

# Realizzazione della carta di Rischio Radon nella Provincia di Cosenza

Adalisa Tallarico<sup>1</sup>, Anna Moretti<sup>1</sup> e Gianni Trotta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Libero professionista*

<sup>2</sup> *Università della Calabria – Dipartimento DIBEST*

## 1. Stato dell'arte dello specifico problema

Il concetto di rischio ambientale è inscindibilmente legato alla presenza umana sul territorio. L'analisi di rischio (risk analysis) in termini tecnici viene definita come il prodotto della pericolosità per l'esposizione. In termini meno tecnici, l'analisi di rischio è la stima delle conseguenze sulla salute umana e sull'ambiente di un evento potenzialmente dannoso, in termini di probabilità che le stesse conseguenze si verifichino. Per quanto riguarda il concetto di rischio esso viene definito come la concomitanza della possibilità di accadimento di un evento dannoso e delle relative conseguenze. Il rischio è quindi dato da un fattore di pericolosità (relativo alla tossicità della sostanza) e da un fattore di esposizione definito dall'assorbimento delle radiazioni ionizzanti. L'assorbimento dipende dalla concentrazione ed è basato sugli scenari di esposizione specifici del sito (Bertazzon et al., 1999).

La protezione del territorio e delle popolazioni è raggiungibile preventivamente solo attraverso una accorta pianificazione del territorio. La relazione fra la progettazione urbanistica territoriale e la conoscenza delle caratteristiche fisiche, oltre che antropiche, del territorio è andata progressivamente rafforzandosi.

Una corretta analisi sulla crisi della situazione ambientale nel nostro paese e sulle ragioni dello sviluppo "deforme" degli ultimi quaranta anni, impone un nuovo metodo di pianificazione che, preliminarmente, si ponga l'obiettivo di garantire uno "sviluppo sostenibile".

La pianificazione territoriale, attraverso la conoscenza degli elementi di rischio di un territorio, consente la predisposizione di strumenti urbanistici adeguati. Se ciò vale per il rischio idrogeologico, sismico, vulcanico, industriale ecc. deve valere anche per il radon ed i suoi prodotti di decadimento a causa dell'elevato impatto sulla salute pubblica (come peraltro richiamato dal Dlgs n. 241/2000). Poiché la geologia del territorio controlla la distribuzione e la migrazione del radon, ne risulta che una prima selezione delle zone ricche di questo gas si può effettuare in base a considerazioni di natura geologica delle aree. Inoltre, tale rilievo non rappresenta un maggior onere per la Comunità in quanto la Geologia è, di norma, a corredo di ogni buon strumento di pianificazione. Piuttosto, esso andrebbe posto come elemento di conoscenza da parte dei progettisti. In questo senso le Amministrazioni che sovrintendono la salute pubblica dovrebbero approfondire le loro conoscenze sul rischio radon – mappa delle aree a rischio – ed emanare regolamenti edilizi che prevedano l'adozione di strumenti idonei alla mitigazione degli effetti sulla popolazione derivanti dall'inalazione del radon e dei suoi prodotti di decadimento, strumenti che saranno differenziati a seconda dell'area, e quindi, del livello di rischio oggettivo.

La geologia locale, l'interazione tra edificio e sito, l'uso di particolari materiali da costruzione, le tipologie edilizie sono, pertanto, gli elementi più rilevanti ai fini della valutazione dell'influenza del radon sulla qualità dell'aria interna alle abitazioni ed agli edifici in genere. Si deve approfondire la comprensione della situazione locale riguardo ai rischi legati alla presenza di radon attraverso la redazione di mappe di rischio.

La conoscenza della distribuzione di radon nei gas del suolo consente la predisposizione di vere e proprie mappe di rischio. Tali mappe sono state elaborate, ad esempio, in Svezia e di fatto sono state inserite nel contesto della pianificazione Urbanistica del Territorio. Si può infatti affermare che, data un'area a rischio radon nota, due abitazioni costruite con materiali e tecniche diverse, abitate da famiglie diverse e con stili di vita diversi, presentano valori di inquinamento indoor fortemente differenziati. Da tale considerazione discende che uno screening fatto sulla base di valutazioni indoor senza gli accorgimenti di pesatura degli elementi citati deve ritenersi di larga massima e non utile alla definizione di area di rischio.

