ISTITUTO DI FISICA NUCLEARE

intitolato a Henryk Niewodniczański

ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Cracovia, Polonia

www.ifj.edu.pl/reports/2003.html

Cracovia, marzo 2003

Rapporto n. 1920/AP

CAMERE DI CALIBRAZIONE PER IL RADON
presso l'Istituto di Fisica Nucleare Henryk Niewodniczański

K. Kozak, M. Janik, J. Mazur, E. Kochowska,
J. Bogacz, J. Łoskiewicz, J. Swakoń, T. Zdziarski, R. Haber

Riassunto

Questo rapporto presenta il laboratorio per la calibrazione dei rilevatori di radon. Il laboratorio è dotato di due camere di calibrazione (volume: 200 e 600 litri), due sorgenti di radon (attività di Ra-226: 21,6 kBq e 52,3 kBq), una pompa, un misuratore di portata, un manometro, ecc. L'intervallo delle concentrazioni di radon ottenute va da 35 kBq/m³ a 244 kBq/m³. È stato sviluppato un software per la pianificazione e il controllo della procedura di calibrazione.

Questo lavoro è stato parzialmente finanziato dalla Borsa di Studio n. 6 PO4D 026 19

del Comitato Polacco per la Ricerca Scientifica.

Riassunto

Questo lavoro presenta il laboratorio “Camere al Radon” istituito presso il Laboratorio di Radioattività Naturale (Dipartimento di Fisica Ambientale e Trasporto delle Radiazioni NZ6, IFJ), dedicato alla calibrazione dei rivelatori di radon. Il laboratorio dispone di due camere di calibrazione da 200 e 600 litri, due sorgenti di radon (attività Ra-226: 21,6 kBq e 52,3 kBq), pompe, misuratori di flusso, manometri, ecc. Viene presentato il software “KOMORY v.1.3” utilizzato per pianificare la calibrazione e monitorare i parametri di funzionamento delle camere.

1. Introduzione

Le misure della concentrazione di radon nell’aria servono a determinare l’esposizione radiologica da questo isotopo. Si utilizzano due tipi di rivelatori: passivi e attivi.

I rivelatori attivi misurano direttamente e continuamente la concentrazione, mentre i passivi forniscono una media nel tempo di esposizione.

La misura con i rivelatori passivi avviene in due fasi: esposizione e successiva “lettura” in laboratorio. Con i risultati si calcola la concentrazione media.

I rivelatori passivi si dividono in due gruppi. Il primo utilizza rivelatori a tracce, che rilevano i danni da particelle alfa in materiali plastici. Sono racchiusi in contenitori che permettono l’ingresso del radon. La lettura avviene con trattamento chimico e conteggio delle tracce. Si usano plastiche CR-39 e LR115 [1].

Il secondo gruppo sfrutta l’adsorbimento del radon e dei suoi prodotti di decadimento a vita breve. Si usa carbone attivo. Questi rivelatori misurano la concentrazione negli edifici e l’esalazione dal suolo. Il carbone è in contenitori in alluminio permeabili all’aria. Dopo l’esposizione, il contenitore è sigillato. La lettura si fa tramite spettrometria gamma [2].

I rivelatori attivi usati nel laboratorio sono camere di ionizzazione (AlphaGUARD PQ 2000 e PQ2000PRO), che misurano direttamente la radiazione alfa. Possono operare in modalità diffusiva o a flusso. In modalità diffusiva, il radon entra attraverso un filtro. In modalità a flusso, viene aspirato con una pompa [3].

Le camere di calibrazione e la relativa attrezzatura sono strumenti fondamentali per esporre i rivelatori in modo controllato. Consentono lo sviluppo di nuove tecniche e la taratura della strumentazione dosimetrica. I rivelatori passivi necessitano di una calibrazione preventiva in condizioni note. Il laboratorio dispone di due sorgenti (tipo RN-1025, PYLON, Canada) e due camere progettate internamente.

2. Camera di calibrazione IFJ-KR-200

La figura 1 mostra la camera IFJ-KR-200. È un cilindro verticale in acciaio spesso 1,5 mm. Ha un'altezza di 0,83 m, un diametro di 0,56 m e un volume interno di 211,0 ± 2,4 dm^3. È sigillata mediante saldatura del coperchio e della base. Il coperchio (sigillato con silicone) è fissato con 12 viti serrate con chiave dinamometrica.

Fig. 1. Camera di calibrazione al radon IFJ-KR-200.

I raccordi installati, dotati di valvole per gas, permettono il ricircolo dell'aria in un circuito chiuso attraverso la sorgente di radon all'interno della camera, nonché la ventilazione della camera prima e dopo l'esperimento. Nella parte superiore della camera è installato un manometro per controllarne la tenuta. Il collegamento al pannello di controllo è effettuato tramite tubi in PVC.

3. Camera di calibrazione al radon IFJ-KR-600

Una vista generale della camera IFJ-KR-600 è mostrata nella fig. 2.

Fig. 2. Camera di calibrazione al radon IFJ-KR-600.

La camera IFJ-KR-600 ha un volume di 608,0 ± 2,4 dm^3. Le sue dimensioni sono: lunghezza 2,2 m, diametro 0,6 m. È costruita in lamiera d'acciaio spessa 3 mm. Lo schema costruttivo è mostrato nella fig. 3. La parte principale della camera è un cilindro d'acciaio chiuso ermeticamente con un coperchio fissato da sei viti, serrate con una chiave dinamometrica per garantire la tenuta.

La camera è dotata di sette valvole che consentono il riempimento con radon da sorgenti fissate sul pannello di controllo, l'aerazione prima e dopo l'esposizione e il collegamento di strumenti di misura (es. AlphaGUARD) per monitorare le condizioni interne. È dotata di impianto elettrico (12 V e 220 V) per alimentare i dispositivi interni. Tre coppie di morsetti elettrici (passanti a vuoto) permettono il controllo esterno.

