

Misure in campo
del Fattore di Equilibrio F
del ^{222}Rn

M. Faure Ragani

G. Arman

ARPA VALLE d'AOSTA

E. Chiaberto

M. Magnoni

ARPA IVREA

M. Caccia

V. Chmill

UNIVERSITA'
dell'INSUBRIA

- L'ICRP 115
- IL FATTORE DI EQUILIBRIO
- CARATTERISTICHE DELL'AMBIENTE INDOOR CHE INFLUENZANO IL RADON E LA PROGENIE
- DUE METODI DI MISURA A CONFRONTO
- 1 CASI INDOOR ANALIZZATI
- RISULTATI
- CONCLUSIONI E SVILUPPI

ICRP 115

“...doses from **radon** and **radon progeny** should be calculated using ICRP **biokinetic** and **dosimetric** models...”

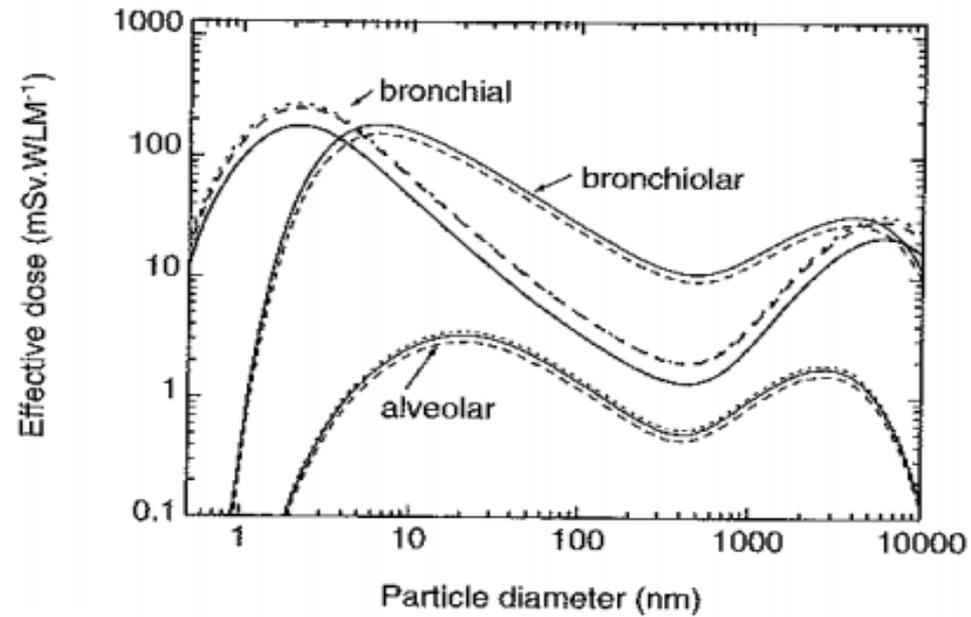
ICRP will provide

- Dose Coefficients per unit exposure to **radon** and **radon progeny**
- Different reference conditions of **domestic** and **occupational** exposure
- **Specified equilibrium factor**
- **Aerosol characteristics**

Modelli dosimetrici (ICRP 66)

L'attività inalata dipende dalla distribuzione dell'aerosol radioattivo inalato

$$E_{Rn} = C_{Rn} * F * t * DCF \text{ (dose efficace)}$$



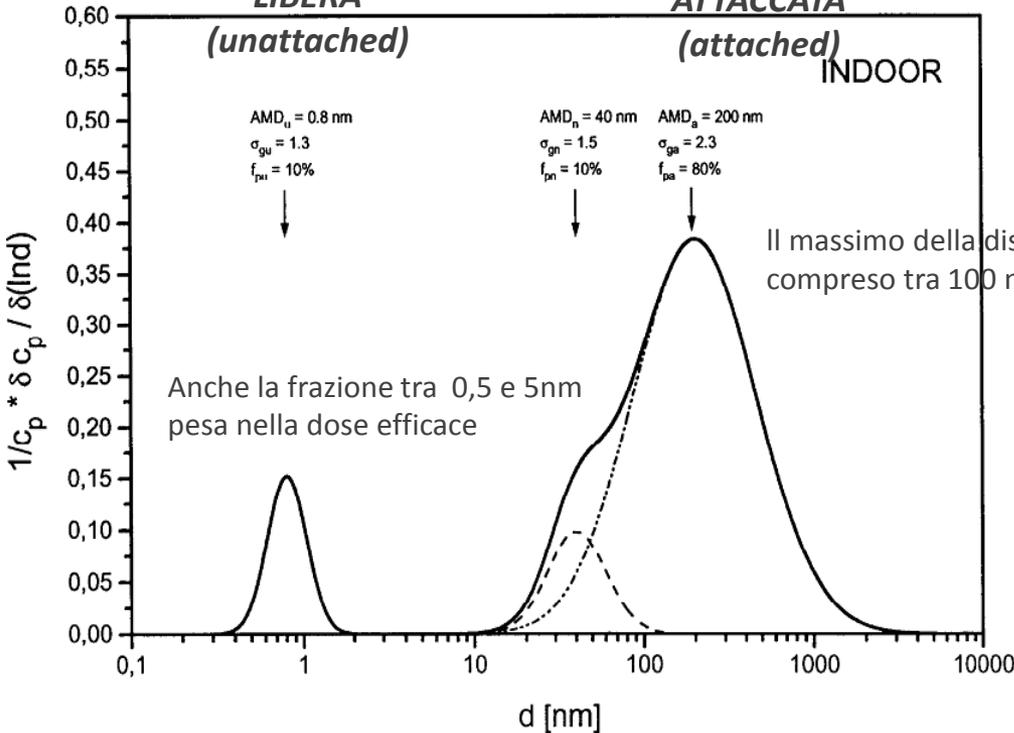
FRAZIONE LIBERA

(unattached)

FRAZIONE ATTACCATA

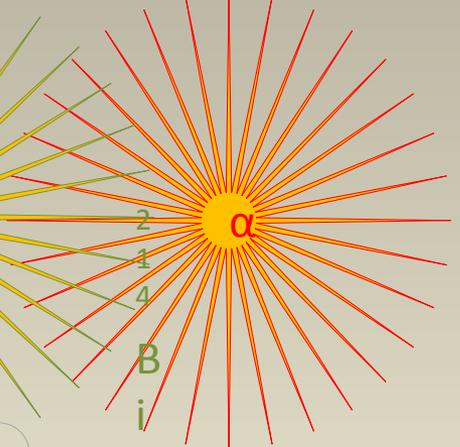
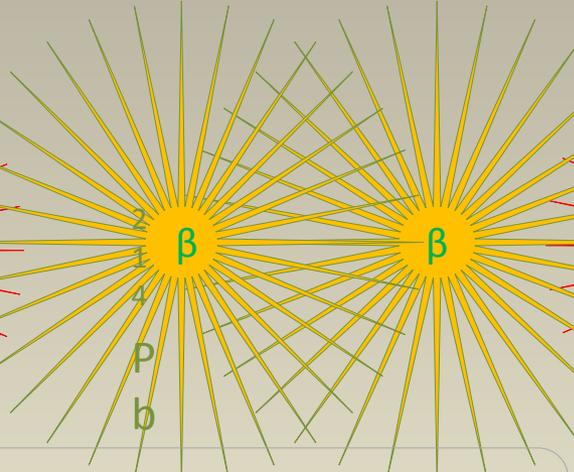
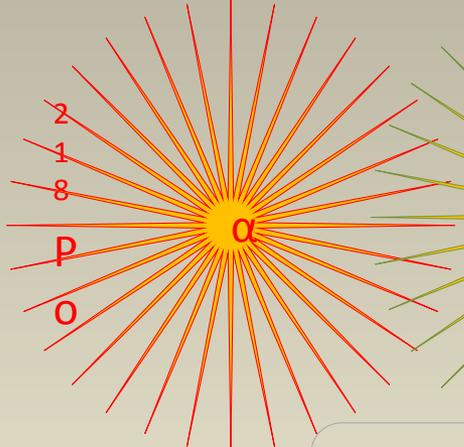
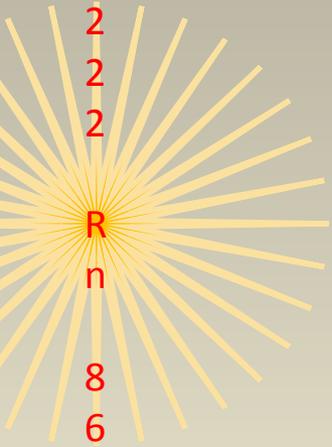
(attached)

INDOOR



Il massimo della distribuzione è compreso tra 100 nm e 500 nm

Equilibrio secolare



Po
214
84

Attivita'

$$C_{Rn} = C_i$$

$$F = 1$$

t=4h

222

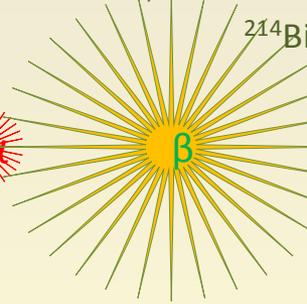
Rn

86

$^{218}\text{Po } t_{1/2} = 3,05\text{m.}$



$^{214}\text{Pb } t_{1/2} = 26,8\text{m.}$



$^{214}\text{Bi } t_{1/2} = 19,8\text{m.}$



$^{214}\text{Po } t_{1/2} = 164\mu\text{s}$



Popolazioni

$$N_i = \frac{C_i}{\lambda_i} (\propto \tau_i)$$

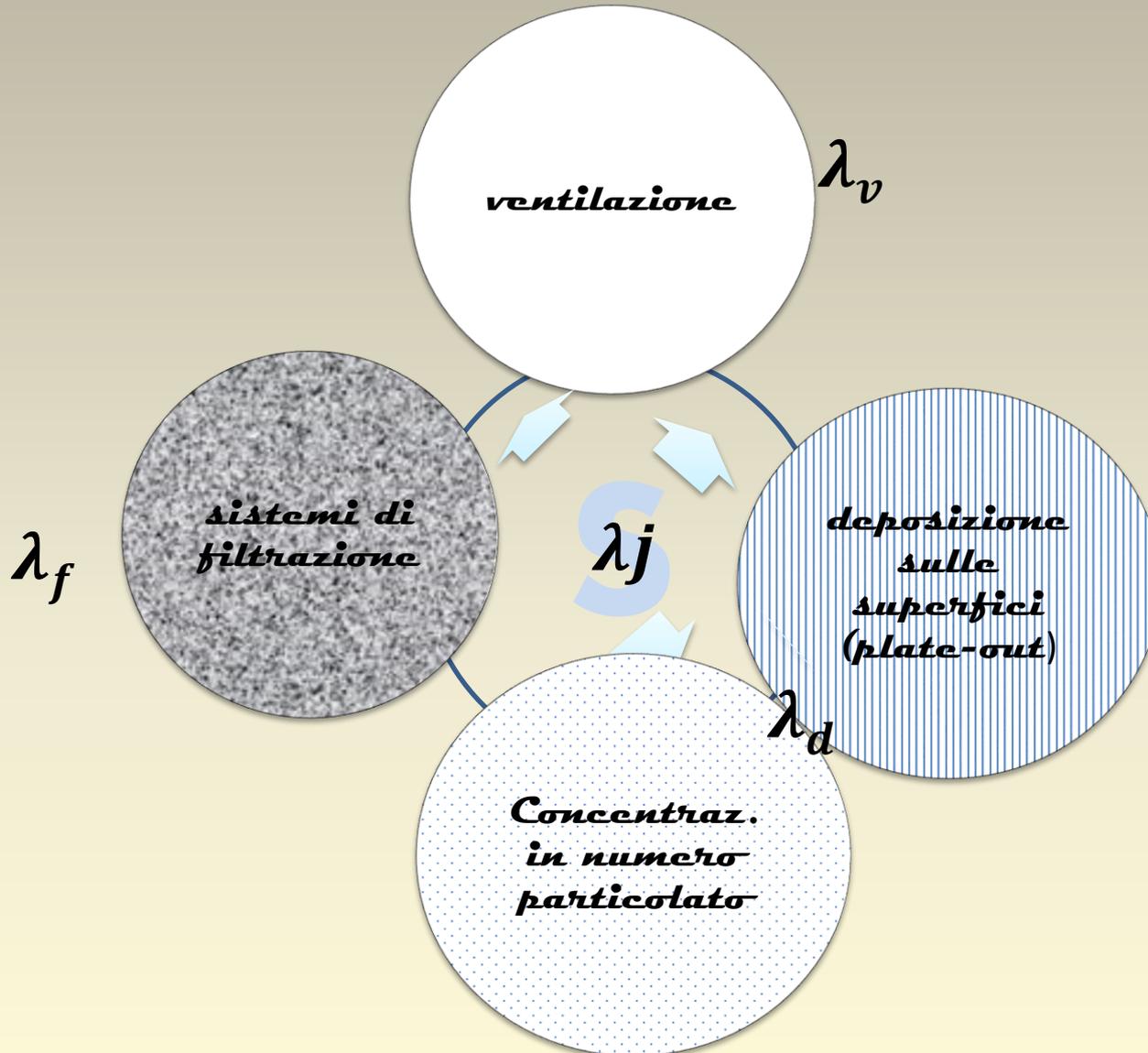
$$PAEC = \sum_j^n \frac{c_j}{\lambda_j} E_j \quad \text{N.B. } c_j / \lambda_j = N_j \text{ (atomi/m}^3\text{)}$$