Le campagne di misura effettuate esclusivamente negli ambienti indoor non possono essere ritenute rappresentative delle condizioni di rischio locali poiché fortemente condizionate dalle tipologie edilizie degli edifici, dagli stili di vita degli abitanti e da altri numerosi fattori. Risulta pertanto necessario, per la redazione di mappe di rischio, procedere a valutazioni che siano prive di tali fuorvianti contributi. La misurazione della quantità di radon nell'aria del suolo è considerata una tecnica che fornisce ottime indicazioni sul livello di rischio locale (Moroni,2001).

In questo scenario si inquadra lo studio da noi effettuato negli ultimi cinque anni, nel corso dei quali è stata effettuata una campagna di misure dei livelli di concentrazione di gas radon, sia indoor che nel suolo, nella provincia di Cosenza. I dati ottenuti, opportunamente rielaborati, vengono proposti attraverso la costruzione di una prima mappa del rischio radon supportata da misure sperimentali.

### 1.1. Il contesto nazionale

Il radon è stato classificato dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro come agente cancerogeno di gruppo 1. Nel nostro paese la norma ha inteso limitare il rischio per i lavoratori imponendo l'obbligatorietà delle misure della concentrazione di radon e toron (D.lgs n. 241/2000, capo III bis) nei luoghi di lavoro sotterranei, interrati e seminterrati. La mancanza di norme giuridiche relative agli ambienti di vita, di fatto, determina un disinteresse quasi totale del rischio radon. Diversi laboratori dei Centri di Riferimento Regionali per la Radioattività, presenti sul territorio italiano, hanno già da tempo intrapreso importanti iniziative per la misura della concentrazione di radon nelle abitazioni domestiche e nelle scuole, facendo riferimento alle indicazioni europee. Infatti, la Raccomandazione 90/143/Euratom del 21/11/1990 si occupa della tutela della popolazione dall'esposizione al radon in ambienti chiusi, e fissa pertanto la concentrazione a 400 Bq/m<sup>3</sup> come media annua oltre la quale è necessario intraprendere un'azione di bonifica per gli edifici già esistenti e di 200 Bq/m<sup>3</sup> per gli edifici di nuova costruzione (Bohicchio et al., 2001). Tra gli anni 80 e 90 è stata realizzata dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale), dall'Istituto Superiore della Sanità e dai Centri Regionali di Riferimento della Radioattività Ambientale degli assessorati regionali alla Sanità, oggi confluiti nelle Agenzie per la protezione dell'ambiente regionali (ARPA), un'indagine nazionale rappresentativa sulla esposizione al radon nelle abitazioni. Il valore della concentrazione media è risultato pari a 70 Bq/m<sup>3</sup>, valore relativamente elevato rispetto alla media mondiale valutata intorno a 40 Bq/m<sup>3</sup> e a quella europea di circa 59 Bq/m<sup>3</sup>.

I risultati dell'indagine nazionale aggregati per Regione mostrano una situazione molto diversificata (fig. 1) con concentrazioni medie regionali che vanno da poche decine di Bq/m<sup>3</sup> fino ad oltre 100 Bq/m<sup>3</sup> e singole abitazioni che arrivano fino a migliaia di Bq/m<sup>3</sup>. Tale differenza è dovuta principalmente alle differenti caratteristiche geologiche. Si evidenzia che all'interno delle singole regioni sono possibili variazioni locali, anche notevoli, della concentrazione di radon indoor, pertanto il valore della concentrazione media regionale non fornisce nessuna indicazione riguardo alla concentrazione di radon presente nella singola abitazione.

La concentrazione di radon in una abitazione dipende da molti fattori: dalla presenza di uranio e radio nel suolo e nei materiali da costruzione, dalla permeabilità del suolo, dalle tecniche costruttive e dalle abitudini di vita. Tuttavia, elevati livelli di radon possono essere riscontrati ovunque. Esistono delle aree, denominate radon prone areas, in cui si riscontrano elevati livelli di radon in una percentuale di edifici superiore ai valori medi.

