

# ARPACAL

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Calabria

- Dipartimento di Catanzaro -  
Laboratorio Fisico "Ettore Majorana"



## *Tiriolo e le radiazioni*

**A cura Laboratorio Ettore Majorana Arpacal di Catanzaro**

Dipartimento ARPACAL di Catanzaro - Laboratorio Fisico "Ettore Majorana"  
Via Lungomare Loc. Mosca (Zona Giovino) - 88100 Catanzaro - [fisico.cz@arpacal.it](mailto:fisico.cz@arpacal.it) - 0961.731268 int. 20

***TIRIOLO E LE RADIAZIONI***



*Laboratorio Fisico Ettore Majorana dell'A.r.p.a. Cal di  
Catanzaro – Report definitivo*

**25/11/2013**

## **INDICE**

PREMESSA.....	4
INTRODUZIONE.....	8
MATERIALI E METODI.....	9
RISULTATI.....	16
CONCLUSIONI.....	29
BIBLIOGRAFIA .....	30

**COMUNE DI TIRIOLO (CZ)**

*Amministrazione comunale, Sindaco Giuseppe Lucente*

**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](mailto:fisico.cz@arpacal.it))

- Clemente Migliorino, [dip.cz@arpacal.it](mailto:dip.cz@arpacal.it), direttore del Dipartimento Arpacal di Catanzaro
- Filomeno Caldarola, [f.caldarola@arpacal.it](mailto:f.caldarola@arpacal.it);
- Michele FòlinoGallo, [m.folinogallo@arpacal.it](mailto:m.folinogallo@arpacal.it);
- Salvatore Procopio, [s.procopio@arpacal.it](mailto:s.procopio@arpacal.it)

*TEL. 0961731268 INT.20*

*FAX. 0961738689*

*Via Lungomare, snc Giovino di Catanzaro*

*88100 Catanzaro*

Si ringraziano per la collaborazione:

- l'Amministrazione Comunale di Tiriolo, il Sindaco Giuseppe Lucente e l'Assessore Raffaele Paone che hanno permesso di realizzare il progetto di monitoraggio;
- il Sig. Chiarella Armando per aver contribuito fattivamente alla fase di posizionamento dei dosimetri per la misura del gas radon.

ARPACAL E COMUNE DI TIRIOLO: *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 dall'esigenza di indagare su alcune sorgenti di rischio responsabili di un presunto aumento di patologie tumorali nell'area che ricade nel Comune di Tiriolo. La volontà dell'Amministrazione Comunale si è concretizzata con un incarico/convenzione al laboratorio Fisico *Ettore Majorana* del Dipartimento ArpaCal di Catanzaro che ha consentito la realizzazione di un'attività di controllo sul territorio di alcuni agenti fisici inquinanti - radioattività ambientale e campi elettromagnetici – con l'intento di contenere eventuali rischi ambientali e proteggere la salute della popolazione residente. Le caratteristiche geologiche e pedologiche del territorio, la presenza di importanti elementi geologici, fratture della crosta superficiale presenti nell'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, 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 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 del rateo equivalente di dose gamma e con la caratterizzazione radiometrica di terreni e sabbie. 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. 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. Le misure della concentrazione di radon sono state effettuate in ambienti abitativi e nelle acque destinate al consumo umano partendo dalle fontane pubbliche e in alcune abitazioni private. Le misure annuali della concentrazione di attività di radon in aria e quelle periodiche in acqua hanno permesso di effettuare la valutazione di dose alla popolazione ed individuare le zone con una probabilità più alta di 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 completato l'indagine. Avvalendosi della preziosa competenza del dott. *Raffaele Paone*, Assessore ai Lavori Pubblici del Comune di Tiriolo si è potuto

arricchire ed ampliare lo studio connesso alla presenza del gas radon a seconda della tipologia di suolo presente nelle diverse aree del territorio.

Un'altra importante fase del monitoraggio ha interessato la verifica dei livelli di campo elettromagnetico presenti nel territorio comunale, attraverso la misura intorno alle stazioni radiobase, nei luoghi di permanenza inferiore alle 4 ore ed in prossimità delle cabine di trasformazioni dislocate in diversi punti dell'area indagata. Gli effetti provocati nel corpo umano dall'esposizione ai campi elettromagnetici esterni dipendono dalla frequenza e dall'intensità; in particolare, essi esercitano una forza sulle cariche elettriche dei tessuti generando 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"<sup>[i]</sup> dedicato a:

- monitorare le evidenze scientifiche disponibili;
- divulgare le lacune conoscitive;
- indicare le priorità di ricerca utili a colmare non conoscenze;
- 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 (agenzia internazionale della ricerca sul cancro) 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 <sup>[ii-iii]</sup>, 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 hanno 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)<sup>[6]</sup>. A seguito della valutazione della IARC, l’OMS ha aggiornato la sua scheda sui telefoni cellulari<sup>[iv]</sup>. 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. 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 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 e 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. La

monografia IARC 2013<sup>[v]</sup> sulle radiazioni non ionizzanti di recente divulgazione oltre a dare indicazioni di dettaglio in merito agli studi e ai metodi di indagine sugli effetti dei campi elettromagnetici anche a RF, stabilisce che nella valutazione sulla cancerogenicità esiste una limitata evidenza con l'esposizione ai campi elettromagnetici. L'OMS attualmente non suggerisce neppure misure precauzionali e 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 attraverso osservazioni sperimentali dei campi elettromagnetici generati dalle sorgenti che ricadono nell'area di indagine. Lo studio è stato illustrato alla comunità in un pubblico convegno realizzatosi presso il Centro Sociale "Orto Monaci" di Tiriolo, il 31 marzo del 2012: *Tiriolo e le radiazioni*. Le famiglie coinvolte che hanno aderito alla campagna di monitoraggio hanno ottenuto la certificazione della radioattività naturale dell'edificio, atto che attesterà il livello di concentrazione della radioattività naturale presente nel sito indagato. Lo studio ha inteso perseguire in sintonia con il mandato ricevuto, diversi obiettivi: quello connesso alla radioprotezione della popolazione da esposizione a sorgenti naturali e artificiali oltre ad individuare delle aree a maggior rischio radon fondamentali per suggerire nuovi criteri costruttivi di edilizia pubblica e privata (Piano Strutturale Comunale).



