



## IL MONITORAGGIO DELLA RADIOATTIVITÀ NATURALE NEL COMUNE DI ROGGIANO GRAVINA

A cura di Salvatore Procopio

**IL MONITORAGGIO DELLA RADIOATTIVITÀ  
NATURALE NEL COMUNE DI ROGGIANO GRAVINA**



Laboratorio Fisico Ettore Majorana dell'A.r.p.a. Cal di Catanzaro

## Indice

PREMESSA.....	4
INTRODUZIONE.....	5
MATERIALI E METODI.....	6
RISULTATI.....	11
CONCLUSIONI.....	16

## **COMUNE DI ROGGIANO GRAVINA**

- Dott. essa Monica Nardi, Capogruppo di Maggioranza Comune di Roggiano Gravina:  
*nardi@unical.it;*
- Sindaco del Comune di Roggiano Gravina, Ignazio Icone :  
[sindaco@comune.roggiano.cs.it;](mailto:sindaco@comune.roggiano.cs.it)
- Dott. Luigi Lanza, Assessorato Sanità – Ambiente al Comune di Roggiano Gravina  
(2009-2011)

## **ARPACAL**

Agenzia Regionale per la Protezione dell' Ambiente della Calabria

Via Lungomare snc – Loc. Giovino Catanzaro Lido - [www.arpacal.it](http://www.arpacal.it)

**LABORATORIO FISICO ETTORE MAJORANA DEL DIPARTIMENTO ARPACAL DI CATANZARO** fisico.cz@arpacal.it

- Salvatore Procopio, [s.procopio@arpacal.it](mailto:s.procopio@arpacal.it)
- Angelica Rania, [angelica\\_rania@yahoo.it](mailto:angelica_rania@yahoo.it)
- Filomeno Caldarola, [f.caldarola@arpacal.it](mailto:f.caldarola@arpacal.it)

*TEL. 0961731268 INT.20*

*FAX. 0961738689*

*Via lungomare giovino di Catanzaro*

*88100 Catanzaro*

Si ringraziano per la collaborazione:

il Responsabile dell'Ufficio Urbanistica ed Ambiente del Comune di Roggiano Gravina, Arch. Elio Furioso e il responsabile dell'ufficio acquedotti Sig.Enzo Sicilia

*ARPACAL, tutti i diritti sono riservati. É autorizzata la riproduzione anche parziale di quanto pubblicato purché ne sia citata la fonte e ne sia data comunicazione.*

## PREMESSA

Lo studio muove dall'esigenza di indagare su alcune sorgenti di rischio che hanno provocato nell'ultimo decennio numerosi sospetti sul presunto aumento di alcune patologie tumorali di una vasta area cosentina in cui ricade il Comune di Roggiano Gravina. Le caratteristiche geologiche del territorio e un'importante frattura della crosta superficiale in prossimità dell'area in oggetto non hanno permesso di escludere dalla lista dei potenziali agenti patogeni la più importante sorgente del campo della radioattività naturale: il radon. È stato completato un monitoraggio della radioattività naturale e del gas radon su tutto il territorio comunale con l'intento di stimare i livelli di concentrazione di radon nelle unità abitative e nei luoghi di lavoro attraverso la misura diretta della concentrazione di attività in aria e acqua; effettuare una valutazione di dose alla popolazione e individuare le eventuali zone a rischio radon. L'analisi geofisica del territorio, la misura della radioattività naturale in diverse matrici ambientali ed alimentari e un congruo numero di misure di radon al suolo, hanno supportato i risultati dell'indagine. Per la misura della concentrazione del radon indoor è stato impiegato un dosimetro ad elettrodo nella configurazione LLT (*Long Term*), un disco di teflon carico elettricamente per misure a lungo periodo montato su una camera di conteggio di tipo L in plastica conduttiva. Lo studio è stato proposto dal Capogruppo di Maggioranza del Consiglio Comunale di Roggiano Gravina, la Dr.ssa *Monica Nardi*.

Nell'ambito della realizzazione del progetto sono stati organizzati:

- I. un seminario a tema con i tecnici comunali e gli amministratori:  
*il rischio radon, il 08/02/2010;*
- II. due incontri pubblici con la popolazione: *l'aggettivo naturale alimenta disinteresse*, il 12/07/2010; *Progetto di monitoraggio della radioattività naturale nel comune di Roggiano Gravina il 04/05/2011;*

Le famiglie che hanno partecipato alla campagna di monitoraggio otterranno la certificazione della radioattività naturale, atto che attesta il livello di concentrazione della radioattività naturale presente nel sito indagato.

## INTRODUZIONE

L'area in esame, circa 45 km<sup>2</sup> è situata su una collina a 250 m s.l.m., in una posizione centrale della Valle del Crati, tra la costa tirrenica e quella ionica. Il nucleo abitato occupa la parte centrale della vasta area bagnata quasi completamente dal fiume Esaro. Le caratteristiche geologiche dell'area sono tipiche unità della catena alpina composte principalmente da serpentiniti, metabasiti, scisti verdi, calcari, filladi, micascisti e da una copertura carbonatica mesozoica. L'Arco Calabro<sup>[i]</sup>, considerato un frammento di catena alpina è delimitato da due importanti sistemi di faglie: la "Linea del Pollino" a Nord che rappresenta la zona di confine tra i terreni cristallini calabresi e quelli carbonatici appenninici e che ha portato la catena Alpina a penetrare profondamente nell'arco ionico; e la "Linea di Taormina" a Sud. Lungo questi due importanti limiti si sviluppa la complessa evoluzione geodinamica del sistema di faglie presenti nella parte nord e centro occidentale della regione. In questo quadro geologico articolato e assai evolutivo il radon, gas nobile radioattivo generato principalmente da alcune rocce della crosta terrestre lave, tufi, graniti, materiali di origine vulcanica, rocce sedimentarie può diffondersi più facilmente attraverso le fratture della crosta, fessure e fori fino a raggiungere i piani interrati e seminterrati degli ambienti di vita, determinando un aumento delle concentrazioni di attività volumetrica e di conseguenza del rischio derivante dall'esposizione. In presenza di particolari materiali da costruzione questa grandezza volumetrica può aumentare ed amplificare il rischio fino a renderlo più significativo per la salute dei soggetti esposti. Come è noto, il radon è stato classificato dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro<sup>[ii,iii,iv]</sup> (IARC/OMS) 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<sup>[v,vi,vii]</sup>.

Negli ambienti di vita e nei luoghi dove risiedono persone del pubblico, scolari o studenti, la stima del rischio radon dipende dalla sensibilità degli enti o dei soggetti privati. 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. La Raccomandazione 90/143/Euratom del 21/11/1990, *la tutela della popolazione dall'esposizione al radon in ambienti chiusi*, fissa 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 i nuovi. A partire dal 2006, il Centro Nazionale per la Prevenzione e il Controllo delle Malattie ha

promosso la realizzazione di un Piano Nazionale Radon finalizzato alla promozione e al monitoraggio delle attività per la riduzione del rischio di tumore al polmone<sup>[viii]</sup> messe in atto sul territorio. L'aspetto sanitario del radon è determinato dai suoi prodotti di decadimento ed in particolare dai radionuclidi emettitori di particelle alfa:  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Po}$ <sup>[ix]</sup>. Questi, in quanto ioni metallici sono chimicamente attivi possono subire processi di deposizione o legarsi alle particelle di aria ed essere inalate, esponendo al rischio una qualsiasi regione dell'apparato respiratorio: naso-faringe, tratto bronchiale, tratto polmonare<sup>[x]</sup>. La conseguenza per un individuo può essere l'aumento della dose assorbita e della probabilità di insorgenza di tumori polmonari<sup>[xi]</sup>. Le particelle "α" emesse dal radon e dai suoi figli, vengono classificate come radiazioni ad alto LET (Trasferimento di Energia Lineare) e quindi con un'alta efficacia biologica e particolarmente pericolose se introdotte per via interna. Organismi internazionali<sup>[xii]</sup> infatti, attribuiscono al radon una frazione rilevante dei casi di tumore polmonare; si stima, in via preliminare che in Italia da 1500 a 6000<sup>[xiii]</sup> casi all'anno, su un totale di 30.000 potrebbero essere causati dall'esposizione a concentrazioni di radon.

