UNIVERSITÀ DI PISA
FACOLTÀ di
INGEGNERIA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA, NUCLEARE E DELLA PRODUZIONE

# Realizzazione di una postazione di monitoraggio del gas radon ad integrazione di una delle stazioni della rete geochimica della Toscana settentrionale

**G. Curzio, F. d'Errico, S. Balestrino, R. Ciolini, A. Del Gratta, A. Gentili**

Relazione tecnica finale di cui all'art. 2, comma 2, dell'Accordo di Collaborazione Scientifica tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione dell'Università di Pisa del 27 settembre 2010, nell'ambito del Protocollo d'Intesa tra la Regione Toscana e le Università degli Studi di Firenze, Pisa e Siena per "attività di collaborazione scientifica in tema di prevenzione sismica in Toscana" del 20 maggio 2010.

12 dicembre 2011

**Premessa**

La presente Relazione tecnica finale costituisce il documento di cui all'art. 2, comma 2, dell'Accordo di Collaborazione Scientifica tra la Regione Toscana e il Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione dell'Università di Pisa del 27 settembre 2010 riguardo la "Realizzazione di una postazione di monitoraggio del gas radon ad integrazione di una delle stazioni della rete geochimica della Toscana settentrionale", nell'ambito del Protocollo d'Intesa tra la Regione Toscana e le Università degli Studi di Firenze, Pisa e Siena per "attività di collaborazione scientifica in tema di prevenzione sismica in Toscana" del 20 maggio 2010.

L'attività ha riguardato la realizzazione di una centralina di monitoraggio del gas radon in soluzione in acque sotterranee con il relativo sistema di acquisizione e trasmissione dati, da utilizzarsi per contribuire alla prevenzione di eventi sismici. La centralina è stata costruita e testata presso il Laboratorio di Misure Nucleari del Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione (DIMNP) dell'Università di Pisa e successivamente è stata collocata presso l'ex stabilimento termale di Gallicano (Lucca), ad integrazione di una già esistente stazione della rete geochimica della Toscana settentrionale.

L'attività oggetto della presente relazione è stata svolta nei tempi previsti dal suddetto Accordo di Collaborazione Scientifica, usufruendo del previsto periodo di proroga di 6 mesi, con scadenza finale il 30 giugno 2011.

## 1. Introduzione

L'utilizzo del radon come metodo di previsione sismica rientra nel campo delle tecniche basate sulla valutazione dei cambiamenti geochimici che possono intervenire prima di un evento sismico e verso i quali, negli ultimi anni, è stata riservata una sempre maggiore attenzione. Molte osservazioni sperimentali hanno infatti evidenziato in passato significativi aumenti della concentrazione di radon nelle acque sotterranee prima di un terremoto. Pertanto, la disponibilità di dati legati alle variazioni temporali della concentrazione di radon in acque profonde può indicare la presenza di eventuali anomalie rispetto a situazioni normali contribuendo, insieme ad altre tecniche ugualmente finalizzate, alla predizione di eventi sismici nelle regioni oggetto dell'indagine.

Il radon è un gas nobile radioattivo incolore, inodore, estremamente volatile, prodotto dal decadimento radioattivo del torio e dell'uranio (Th-232, U-235 e U-238), presenti ovunque in tutta la crosta terrestre, in particolare nelle rocce di origine vulcanica (tufi, graniti, lave, pozzolane, ecc.). Comunemente viene chiamato "radon" il solo Rn-222, prodotto dal decadimento dell'U-238, di gran lunga il più diffuso e importante nell'ambiente, che ha una vita media di 5.5 giorni. Il radon

prodotto in queste rocce, essendo un gas nobile, non forma composti con i materiali con cui viene a contatto ma a seguito di fenomeni di diffusione prima e di trasporto poi da parte fluidi endogeni può muoversi verso la superficie terrestre, attraverso fessure e crepe, e in soluzione nell'acqua in cui ha un'elevata solubilità, raggiungere le falde acquifere del sottosuolo. In presenza di accumuli di energia elastica nelle rocce e di conseguenti variazioni nel loro stato tensionale, situazione che può condurre ad un terremoto, si possono formare in esse delle piccole crepe o microfratture che favoriscono la fuoriuscita del radon intrappolato all'interno e il suo accumulo nelle acque sotterranee. L'effettuazione di misure in tempo reale della concentrazione di radon in tali acque permette quindi di individuare eventuali anomalie, cioè variazioni temporanee della concentrazione di radon rispetto al valore normale di fondo in seguito ad attività sismica, non altrimenti rilevabili con misure integrali eseguite su lunghi intervalli di tempo.