All'interno è installata una ventola che assicura la circolazione dell'aria e una distribuzione omogenea del radon. Il controllo (accensione/spegnimento e velocità) avviene tramite un sistema esterno. Un ripiano su guide permette il posizionamento di rivelatori o strumenti a distanze variabili. L'interno può essere illuminato se necessario.

Le valvole di collegamento al pannello di controllo e quelle per strumenti esterni si trovano nella parte superiore della camera. La valvola per l'aria compressa (per la ventilazione) è posta sul retro (valvola 7 – fig. 3), mentre quella di uscita (valvola 1 – fig. 3) è nella parte anteriore. Questa disposizione garantisce una rapida ed efficace rimozione del radon. L'aria compressa è immessa tramite un riduttore di pressione dotato di valvola di sicurezza.

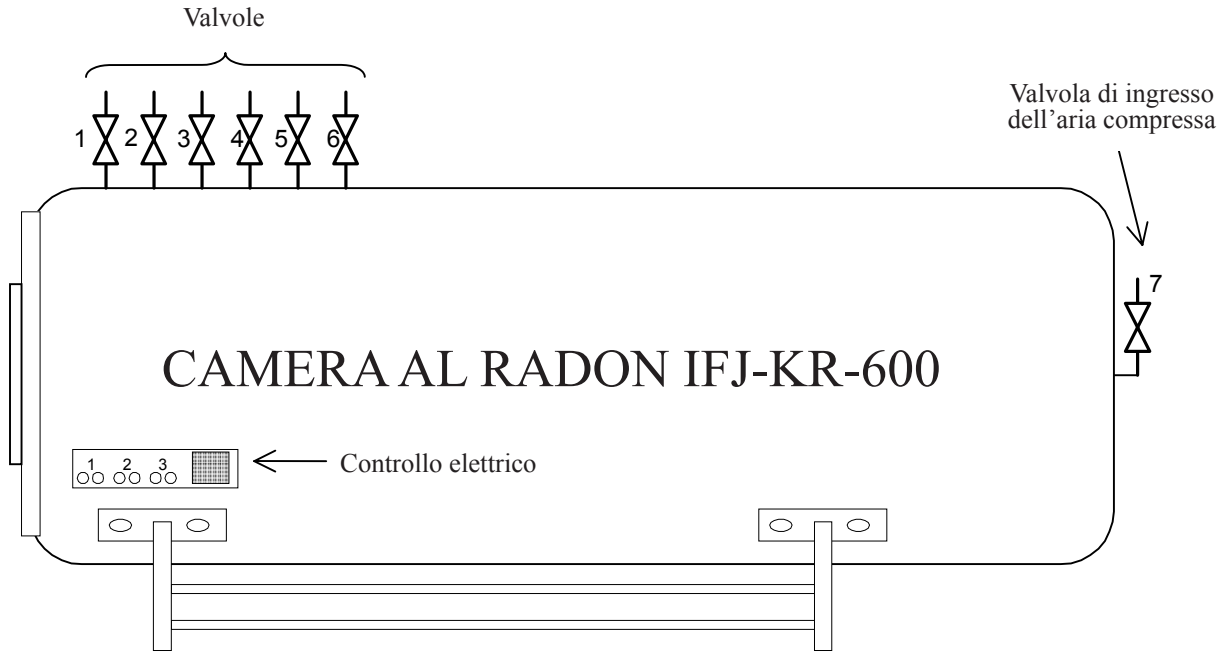


Fig. 3. Schema della camera IFJ-KR-600.

Verifica della tenuta delle camere:
Le camere sono state testate per la tenuta riempiendole con aria compressa. La pressione iniziale era di 101,3 kPa. Dopo 7 giorni, le variazioni di pressione erano inferiori alla classe di precisione dello strumento (1,5).

4. Postazione di calibrazione

La postazione di calibrazione dei rivelatori di radon si trova in una stanza di circa 15 m². In essa si trovano entrambe le camere al radon, due sorgenti di radon, indicatori di umidità, pressione e temperatura, oltre al pannello di controllo per la gestione delle camere e delle apparecchiature (pompe, alimentatori, tavoli da laboratorio, acqua corrente). Lo schema dell'intera postazione è illustrato nella fig. 4.

Sul pannello di controllo sono montate due sorgenti di radon (I e II) della PYLON, che consentono di ottenere concentrazioni prestabilite di radon. È possibile collegare qualsiasi sorgente a ciascuna camera oppure collegare entrambe le sorgenti a una sola camera.