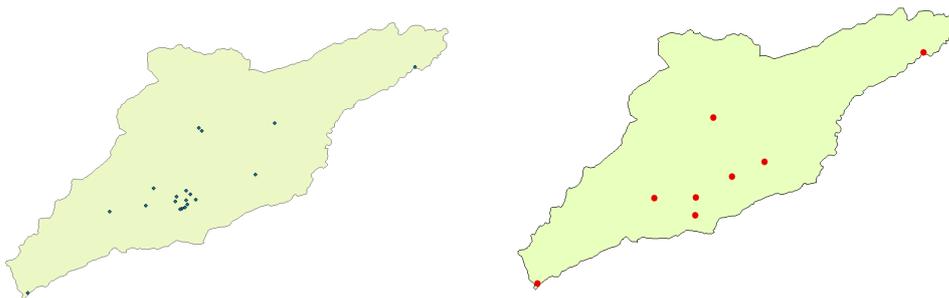
## **MATERIALI E METODI**

I criteri di scelta e il posizionamento dei dosimetri per la misura del gas radon nelle utenze domestiche hanno avviato l'indagine. L'analisi puntuale delle caratteristiche del territorio e la necessità di rappresentare tutto il perimetro comunale, che possiede caratteristiche geologiche e litologiche omogenee, hanno condizionato l'individuazione dei punti di misura. Tenuto conto che la densità abitativa più significativa occupa una porzione ristretta della vasta area del perimetro comunale e a parità di condizioni ideali, considerato l'interesse locale dell'indagine sono state privilegiate le utenze domestiche dove si sono verificate patologie tumorali. Quest'ultima scelta non è scriteriata se si consultano le schede informative raccolte nei siti indagati che, oltre alle caratteristiche costruttive e i materiali utilizzati, riportano dati interessanti: la maggior parte dimora nelle abitazioni da più di 30 anni e certe patologie riguardano soggetti che non hanno svolto lavori in ambienti esterni. Al fine di ottemperare alla norma vigente sulla protezione dei lavoratori in materia di radiazioni ionizzanti, le misure della concentrazione di radon sono state effettuate nei luoghi di lavoro interrati e seminterrati di proprietà comunale: archivio, biblioteca, refettorio comunale. Tutte le scuole comunali e non, di ogni ordine e grado sono state monitorate su ogni piano rispetto alla sorgente primaria. La permanenza di popolazione giovanile in questi luoghi ha permesso di sopperire alla mancanza

dell'obbligo di misura. Per tutti i luoghi confinati sono stati privilegiati i piani più vicini alla litosfera ma in ogni punto di misura sono stati posizionati almeno due dosimetri per una migliore rappresentatività spaziale e superficiale della concentrazione di radon. Per la misura della concentrazione del gas radon in aria sono stati impiegati dosimetri ad elettrete per lunga durata (*long term*), dischi di teflon carichi elettricamente montati su una camera di conteggio in plastica conduttiva tipo L. La tecnica di misura è denominata *sistema E-Perm* e si basa sulla rivelazione della radiazione  $\alpha$  emessa durante il decadimento radioattivo. Il gas penetra in questi dispositivi per diffusione e per effetto del suo decadimento ionizza il volume della camera di conteggio scaricando il potenziale superficiale del disco. Dalla differenza tra il potenziale elettrico iniziale e quello finale è possibile determinare la concentrazione di attività volumetrica di radon in  $Bq/m^3$  presente in un determinato sito sfruttando la relazione [1]:

$$[^{222}\text{Rn}] = \left\{ \frac{V_i - V_f}{C_F \cdot t_e} - C_\gamma \right\} \cdot H \quad [1]$$

dove  $[^{222}\text{Rn}]$  in  $Bq/m^3$  è la concentrazione di attività di radon in aria;  $V_i$  e  $V_f$  in *Volt*, il potenziale superficiale iniziale e finale dell'elettrete;  $C_F$  in  $[(Volts \cdot m^3)/(Bq \cdot giorno)]$  è il coefficiente di calibrazione;  $t_e$  in giorni è il tempo di esposizione, per questa indagine un anno solare suddiviso in due semestri;  $C_\gamma$  in  $Bq/m^3$  è la concentrazione di radon equivalente dovuta alla radiazione gamma;  $H$  adimensionale è il fattore correttivo per l'altitudine. Il lettore di potenziale impiegato per la lettura degli elettreti è un Rad Elec E-Perm<sup>[xiv]</sup>.



**Fig. 1:** *posizionamento dei dosimetri e punti di misura del radon al suolo. Roggiano Gravina*

In sintesi la prima parte dell'indagine si compone delle seguenti fasi:

- la scelta e l'individuazione dei locali utili alla misura<sup>[xv]</sup>;
- il posizionamento in 22 siti (Fig.1) di **45** elettretti per la misura della concentrazione del gas radon in aria tra utenze private e pubbliche ricadenti nel territorio. A seconda della superficie del piano ogni punto di misura ha ospitato almeno 2 dosimetri.

Alla fine del primo semestre di esposizione dei rivelatori passivi, sono state calcolate le concentrazioni parziali di attività degli ambienti confinati e si è proceduto con la individuazione dei punti (Fig.1) per la misura della concentrazione del gas radon nel suolo; pur consapevoli che la correlazione tra la concentrazione di radon nel suolo e quella degli ambienti confinati più prossimi non sempre è dimostrata. Per tale ragione sono state effettuate misure di concentrazione di radon nel suolo in corrispondenza di punti in grado di garantire una buona rappresentatività del territorio. Il monitoraggio della concentrazione di radon nel suolo è stato realizzato impiegando una catena di misura formata da: un monitore tipo MR1 con un rivelatore a scintillazione, una cella di Lucas con una sensibilità di 0,0341 [cpm/(Bq/m<sup>3</sup>)] accoppiata ad un fotomoltiplicatore e una sonda in acciaio posta ad una profondità di 60 cm dalla superficie.

