



IL MONITORAGGIO DELLA RADIOATTIVITÀ NATURALE E DEI CAMPI ELETTRROMAGNETICI NEL COMUNE DI PALLAGORIO (Kr)



ARPACAL - Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Calabria
Dipartimento Provinciale di Catanzaro
Laboratorio Fisico "E. Majorana"

Indice

PREMESSA.....	4
INTRODUZIONE.....	7
MATERIALI E METODI.....	8
RISULTATI.....	14
CONCLUSIONI.....	23
BIBLIOGRAFIA	24

COMUNE DI PALLAGORIO (Kr)

ARPACAL

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Calabria

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

LABORATORIO FISICO ETTORE MAJORANADEL DIPARTIMENTO ARPACAL DI CATANZARO (fisico.cz@arpacal.it)

Coordinamento scientifico del progetto

Dott.ssa Anna Maria Albano, Direttore del dipartimento ARPACAL di Catanzaro

Gruppo di lavoro

- Filomeno Caldarola, f.caldarola@arpacal.it
- Michele Folinogallo, m.folinogallo@arpacal.it
- Salvatore Procopio, s.procopio@arpacal.it
- Anna Maria Grazioso, coordinamento e revisione editoriale

TEL. 0961731268 INT.20

FAX. 0961738689

Via Lungomare giovino di Catanzaro

88100 Catanzaro

Si ringraziano per la collaborazione:

- i consiglieri comunali Caterina Spina e Dino Raffa e i cittadini residenti nel comune di Pallagorio che si sono resi disponibili per il monitoraggio;
- il Sindaco che ha permesso di monitorare il palazzo comunale.

ARPACAL, tutti i diritti della pubblicazione sono riservati.

È 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 sospetti su un presunto aumento di patologie tumorali nell'area che ricade nel Comune di Pallagorio. La richiesta dei Consiglieri eletti al Consiglio Comunale di Pallagorio, Caterina Spina e Dino Raffa e la collaborazione del laboratorio Fisico *Ettore Majorana* del Dipartimento ArpaCal di Catanzaro hanno consentito la realizzazione di un'attività di controllo sul territorio comunale di alcuni agenti fisici inquinanti - radioattività ambientale e campi elettromagnetici – con l'intento di indagare su alcuni fattori di rischio per la salute della popolazione. Le caratteristiche geologiche e pedologiche del territorio, la presenza di 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*. La radioattività ambientale è legata alla presenza, nell'ambiente che ci circonda di atomi radioattivi, i *radioisotopi*, che possono essere di origine naturale – come quelli primordiali presenti nella crosta terrestre o extraterrestri come i raggi cosmici oppure ancora 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 risiede nel fatto che, in base alla loro natura, esse sono in grado di provocare danni e/o modificazioni alle strutture molecolari con le quali interagiscono. Le principali famiglie radioattive esistenti in natura sono quelle dell'Uranio, del Torio e dell'Attinio.

La stima della radioattività naturale è stata completata attraverso misure di equivalente di rateo di dose gamma e con la caratterizzazione radiometrica di terreni, sabbie e svariate matrici alimentari. Il radon è un gas radioattivo prodotto dal decadimento nucleare nella catena dell'Uranio ed è la seconda causa di tumore polmonare dopo il fumo. Esso, penetra nelle abitazioni dal terreno o viene rilasciato dai materiali edili e può raggiungere concentrazioni in locali chiusi e poco areati tali da risultare pericolose. Pertanto le misure della concentrazione di radon sono state effettuate in ambienti abitativi e nelle acque destinate al consumo umano a partire dalle fontane pubbliche e in alcune abitazioni private. Le misure dirette della concentrazione di attività di radon in aria (annuali) e in acqua hanno permesso di effettuare una valutazione di dose alla popolazione ed 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 completano i risultati dell'indagine.

Un'altra fase importante del monitoraggio ha interessato la verifica dei livelli di campo elettromagnetico presenti sul territorio comunale, attraverso la misura intorno alle stazioni radio

base e nei luoghi di permanenza inferiore alle 4 ore. Gli effetti provocati nel corpo umano dall'esposizione ai campi elettromagnetici esterni, dipendono fortemente dalla frequenza e dalla loro intensità; in particolare, essi esercitano una forza sulle cariche elettriche dei tessuti provocando delle correnti di conduzione e spostamento all'interno degli organismi. Per questa ragione il monitoraggio dei campi elettromagnetici ha riguardato sia le alte che le basse frequenze. Nel 1996, in risposta alle preoccupazioni per eventuali rischi per la salute connessi all'esposizione a lungo termine a livelli di campi elettromagnetici inferiori agli standard internazionali, l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) ha avviato uno specifico "Progetto Internazionale Campi Elettromagnetici"^[i] dedicato a monitorare le evidenze scientifiche disponibili, divulgare le lacune conoscitive ad indicare le priorità di ricerca utili a colmare non conoscenze, a valutare esaustivamente se i risultati delle ricerche condotte sull'uomo e negli animali avrebbero potuto supportare l'ipotesi di effetti sanitari avversi derivanti dall'esposizione, considerare l'opportunità di rivedere i limiti di esposizione in vigore o di adottare particolari misure di precauzione e a divulgare i risultati di questo processo.

