

ARPACAL

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Calabria

- Dipartimento di Catanzaro -
Laboratorio Fisico "Ettore Majorana"



La radioattività naturale nei luoghi di lavoro pubblici
della Provincia di Crotone

PROGRAMMA INFEA 2012 - AZIONE 1.B

Monitoraggio del gas radon negli edifici pubblici della Provincia di Crotona



Riduzione delle fonti di inquinamento indoor

*Laboratorio Fisico Ettore Majorana dell'A.r.p.a. Cal di Catanzaro
2014*

INDICE

INTRODUZIONE.....	10
MATERIALI E METODI.....	11
RISULTATI.....	14
CONCLUSIONI.....	21
BIBLIOGRAFIA	23

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: <i>manuale sul rischio radon</i>	9
Figura 2: <i>distribuzione dei punti di misura per la concentrazione di attività di radon in aria [Bq/m³] – Provincia di Crotone</i>	12
Figura 3: <i>andamento del fondo gamma anni 2013 - 2014</i>	14
Figura 4: <i>classificazione degli ambienti di vita misurati</i>	15
Figura 5: <i>concentrazioni di attività di radon nei piani interrati</i>	16
Figura 6: <i>distribuzione delle frequenze delle concentrazioni di attività di radon</i>	16
Figura 7: <i>concentrazioni di radon in luoghi di lavoro a diversi piani:</i>	17
Figura 8: <i>percentuale di luoghi di lavoro sotto il livello di azione previsto</i>	18
Figura 9: <i>concentrazioni medie annue calcolate su almeno 4 punti e al piano terra</i>	20

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: <i>scheda fase di posizionamento esposimetri</i>	15
Tabella 2: <i>concentrazioni medie annue calcolate su almeno</i>	19

IL GRUPPO DI LAVORO

LEA KROTON, Laboratorio di Educazione Ambientale della Provincia di Crotone

Torre di Guardia Aragonese, S.S. 106 – 88814 Torre Melissa (KR)

- *Presidente , Natale Carvello*
- *Referente, Giuseppe Palmieri*
- *Collaboratori: Silvio Esposito - Eugenia Sisca, Quintino Voce, Abiuso Maria*

PROVINCIA DI CROTONE, DIPARTIMENTO AMBIENTE

- *Responsabile Dipartimento Ambiente, Ing. Alfredo Voce*
tel . 0962 – 952611 , a.voce@provincia .crotone.it;

ARPACAL

Agenzia Regionale per la Protezione dell' Ambiente della Calabria

Via Lungomare snc – Loc. Giovino, 88100 Catanzaro Lido - www.arpacal.it

tel. 0961731268 int.20, fax. 096173868

LABORATORIO FISICO ETTORE MAJORANA DI CATANZARO (fisico.cz@arpacal.it)

- Oscar Ielacqua, Direttore Scientifico dell' Arpacal
- Clemente Migliorino, dip.cz@arpacal.it, direttore del Dipartimento Arpacal di Catanzaro
- Michele FòlinoGallo, m.folinogallo@arpacal.it;
- Salvatore Procopio, s.procopio@arpacal.it;
- Paolo Barbuto, p.barbuto@arpacal ,direzione generale Arpacal

Si ringraziano gli Enti per la collaborazione

tutti i diritti della pubblicazione sono riservati. È autorizzata la riproduzione anche parziale di quanto pubblicato purché sia citata la fonte e data comunicazione di quanto realizzato.

PREMESSA

Lo studio nasce nell'ambito delle attività previste dal Protocollo d'Intesa siglato in data 26.09.2012, tra il Laboratorio Territoriale di Educazione Ambientale della Provincia di Crotone – Lea Kroton – e l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Regione Calabria, Arpacal. Nel documento di programmazione è stata prevista la realizzazione di un monitoraggio ambientale nel Territorio della Provincia di Crotone per la riduzione delle fonti di inquinamento indoor con particolare riguardo al gas radon come da previsione nell'ambito del Programma Infea 2012 – *Progetto SoStenibil...mente*. L'atto di intesa s'inquadra in un contesto di normative e vincoli giuridici internazionali come:

- il Trattato Euratom della Comunità Europea per l'Energia Atomica del 1957 in cui si è stabilito (artt.35,36) che, ciascun Stato membro ha l'obbligo di realizzare un monitoraggio sistematico e continuo della radioattività ambientale in diverse matrici ambientali e alimentari e di comunicare i risultati alla Commissione Europea al fine di valutare i livelli di esposizione a cui è sottoposta la popolazione;
- il DPR n.185/64 e il Dlg.s n.230/1995 e successive modifiche e integrazioni che prevede agli artt.54 e 104, la sorveglianza locale della radioattività e il controllo sulla radioattività ambientale;
- gli obiettivi del Piano Nazionale Radon approvato dal Ministero della Salute nel giugno del 2009;
- il decreto legislativo n. 241/00 che ha introdotto il monitoraggio della radioattività naturale nei luoghi di lavoro;

Sulla base di questi contenuti preliminari, grazie all'intesa sinergica tra Regione Calabria, Provincia di Crotone, Arpacal e Lea Kroton, si è deciso di realizzare sul Territorio della provincia di Crotone un percorso dedicato al conseguimento dei seguenti obiettivi:

- la verifica puntuale degli adempimenti previsti dal decreto legislativo n. 230/95 s.m.e i. in ambienti lavorativi di proprietà pubblica con maggiore rischio radon;
- la misura della concentrazione di attività del gas radon nei luoghi confinati potenzialmente a rischio, scuole di ogni ordine e grado, uffici pubblici, Case comunali ricadenti nel Territorio della Provincia;

- individuazione delle aree con una elevata probabilità di rischio radon (prone areas) ricadenti nella Territorio della Provincia di Crotona;
- promuovere la cultura della prevenzione sul gas radon a soggetti portatori di interesse nel mondo del lavoro attraverso momenti formativi e con particolare attenzione agli studenti e agli insegnanti.