La misura è stata effettuata con una modalità di esecuzione attiva, cioè aspirando il radon con la pompa di aspirazione del MRI con un flusso di 0,25 l/min e realizzando su ogni punto di misura, tre campionamenti per un tempo di conteggio complessivo di 30 minuti. Le misure sono state realizzate in condizioni atmosferiche stabili. Per la determinazione della concentrazione di attività del gas radon in acqua è stato realizzato un monitoraggio con più campionamenti e in diversi periodi dell'anno su tutte le sorgenti di acqua destinate al consumo umano presenti sul territorio. Le misure sui campioni di acqua con capacità volumetrica di 250 ml, in condizioni di equilibrio secolare, sono state realizzate adoperando il sistema IDRA (Minima Attività Rivelabile = 2 Bq/l) in grado di determinare la concentrazione di <sup>222</sup>Rn mediante la tecnica del degassamento e la rivelazione delle particelle alfa emesse dal <sup>218</sup>Po. La grandezza interessata è stata determinata utilizzando la relazione [2]:

$$[{}^{222}\text{Rn}] = \left\{ \frac{N_{\alpha} - N_{fondo}}{V \cdot \tau \cdot 3 \cdot \epsilon_{riv} \epsilon_{deg}} \right\} \cdot e^{-[\lambda_{Rn} \Delta t]} \quad [2]$$

dove  $[{}^{222}\text{Rn}]$  è la concentrazione di radon in acqua espressa in Bq/l;  $N_{\alpha} - N_{fondo}$  è il numero di conteggi netti;  $V$  è il volume del campione in litri;  $\tau$  il tempo di conteggio in s;  $\epsilon_{rivelazione}$  è

l'efficienza del rivelatore;  $\epsilon_{degassamento}$  è l'efficienza di degassamento;  $\Delta t$  è l'intervallo di tempo tra prelievo e conteggio;  $\lambda_{Rn}$  è la costante di decadimento del gas radon. Al fine di stimare l'effetto della radioattività naturale e per escludere la presenza di radionuclidi artificiali, sono stati analizzati, con una catena di spettrometria gamma al germanio (efficienza del 32%), diversi campioni alimentari e ambientali presenti sul territorio: terreni e affioramenti rocciosi, latte, pomodori, meloni e peperoni.



**Fig. 2:** *luoghi di posizionamento dei dosimetri passivi*



**Fig. 3:** *luoghi di posizionamento e misura*

Come già evidenziato, se pur ben rappresentato da un numero sufficiente di misure utili per effettuare una stima accurata del rischio radon, questo territorio è stato preso a modello per alcune considerazioni più generali che possono interessare anche il resto della Regione Calabria. In particolare, la necessità di costruire una mappa con criteri scientificamente condivisi per l'individuazione delle zone dove più alta è la probabilità di rischio radon. Pertanto, considerata la variabilità spaziale dei valori di radon indoor è stata applicata una tecnica di geostatistica<sup>[xvi]</sup> per l'analisi spaziale della distribuzione dei punti di misura, al fine di definire una mappa descrittiva del fenomeno. La costruzione di una mappa della probabilità di trovare concentrazioni elevate o di superare i livelli di azione previsti dalla normativa internazionale per gli ambienti di vita

confinati in un'area senza informazioni sperimentali, sarà successiva alle finalità di questo lavoro. La tecnica impiegata è il metodo del Kriging (miglior stimatore lineare esatto) che tiene conto dei rapporti spaziali tra un punto incognito e il punto di misura. L'applicazione del metodo prevede preliminarmente la costruzione di un variogramma sperimentale, una funzione che dipende dalla distanza tra coppie di punti e in grado di strutturare una continuità spaziale del fenomeno attraverso la determinazione di alcuni parametri. In questa fase si è tenuto conto della varianza e della clusterizzazione dei dati, quest'ultimo aspetto vincolante per il variogramma e causa dell'effetto pepita. I limiti della tecnica sono ben noti: sottostima dei massimi, sovrastima dei valori minimi e rappresentazione poco accurata in presenza di hot spot.

Gli strumenti impiegati:



*contatore di carica ed elettretti passivi per la misura del radon*



*misuratore in continuo del gas radon*

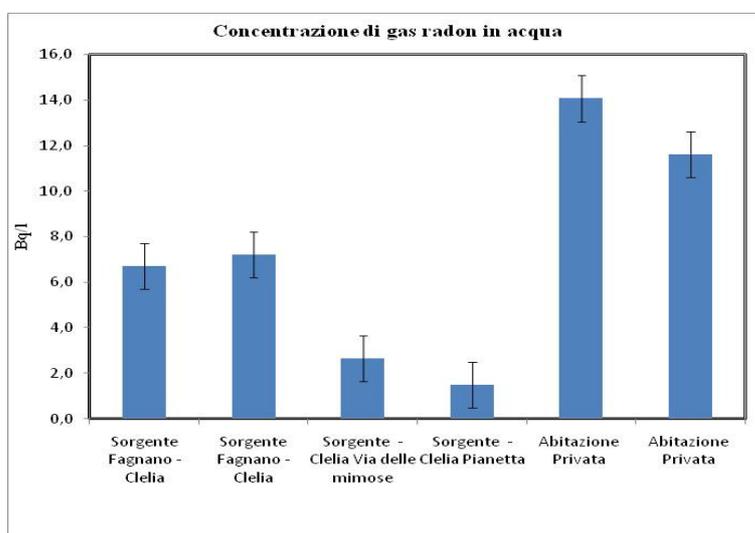


*misuratore del gas radon in acqua*

## RISULTATI

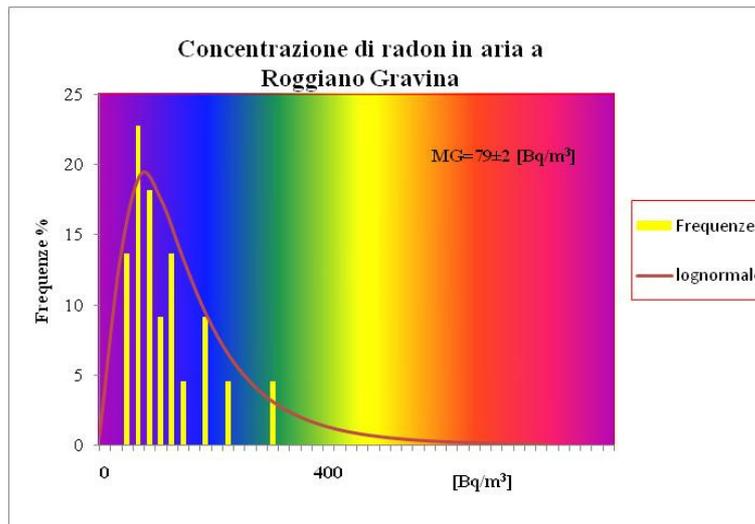
Al fine di stimare il fondo gamma ambientale è stato misurato in continuo per un intervallo di tempo pari a 600 secondi e in diversi punti del territorio, l'equivalente del rateo di dose ambientale impiegato per calcolare la concentrazione di radon equivalente prodotta dal fondo gamma. In media il fondo ambientale nel territorio di Roggiano Gravina è di  $120 \pm 12$  nSv/h. Gli accertamenti radiometrici sui campioni alimentari e ambientali hanno mostrato la presenza di radioisotopi naturali appartenenti alle famiglie dell'uranio e del torio in concentrazione confrontabile con i dati di letteratura. I campioni di terreno sono stati prelevati in contrada Forestella (E 598220, N 4385498) alt. 303; Famiglia Incuti Vincenzo (E 0601729, 4386607) alt. 145; località Pignataro, (E 598363, N 4387047) alt. 198 .

La concentrazione media di radon in acqua (Fig.4) misurata è di  $7 \pm 1$  Bq/l, un valore che è in accordo con le concentrazioni già note per altri siti del territorio regionale e ben distante dal riferimento normativo europeo di 100 Bq/l.