Dal 24 al 31 maggio 2011 si è riunito a Lione un gruppo di lavoro convocato dalla IARC per valutare la letteratura scientifica ad oggi pubblicata inerente l'eventuale cancerogenicità dei campi a radiofrequenza (RF). Sono stati esaminati i risultati degli studi di cancerogenicità sull'uomo e su animali in relazione a diverse sorgenti di esposizione a RF: esposizione occupazionale a radar e microonde; esposizione ambientale a segnali radio, tv e telecomunicazioni wireless; esposizione personale associata all'uso di cellulari e telefoni wireless. Il gruppo di lavoro ha classificato l'esposizione ai campi elettromagnetici a radiofrequenza come "forse cancerogena per l'uomo" – *possibly carcinogenic to humans* - gruppo 2B^[ii-iii], sulla base di una limitata evidenza di incremento dei rischi di glioma e di neurinoma del nervo acustico in relazione all'uso del telefono cellulare e di una limitata evidenza di cancerogenicità negli animali. Secondo il sistema di valutazione della IARC – OMS Organizzazione Mondiale della Sanità, una "limitata" evidenza di cancerogenicità si ha quando un certo numero di studi ha evidenziato un'associazione tra esposizione e malattia ma non si è in grado di dire se si tratti di un rapporto causa-effetto ovvero di un artefatto dovuto a distorsioni, effetti di confondimento o semplicemente al caso. Alcuni membri del gruppo di lavoro hanno ritenuto, tuttavia, che sarebbe stata più appropriata una valutazione di evidenza "inadeguata" di cancerogenicità per l'uomo e una classificazione nel gruppo 3 (agenti non classificabili riguardo alla cancerogenicità). A seguito della valutazione della IARC, l'OMS ha aggiornato la sua scheda sui telefoni cellulari^[iv]. In questo documento viene ribadito che le onde a radio frequenza (RF), diversamente dalle radiazioni ionizzanti come i raggi X o gamma, non sono in grado di

rompere i legami molecolari né di causare fenomeni di ionizzazione nel corpo umano, il che rende altamente improbabile già in linea teorica che esse possano avere effetti cancerogeni diretti. Per quanto riguarda le evidenze scientifiche su eventuali rischi per la salute, l'OMS dichiara che negli ultimi 20 anni sono stati condotti molti studi finalizzati a valutare se l'uso dei telefoni cellulari rappresentasse un potenziale rischio per la salute. Ciò nonostante, a tutt'oggi non è stato accertato alcun effetto sanitario avverso attribuibile all'uso del telefono cellulare. Alle frequenze utilizzate per la telefonia cellulare, la maggior parte dell'energia viene assorbita dalla pelle e da altri tessuti superficiali provocando trascurabili e irrilevanti incrementi di temperatura nel cervello ed in ogni altro organo del corpo. Per quanto riguarda eventuali danni a breve termine, sono stati studiati gli effetti dell'esposizione a RF sull'attività elettrica cerebrale, le funzioni cognitive, il sonno, la frequenza cardiaca e la pressione sanguigna; l'evidenza disponibile ad oggi non supporta l'ipotesi di effetti sanitari avversi da livelli di esposizione inferiori a quelli necessari per provocare effetti termici.

Per quanto riguarda eventuali danni a lungo termine, la ricerca epidemiologica si è concentrata soprattutto sullo studio della relazione tra uso del telefono cellulare e frequenza di tumori cerebrali. Poiché molti tumori sono malattie a lunga latenza (si manifestano cioè a distanza di molti anni dall'inizio dell'interazione che li ha avviati) e l'uso del telefono cellulare si è diffuso soprattutto a partire dal 1990 circa, il potere informativo degli studi epidemiologici condotti fino ad oggi è limitato alle neoplasie che si manifestano più precocemente. Tuttavia, gli studi di cancerogenicità sui roditori hanno mostrato in modo coerente che l'esposizione a lungo termine a RF non comporta un incremento del rischio di tumori. In accordo alla prassi per cui la classificazione di un agente nel gruppo 2B non comporta di per sé l'adozione di nessuna particolare misura di sanità pubblica, la scheda aggiornata dell'OMS sui telefoni cellulari non contiene alcuna indicazione sulla necessità di rivedere gli attuali standard di esposizione alla luce degli esiti della recente valutazione di cancerogenicità delle RF da parte della IARC. Indicazioni più dettagliate in merito alle misure di protezione della salute pubblica dai possibili effetti negativi (cancerogeni e non cancerogeni) dell'esposizione a RF verranno fornite dall'OMS nel 2012, in un volume specifico della serie "Environmental Health Criteria" in cui verrà riesaminata tutta la letteratura scientifica pertinente, sull'uomo e sull'animale. L'OMS, al momento, non suggerisce neppure misure precauzionali, ma si limita ad informare sui fattori che influiscono sui livelli di esposizione a RF durante l'uso dei telefoni cellulari. I livelli di campo elettromagnetico presenti sul territorio del comune in esame sono stati valutati misurando i campi elettromagnetici delle sorgenti che insistono nel territorio.

Le fasi dello studio sono stati presentati alla comunità, in un incontro pubblico presso l'Istituto Comprensivo di Pallagorio il 25 febbraio 2012 in un *Convegno Salute e Ambiente*. Le famiglie coinvolte che hanno partecipato alla campagna di monitoraggio hanno ottenuto la certificazione della radioattività naturale, che attesta il livello di concentrazione della radioattività naturale presente nel sito indagato.

INTRODUZIONE

Il territorio in esame, si estende su una area di circa 42 km² a 554 m d'altezza sopra il livello del mare, ospita abitualmente 1400 abitanti e viene classificato nella carta sismica, come quasi tutti i comuni del crotonese, zona 2^[v], con una pericolosità sismica media dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti, considerato che il valore dell'accelerazione orizzontale riferita ad un suolo rigido o pianeggiante è un valore compreso tra 0,15g e 0,25g. L'area oggetto di indagine ospita un importante segmento di faglia noto come *Campana – Pallagorio* con una cinematica di tipo *transtensiva sinistra*. In ogni modo va evidenziato che l'Arco Calabro^[vi], 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 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^[vii,viii,ix] (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^[x,xi,xii]. 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/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^[xiii] 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: ²¹⁸Po, ²¹⁴Po, ²¹⁰Po^[xiv]. 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^[xv]. La conseguenza per un individuo può essere l'aumento della dose assorbita e della probabilità di insorgenza di tumori polmonari^[xvi]. 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^[xvii] infatti, attribuiscono al radon una frazione rilevante dei casi di tumore polmonare; si stima, in via preliminare che in Italia da 1500 a 6000^[xviii] 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 già descritte, hanno condizionato l'individuazione dei punti 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 elettretti 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]:

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

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 $[(\text{Volt} \cdot m^3)/(\text{Bq} \cdot \text{giorno})]$ 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^[xiX].