Il programma di attività si è svolto su più fasi e con il coordinamento scientifico del Laboratorio fisico *Ettore Majorana* di Catanzaro attraverso:

- la formazione e l'addestramento del personale coinvolto nella fase di posizionamento degli esposimetri passivi impiegati nel monitoraggio;
- l'acquisto della strumentazione necessaria per la realizzazione del monitoraggio nei Comuni della provincia;
- la raccolta ed elaborazione dei dati del monitoraggio;
- la redazione di un report di attività e delle attività sull'intero disegno di esperimento messo in atto su una durata annuale;
- il rilascio dei certificati della radioattività naturale dei siti indagati - Laboratorio Fisico *Ettore Majorana* dell'Arpacal del Dipartimento di Catanzaro.

I luoghi di lavoro di proprietà pubblica oggetto del monitoraggio sono stati individuati nel patrimonio immobiliare dei seguenti enti pubblici:

- Provincia di Crotona;
- Istituti scolastici di ogni ordine e grado situati nel territorio e di proprietà della Provincia di Crotona;
- Case e scuole comunali;
- Ospedali S. Giovanni di Dio della Città di Crotona;
- Strutture Asl dislocate sul Territorio della provincia;
- Provveditorato agli studi di Crotona;
- Prefettura;

- Tribunale;
- Agenzia del Territorio;
- Guardia di Finanza;
- Comando dei Carabinieri;
- Comando dei Vigili del Fuoco;

I vincoli normativi ma anche le caratteristiche geologiche e pedologiche del Territorio crotonese e di tutta la Regione Calabria, con la presenza di importanti elementi geologici come le fratture della crosta superficiale, non permettono di escludere dalla lista dei potenziali agenti patogeni, il componente della radioattività naturale più importante: il *radon*. La radioattività ambientale è legata alla presenza nell'ambiente che ci circonda di atomi radioattivi, i *radioisotopi*, che possono essere di origine naturale, radon o quelli primordiali presenti nella crosta terrestre, extraterrestri come i raggi cosmici, oppure di origine artificiale. I radioisotopi sono elementi che a causa della loro instabilità si trasformano spontaneamente in altri atomi emettendo radiazioni. La pericolosità di tali radiazioni dipende dalla loro natura, fermo restando che ogni tipo di radiazione è comunque in grado di provocare danni e/o modificazioni alle strutture molecolari viventi con le quali interagiscono. Le famiglie radioattive esistenti in natura sono quelle dell'Uranio, del Torio e dell'Attinio. Il radon è un gas radioattivo prodotto dal decadimento nucleare nella catena dell'Uranio ed è la seconda causa di rischio del tumore al polmone dopo il fumo da sigaretta. Ovviamente diventa la principale per i non fumatori. Esso penetra nelle abitazioni dal terreno o viene rilasciato dai materiali edili e può raggiungere concentrazioni elevate in locali chiusi e poco areati tali da risultare pericolose. Il radon e i suoi prodotti di decadimento sono stati classificati dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro [IARC/OMS] come agenti cancerogeni di gruppo 1 - agenti di accertata cancerogenicità per l'uomo^[1]. La litosfera e i fattori di diluizione modulati dalle forzanti meteorologiche, temperatura, umidità, pressione atmosferica e intensità del vento, determinano la concentrazione di attività di radon in un certo ambiente e la variabilità giornaliera e stagionale. Uno degli aspetti più allarmanti, messo in evidenza da studi epidemiologici è rappresentato dal fatto che nelle abitazioni domestiche e in ambienti chiusi, scuole e luoghi di lavoro in taluni casi, i livelli di esposizione possono raggiungere valori confrontabili con quelli caratteristici dei luoghi frequentati abitualmente dai minatori.

Gli organismi internazionali^[ii,iii,iv] più competenti e studi^[v,vi,vii] in materia di radiazioni ionizzanti attribuiscono al radon una frazione rilevante dei casi di tumore polmonare. È stato stimato che in Italia, su un totale di 30.000 casi di tumore polmonare accertati, da 1500 a 6000^[viii] potrebbero essere dovuti all'esposizione al radon^[ix].

In un ambiente confinato la quantità di aria disponibile è inferiore rispetto a quella che si trova all'esterno; la diretta conseguenza di questo aspetto è che i livelli di radon in ambiente chiusi sono tipicamente maggiori rispetto a quelli che si trovano in ambiente outdoor. Nel nostro Territorio, considerato in principio, privo di interesse dal punto di vista della radioattività naturale negli ambienti di vita chiusi, sono state osservate concentrazioni importanti di gas radon, sia in ambiente lavorativo che abitativo.

Gli ambienti, particolarmente indagati sono i luoghi di lavoro interrati e seminterrati, come tunnel, gallerie, scuole ed ospedali dove convivono popolazioni di lavoratori e persone del pubblico quotidianamente esposte a rischio. Le caratteristiche strutturali ed il comportamento del datore di lavoro, in caso di obbligatorietà della misurazione condizionano in generale divengono elementi fondamentali nella valutazione del rischio.

In questo progetto, le misure della concentrazione di attività del gas radon sono state effettuate in ambienti di vita lavorativa, in luoghi di proprietà esclusivamente pubblica. Al fine di acquisire informazioni per confronto è stato monitorato qualche ambiente confinato di vita abitativa, anche se questo non era lo scopo della ricerca. Gli enti pubblici, coinvolti che hanno aderito alla campagna di monitoraggio, oltre ad essere stati sollevati dagli adempimenti normativi, per gli immobili che ricadevano nelle specifiche di legge, hanno ottenuto la certificazione della radioattività naturale dell'edificio. L'atto attesta il livello di concentrazione della radioattività naturale misurato nei luoghi di lavoro e costituisce elemento fondamentale per la valutazione dei rischi nei luoghi di lavoro. Il D.lgs. n.81/08 al Titolo VIII, art. 180, obbliga il datore di lavoro ad accogliere nel *documento di valutazione dei rischi (DVR)*, la stima del rischio connesso alle radiazioni ionizzanti e del radon per i luoghi interrati. Alcuni indicatori di processo dimostrano che l'incremento della sensibilità e della consapevolezza circa la pericolosità di questo agente fisico patogeno, aumentano in modo proporzionale al numero di interventi di prevenzione operati dagli organi preposti nei luoghi confinati e di lavoro. Nonostante l'obbligo normativo per i luoghi di lavoro, il rischio radon nel nostro territorio è assai trascurato se non addirittura ignorato, come ha osservato il presente studio.

