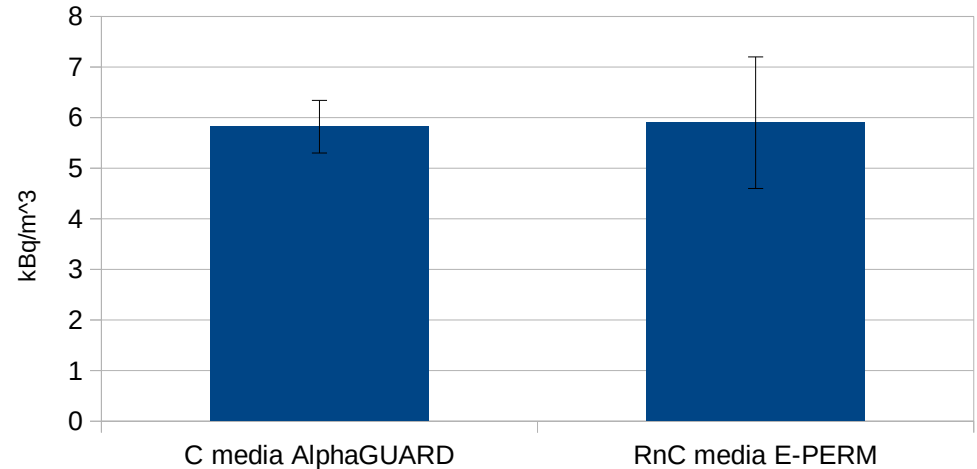
## Ritaratura su CF:

$$CF = \left( A + \frac{B * (V_i + V_f)}{2} \right) * 1/37 \quad [\text{V} * \text{m}^3 / (\text{Bq} * \text{d})]$$

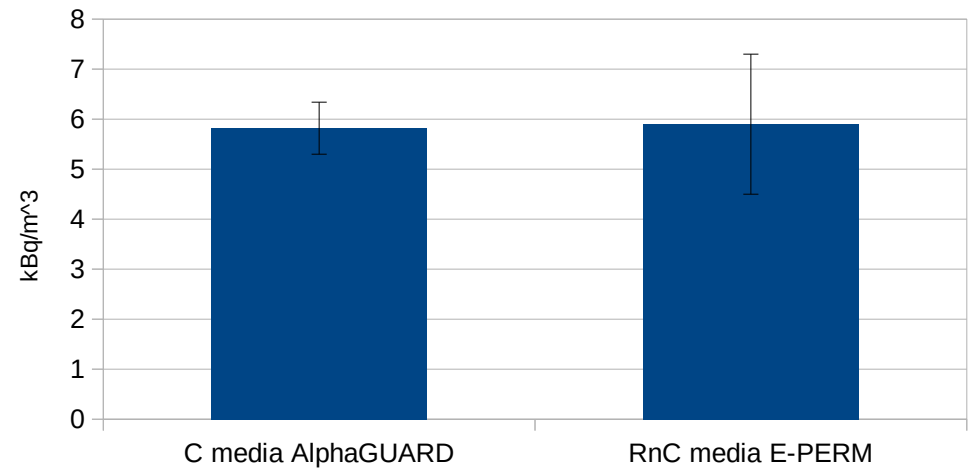
Coefficiente prima esp:

$$K_{CF1} = 1,27$$

confronto AlphaGUARD/E-PERM (rit. RnC)



confronto AlphaGUARD/E-PERM (rit. CF)



