

Misure in campo del fattore di equilibrio del radon

Massimo Faure Ragani ¹, Enrico Chiaberto ², Giuseppina Arman ¹,

Mauro Magnoni ², Valery Chmill ³, Massimo Caccia ³

¹ ARPA Valle di Aosta, Loc. Grande Charrière 44, 11020 Saint Christophe (AO),
m.faureragani@arpa.vda.it

² ARPA Piemonte, Via Jervis 30, 10015 Ivrea (TO), enrico.chiaberto@arpa.piemonte.it

³ Università degli Studi dell'Insubria, 22100 Como, massimo.caccia@uninsubria.it

INTRODUZIONE

Con l'adozione da parte dell'ICRP 115[1] dell'approccio dosimetrico nel calcolo della dose efficace dovuta all'esposizione al radon, la misura del fattore di equilibrio F tra le concentrazioni di radon e dei figli a vita breve riveste un ruolo sempre più importante nell'ambito della radioprotezione, sia in ambienti di lavoro sia in ambienti domestici. Si riconosce infatti che vi possano essere situazioni in cui il valore di tale fattore differisce significativamente da quanto convenzionalmente assunto finora (F=0.4 per il calcolo della dose efficace).

Attualmente la misura del fattore di equilibrio non è eseguita, soprattutto in Italia, in maniera sistematica sia per la complessità sia per il costo della misura stessa.

All'interno del progetto RADICAL (RADon: Integrating Capabilities of Associated Labs) si è sviluppata una metodica per il calcolo di F basata sulle misure di concentrazione di attività del radon in aria e della progenie raccolta su filtro. Quest'ultima misura viene effettuata tramite la determinazione della radioattività beta totale presente su un filtro di raccolta del particolato. Dal confronto tra questa attività misurata sperimentalmente e quella teorica ricavata a partire dalla sola concentrazione di radon in aria, si parametrizza l'andamento nel tempo dell'attività della progenie in funzione del tasso di rimozione (ventilazione e plateout) e si ricava il fattore di equilibrio [2].

Nel presente lavoro sono riportate alcune esperienze di misura in campo del fattore di equilibrio effettuate con questa metodica, tramite l'impiego di un contatore alfa/beta portatile e anche alcune serie di misure di F ricavate utilizzando uno strumento capace di fornire l'andamento nel tempo della concentrazione equivalente all'equilibrio (EEC).

MATERIALI E METODI

MISURA PUNTUALE DI F

La metodica di determinazione di F mediante misure puntuali utilizza un monitore in continuo per il radon, un sistema di campionamento polveri (testa di raccolta particolato con filtro e pompa a flusso controllato) e un contatore alfa/beta totale portatile. Questi gli strumenti nel dettaglio (Figura 1):

- *Alphaguard PQ2000 PRO* (Genitron_SAPHYMO_De)[3] : misuratore in continuo del gas radon a risposta rapida con rivelatore costituito da una camera a ionizzazione (sensibilità 1 cpm a 20 Bq/m³); campo di risposta lineare : 2 - 2.000.000 Bq/m³; in modalità diffusione: tempi di conteggio 10 o 60 minuti; misure contemporanee di T, P e RH.
- *Radim 5B* (SSM J.Pich Eng._PRAGUE)[4] : misuratore in continuo della concentrazione di gas radon, di sensibilità paragonabile a quella dell' Alphaguard, dotato di un rivelatore a stato solido a barriera di Si sensibile ai due figli alfa-emettitori a vita breve del radon, ²¹⁸Po e ²¹⁴Po. Esso misura con un intervallo fisso di conteggio pari a 60 minuti ed è dotato di un data-logger interno per la memorizzazione fino a 60.000 misure.
- *Campionatore di particolato digitale a portata costante*: mod.DIGIT_ZAMBELLI con pompa a membrana. Il controllo digitale del flusso permette di mantenere la portata costante per tutta la durata del campionamento 0.40-40 l/min. Testa di campionamento polveri totali: diametro area attiva filtro 37 mm; materiale filtro: membrana di esteri misti di cellulosa Millipore AA 0.8 µm.

- *Ludlum 3030P* [5]: contatore alfa/beta a doppio canale con rivelatore a stato solido tipo PIP'S "built-in". Efficienze ϵ_α (4π): 39% per ^{239}Pu ; ϵ_β (4π): 36% per $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$; Fondo accettabile in $10\mu\text{R/hr}$: 10 min cont.fondo $\alpha=0.6$ cpm; 10 min cont.fondo $\beta=27,6$ 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%

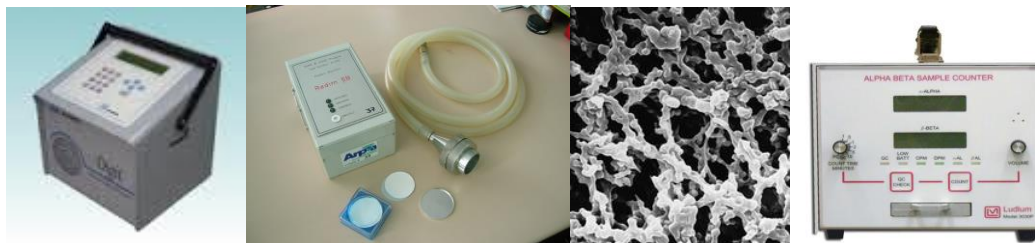


Figura 1 Strumentazione utilizzata per la misura puntuale di F. Da sinistra:pompa Zambelli, Radim5B e testa di prelievo, immagine al SEM di un filtro in esteri misti di cellulosa Millipore AA, contatore alfa/beta Ludlum

Metodica per la determinazione della concentrazione in aria dei figli a breve vita di ^{222}Rn e relativo F: misure e calcoli

Il fattore di equilibrio è raramente uguale a 1, ossia il radon non è mai all'equilibrio secolare con i figli. In ambienti indoor risulta mediamente compreso tra 0.3 e 0.8 a causa della condizioni ambientali. Il modo con cui F varia in funzione dei parametri ambientali è assai complesso ed è regolato principalmente da meccanismi che riducono le concentrazioni dei radionuclidi in aria come la ventilazione, che agisce sul radon e la progenie, e il "plate out" cioè la deposizione sulle superfici, che influenza solo i figli. Nel presente lavoro i meccanismi di riduzione delle concentrazioni di attività della progenie sono riassunti in un unico parametro detto "tasso di rimozione" (λ_{rem}).