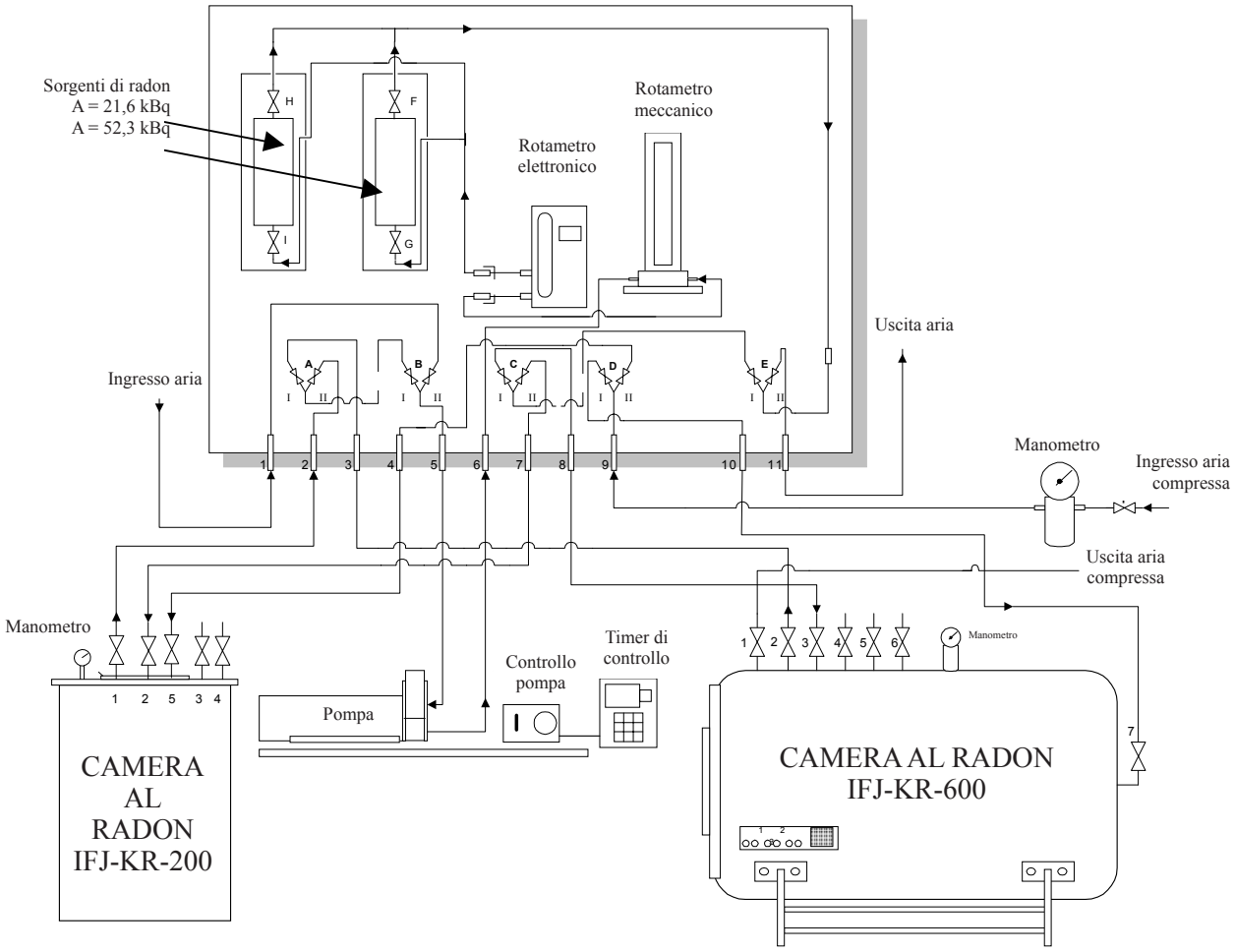


Fig. 4. Schema della stazione di calibrazione.

I parametri delle sorgenti di radon utilizzate sono riportati nella Tabella 1. Ogni sorgente è accompagnata da un certificato di taratura rilasciato da PYLON Electronic Development Co., Ltd.

Tabella 1. Parametri delle sorgenti di radon PYLON [4].

Tipo di sorgente	RN-1025	RN-1025
Produttore	PYLON – Canada	
Isotopo	Radio (226Ra)	
Precisione di calibrazione	± 4 %	
Portata consentita	0–10 litri/minuto	
Intervallo di temperatura	da -20 °C a +40 °C	
Intervallo di umidità	fino al 100 %	
Peso	1,7 kg	
Attività	21,6 kBq	52,3 kBq
Rendimento	2,710 Bq/min	6,580 Bq/min
Dimensioni	457 mm × 153 mm × 102 mm	

Le concentrazioni massime di radon ottenute nelle camere con le fonti sopra indicate sono riportate nella Tabella 2.

Tabella 2. Concentrazioni massime di radon nelle camere di calibrazione

CAMERA	IFJ-KR-200	IFJ-KR-600
Sorgente A = 21,6 kBq	fino a 100 kBq/m³	fino a 35 kBq/m³
Sorgente A = 52,3 kBq	fino a 244 kBq/m³	fino a 85 kBq/m³

L'equipaggiamento della postazione di calibrazione comprende anche due rotametri: uno meccanico e uno elettronico.
I rotametri possono essere inseriti alternativamente nel circuito e sono utilizzati per controllare la velocità del flusso d'aria attraverso le sorgenti di radon.

Altri componenti:

- Pompa MASTERFLEX, modello 7591-07, con sistema di controllo per la regolazione fluida del flusso,
- Riduttore di pressione dell'aria compressa per la ventilazione delle camere,
- Valvole a sfera per il controllo delle camere,
- Valvole di passaggio per il riempimento,
- Ventilatori,
- Interruttore temporizzato programmabile

5. Programma "Komora v.1.3"

La gestione della stazione è assistita dal programma "Komora v.1.3", sviluppato come un foglio di calcolo Excel interattivo con elementi in Visual Basic.
Il programma consente il calcolo dei parametri operativi per entrambe le camere (IFJ-KR-200 e IFJ-KR-600) utilizzando entrambe le sorgenti di radon. Gli algoritmi sono illustrati nel capitolo 6.