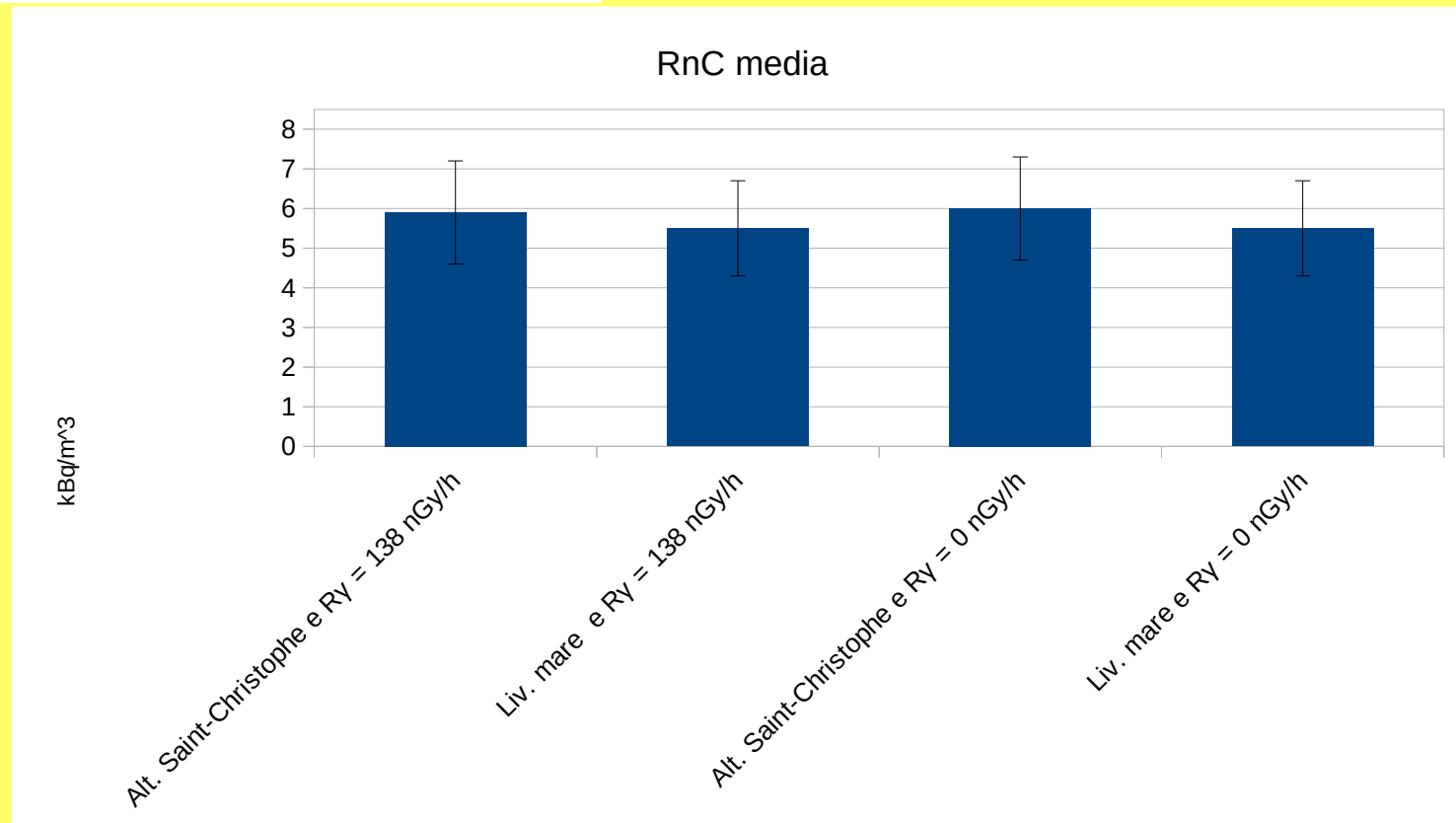


# Influenze

- Influenza di altitudine e fondo gamma su valori RnC (messi entrambi a 0 e usati valori RnC da ritaratura): H influisce, fondo gamma quasi nulla

$$RnC = \left( \frac{V_i - V_f}{CF * D} - BG \right) * H \quad [Bq/m^3]$$

$$BG = C * R\gamma \quad [Bq/m^3]$$



- Analisi qualitativa andamento di  $(V_i - V_f)$  e RnC con il voltaggio iniziale e con la posizione nella camera (uniformità della camera): non evidente dipendenza

# Esperimento sul campo



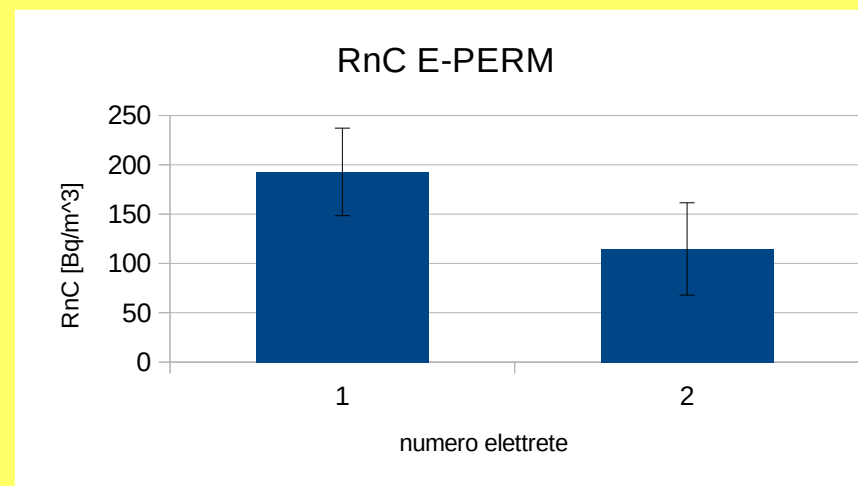
- Due SLT in locale sotterraneo
- Scaffale a circa altezza uomo a una ventina di cm da muro