Per la determinazione del fattore di equilibrio F si è misurato il radon per circa 4 ore mediante monitore in continuo (Alphaguard / Radim5B), successivamente è stato effettuato un campionamento di aria su filtro (15-30-60 minuti) con un flusso di aspirazione basso (9 - 25 l/min) ed è stata analizzata la radioattività beta totale del filtro. La curva di decadimento dell'attività β totale ($^{214}\text{Pb} + ^{214}\text{Bi}$) raccolta su filtro viene interpretata mediante un modello semplificato del "room model" di Jacobi-Porstendorfer [2], che simula la crescita su filtro dei figli durante l'aspirazione e il successivo decadimento. Confrontando gli andamenti sperimentali di decadimento con quelli teorici ottenuti in funzione del tasso di rimozione, si ricava la curva che meglio si adatta ai dati sperimentali e si calcola il relativo fattore di equilibrio F.

MISURA IN CONTINUO DI EEC

La misura in continuo della Concentrazione Equivalente di Radon all'Equilibrio (EEC), ovvero della



Figura 2 EQF 3220

concentrazione ideale di gas radon che produrrebbe una concentrazione di energia potenziale alfa dovuta ai figli a vita breve (PAEC) pari a quella realmente esistente, in cui i figli non sono in equilibrio con il progenitore è stata effettuata mediante lo strumento EQF 3220 (Figura 2) della SARAD Co[6]. Tale strumento permette di misurare in continuo sia l'attività alfa del gas aspirato (^{220}Rn e ^{222}Rn) sia le rispettive progenie in aria, discriminandone la frazione libera ($d_{aerodinamico} < 5$ nm), dalla frazione "attaccata" al particolato ($d_{aerodinamico} > 100$ nm). La separazione avviene grazie ad una speciale testa di campionamento che presenta nell'ordine di ingresso del flusso prima uno schermo per i figli "non attaccati" al particolato o "liberi", al quale si affaccia un rivelatore (che misura anche gli "aggregati" con $d_{aerodinamico}$ fino a 20 nm) seguito dal vero e proprio filtro per il particolato cui generalmente è adesa la porzione maggiore di progenie; ad esso è affacciato un secondo rivelatore. In tale modo l'aria aspirata è privata di tutto il materiale sospeso ed entra nella camera di misura del gas radon purificato dalla componente particellare. Nella camera di misura del gas un terzo detector, identico ai precedenti, discrimina i due isotopi ^{222}Rn e ^{220}Rn grazie alla risoluzione spettroscopica, permettendo la correzione in continuo dei dati riguardanti l'isotopo più diffuso.

Tale strumento permette di misurare contemporaneamente le EEC nelle tre classi dimensionali (“liberi”, “aggregati” e “attaccati”) e la concentrazione di radon in funzione del tempo. Al fine del presente lavoro si considera la EEC totale come somma delle 3 componenti. Poiché il fattore di equilibrio F è definito come il rapporto di questa grandezza con la concentrazione di radon, è stato possibile esprimere F non solo come valore “medio”, bensì come funzione del tempo, stimolando un’interpretazione più ampia delle stesse grandezze sia dal punto di vista dosimetrico che più squisitamente ambientale.

CARATTERISTICHE DEI SITI MONITORATI:

1. *Centrale di ventilazione sud – Tunnel del Traforo del Monte Bianco (AO)* [7]. E’ un locale di grandi dimensioni (30m x 20m x 10m) posto sotto il piazzale di ingresso del lato italiano del tunnel, dove sono presenti i 4 grossi ventilatori che prelevano l’aria esterna dalla torre di aerazione e la immettono nella galleria. L’aerazione del locale è naturale ed è fornita da un grosso lucernaio di cui non sono programmati orari di apertura.. All’interno della centrale sono presenti dei condizionatori che ricircolano l’aria e la raffreddano, mantenendo una temperatura all’incirca di 29°C -30°C
1. *Abitazione ad Aosta - piano terreno senza cantina*. L’ambiente presenta un pavimento piastrellato con guaina ‘anti-radon’, le pareti sono in cemento intonacato e pietra a vista, sono presenti una finestra, una porta verso l’esterno e una scala che porta al piano superiore dell’abitazione. Sotto il pavimento è presente un vespaio in cui è predisposta la depressurizzazione mediante aspiratore da 150 m³/h.
2. *Grotte di Bossea – Salone dell’Orso (CN)* [8]. Il grande antro si trova a circa 500 m dall’ingresso alle grotte. La ventilazione è scarsa poiché il torrente carsico che costituisce il principale fattore di perturbazione dell’aria non affiora in questa parte delle grotte e l’ingresso della grotta è distante.
3. *Cantina presso abitazione ad Arnad (Aosta)*. L’ambiente ha il pavimento in terra battuta, le pareti di pietra e si trova ad una profondità di 3.5m dal piano campagna. L’aerazione è bassa e garantita da 2 piccole finestre senza chiusura e una porta verso l’esterno.

RISULTATI

In tutti gli ambienti analizzati sono state eseguite delle indagini per valutare la rappresentatività di misure puntuali di F rispetto al monitoraggio in continuo della EEC e della concentrazione di radon per periodi generalmente di qualche giorno. Per ogni sito si presentano:

- l’andamento delle concentrazioni di radon (C_{Rn});
- l’andamento delle EEC e di F ;
- la stima di F_{medio} a partire dai dati in continuo;
- la misura puntuale del fattore di equilibrio $F_{puntuale}$ (β) ottenuta tramite i conteggi beta su filtro, confrontata con la misura $F_{puntuale}$ (EQF) ottenuta a partire dai dati in continuo.

CAMPAGNE DI MISURA

A partire da febbraio 2014 sono state condotte varie campagne per la misura di F puntuale e contemporanea misura della EEC in continuo per periodi di 7-10 giorni. In questa sezione si presentano alcuni risultati.

Tunnel Monte Bianco

I rilievi effettuati in questa campagna riguardano la centrale di ventilazione sud del tunnel del Monte Bianco, nel quale il personale può sostare per manutenzione fino a qualche ora al giorno. Tale locale risente degli effetti del complesso sistema di ventilazione del tunnel e può registrare significativi livelli di concentrazione di radon come mostrato in Figura 3 dove è presente anche l’andamento della concentrazione equivalente all’equilibrio (EEC).