$$EEC = \frac{PAEC}{\sum_j^n E_j / \lambda_j} = 0.105 [^{218}\text{Po}] + 0.515 [^{214}\text{Pb}] + 0.380 [^{214}\text{Bi}]$$

$$F = \frac{EEC}{[Rn]} = \frac{0.105 [Po] + 0.515 [Pb] + 0.380 [Bi]}{[Rn]}$$

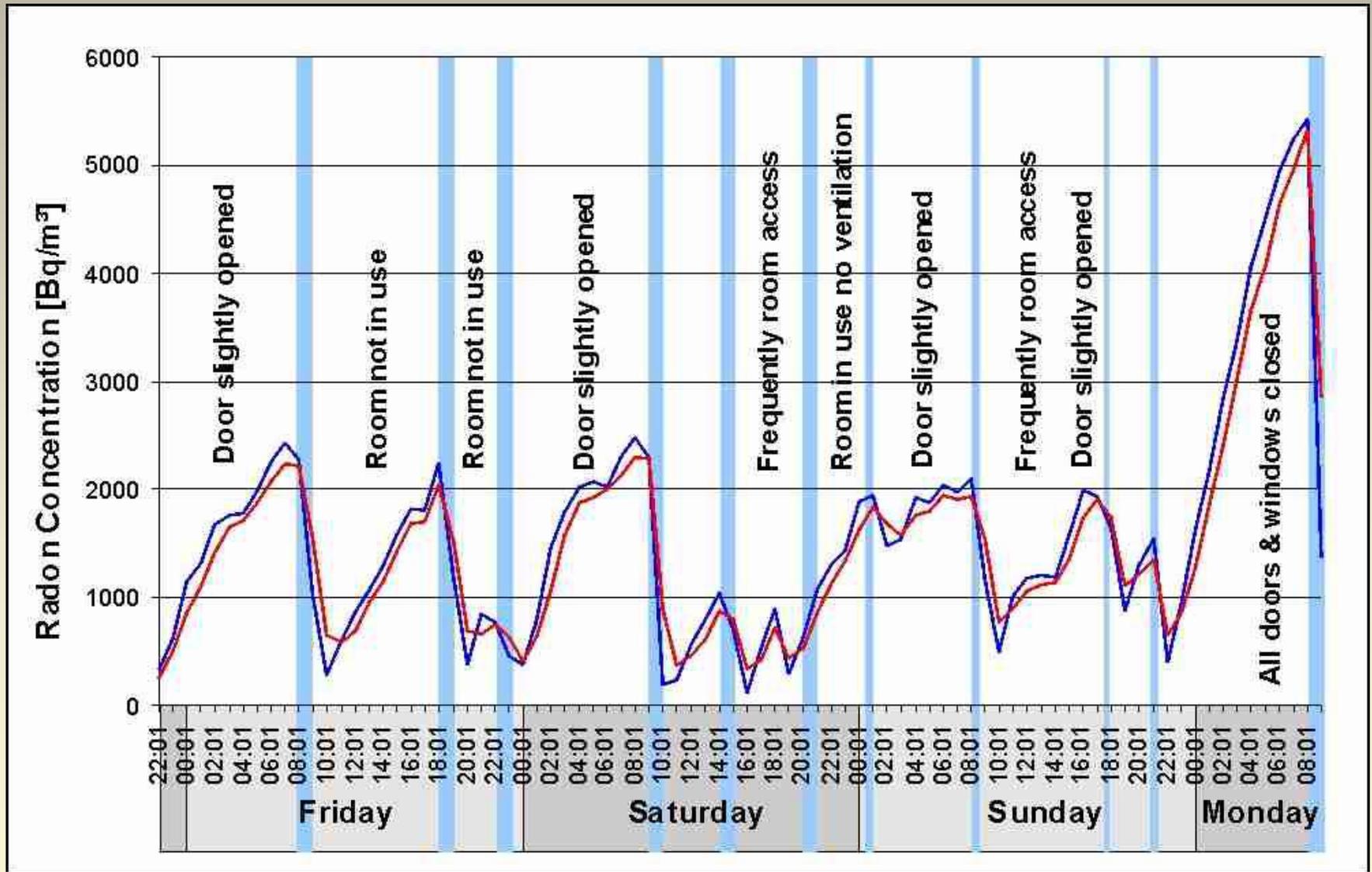
Tutti gli effetti ambientali agiscono proporzionalmente alle popolazioni, non alle attività, in aria

Jacobi-Poisson mixed room model

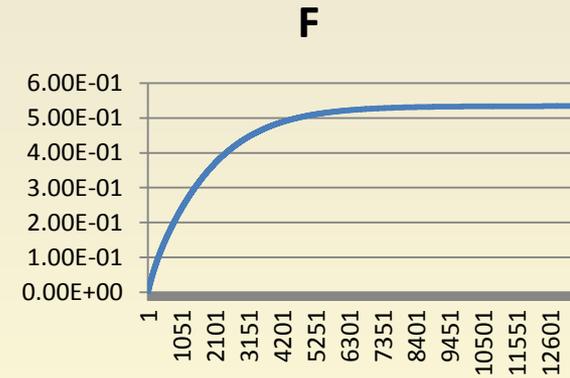
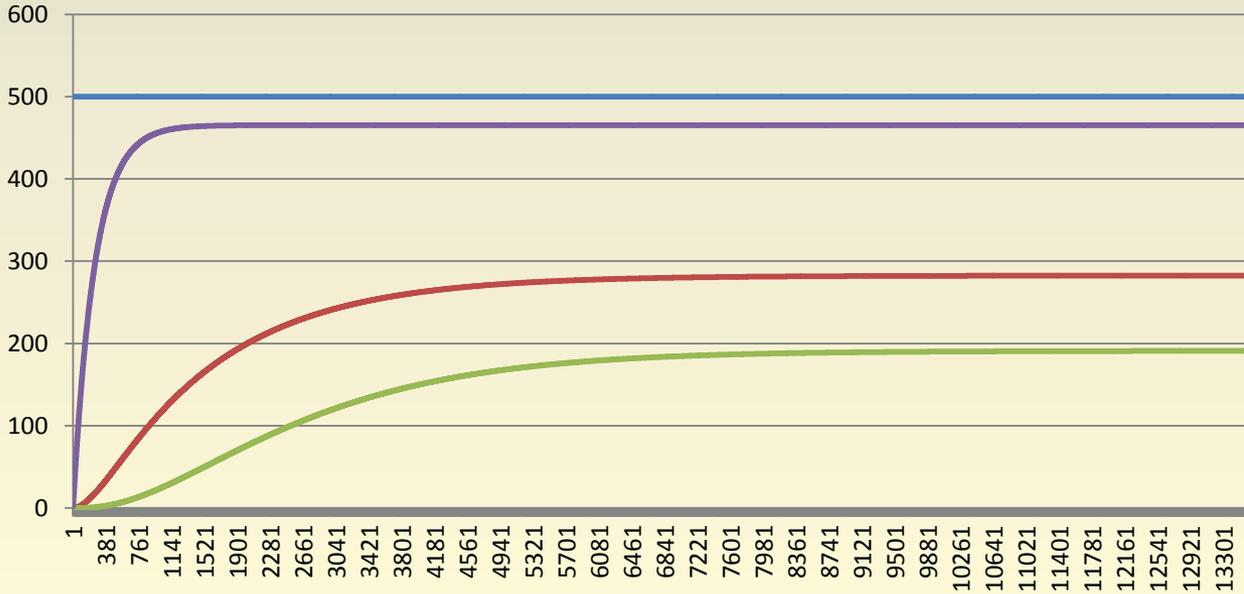
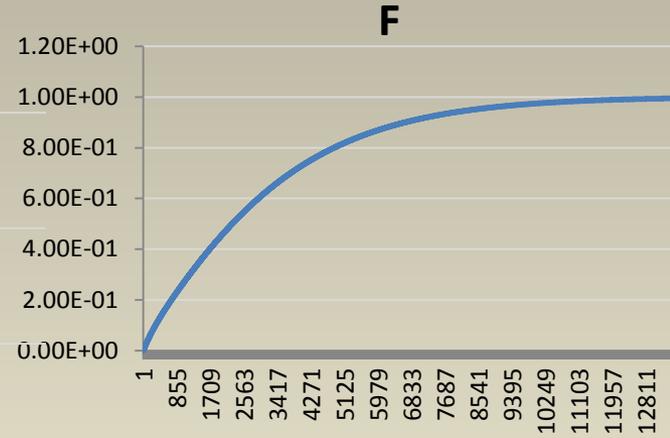
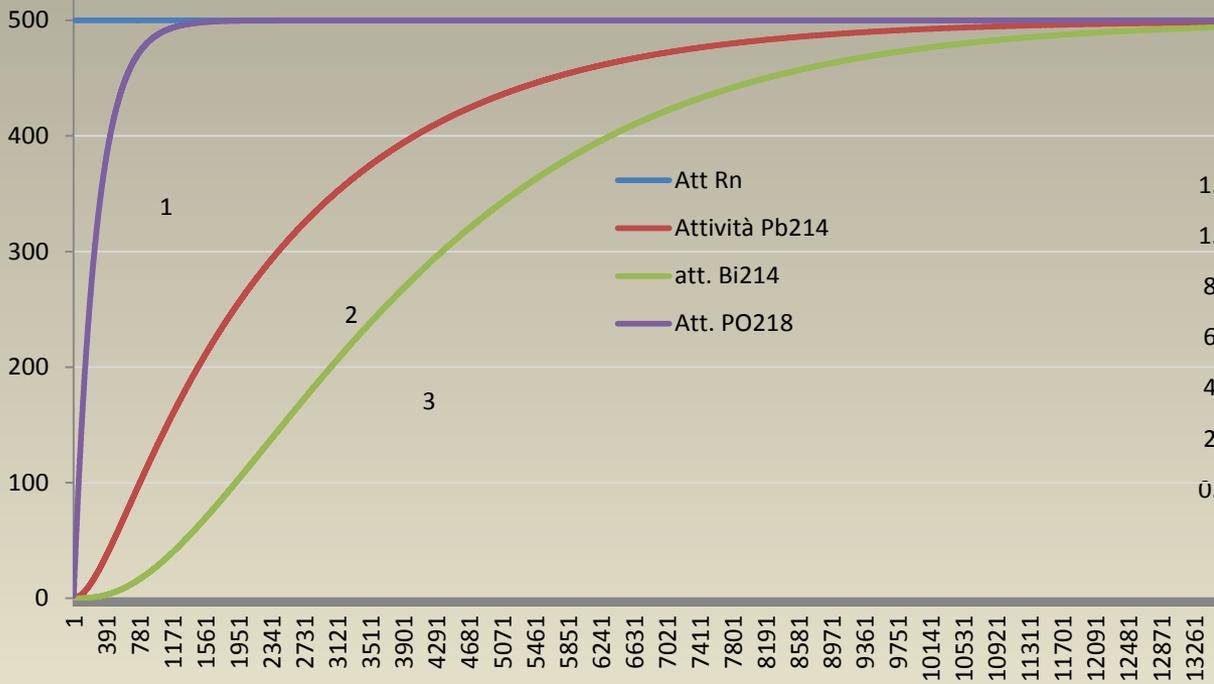