La fase di sensibilizzazione, divulgazione e prevenzione sulla tematica trattata è stata molto articolata e complessa oltre che straordinaria dal punto di vista del coinvolgimento e della partecipazione. Come risulta, dai verbali attestanti i diversi interventi su tutto il territorio provinciale, le **62** ore di lezione frontali con il coinvolgimento di **1166** studenti di ogni ordine e grado e di **156** docenti di scuola elementare, media e superiore ha rappresentato senza alcun dubbio, dal punto di vista della cultura della prevenzione e della conoscenza dei rischi alla popolazione, uno strumento ad altissimo impatto educativo. È stato, contenendo l'entusiasmo, uno dei progetti educativi più esaltanti che la stessa Agenzia, impegnata da anni in questo settore, abbia mai potuto realizzare. La fase formativa sui rischi dell'agente inquinante specifica è stata rivolta anche ai docenti e agli RSPP, agli RLS dei lavoratori presenti soprattutto nel mondo scolastico. Tra i lavoratori è stato distribuito un manuale per il rischio radon.



Figura 1: manuale sul rischio radon

INTRODUZIONE

Il territorio in esame si estende su un'area di circa 1716 km² e ospita una popolazione residente di 171.666 abitanti con un'altitudine sopra il livello del mare (slm) massima, di 1717 m. La presenza di un sistema di faglie ed altri elementi geologici definiscono un'area complessa dal punto di vista tettonico e particolarmente predisposta per la tipologia di agente inquinante monitorato. In ogni modo va evidenziato che l'Arco Calabro^[x], 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 Calabria. 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, poi, 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. 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^[xi,xii,xiii]. Negli ambienti di vita e nei luoghi dove risiedono persone del pubblico, scolari o studenti, la stima del rischio radon viene ancora effettuata a seconda della 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/m³ come media annua oltre la quale è necessario intraprendere un'azione di bonifica per gli edifici già esistenti e di 200 Bq/m³ 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^[xiv] 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}Po , ^{214}Po , ^{210}Po ^[xv]. Questi, in quanto ioni metallici, sono chimicamente attivi e 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^[xvi]. La conseguenza per un individuo può essere l'aumento della dose assorbita e della probabilità di insorgenza di tumori polmonari^[xvii]. 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.

MATERIALI E METODI

I criteri di scelta e il posizionamento dei dosimetri per la misura del gas radon negli ambienti confinati destinati al lavoro, hanno avviato l'indagine. L'analisi puntuale delle caratteristiche del Territorio e la necessità di rappresentare tutto il Perimetro provinciale che, possiede caratteristiche geologiche e litologiche predisponenti all'aumento del rischio radon soprattutto nei luoghi confinati più prossimi alla litosfera, hanno condizionato l'individuazione dei punti di misura, oltre che:

- gli adempimenti normativi, d.lgs. n. 241/00 s.m.e i.;
- la frequenza lavorativa dei luoghi;
- la disponibilità di adesione degli enti al progetto.

I siti coinvolti sono tutti di proprietà e interesse pubblico: palazzo comunale, scuole, strutture sanitarie. 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 elettrodi di 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 α 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'elettretre; C_F in $[(\text{Volt} \cdot \text{m}^3)/(\text{Bq} \cdot \text{giorno})]$ 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_γ 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 RadElec E-Perm^[xviii].

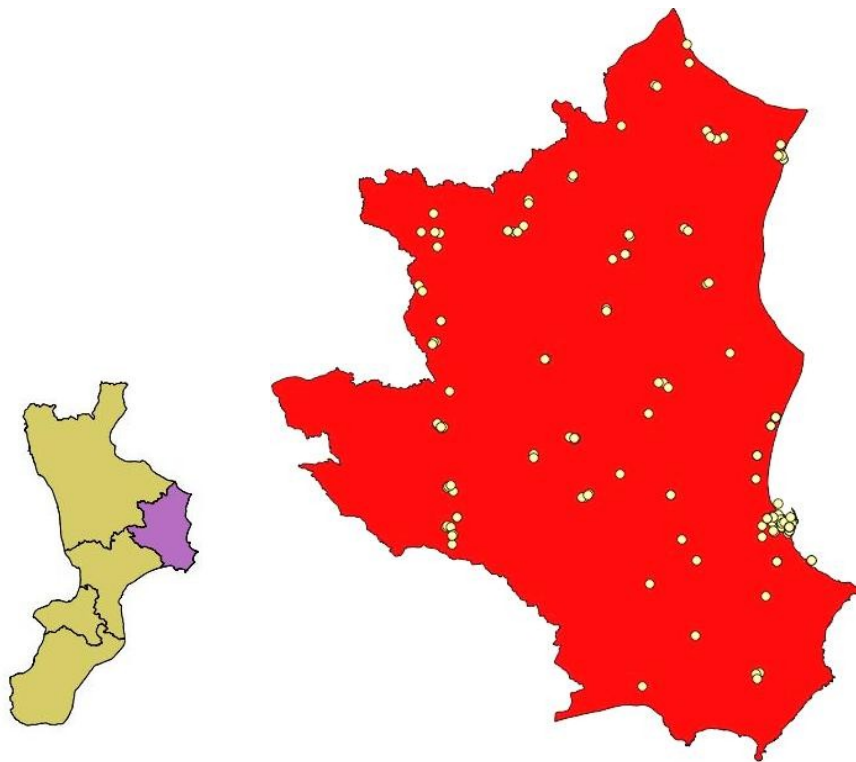


Figura 2: distribuzione dei punti di misura per la concentrazione di attività di radon in aria $[\text{Bq}/\text{m}^3]$ – Provincia di Crotone

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

- ✚ la scelta e l'individuazione dei locali utili alla misura^[xix] (Fig.2);
- ✚ il posizionamento di 340 esposimetri ad elettreti per la misura della concentrazione del gas radon in aria in più di 170 punti di osservazione indoor, 42 dei quali con obblighi assoluto di misura o di valutazione del rischio considerati i dettami normativi di settore e quelli relativi alla sicurezza nei luoghi di lavoro. A seconda dei casi ogni punto di misura ha ospitato almeno 2 dosimetri per una valutazione della distribuzione spaziale del radon.