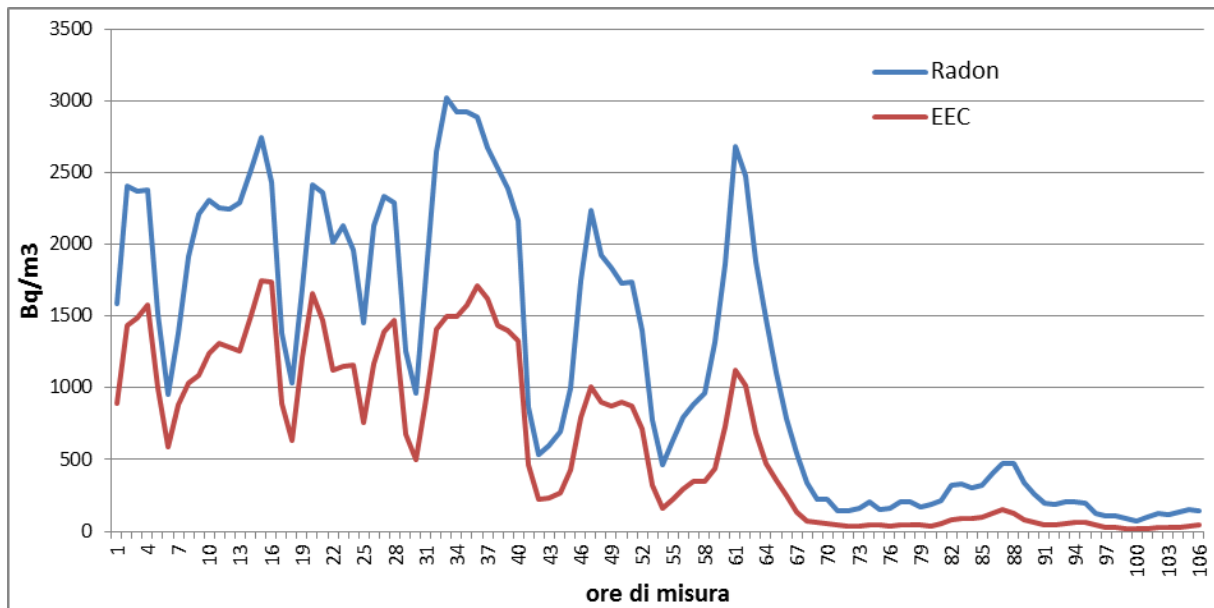


Figura 3 Andamenti della concentrazione di radon e della EEC nella centrale di ventilazione sud del tunnel del Monte Bianco.

Eseguendo il rapporto della concentrazione di radon e della EEC per ogni intervallo di misura si ottiene l'andamento nel tempo della "funzione" F . Nelle figure seguenti è mostrato l'andamento di F e la sua variazione in funzione della concentrazione di radon.

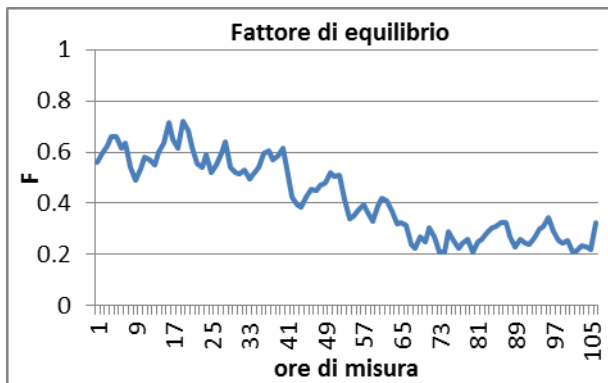


Figura 4 Andamento del fattore di equilibrio nel tempo. Si osserva che $0.20 < F < 0.72$

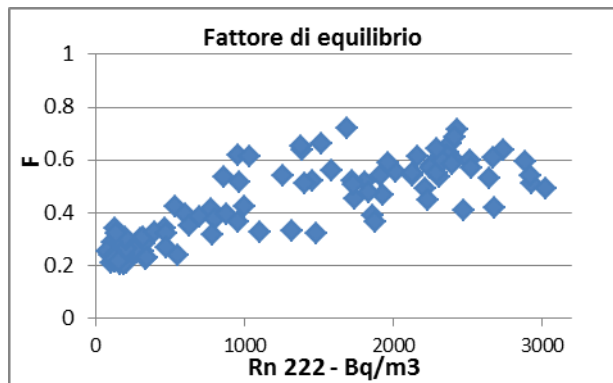


Figura 5 Andamento del fattore di equilibrio in funzione della concentrazione di radon

In Figura 5 si può notare che il fattore di equilibrio risulta inferiore a 0.35 per concentrazioni di radon inferiori a 500 Bq/m^3 , mentre per concentrazioni superiori F varia tra 0.35 e 0.7. Non sono evidenti ulteriori relazioni tra queste due grandezze

Per stimare un fattore di equilibrio medio, si può effettuare la media dei valori di F oppure calcolare il rapporto tra la media delle EEC e la media delle concentrazioni di radon. Nel primo caso si ottiene un valore di F pari a **0.42** con uno scarto tipo di 0.15, nel secondo caso **$F=0.52$** . Per definizione il fattore di equilibrio è quel coefficiente che dovrebbe permettere di ottenere la EEC a partire dalla concentrazione di radon, quindi si considera più attendibile il secondo valore che è calcolato a partire dai valori medi di C_{Rn} e di EEC.

In Figura 6 è riportato l'andamento della EEC in funzione delle concentrazioni di radon e le relative rette di regressione lineare (con e senza intercetta).