Negli anni successivi all'indagine nazionale, diverse Regioni hanno svolto ulteriori indagini, su scala regionale o sub-regionale, finalizzate all'individuazione delle aree con elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon come previsto dal D.Lgs. 230/95 o comunque hanno effettuato campagne di misura per approfondire la conoscenza della distribuzione dei livelli di radon sul proprio territorio (fig. 2). Ulteriori informazioni possono essere reperite dai siti web delle Agenzie Regionali e delle Province Autonome per la protezione dell'ambiente. Tali indagini hanno notevolmente ampliato la produzione di dati sul territorio, permettendo di comprendere la distribuzione spaziale dei livelli di radon all'interno del territorio regionale e di rappresentarla attraverso delle mappe di radon (ANPA, 2000). La mancanza di linee guida ha generato, però, una situazione molto eterogenea nelle metodologie di esecuzione delle indagini e nella rappresenta-

zione cartografica, pertanto servono ulteriori sforzi per ottenere una mappa delle aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon a livello nazionale.



**Figura 1.** Risultati dell'indagine nazionale sull'esposizione al radon nelle abitazioni



**Figura 2.** Indagini regionali per l'individuazione delle aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon. Fonte ISPRA 2014

### 1.2 – Il contesto locale

La regione Calabria presenta un gap di circa venti anni fra la effettuazione della campagna di misura nazionale e le campagne di misura effettuate a livello regionale dagli organismi competenti per quanto riguarda le misure della concentrazione di gas radon nei luoghi chiusi. L'analisi dei dati effettuata dall'Arpacal- Laboratorio Fisico presenta un territorio in cui la concentrazione media di radon negli ambienti confinati è pari a circa  $76 \text{ Bq/m}^3$ , sensibilmente più alta di quella attribuita dalla campagna di misure del 1990 (valori attribuiti al territorio calabrese  $20\text{-}40 \text{ Bq/m}^3$ ). L'indagine è stata effettuata dall'Arpacal durante un triennio (campagna di misura 2012-2014) nelle Province di Catanzaro e Crotone, ed il risultato acquisito in questa indagine confermerebbe il fatto che il territorio calabrese presenta un livello di radon tutt'altro che trascurabile (Fuoco et al., 2015). Pertanto nel nostro studio ci si è prefissi l'obiettivo di approfondire la conoscenza del fenomeno nella Provincia di Cosenza, dove ci sono ancora pochi dati a disposizione.

## 2. Metodologia

L'apparato di misura (Pylon) è composto da un'unità principale (AB-5 Portable Radiation Monitor) supportata da un set di accessori per la misura delle concentrazioni di gas radon in suoli, acque ed ambienti chiusi. Il principio di funzionamento dell'AB-5 con gli accessori che si collegano al pannello frontale è il seguente: uno scintillatore nell'accessorio genera impulsi di luce in risposta all'energia rilasciata dalle particelle emesse dal materiale radioattivo. Questi impulsi di luce vengono amplificati grazie ad un fotomoltiplicatore PMT e convertiti in impulsi elettronici i quali vengono inviati su un circuito stampato interno dell'AB-5. In esso un microprocessore conta e registra gli impulsi su intervalli scelti dall'operatore.

Nel seguente lavoro di ricerca ci siamo occupati di misurazioni di Radon nei gas del suolo ed in edifici per cui l'apparato AB-5 è stato utilizzato con i seguenti accessori: celle di Lucas e Modello CPRD (Continuous Passive Radon Detector) per misurare gas Radon in  $\text{pCi/l}$  oppure in  $\text{Bq/m}^3$ . Inoltre l'apparato AB-5 è corredato di una stampante portatile PPT-1, di un'interfaccia CI-55, che consente la connessione del contatore ad un PC, e infine di un adattatore ABA utilizzato per montare gli accessori CPRD e Celle di Lucas al contatore (Pylon, 1993).