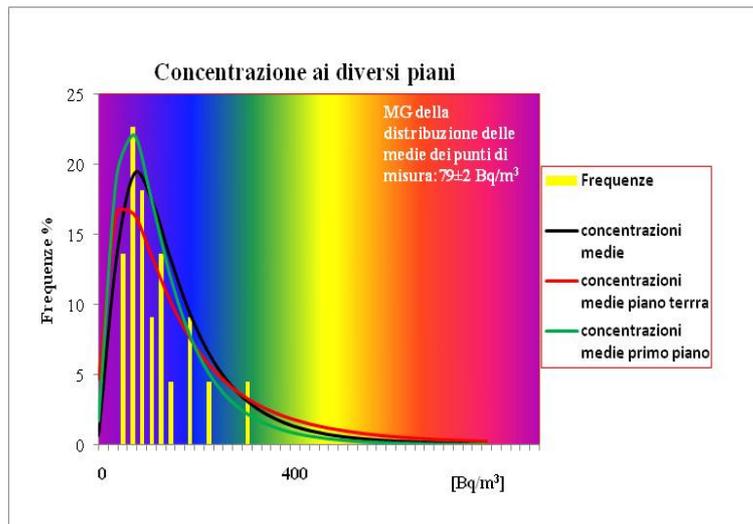
**Figura 4:** concentrazioni di radon in acqua delle sorgenti presenti sul territorio

L'abitazione privata che compare in Fig.4 è una sorgente di pozzo abitualmente utilizzata per usi civili.



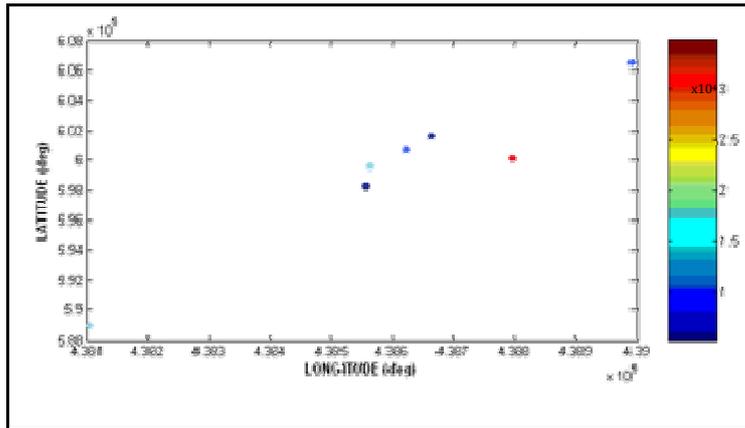
**Figura 5:** distribuzione delle concentrazioni di radon nei punti di misura

Le medie riportate in figura 4 sono il risultato di 5 campionamenti per sorgente realizzate in periodi diversi. In Fig. 5 sono riportate le frequenze ottenute con le concentrazioni di attività medie del gas radon negli ambienti confinati e la *distribuzione Lognormale* delle frequenze con una media geometrica pari a  $79 \pm 2 \text{ Bq/m}^3$ . È questo il valore che più della media aritmetica rappresenta la distribuzione sperimentale. Nella figura successiva (Fig.6) vengono presentate le distribuzioni ottenute con le concentrazioni medie ai vari piani (piano terra e primo piano) e quelle ottenute in un stesso punto di osservazione. È ben evidente la dipendenza della concentrazione di attività del radon in funzione della distanza dalla litosfera. In generale, la concentrazione diminuisce con l'allontanamento dalla sorgente primaria che è il suolo. L'analisi dei risultati ha evidenziato che la distribuzione delle concentrazioni normalizzate al piano terra (Media Geometrica= $76 \pm 2 \text{ Bq/m}^3$ ) è identicamente definita come coincidente con la distribuzione delle concentrazioni ottenute dalla media aritmetica delle misure realizzate nello stesso punto ( $MG=79 \pm 2 \text{ Bq/m}^3$ ). Per normalizzare le poche misure realizzate ai piani diversi da quelli di campagna è stato calcolato il rapporto tra le concentrazioni al piano e i rispettivi fattori di normalizzazione: 0,85 piano seminterrato – piano terra e 1,17 primo piano – piano terra. La concentrazione di attività media del comune in esame pur registrando valori di concentrazione (Fig.5 e 6) importanti, è in sintonia con quella dell'Italia ottenuta nella campagna nazionale di misura del radon<sup>[xvii]</sup>.



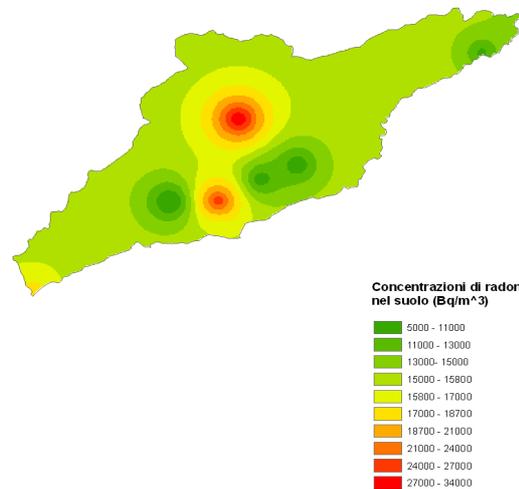
**Figura 6:** distribuzione ai piani

Il campione scelto per le misure indoor è rappresentativo del territorio e fortemente condizionato da una densità abitativa concentrata quasi per intero nel nucleo storico. La media geometrica della distribuzione dei punti di misura è l'indicatore impiegato per il calcolo della stima di dose alla popolazione. Nel tentativo di voler costruire una mappa interpolando le misurazioni di radon indoor e con il solo intento di voler marcare le zone del territorio con le diverse concentrazioni di radon, si è proceduto con la misurazione diretta delle concentrazioni nel suolo. Su tutto il territorio comunale ( $45 \text{ km}^2$ ) sono state effettuate 8 misure di concentrazione di radon nel suolo in punti scelti per rappresentare il territorio e indagare sulle concentrazioni più significative misurate al piano terra. In figura 7 sono riportati i valori delle concentrazioni al suolo e le coordinate geografiche dei punti di misura. La concentrazione media più importante registrata è pari a  $34,5 \pm 0,1 \text{ kBq/m}^3$ . In figura 8 è stata ricostruita, con la tecnica del Kriging, una mappa descrittiva del radon ottenuta con le misure delle concentrazioni al suolo e finalizzata alla spazializzazione delle osservazioni sperimentali. Il variogramma sperimentale è stato interpolato con un fit esponenziale. La mappa presenta un quadro della distribuzione media delle concentrazioni di radon anche se non può essere direttamente assunta come uno strumento predittivo. Tuttavia vengono evidenziati punti che hanno una buona corrispondenza con le misure.



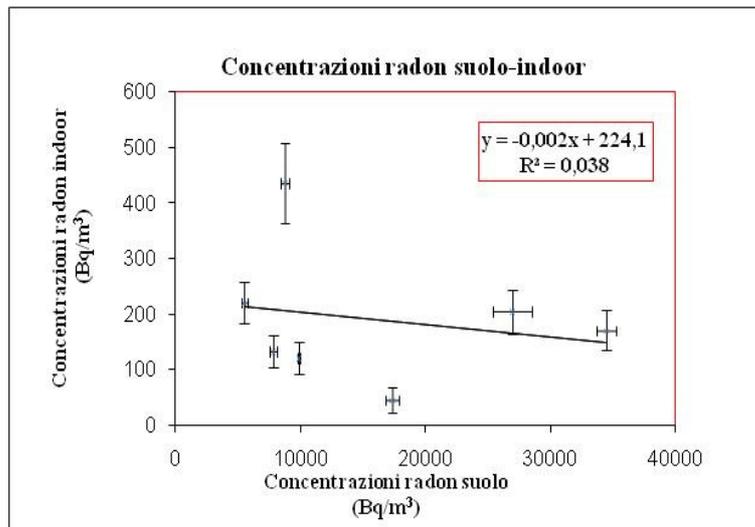
**Figura 7:**concentrazione di radon nel suolo

Al fine di verificare se concentrazioni importanti di radon nel suolo possono condizionare i valori di radon indoor, avendo effettuato delle misure in corrispondenza con le concentrazioni più critiche di radon indoor misurate al piano terra è stato realizzato uno studio sulla correlazione.