## 2. Descrizione dell'apparecchiatura realizzata per il monitoraggio del radon in acque sotterranee

Il sistema di monitoraggio del radon in acqua è composto da un'unità di campionamento, un'unità di rivelazione ed acquisizione dati ed un'unità di trasmissione dati via UMTS (Fig. 1). Lo strumento effettua ogni 6 ore il prelievo del campione di acqua, ne misura la concentrazione di radon e trasmette i dati alla stazione di raccolta ed elaborazione situata attualmente presso il DIMNP dell'Università di Pisa. Tutto il dispositivo è collocato all'interno di un contenitore termostatato (per evitare che durante il periodo invernale si possa avere un congelamento dell'acqua) con alimentazione elettrica da rete (230 V).

La tecnica di misura impiegata per la rivelazione del radon è la spettrometria gamma effettuata utilizzando un rivelatore a scintillazione NaI(Tl) posto all'interno di un contenitore Marinelli in acciaio da 1 litro. L'insieme contenitore Marinelli e rivelatore a scintillazione è alloggiato all'interno di una schermatura in piombo di spessore pari a 5 cm, necessaria per la riduzione della radiazione di fondo ambientale.

Ogni ciclo di misura dura 6 ore ed è così suddiviso:

- campionamento dell'acqua mediante attivazione della pompa e riempimento del Marinelli (tempo di aspirazione: 10 min);
- attesa di 3 ore e 50 minuti affinché sia stabilito l'equilibrio radioattivo tra il radon e i suoi prodotti di decadimento a vita breve contenuti all'interno dell'acqua campionata;
- acquisizione dello spettro di emissione gamma dell'acqua campionata (tempo di misura: 2 ore);
- registrazione della misura spettrometrica e degli altri dati caratteristici del ciclo di misura;

- trasmissione degli stessi dati via UMTS alla stazione centrale di raccolta ed elaborazione dei dati situata presso il DIMNP; in contemporanea si ha lo scarico dell'acqua e l'inizio del successivo ciclo di misura che inizia con un nuovo prelievo di acqua.