## INTRODUZIONE

Il territorio in esame si estende su una area di circa 30 km<sup>2</sup> a 690 m d'altezza sopra il livello del mare, ospita abitualmente 3975 abitanti e viene classificato nella carta sismica come zona 2<sup>[vi]</sup> 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 0,15 g e 0,25 g. L'area in oggetto sita nel bacino idrografico Corace – Amato, oltre al massiccio calcareo mesozoico, ospita diverse tipologie litologiche. La presenza di un sistema di faglie ed altri elementi geologici definiscono un'area complessa dal punto di vista tettonico e predisponente per la tipologia di agente inquinante monitorato. In ogni modo va evidenziato che l'Arco Calabro<sup>[vii]</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 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<sup>[viii,ix,x]</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>[xi,xii,xiii]</sup>. Negli ambienti di vita e nei luoghi dove risiedono persone del pubblico, scolari o studenti, la stima del rischio radon viene 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/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>[xiv]</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: <sup>218</sup>Po, <sup>214</sup>Po, <sup>210</sup>Po<sup>[xv]</sup>. 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<sup>[xvi]</sup>. La conseguenza per un individuo può essere l'aumento della dose assorbita e della probabilità di insorgenza di tumori polmonari<sup>[xvii]</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>[xviii]</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>[xix]</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 già descritte, hanno condizionato l'individuazione dei punti di misura:

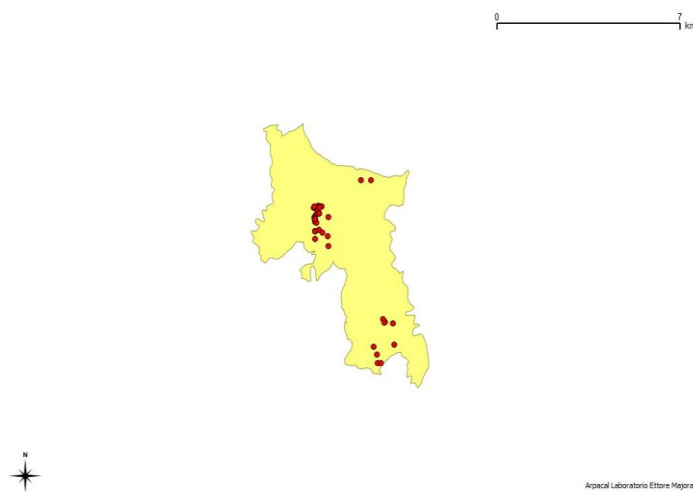
- la densità abitativa;
- le porzioni di area sopra e sotto le faglie;
- posizione del sito da monitorare in armonia con la carta dei suoli e geologica.

I siti coinvolti oltre alle abitazioni private sono di interesse pubblico, palazzo comunale, scuole (centro e Pratora), Polo Sanitario, musei (ex Comune), Sarrottino. 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  $\alpha$  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]:

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

dove  $[^{222}Rn]$  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'elettretto;  $C_F$  in  $[(Volt \cdot m^3)/(Bq \cdot giorno)]$  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 RadElec E-Perm<sup>[xx]</sup>.



**Fig. 1:** punti di misura per la concentrazione di attività di radon in aria  $[Bq/m^3]$  – Tiriolo(Cz)

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

- ✚ la scelta e l'individuazione dei locali utili alla misura<sup>[xxi]</sup>;

- ✚ il posizionamento in 42 siti (Fig.1) di 94 elettretti per la misura della concentrazione del gas radon in aria in utenze private presenti 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 sono stati individuati i punti per la misura della concentrazione del gas radon nel suolo. Consapevoli che la correlazione tra la concentrazione di radon nel suolo e quella degli ambienti confinati più prossimi non è sempre dimostrata, si è proceduto comunque con l'indagine per poter disegnare una mappa del rischio radon, attraverso le misure di concentrazione di radon nel suolo garantendo 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, aspirando il radon con la pompa di aspirazione di cui è dotato il monitore MRI e 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 seguite in condizioni atmosferiche stabili. La scelta dei punti di misura per la concentrazione di radon nel suolo è stata fortemente condizionata dalla carta pedologica che descrive le caratteristiche di permeabilità e porosità dei diversi suoli del comune di Tiriolo. Per la determinazione della concentrazione di attività del gas radon in acqua è stato realizzato un monitoraggio con campionamenti in diversi periodi dell'anno su tutte le sorgenti di acqua destinate al consumo umano presenti sul territorio (Fig.2). Le misure della concentrazione di radon in acqua sono state realizzate sui campioni con capacità volumetrica di 250 ml, in condizioni di equilibrio secolare, adoperando il sistema IDRA (Minima Attività Rivelabile=2 Bq/l), in grado di determinare la radioattività naturale (<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]:

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

dove [<sup>222</sup>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.



**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 valutazioni extraterritoriali riguardanti anche il resto della Regione Calabria, con l'intento costruire una mappa per l'individuazione delle zone dove più alta è la probabilità di rischio radon tenendo conto della variabilità spaziale dei valori. La costruzione di una prima mappa del rischio radon nel territorio è stata costruita con una tecnica di spazializzazione dei dati misurati (geostatistica<sup>[xxii]</sup>). Gli strumenti impiegati per la stima della radioattività naturale sono di seguito presentati:



*misuratore di concentrazione di attività di radon*



*misuratore in continuo del gas radon*



*misuratore del gas radon in acqua*



*contaminometro*

Tra gli strumenti per la misura della radioattività è stato impiegato un contaminometro per valutare il livello di contaminazione delle pareti di alcune abitazioni presi in esame, per la verifica dei materiali impiegati durante la costruzione degli immobili.

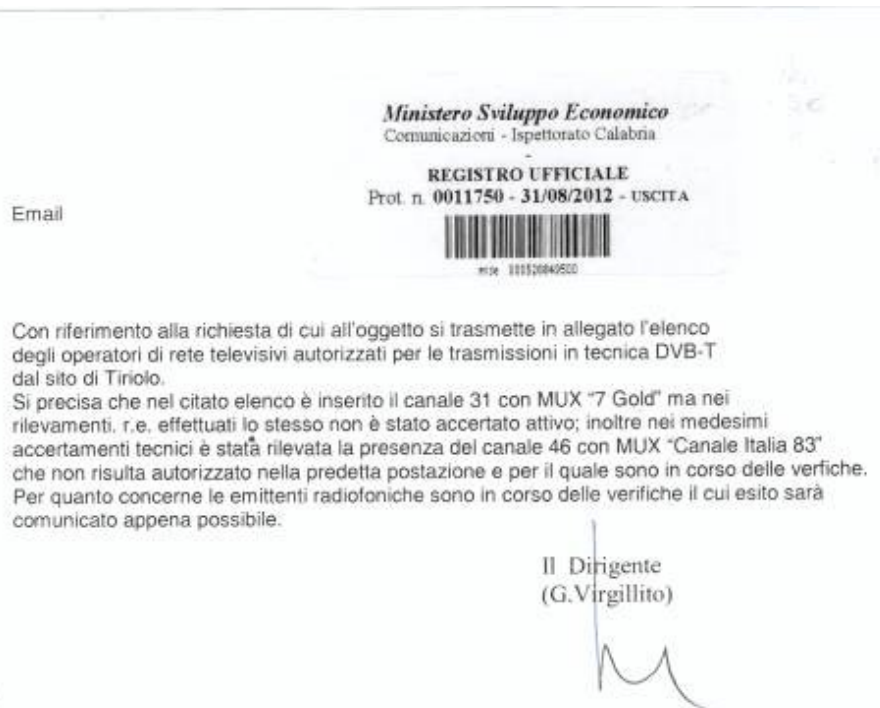
Per la valutazione dei campi elettromagnetici a bassa e alta frequenza si è partiti da un'indagine storica sulle sorgenti censite negli archivi della nostra agenzia e attuando un monitoraggio del territorio nelle aree prossime all'ubicazione di sorgenti che potenzialmente possono aumentare i livelli di campo elettromagnetico.