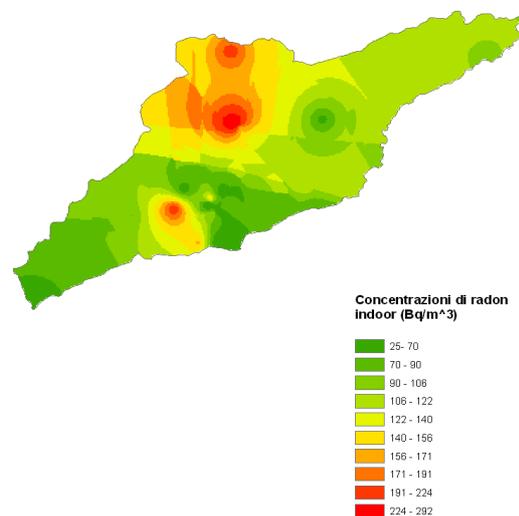
**Figura 8:**mapa della concentrazione di radon al suolo

I dati presentati in figura 9, come si verifica in genere, dimostrano che non vi è dipendenza diretta tra la concentrazione di radon nel suolo ( $R^2=0,038$ ) e quella misurata negli ambienti confinati: la presenza di concentrazioni significative di radon nel suolo non implicano necessariamente una corrispondenza nell'ambiente confinato.



**Figura 9:** concentrazioni di radon al suolo-indoor

Anche per le concentrazioni del radon indoor si è proceduto con una spazializzazione del dato con l'algoritmo di stima (modello esponenziale) e di riempimento delle zone dove non si hanno informazioni sperimentali (Fig.10).



**Figura 10:** mappa della concentrazione di radon in ambienti confinati

Conoscendo il valore della concentrazione media di attività del gas radon in aria ( $79 \pm 2$  Bq/m<sup>3</sup>) per gli ambienti confinati, assumendo un fattore di equilibrio pari a 0,4 e un tempo di occupazione dell'ambiente interessato superiore alle 6000 ore, si può stimare il contributo del radon alla dose efficace: 0,6 mSv/anno. Se si considera la concentrazione media del radon in acqua di 7 Bq/l e si assume un consumo giornaliero di acqua da sorgente locale pari a 0,2 l si può

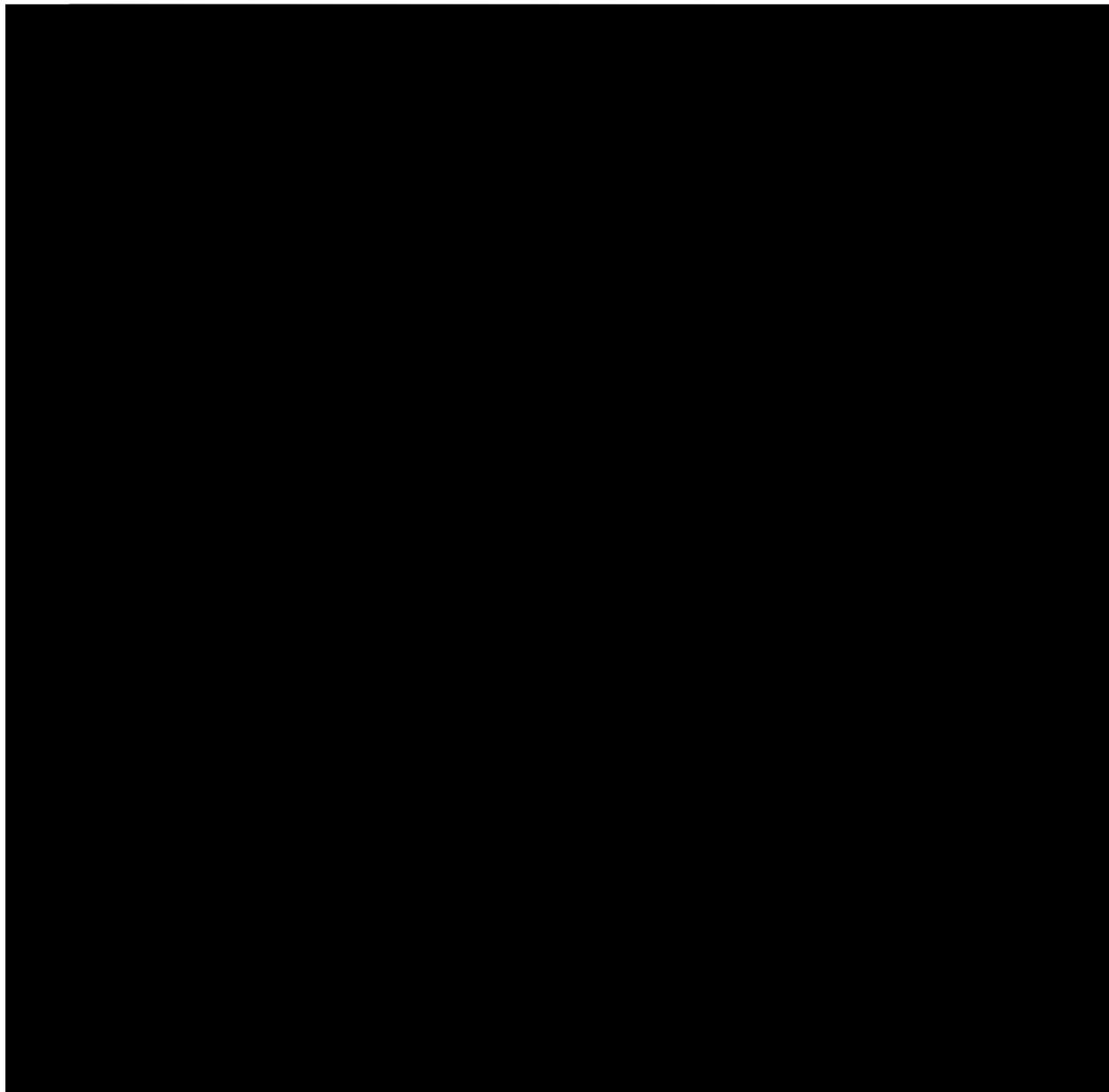
stimare la dose derivante da ingestione del radon in acqua che è pari a 0,018 mSv/anno. Il contributo della concentrazione di radon in acqua alla dose da inalazione è quasi del tutto trascurabile e si stima<sup>[xviii]</sup> essere lo stesso di quello prodotto da una concentrazione di circa 0,7 Bq/m<sup>3</sup>. Il contributo totale del radon presente nel territorio indagato si stima intorno a 0,62 mSv/anno e può essere confrontato con il valore di dose efficace di 1,26 mSv/anno<sup>[4]</sup> che è il contributo del radon alla dose totale generata dal fondo della radioattività naturale. Su scala mondiale, la dose efficace assorbita dalla popolazione è in media pari a 2,48 mSv/anno se si considerano gli altri contributi: i raggi cosmici e i radionuclidi cosmogenici <sup>7</sup>Be, <sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C, <sup>40</sup>K. In Italia, il livello di dose efficace consentito dalla norma per la popolazione è di 1 mSv/anno.