Al fine di contenere le incertezze di misure, il laboratorio fisico Ettore Majorana, impiega una procedura di campionamento della concentrazione di attività del gas radon di sei mesi + sei mesi. La misura infatti, soprattutto finalizzata alla verifica dei livelli di azione prevista dalla norma e fissata a **500 Bq/m³** per i luoghi interrati e seminterrati, è intesa come una concentrazione media annuale, vista la variabilità giornaliera e stagionale del gas radon. Come già evidenziato, le misure realizzate hanno permesso la verifica normativa e consentono di effettuare una stima accurata del rischio radon nel Territorio.

Di seguito vengono proposti alcuni strumenti per la misura del gas radon adoperati durante la campagna nel Territorio crotonese.



misuratore di concentrazione di attività di radon



misuratore in continuo del gas radon



misuratore del gas radon in acqua



contaminametro

Tra gli strumenti per la misura della radioattività è stato impiegato un contaminametro per valutare in alcuni luoghi di lavoro il livello di contaminazione delle pareti per la verifica dei materiali, impiegati durante la costruzione degli immobili.

RISULTATI

Al fine di stimare il fondo gamma ambientale, dato prezioso per il calcolo della concentrazione di radon equivalente che è la concentrazione di radon indipendente dal luogo confinato dove si abita o si lavora, sono stati usati i dati dell'Archivio Arpacal. In particolare per il Territorio di Crotona si dispongono di un numero importante di registrazioni a partire dall'anno 2010, relativi al fondo ambientale radioattivo. Infatti, l'ArpaCal gestisce per conto di Ispra, le centraline per il monitoraggio della radioattività naturale nei siti di Crotona, Mongiana, Cupone, poste a diverse quote sopra al livello del mare. Le centraline sono strumenti fondamentali per la sorveglianza radiometrica ambientale e sono dotate di tre rivelatori Geiger – Müller (10nGy/h – 10Gy/h) che rivelano in continuo il livello di radioattività in aria. La funzione primordiale di tale strumentazione è quella di assolvere i compiti previsti dalla rete di sorveglianza europea in caso di emergenze nucleari. Nella provincia di Crotona, il valore medio annuo misurato del fondo ambientale, ricade in un intervallo compreso tra i 98 -115 nGy h⁻¹.

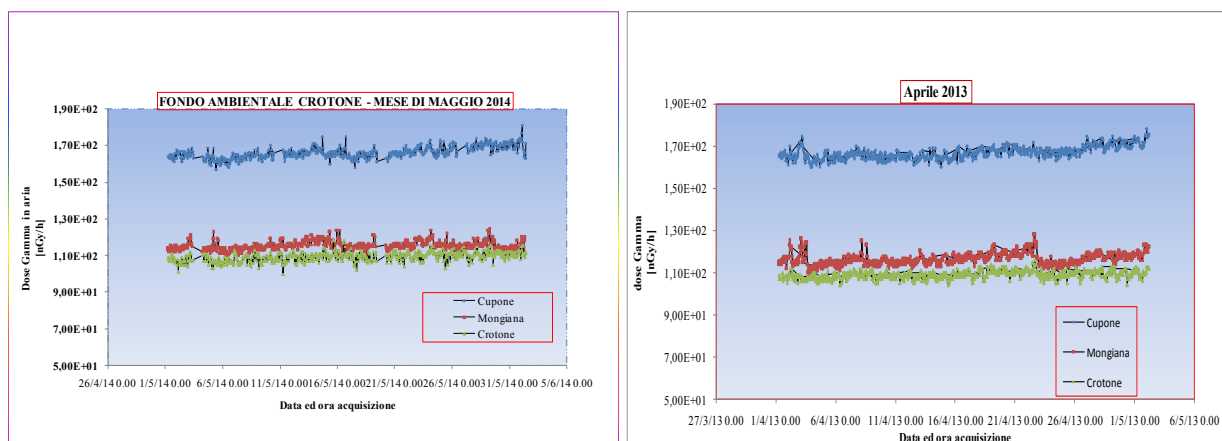


Figura 3:andamento del fondo gamma anni 2013 - 2014

La figura 3 mostra la registrazione del fondo ambientale mensile acquisita in diversi anni.

Di seguito viene proposto il modello base usato per l'acquisizione delle informazioni durante la fase di posizionamento degli esposimetri per la misura radon indoor in aria.

N	COMUNE	Comune	Coordinate geografiche UTM	Coordinate geografiche UTM	Codice Elettrete camera LT	Luogo di Posizionamento	Piano	PRIMO SEMESTRE				CARATTERISTICHE EDIFICIO (ANNO TIPOLOGIA)	PARTICOLARI DEL POSIZIONAMENTO	ALTITUDINE		
								Data inizio misura		Data ritiro misura					V iniziale (V ₀)	V finale (V ₀)
1	XXXXXX Via Santa Croce n.110 - Crotona	Crotona	4327320	684252	LL9682	Aula n. 8	PIANO TERRA	06/12/2012	11,20	06/12/2013	10,00	387	536		PARETE	

Tabella 1: scheda fase di posizionamento esposimetri

Il campione scelto per le misure indoor è rappresentativo del territorio ed è stato condizionato dai criteri di selezione già indicati.