Di seguito uno degli strumenti impiegati per la stima dei livelli di campo elettromagnetico e nelle figure 5,6 vengono riportati i valori di misura acquisiti durante l'attività di monitoraggio dei livelli di campo sul territorio esaminato.



*misuratore di campi elettromagnetici con sonda per le alte frequenze*

Sono state effettuate misure di campo elettromagnetico in banda stretta (Fig.9) per discriminare le frequenze in prossimità del monte Tiriolo primo e dopo la *pesach* analogica, celebratasi con l'avvento del digitale a metà dell'anno 2012. Considerata la densità di sorgenti presenti nell'area in oggetto si è proceduto con una ricerca formale degli atti di concessione delle frequenze realmente autorizzate (impianti radiotelevisive e impianti stazioni radio base) fig. 3,4 presso il Ministero per lo sviluppo economico - Ispettorato territoriale della Calabria, ente preposto al rilascio delle autorizzazioni per una ulteriori verifica delle procedure messe in atto per le concessioni delle frequenze.



Con riferimento alla richiesta di cui all'oggetto si trasmette in allegato l'elenco degli operatori di rete televisivi autorizzati per le trasmissioni in tecnica DVB-T dal sito di Tiriolo.  
 Si precisa che nel citato elenco è inserito il canale 31 con MUX "7 Gold" ma nei rilevamenti, r.e. effettuati lo stesso non è stato accertato attivo; inoltre nei medesimi accertamenti tecnici è stata rilevata la presenza del canale 46 con MUX "Canale Italia 83" che non risulta autorizzato nella predetta postazione e per il quale sono in corso delle verifiche. Per quanto concerne le emittenti radiofoniche sono in corso delle verifiche il cui esito sarà comunicato appena possibile.

Il Dirigente  
(G. Virgillito)

NomeStazione	Localita	Comune	Prov	Latit	Longit	Altit	CanaleAssegnato	BouquetAttuale	Mux
CATANZARO-MONTE TIRIOLO	M.TIRIOLO	TIRIOLO	CZ	38N5705	16E3103	838	60	MBONE	Mux-TIMB2
TIRIOLO		TIRIOLO	CZ	38N5708	16E3101	830	50	D-FREE	Mux-D-FREE
CATANZARO M.TIRIOLO	TIRIOLO	TIRIOLO	CZ	38N5705	16E3102	820	40	RAI-DV01	Mux4-RAI
TIRIOLO		TIRIOLO	CZ	38N5708	16E3101	838	52	MEDIASET 1	Mux-MDS1
TIRIOLO		TIRIOLO	CZ	38N5708	16E3101	838	38	MEDIASET 3	Mux-MDS3 dvb_h
CATANZARO-MONTE TIRIOLO	M.TIRIOLO	TIRIOLO	CZ	38N5702	16E3103	838	48		Mux-TIMB3
CATANZARO M.TIRIOLO		TIRIOLO	CZ	38N5705	16E3102	820	26		Mux3-RAI
CATANZARO M.TIRIOLO		TIRIOLO	CZ	38N5705	16E3102	820	30		Mux2-RAI
CATANZARO M.TIRIOLO		TIRIOLO	CZ	38N5705	16E3102	820	35		Mux1-RAI
MONTE TIRIOLO	-	TIRIOLO	CZ	38N5704	16E3100	830	44		Mux1-ReteA
TIRIOLO		TIRIOLO	CZ	38N5704	16E3058	838	49		Mux-MDS4
M.TIRIOLO	M.TIRIOLO	TIRIOLO	CZ	38N5705	16E3103	838	47	TIMB1	Mux-TIMB1
TIRIOLO		TIRIOLO	CZ	38N5708	16E3101	838	31	7 GOLD	Mux-7 GOLD
TIRIOLO		TIRIOLO	CZ	38N5704	16E3058	838	36	MEDIASET 2	Mux-MDS2
MONTE TIRIOLO	-	TIRIOLO	CZ	38N5704	16E3100	830	42		Mux2-ReteA
CATANZARO-MONTE TIRIOLO	TIRIOLO	TIRIOLO	CZ	38N5659	16E3100	820	28		Mux-VIDEO CALABRIA
CATANZARO M.TIRIOLO	TIRIOLO	TIRIOLO	CZ	38N5705	16E3102	820	11	Mux5-RAI	Mux5-RAI dvb_h
TIRIOLO		TIRIOLO	CZ	38N5708	16E3101	838	37	Mux-LA3TV dvb_h	Mux-LA3TV dvb_h
TIRIOLO		TIRIOLO	CZ	38N5708	16E3101	838	56	Mux-MDS5	Mux-MDS5

Fig. 3: elenco delle sorgenti indicate dal Ministero dello sviluppo economico, Ispettorato territoriale della Calabria

EMITTENTE	SOCIETA'	SEDE	FREQ/CH
RADIO ITALIA ANNI 60	RADIO ITALIA ANNI 60 SRL	VIA ISOLDI, 5 -84035 POLLA (SA)	105.500
RADIO RAI 1	RAI WAY SPA	VIALE G.MARCONI - 87100 COSENZA	94.300
RADIO MONTECARLO	RMC ITALIA SRL	VIA PRINCIPE AMEDEO, 2 - 20121 MILANO	96.600
RAI PARLAMENTO	RAI WAY SPA	VIALE G. MARCONI - 87100 COSENZA	97.400
RADIO RAI 2	RAI WAY SPA	VIALE G.MARCONI - 87100 COSENZA	96.300
RADIO KISS KISS	RADIO KISS KISS S.P.A.	VIA SGAMBATI, 61 - 80131 NAPOLI	91.400
RADIO DEE JAY	ELEMEDIA SPA	VIA MASSENA,2 - 20145 MILANO	88.700
RADIO RAI GR PARLAMENTO\	RAI WAY SPA	VIALE G. MARCONI - 87100 COSENZA	90.350
RADIO 105	RADIO STUDIO 105 SRL	LARGO DONEGANI,1 - 20121 MILANO	95.000
RADIO DIMENSIONE SUONO	RADIO DIMENSIONE SUONO SPA	VIA PER RUGGERO PICCIO, 55- 00136 ROMA	105.900
RTL 102.5	RTL 102.5 HIT RADIO SRL	VIA PIEMONTE 61/63 - 20093 COLOGNO MONZESE (MI)	102.800