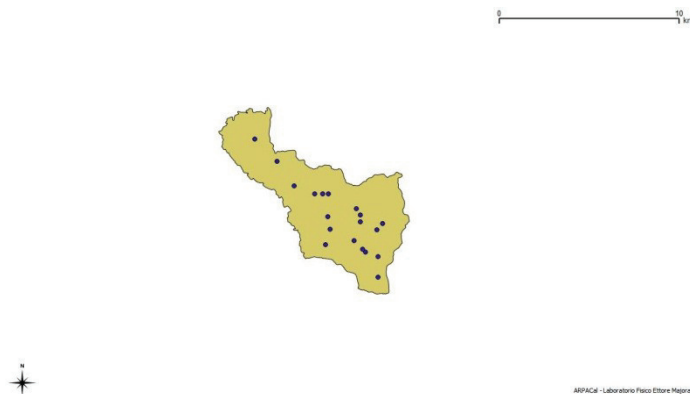


Fig. 1: punti di misura per la concentrazione di attività di radon in aria $[Bq/m^3]$ - Pallagorio (Kr)

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

- ✚ la scelta e l'individuazione dei locali utili alla misura^[xx];
- ✚ il posizionamento in 26 siti (Fig.1) di 35 elettreti per la misura della concentrazione del gas radon in aria in utenze private presenti nel territorio. A seconda della superficie dell'abitazione alcuni punti di misura hanno 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 l'individuazione

dei punti 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/m³)] 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, prelevando il radon con la pompa di aspirazione di cui è dotato il monitore MRI (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. La scelta dei punti di misura per la concentrazione di radon nel suolo è in armonia con la carta pedologica che descrive le caratteristiche di permeabilità e porosità dei diversi suoli. 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 (Fig.2). 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 ²²²Rn mediante la tecnica del degassamento e la rivelazione delle particelle alfa emesse dal ²¹⁸Po. 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 [²²²Rn] 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; τ il tempo di conteggio in s; $\epsilon_{rivelazione}$ è l'efficienza del rivelatore; $\epsilon_{degassamento}$ è l'efficienza di degassamento; Δt è l'intervallo di tempo tra prelievo e conteggio; λ_{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, pomodori, funghi, lattughe, verza, patate, arance, mandarini, cavoli, fave, piselli e cavoli tutti di produzione autoctona.



ARPA Calabria - Laboratorio Fisico Ettore Majorana

Fig. 2: *mappa delle sorgenti di acqua destinate al consumo umano*

Come già evidenziato, le misure proposte sono utili ad effettuare una stima accurata del rischio radon su questo territorio e possono rappresentare un modello per alcune valutazioni più generali che interessano anche il resto della Regione Calabria, in particolare, per la definizione di una mappa per l'individuazione delle zone dove più alta è la probabilità di rischio radon tenendo conto della variabilità spaziale dei valori di radon indoor, impiegando una qualsiasi tecnica di geostatistica^[xxi] sui valori misurati.

Gli strumenti impiegati per la stima della radioattività naturale sono di seguito presentati:



misuratore di carica per la concentrazione di radon



misuratore in continuo del gas radon



misuratore del gas radon in acqua



contaminametro

Tra gli strumenti per la misura della radioattività compare un contaminometro impiegato per valutare il livello di contaminazione delle pareti di alcune abitazioni e dei materiali utilizzati durante le fasi di costruzione. Come noto in passato, residui di lavorazioni provenienti dall'area industriale crotonese sono stati impiegati per le fasi di riempimento di sottofondi, strade e altro. Per la valutazione dei campi elettromagnetici a bassa e alta frequenza, si è partiti da un'indagine storica sulle sorgenti censite negli archivi della nostra agenzia e attuando un monitoraggio del territorio nelle aree prossime all'ubicazione di sorgenti che potenzialmente possono aumentare i livelli di campo elettromagnetico. Di seguito, nelle figure 7, Tab.1,2 vengono riportati i valori di misura acquisiti durante l'attività di monitoraggio dei livelli di campo sul territorio e uno degli strumenti impiegati per la stima dei livelli di campo elettromagnetico.



misuratore di campi elettromagnetici con sonda per le alte frequenze

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, il rateo equivalente di dose ambientale ed utilizzato per il calcolo della concentrazione di radon equivalente prodotta dal fondo gamma. In media il fondo ambientale nel territorio di Pallagorio (Kr) è di 94 ± 7 nGy⁻¹ (Fig.3 e 3a).