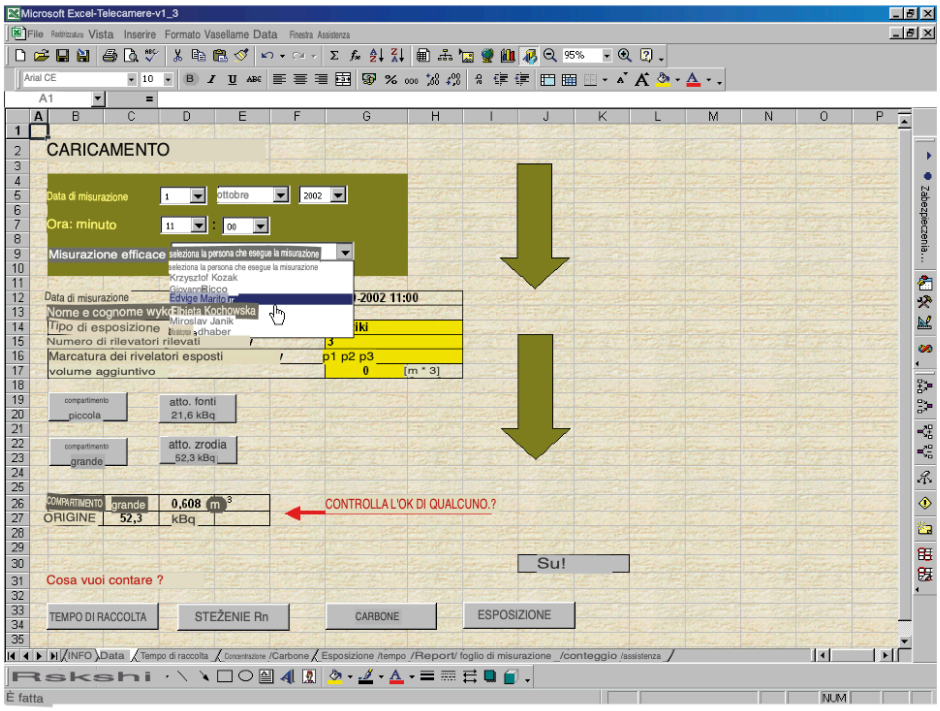


Fig. 5. Schermata “Dati”

La selezione della camera e della sorgente di radon avviene nella fase di inserimento dei dati (schermata “Dati” – Fig. 5).
Dopo aver inserito la data, l’ora della misurazione e il nome dell’operatore, è possibile selezionare la camera (pulsanti: “camera KR-IFJ-200” o “KR-IFJ-600”) e la sorgente di radon (pulsanti: “sorgente 21,6 kBq” o “sorgente 52,3 kBq”).
Tutti i dati inseriti vengono riportati in una tabella informativa (campi gialli).
È anche possibile indicare il volume aggiuntivo di apparecchi o rilevatori inseriti nella camera, affinché sia considerato nei calcoli.
Nella parte inferiore dello schermo si trovano i pulsanti per selezionare il tipo di calcolo:
“Tempo di raccolta” – calcola il tempo di chiusura della sorgente necessario per ottenere la concentrazione desiderata di radon;
“Concentrazione di radon” – calcola la concentrazione ottenuta per un tempo di chiusura definito;
“Carboni” – calcola la concentrazione finale durante l’esposizione dei rilevatori a carbone con barriera diffusiva (rilevatori da 3 o 4 giorni);
“Esposizione” – calcola l’esposizione [kBq•h/m^3] in base alla concentrazione iniziale e al tempo di esposizione.
Le schermate delle varie opzioni del programma sono mostrate nelle figure 6–9.
In ogni opzione è possibile cambiare la camera e selezionare un’altra sorgente di radon.

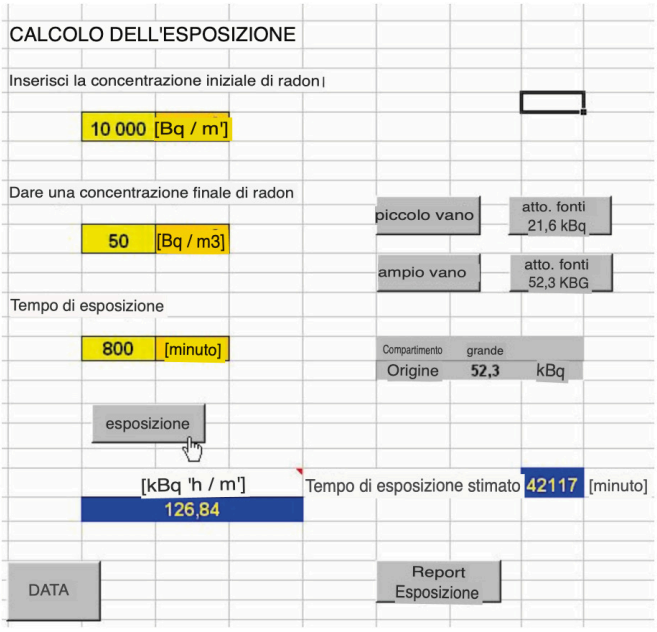


Fig. 9. Schermata “Esposizione”

Il programma include anche una funzione per il calcolo dei tempi – nel foglio “Tempi”.
È possibile determinare la data e l’ora di inizio o di fine della chiusura della sorgente di radon in base al “tempo di raccolta” inserito.
Il programma restituisce la data, il giorno della settimana, l’ora e il minuto dell’inizio o della fine dell’operazione con la sorgente di radon.
Questo rappresenta un grande vantaggio nella pianificazione delle misure con camere al radon.
Questa opzione consente anche una comoda conversione delle unità di tempo, ad esempio da giorni a minuti, da ore a secondi, ecc.
Un frammento del foglio “Tempi” è mostrato nella figura 10.

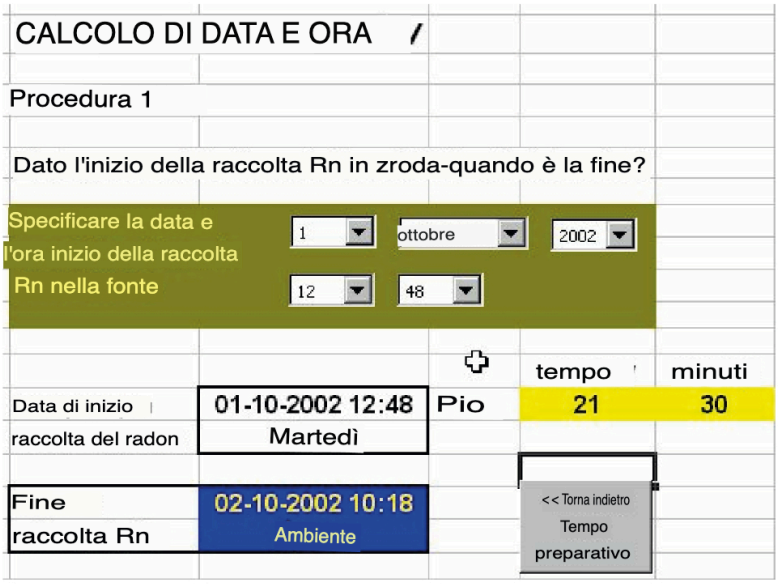


Fig. 10. Frammento del foglio “Tempi”

I calcoli eseguiti vengono automaticamente salvati in un “Foglio di misurazione” creato dal programma, insieme ai dati relativi alla procedura applicata.
Un esempio di foglio con un rapporto sul calcolo della concentrazione di radon nella camera è mostrato nella figura 11.