## CONCLUSIONI

Il lavoro sperimentale ha migliorato il quadro cognitivo sugli agenti patogeni del territorio contribuendo a giustificare completamente i diversi motivi che lo hanno ispirato. L'analisi dei dati presenta un territorio in cui la concentrazione media di radon negli ambienti confinati è di 79±2 Bq/m<sup>3</sup>, in sintonia con la media nazionale e non, con quella che annovera il territorio calabrese nell'intervallo tra 20 e 40 Bq/m<sup>3</sup>. Il valore massimo registrato è pari a 435±71 Bq/m<sup>3</sup>, dato giustificato dalla distribuzione delle concentrazioni dell'agente inquinante indagato. Le misure sperimentali hanno confermato l'andamento tipico della distribuzione lognormale della concentrazione di attività del gas radon per ambienti indoor nei piani interrati, al piano di campagna e al primo piano. Inoltre è stata provata la dipendenza della concentrazione con la distanza dal suolo. A sostegno di questi risultati più delle caratteristiche geologiche e litologiche del territorio, come dimostrano le misure di concentrazione di radon nel suolo e le relative incertezze, la struttura del substrato comunale, la sua permeabilità e la presenza di un importante sistema di faglie attive favorirebbero l'accumulo e la diffusione del gas radon. L'applicazione di tecniche di riempimento basata su un algoritmo di interpolazione delle misure acquisite, sono il tentativo di rappresentare la variabilità del dato su tutta l'area interessata. Lo sviluppo futuro più immediato è quello di superare i limiti della tecnica di interpolazione usata e giungere ad una valutazione più probabilistica capace di disegnare una mappa di probabilità del rischio radon. L'approccio sperimentato su questo territorio è senza dubbio una buona base per applicare il modello di acquisizione e l'analisi dei dati sulla restante parte della Regione Calabria ritenuta dai promotori della campagna nazionale un territorio a basso rischio radon, ignorando quasi completamente le potenzialità dell'Arco Calabro. Esiste più di qualche elemento per considerare il territorio calabrese come un'area dove non è possibile sottovalutare in alcun modo il rischio radon.

Di seguito viene presentato il database (Tab.1) completo con le abitazioni e i luoghi di lavoro dove sono stati realizzati le misure annuali di concentrazione di attività della radioattività naturale.

**Tab. 1:** archivio completo siti di misura



30	LL 8014	Istituto Presidenza	08/09/2010	11,3			707			07/03/2011
31	LL 8114	Istituto ufficio Personale	08/09/2010	11,35			701			07/03/2011
32	LL 9690	Mensa scuola elementare	14/08/2010	11			597			31/01/2011
33	LL 8857	Piano Primo	27/09/2010	15			622			26/03/2011
34	LL 9739	Piano Terra	27/09/2010	15			606			26/03/2011
35	LL 8405	Municipio Sindaco	23/07/2010	10			717			19/01/2011
36	LL 8082	Ripartitore Sorgente Fagnano	23/07/2010	15,1			646			31/01/2011
37	LL9626	scuola°	23/07/2010	12,45			601			19/01/2011
38	LR 8028	Scuola elementare	23/07/2010	12,45			691			19/01/2011
39	LL9789	Scuola elementare piano terra	23/07/2010	12,3			548			19/01/2011
40	LL9703	scuola elementare piano terra	23/07/2010	12,3			649			19/01/2011
41	LL9637	Scuola materna	23/07/2010	12			625			19/01/2011
42	LL 8135	Scuola materna	23/07/2010	12			710			19/01/2011
43	LL9580	Scuola materna piano basso elementare	23/07/2010	12			659			19/01/2011
44	LL 9682	Scuola media aula	23/07/2010	11,3			661			19/01/2011
45	LL 9738	Scuola Media Palestrina	23/07/2010	11,3			666			19/01/2011
46	LL 8195	Scuola Media Presidenza	23/07/2010	11,35			629			19/01/2011
47	LL 8235	Sede Piano Terra	27/09/2010	15,3			658			26/03/2011
48	LL 9750	Sorgente Fagnano C	14/08/2010	12,3			601			31/01/2011

## Certificazione della radioattività Naturale

<b>Certificato di misura n.11/2012</b> <b>Concentrazione di attività del gas radon <math>^{222}\text{R}</math> [Bq/m<sup>3</sup>] in aria</b>							
<b>Committente</b>	<b>Comune di Roggiano Gravina</b>						
<b>Tipo di misurazione</b>	Posizionamento N.3 dosimetri per la misurazione della concentrazione del gas radon tipo <i>Elettrete</i> della Rad Elec Inc. <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>N.3 Piano interrato, Archivio generale, archivio cancello, stanza del Sindaco</i></li> </ul>						
<b>Periodo di misurazione</b>	Anno solare 23/07/2010 - 06/01/2010      1° semestre; 06/01/2010 – 07/07/2011      2° semestre						
<b>Luogo di misurazione</b>	Municipio						
<b>Tecnica di misura</b>	Il sistema di misurazione ad Elettrete è costituito da un elettrete e una camera di conteggio. La catena strumentale per la misura del gas radon del laboratorio fisico del dipartimento ArpaCal di Catanzaro ha superato l'interconfronto di Berlino, <b>BfS – Radon Intercomparison 2010 N.5119 del 25/06/2010 e 2011 N.10718 del 29/12/2011</b>						
<b>Giudizio</b>	<p><b><u>Negativo</u></b>:si riportano i valori medi della concentrazione di attività del gas radon in aria nei luoghi di lavoro. La normativa (D.lgs 241/00) prevede la misura obbligatoria nei luoghi di lavoro interrati e seminterrati e in tutti i luoghi di lavoro se ricadono in area ad alto rischio radon. Il livello di azione annuo non deve superare i 500 Bq/m<sup>3</sup> (All. I bis d.lgs.241/00) ed è necessario ripetere la misura se la concentrazione è compresa tra l'80% del livello di azione e il livello di azione stesso. L'incertezza di misura esprime l'intervallo (1σ) di fiducia entro il quale si trova il valore del misurando:</p> <table style="margin-left: 40px;"> <tr> <td><b>1. Archivio</b></td> <td><b>69±25 [Bq/m<sup>3</sup>]</b></td> </tr> <tr> <td><b>2. Archivio cancello</b></td> <td><b>234 ±39 [Bq/m<sup>3</sup>]</b></td> </tr> <tr> <td><b>3. Stanza del Sindaco</b></td> <td><b>35± 23 [Bq/m<sup>3</sup>]</b></td> </tr> </table>	<b>1. Archivio</b>	<b>69±25 [Bq/m<sup>3</sup>]</b>	<b>2. Archivio cancello</b>	<b>234 ±39 [Bq/m<sup>3</sup>]</b>	<b>3. Stanza del Sindaco</b>	<b>35± 23 [Bq/m<sup>3</sup>]</b>
<b>1. Archivio</b>	<b>69±25 [Bq/m<sup>3</sup>]</b>						
<b>2. Archivio cancello</b>	<b>234 ±39 [Bq/m<sup>3</sup>]</b>						
<b>3. Stanza del Sindaco</b>	<b>35± 23 [Bq/m<sup>3</sup>]</b>						