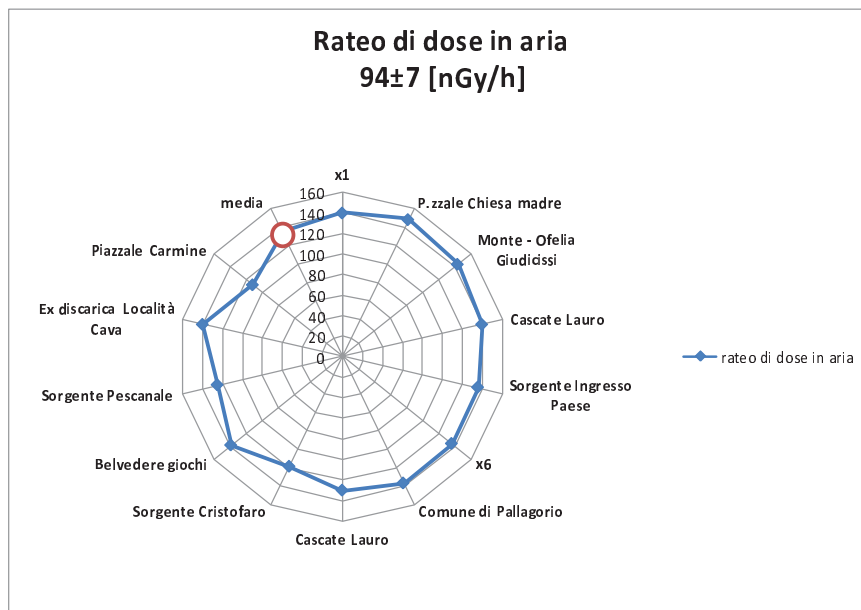


Figura 3: punti di misura del fondo gamma; le incognite sono abitazioni private

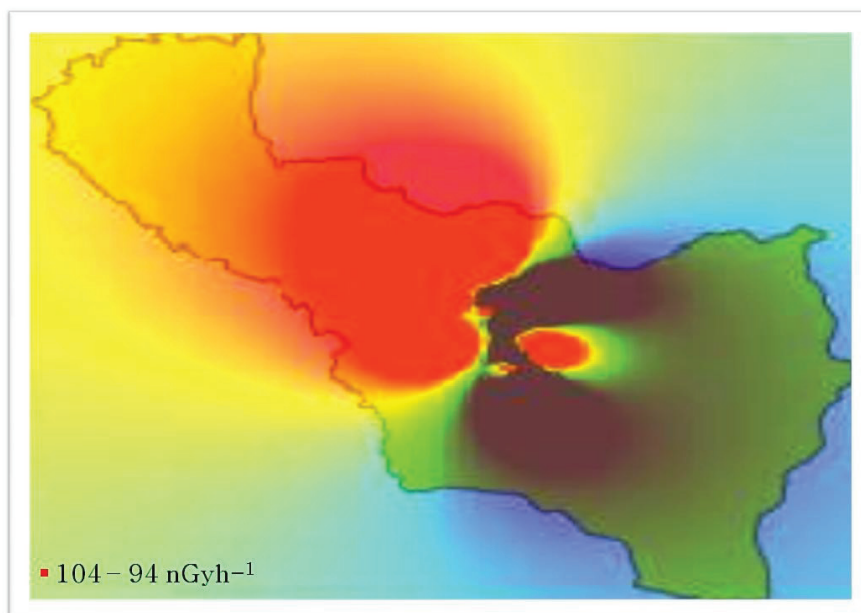


Figura 3a: carta del fondo gamma

Gli accertamenti radiometrici sui campioni alimentari e ambientali hanno rivelato la presenza di radioisotopi naturali appartenenti alle famiglie dell'uranio e del torio in concentrazione confrontabile con i dati di letteratura e quindi privi di interesse radiologico. Nei campioni di terreno sono presenti tracce di ^{137}Cs provenienti da Chernobyl e dai test atomici francesi nel Sahara, valore considerato nella norma e facilmente riscontrabile. La concentrazione media di radon in acqua (Fig.4) misurata nelle abitazioni domestiche è di $2,3\pm 0,7$ Bq/l, un valore che è in accordo con le concentrazioni già note per altre parti del territorio regionale e ben distante dal riferimento normativo europeo di 100 Bq/l. In figura 4 sono riportati anche i dati riferiti alle sorgenti naturali e ad un punto di prelievo che è acqua di pozzo impiegata per uso irriguo. Il valore più interessante misurato è che supera il livello di riferimento normativo europeo è la sorgente *Cascata Lauro bassa*. Il dato è stato determinato con cinque campionamenti in diversi mesi dell'anno (gennaio – dicembre). Una concentrazione importante di radon nella sorgente *Cascata Lauro* è un indicatore attendibile sulla naturalità della risorsa acqua e non corrisponde direttamente ad una condizione di pericolo. Infatti, è stata determinata la concentrazione di attività del ^{226}Ra (progenie del radon) con la tecnica del degassamento e quest'ultima risulta inferiore alla sensibilità dello strumento. Si precisa inoltre che abitualmente, durante un prelievo ordinario praticato da un qualsiasi utente, la concentrazione diminuisce poiché insiste una fase di degassamento involontario che comunque riduce la presenza di radon.

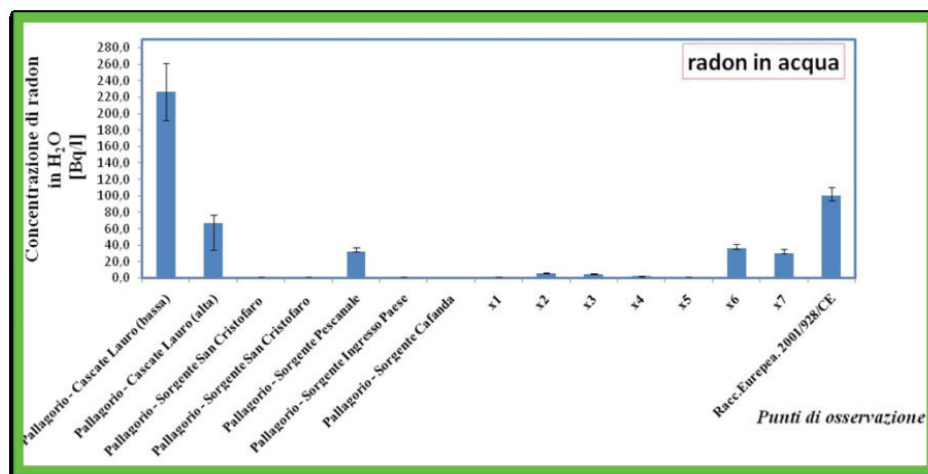


Figura 4: concentrazioni di radon in acqua delle sorgenti presenti nel territorio

Le abitazione private indicate in figura 4 con valori più alti ($x_{6,7}$ Fig.4) sono sorgenti di pozzo ($35,4\pm 5,6$ Bq/l) abitualmente utilizzate per usi agricoli. Come già indicato, le medie riportate sono il risultato di più campionamenti per ogni sorgente, realizzate in periodi diversi. Di seguito,

figura 5 e 6 vengono presentati: l'archivio del posizionamento e la distribuzione sperimentale della concentrazione di gas radon in aria a diversi piani in ambienti confinati (figura 6). Le misure annuali di concentrazione del gas radon nelle utenze abitative sono rappresentative dell'intero territorio e seguono una distribuzione sperimentale tipica (*lognormale*).