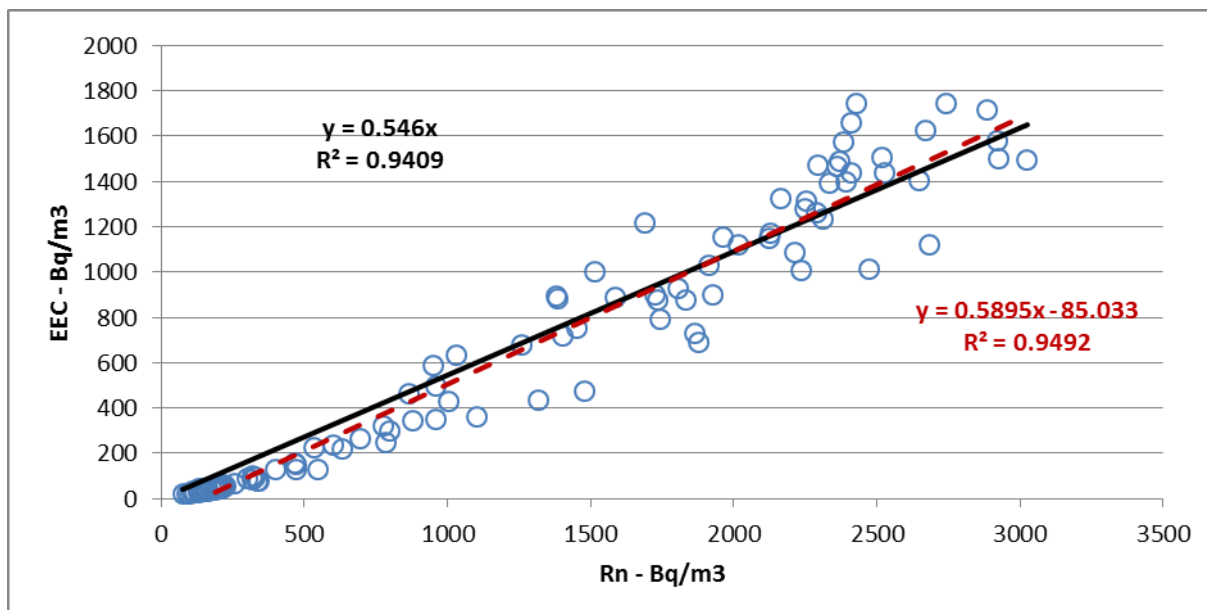


Figura 6 Andamento di EEC in funzione della concentrazione di radon

Si osserva che la relazione è lineare ($R^2 > 0.94$), ma che, senza espressa forzatura, la retta di regressione ha una intercetta non nulla (in questo caso negativa) con l'asse delle EEC. Questa estrapolazione corrisponde ad una situazione (generalmente non fisica) di presenza di radon e contemporanea assenza della progenie. Analoga problematica sussisterebbe nel caso di intercetta positiva per cui ci sarebbe la presenza della progenie in assenza di radon. Da queste analisi si può calcolare un F medio, considerando la retta che passa per l'origine, pari a **0.55**, in quanto il coefficiente angolare della retta di regressione è la miglior stima del rapporto tra le grandezze oggetto della regressione.

La misura puntuale di F è stata effettuata a fine campagna ed è stata eseguita con 3 combinazioni di flusso di aspirazione e durata del campionamento: 15 minuti a 25 l/min, 60 min a 25 l/min e 60 min a 40 l/min. I valori di F ottenuti oscillano tra **0.23 ± 0.02** e **0.22 ± 0.02**, in perfetto accordo con il rapporto EEC/C_{Rn} ricavato dall'EQF 3220 nello stesso periodo che risulta pari a **0.22 ± 0.02**.

Abitazione ad Aosta

Nel locale a piano terra di questa abitazione di montagna ricostruita in calcestruzzo armato su nucleo in pietra, il livello di radon è tenuto al di sotto di 50 Bq/m^3 grazie all'azione di un aspiratore da $150 \text{ m}^3/\text{h}$ posto nel sottostante vespaio aerato. In questa sessione di misura si è tenuta l'aspirazione spenta per i primi quattro giorni, raggiungendo valori di radon di 400 Bq/m^3 e successivamente si è accesa riottenendo valori inferiori a 50 Bq/m^3 . Nel caso di aerazione spenta si osservano gli accumuli giornalieri di radon e di EEC, mentre con l'aspirazione del vespaio attiva l'ingresso del radon all'interno del locale risulta talmente abbattuto, da fare sì che le relative concentrazioni e quella della progenie non presentino particolari andamenti (Figura 7).

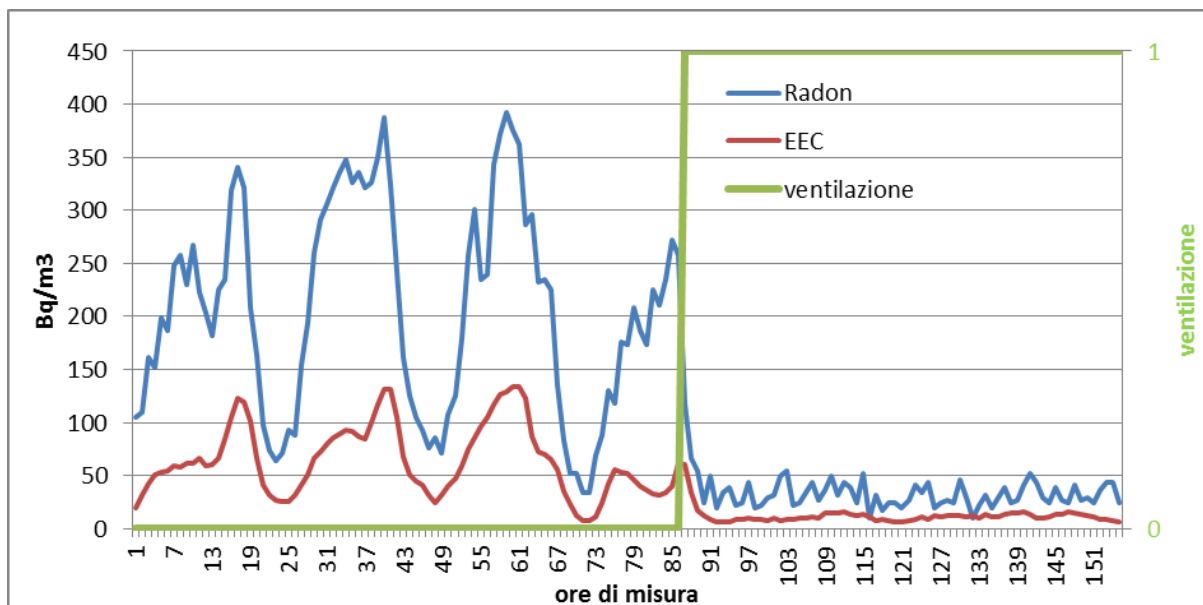


Figura 7 Andamento della concentrazione di radon e della EEC in una abitazione ad Aosta, senza e con ventilazione del vespaio accesa.