**Fig. 4:** elenco emittenti indicate dal Ministero dello sviluppo economico, Ispettorato territoriale della Calabria

L'elenco è stato verificato con misure sperimentali effettuati in prossimità del Monte Tiriolo con il selezionatore di frequenza. Dall'archivio Arpacal, sul monte Tiriolo risultano allocate le seguenti sorgenti: stazioni radio base ad alta frequenze AF/SRB riconducibili ai gestori di seguito in elenco che possono contribuire ad un eventuale incremento dei livelli di campo:

- Attiva dal 17/05/2004 - Loc. Corace Stazione SS280 -> Gestore H3G SpA - Cod sito CZ 3459;
- Attiva dal 16/11/2004 - C.da Arieste -> Gestore WIND SpA - Cod. sito CZ 083;
- Attiva dal 23/10/2006 - Loc. Guidacciari (Sarrottino) -> Gestore Telecom - Cod. sito CZ 21/C;
- Attiva dal 23/10/2006 - Loc. Corace -> Gestore Telecom - Cod. sito CZ 78;
- Attiva dal 26/04/2007 - Loc. Castaneto -> Gestore Telecom - Cod. sito ZA 65 C;
- Attiva dal 05/10/2007 - Loc. Stazione Corace ->Gestore WIND SpA - Cod. sito CZ 046;
- Attiva dal 22/12/2008 -Loc. Via Staz. Corace -> Gestore VODAFONE Omnitel Italia –
- Cod. sito 4 CZ 5227;
- Attiva dal 05/10/2010 - Loc. Arieste -> VODAFONE - Cod. sito CZ 0166;
- Attiva dal 25/02/2011 - Loc. Monte Arieste -> Gestore WIND SpA - Cod. sito CZ083/b ;
- Attiva dal 28/09/2011 - Via Gimigliano -> H3G SpA - Cod. sito CZ 6233.

Dall'esame degli archivi Arpacal, anno d'inizio 2004, risulta che gli impianti sono stati censiti sulla base delle richieste dei gestori che hanno inoltrato istanza per una regolare procedura di rilascio del **Pronunciamento Tecnico**, Quest'ultimo atto, è previsto dal D.gls. n. 259/03 che, impone a qualsivoglia Gestore/Operatore di RADIO/TV/TELEFONIA che ha intenzione di attivare una sorgente di onde elettromagnetiche di richiedere una valutazione tecnica in base alle caratteristiche della sorgente. Sulla base del suddetto pronunciamento il Comune rilascia l'autorizzazione per gli aspetti urbanistici. Per quanto attiene alle sorgenti RADIO/TV installate sul Monte Tiriolo, nel nostro archivio non vi è traccia alcuna.



## 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 con cui è stata stimata la dose gamma in aria fondamentale per valutare la concentrazione di radon equivalente prodotta dal fondo gamma. In media, la dose ambientale nel territorio di Tiriolo è di  $126 \pm 28$  nGy $h^{-1}$ . La massima concentrazione di radon in acqua (Tab.1) misurata nei punti di prelievo pubblico è di  $4,9 \pm 0,9$  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.

Punti di campionamento		Tempo di conteggio [s]	Concentrazione di attività del $^{222}\text{Rn}$ [Bq/l]
<b>Tiriolo</b>			
<b>Sorgente Pedadace</b>			
630814	4311343	<b>600</b>	<b>4,9±0,9</b>
<b>Sorgente Petrarà</b>			
630815	4311434	<b>600</b>	<b>&lt; 2</b>
<b>SORGENTE PRATORA</b>			
633277	4308117	<b>600</b>	<b>&lt; 2</b>
<b>Sorgente PRATORA</b>			
633277	4308117	<b>600</b>	<b>&lt; 2</b>

Tabella 1: misura di concentrazione di attività di Radon in acque destinate al consumo umano;

Considerato che la concentrazione in acqua è funzione della temperatura e dunque passibili di variazioni, è stato attuato un monitoraggio nell'arco dell'anno solare per una stima più accurata del valore medio di concentrazione di attività presente nell'acqua. 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 concentrazione di radon. I valori riportati in tabella 1 sono le concentrazioni medie di più campionamenti su ogni sorgente, realizzati in periodi diversi. Di seguito viene proposto l'archivio di posizionamento dei dosimetri per la misura del monitoraggio del gas in aria indoor.

<b>numero dosimetri</b>	<b>Coordinate geografiche UTM S</b>	<b>Coordinate geografiche UTM</b>	<b>Codice Elettrete camera L Elettreti ST</b>	<b>Luogo di posizionamento</b>
1	x	x	LL9745	X <sub>1</sub>
2	x	x	LR8149	X <sub>2</sub>
3	x	x	LR8233	X <sub>3</sub>
4	x	x	LR8480	X <sub>4</sub>
5	x	x	LR8340	X <sub>5</sub>
6	x	x	LR8322	X <sub>6</sub>
7	x	x	LR8551	X <sub>7</sub>
8	x	x	LR8131	X <sub>8</sub>
9	x	x	LR8213	X <sub>9</sub>
10	x	x	LR8191	X <sub>10</sub>
11	x	x	LR8099	X <sub>11</sub>
12	x	x	LR8025	X <sub>12</sub>
13	x	x	LR8159	X <sub>13</sub>
14	x	x	LR8247	X <sub>14</sub>
15	x	x	LR8127	X <sub>15</sub>
16	x	x	LR8208	X <sub>16</sub>
17	x	x	LR8174	X <sub>17</sub>
18	x	x	LR8101	X <sub>18</sub>
19	x	x	LR8246	X <sub>19</sub>
20	x	x	LR8128	X <sub>20</sub>
21	x	x	LL9626	X <sub>21</sub>
22	x	x	LR8072	X <sub>22</sub>
23	x	x	LL9510	X <sub>23</sub>
24	x	x	LL8405	X <sub>24</sub>
25	x	x	LL8077	X <sub>25</sub>
26	x	x	LL9708	X <sub>26</sub>
27	x	x	LR8461	X <sub>27</sub>
28	x	x	LR8057	X <sub>28</sub>
29	x	x	LR8330	X <sub>29</sub>
30	x	x	LR8497	X <sub>30</sub>
31	x	x	LR8069	X <sub>31</sub>
32	x	x	LR8058	X <sub>32</sub>
33	x	x	LR8091	X <sub>33</sub>
34	x	x	LR8269	X <sub>34</sub>
35	x	x	LL8232	X <sub>35</sub>
36	x	x	LR8476	X <sub>36</sub>
37	x	x	LR8466	X <sub>37</sub>
38	x	x	LR8426	X <sub>38</sub>
39	x	x	LR8404	X <sub>39</sub>
40	x	x	LR8309	X <sub>40</sub>
41	x	x	LR8108	X <sub>41</sub>
42	x	x	LR8492	X <sub>42</sub>
43	x	x	LR8519	X <sub>43</sub>
44	x	x	LR8298	X <sub>44</sub>