EFFETTO DELLA **VENTILAZIONE** SUL RADON E SINGOLI FIGLI IN ARIA

	$T_{1/2}$	$T_{1/2}(h)$	$\lambda_i (h^{-1})$	$\lambda_{vent}(h^{-1})$	$\lambda_{vent}(h^{-1})$
^{222}Rn	3,82g	91,68	0,0076	1	0,1
^{218}Po	3,05m	0,05	13,6328	1	0,1
^{214}Pb	26,8	0,45	1,5515	1	0,1
^{214}Bi	19,7	0,33	2,1107	1	0,1
^{214}Po	164 μs	4,56E-08	1,52E+07	1	0,1



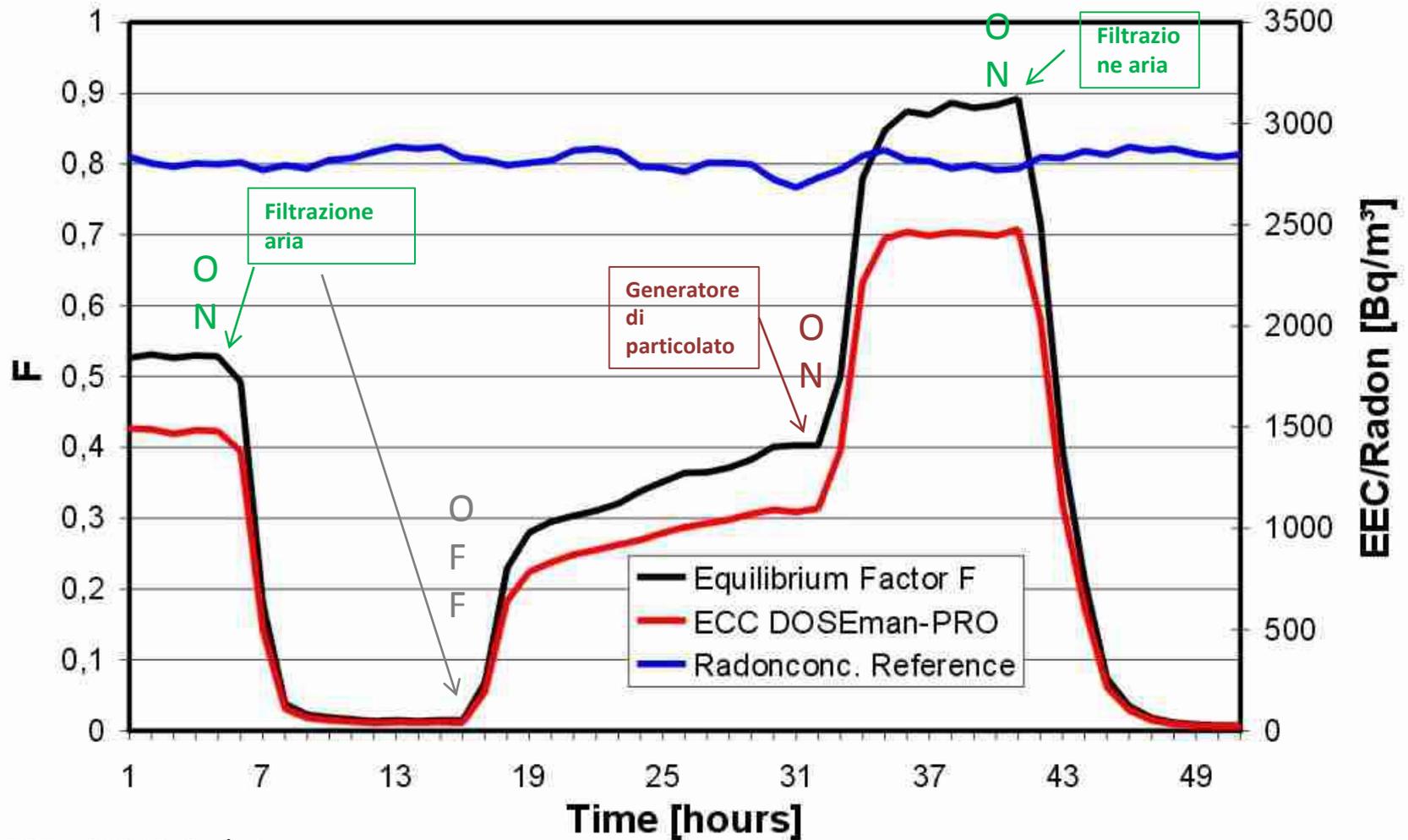
EFFETTO DELLA VENTILAZIONE SUI SOLI FIGLI (RADON STAZIONARIO)



F = 0,53 per $\lambda_v = 1 \text{ h}^{-1}$

EFFETTO DEL **PARTICOLATO** SU ATTIVITA' **FIGLI**
 EFFETTO DELLA **FILTRAZIONE ARIA** SU ATTIVITA' **FIGLI**

} → F

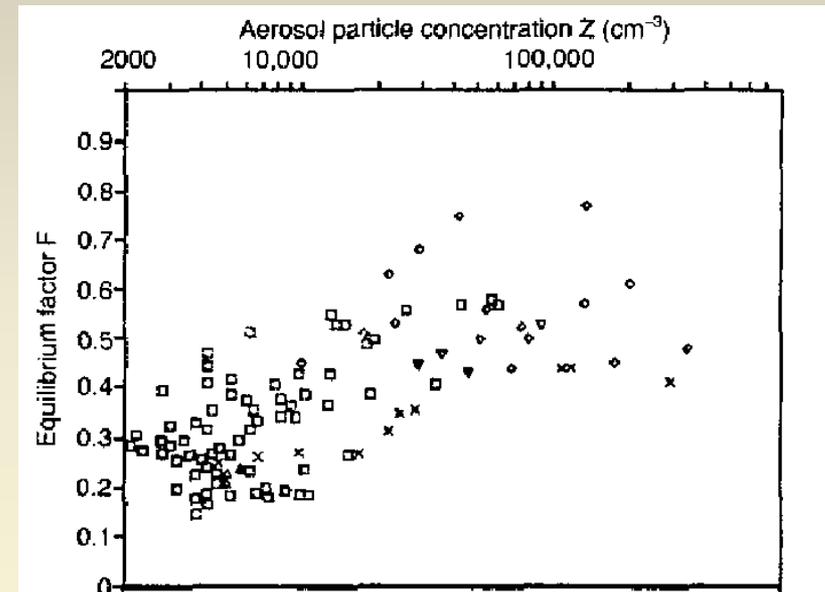
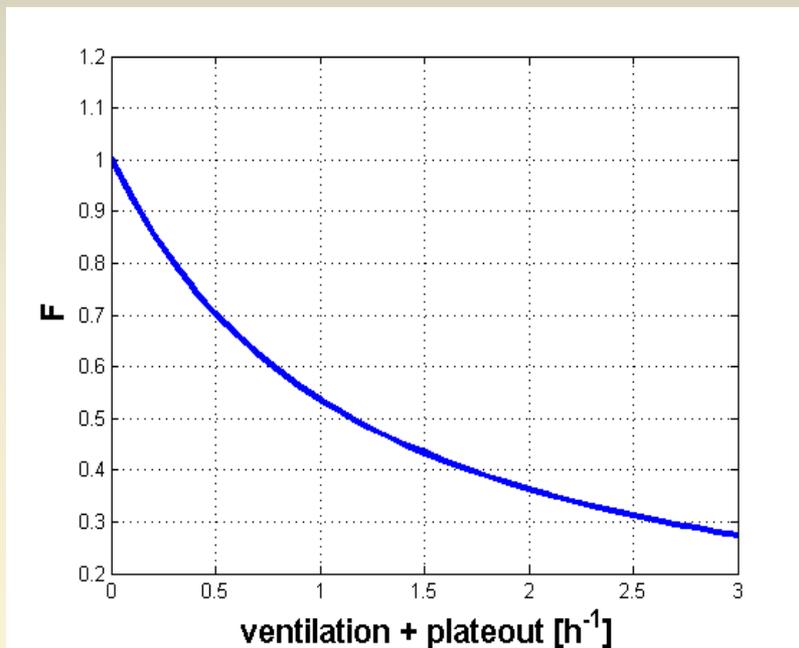


Fattore di equilibrio F

dipende in modo diverso da:

- Ventilazione
- Plate-out

Caratteristiche Aerosol



J.Porstendorfer, RPD (1992)

Il progetto RADICAL aveva fornito la metodologia di misura di F :
Prelievo singolo di progenie su filtro

+ misura β tot.

+ modello di calcolo

È stato acquisito lo strumento $\alpha\beta$ portatile

(Ludlum3030P)

È stato acquisito il monitore in continuo EQF3220

(Sarad GmbH)

Sono iniziate le campagne di misura di F

MISURA β TOT. della PROGENIE su FILTRO $\Rightarrow +Rn \Rightarrow F$

LUDLUM 3030P

- Dual channel $\alpha\beta$ counter
- Rivelatore Built-in PIP'S
- $\epsilon_{\alpha} (4\pi)$: 39% ^{239}Pu
- $\epsilon_{\beta} (4\pi)$: 23% ^{99}Tc
- Fondo acc. in campo $10\mu\text{R/hr}$:
- 10 min cont.fondo α : 0.6 cpm
- 10 min cont.fondo β : 27,6 cpm
- Crosstalk acc. ($10\mu\text{R/hr}$ field) :
- alpha to beta crosstalk ($\leq 5\%$) : 1,50%
- beta to alfa crosstalk (≤ 0.1) : 0,000%
- CALIBRAZIONE : Fondo $\Leftrightarrow \epsilon \Leftrightarrow$ crosstalk

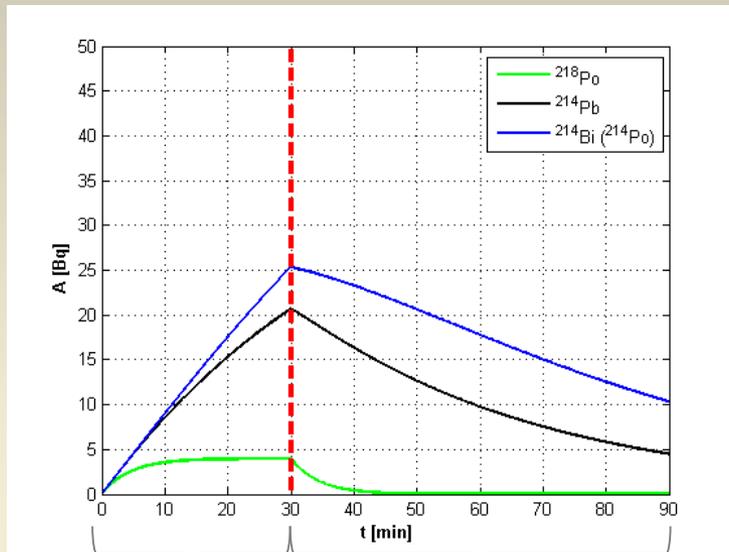


ARPA IVREA

Il conteggio $\alpha\beta$ TOT. su filtro

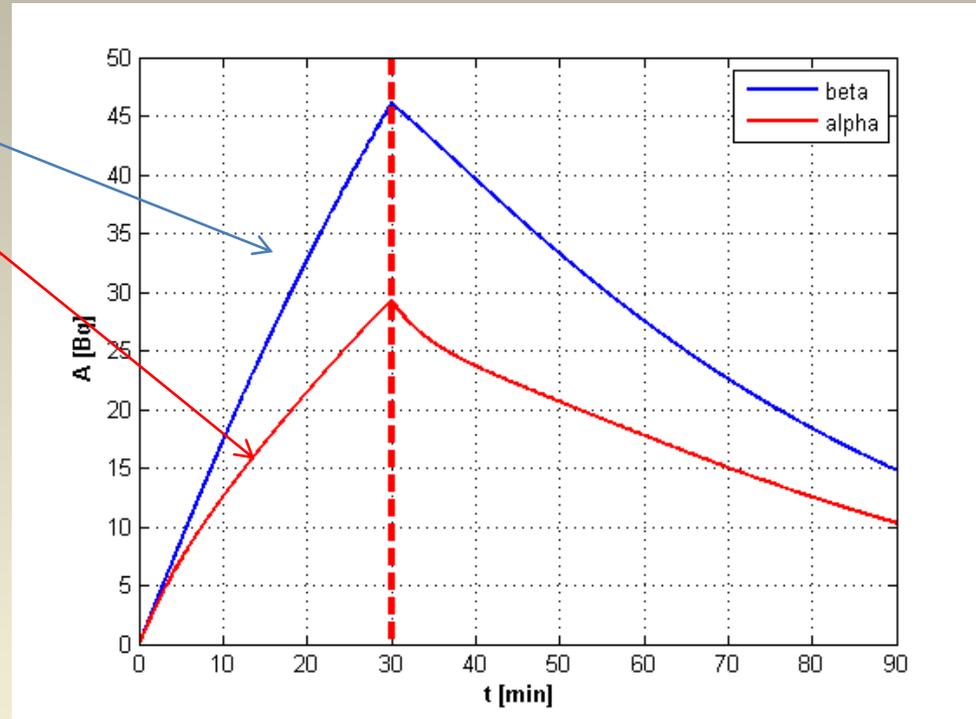
$$\text{Beta TOT} = \text{Pb} + \text{Bi}$$

$$\text{Alpha TOT} = {}^{218}\text{Po} + {}^{214}\text{Po} (= \text{Bi})$$



Raccolta aerosol
su filtro
(aspirazione)