In Figura 8 è riportato l'andamento del fattore di equilibrio F , ricavato come rapporto puntuale della EEC con al C_{Rn} . Si nota che con l'accensione della ventilazione e il conseguente abbattimento forzato della concentrazione del radon e della progenie, tale rapporto puntuale ha oscillazioni molto ampie con variazioni orarie anche del 200%. Tale situazione è spiegabile con la presenza della forzante esterna che non permette al radon ed ai figli di seguire un andamento naturale ed anche al fatto che i valori in gioco sono bassi, vicino al limite strumentale.

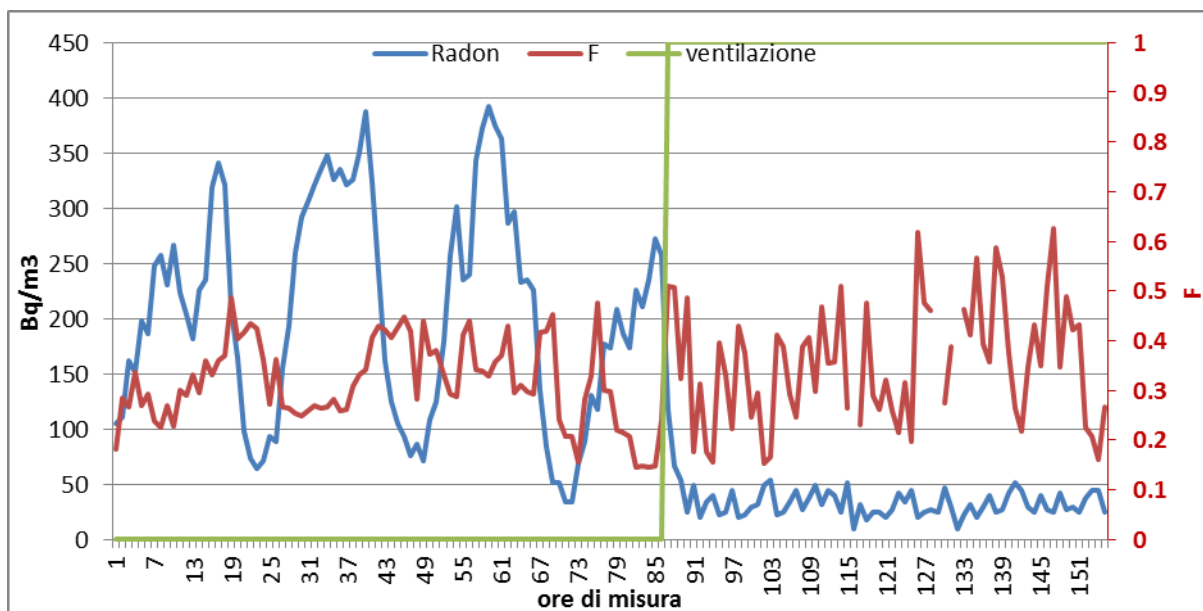


Figura 8 Andamento di F confrontato con le concentrazioni di radon in una abitazione di Aosta, senza e con ventilazione del vespaio accesa. Si osserva che $0.14 < F < 0.49$ quando la ventilazione è spenta e che F oscilla molto nel caso di ventilazione accesa con concentrazioni di radon e figli molto basse.

La stima di F_{medio} , è effettuata solo per il periodo senza ventilazione accesa ed in questo caso porta allo stesso risultato di **0.31** sia effettuando la media degli F orari (con scarto tipo di 0.08), sia calcolando il rapporto della media della EEC con la media delle concentrazioni di radon.

In Figura 9 sono riportati gli andamenti della EEC in funzione della concentrazione di radon nel caso di ventilazione spenta e accesa. Si osserva il diverso comportamento: con la ventilazione accesa non si ha

nessuna relazione tra le due grandezze, mentre con la ventilazione spenta esiste una relazione lineare ($R^2 > 0.77$) che permette di confermare il valore di F_{medio} ricavato precedentemente (0.31), prendendo nuovamente in considerazione il coefficiente angolare della retta di regressione che passa per l'origine. In questo caso il valore dell'intercetta risulta molto vicino allo zero e quindi i coefficienti angolari delle due rette non sono significativamente differenti.

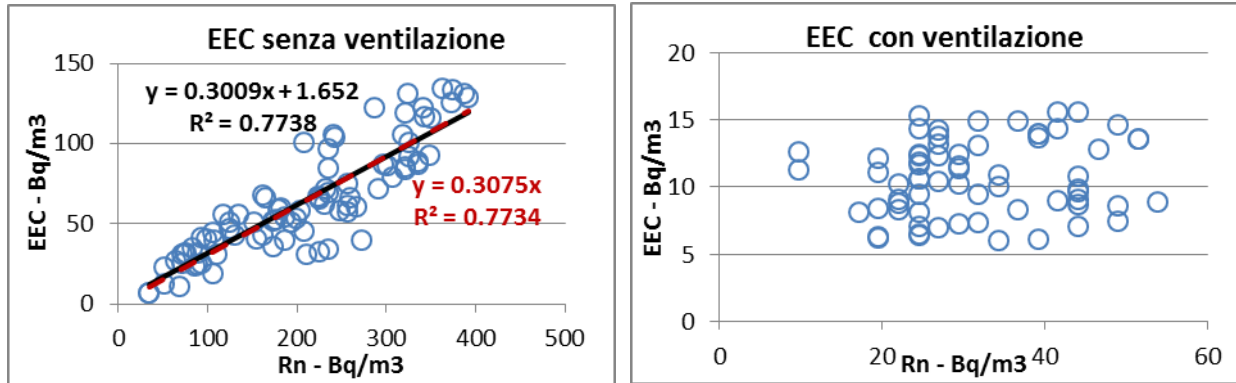


Figura 9 Andamenti della EEC in funzione della concentrazione di radon senza e con ventilazione. Si osserva l'assenza di correlazione nel caso di ventilazione del vespaio accesa.