**Tabella 2:** *archivio punti di misura*

Il campione scelto per le misure indoor è rappresentativo del territorio e condizionato dai criteri di selezione già indicati. Le misure di concentrazione di attività della radioattività naturale permettono di effettuare una valutazione anche quantitativa della dose a cui è abitualmente

esposta la popolazione della comunità in esame. I dati relativi alle medie di concentrazione annue descrivono un territorio con una media geometrica della concentrazione di attività calcolata al piano terra su 25 punti, pari a  $142 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$  (Fig.5). La distribuzione della concentrazione del gas radon nelle utenze abitative segue un andamento sperimentale *lognormale*, tipico della concentrazione del gas radon.

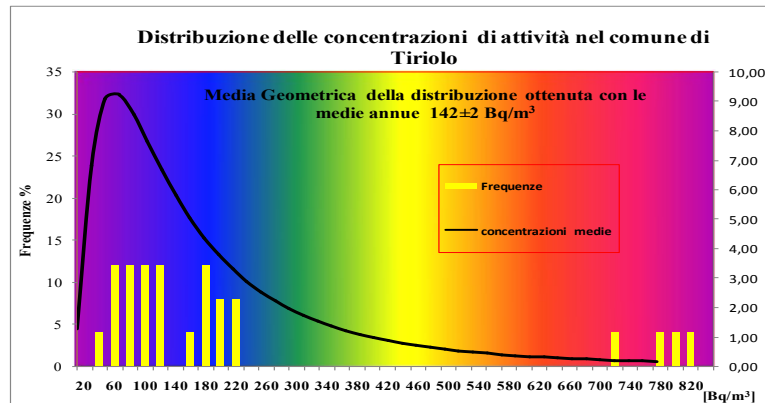


Fig. 5: distribuzione dei dati annui

Le Fig. 5 e 5a) riportano le frequenze delle concentrazioni di attività medie del gas radon negli ambienti confinati e la *distribuzione lognormale* delle osservazioni sperimentali al piano terra oltre alla distribuzione normalizzata al piano di riferimento che in genere è quello di terra. La media geometrica della concentrazione riferita al piano seminterrato è invece pari a  $106 \pm 2 \text{ Bq/m}^3$  e potrebbe indicare che i siti indagati sono interessati da un fenomeno di accumulo di gas radon al piano terra. Come risulta anche dalle informazioni acquisite sugli abitati, la quasi totalità degli ambienti di misura al piano terra è a diretta comunicazione con i piani seminterrati delle abitazioni. Una normalizzazione al piano terra, livello che generalmente si assume come riferimento per ogni elaborazione di tutti i dati acquisiti, anche quelli relativi al piano interrato e al primo piano, consente di irrobustire il campione di misura e permette di calcolare una media di concentrazione normalizzata al piano terra con 44 punti pari a  $94 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$ , confrontabile con il dato più conservativo relativo alle misure dirette ottenute per lo stesso piano.

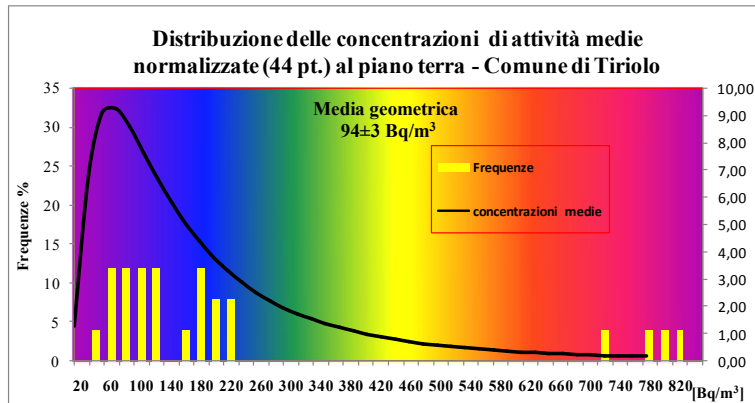


Fig. 5a): distribuzione normalizzata dei dati annui

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. Il fenomeno dell'accumulo e della scarsa areazione soprattutto nelle zone della casa destinate al riposo (primo piano) possono giustificare in prima approssimazione i risultati acquisiti. Si può dunque assumere che la concentrazione media del gas radon nel Comune di Tiriolo è di  $142 \pm 2 \text{ Bq/m}^3$  circa il doppio della concentrazione di attività di radon della media nazionale di  $77 \text{ Bq/m}^3$ , ottenuta durante la campagna di misura del gas radon<sup>[xxiii]</sup> realizzatasi negli anni '90.

La concentrazione media normalizzata al piano terra,  $94 \pm 3 \text{ Bq/m}^3$  (Fig. 5a), con la correzione su 19 punti è un buon risultato che può essere considerato perché rappresenta un campione più robusto (Fig. 5b).