Per quanto riguarda le misure di gas radon effettuate all'esterno degli edifici, sono stati prelevati campioni di gas del suolo eseguendo un campionamento regionale di dettaglio, ovvero si sono eseguite quattro misure di concentrazione per ogni  $\text{km}^2$ . I punti nei quali sono state effettuate le misure sono stati localizzati utilizzando un GPS, dunque per ogni punto di campionamento sono noti latitudine e longitudine (UTM) e valore della concentrazione di radon nel sito. I campioni sono stati prelevati ad una profondità di 0,50 metri utilizzando una sonda, in modo tale che le misure non siano influenzate dalle variazioni atmosferiche di concentrazione. Si è utilizzato l'apparato Pylon AB-5 costituito da una unità principale corredata da una stampante portatile PPT-1, da una serie di celle di Lucas collegate tramite l'adattatore ABA. Il gas

viene prelevato in modo attivo aspirando il campione ad una velocità nota 3 l/min per un tempo  $t$  noto al fine di ottenere volumi costanti di gas e misure direttamente confrontabili.

Il modello CPRD è utilizzato con l'AB-5 per effettuare misure di concentrazione di gas Radon negli ambienti chiusi. Il CPRD è un detector passivo nel quale l'aria dell'ambiente diffonde continuamente attraverso un sottile filtro di poliuretano. Questo filtro fa sì che le particelle alfa presenti nell'ambiente non entrino all'interno del CPRD e che la concentrazione di Radon al suo interno si eguagli a quella dell'ambiente esterno dopo circa mezz'ora. E' importante considerare il fatto che questo detector non è affetto da cambiamenti di temperatura, dall'umidità o da fumi presenti nell'ambiente. E' composto da una camera a scintillazione per la rivelazione di particelle alfa emesse durante il decadimento radioattivo del radon e dei nuclidi figli del radon. Le superfici interne del cilindro sono ricoperte da un solfuro di zinco attivato con rame, che è un materiale fluorescente. L'energia delle particelle alfa incidenti sulle pareti esterne della cella è convertita in impulsi luminosi e poi trasformata in impulso elettrico dal PMT dell'AB-5. Il diametro interno del CPRD è 5.5cm e la lunghezza è di 12.2cm con un peso di 188g e un volume di 272 ml (fig. 3). La quantità di energia che una particolare particella alfa rilascia sulle pareti interne della cella al momento dell'impatto dipende dalla lunghezza del tratto che essa deve percorrere dal luogo in cui avviene la disintegrazione fino alla parete del CPRD. Il CPRD non è in grado, dunque, di distinguere fra le particelle alfa del Radon e le particelle alfa dei prodotti di decadimento del Radon. Questo perché i nuclei si disintegrano in posizioni arbitrarie all'interno del volume della cella e le particelle alfa possono essere emesse in qualsiasi direzione.

L'energia delle  $\alpha$  rilasciate nello scintillatore dipende dalla distanza percorsa dalla particella nello scintillatore prima di urtare contro le pareti. Essa può essere determinata mediante la formula di Bethe & Bloch. Una

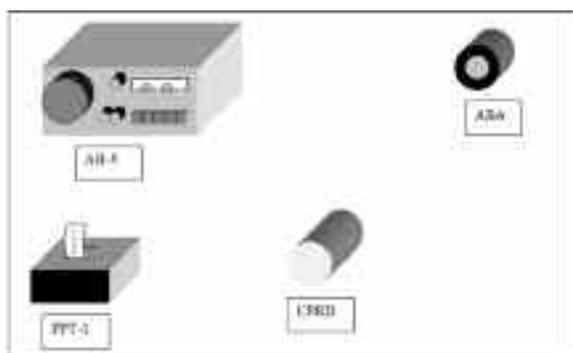


Figura 3. Strumento di misura delle concentrazioni di radon negli ambienti chiusi - Pylon: AB-5 (Portable Radiation Monitor), CPRD (Continuous Passive Radon Detector), adattatore ABA, stampante portatile PPT

particella  $\alpha$  con energia tipica di 5.3 MeV necessita di circa 35.6 eV per produrre una coppia di ioni nell'aria. Grazie a questa quantità possono essere calcolati l'energia  $E(x)$  delle  $\alpha$  emesse dal  $^{222}\text{Ra}$  in funzione della distanza da esse percorsa nell'aria (fig. 4).