Letture elettreti	23/12/2019_10.20-10.40
Inserimento in camera	23/12/2019_15.30
Aperti e messi su scaffale	23/12/2019_16.37
Chiusi e tolti da scaffale	06/01/2020_16.37
Rilettura elettreti	07/01/2020_09.52

Schema dei tempi

Fondo gamma: prima esposizione

RnC media E-PERM =  $(154 \pm 55)$  Bq/m<sup>3</sup>

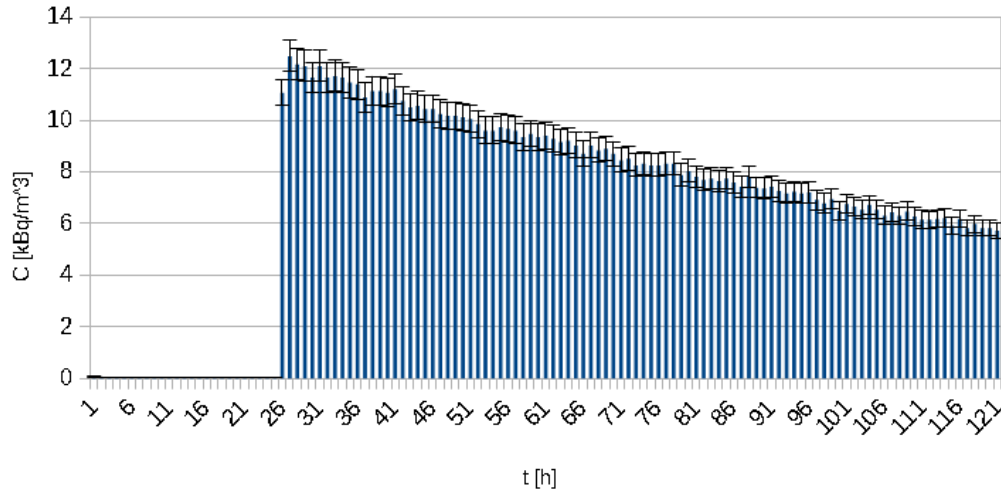


# Seconda esposizione: 9/13 gennaio 2020

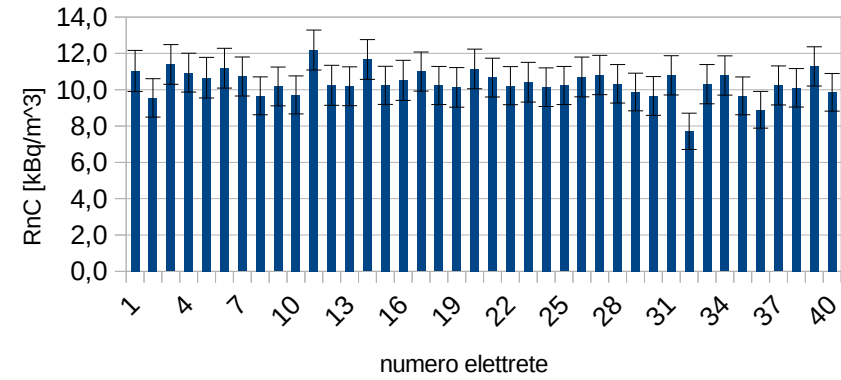
## Analisi E-PERM

- Fondo gamma: prima esposizione
- $K_{RnC1}$  e  $K_{CF1}$ ,  $K_{RnC2}$  e  $K_{CF2}$ : compatibili (test t) → media → buon accordo AlphaGUARD/E-PERM