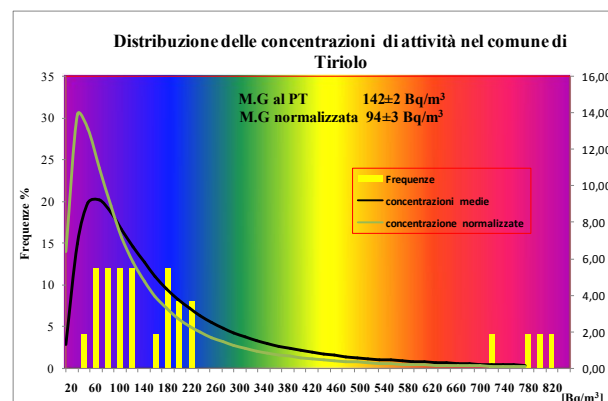
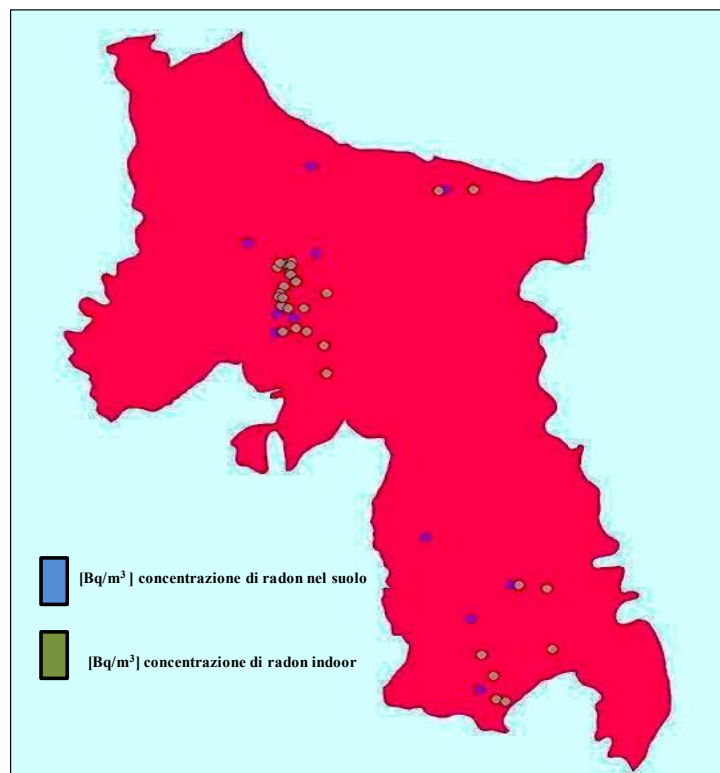
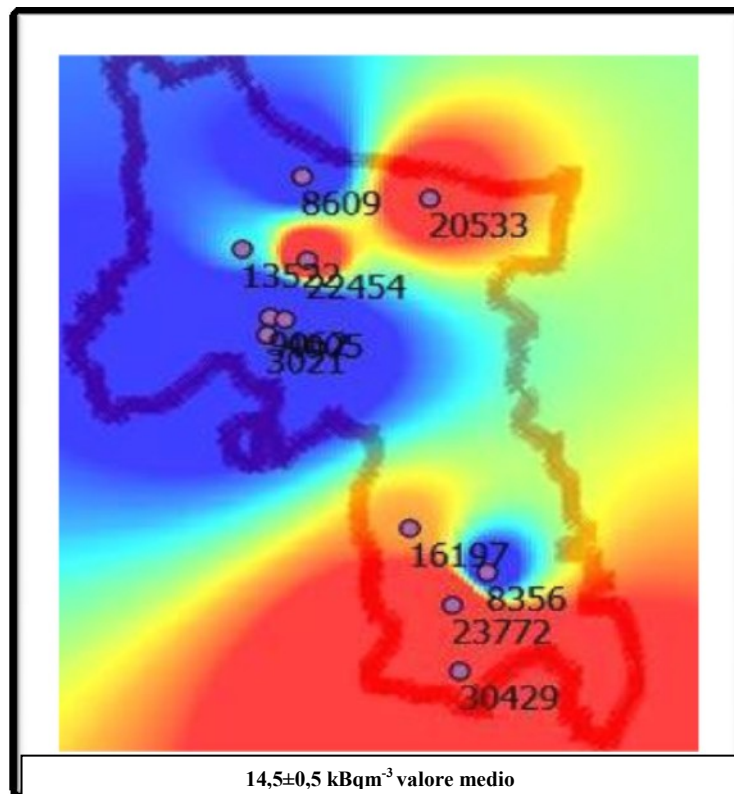


Fig. 5b): distribuzione normalizzata e quella al piano terra

Nel tentativo di voler costruire una mappa del rischio radon marcando le zone del territorio comunale ( $\sim 30 \text{ km}^2$ ), sono state effettuate 11 misure di concentrazione di radon nel suolo (Fig.5c), una ogni  $3 \text{ km}^2$  circa, al fine di 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  $31,4 \pm 1,1 \text{ kBqm}^{-3}$  misurata in località *Sorrettino*, formazione argillose marnose corrispondente ad una unità pedologica 7 nella carta dei suoli della Regione Calabria pubblicata nel 2003; il valore medio sul territorio è attorno a  $14,5 \pm 0,5 \text{ kBqm}^{-3}$ . Questi valori risultano essere del tutto confrontabili con altre informazioni relative al territorio calabrese.

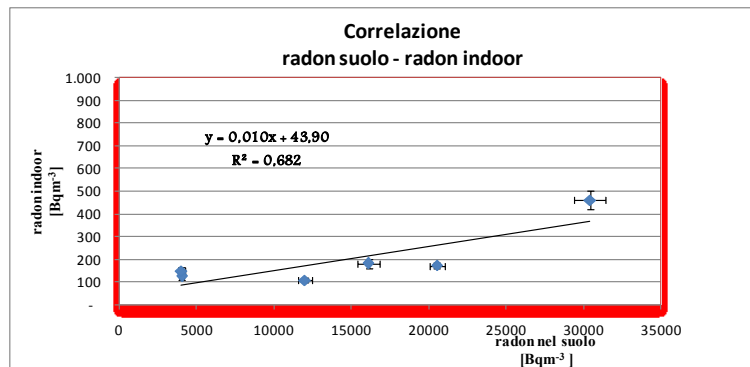


**Fig. 5c):** mappa dei punti di misura (radon indoor e nel suolo)



**Fig. 5d):** mappa della concentrazione di radon nel suolo

La mappa è stata ricostruita nei punti dove non vi sono osservazioni sperimentali e con l'impiego di una tecnica di interpolazione spaziale correntemente utilizzata in ambiente GIS<sup>[xxiv]</sup>, l'inverso della distanza IDW (Inverse Distance Weight); sono state assunti valori probabili di campo di radioattività naturale nel suolo ipotizzando che punti vicini hanno valori di campo simili. Ovviamente, la fig.5d) non è l'unica tra le più probabili carte che si possono realizzare con le osservazioni sperimentali di concentrazione di radon nel suolo, ottenute tutte nelle medesime condizioni di misura. La concentrazione media della attività registrata nelle abitazioni e quella relativa al suolo sono risultati quasi identici a quelli registrati nel comune di Pallagorio (Kr), dati Arpacal (anno 2012), territorio che presenta delle caratteristiche geostrutturali simili, pur avendo elementi rocciosi diversi. L'elemento comune tra i due territori è certamente rappresentato dal suolo, inteso come i primi 2 metri di terreno che si estende in profondità. Si è quindi potenzialmente portati a considerare che a parità di condizioni geostrutturali, l'elemento fisico che modula la concentrazione di radon nel suolo e nelle abitazioni che sono prive in generale di rimedi strutturali idonei a ridurre il rischio, sia proprio il suolo.