Visto che le particelle  $\alpha$  emesse da  $^{222}\text{Ra}$ ,  $^{218}\text{Po}$  e  $^{214}\text{Po}$  hanno differenti energie esse avranno anche ranges diversi. Il range della particella  $\alpha$  in aria è schematizzato nel seguente grafico (fig. 5).

Affinché, quindi, il CPRD con l'AB-5 effettui conteggi di particelle  $\alpha$  provenienti dal decadimento del

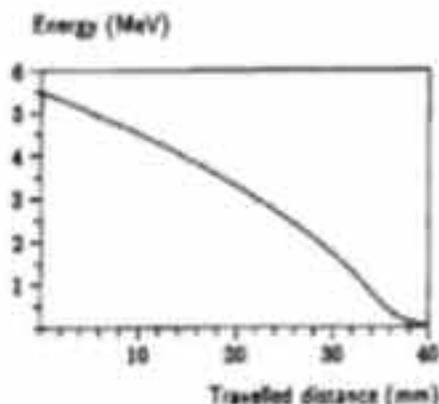


Figura 4. Energia delle particelle alfa in funzione della distanza da esse percorsa

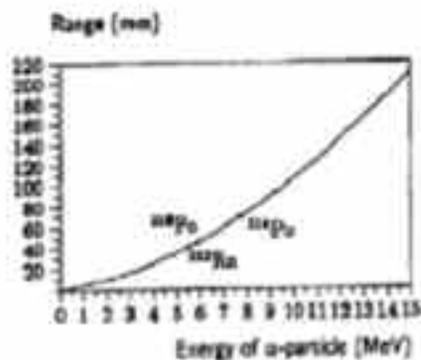
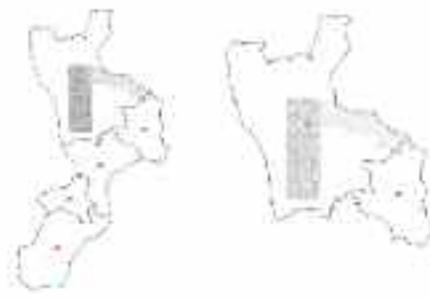


Figura 5. Range delle particelle alfa in funzione della loro energia

<sup>222</sup>Ra si deve eseguire una procedura di calibrazione mediante una sorgente di radon nota. C'è da specificare che non tutte le particelle  $\alpha$  vengono trasformate in impulsi di luce poiché molte perdono tutta la loro energia durante il loro percorso (all'interno del CPRD) senza potere arrivare sulle pareti interne dello scintillatore ed essere scintillate. Le serie di conteggi effettuati dall'AB-5 devono essere quindi compensate dal numero di particelle alfa non conteggiate. Uno speciale valore, noto come sensibilità (S), corregge questo scompenso e inoltre serve a convertire i conteggi della serie in concentrazione di gas Radon. Anche il valore di S viene determinato mediante il processo di calibrazione. Il Nep (Noise Equivalent Power) del CPRD corrisponde a  $1,32 \text{ Bq/m}^3$ . Questo valore ci dice che non è possibile stimare concentrazioni di Radon inferiori al valore di  $1,32 \text{ Bq/m}^3$ .

### 3. Applicazione del metodo

Nel nostro lavoro abbiamo effettuato misure della concentrazione di radon sia all'esterno degli edifici che all'interno degli edifici stessi (precisamente al piano terra). In particolare, per effettuare le misure negli ambienti esterni è stato effettuato un campionamento regionale che consiste nel prelevare quattro campioni di gas del suolo ogni  $\text{km}^2$ , invece per quanto riguarda le misure da effettuare negli ambienti interni è stato scelto un edificio, pubblico o privato, all'interno del  $\text{km}^2$  considerato. In effetti, il tasso di campionamento regionale, utilizzato nelle campagne di misura nei gas del suolo precedenti, è stato scelto come punto di partenza per uno studio dettagliato delle concentrazioni di radon negli ambienti interni, sia abitazioni private che pubbliche. Sono stati prelevati circa duemila campioni di gas radon negli ambienti interni, sia per quanto riguarda le misure effettuate in estate, sia per quanto riguarda le misure effettuate in inverno (fig.6).