Punto	X [E]	Y [N]	Data inizio misura	Ora inizio misura	Data fine misura	Ora fine misura
X₁	664488	4352652	18/01/2012	11.00.00	18/07/2012	13.50.00
X₂	664452	4352589	18/01/2012	15.15.00	18/07/2012	15.01.00
X₃	664346	4352602	18/01/2012	12.00.00	18/07/2012	11.29.00
X₄	664307	4352331	18/01/2012	15.00.00	18/07/2012	10.58.00
X₅	664424	4352473	18/01/2012	12.30.00	18/07/2012	17.05.00
X₆	664519	4352765	18/01/2012	15.45.00	18/07/2012	12.49.00
X₇	664750	4352612	18/01/2012	12.40.00	18/07/2012	15.35.00
X₈	664850	4352657	18/01/2012	16.00.00	18/07/2012	15.44.00
X₉	664207	4353271	18/01/2012	13.00.00	18/07/2012	10.45.00
X₁₀	664402	4352333	18/01/2012	11.00.00	18/07/2012	14.54.00
X₁₁	664811	4353620	18/01/2012	12.30.00	18/07/2012	10.42.00
X₁₂	664328	4353014	18/01/2012	12.00.00	18/07/2012	10.42.00
X₁₃	664578	4352572	18/01/2012	12.45.00	18/07/2012	15.33.00
X₁₄	664649	4352340	18/01/2012	12.00.00	18/07/2012	11.29.00
X₁₅	664770	4352379	18/01/2012	15.45.00	18/07/2012	12.49.00
X₁₆	664881	4352301	25/01/2012	11.00.00	25/07/2012	11.07.00
X₁₇	664713	4352644	25/01/2012	10.38.00	25/07/2012	11.13.00
X₁₈	664394	4352904	25/01/2012	10.36.00	25/07/2012	11.13.00
X₁₉	664675	4352451	25/01/2012	15.00.00	25/07/2012	11.45.00
X₂₀	664751	4352700	25/01/2012	12.30.00	25/07/2012	11.53.00
X₂₁	664995	4352715	25/01/2012	14.31.00	25/07/2012	11.38.00
X₂₂	664999	4352753	25/01/2012	15.00.00	25/07/2012	10.53.00
X₂₃	664449	4352761	25/01/2012	11.00.00	25/07/2012	10.58.00
X₂₄	664400	4352522	25/01/2012	9.45.00	25/07/2012	11.13.00
X₂₅	664697	4352719	25/01/2012	10.30.00	08/08/2012	11.10.00
X₂₆	664595	4352423	01/02/2012	11.10.00	08/08/2012	11.38.00

Figura 5 :archivio punti di misura

Il campione scelto per le misure indoor è rappresentativo del territorio ma fortemente condizionato dalla densità abitativa.

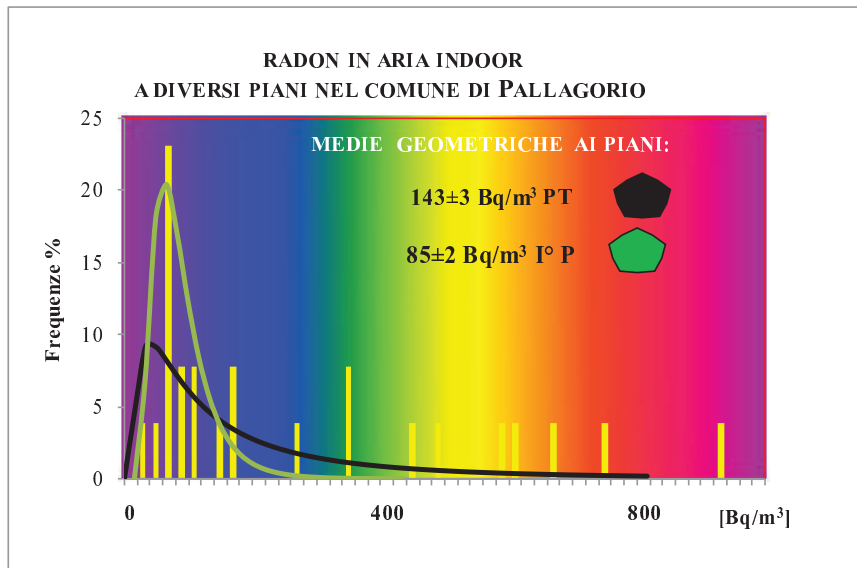


Figura 6: concentrazione di radon in aria indoor, comune di Pallagorio

In Fig. 6 sono riportate le frequenze ottenute con le concentrazioni di attività medie del gas radon negli ambienti confinati e la *distribuzione lognormale* delle osservazioni sperimentali con una media geometrica al piano terra pari a $143 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$. È questo il valore che più della media aritmetica rappresenta la distribuzione sperimentale. Si può apprezzare la differenza tra la 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. Il fenomeno dell'accumulo e della scarsa areazione soprattutto nelle zone della casa destinate al riposo (primo piano) possono rappresentare una prima valutazione dei risultati acquisiti. La media geometrica della distribuzione delle concentrazioni al piano terra (M.G. = $143 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$) è più importante rispetto a quella al primo piano $85 \pm 2 \text{ Bq/m}^3$ e assumendo un valore più conservativo si può affermare che la concentrazione media del gas radon nel Comune di Pallagorio è di $143 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$ quasi il doppio (74 Bq/m^3) della media nazionale, 77 Bq/m^3 ottenuta durante la campagna di misura del gas radon^[xxii], realizzatasi negli anni '90. È stata analizzata anche la media normalizzata al piano terra con la correzione soltanto su 6 punti di misura posizionati al primo piano con un valore di concentrazione media ancora più conservativa di $152 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$ (Fig. 6a).