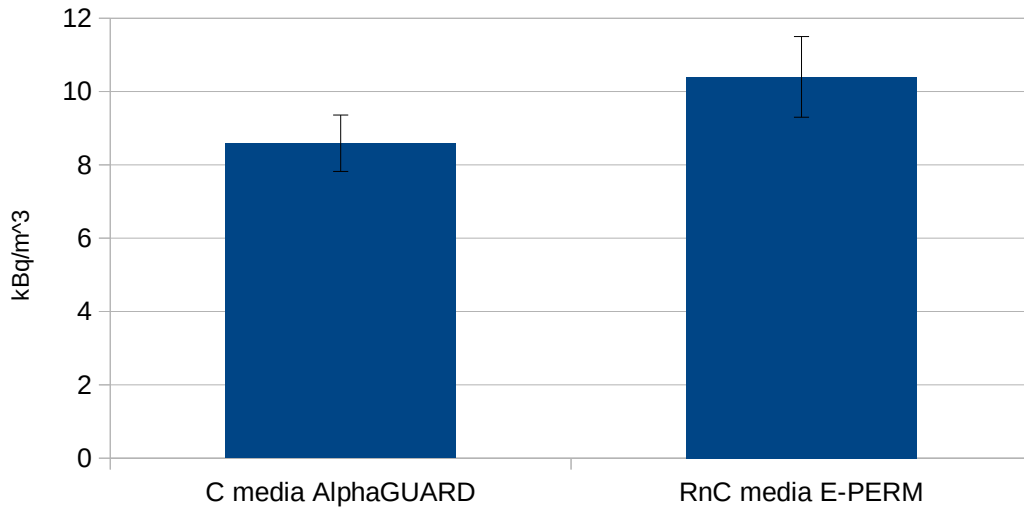
C (t)



RnC E-PERM



confronto AlphaGUARD/E-PERM



RnC media E-PERM =  $(10,4 \pm 1,1)$  kBq/m<sup>3</sup>

C media AlphaGUARD =  $(8,59 \pm 0,77)$  kBq/m<sup>3</sup>

# Ritaratura

## Ritaratura su RnC:

$$RnC = \left( \frac{V_i - V_f}{CF * D} - BG \right) * H \quad [\text{Bq/m}^3]$$

Coefficiente seconda esp.:

$$K_{RnC2} = 0,83$$

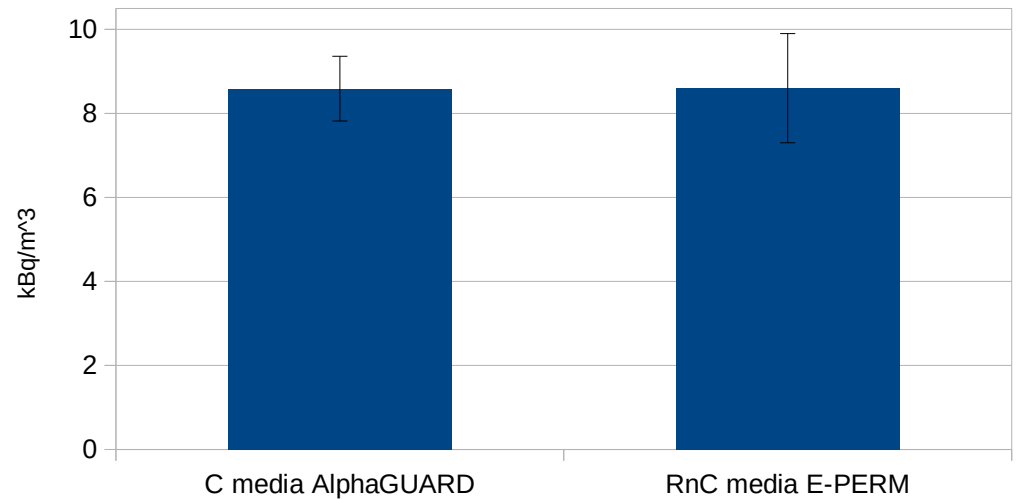
## Ritaratura su CF:

$$CF = \left( A + \frac{B * (V_i + V_f)}{2} \right) * 1/37 \quad [\text{V} * \text{m}^3 / (\text{Bq} * \text{d})]$$