**Figura 6.** Ubicazione dei punti di misura delle concentrazioni di radon (edifici pubblici e privati)

In realtà, poiché la Provincia di Cosenza è molto estesa e presenta caratteristiche geologiche disomogenee è stata suddivisa in tre sub aree che poi sono state successivamente raggruppate insieme al fine di ottenere la carta di rischio radon della intera Provincia di Cosenza (tab. 1).

	Misure nei gas del suolo (Bq/l)	Misure all'interno di edifici periodo estivo ( $\text{Bq/m}^3$ )	Misure all'interno di edifici periodo invernale ( $\text{Bq/m}^3$ )
Provincia di Cosenza	8096	2006	2029
Settore Costa Ionica	3284	798	821
Settore Settentrionale Graben Crati	2448	615	615
Settore Meridionale Graben Crati	2364	593	593

**Tabella 1.** Numero di campioni prelevati

I valori massimi di concentrazione di gas radon sono rispettivamente di  $89,91 \text{ Bq/l}$  negli ambienti esterni e  $420 \text{ Bq/m}^3$  negli ambienti interni, in particolare nella campagna di misura effettuata durante il periodo estivo il valore massimo registrato è di  $415,34 \text{ Bq/m}^3$  invece nella campagna effettuata durante il periodo invernale il valore massimo di concentrazione misurato è pari a  $427,43 \text{ Bq/m}^3$ . I valori massimi di concentrazione misurati provengono tutti dal settore denominato Costa Ionica, pertanto possiamo dedurre che esiste una chiara correlazione fra i valori massimi misurati durante la campagna di misura del radon

nei gas del suolo e i valori massimi misurati negli ambienti chiusi; tale correlazione dimostra che il tasso di campionamento utilizzato per la campagna di misure effettuata nei gas del suolo è significativo per la zona analizzata e ben descrive il fenomeno dell'andamento delle concentrazioni negli ambienti interni (tab. 2).

	Misure nei gas del suolo (Bq/l)	Misure all'interno di edifici periodo estivo (Bq/m <sup>3</sup> )	Misure all'interno di edifici periodo invernale (Bq/m <sup>3</sup> )
Provincia di Cosenza	89,91	415,34	427,43
Settore Costa Ionica	89,91	415,34	427,43
Settore Settentrionale Graben Crati	78,37	389,67	395,70
Settore Meridionale Graben Crati	37,39	303,21	321,77

**Tabella 2.** Concentrazione massima di gas radon

Per quanto riguarda il calcolo della media aritmetica dei valori misurati, valori medi di concentrazione di gas radon sono rispettivamente di 12,41 Bq/l negli ambienti esterni e di 76,75 Bq/m<sup>3</sup> negli ambienti interni, in particolare nella campagna di misura effettuata durante il periodo estivo il valore medio registrato è di 69,85 Bq/m<sup>3</sup> invece nella campagna effettuata durante il periodo invernale il valore medio di concentrazione misurato è pari a 83,65 Bq/m<sup>3</sup> (tab. 3).

	Misure nei gas del suolo (Bq/l)	Misure all'interno di edifici periodo estivo (Bq/m <sup>3</sup> )	Misure all'interno di edifici periodo invernale (Bq/m <sup>3</sup> )
Provincia di Cosenza	12,41	69,85	83,65
Settore Costa Ionica	15,77	98,37	114,20
Settore Settentrionale Graben Crati	12,34	68,60	79,76
Settore Meridionale Graben Crati	9,13	42,60	57,00

**Tabella 3.** Concentrazione media di gas radon (media aritmetica dei valori misurati)

Il calcolo della media aritmetica dei valori di concentrazione misurati consente di effettuare un confronto con il valore medio italiano e con gli altri studi effettuati nella regione Calabria. In particolare, possiamo notare che il valore medio del nostro studio è pari a 76,75 Bq/m<sup>3</sup> e conferma le stime fatte per l'Italia che pongono come valore medio 77 Bq/m<sup>3</sup>, invece si discosta dalla media aritmetica di concentrazione calcolata per la Calabria pari a 25 Bq/m<sup>3</sup>.