## BIBLIOGRAFIA

---

- [<sup>i</sup>]C. Tansi e VV. *Interpretation of radon anomalies in seismotectonic and tectonic-gravitational settings: the south-eastern Crati graben (northern Calabria Italy)*, Elsevier Tectonophysics 396 (2005)181-193
- [<sup>ii</sup>]WHO-IARC (World Health Organization - International Agency for Research on Cancer). *IARC Monograph on the Evaluation of Carcinogenic risks to Humans: man made mineral fibres and Radon*. IARC Monograph Vol.43, Lyon, France:1988
- [<sup>iii</sup>]NRPB (National Radiological Protection Board). *Health Risks from Radon, ISBN 0-85951-449-8;2000;*
- [<sup>iv</sup>]BEIR-VI (Committee on Health Risks of Exposure to Radon National Research Council). *Health Effects of Exposure to Radon*. National Academy Press, Washington;D.C.,1999
- [<sup>v</sup>]Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n°136 del 13 giugno 1995, *Decreto Legislativo n°230 del 17 marzo 1995*
- [<sup>vi</sup>]Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n°203 del 31 agosto 2000, *Decreto Legislativo n°241 del 26 maggio 2000*
- [<sup>vii</sup>]Commissione delle Comunità Europee, *Direttiva 96/29/EURATOM del Consiglio del 13 maggio 1996*, G.U. delle Comunità Europee L159 del 29 giugno 1996
- [<sup>viii</sup>]Bohicchio et al., *Results of the National Survey on Radon Indoors in All the 21 Italian Regions. Proc. Workshop "RADON in the Living Environment"*, 19-23 April 1999, Athens, Greece, 997-1006; 1999
- [<sup>ix</sup>]A Nero, *Earth air, radon and home*. Physics Today 42 (1989) pp.32-39
- [<sup>x</sup>]L. Tommasino, *Radon*; Encyclopedia of Analytical Science (1998), pp.4359-4368
- [<sup>xi</sup>]Hickey R.J., Bowers E.J., Spence D.E., et al.: *Low-level ionizing radiation and human mortality: multiregional epidemiological studies*. Health Phys 40: 625-641, 1982
- [<sup>xii</sup>]Darby et al., *Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies*; BMJ, 21, December 2004
- [<sup>xiii</sup>]Ministero della Salute, *Piano Nazionale Radon*, 2002
- [<sup>xiv</sup>] *Intercomparison Radon Passive*, BFS-Berlino 2011

---

[<sup>xv</sup>] Conferenza dei Presidenti delle Regioni e delle Province Autonome, *Linee guida per le misure di concentrazione di radon in aria nei luoghi di lavoro sotterranei*, Roma 6 febbraio 2003;

[<sup>xvi</sup>] Bertolo A. et al., *Distribuzione spaziale del radon indoor nel Triveneto con tecniche geostatistiche*,

Controllo ambientale degli agenti fisici: nuove prospettive e problematiche emergenti - Vercelli, 24-27 marzo 2009

[<sup>xvii</sup>] ISS-ANPA, *Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni*, ISTISAN Congressi 34, 1994

[<sup>xviii</sup>] Raccomandazione della Commissione delle Comunità Europee del 20 dicembre 2001 sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al Radon nell'acqua potabile, (2001/928/Euratom); 2001

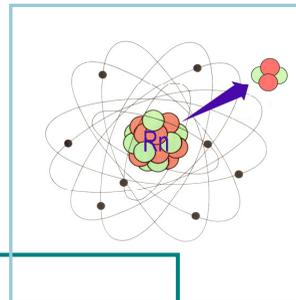


**Comune di Roggiano Gravina**

**A.R.P.A.Cal**

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Calabria

---



**Il radon:  
gas  
radioattivo**

---

***COMUNE DI ROGGIANO GRAVINA:***

- Dott. essa **Monica Nardi**, Capogruppo di Maggioranza  
Comune di Roggiano Gravina: [nardi@unical.it](mailto:nardi@unical.it);
- Sindaco del Comune di Roggiano Gravina, **Ignazio  
Iccone** : [sindaco@comune.roggiano.cs.it](mailto:sindaco@comune.roggiano.cs.it);
- Dott. Luigi Lanza, Assessorato Sanità – Ambiente al  
Comune di Roggiano Gravina

**&**

***LABORATORIO FISICO DEL DIPARTIMENTO  
ARPACAL DI CATANZARO***

- Salvatore Procopio, [s.procopio@arpacal.it](mailto:s.procopio@arpacal.it)
- Angelica Rania, [angelica\\_rania@yahoo.it](mailto:angelica_rania@yahoo.it)
- Filomeno Caldarola, [f.caldarola@arpacal.it](mailto:f.caldarola@arpacal.it)

Laboratorio Fisico Arpacal [fisico.cz@arpacal.it](mailto:fisico.cz@arpacal.it)

TEL. 0961731268 INT.20

FAX. 0961738689

*Via lungomare giovino di Catanzaro*

*88100 Catanzaro*

Si ringraziano per la collaborazione: *il responsabile dell'Ufficio Urbanistica ed Ambiente del Comune di Roggiano Gravina, Arch. Elio Furioso e il responsabile dell'ufficio acquedotti Sig. Enzo Sicilia*

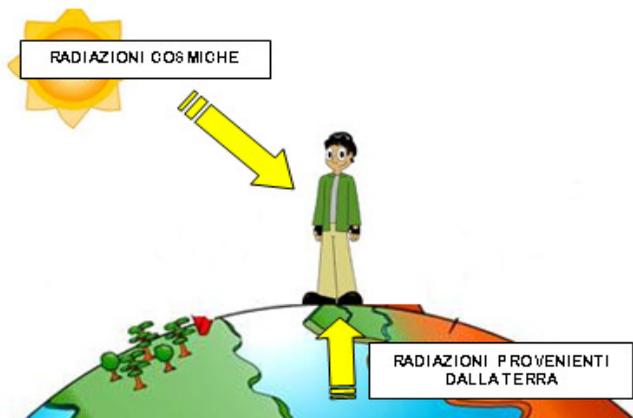
---

<b>Indice</b>	pag
Cos'è la radioattività naturale.....	4
Il radon.....	5
Come entra nelle case.....	7
Come si misura.....	8
Livelli d'azione.....	10
Azioni di rimedio.....	11
I dati di Roggiano.....	13

---

# Cos'è la radioattività naturale?

Ogni giorno tutti noi siamo esposti alla **radioattività naturale** proveniente in parte dai raggi cosmici e in parte dalla crosta terrestre.

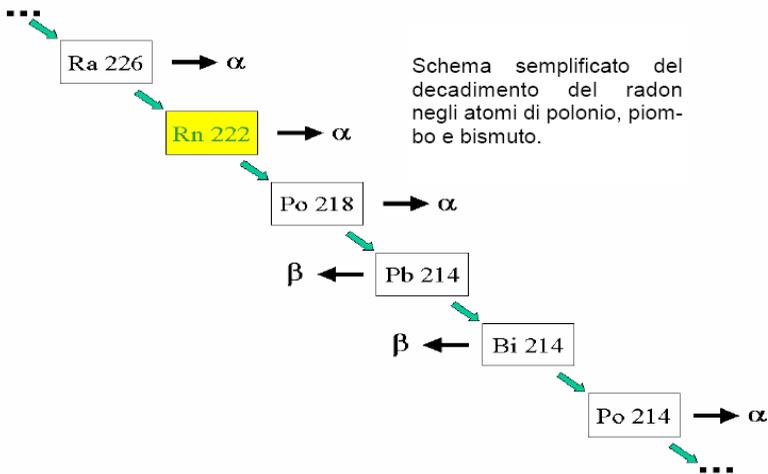
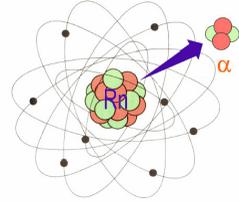


La radioattività ambientale è legata alla presenza di atomi chiamati *radioattivi* in grado di rilasciare radiazioni. Le radiazioni, a seconda della loro natura possono essere dannose per l'uomo ed in particolare per le strutture cellulari. In natura esistono tre tipi di famiglie di radionuclidi naturali: la famiglia del *radio* il cui capostipite è l'*uranio* ( $^{238}\text{U}$ ); quella del *torio* ( $^{232}\text{Th}$ ) e quella dell'*attinio* ( $^{235}\text{U}$ ).