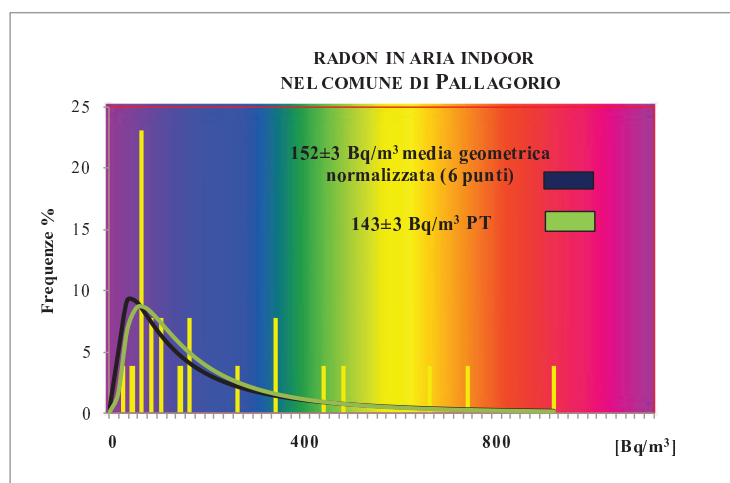


Figura 6a: concentrazione di radon in aria indoor

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 al piano terra è l'indicatore impiegato per il calcolo della stima di dose alla popolazione. Nel tentativo di voler costruire una mappa del rischio radon marcando le zone del territorio comunale ($\sim 42 \text{ km}^2$) sono state effettuate 8 misure di concentrazione di radon nel suolo in punti scelti per rappresentare il territorio ed indagare sulle concentrazioni di radon indoor risultate più significative. La più importante concentrazione di radon nel suolo registrata è pari a $27,6 \pm 0,2 \text{ kBqm}^{-3}$ misurata in prossimità della *Cascata Lauro*, il valore medio sul territorio è attorno a $10,7 \pm 0,3 \text{ kBqm}^{-3}$. Gli stessi valori risultano confrontabili con altre informazioni relativi al territorio calabrese. Il dato sulla Cascata Lauro giustifica il valore della concentrazione di radon in acqua della stessa sorgente.

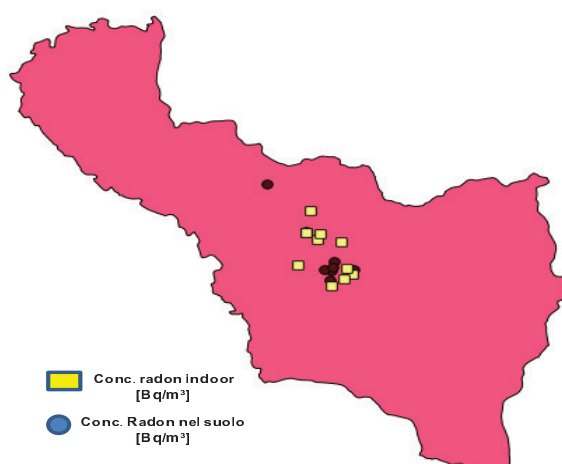


Figura 7 : concentrazione di radon nel suolo e radon indoor [Bqm⁻³]

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. I dati presentati in figura 8, in sintonia con quanto accade solitamente mostrano che non vi è dipendenza diretta tra la concentrazione di radon nel suolo ($R^2=0,16$) e quella misurata negli ambienti confinati. In generale infatti il passaggio del radon dal suolo all'ambiente confinato è connesso al tipo di isolamento abitazione – suolo e al tipo di suolo.

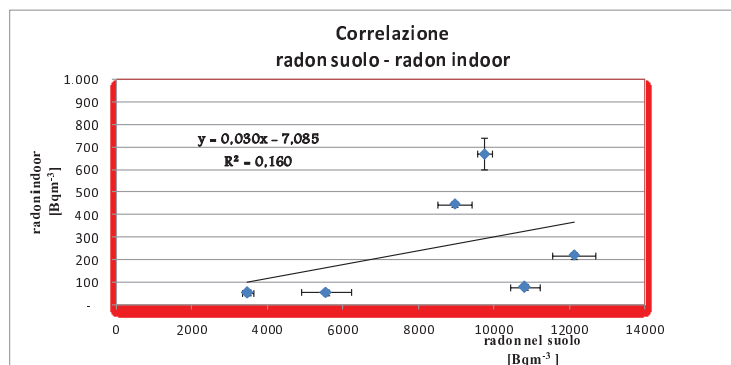


Figura 8: concentrazioni di radon al suolo-indoor

Assumendo che il valore della concentrazione media di attività del gas radon in aria sia $143 \pm 4 \text{ Bq/m}^3$ per gli ambienti confinati ipotizzando un fattore di equilibrio pari a 0,4 e un tempo di occupazione dell'ambiente interessato superiore alle 3000 ore, si può stimare il contributo del radon alla dose efficace: 0,51 mSv/anno. Se si considera la concentrazione media del radon in acqua, $2,3 \pm 0,7 \text{ Bq/l}$ 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 0,0006 mSv/anno. Il contributo della concentrazione di radon in acqua alla dose da inalazione è quasi del tutto trascurabile e si stima^[xxiii] essere lo stesso di quello prodotto da una concentrazione in aria di circa $0,46 \text{ Bq/m}^3$. Il contributo totale del radon presente nel territorio indagato si stima intorno a 0,51 mSv/anno e può essere confrontato con il valore di dose efficace di 1,26 mSv/anno, che è il contributo del radon alla dose totale generata dal fondo della radioattività naturale. Nella ipotesi più conservativa, assumendo una concentrazione media di radon in acqua e considerando l'impiego quotidiano e massivo delle acque di sorgenti di 54,2 Bq/l (contributo in aria dovuto all'acqua pari a 10 Bq/m^3) la dose annua da ingestione sarebbe di 0,013 mSv/annuo per una dose efficace totale pare a 0,52 mSv/annuo. 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 consentito dalla norma per la popolazione è di 1 mSv/anno. Le

osservazioni sperimentali descrivono un territorio con interesse radiologico riferito alla radioattività naturale almeno dal punto di vista della dose assorbita dalla popolazione, certamente al di sotto del livello previsto dalla norma, ma quasi certamente derivante da una concentrazione del gas radon indoor doppia della media nazionale. Il dato va considerato con la consapevolezza che la radioattività è un fenomeno naturale ed ogni essere vivente è soggetto all'effetto del campo radiativo naturale a seconda dei posti in cui vive e lavora.