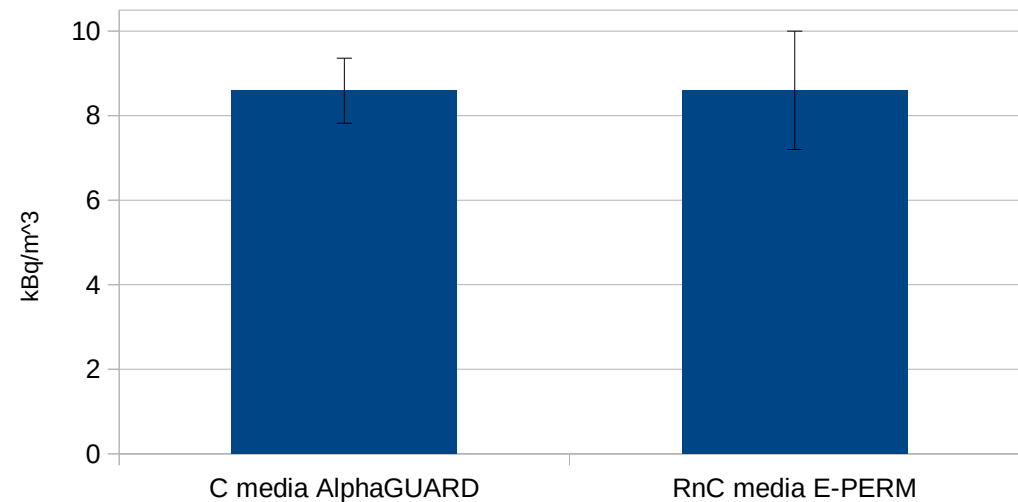
Coefficiente seconda esp.:

$$K_{CF2} = 1,21$$

confronto AlphaGUARD/E-PERM (rit. RnC)



confronto AlphaGUARD/E-PERM (rit. CF)

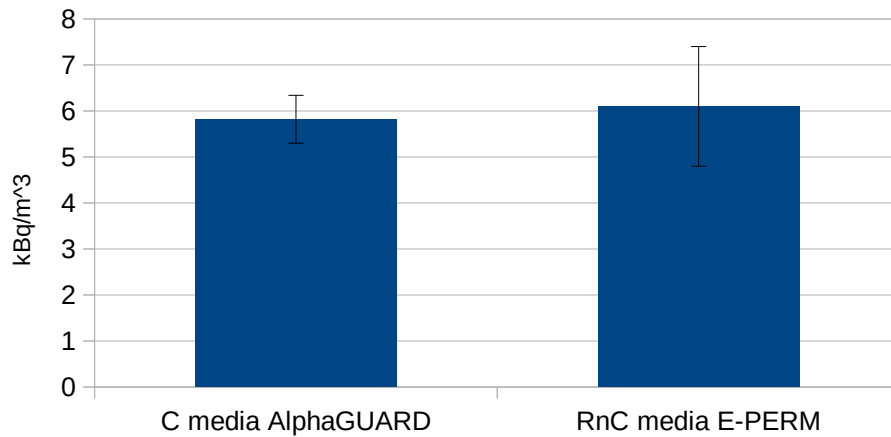


Media fattori correttivi per RnC:  $K_{RnCm} = 0,81$ ; media fattori correttivi per CF:  $K_{CFm} = 1,24$

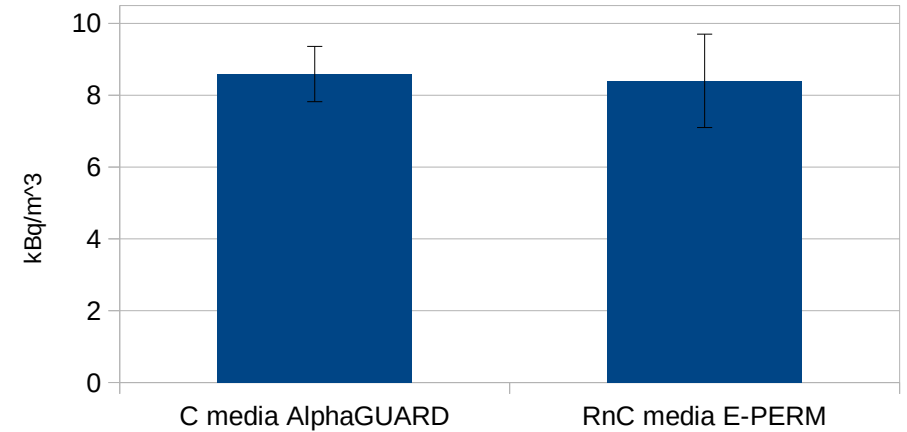
## Ritaratura con $K_{RnCm}$ :

$$RnC = \left( \frac{V_i - V_f}{CF * D} - BG \right) * H \quad [Bq/m^3]$$

confronto AlphaGUARD/E-PERM 1^ esp. (rit. RnC)