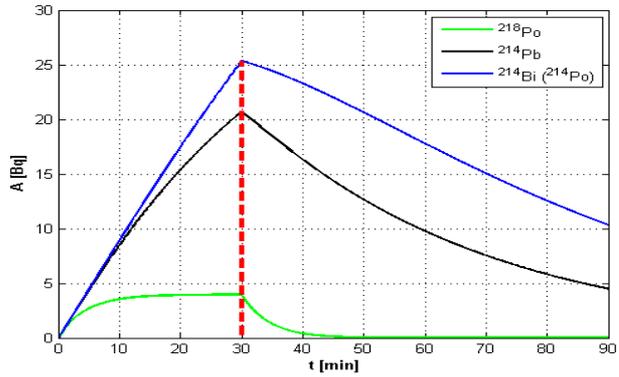
Evoluzione
attività figli
su filtro



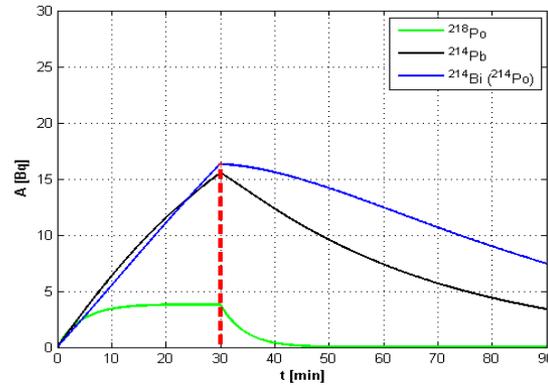
⇒ simulazione $\alpha_{\text{TOT}} - \beta_{\text{TOT}}$
su filtro

simulazione C_i su filtro

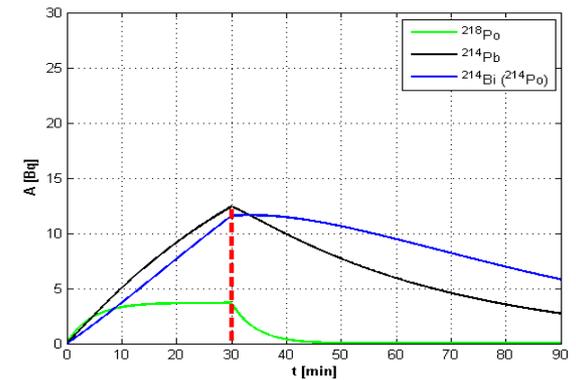
EFFETTO DELLA VENTILAZIONE SULLA
RACCOLTA DEI FIGLI SU FILTRO
(RADON STAZIONARIO)



$$F=1 \quad (\lambda_v=0 \text{ h}^{-1})$$



$$F=0,7 \quad (\lambda_v=0,5 \text{ h}^{-1})$$



$$F=0,5 \quad (\lambda_v=1 \text{ h}^{-1})$$

il modello per il calcolo delle concentrazioni individuali della progenie:

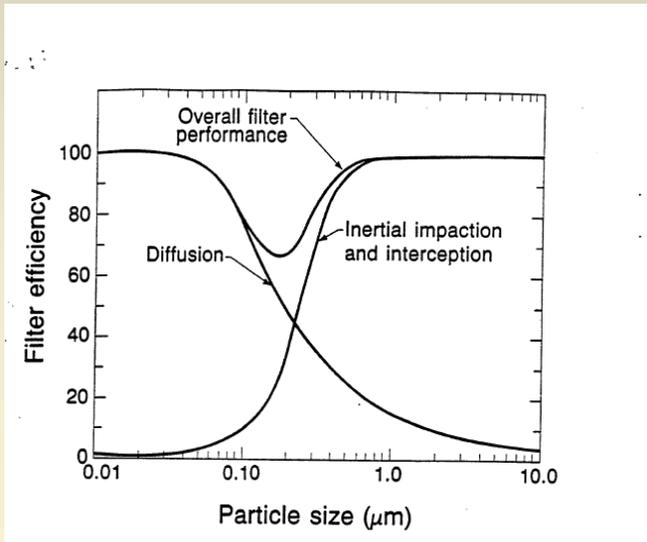
$$\frac{dN_i^{aria}}{dt} = \lambda_{i-1}N_{i-1}^{aria} - \lambda_i N_i^{aria} - \lambda_{rem}N_i^{aria}$$

*con radon e progenie in aria stazionari
prima e durante il campionamento su filtro*

MISURE alfa di $C_{Rn}(t)$ e $EEC(t)$ *in continuo* \Rightarrow F

SARAD EQF 3220

Wire Mesh (4 nm)	EEC unattached
Filtro : resto del particolato	EEC
Camera misura gas	^{222}Rn e ^{220}Rn



EEC^{un}

EEC

$EEC_{tot.} = EEC + EEC^{un}$

Rn fast: ^{218}Po

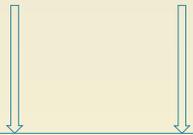
Rn slow : $^{218}Po + ^{214}Po$



2 METODICHE DI MISURA

Metodo β «grab sampling»

- Misura α di $C_{Rn}(t)$ in continuo
- Campionamento aerosol su filtro
- Misura di attività β su filtro
- Modellizzazione \rightarrow 4 C_i in aria
- Calcolo di $F = EEC/C_{Rn}$



$$H = Rn * F * t_{exp} * DCF$$

Metodo α spectr. in continuo

- [Misura di $C_{Rn}(t)$ gas in continuo]
- [Misura di EEC(t) in continuo] } stesso flusso
- Calcolo di F in corrispondenza della misura β e determinazione di F(t)
- Analisi dati :
 - *distribuzione dei valori
 - *correlazioni ai parametri a.
 - *variabilità del dato



$$H = EEC * t_{exp} * DCF$$

AMBIENTI INDOOR ANALIZZATI

- TUNNEL MONTE BIANCO – LOCALE DI SERVIZIO
- GROTTA DI BOSSEA – SALONE DELL'ORSO
- 2 ABITAZIONI VALLE D'AOSTA

	$\beta_{TOT.}$ (LUDLUM P3030)	$\alpha_{spectr. cont.}$ (SARAD EQF 3220)
Misure effettuate	$C_{Rn}(t), A_{\beta_{TOT}}(t)$	$C_{Rn}(t), EEC(t)$
Grandezze ottenute	$\langle C_{Rn} \rangle, C_i^{aria}$ + calcoli $\rightarrow \langle F \rangle$	$C_{Rn}(t), EEC(t), \rightarrow F(t),$ $\langle F \rangle = \langle EEC(t) \rangle / \langle C_{Rn}(t) \rangle,$ $F(EEC \text{ vs. } C_{Rn})$

I diversi ambienti analizzati

- **Grotte di Bossea - SALONE ORSO**

Distanza dall'ingresso : \approx 500m di tunnel e saloni

Ventilazione naturale (il torrente carsico che costituisce il principale fattore di perturbazione dell'aria non affiora in questa parte delle grotte)

- **Abitazione Arnad (AO) - CANTINA**

L'ambiente ha il pavimento in terra battuta, le pareti di pietra e si trova ad una profondità di 3.5m dal piano campagna.

Ventilazione naturale, garantita da 2 piccole finestre senza chiusura e una porta verso l'esterno chiusa.

- **Tunnel MB - CENTRALE VENTILAZIONE SUD**

Locale di grandi dimensioni (30m x 20m x 10m) posto sotto il piazzale di ingresso del lato italiano del tunnel

Contiene 4 grossi ventilatori che prelevano l'aria esterna dalla torre di aerazione e la immettono nella galleria.

Ventilazione naturale per grosso lucernaio di cui non sono programmati orari di apertura.

Presenti **condizionatori che ricircolano l'aria e la raffreddano**, mantenendo una temperatura all'incirca di 29°C -30°C

- **Abitazione AOSTA - TAVERNA**

L'ambiente presenta un pavimento piastrellato con guaina 'anti-radon', le pareti sono in cemento intonacato e pietra a vista,

Ventilazione naturale : una finestra e una porta verso l'esterno chiusi e vano scala al piano superiore dell'abitazione.

Sotto il pavimento : vespaio **de-pressurizzato mediante aspiratore da 150 m³/h.**

- Grotte di Bossea



- Tunnel Monte Bianco – Centrale Ventilazione Sud



Locale di grandi dimensioni (30m x 20m x 10m) posto sotto il piazzale di ingresso del lato italiano del tunnel.

Ventilazione naturale per grosso lucernaio di cui non sono programmati orari di apertura.

Presenti **condizionatori che ricircolano l'aria e la raffreddano**, mantenendo una temperatura all'incirca di 29°C - 30°C

- Abitazione Arnad (AO)

Ventilazione naturale, garantita da 2 piccole finestre senza chiusura e una porta verso l'esterno chiusa



Pavimento in terra battuta a 3.5m da piano campagna

- Abitazione Aosta

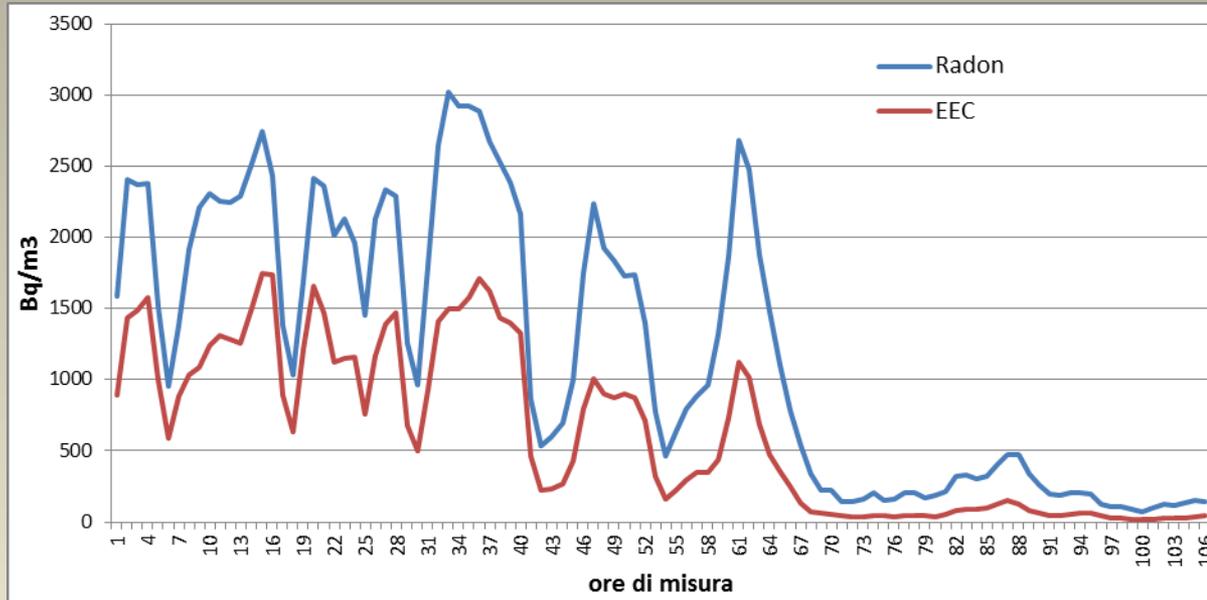
Ventilazione naturale
: una finestra e una
porta verso l'esterno
chiusi e vano scala
al piano superiore
dell'abitazione.