Sul campione di misure osservate, facendo riferimento al quadro di riferimento normativo europeo e non italiano che non prevede ancora nessun livello di azione per la concentrazione del gas radon per gli ambienti di vita, ma solo per quelli lavorati e tra l'altro in particolari condizioni, si possono fare alcune considerazioni sui livelli di concentrazione di 200 Bq/m^3 previsto per i nuovi edifici e 400 Bq/m^3 per le costruzioni più datate. In figura 8b) si riportano le percentuali dei luoghi di vita tra quelli misurati dove la concentrazione non supera i 200 Bq/m^3 e i 400 Bq/m^3 a seconda dal tipo di edificio. Dall'esame delle schede sugli edifici risulta comunque che la quasi totalità delle case non è di recente costruzione e quindi il livello da considerare come riferimento è di 400 Bq/m^3 con una buona approssimazione.

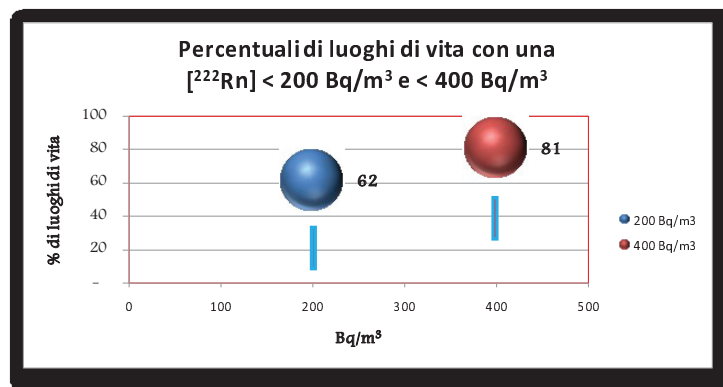


Figura 8b: percentuali di luoghi di vita a diverse concentrazioni

L'analisi delle concentrazioni stagionali (Fig.8c) attraverso il fattore *r.c.* (rapporto delle concentrazioni) definitivo con la relazione [3]:

$$r. c. = \frac{C_{\text{invernale}}}{C_{\text{estivo}}} \quad [3]$$

permette di esaminare alcune ipotesi sull'andamento temporale della concentrazione di attività del gas radon indoor. Circa il **60%** dei *r.c.* è inferiore a 1 (**0,5**) che permette di ipotizzare che la

concentrazione invernale è minore di quella estiva, complici condizioni climatiche e particolari costruttivi delle abitazioni, favorevoli a richiamare più gas dal suolo. Senza trascurare un possibile *effetto accumulo* dovuto ad una frequenza di utilizzo degli spazi indagati. Il 20 – 22 % ($1 < r.c. < 4$) degli altri rapporti può considerarsi nella norma e una altrettanta percentuale di r.c. è maggiore di 4 e indica una simmetria dei fenomeni già presentati.

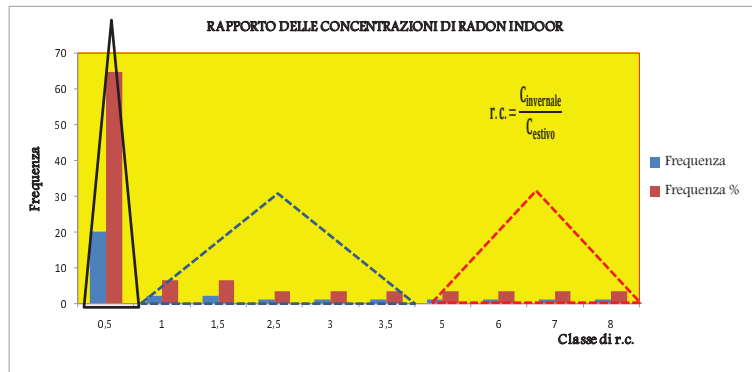


Figura 8c: percentuali di luoghi di vita a diverse concentrazioni

Nelle tabelle 1,2 il monitoraggio dei livelli di campo elettromagnetico a bassa e alta frequenza nel territorio di Pallagorio (Kr).

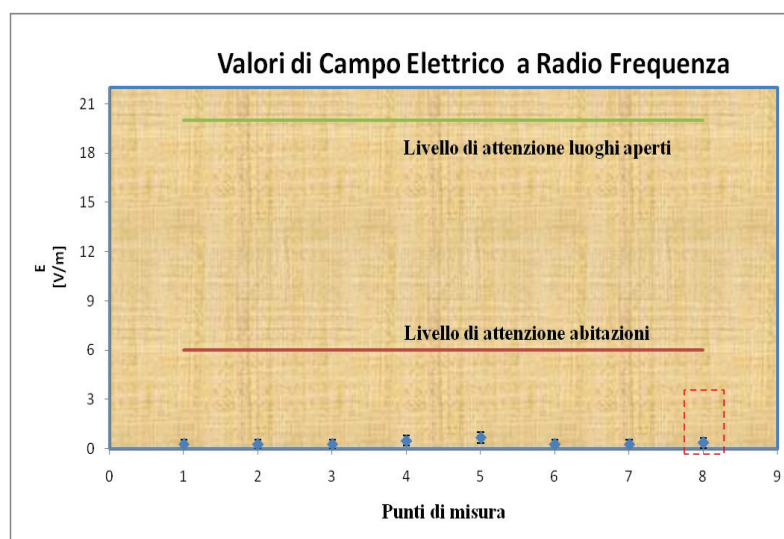


Tabella 1: valori misurati di campo elettrico generato da sorgenti ad alta frequenza



Tabella 2: valori misurati di campo elettrico generato da sorgenti a bassa frequenza

Gli altri valori in bassa frequenza sono al di sotto della sensibilità dello strumento impiegato. Le figure e i livelli di riferimento sui campi elettromagnetici riportati descrivono un territorio privo di interesse e in ordine con il rispetto del norme vigenti in materia.