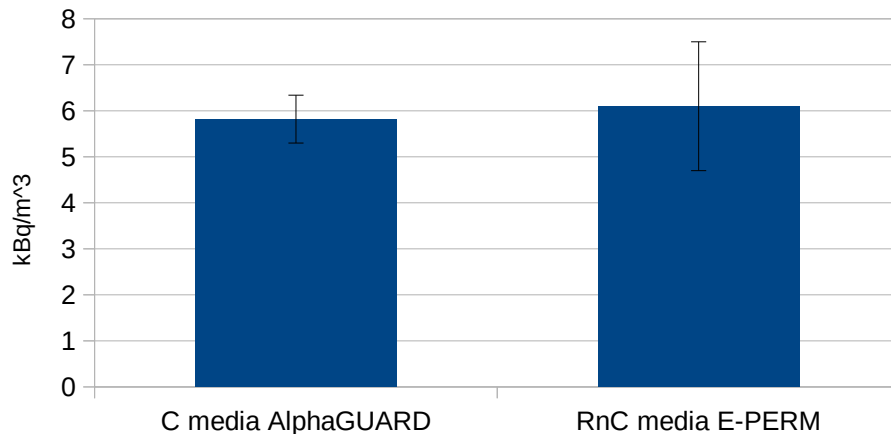
confronto AlphaGUARD/E-PERM 2^ esp. (rit. RnC)



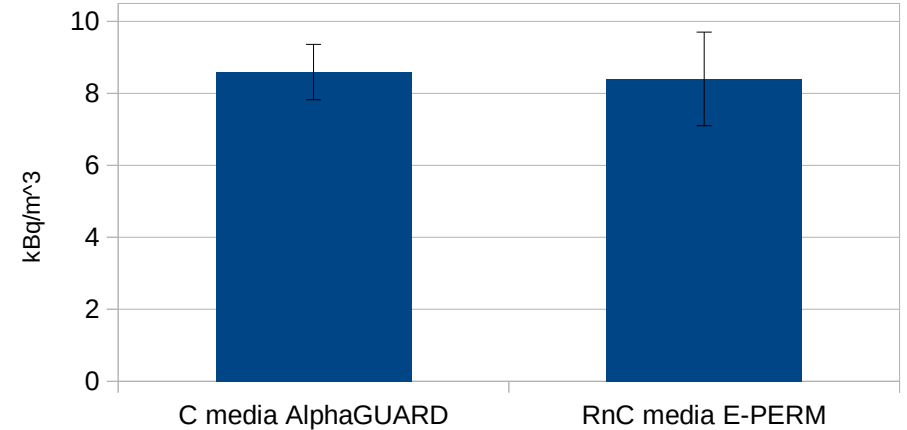
## Ritaratura con $K_{CFm}$ :

$$CF = \left( A + \frac{B * (V_i + V_f)}{2} \right) * 1/37 \quad [V * m^3 / (Bq * d)]$$

confronto AlphaGUARD/E-PERM 1^ esp. (rit. CF)



confronto AlphaGUARD/E-PERM 2^ esp. (rit. CF)



**Esperimento sul campo: ritaratura con  $K_{RnCm}$  :** RnC media E-PERM =  $(124 \pm 45) Bq/m^3$

# Terza esposizione: 22 gennaio 2020

- Due SLT e cinque elettreti L con camere non identificate
- Si rimisura fondo gamma:  $R_y = (145 \pm 7) \text{ nGy/h}$
- Camere non identificate: perdono 0/1 V  $\rightarrow$  alte concentrazioni/misure su tempi lunghi