La misura puntuale di F è stata effettuata con la ventilazione accesa fornendo come risultato 0.30 ± 0.03 . Tale valore è da confrontarsi con il rapporto EEC/C_{Rn} ricavato dall'EQF 3220 nello stesso periodo che risulta pari a: 0.26 ± 0.09 . Da notare come l'incertezza dello strumento a questi bassi valori di concentrazione sia più elevata che nelle altre situazioni e che quindi le 2 misure di F risultano compatibili.

Grotte di Bossea

Nel "Salone dell'Orso" delle Grotte di Bossea (CN), un sistema carsico lungo circa 1.5 km, è stata condotta una campagna di misura del fattore di equilibrio. Purtroppo, data l'elevata umidità relativa (circa 100%) lo strumento EQF 3220 ha avuto problemi di intasamento del filtro ed ha fornito misure attendibili solo per 1 giorno e non per l'intera campagna di 10 giorni (Figura 10).

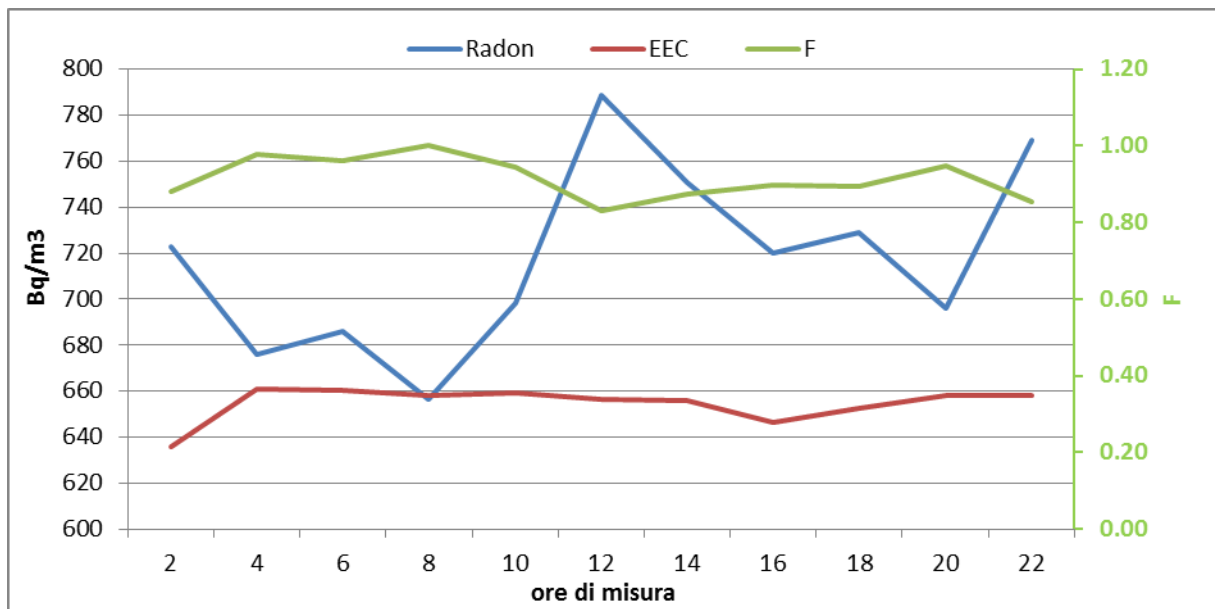


Figura 10 Andamenti della concentrazione di radon, di EEC e di F nella giornata di misura presso le grotte di Bossea

In questo caso, data l'esiguità dei valori a disposizione, si può solo osservare che il fattore di equilibrio si avvicina a 1, evidenziando una situazione di quasi equilibrio secolare tra radon e figli che rimangono in sospensione senza possibilità di rimozione né per ventilazione né per deposizione. Il valore di F_{medio} calcolabile risulta pari a 0.92 con una scarto tipo di 0.05 .

La misura puntuale di F è stata effettuata a inizio campagna per tre volte consecutive con un flusso di 9 l/min per 30 minuti di campionamento ed ha fornito un valore medio pari a **0.94** con uno scarto tipo corretto di **0.02**. Tale valore risulta in ottimo accordo con il valore di F_{medio} ricavato precedentemente (0.92 ± 0.05). In questo caso la misura in continuo è partita appena dopo le misure puntuali di F, ma si ritiene comunque significativo il confronto data la bassa variabilità di F nel periodo scelto.

Cantina ad Arnad (AO)

Questo locale fa parte di una antica abitazione di montagna in pietra ristrutturata, di ampie dimensioni con due piccole finestre poste in alto che garantiscono una bassa aerazione naturale. I livelli di radon raggiunti sono significativi con un grande variabilità giorno-notte, come mostrato in Figura 11. Si nota che la EEC raggiunge i valori massimi giornalieri generalmente un'ora dopo la corrispondente concentrazione di radon (nel secondo picco addirittura 3 ore dopo).

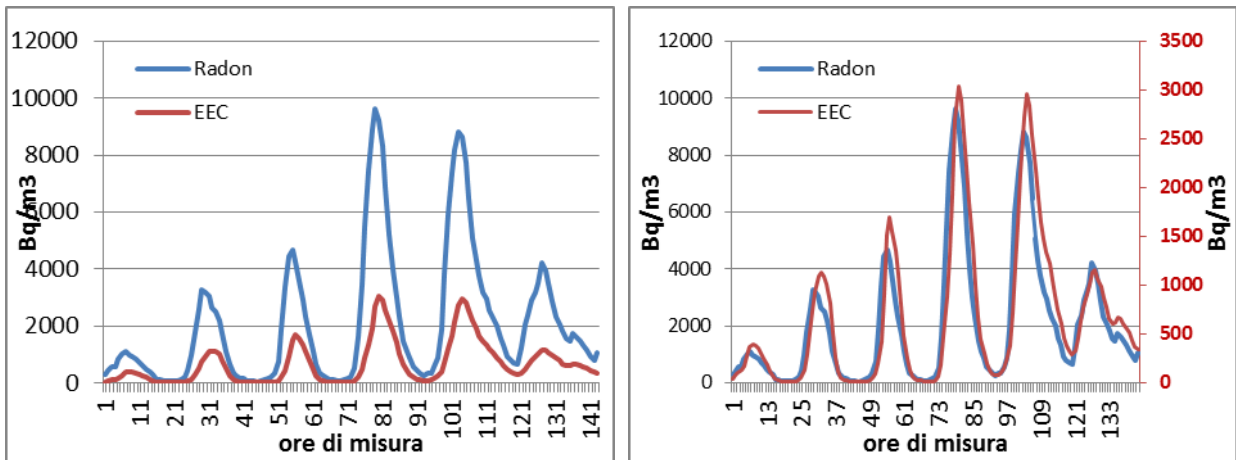


Figura 11 Andamento della concentrazione di radon e della EEC in una cantina ad ARNAD. E mostrato anche il grafico con due assi verticali per evidenziare un ritardo temporale generalmente di una ora nel raggiungimento del valore massimo dei picchi

L'effetto del ritardo temporale è visibile anche nei grafici relativi al fattore di equilibrio (Figura 12 e Figura 13) dove si vede che F varia tra 0.08 e 0.49.