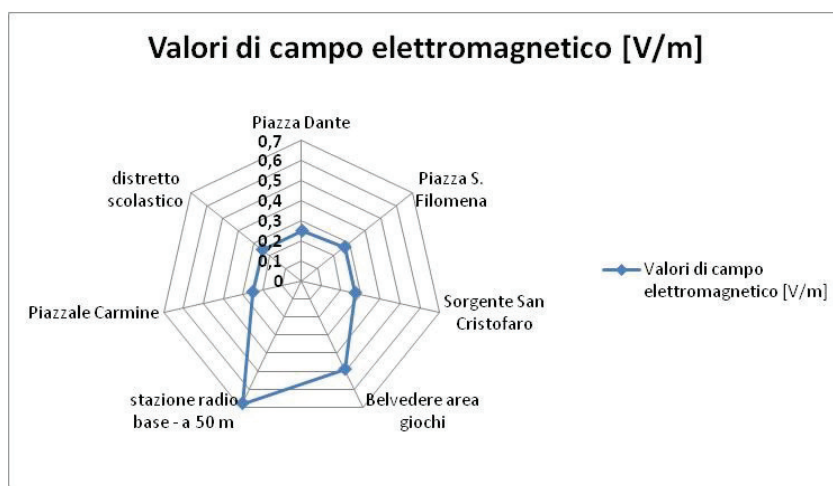


Figura 7: i valori misurati nei diversi punti del territorio

CONCLUSIONI

Il lavoro sperimentale ha migliorato il quadro cognitivo sugli agenti patogeni del territorio contribuendo a giustificare completamente i motivi che lo hanno ispirato. La nostra attività ha stimolato l'aumento dei controlli da parte di altri organi di vigilanza in merito alla matrice acqua sia destinate al consumo umano e sia quelle superficiali. Nel complesso i dati acquisiti presentano un territorio con un livello di radioattività naturale normale sia nelle matrici ambientali che alimentari. Le stime sulla dose annua dovuta alla presenza di radon in ambienti confinati è nella norma, pur avendo registrato una concentrazione di attività media di radon nelle abitazioni pari a quasi il doppio di quella nazionale. Le ragioni di tale risultato non del tutto ovvie, anche se la misura della concentrazione del radon nel suolo presenta un territorio con caratteristiche geologiche, litologiche e pedologiche predisponenti al rischio radon e per questo tali da far registrare un valore di concentrazione paragonabile a quella stimata. La distribuzione delle concentrazioni di attività segue un andamento tipico ed è rispettata legge della riduzione con l'allontanamento dalla sorgente primaria che è il suolo. Gli edifici che hanno registrato un valore più significativo di concentrazione di radon, quasi sempre sono scarsamente o poco areate, pertanto i valori misurati possono essere spiegati con il fenomeno di accumulo e con i particolari costruttivi (abitazioni poco isolate dal terreno). Un elemento a supporto di tale ipotesi interpretativa dei risultati è il rapporto delle concentrazioni di radon stagionale. Dai dati osservati risulta che le concentrazioni di radon nel suolo, non hanno nessuna correlazione con quelle dell'ambiente indoor, evidenziando una perdita di gas nel passaggio suolo - edificio. Le abitazioni (**5 casi**) in cui la concentrazione di attività supera il livello di azione previsto dal dispositivo normativo europeo dei 400 Bq/m³ riceveranno, nella certificazione della radioattività naturale prevista, una specifica sulla gestione dell'ambiente. Nella quasi totalità delle abitazioni indagate e su una parte significativa del territorio dove si è proceduto alla ricerca di eventuali contaminazioni artificiali o da NORM ^[xxiv] non sono state registrate anomalie radiometriche. I livelli di campo elettromagnetico a bassa e ad alta frequenza registrati durante la fase di monitoraggio sono confrontabili con la serie storica di dati in possesso dell'ArpaCal; non si evidenziano incrementi significativi dei livelli di campo elettromagnetico e i valori misurati sono da considerarsi come fondo ambientale derivante da attività antropiche.

BIBLIOGRAFIA

- [ⁱ] World Health Organization (WHO). *International EMF Project web site*; <http://www.who.int/peh-emf>.
- [ⁱⁱ] International Agency for Research on Cancer (IARC). Comunicato Stampa N. 208 del 31-5-2011; http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf.
- [ⁱⁱⁱ] Baan R et al. Carcinogenicity of radiofrequency electromagnetic fields. *The Lancet Oncology* 2011; 12 (7): 624-626; doi:10.1016/S1470-2045(11)70147-4 Published Online: 22 June 2011.
- [^{iv}] World Health Organization (WHO). *Electromagnetic fields and public health: mobile phones*. June 2011; <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/en/index.html>.
- [^v] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, Delibera Giunta Regionale della Calabria n. 47 del 10.02.2004.
- [^{vi}] C. Tansi e VV. *Interpretation of radon anomalies in seismotectonic and tectonic-gravitational settings: the south-eastern Cratigraben (northern Calabria Italy)*, Elsevier Tectonophysics 396 (2005) 181-193
- [^{vii}] 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
- [^{viii}] NRPB (National Radiological Protection Board). *Health Risks from Radon*, ISBN 0-85951-449-8; 2000;
- [^{ix}] 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
- [^x] Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n°136 del 13 giugno 1995, *Decreto Legislativo n°230 del 17 marzo 1995*
- [^{xi}] Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n°203 del 31 agosto 2000, *Decreto Legislativo n°241 del 26 maggio 2000*
- [^{xii}] Commissione delle Comunità Europee, *Direttiva 96/29/EURATOM del Consiglio del 13 maggio 1996*, G.U. delle Comunità Europee L159 del 29 giugno 1996
- [^{xiii}] 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
- [^{xiv}] A Nero, *Earth air, radon and home*. Physics Today 42 (1989) pp.32-39
- [^{xv}] L. Tommasino, *Radon*; Encyclopedia of Analytical Science (1998), pp.4359-4368
- [^{xvi}] Hickey R.J., Bowers E.J., Spence D.E., et al.: *Low-level ionizing radiation and human mortality: multiregional epidemiological studies*. HealthPhys 40: 625-641, 198. 1982
- [^{xvii}] 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
- [^{xviii}] Ministero della Salute, *Piano Nazionale Radon*, 2002
- [^{xix}] *Intercomparison Radon Passive*, BFS-Berlino 2013
- [^{xx}] 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;
- [^{xxi}] 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
- [^{xxii}] ISS-ANPA, *Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni*, ISTISAN Congressi 34, 1994
- [^{xxiii}] 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
- [^{xxiv}] *Naturally Occurring Radioactive Materials*