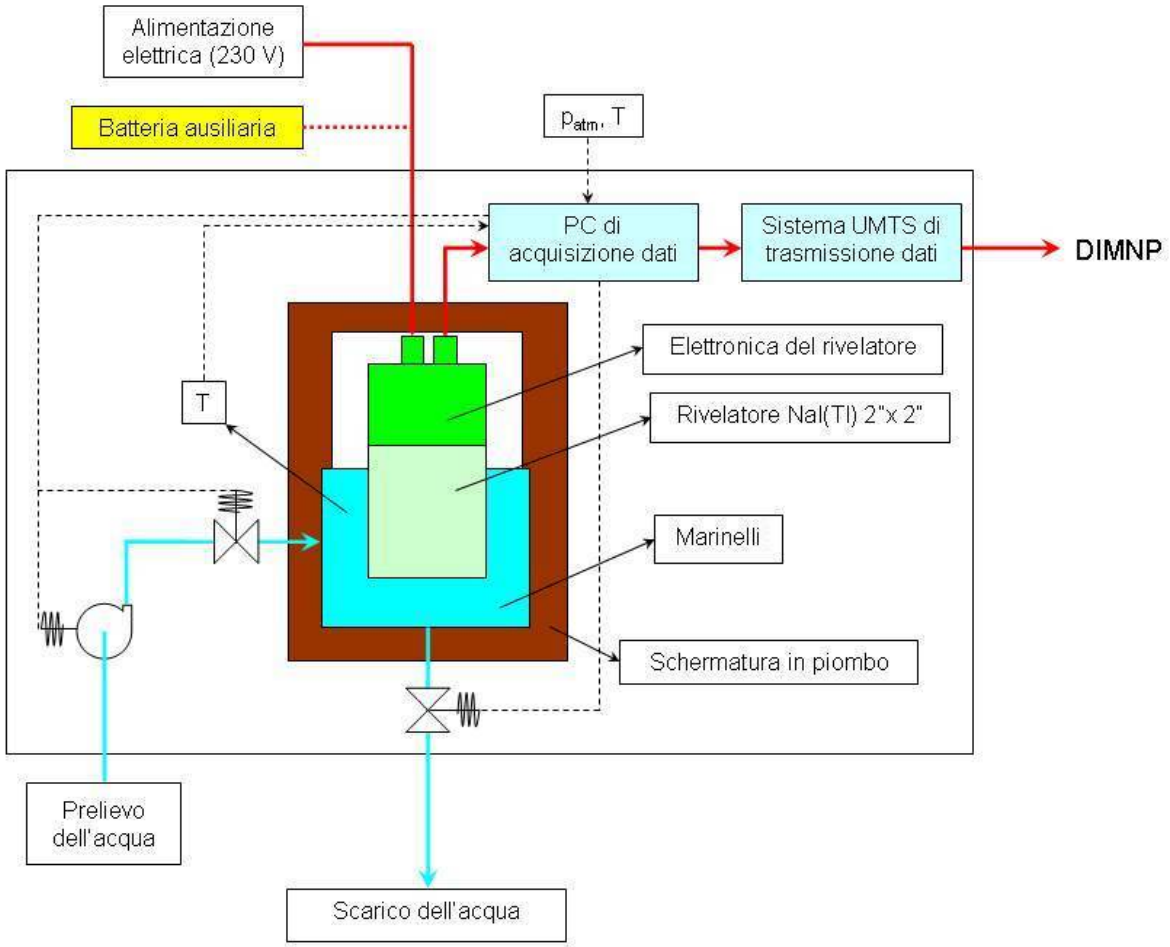


Figura 1: Rappresentazione schematica del sistema di monitoraggio del gas radon in acqua.

Il sistema di campionamento dell'acqua è costituito da un circuito di prelievo dell'acqua con pompa a portata regolabile, stabilita definendo il tempo di riempimento del contenitore Marinelli. L'apertura e lo scarico del circuito sono gestiti da un sistema con elettrovalvole.

Il rivelatore utilizzato è uno scintillatore stabilizzato NaI(Tl) 2"x2". L'elettronica di alimentazione, amplificazione ed acquisizione multicanale è integrata in un modulo cilindrico (Canberra, mod. Osprey) montato direttamente sullo zoccolo a 14 pin del rivelatore. L'unità multicanale trasmette i dati della misura spettrometrica tramite cavo Ethernet all'unità di acquisizione (computer) a cui è collegata. Su tale unità è installato il software Genie 2000® Canberra per la gestione della misura spettrometrica (Fig. 2).