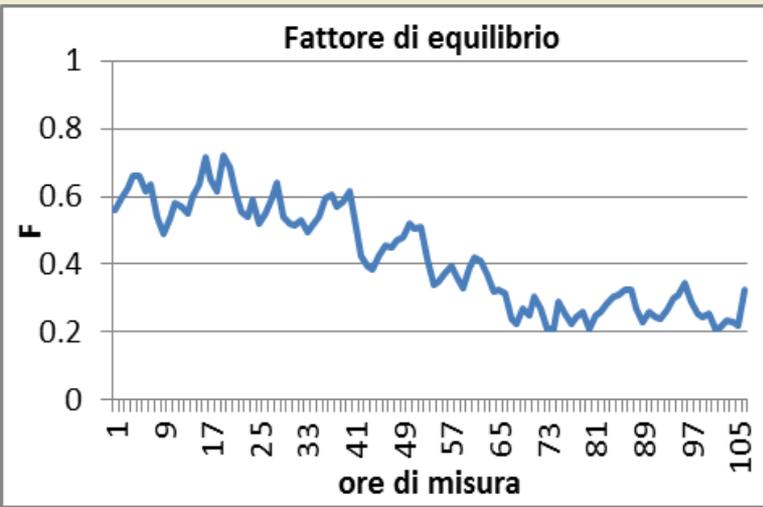
Sotto il pavimento :
vespaio de-pressurizzato
mediante aspiratore da
150 m³/h.

MISURE $C_{Rn}(t)$ e $EEC^{TOT}(t)$ AL TUNNEL DEL MONTE BIANCO

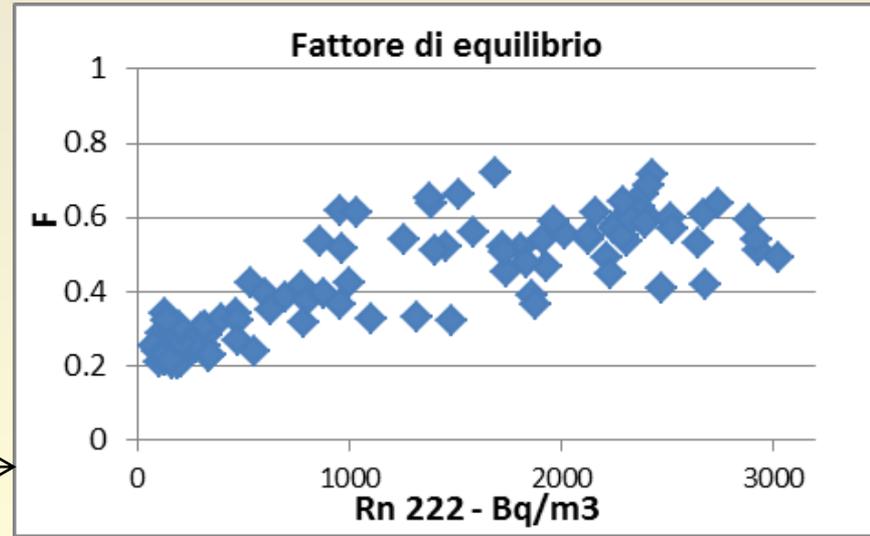
MB1

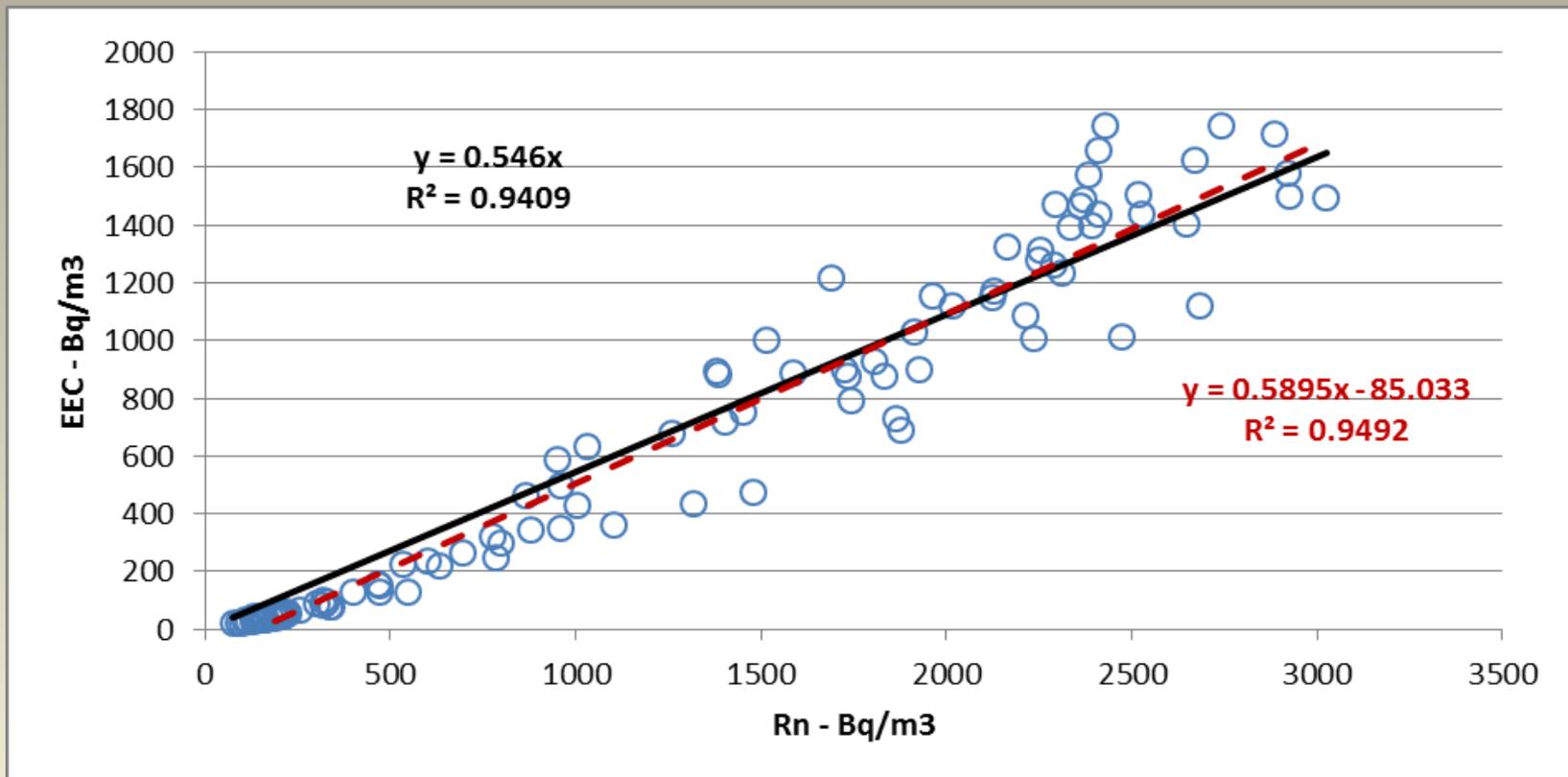


$C_{Rn}(t)$ e $EEC^{TOT}(t)$ - centrale ventilazione sud



←
 Andamento
 nel tempo
 del fattore
 di equilibrio
 $0.20 < F(t)$
 < 0.72
 F vs. C_{Rn} →





↑ Andamento della EEC in funzione delle concentrazioni di radon

Rette di regressione lineare (con e senza intercetta): relazione è lineare ($R^2 > 0.94$) a intercetta non nulla .

Stima fattore di equilibrio medio:

1) media dei valori di $F(t)$: **$F=0,42 \pm 0,15$**

2) Rapporto tra media delle $EEC(t)$ e media delle $C_{Rn}(t)$: **$F=0.52$** .

3) Retta che passa per l'origine, **$F=0.55$** (migliore stima del rapporto tra le grandezze oggetto della regressione)

ANALISI DATI : Tunnel MONTE BIANCO

MB3

EQF 3220: distr. $C_{Rn}(t) \pm \sqrt{\sigma}$, distr. $EEC^{TOT}(t) \pm \sqrt{\sigma}$, distr. $F(t)$, $\langle F \rangle$

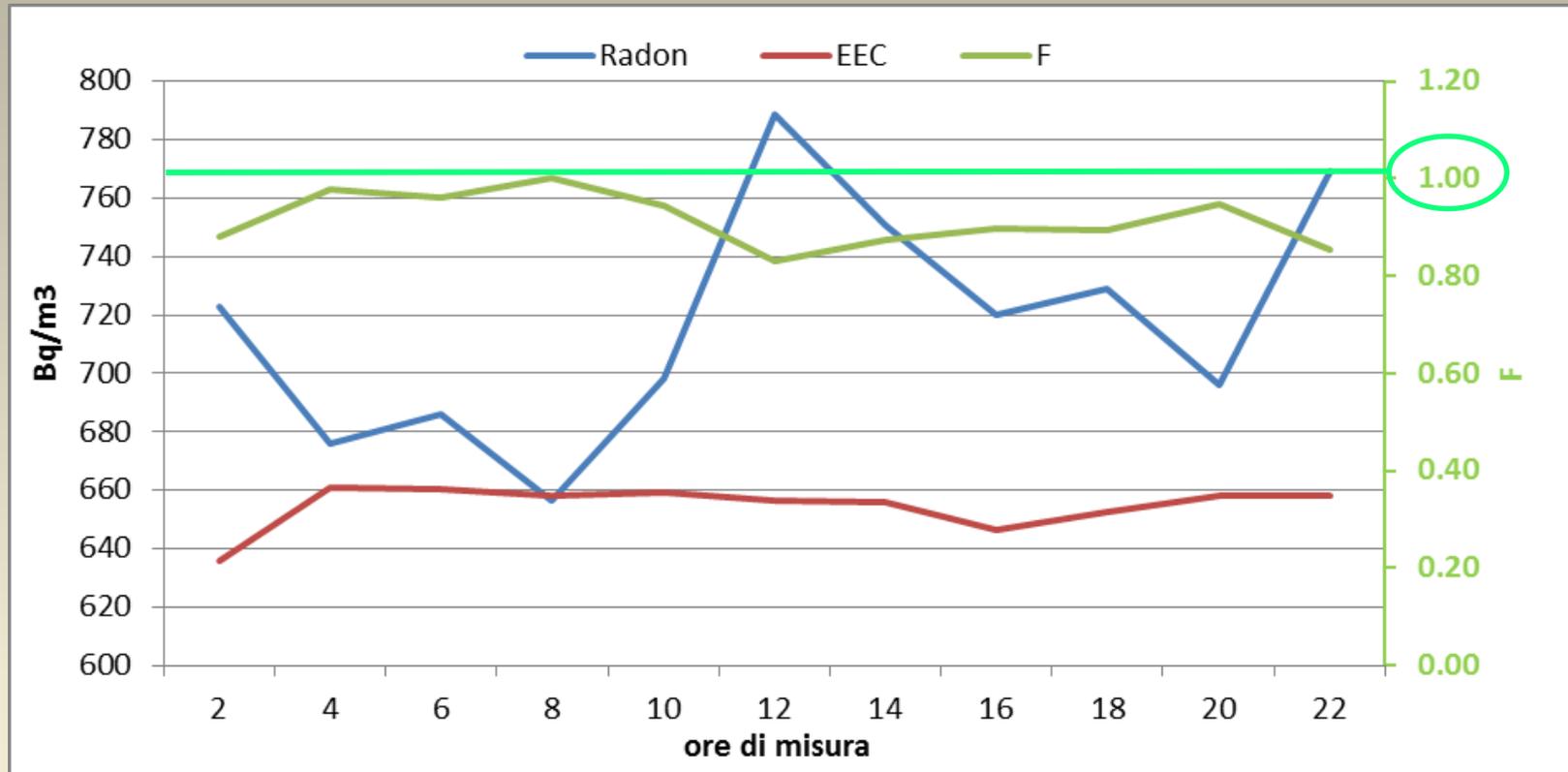
	TUNNEL MONTEBIANCO
C_{Rn} (Bq/m ³)	1208 ± 953
EEC (Bq/m ³)	627 ± 576
F(t)	0.20 < F < 0.72
F _{medio}	0.55

Confronto F beta – F alfa puntuale (contemporanee)

<p>F_{puntuale} (β)</p> <p>Φ = 25l/min., t_{sampl.} = 15 e 60 l/min. Φ = 40l/min, t_{sampl.} = 60 l/min.</p>	<p>0.22÷0,23 ±0.02</p>
<p>F_{puntuale} (EQF)</p>	<p>0.22 ±0.02</p>

MISURE $C_{Rn}(t)$ e $EEC^{TOT}(t)$ - GROTTA DI BOSSEA

GB1



EQF 3220: andamenti di $C_{Rn}(t)$, $EEC^{TOT}(t)$, $F(t)$.