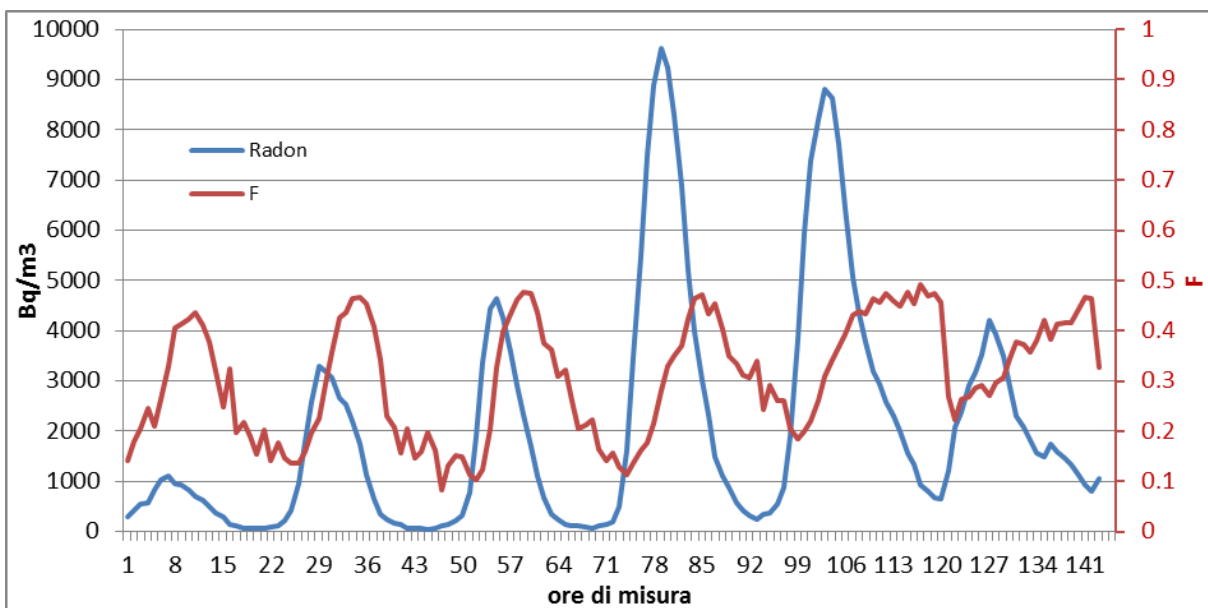


Figura 12 Andamento del fattore di equilibrio confrontato con quello della concentrazione di radon. $0.08 < F < 0.49$.

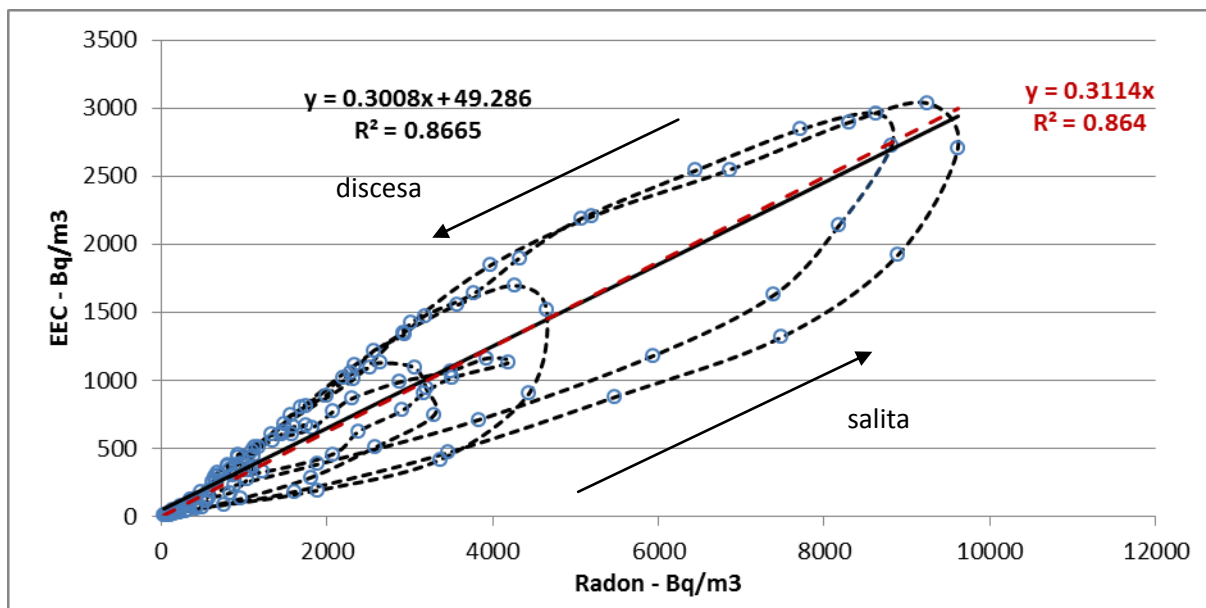


Figura 13 Andamento della EEC in funzione della concentrazione di radon. Si nota un fenomeno di isteresi.