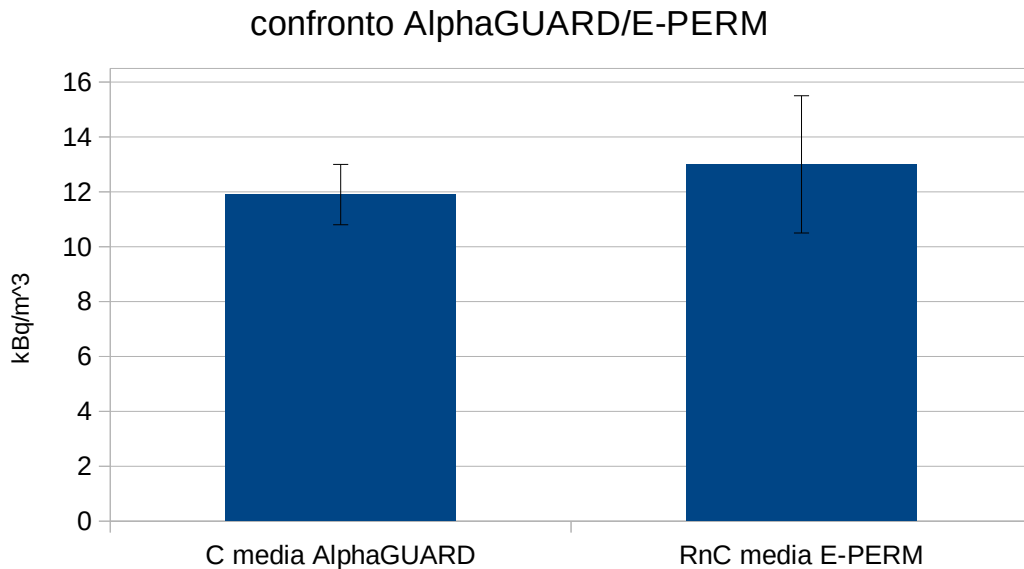
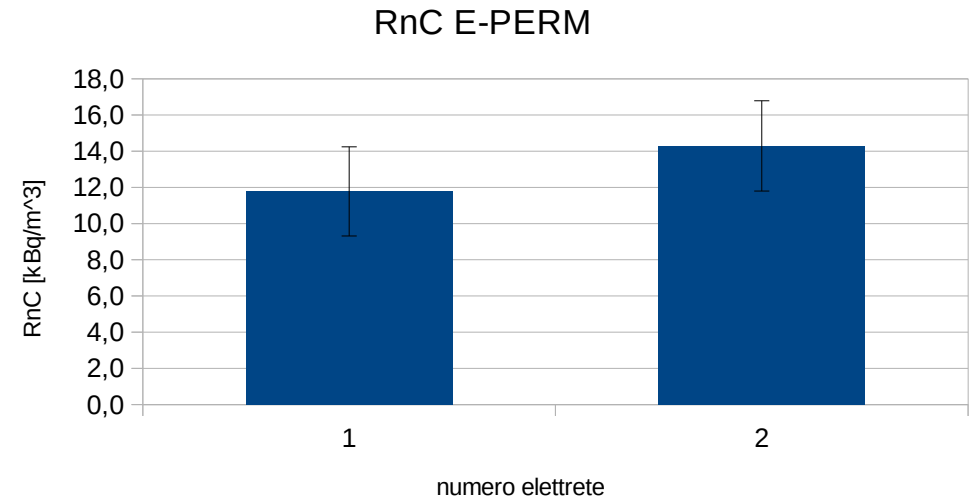
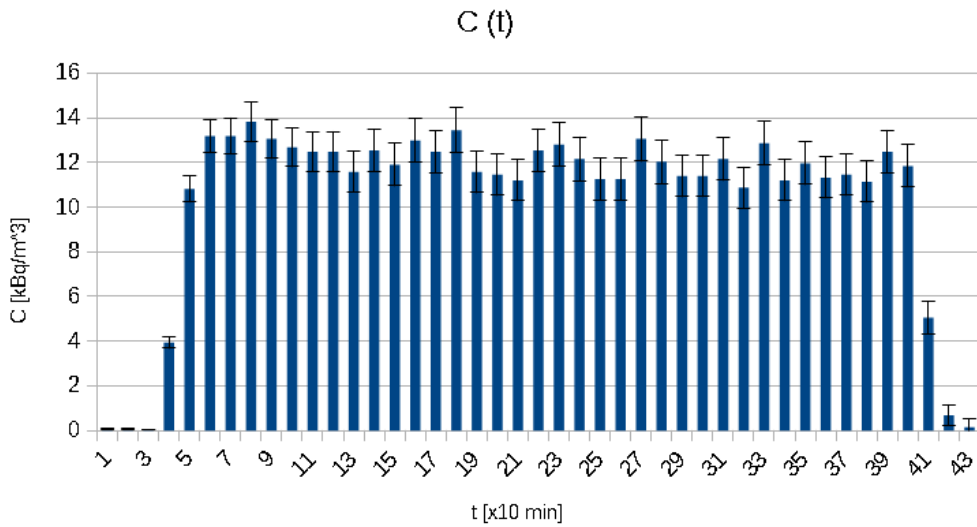