Per quanto riguarda il calcolo della media geometrica dei valori misurati, valori medi di concentrazione di gas radon sono rispettivamente di 11,35 Bq/l negli ambienti esterni e di 50,27 Bq/m<sup>3</sup> negli ambienti interni, in particolare nella campagna di misura effettuata durante il periodo estivo il valore medio registrato è di 44,82 Bq/m<sup>3</sup>, invece nella campagna effettuata durante il periodo invernale il valore medio di concentrazione misurato è pari a 56,39 Bq/m<sup>3</sup> (tab. 4).

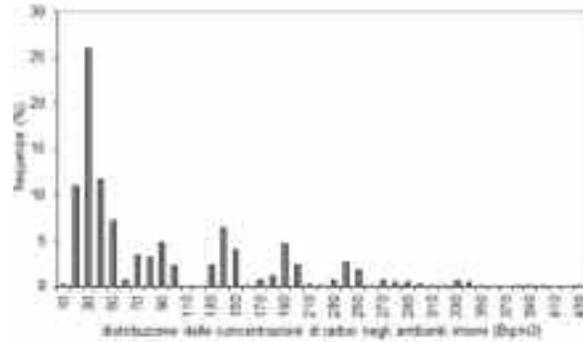
	Misure nei gas del suolo (Bq/l)	Misure all'interno di edifici periodo estivo (Bq/m <sup>3</sup> )	Misure all'interno di edifici periodo invernale (Bq/m <sup>3</sup> )
Provincia di Cosenza	11,35	44,82	56,39
Settore Costa Ionica	21,73	74,87	88,75
Settore Settentrionale Graben Crati	9,32	38,91	49,50
Settore Meridionale Graben Crati	7,23	30,90	40,82

**Tabella 4.** Concentrazione media di gas radon (media geometrica dei valori misurati)

Il calcolo della media geometrica ha consentito di effettuare confronti e considerazioni con studi effettuati nella regione Calabria, ed in particolare il dato può essere valutato sulla base di una recente campagna su

un territorio calabrese più esteso ma con un numero di dati osservati inferiore rispetto all'area indagata. Quest'ultima campagna denominata “dal Graben di Catanzaro alla Valle del Crati”, riportava una media geometrica della concentrazione di attività pari a  $66 \text{ Bq/m}^3$  (Fuoco et al., 2015), un poco superiore ai valori ottenuti in questo studio.

La figura 7 riporta le frequenze (%) delle concentrazioni di attività medie del gas radon negli ambienti confinati al piano terra nei mesi invernali e la distribuzione delle frequenze di concentrazione con una media aritmetica di  $83,65 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$  e una media geometrica pari a  $56,39 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$  (fig.7).



**Figura 7.** Distribuzione delle concentrazioni di radon misurate negli ambienti interni- piano terra- durante il periodo invernale nella Provincia di Cosenza (circa 2000 campioni analizzati)

Confrontando i valori ottenuti nella nostra indagine con quelli precedentemente ottenuti dall'Arpascal – Laboratorio Fisico nella campagna di misura svolta negli anni 2012-2014 nelle Provincie Calabresi di Catanzaro e Crotona, si può notare che la concentrazione massima da noi ottenuta, pari a  $420 \text{ Bq/m}^3$ , è sensibilmente inferiore al dato da loro ottenuto pari a  $441 \text{ Bq/m}^3$ , che invece ben si confronta con il valore massimo ottenuto nel nostro studio nella zona denominata settore ionico pari a  $427,43 \text{ Bq/m}^3$ .