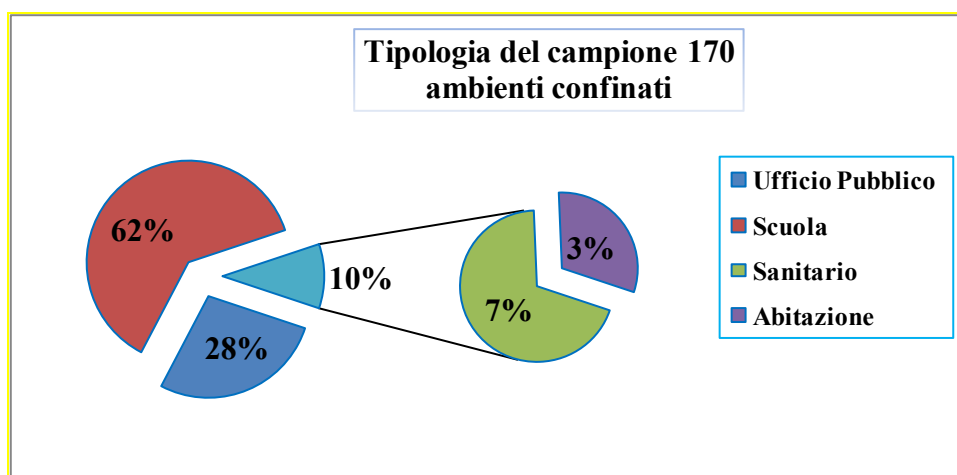


Figura 4: classificazione degli ambienti di vita misurati

Come già precisato, gli ambienti confinati appartengono al patrimonio immobiliare pubblico con il 62% di istituti scolastici di ogni ordine e grado, dislocati sul territorio della Provincia e nella città di Crotona; il 28% sono case comunali e uffici tecnici delle sedi comunali; 7% strutture sanitarie ed ospedale; il 3% sono abitazioni, indicativo per l'acquisizione di un valore al piano terra degli ambienti di vita. In ogni comune dove non ci sono istituti scolastici, comunque sono stati individuati almeno 4 punti di misura. Soprattutto in presenza di ambienti scolastici, al fine di contenere il rischio per le nuove generazioni si è proceduto alla misura anche in ambienti al piano terra e al primo piano. Tra i luoghi di lavoro scelti, 42 avevano l'obbligo di effettuare una valutazione del rischio radon o attraverso il controllo delle frequenze di accesso dei lavoratori al

luogo interessato ($t < 10$ ore/mensili) oppure con la misura della concentrazione di attività del gas radon. L'adesione alla campagna di misura ha sollevato i datori di lavoro inadempienti.

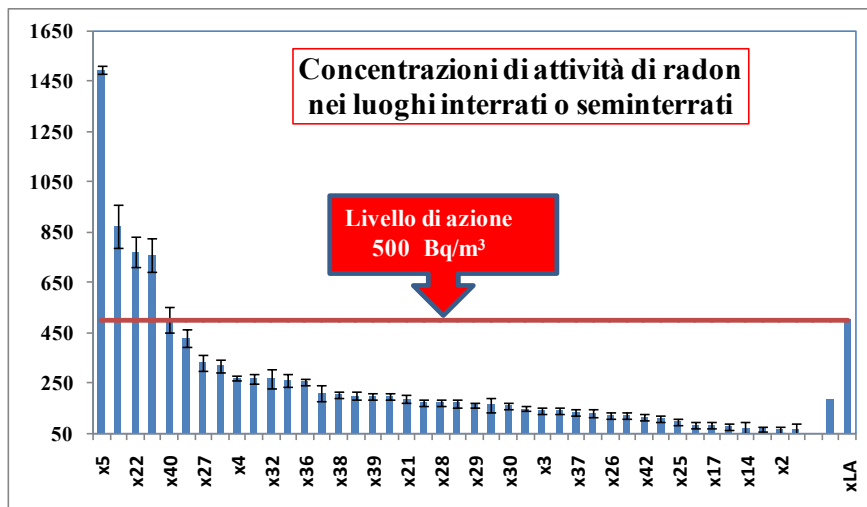


Figura 5: concentrazioni di attività di radon nei piani interrati

Nel grafico di fig. 5 si riportano i valori delle concentrazioni medie annuali ricavati sui due semestri negli ambienti con obbligo di misura. Tra i siti monitorati ai fini della verifica normativa, vi sono anche delle scuole ma, i valori di concentrazione misurati risultano ben al disotto del livello di azione indicato dalla norma e riportato nel grafico (500 Bq/m^3).

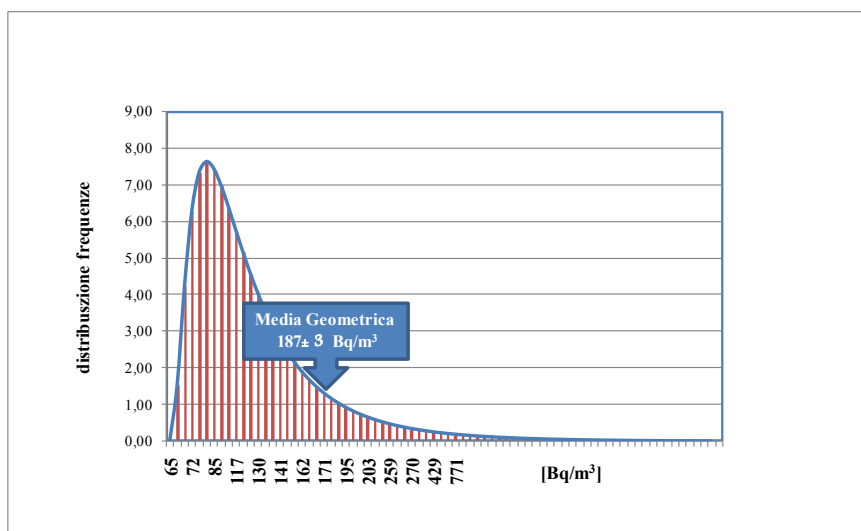


Figura 6: distribuzione delle frequenze delle concentrazioni di attività di radon

La Figura 6 mostra la distribuzione delle concentrazioni medie ricavate nei piani interrati dei siti indagati, con un valore di media geometrica pari a $187 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$, che può essere assunto come riferimento del Territorio provinciale. La distribuzione della concentrazione del gas radon negli ambienti confinati di lavoro segue un andamento sperimentale di tipo *lognormale*, osservato in

tutte le campagne di misurazione. Il dato può essere confrontato con il valore di recente acquisizione^[xx] derivante da una campagna di misure nella Provincia di Catanzaro, in ambienti di lavoro pubblico – privato; la media geometrica delle concentrazioni di attività in aria nei luoghi interrati e seminterrati nella Provincia di Catanzaro è di $175\pm 3 \text{ Bq/m}^3$ e $95\pm 3 \text{ Bq/m}^3$ per il piano terra. La concentrazione ai piani bassi può essere valutata come combinazione non lineare tra le caratteristiche geologiche del Territorio, gli elementi tettonici e i fenomeni di accumulo, quasi sempre dovuti alla scarsa areazione dei luoghi di misura. Se si assume come condizione al contorno la caratteristica geologica tipica dell'Arco Calabro, che ospita elementi predisponenti per la produzione del gas radon comuni ad entrambi i territori e complice una diversa robustezza della campagna di misura crotonese rispetto a quella del capoluogo di Regione, i dati sulle medie sono direttamente confrontabili e in accordo. Per la valutazione del rischio sanitario, il risultato acquisito va inoltre correlato al tempo di esposizione dei lavoratori nei luoghi stessi e viste le vie di fughe e di comunicazione dirette con i luoghi ubicati a piani superiori è necessario considerare anche la distribuzione spaziale del radon.