SETUP SPERIMENTALE



CAMERA NON IDENTIFICATA

# Analisi E-PERM



C media AlphaGUARD =  $(11,9 \pm 1,1)$  kBq/m<sup>3</sup>

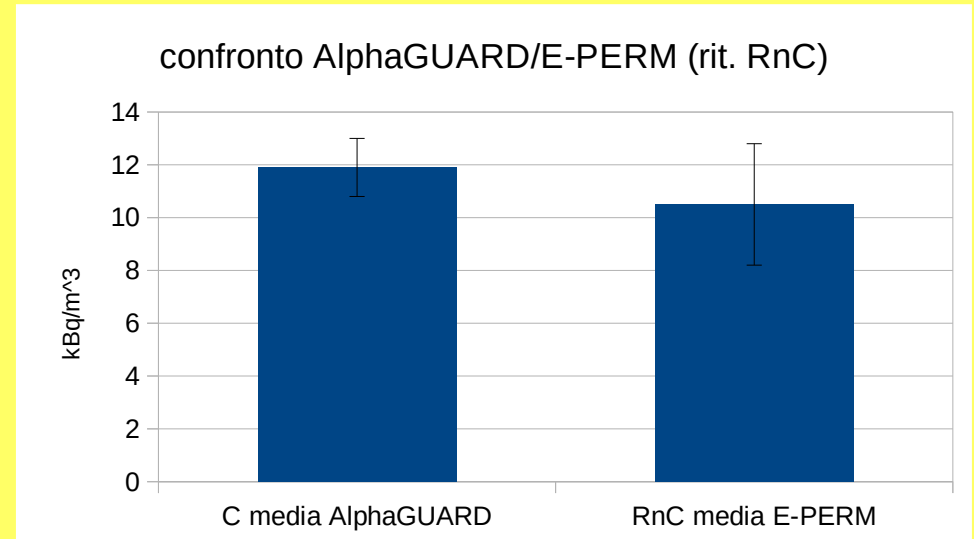
RnC media E-PERM =  $(13,0 \pm 2,5)$  kBq/m<sup>3</sup>



# Ritaratura

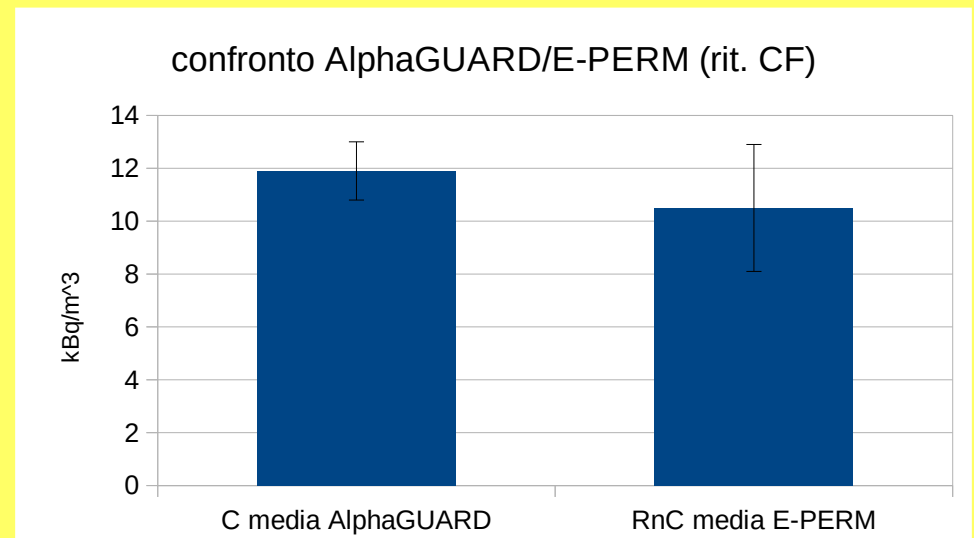
## Ritaratura con $K_{RnCm}$ :

$$RnC = \left( \frac{V_i - V_f}{CF * D} - BG \right) * H \quad [\text{Bq/m}^3]$$



## Ritaratura con $K_{CFm}$ :

$$CF = \left( A + \frac{B * (V_i + V_f)}{2} \right) * 1/37 \quad [\text{V} * \text{m}^3 / (\text{Bq} * \text{d})]$$



# Conclusioni

- Coefficienti per formule E-PERM (accordo con AlphaGUARD):

$$K_{RnCm} = 0,81 \pm 0,08$$

$$K_{CFm} = 1,24 \pm 0,12$$

- Dispersione valori RnC per singoli E-PERM rispetto a media → a posteriori errore 10% su fattori correttivi → calcolo incertezze
- Equivalenza di risultati ritaratura su CF e RnC → in futuro da usare solo il fattore correttivo per RnC  $K_{RnCm}$
- Fondo gamma, posizione nella camera e voltaggio iniziale: scarsa influenza sul valore di concentrazione misurato con gli E-PERM; altitudine: influenza apprezzabile ma non eccessiva
- Decrescita della concentrazione di radon nella camera → piccole perdite nel corso delle esposizioni