ANALISI DATI : GROTTA DI BOSSEA

GB2

EQF 3220: distr. $C_{Rn}(t) \pm \sqrt{\sigma}$, distr. $EEC^{TOT}(t) \pm \sqrt{\sigma}$, distr. $F(t)$, $\langle F \rangle$

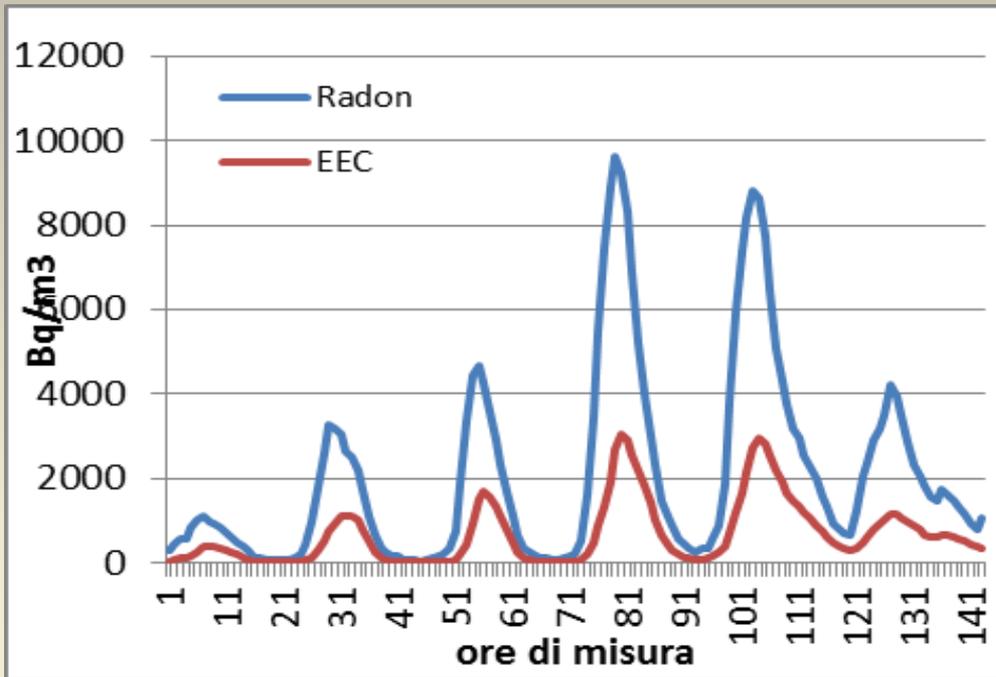
	GROTTE BOSSEA
C_{Rn} (Bq/m ³)	718 ± 40
EEC (Bq/m ³)	655 ± 8
F(t)	0.83 < F < 1.00
F _{medio}	0.92

Confronto F beta – F alfa puntuale (contemporanee)

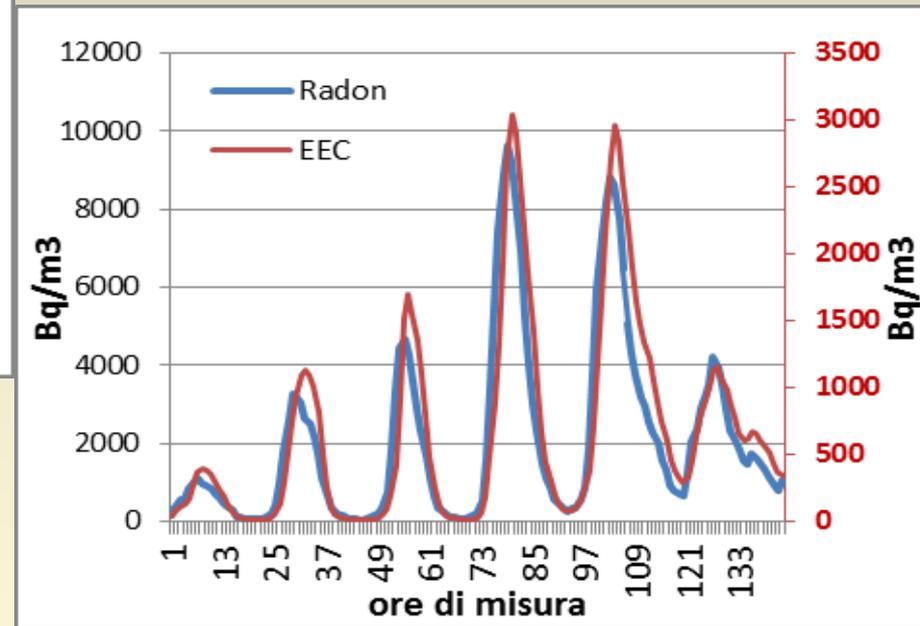
$F_{puntuale}(\beta)$ $\Phi = 9l/min., t_{sampl.} = 30 min. (x3)$	0.94 ± 0.02
$F_{puntuale}(EQF)$	0.92 ± 0.05

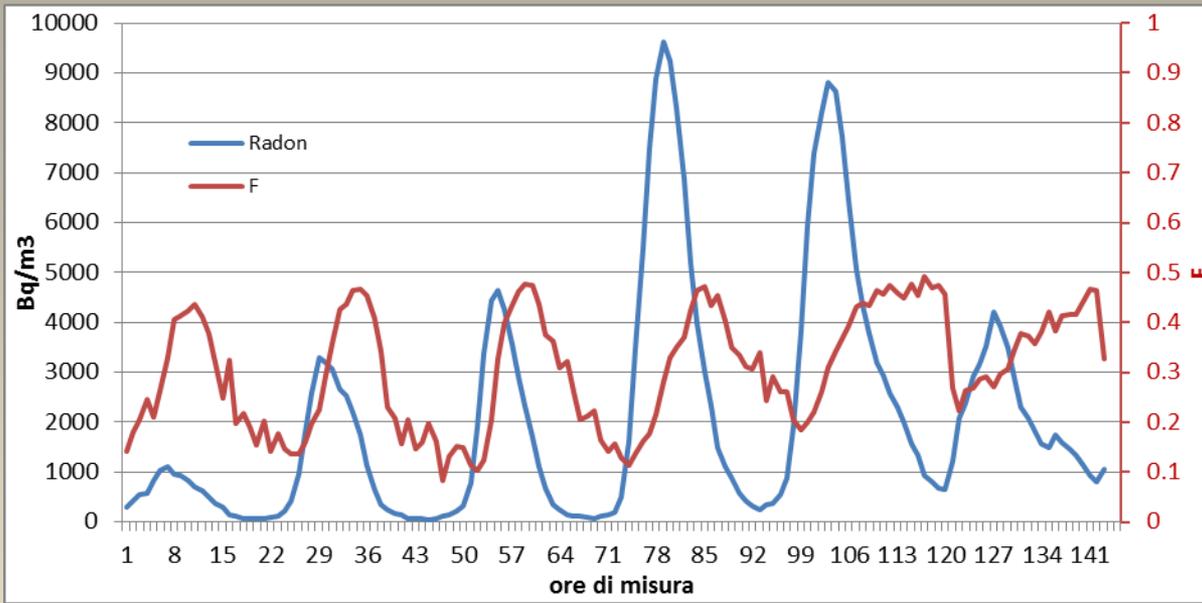
MISURE $C_{Rn}(t)$ e $EEC^{TOT}(t)$ CANTINA ARNAD (AO)

ARN1



Andamenti di $C_{Rn}(t)$ e di $EEC(t)$

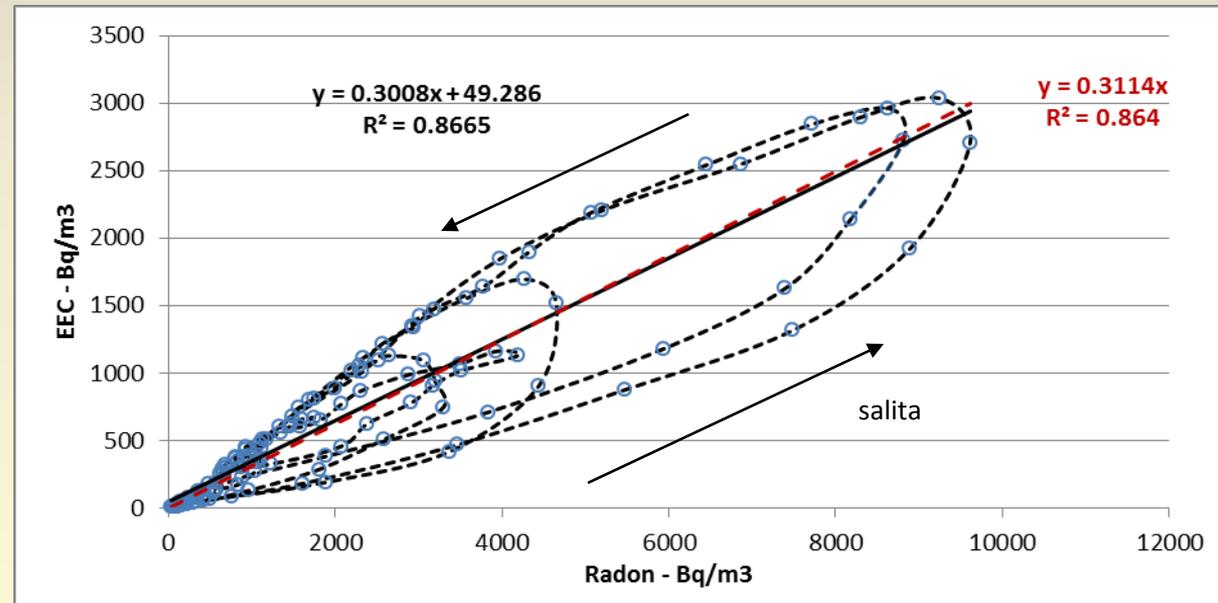




Andamento di $C_{Rn}(t)$ e di $F(t)$

$$0,08 < F(t) < 0,49$$

Isteresi dei valori EEC vs. C_{Rn} :
 valori più bassi in fase di
 accumulo rispetto alla fase di
 decremento. i figli all'interno
 del periodo di misura (1h)
 risentono della situazione
 dell'ora precedente
 Questo ritardo nella crescita
 dei figli è particolarmente
 accentuato da un tasso di
 rimozione dei figli stimato pari
 a 3 h^{-1} .