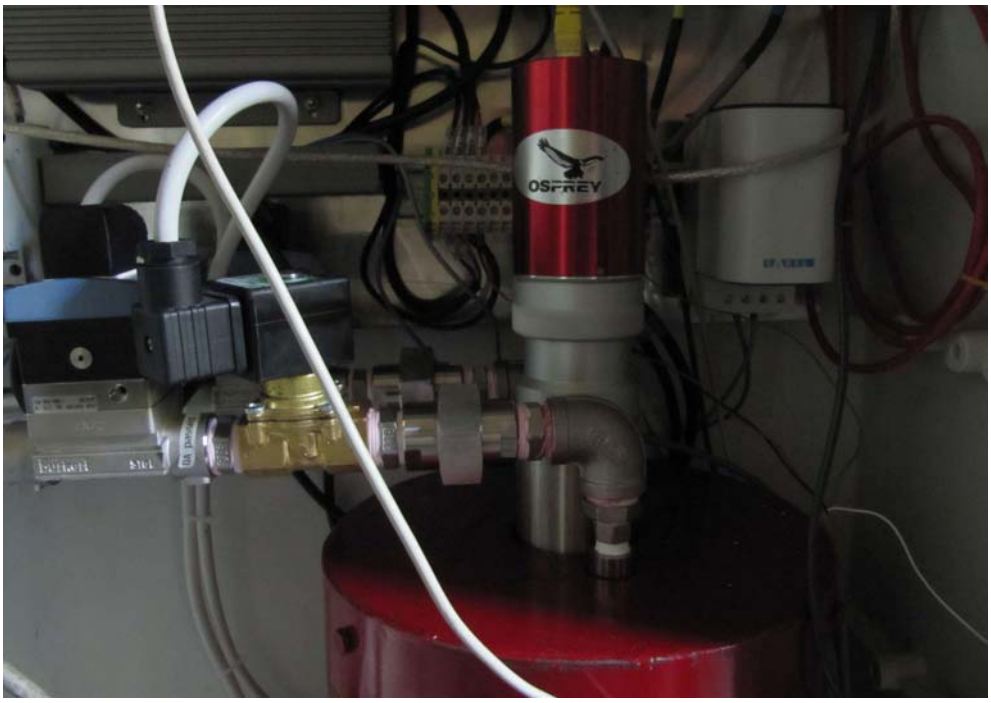


Figura 2: Alcuni componenti interni della centralina (in primo piano è visibile il sistema di acquisizione multicanale con il rivelatore a scintillazione inserito all'interno della schermatura in piombo).

L'unità di acquisizione è formata da un PC industriale: la scheda che controlla il processo e gestisce l'intero ciclo operativo del sistema è basata su microcontrollore e si interfaccia al PC via porta seriale. Tale scheda a sua volta si interfaccia ai flussostati, alle valvole e al motore della pompa con schede realizzate appositamente, tutte di tipo optoisolato in modo da ottenere un elevato grado di sicurezza del sistema. Per il motore della pompa sono stati utilizzati dei relè a stato solido in modo da incrementare ulteriormente l'affidabilità e la sicurezza.

Tutto il processo viene quindi gestito dal microcontrollore, mentre il PC elabora i dati e li invia ogni 6 ore ad un server web (centro di raccolta) situato presso il DIMNP. La soluzione adottata è quella di inviare i dati raccolti dalla centralina tramite rete dati 3G/UMTS con operatore di telefonia mobile: tale scelta è dovuta al posizionamento della stessa in luoghi dotati di corrente elettrica ma dove può essere problematico avere disponibilità di connettività di qualunque tipo. Una caratteristica aggiuntiva è il basso consumo di potenza, molto utile nel caso di temporanei black-out, quando tutta la centralina deve funzionare con la batteria ausiliaria. I dati inviati sono i seguenti:

- la misura spettrometrica gamma, costituita dal contenuto di 1024 canali energetici;
- lo stato del sistema;
- la data e l'ora dell'acquisizione.

Per quanto riguarda la temperatura e la pressione atmosferica esterna e la temperatura dell'acqua del Marinelli si fa riferimento ai dati che vengono già registrati dalla stazione della centrale geochimica situata nello stesso sito.

Il sistema di elaborazione dei dati, situato presso il Centro di raccolta del DIMNP, è costituito da un PC dedicato a tale scopo con relativo gruppo di continuità. I dati ricevuti dalla centralina di monitoraggio vengono utilizzati per calcolare automaticamente la concentrazione di radon in acqua (espressa in $Bq/m^3$), sfruttando il software di elaborazione Genie 2000® Canberra per l'analisi dello spettro gamma e l'efficienza di rivelazione per il Rn-222 determinata in laboratorio. Successivamente il dato che esprime la concentrazione di radon in acqua viene registrato e reso disponibile in rete agli uffici preposti della Regione Toscana e della Protezione Civile, con possibilità di evidenziare eventuali anomalie rispetto ai valori normali, in modo da contribuire alla predizione degli eventi sismici nei territori considerati.

**3. Scelta del sito per il monitoraggio sperimentale del radon**

La scelta della stazione della rete geochimica toscana nella quale inserire la centralina per il monitoraggio del gas radon disciolto in acqua è stata effettuata congiuntamente ai tecnici regionali e ai ricercatori dell'Istituto di Geoscienze e Georisorse del Consiglio Nazionale delle Ricerche di Pisa (IGG-CNR). Tale rete di monitoraggio è finalizzata alla ricerca di precursori sismici ed allo studio delle relazioni tra chimismo delle acque ed attività sismica. E' formata complessivamente da 10 stazioni nelle aree della Garfagnana e Lunigiana e dell'Amiata e permette di effettuare un monitoraggio automatico continuo della temperatura, del pH, della conducibilità elettrica, del potenziale di ossidoriduzione, dell'anidride carbonica e del metano dei gas disciolti nell'acqua, ma è priva di unità per il monitoraggio del radon.