6. Algoritmi di calcolo

Utilizzando le leggi note del decadimento radioattivo, la concentrazione C di radon (^{222}Rn) nella camera viene calcolata con la formula (1):

$$C = \frac{A_i \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t_z})}{V_i} \left[\frac{kBq}{m^3}\right] \tag{1}$$

dove:

C – concentrazione di radon ^{222}Rn nella camera [kBq/m³]
Ai – attività della sorgente [kBq] (i = 1, 2)
A_1 = 21,6 [kBq]
A_2 = 52,3 [kBq]
λ – costante di decadimento del ^{222}Rn; λ = 0,007548 [h $^{-1}$]
tz – tempo totale di raccolta del radon [h]
(tempo nella sorgente + tempo di trasferimento alla camera)
Vi – volume totale del sistema di misura [dm³]
(volume camera + connessioni)
V_{200} = (211 + 4,12) dm³ – camera IFJ-KR-200
V_{600} = (608 + 3,98) dm³ – camera IFJ-KR-600

Il tempo di chiusura della sorgente tz per ottenere una concentrazione desiderata si calcola con la formula (2):

$$t_z = \frac{\ln\left(\left|1 - \frac{c \cdot V_i}{A_i}\right|\right)}{-\lambda} \quad [h] \tag{2}$$

L'esposizione E degli strumenti all'interno della camera durante il tempo te si calcola come:

$$E = c \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \left(1 - e^{-\lambda \cdot t_e}\right) \quad \left[\frac{kBq \cdot h}{m^3}\right] \tag{3}$$

dove:

λ – costante di decadimento del ^{222}Rn; λ = 0,007548 [h $^{-1}$]
te – tempo di esposizione [h]

Il valore desiderato di esposizione E si ottiene regolando il tempo totale di raccolta tz (formula 2) e il tempo di esposizione te (formula 4).

$$t_e = \frac{\ln\left|\left(1 - \frac{\lambda \cdot E}{c}\right)\right|}{-\lambda} \quad [h] \tag{4}$$

La concentrazione finale C_k di radon nella camera dopo il tempo di esposizione t_e si calcola con la formula (5):

$$C_k = C_p \cdot e^{-\lambda \cdot t_e} \quad \left[\frac{kBq}{m^3}\right] \tag{5}$$

dove:

C_k – concentrazione finale del radon nella camera
C_p – concentrazione iniziale del radon nella camera

Se nella camera vengono inseriti strumenti di volume noto, questo va incluso nel calcolo del volume totale del sistema di misura.

7. Applicazione delle camere di calibrazione

Le camere di calibrazione al radon descritte sono utilizzate nel Laboratorio di Radioattività Naturale (LPN) per attività di ricerca, come lo sviluppo di metodi di misura della concentrazione di radon mediante rilevatori passivi.

Inoltre, il banco è utilizzato per la calibrazione di vari tipi di rilevatori di radon forniti da enti di monitoraggio del radon in Polonia, tra cui:

- Università AGH di Cracovia
- Università Medica di Białystok
- Ufficio Reclami dell'Agenzia Nazionale per l'Energia Atomica, filiale di Jelenia Góra

Una parte importante delle attività di ricerca del LPN riguarda la misura del radon con rilevatori passivi, basati sull'adsorbimento del radon da parte del carbone attivo [5, 6]. Si utilizzano due tipi principali di rilevatori a carbone:

- con barriera diffusiva (per misure in ambienti interni)
- open-face (per misurare l'esalazione del radon dal suolo)

Questi rilevatori sono stati calibrati con l'impianto descritto.
La calibrazione dei rilevatori passivi richiede solitamente alcuni giorni, con conseguente riduzione della concentrazione iniziale a causa del decadimento del radon e della sua adsorbimento nei rilevatori.
Le variazioni di concentrazione durante la calibrazione sono mostrate nella figura 12.

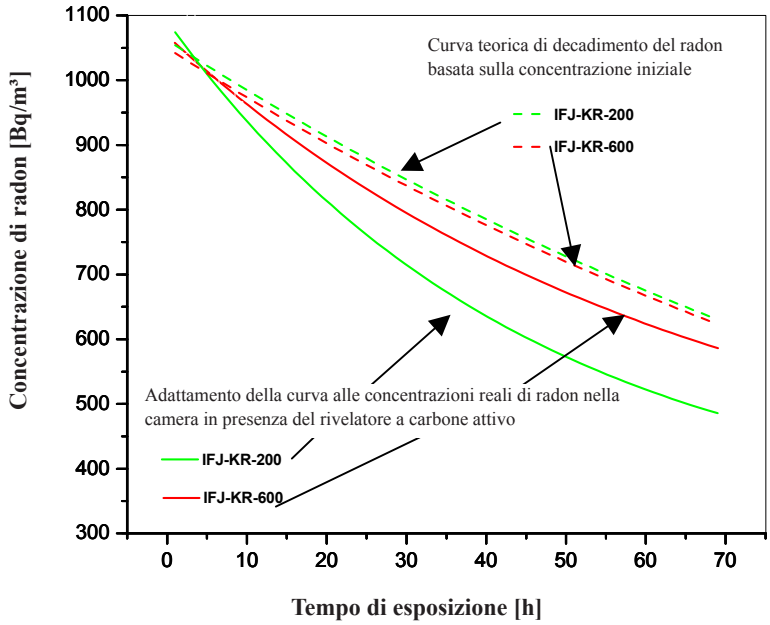


Fig. 12. Variazioni della concentrazione di radon nelle camere di calibrazione durante la calibrazione dei rilevatori a carbone attivo [5].