Si nota che la EEC subisce un fenomeno di isteresi: a parità di concentrazione di radon essa assume valori più bassi in fase di accumulo rispetto alla corrispondente fase di decremento. Fisicamente i figli all'interno del periodo di misura (in questo caso 1 ora) risentono molto della situazione dell'ora precedente, non riuscendo a crescere in fase di salita nello stesso modo con cui decrescono in fase di discesa. Questo fenomeno di ritardo della crescita dei figli rispetto al progenitore è intrinseco alla fisica del sistema radon-figli, ma in questo caso è particolarmente accentuato da un tasso di rimozione dei figli relativamente basso (valore 3 h^{-1}). È possibile che questo fenomeno si atteni allungando la durata del ciclo di misura, impostabile fino a 2 ore.

Ragionando come nei casi precedenti, si stima un F_{medio} di **0.31** dalla media degli F orari (con uno scarto tipo di 0.12), di **0.32** dal rapporto della EEC media e della concentrazione media di radon e di **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 la concentrazione di radon non è perfettamente lineare.

La misura puntuale di F è stata effettuata a inizio campagna con concentrazioni di radon relativamente contenute ed ha fornito il valore di **0.12 ± 0.01** . Successivamente è stata ripetuta quando il radon aveva raggiunto concentrazioni di migliaia di Bq/m^3 , fornendo un valore di **0.27 ± 0.03** . Tali valori sono da confrontarsi con i relativi rapporti EEC/C_{Rn} ricavati dall'EQF 3220 negli stessi periodi che risultano essere rispettivamente pari a **0.14 ± 0.01** e **0.27 ± 0.01** . Anche in questo caso l'accordo tra i dati risulta ottimo.

Nella Tab. 1 sono riassunti i dati ottenuti dalle misure in continuo effettuate. Si osserva la variabilità di F che copre valori compresi tra 0.08 e 1. I valori medi di F calcolati si discostano dal valore convenzionale di 0.4 soprattutto nelle grotte di Bossea dove si raggiunge quasi l'equilibrio secolare.

	TUNNEL MONTEBIANCO	ABITAZIONE AOSTA (ventilazione spenta)	GROTTE BOSSEA	CANTINA ARNAD
C_{Rn} (Bq/m^3)	1208 ± 953	207 ± 98	718 ± 40	2069 ± 2315
EEC (Bq/m^3)	627 ± 576	64 ± 34	655 ± 8	672 ± 748
$F(t)$ (EQF)	$0.20 < F < 0.72$	$0.14 < F < 0.49$	$0.83 < F < 1.00$	$0.08 < F < 0.49$
F_{medio}	0.55	0.31	0.92	0.31

Tab. 1 Riassunto dei valori di F determinati secondo misure puntuali e monitoraggio in continuo

Nella Tab. 2 sono riassunte le misure di F puntuali effettuate misurando le concentrazioni di radon in aria e della progenie raccolta su filtro, confrontate con quelle ottenute a partire dalla EEC misurata in continuo dall'EQF3220. Si osserva l'ottimo accordo tra i dati.

	TUNNEL MONTEBIANCO	ABITAZIONE AOSTA (ventilazione accesa)	GROTTE BOSSEA	CANTINA ARNAD (mattino)	CANTINA ARNAD (sera)
F _{puntuale} (β)	0.22 ±0.02	0.30 ±0.03	0.94 ±0.02	0.12 ±0.01	0.27 ±0.03
F _{puntuale} (EQF)	0.22 ±0.02	0.26 ±0.09	0.92 ±0.02	0.14 ±0.01	0.27 ±0.01

Tab. 2 Confronto tra le misure di F puntuali ottenute con la metodica basata sulla misura della radioattività beta della progenie del radon raccolta su filtro e quelle ricavate dallo strumento EQF3220 che fornisce in continuo la concentrazione di radon e la EEC.

Si osserva che la misura puntuale di F effettuata nel Tunnel e al mattino nella cantina di Arnad è stata condotta in situazioni particolari per cui i valori ottenuti sono significativamente diversi dal valore medio. Nel caso del Tunnel, la misura è stata effettuata a fine campagna quando la ventilazione manteneva il livello del radon e di F molto basso rispetto alle giornate precedenti, mentre nella cantina è spiegato dal fenomeno di isteresi descritto precedentemente.

CONCLUSIONI

La misura del fattore di equilibrio F tra le concentrazioni di radon e dei figli a vita breve riveste un ruolo sempre più importante nell'ambito della radioprotezione. Attualmente, però, tale misura non è effettuata, soprattutto in Italia, in maniera sistematica. Queste prime misure effettuate in 4 ambienti differenti (una grotta carsica, un traforo stradale, una cantina ed una abitazione) hanno evidenziato una grande variabilità di questa grandezza sia nello spazio, sia nel tempo con valori che vanno da circa 0.01 a poco meno di 1.

Misure puntuali di F tramite la misura della radioattività beta su filtro sono state confrontate con andamenti di F ottenuti con uno strumento che fornisce direttamente la concentrazione di radon e la EEC (concentrazione equivalente all'equilibrio) ottenendo un ottimo accordo. Con le misure in continuo si è anche cercato di stimare un fattore di equilibrio medio da poter utilizzare nei calcoli dosimetrici. Ulteriori approfondimenti sulle particolari dinamiche di EEC rispetto alla concentrazione di radon e sull'analisi dell'attività della frazione "ultra-fine" della progenie del radon saranno oggetto di futuri studi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40(1).
- [2] Panero et al. *A simple approach to measure the radon equilibrium factor F from air filter gross beta counting*, 2014, Radiation Protection Dosimetry(2014) pp.1–4.
- [3] Alphaguard PQ2000 : http://www.saphymo.com/ftp/ecatalogue/155/ag_fb_gb_04_144dpi_ebook.pdf
- [4] Radim 5B : <http://plch-smm.com/radim5b.php>
- [5] Ludlum 3030P : http://www.ludlums.com/images/stories/product_manuals/M3030P.pdf
- [6] Sarad EQF3220 : http://www.sarad.de/cms/media/docs/handbuch/Manual_RT-M-RPM22xx_EQF32xx_A2M4000_EN_14-12-12.pdf
- [7] Frigerio F., Formica G. *Il controllo del rischio Radon presso il Tunnel del Monte Bianco*, 2013, Italian Journal of Occupational and Environmental Hygiene – [2013,4(4) | 161-169]
- [8] Peano G, Vigna B, Villavecchia E, Agnesod G. *Radon exchange dynamics in a karst system investigated by radon continuous measurements in water: first result*, 2011, Radiation Protection Dosimetry. 2011 May;145(2-3) :173-7