Il sito selezionato per l'installazione della centralina radon è quello di Gallicano (LU), presso l'ex stabilimento termale. E' stato considerato anche il sito di Equi Terme (MS), ma non è stato ritenuto idoneo in quanto è caratterizzato da un effetto immediato delle acque meteoriche sulle proprietà dell'acqua prelevata. I tecnici del CNR hanno infatti evidenziato delle variazioni di temperatura dell'acqua in funzione dall'andamento delle piogge, fatto che indicherebbe una profondità di origine dell'acqua non adeguata per il monitoraggio del radon in essa disciolto. Tale sito può quindi essere utilizzato probabilmente solo per verificare il corretto funzionamento della strumentazione installata. Per quanto riguarda l'installazione di centraline future, è previsto l'esame di un ulteriore sito della rete geochimica toscana nell'area del Mugello. E' attesa al riguardo la decisione da parte

del CNR relativamente alla localizzazione precisa di tale sito in questa regione, a cui seguirà la valutazione della possibilità di aggiungere la centralina radon alla strumentazione già esistente.
La ricerca sul monitoraggio del radon nelle acque profonde, svolta dal DIMNP dell'Università di Pisa, ha già usufruito in passato di apporti sinergici anche da parte di altri soggetti. Relativamente all'anno in corso, è stato ottenuto un contributo dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Lucca in vista dell'inserimento di una stazione di monitoraggio radon a Castelnuovo di Garfagnana, in un sito selezionato in collaborazione con l'istituto I.S.I. "S. Simoni" di Castelnuovo, nell'ambito di uno specifico progetto didattico finalizzato alla produzione di presentazioni multimediali per una corretta comunicazione e informazione verso la popolazione del territorio interessato.

**4. Realizzazione e prove di funzionalità della centralina**

La messa in opera della centralina di monitoraggio del gas radon disciolto in acqua presso il sito di Gallicano è stata svolta secondo tre diverse fasi temporali.
Una prima fase del progetto ha portato alla costruzione vera e propria e alla messa a punto della centralina presso il Laboratorio di Misure Nucleari del DIMNP. In particolare è stata realizzata la catena di misura del radon formata da rivelatore a scintillazione, unità multicanale Osprey e computer di gestione. La risoluzione del rivelatore a scintillazione è stata misurata ed è risultata pari al 6,6% all'energia di emissione gamma di 662 keV del Cs-137. Successivamente, utilizzando alcuni dati di concentrazione di radon disciolto in acqua (circa 10 Bq/litro) ottenuti in alcune misure preliminari effettuate su campioni di acqua prelevati da alcuni siti della Garfagnana (presso la zona termale a Pieve Fosciana e la faglia di Loppia), sono state eseguite delle prove in laboratorio per valutare la minima quantità di acqua necessaria ad ogni prelievo. Si è dimostrato che è sufficiente prelevare 1 litro di acqua per ottenere, con un tempo di misura di 2 ore utilizzando la catena di misura suddetta e la relativa schermatura in piombo di spessore 5 cm, una minima concentrazione rivelabile di radon di 5 Bq/litro.
Nella successiva seconda fase del progetto è stato effettuato il collaudo della strumentazione presso il suddetto laboratorio. In particolare è stato verificato il corretto funzionamento dell'unità di prelievo dell'acqua e dell'unità di rivelazione ed acquisizione dei dati spettrometrici di emissione gamma del radon, con la relativa modalità di analisi e di calcolo della concentrazione del gas. Inoltre è stato verificato il rispetto della sequenza temporale prevista per le varie operazioni della centralina e la sua stabilità nel tempo. E' stata infine valutata l'efficienza di conteggio per il radon utilizzando un contenitore Marinelli con acqua contenente radon a concentrazione nota.