Le seguenti figure (Fig. 13 – Fig. 15) mostrano esempi di variazioni di alcuni parametri durante le misurazioni effettuate presso la postazione di calibrazione.

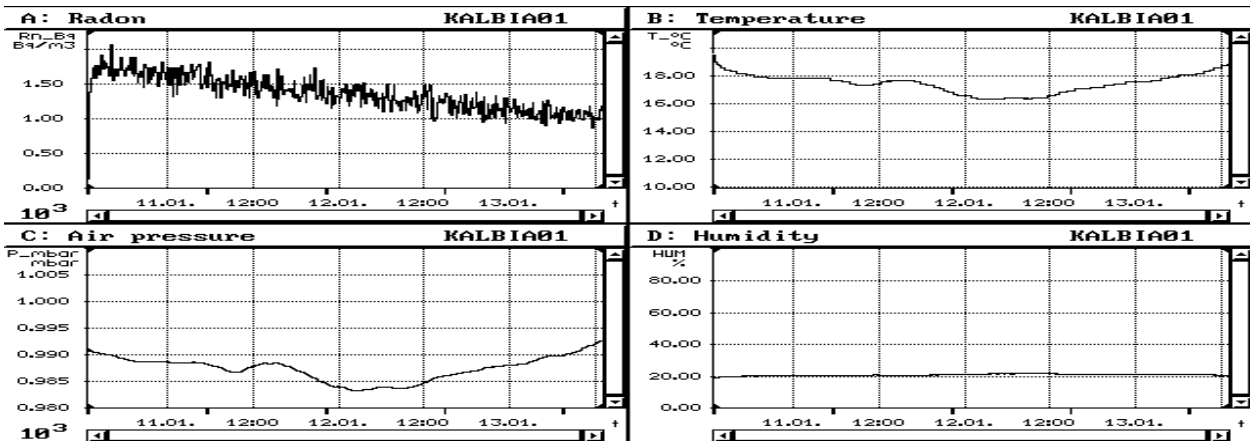


Fig. 13. Variazioni dei parametri climatici: concentrazione di radon (A), temperatura (B), pressione (C) e umidità (D).

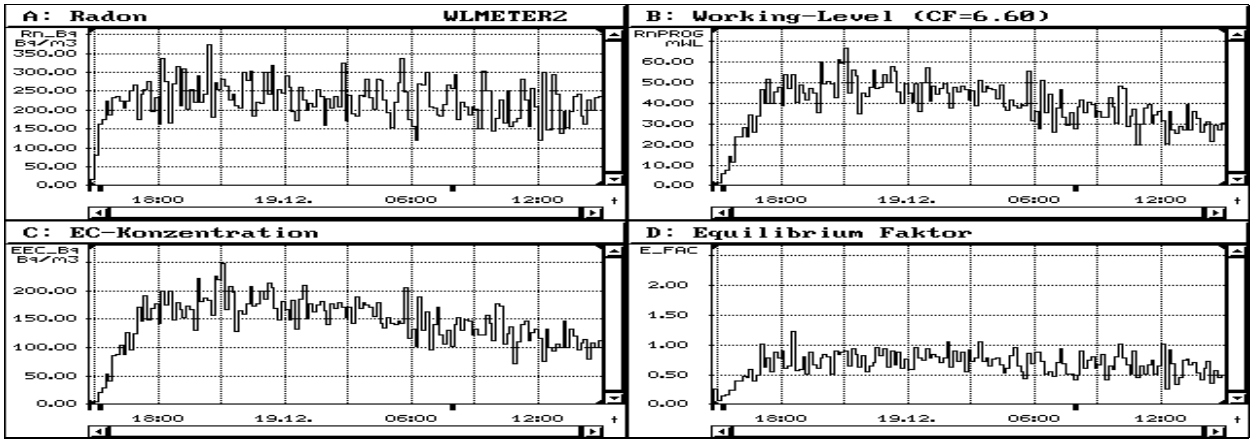


Fig. 14. Variazioni della concentrazione di radon (A), del livello operativo (B), della concentrazione equivalente di radon (C) e del fattore di equilibrio (D)

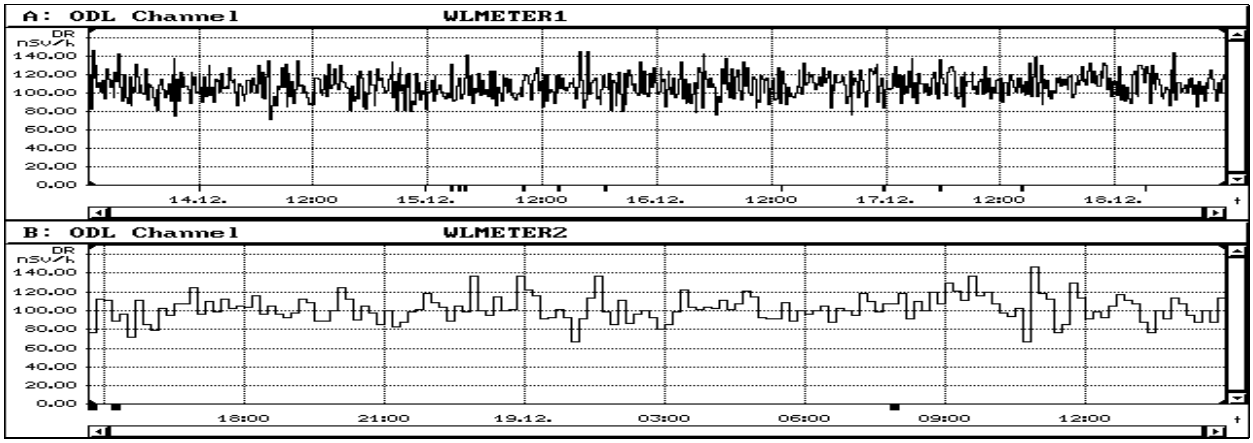


Fig. 15. Variazioni della dose equivalente [nSv/h]; nell'arco di alcune ore (A) e di alcuni giorni (B)