Per quanto riguarda la concentrazione media (media aritmetica) si può notare che il valore da noi ottenuto è  $76,75 \text{ Bq/m}^3$  (ricordiamo che il valore nazionale è pari a  $77 \text{ Bq/m}^3$ ) ed è inferiore al valore misurato nelle Provincie di Catanzaro e Crotona pari a  $114 \text{ Bq/m}^3$ . Si può notare la stretta correlazione fra le provincie di Catanzaro e Crotona e la zona della provincia di Cosenza denominata settore ionico, anche notando che i valori medi misurati in questa zona sono pari a  $114,20 \text{ Bq/m}^3$ , cioè uguali a quelli misurati dall'Arpascal nello studio delle suddette provincie. Come precedentemente citato, il calcolo della media geometrica ha consentito di effettuare confronti e considerazioni con studi effettuati nella regione Calabria, ed in particolare con una campagna denominata “dal Graben di Catanzaro alla Valle del Crati”, la quale riportava una media geometrica della concentrazione di attività pari a  $66 \text{ Bq/m}^3$  e con il sopracitato lavoro effettuato dall'Arpascal che riporta il valore di  $76 \text{ Bq/m}^3$ , entrambi superiori al valore misurato in questo studio, confermando la notevole disomogeneità della Provincia di Cosenza rispetto ad altre zone analizzate. Il radon è un elemento radioattivo naturale classificato cancerogeno dall'OMS, la cui esposizione nei luoghi chiusi aumenta il rischio di contrarre un tumore polmonare. Rappresenta la seconda causa di tumore polmonare dopo il fumo di sigarette. L'entità del rischio dipende dalla concentrazione e dalla durata dell'esposizione. Il pericolo per la salute dell'uomo non è tanto il radon in se, ma dei suoi prodotti di decadimento che si attaccano al particolato dell'aria e penetrano nel nostro organismo tramite le vie respiratorie e da qui irradiano, soprattutto tramite le radiazioni alfa, le cellule dei bronchi producendo dei danni al DNA che, se non correttamente riparati dagli appositi meccanismi cellulari, possono evolversi in un tumore al polmone. Quindi, quando si parla di "Rischio Radon", in realtà i principali responsabili del danno biologico sono i prodotti di decadimento. A causa della sua pericolosità costituisce un fattore di rischio per la salute dell'uomo e pertanto ci si auspica un approfondimento del problema nella Provincia di Cosenza da noi studiata, a causa della variabilità dei valori misurati, e nelle zone dove non sono state effettuate campagne di misura o i dati sono scarsi.

## Bibliografia

<http://www.isprambiente.gov.it/it/temi/radioattivita-ambientale/Radon>

[http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Temi/Radioattivita\\_e\\_radiazioni/Radon](http://www.apat.gov.it/site/it-IT/Temi/Radioattivita_e_radiazioni/Radon) APAT: Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici ISS, ANPA, Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni, Istisan Congressi 34, Roma 1994.

ANPA, *Il sistema informativo territoriale per la valutazione del potenziale di esalazione di radon dal suolo*, Serie Stato dell'Ambiente 9, 2000.

Bertazzon et al, 1999, Geographic information science e valutazione di rischio per la bonifica dei siti contaminati, *Atti della 3 Conferenza Nazionale ASITA*, Napoli, 9-12 Novembre 1999. Volume I, pp. 305-310.

Bochicchio F., Risica S., Esposizione della Popolazione Italiana a Radiazioni Ionizzanti di Origine Naturale, Proc. Convegno Nazionale di Radioprotezione: Dosimetria personale ed ambientale (AIRP 2001), La Maddalena 26 - 28 settembre 2001.

Fuoco V., Fòlino Gallo M., Procopio S., Migliorino C., 2015, *La Carta del Rischio Radon di Catanzaro e Crotona*, Arpacal Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Calabria.

Moroni M., 2001, Il radon nella pianificazione territoriale, in *Informatica e Pianificazione Urbana e Territoriale*, Democrazie e Tecnologie. pp. 1-16.

Pylon, 1993, *Pylon model AB-5 portable radiation monitor instruction manual*.