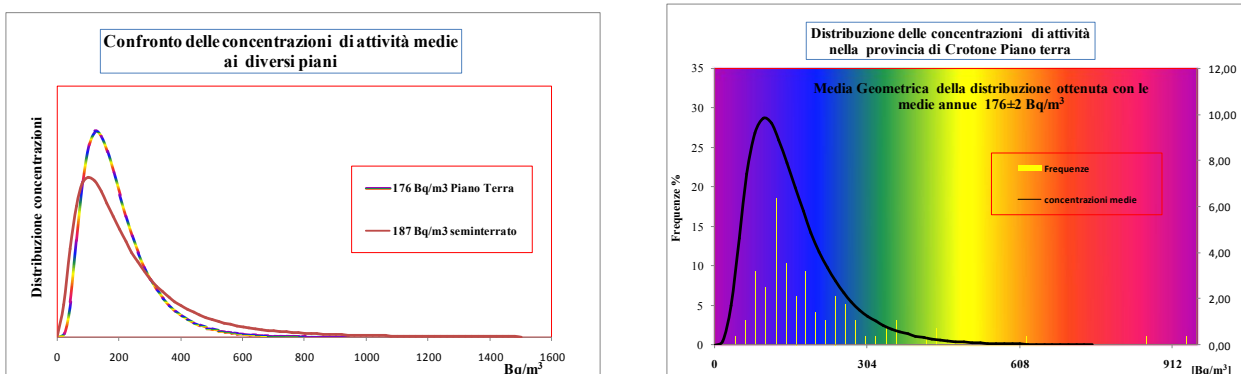


Figura 7: concentrazioni di radon in luoghi di lavoro a diversi piani:

Il dato medio del Territorio crotonese è ben al di sotto dei livelli di azione previsti dalla norma, anche se il 14% dei luoghi indagati supera il livello dei 400 Bq/m^3 . È necessario inoltre valutare il livello di confinamento del gas nei luoghi interrati. La concentrazione al piano terra infatti, è una diretta conseguenza della scarsa capacità di confinamento dei luoghi di lavoro rispetto ai piani più prossimi alla sorgente ed è meritevole di attenzione se si considera che gli stessi sono ambienti frequentati dai lavoratori e da persone del pubblico. Generalmente si utilizza la media geometrica dei valori misurati in sostituzione della media aritmetica per garantire una migliore

rappresentatività della distribuzione sperimentale e quindi avvicinarsi al valore vero del misurando.

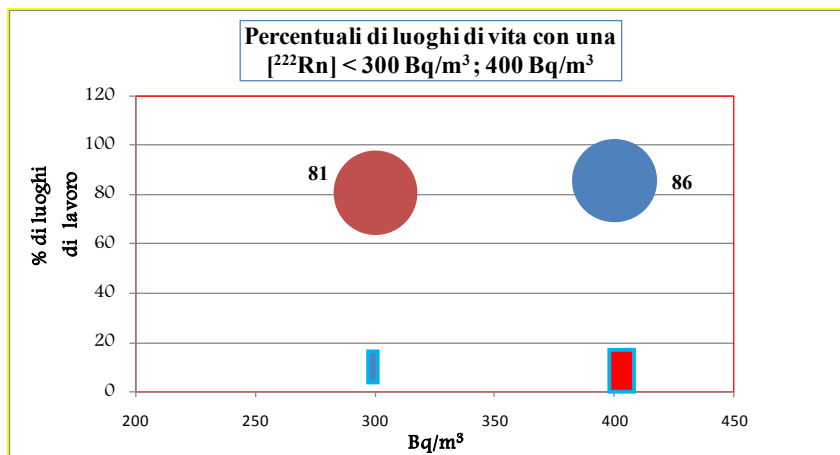


Figura 8: percentuale di luoghi di lavoro sotto il livello di azione previsto dalla norma e dalla raccomandazione Euratom 2013/59

La figura 8 riporta le percentuali (86%) dei luoghi di lavoro con una concentrazione media annua misurata, inferiore a 400 Bq/m^3 ; è il livello oltre il quale la norma impone l'obbligo di ripetere la misura annuale. Il 12% del campione esaminato supera il livello di azione previsto dalla norma e per questi luoghi di lavoro è stata predisposta l'obbligatorietà della procedura prevista dalla legge. Il grafico riporta le percentuali di luoghi di lavoro rispetto al livello di azione indicato dalla nuova normativa di recente pubblicazione. La Direttiva 2013/59/Euratom del Consiglio del 5 dicembre 2013 stabilisce il livello di riferimento nazionale per le concentrazioni di radon in ambienti chiusi. I livelli di riferimento per la media annua della concentrazione di attività in aria non devono essere superiori a 300 Bq/m^3 . Le misure di concentrazione di attività della radioattività naturale acquisite permettono di effettuare una stima quantitativa della dose assorbita da un lavoratore se esposto abitualmente in un luogo confinato dove la concentrazione media annua è di $187 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$. Assumendo un tempo di esposizione annuo pari a 2000 ore lavorative, considerando il contributo del radon contenuto nell'acqua, sia quello inalato e ingerito pari a $0,01 \text{ mSv/anno}^{[xxi]}$ – riferimento conservativo, sorgente *Lauro Pallagorio* - la dose efficace stimata è pari a $0,56 \text{ mSv/anno}$. La norma indica la verifica in termini di concentrazione di attività annua, il livello oltre il quale bisogna attivare un'azione di bonifica o istituire una sorveglianza fisica dei lavoratori, la cui dose efficace comunque non deve superare i 3 mSv/anno . Tuttavia sul Territorio nazionale si stima che il contributo del radon in termini di dose efficace è pari a $1,26 \text{ mSv/anno}$. Su scala mondiale, la dose efficace accettata dalla

popolazione è in media pari a 2,48 mSv/anno, se si considerano gli altri contributi: i raggi cosmici e i radionuclidi cosmogenici ^7Be , ^3H , ^{14}C , ^{40}K . In Italia, il livello di dose efficace dovuta alla radioattività naturale consentito dalla norma per la popolazione è di 1 mSv/anno.