Nella terza fase la centralina è stata montata presso il sito selezionato (Fig. 3) e sono stati collaudati i vari sistemi componenti: sistema di campionamento dell'acqua, unità di rivelazione, di acquisizione e trasmissione dati in tempo reale al centro di raccolta.

Figura 3: Foto della centralina installata presso il sito di Gallicano (Lucca).

Si riporta di seguito un esempio di spettro di emissione gamma dell'acqua campionata acquisito con la centralina e trasmesso al centro di raccolta (Fig. 4).

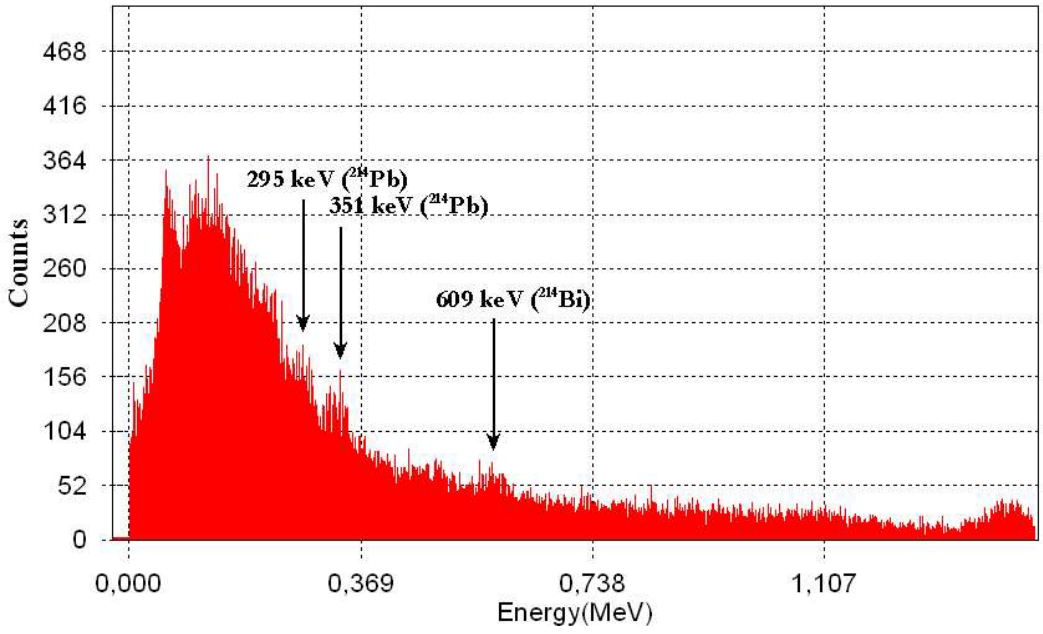


Figura 4: Esempio di spettro di emissione gamma dell'acqua campionata acquisito con la centralina in un tempo di misura di 2 ore: sono indicati i picchi caratteristici dei figli a breve vita del radon alle energie di 295, 351 e 609 keV.

## 5. Gestione dei dati e manutenzione della centralina

L'acquisizione periodica e l'elaborazione dello spettro di emissione gamma, ottenuta attraverso l'eliminazione del contributo dello spettro di fondo naturale, è finalizzata alla verifica della variazione del parametro radon in connessione con l'attivazione di eventi sismici. In particolare, i dati raccolti nelle diverse stagioni verranno confrontati con gli analoghi grafici delle concentrazioni dei gas endogeni prodotti dal gruppo IGG-CNR di Pisa.

Relativamente alla manutenzione periodica della strumentazione, si prevede un'ispezione almeno ogni 6 mesi ovvero ogniqualvolta si verifichi qualche anomalia di funzionamento nella rivelazione e/o nella trasmissione dati.

## 6. Considerazioni conclusive

Nel periodo successivo all'istallazione della centralina, sono stati raccolti con continuità centinaia di rilevazioni spettrali. I dati riportati nella Fig. A.1. si riferiscono al periodo tra fine ottobre e inizio novembre che comprende le disastrose precipitazioni del 25 e 26 ottobre 2011 in Liguria e Toscana.