# Il radon

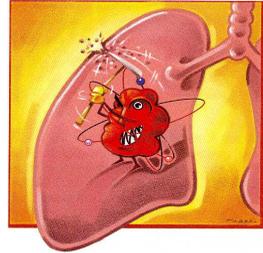
Il radon, indicato con il simbolo **Rn**, è un radionuclide della famiglia del radio. È un **gas radioattivo** che produce a sua volta altri elementi radioattivi, come Polonio, Piombo e Bismuto.



Questi elementi si legano al pulviscolo e per inalazione raggiungono l'apparato respiratorio.

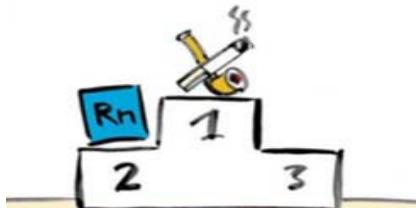
---

La pericolosità è legata  
all'emissione  
di particelle  $\alpha$  (alfa).



Nei polmoni queste particelle provocano danni e aumentano la probabilità di contrarre tumori.

L' Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha classificato il radon come cancerogeno di gruppo 1, collocandolo al secondo posto, dopo il fumo, come responsabile di **tumore ai polmoni**:



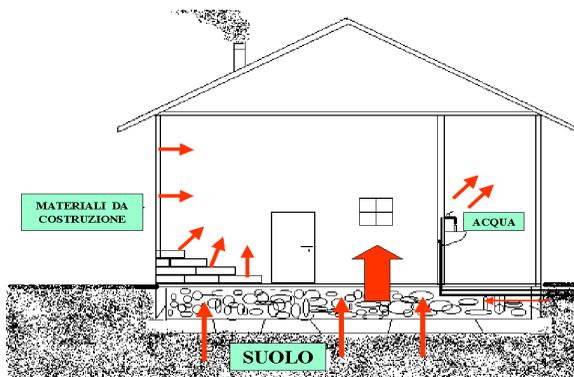
---

# Come entra nelle case



La principale fonte è  
il suolo

La presenza del radon negli edifici dipende infatti principalmente dalla tipologia del territorio sul quale l'abitazione è stata costruita. Dal suolo raggiunge i luoghi chiusi attraverso crepe, fessure, tubazioni e canali nel pavimento o nelle pareti.



Altre sorgenti di emissione sono alcuni **materiali da costruzione** contenenti minerali di origine vulcanica, il tufo e le pozzolane e **l'acqua**.

---

# Come si misura il radon

Per sapere quanto radon c'è in un ambiente si utilizzano particolari strumenti che misurano la **concentrazione di attività** espressa in Becquerel al metro cubo (Bq/m<sup>3</sup>).



Il Becquerel ci dice quanta *attività* possiede un materiale radioattivo o quante radiazioni o colpi vengono emessi o rilasciati in un secondo.

## Il radon è un gas inodore e incolore

Per misurarlo si usano dei dispositivi , scatoline in plastica conduttiva chiamati *dosimetri passivi*. Passivi perché per misurare non hanno bisogno dell'energia elettrica.

---

Per le case di Roggiano Gravina sono stati utilizzati dei dosimetri chiamati **eletteti** (in figura), dischi di teflon carichi elettricamente che vengono lasciati per un anno solare nelle abitazioni al riparo dal caldo e dal freddo.



Il radon che entra nell'involucro scarica il disco; dalla scarica, letta in laboratorio, si calcola poi la concentrazione di attività.



---

# Livelli d'azione



I livelli di concentrazione da non superare, per ridurre il rischio derivante dal radon, sono chiamati **livelli d'azione**.

Il decreto legislativo n.241 del 2000 fissa un livello d'azione per i

*luoghi di lavoro interrati*

**500 Bq/m<sup>3</sup>**

di concentrazione di attività media annua di radon.

Per le abitazioni si fa riferimento alla Raccomandazione Europea Euratom n.143/90 che fissa un livello d'azione pari a:

**400 Bq/m<sup>3</sup>** *abitazioni già esistenti*

**200 Bq/m<sup>3</sup>** *nuove abitazioni*

di concentrazione di attività media annua di radon.

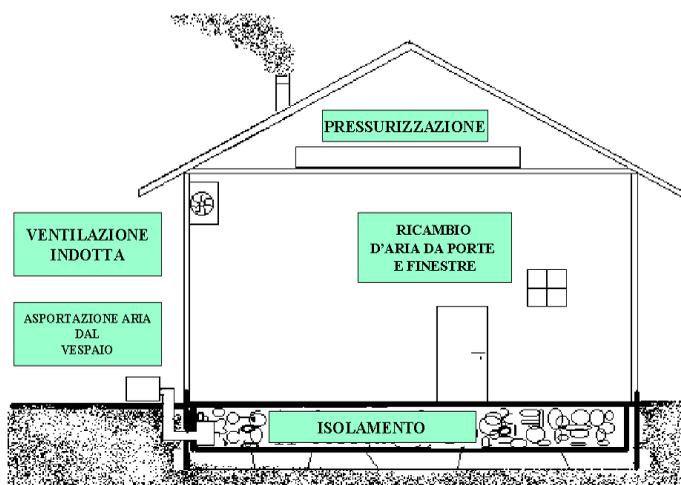
---

# Azioni di rimedio



Nei casi in cui le concentrazioni di attività superano l'80% del livello di azione ( $400 \text{ Bq/m}^3$ ), vengono ripetute le misure e se il risultato viene confermato è necessario intraprendere opportune **azioni di rimedio**.

Esse sono semplici azioni da adottare al fine di ridurre la concentrazione di radon e sono obbligatorie per i luoghi di lavoro e consigliate per le abitazioni:



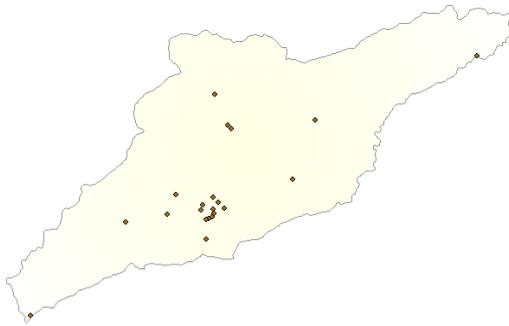
---

Per ridurre la concentrazione di radon in alcuni casi è sufficiente favorire il ricambio d'aria aumentando la ventilazione naturale attraverso porte e finestre in altri è necessario isolare l'edificio dal suolo al fine d'impedirne l'ingresso nell'abitazione o mettere degli impianti di ventilazione artificiale (dall'esterno verso l'interno) che aumentino la pressione all'interno dei locali.

---

# I dati di Roggiano

Per il monitoraggio della concentrazione del radon in aria nel comune di Roggiano Gravina sono stati posizionati **45** elettretti in 22 siti così distribuiti:



La concentrazione media annua risultante:

**$79 \pm 2 \text{ Bq/m}^3$**

**È in linea con la media nazionale**

Per indagare sulle concentrazioni più significative misurate ai piani più bassi delle abitazioni, sono state effettuate anche misure di concentrazione di radon nel suolo.

---

In diversi periodi dell'anno sono stati prelevati campioni di acqua da tutte le sorgenti destinate al consumo umano presenti sul territorio e la concentrazione di radon in acqua è risultata di

*7 Bq/l*

Per una valutazione più completa sono stati analizzati anche campioni alimentari (pomodori, meloni gialli, peperoni e latte) e ambientali (campioni di terra). I dati ottenuti hanno mostrato che gli **unici radionuclidi presenti sono di tipo naturale** e in concentrazioni assolutamente normali.