Nella figura 9 vengono proposti i valori delle concentrazioni medie normalizzate al piano terra nei diversi Comuni della Provincia. Dal calcolo emerge un valore di concentrazione media pari a $173 \pm 16 \text{ Bq/m}^3$, praticamente identico a quello definito con le osservazioni dirette ma su un numero di 42 punti osservati pari a $176 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$. La media normalizzata su 127 punti e corretta al piano terra più robusta rispetto alla media ottenuta con le osservazioni dirette allo stesso piano, conferma il dato precedentemente indicato di 176 Bq/m^3 . Nel grafico, il comune di Pallagorio ($143 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$) risulta mancante poiché già nel periodo 2012-2013 sono state effettuate misure in una campagna dedicata anche in ambienti di vita. I livelli medi di concentrazione al piano terra nel Territorio di Pallagorio sono in accordo con i risultati acquisiti e riferiti alla media provinciale. Un caso “particolare” è emerso dalle misure effettuate nel Comune di Verzino. Quattro punti di misura e 8 esposimetri su periodi semestrali confermano un risultato importante che potrebbe rivelarsi un falso positivo o una cattiva gestione dal punto di vista della areazione, dei luoghi indagati.

Comune	Concentrazione media annua [Bq/m ³]	σ_c [Bq/m ³]
BELVEDERE DI SPINELLO	133	14
CACCURI	183	21
CARFIZZI	138	13
CASABONA	150	12
CASTEL SILANO	369	21
CERENZIA	233	18
CIRO'	216	15
CIRO' MARINA	213	12
COTRONEI	168	20
CRUCOLI	235	19
CUTRO	92	19
ISOLA CAPO RIZZUTO	122	13
CROTONE	185	16
MELISSA	108	14
MESORACA	151	16
PETILIA POLICASTRO	130	15
ROCCA DI NETO	142	14
ROCCABERNARDA	184	19
SAN MAURO MARCHESATO	143	17
SAN NICOLA DELL'ALTO	153	14
SANTA SEVERINA	198	21
SAVELLI	234	18
SCANDALE	252	24
STRONGOLI	132	12
UBRIATICO	280	18
VERZINO	1019	73
MEDIA GEOMETRICA	173	16

Tabella 2: concentrazioni medie annue calcolate su almeno 4 punti e al piano terra

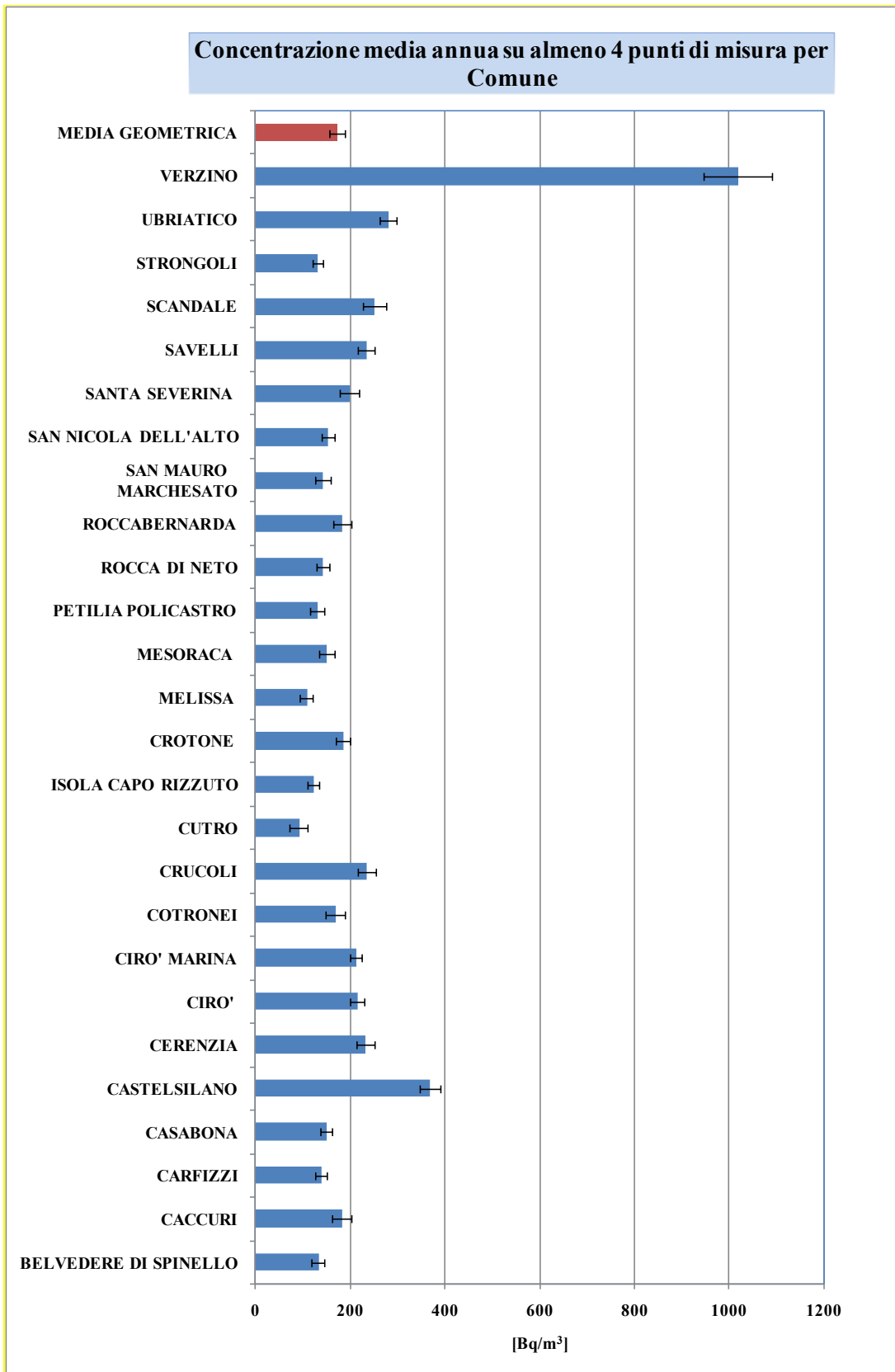


Figura 9: concentrazioni medie annue calcolate su almeno 4 punti e al piano terra

Si precisa che in merito ai valori riportati nella figura 9, dieci di essi si riferiscono a misure effettuate nei luoghi di lavoro ed estrapolati al piano terra visti gli obiettivi dichiarati del progetto. Pertanto la media riportata non è rappresentativa di un Territorio ma indicativa. Qualche ipotesi è possibile verificarla e può essere sintetizzata in una riclassificazione del Territorio della Provincia di Crotone per il rischio radon: da territorio ove il rischio si ipotizzava trascurabile ad un'area che ospita ambienti confinati ove il rischio radon, deve essere considerato e quindi valutato.