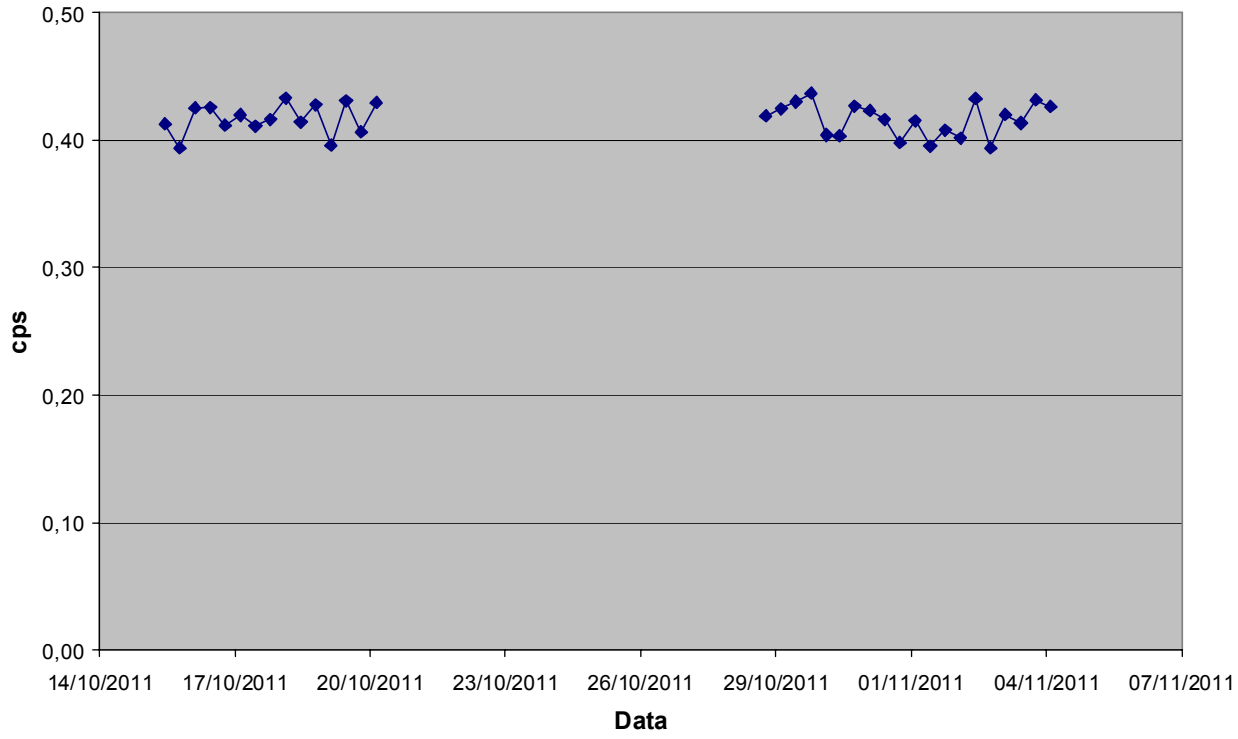


Figura A.1: Dati raccolti da metà ottobre a inizio novembre 2011.

Nel solo giorno 26 ottobre 2011 sono caduti a Gallicano, dove si trova la centralina, 224 mm di pioggia, a fronte di una media della zona, secondo i dati delle rete di monitoraggio ARSIA della Provincia di Lucca, di 136.5 mm per tutto il mese di ottobre e di 195.5 mm per quello di novembre. Dalla Fig. A.1 si vede che proprio in corrispondenza dei giorni di massima piovosità la sequenza delle misure risulta interrotta, interruzione unica in tutto il periodo di prova e al presente in esame per comprenderne la causa. L'esame dei due gruppi di misure, precedenti e successivi all'alluvione, ha mostrato comunque che ciascun gruppo è caratterizzato dallo stesso valore medio di 0.42 cps con una dispersione di 0.013 (1 deviazione standard). Nella Fig. A.2 sono riportati dati relativi ai primi mesi di funzionamento della centralina nell'intervallo temporale considerato. Si ritiene che a tuttora i dati non siano sufficienti per definire una corretta metodologia di elaborazione, ma che sia necessario attendere almeno un'annualità, anche per effettuare un confronto significativo con i dati relativi agli altri gas endogeni relativamente alle diverse condizioni stagionali. I valori della Fig. A.2 sono stati perciò estratti dalla sequenza delle centinaia di dati trasmessi dalla centralina al DIMNP senza far riferimento a particolari criteri di selezione. L'andamento della concentrazione di radon nel periodo considerato è comunque assimilabile, per quanto riguarda le modeste variazioni stagionali, a quelli prodotti dalle misure di concentrazione relative agli altri gas endogeni. A parte l'interruzione sopra citata nessuno degli spettri registrati in tutto il periodo di raccolta dati ha mostrato irregolarità di funzionamento che invalidassero il dato acquisito.