BIBLIOGRAFIA

1. D. Mazur et al., "Misurazioni della concentrazione di radon nel gas del suolo mediante rivelatori CR-39", Radiation Measurements 31 (1999), 295–300.
2. A. C. George, "Misurazione passiva integrata del radon indoor usando carbone attivo", Health Physics 46 No.4 (1984), 867–872.
3. Manuale utente – Monitor portatile per radon "AlphaGUARD", Genitron Instruments 4/97.
4. Certificato di taratura Radio-226, PYLON Electronic Development Co. Ltd., 2001.
5. J. Bogacz et al., "Taratura dei rivelatori a carbone attivo in una piccola camera di esposizione al 222Rn", Radiation Measurements 33 (2001), 873–878.
6. J. Bogacz et al., "TLD MCP-N (LiF:Mg,Cu,P) per misure di radon con cartucce di carbone", Radiation Protection Dosimetry 101 (2002), 267–270.
7. J. Swakoń et al., "Misurazioni del radon nell'aria del suolo nella zona urbana di Cracovia", Rapporto IFJ n. 1895/B, Cracovia, febbraio 2002.

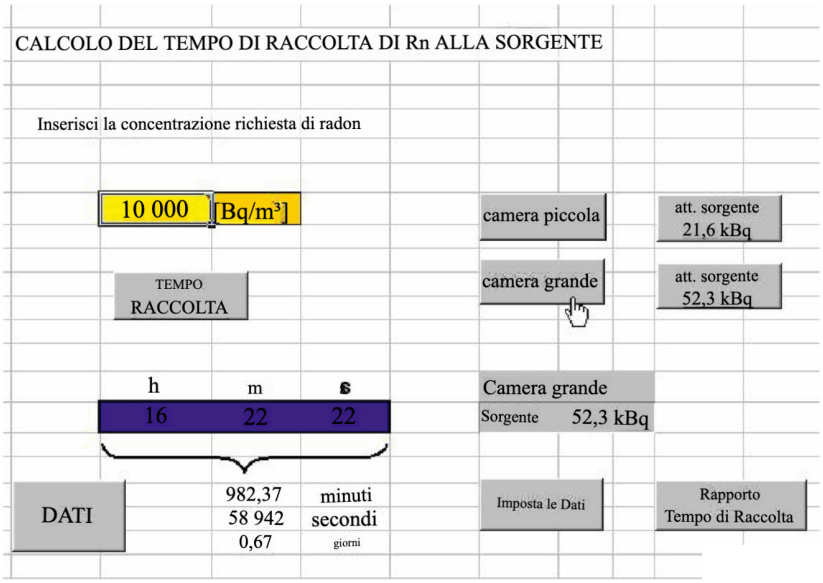


Fig. 6. Schermata „Tempo di raccolta”.

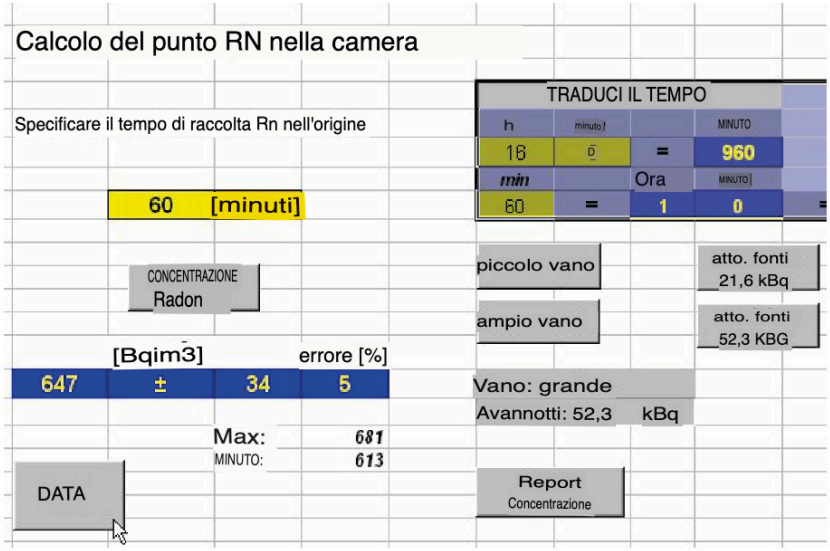


Fig. 7. Schermata „Concentrazione di radon”.