CONCLUSIONI

Il lavoro sperimentale ha migliorato il quadro cognitivo sull'agente fisico indagato, contribuendo a giustificare completamente i motivi che lo hanno ispirato. La campagna di misura della radioattività naturale nei luoghi di lavoro di proprietà pubblica ha permesso di verificare ed ottemperare la norma di specie in 42 postazioni di lavoro ove vi era l'obbligo di verifica ed a ciascuno è stato rilasciato il certificato per la radioattività naturale. Nei casi interessanti sono state adottate le procedure di verifica dei dati osservati e le indicazioni per il contenimento e la minimizzazione dei rischi soprattutto a lunga scadenza. Si rammenta che il radon produce effetti patogeni dopo 25 o 30 anni dal periodo espositivo. La concentrazione media di attività del radon e la dose gamma in aria misurata hanno permesso di stimare la dose assorbita dai lavoratori per l'esposizione a sorgenti naturali di radioattività. I valori definitivi della concentrazione annua di attività di radon indoor seguono una distribuzione sperimentale tipica e hanno portato ad alcune considerazioni in merito alla riduzione del rischio. Negli ambienti dove sono stati registrati valori più significativi di concentrazione di radon, determinati quasi sempre da scarsa o assente areazione, insistono due elementi di concausa: uno legato al fenomeno di accumulo e l'altro connesso a particolari costruttivi quali ambienti poco isolati dal terreno che facilitano estrazione di radon dal suolo. Le stime sulla dose annua dovuta alla presenza di radon in ambienti confinati di tipo lavorativo è comunque nella norma, pur avendo registrato nel 12% del campione esaminato un superamento del livello di azione previsto. I luoghi interessati sono stati opportunamente sottoposti a procedura di controllo e riposizionamento dei dosimetri. Negli ambienti indagati dove si è proceduto alla ricerca di eventuali contaminazioni artificiali o da NORM ^[xxiii] non sono state registrate anomalie radiometriche. Nel complesso i dati acquisiti presentano un Territorio con un livello di radioattività naturale normale. Le misure sperimentali hanno dato indicazioni sui livelli di concentrazione di attività del gas radon in ambienti di vita, classificati come luoghi di lavoro.

I diversi attori di questo Territorio, operanti nel controllo e nella prevenzione sono ormai orientati sulla via della riduzione delle fonti di rischio nei luoghi di lavoro, in particolar modo per il radon, malgrado le competenze anche in sede istituzionale rendono di fatto impossibile un monitoraggio sull'applicazione del capo III-bis del decreto legislativo n. 241/00.

In questo caso, non facilmente replicabile, aver costruito un'intesa tra Enti si è rivelata una buona pratica che almeno sul piano della prevenzione crediamo abbia lanciato un segnale positivo. Il lavoro in atto, dunque, oltre all'applicazione del principio di prevenzione, ha permesso di ampliare le conoscenze dirette su un Territorio calabrese che presenta fattori geologici predisponenti per l'agente fisico inquinante trattato.

BIBLIOGRAFIA

- [ⁱ] 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. Lyon France,(1988):Vol.43;
- [ⁱⁱ] BEIR-VI (Committee on Health Risks of Exposure to Radon National Research Council), *Health Effects of Exposure to Radon*. Washington, D.C National Academy Press (1999);
ricadute. SANIT, (2008);
- [ⁱⁱⁱ] Burguignon M et al., *Effects of ionizing radiations, Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly*, UNSCEAR (2006);
- [^{iv}] NRPB (National Radiological Protection Board), *Health Risks from Radon*. ISBN (2000); 85951:449-8;
- [^v] 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);
- [^{vi}] Nero A., *Earth air, radon and home*. *Physics Today* 42 (1989) pp.32-39;
- [^{vii}] Procopio S., *L'attributo naturale alimenta disinteresse:radiazioni ionizzanti*
Il Chimico Italiano, Anno XVII- n.1 gennaio/febbraio/marzo (2006);
- [^{viii}] 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
- [^{ix}] Ministero della Salute, *Piano Nazionale Radon*, 2002
- [^x] C. Tansi e VV.*Interpretation of radon anomalies in seismotectoni an tectoni- gravitational settings: the south-eastern Cratigraben (northern Calabria Italy)*, *Elsevier Tectonophysics* 396 (2005)181-193
- [^{xi}]Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n°136 del 13 giugno 1995, *Decreto Legislativo n°230 del 17 marzo 1995*
- [^{xii}]Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n°203 del 31 agosto 2000, *Decreto Legislativo n°241 del 26 maggio 2000*
- [^{xiii}]Commissione delle Comunità Europee, *Direttiva 96/29/EURATOM del Consiglio del 13 maggio 1996*, G.U. delle Comunità Europee L159 del 29 giugno 1996
- [^{xiv}] Bochicchio 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
- [^{xv}] A Nero, *Earth air, radon and home*. *Physics Today* 42 (1989) pp.32-39
- [^{xvi}] L. Tommasino, *Radon*; *Encyclopedia of Analytical Science* (1998), pp.4359-4368
- [^{xvii}] 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, 198. 1982
- [^{xviii}] *Intercomparison Radon Passive*, BFS-Berlino 2013
- [^{xix}]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;
- [^{xx}] Ciconte E.A.R. et al, *La mappa del rischio radon nei luoghi di lavoro nella Provincia di Catanzaro*, Convegno Nazionale di Radioprotezione, Palermo 2013
- [^{xxi}] *Il monitoraggio della radioattività naturale e dei campi elettromagnetici nel comune di Pallagorio (kr)*
Arpacal anno 2013