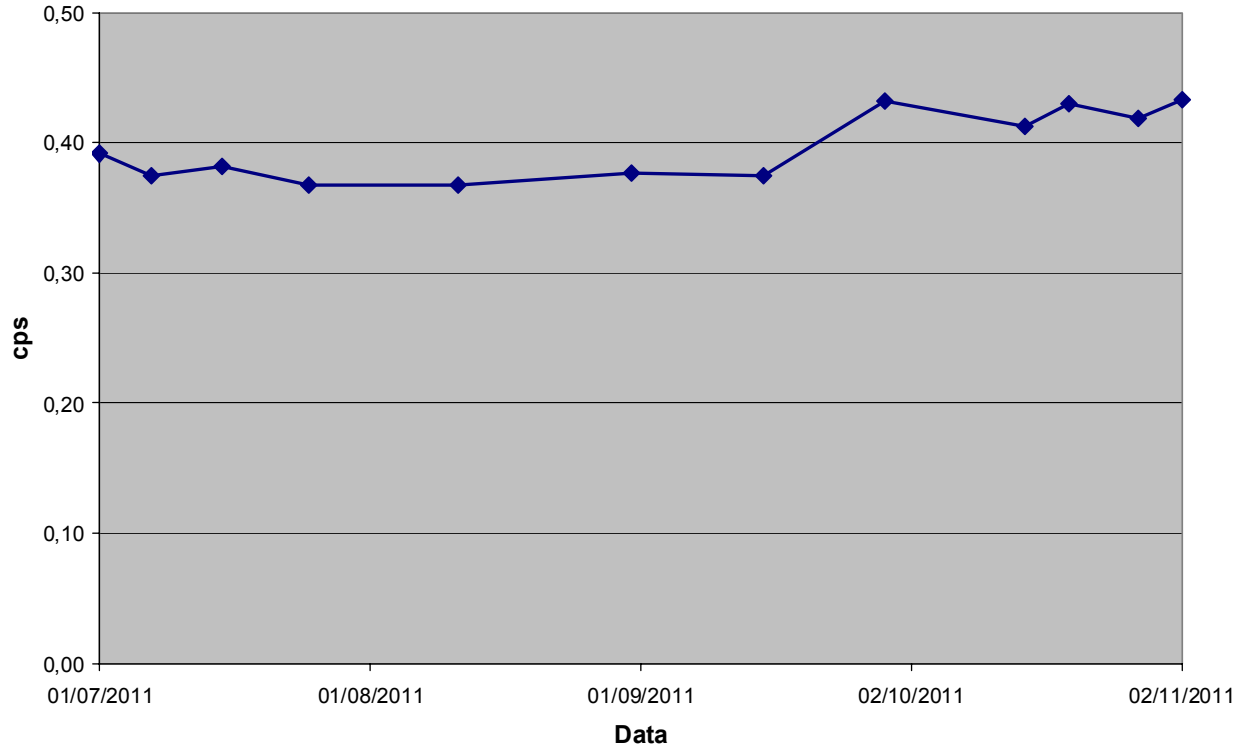


Figura A.2: Dati raccolti nei primi mesi di funzionamento della centralina.

Il valore di rateo di conteggio medio riportato in Fig. A.2 è pari a 0.4 cps e corrisponde, tenendo conto del contributo del fondo al conteggio, ad una concentrazione di attività di radon in acqua di circa 10 Bq/l in accordo con quanto misurato nei prelievi preliminari su campioni di acqua prelevati da altri siti della Garfagnana, come descritto in precedenza.