Isteresi di EEC vs. C_{Rn}

EQF 3220: distr. $C_{Rn}(t) \pm \sqrt{\sigma}$, distr. $EEC^{TOT}(t) \pm \sqrt{\sigma}$, distr. $F(t)$, $\langle F \rangle$

	<i>CANTINA ARNAD</i>
C_{Rn} (Bq/m ³)	2069 ± 2315
EEC (Bq/m ³)	672 ± 748
F(t)	0.08 < F < 0.49
F_{medio}	0.31

$F_{medio} = \mathbf{0.31 \pm 0.12}$ dalla media dei singoli valori di F(t)

$F_{medio} = \mathbf{0.32}$ dal rapporto della media degli EEC(t) e delle C_{Rn}

$F_{medio} = \mathbf{0.31}$ dal coefficiente angolare della retta di regressione passante per l'origine (anche in questo caso la differenza con quella non passante per l'origine non è significativa).

Data la simmetria dei dati rispetto alla retta di regressione, si ritiene attendibile quest'ultima stima di F_{medio} , anche se la relazione tra la EEC e C_{Rn} non è lineare.

Confronto F_{β} – F_{α} puntuale (contemporanee)

La misura puntuale di F effettuata a inizio campagna con concentrazioni di radon relativamente contenute ha fornito il valore di **$F=0.12 \pm 0.01$** .

Successivamente è stata ripetuta quando il radon aveva raggiunto concentrazioni di migliaia di Bq/m^3 ottenendo **$F=0.27 \pm 0.03$** .

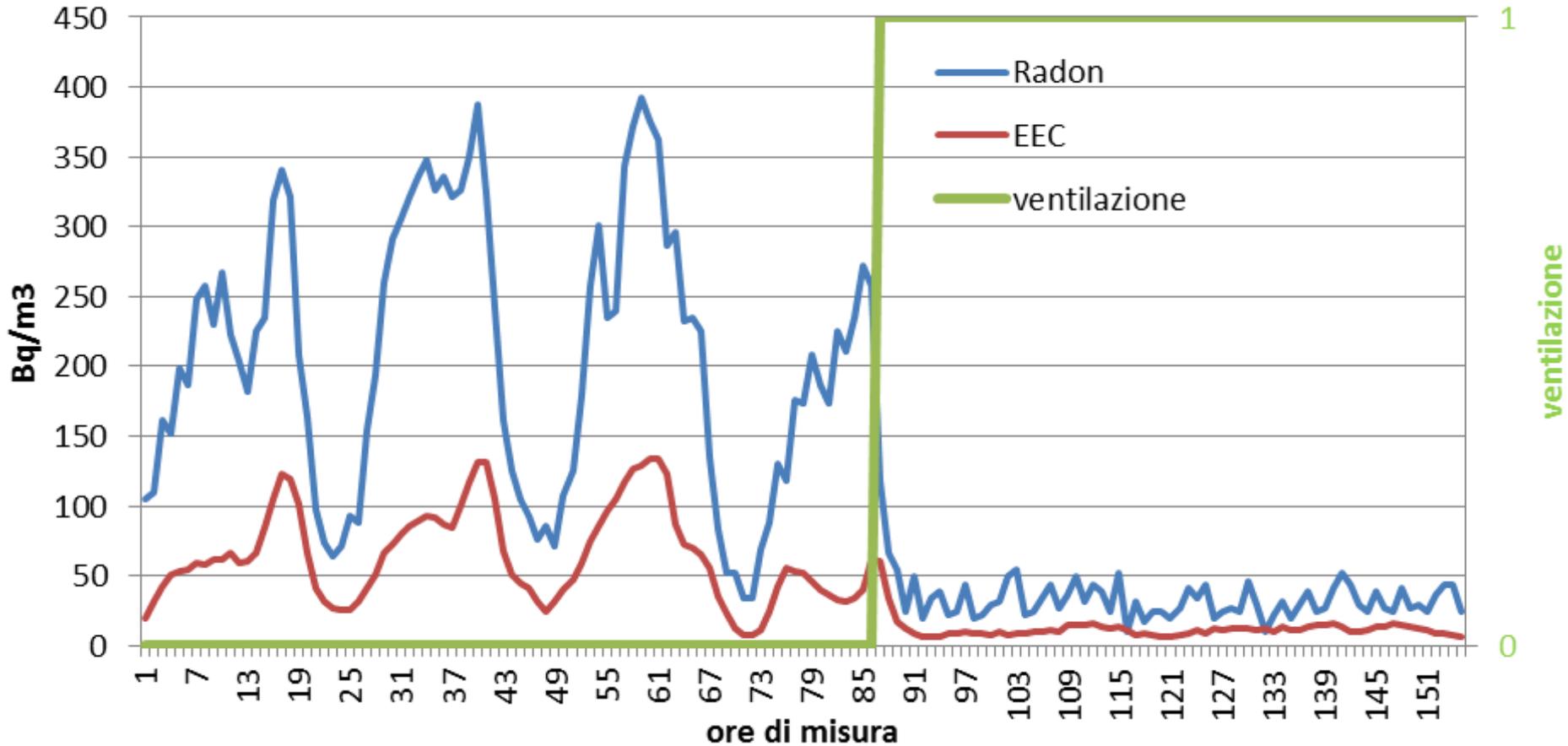
Tali valori sono da confrontarsi con i relativi rapporti $EEC(t) / C_{Rn}(t)$ negli stessi periodi : **$F=0.14 \pm 0.01$** e **$F=0.27 \pm 0.01$** .

Anche in questo caso l'accordo tra i dati risulta ottimo.

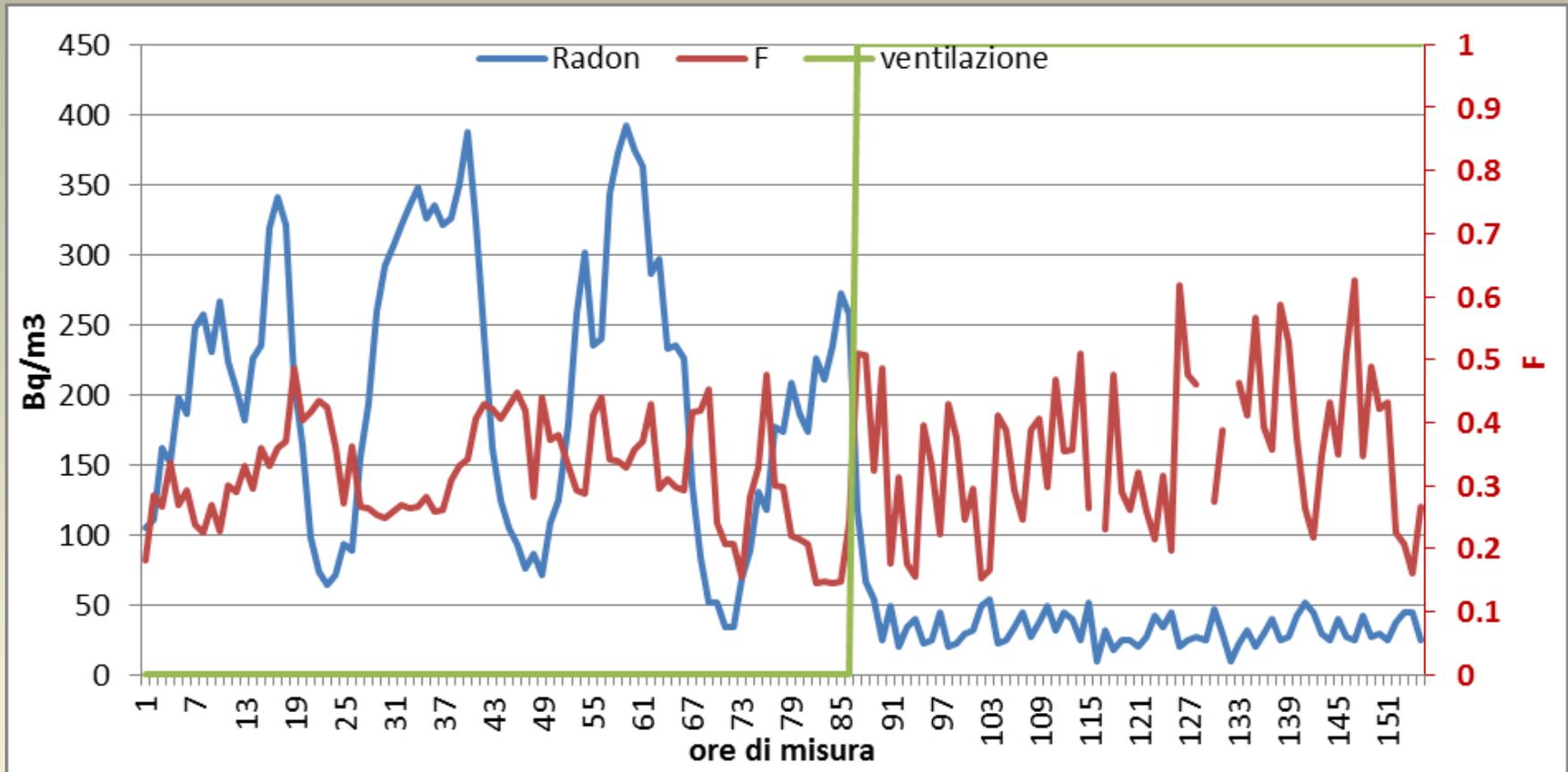
	CANTINA ARNAD (mattino)	CANTINA ARNAD (sera)
$F_{\text{puntuale}} (\beta)$ $\Phi = 25l/min., t_{\text{sampl.}} = 30 \text{ min.}$	0.12 ± 0.01	0.27 ± 0.03
$F_{\text{puntuale}} (EQF)$	0.14 ± 0.01	0.27 ± 0.01

MISURE $C_{Rn}(t)$ e $EEC^{TOT}(t)$ - ABITAZIONE AOSTA

$C_{Rn}(t) < 50 \text{ Bq/m}^3$ grazie all'azione di un aspiratore da $150 \text{ m}^3/\text{h}$ nel sottostante vespaio aerato.



Andamenti di $C_{Rn}(t)$ e di $EEC(t)$ senza e con ventilazione vespaio



Andamenti di $C_{Rn(t)}$ e di $F(t)$ senza e con ventilazione vespaio

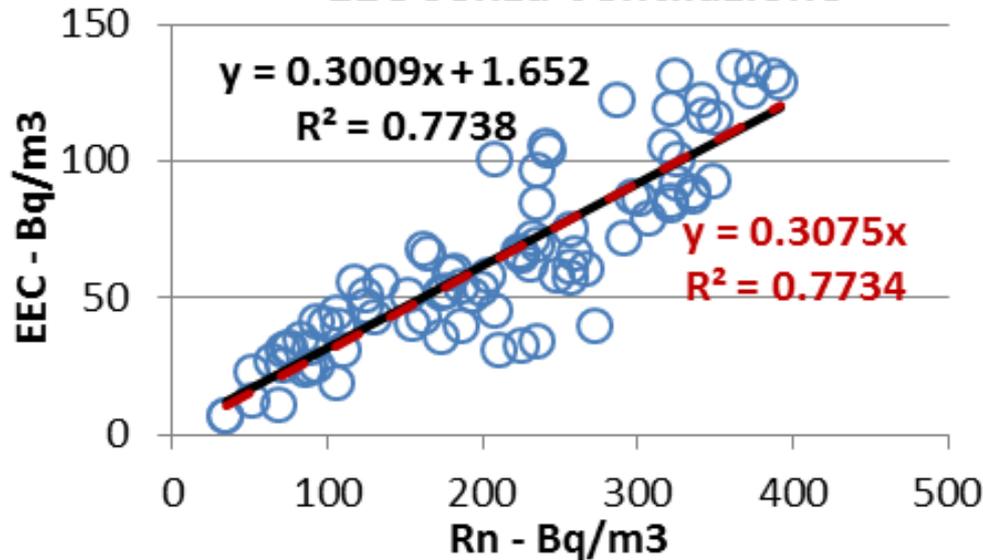
$0.14 < F < 0.49$ quando la ventilazione è spenta

F oscilla con ventilazione accesa e concentrazioni di radon molto basse.

EEC vs. C_{Rn} senza e con ventilazione

Con ventilazione accesa non si ha nessuna relazione, mentre con ventilazione spenta esiste una relazione lineare ($R^2 > 0.77$) che permette di confermare il valore di F_{medio} ricavato precedentemente (0.31).