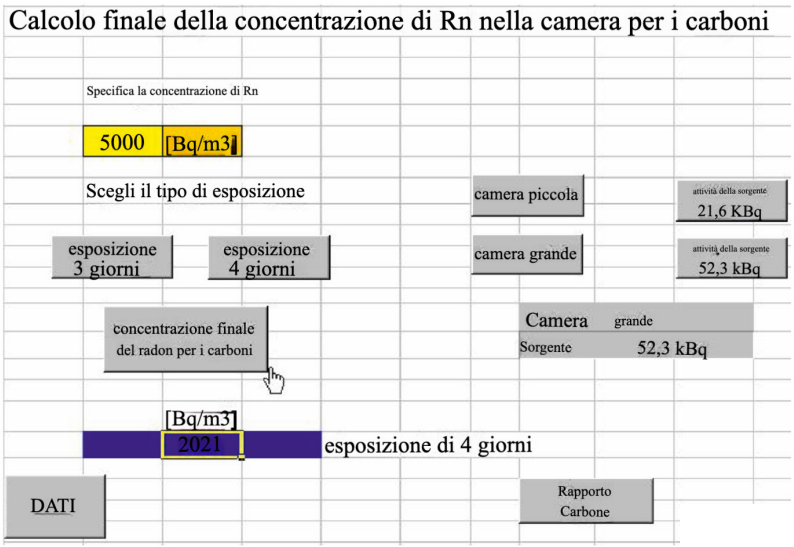
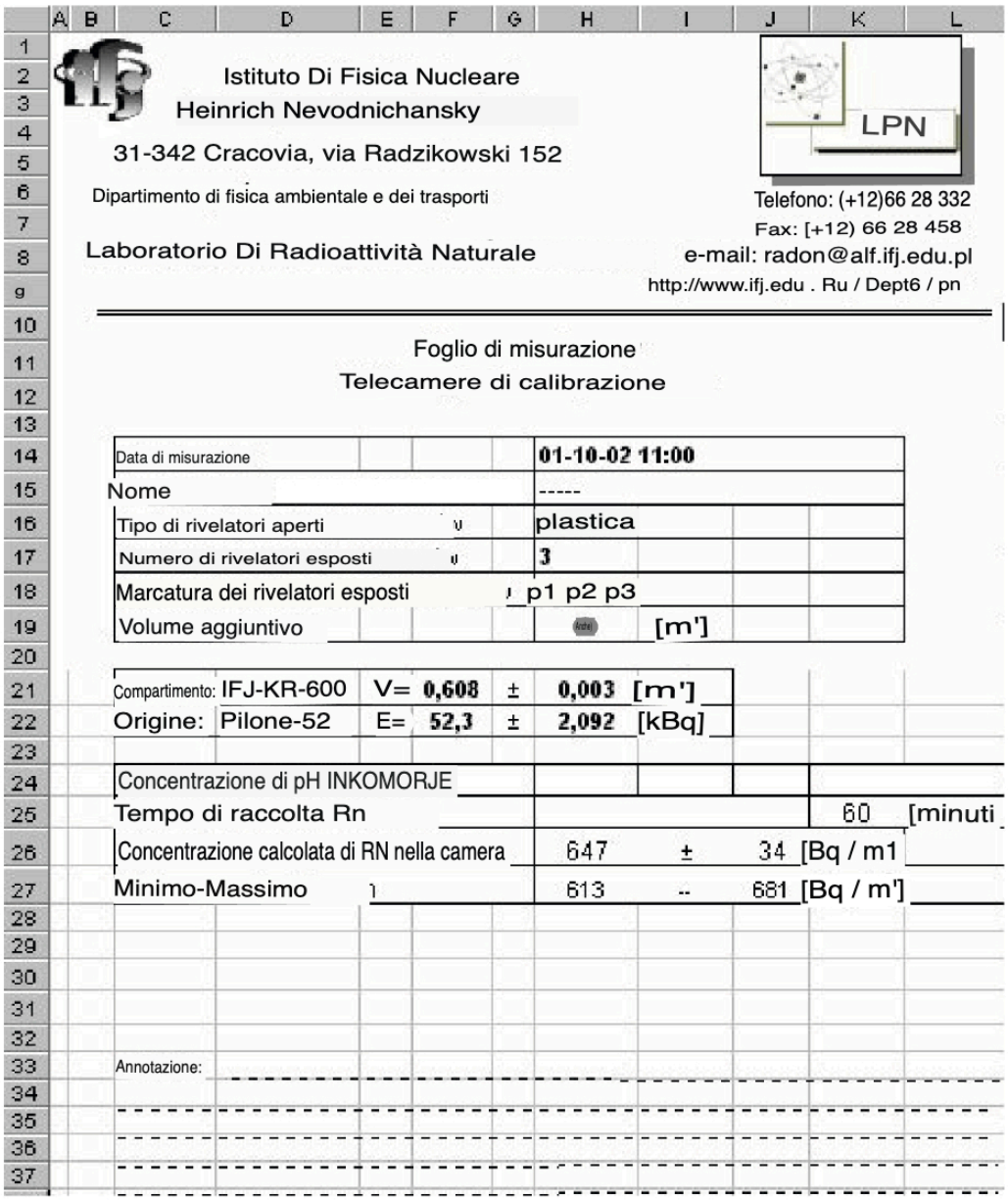


Fig. 8. Schermata „Carboni”.



Istituto Di Fisica Nucleare
Heinrich Nevodnichansky
31-342 Cracovia, via Radzikowski 152
Dipartimento di fisica ambientale e dei trasporti
Laboratorio Di Radioattività Naturale
LPN
Telefono: (+12)66 28 332
Fax: [+12) 66 28 458
e-mail: radon@alf.ifj.edu.pl
http://www.ifj.edu . Ru / Dept6 / pn

Foglio di misurazione
Telecamere di calibrazione

Data di misurazione	01-10-02 11:00
Nome	-----
Tipo di rivelatori aperti	plastica
Numero di rivelatori esposti	3
Marcatura dei rivelatori esposti	p1 p2 p3
Volume aggiuntivo	[m']

Compartimento:	IFJ-KR-600	V=	0,608	±	0,003 [m']
Origine:	Pilone-52	E=	52,3	±	2,092 [kBq]

Concentrazione di pH INKOMORJE				
Tempo di raccolta Rn			60	[minuti
Concentrazione calcolata di RN nella camera	647	±	34	[Bq / m1
Minimo-Massimo	613	--	681	[Bq / m']

Annotazione:

Fig. 11. Schermata “Rapporto”.