EEC senza ventilazione

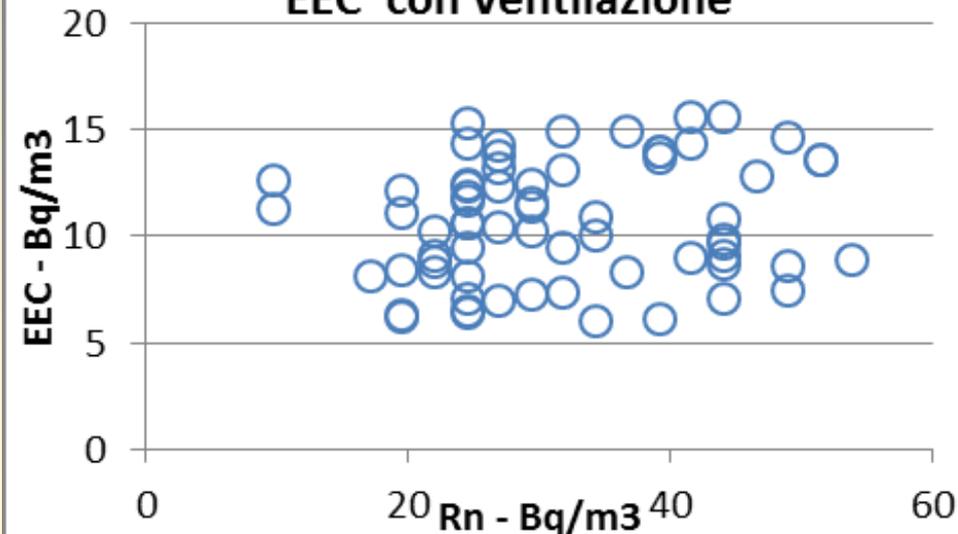


$F_{\text{medio}} = 0.31 \pm 0.08$ dalla media dei singoli valori di $F(t)$

$F_{\text{medio}} = 0.31$ dal rapporto della media degli EEC(t) e delle $C_{Rn}(t)$

$F_{\text{medio}} = 0.31$ dal coefficiente angolare della retta di regressione passante per l'origine (la differenza con quella non passante per l'origine non è significativa).

EEC con ventilazione



ANALISI DATI : ABITAZIONE AOSTA

AO4

EQF 3220: distr. $C_{Rn}(t) \pm \sqrt{\sigma}$, distr. $EEC^{TOT}(t) \pm \sqrt{\sigma}$, distr. $F(t)$, $\langle F \rangle$

	ABITAZIONE AOSTA (ventilazione spenta)
C_{Rn} (Bq/m³)	207 ± 98
EEC (Bq/m³)	64 ± 34
F(t)	$0.14 < F < 0.49$
F_{medio}	0.31

Confronto F beta – F alfa puntuale (contemporanee)

$F_{puntuale}(\beta)$ $\Phi = 9l/min., t_{sampl.} = 30 min.$	0.30 ± 0.03
$F_{puntuale}(EQF)$	0.26 ± 0.09

CONCLUSIONI 1

Misure effettuate in 4 ambienti differenti hanno evidenziato grande variabilità di F sia nello spazio che nel tempo.
I valori vanno da circa 0.01 a poco meno di 1.

CONCLUSIONI 2

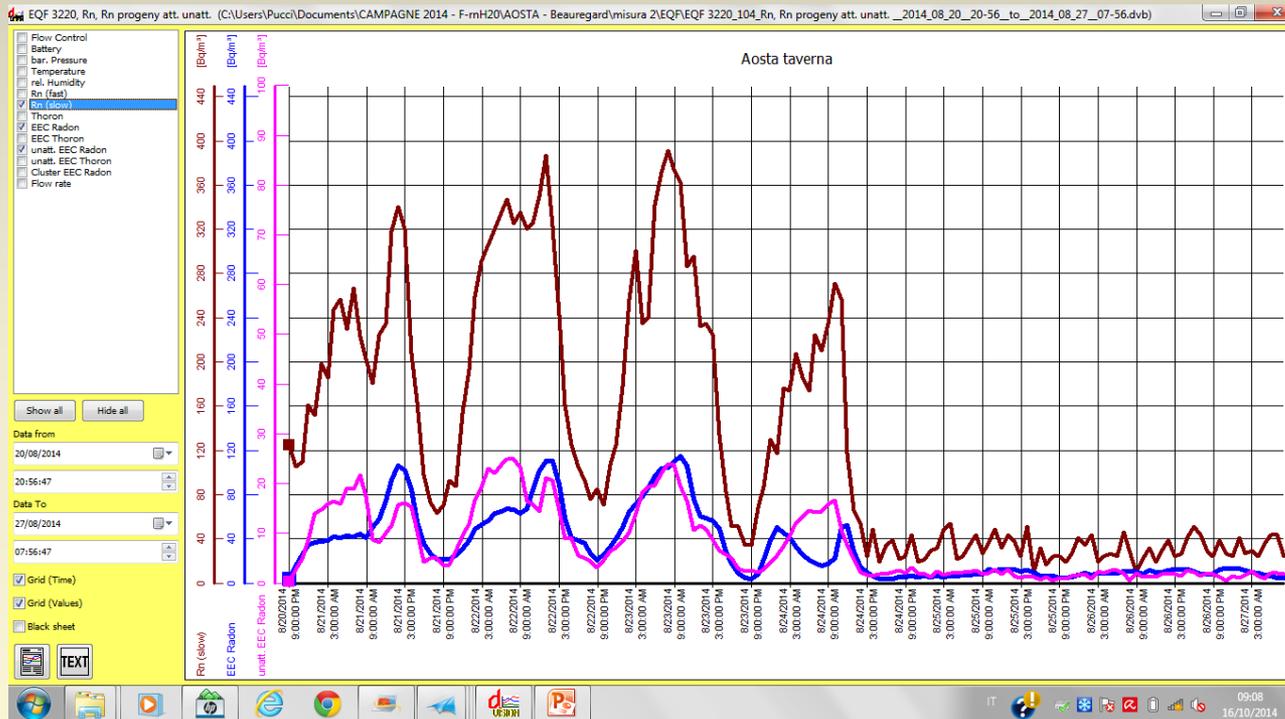
Le misure puntuali di F da attività beta su filtro sono state trovate in ottimo accordo con la stima di F dagli andamenti nel tempo di radon e figli .

CONCLUSIONI 3

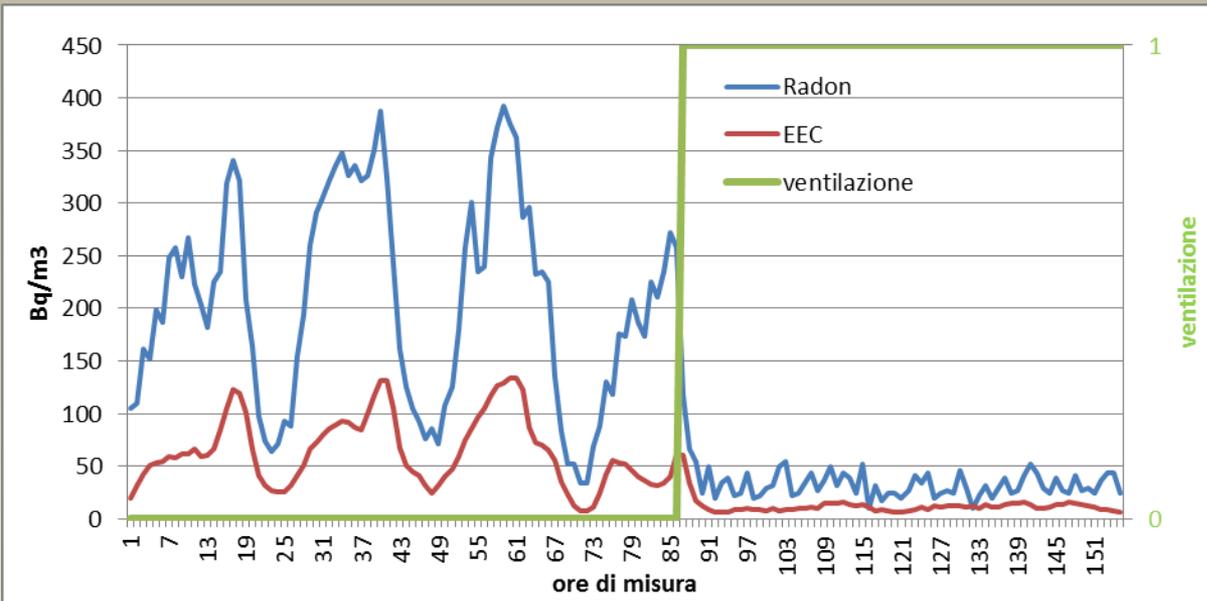
Con le misure in continuo diversi percorsi possibili di stima di EEC e di F ai fini dosimetrici.

SVILUPPI FUTUR₁

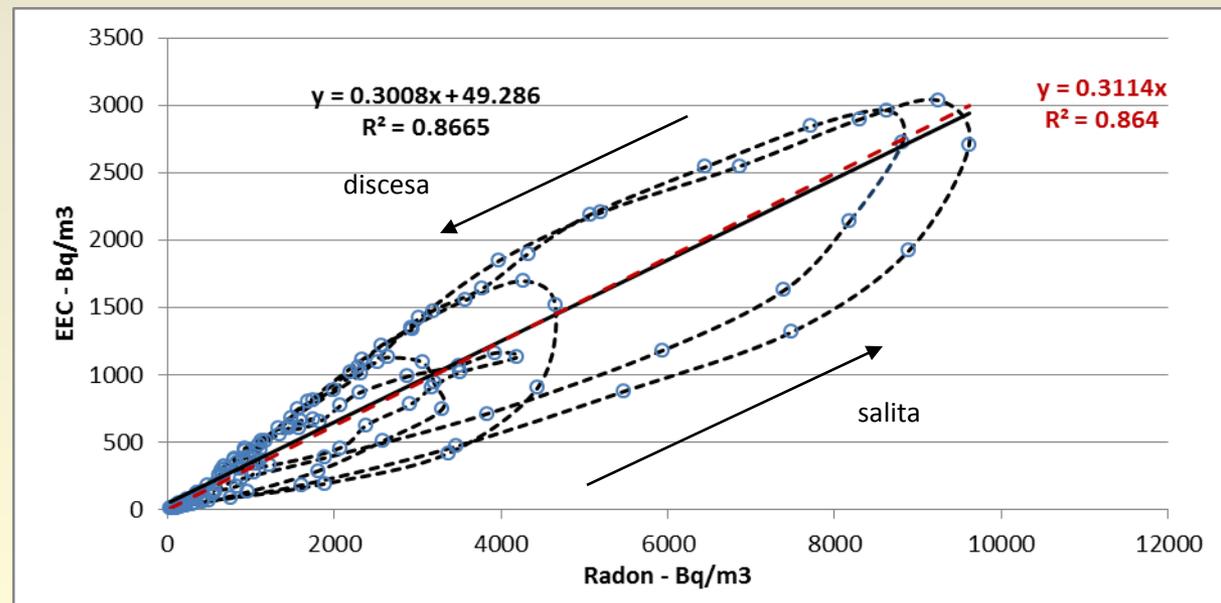
- Approfondimento sulle dinamiche Radon / figli (EEC) [EEC^a(frazione fine) e EEC^u (frazione “ultra-fine”)]



SVILUPPI FUTUR12



- Correlazioni Radon / Figli / /Parametri Amb.



SVILUPPI FUTUR13

- Ricerca di linee generali di andamenti R_n / Ambiente indoor
→ classi indoor secondo F ?

	TUNNEL MONTEBIANCO	ABITAZIONE AOSTA	GROTTE BOSSEA	CANTINA ARNAD (mattino)	CANTINA ARNAD (sera)
$F_{\text{puntuale}} (\beta)$	0.22 ±0.02	0.30 ±0.03	0.94 ±0.02	0.12 ±0.01	0.27 ±0.03
$F_{\text{puntuale}} (\text{EQF})$	0.22 ±0.02	0.26 ±0.09	0.92 ±0.02	0.14 ±0.01	0.27 ±0.01

GRAZIE DELL'ATTENZIONE