**Fig. 5e):** correlazione radon nel suolo e indoor

Al fine di verificare se concentrazioni importanti di radon nel suolo sono una forzante per i valori di concentrazione di radon indoor, avendo effettuato delle misure in corrispondenza di alcune delle abitazioni monitorate è stata realizzata una valutazione sulla correlazione. I dati presentati in figura 5e) dimostrano un livello di dipendenza non elevato ( $R^2 \sim 0,7$ ), ma significativo, in grado di sostenere l'ipotesi, al netto della tipologia di isolamento abitazione – suolo, che vi sia una modulazione importante e che gran parte della gas presente nel sottosuolo non incontrando alcuna azione di rimedio permea gli ambienti confinati. Solitamente, non vi è dipendenza diretta tra la concentrazione di radon nel suolo 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. Da una prima approssimazione si può confermare lo scarsissimo impiego di tecniche di costruzione per gli ambienti confinati che non hanno considerato in alcun modo il rischio radon.

Assumendo che il valore della concentrazione media di attività del gas radon in aria sia  $142 \pm 2$  Bq/m<sup>3</sup> per gli ambienti confinati ed 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,  $2,7 \pm 0,6$  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<sup>[xxv]</sup> essere lo stesso di quello prodotto da una concentrazione in aria di circa 0,47 Bq/m<sup>3</sup>. 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. Su scala mondiale, la dose efficace accettata dalla popolazione è in media pari a 2,48 mSv/anno, se si considerano i contributi di altri radioisotopi naturali: i raggi cosmici e

i radionuclidi cosmogenici  $^7\text{Be}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{40}\text{K}$ . 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 con una concentrazione di attività 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. Se ci si riferisce al quadro normativo europeo e non a quello italiano che non prevede ancora nessun livello di azione per la concentrazione del gas radon per gli ambienti di vita ma solo per quelli lavorativi e tra l'altro in particolari condizioni, sulla base del campione di misure osservato, si possono fare alcune considerazioni relative ai livelli di concentrazione di attività del gas radon nelle abitazioni confrontandolo con il livello di  $200 \text{ Bq/m}^3$  previsto per i nuovi edifici e  $400 \text{ Bq/m}^3$  per le costruzioni più datate.

In figura 5f) vengono proposte le percentuali dei luoghi di vita tra quelli misurati dove la concentrazione di attività del gas radon non supera i  $200 \text{ Bq/m}^3$  e i  $400 \text{ Bq/m}^3$  a seconda del tipo di edificio. Dall'esame delle schede sugli edifici risulta comunque, con una buona approssimazione, che la quasi totalità delle case non è di recente costruzione e quindi il livello da considerare come riferimento è di  $400 \text{ Bq/m}^3$ .

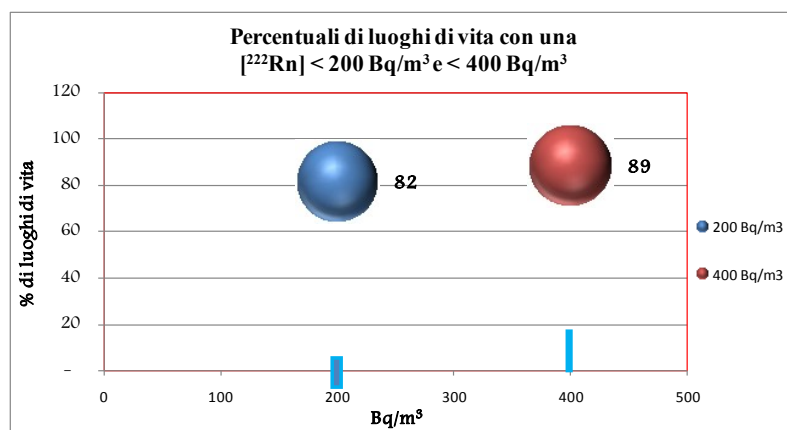


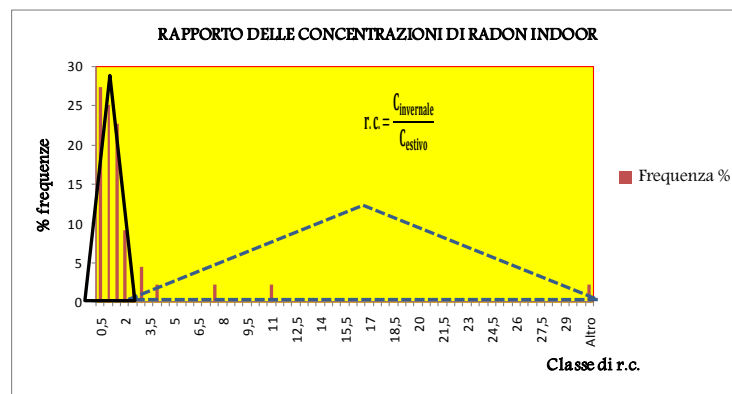
Figura 5f): percentuali di luoghi di vita a diverse concentrazioni

L'analisi delle concentrazioni stagionali (Fig.5g)) attraverso il fattore *r.c.* (rapporto delle concentrazioni semestrali) definitivo con la relazione [3]:

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

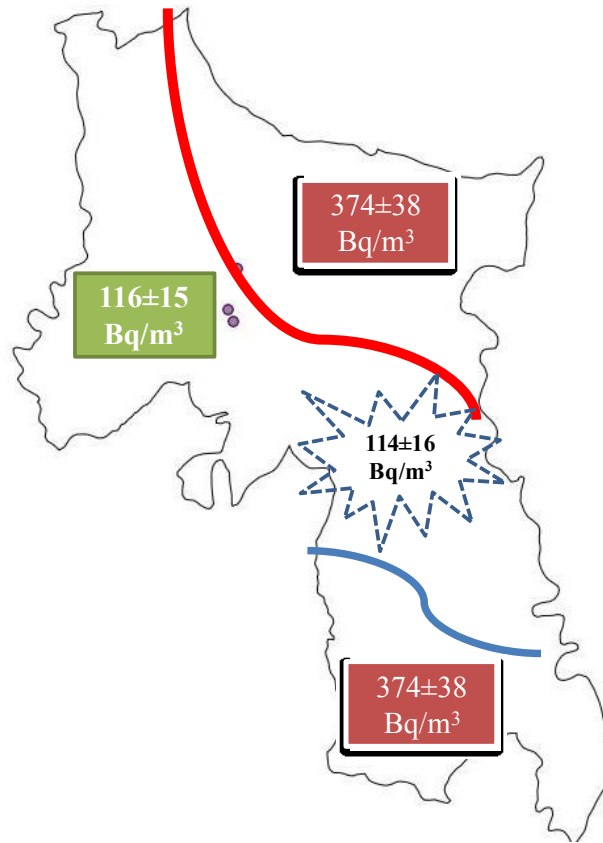


permette di elaborare alcune ipotesi sull'andamento temporale della concentrazione di attività del gas radon indoor. Circa il **30%** dei valori di *r.c.* è inferiore a 1 (0,5); ciò lascia supporre che la concentrazione invernale è minore di quella estiva e che un terzo delle abitazioni monitorate in condizioni climatiche indoor favorevoli, con la complicità di alcuni particolari strutturali delle abitazioni richiamano il gas dal suolo. Un comportamento normale dell'andamento stagionale (il restante 70% del nostro campione) del gas esaminato dimostra in genere valori più alti di concentrazione invernale poiché, le case sono meno areate rispetto alla bella stagione. Anche se va considerato, che l'impiego di condizionatori estivi, impongono una minor areazione proprio durante la bella stagione. Questo dato è confermato anche dall'indicatore consumo di energia elettrica estivo. Nel giudicare i rapporti tra le concentrazioni è necessario in ogni caso non trascurare il fenomeno dell'*accumulo* dovuto ad una frequenza di utilizzo degli spazi indagati.



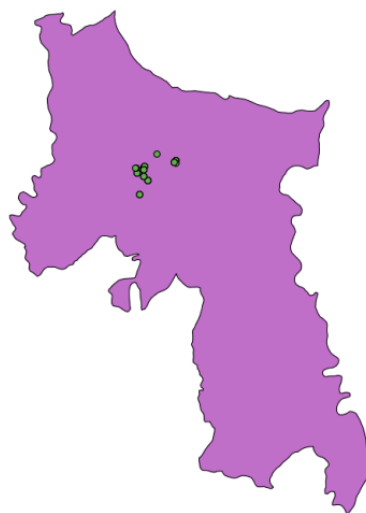
**Figura 5g):** percentuali di luoghi di vita a diverse concentrazioni

Dai risultati acquisiti nelle abitazioni, per un maggior dettaglio, si può suddividere il territorio comunale in quattro distinte aree caratterizzanti i livelli di radon indoor, **fig. 5h**), considerando i valori della media geometrica della concentrazione di attività di radon indoor al piano terra: *Centro storico, Pratora, Soluri, Sorrettino*



**Figura 5h):**valori di concentrazione media di attività di radon indoor nelle quattro aree

Le osservazioni sui livelli di campo elettromagnetico a bassa e alta frequenza nel territorio di Tiriolo (Cz), vengono di seguito illustrate.



**Fig. 6:** punti di osservazione del campo elettrico generato da sorgenti ad alta frequenza

	Punto di osservazione	Coordinate geografiche		Altitudine [m slm]	E <sub>max</sub> [V/m]	E <sub>RMS</sub> [V/m]
		Latitudine	Longitudine			
1	Municipio parcheggio vicino rampa	630829	4312034	837	0,92±0,12	0,85±0,11
2	Municipio parcheggio vicino rampa	630829	4312034	837	0,88±0,11	0,82±0,11
3	Municipio parcheggio vicino rampa	630829	4312034	837	0,82±0,10	0,72±0,09
4	Municipio interno vicino finestra centrale lato monte	630829	4312034	837	0,39±0,05	0,36±0,04
5	Ristorante due mari via Cavour	630634	4312185	835	0,78±0,10	0,72±0,09
6	Ristorante due mari via Cavour	630634	4312185	835	0,74±0,09	0,68±0,08
7	Ristorante due mari via Cavour	630634	4312185	835	0,68±0,08	0,68±0,08
8	Piazza municipio civico 4	630829	4312034	835	< 0,25	<0,25
9	Monte Tiriolo a 10m dal cancello Rai	631329	4312381	837	6,33±0,83	5,7±0,7
10	Monte Tiriolo a 10m dal cancello Rai	631329	4312381	837	5,74±0,74	5,2±0,6
11	Monte Tiriolo osservatorio	631352	4312412	845	14,2±1,8	13,3±1,7
12	Monte Tiriolo osservatorio	631352	4312412	845	12,7±1,6	12,02±1,5
13	Monte Tiriolo 120 m sud da Rai	631352	4312412	833	4,8±0,6	4,3±0,5
14	Monte Tiriolo 120 m sud da Rai	631352	4312412	833	4,5±0,5	3,9±0,5
15	Piazza sant'angelo civico n.1	630757	4312115	666	1,3±0,2	1,01±0,13
16	Piazza sant'angelo via de philippis 32	630757	4312115	666	0,41±0,05	0,33±0,04
17	Piazza sant'angelo via de philippis 34 terrazzo interno	630757	4312115	666	0,93±0,12	0,86±0,11
18	Piazza sant'angelo via de philippis 34 terrazzo	630757	4312115	666	0,78±0,1	0,73±0,09
19	Barbieri piazza interno via Schettini, 18 -20 fronte antenna Rai esterno	630757	4312115	666	low	low
20	via sant'antonio civico n.2 esterno	630752	4312242	690	1,04±0,13	0,93±0,12
21	Lubello angelo via indipendenza n. 36 abitazione interno balcone vista antenna	630749	4312283	713	0,99±0,13	0,89±0,12
22	Lubello angelo via indipendenza n. 36 abitazione interno balcone vista antenna	630768	4312303	713	0,79±0,10	0,73±0,09
23	Lubello angelo via indipendenza n. 36 abitazione interno stanza da letto vista antenna	630768	4312303	713	low	low
24	Lubello angelo via indipendenza n. 36 abitazione interno mansarda vista antenna	630768	4312303	713	0,35±0,04	0,36±0,04
25	RUDERI CASTELLO APERTO INGRESSO PRINCIPALE	630607	4312272	737	1,3±0,2	1,2±0,1
26	RUDERI CASTELLO SANTANGELO APERTO INGRESSO PRINCIPALE	630602	4312272	737	1,16±0,15	1,1±0,1
27	COLOSIMO TOMMASO Via Schettini 20 balcone di casa cucina	630747	4312239	710	0,51±0,06	0,42±0,05
28	COLOSIMO TOMMASO Via Schettini 20 balcone stanza da letto	630747	4312239	710	0,99±0,13	0,87±0,11
29	COLOSIMO TOMMASO Via Schettini 20 interno casa stanza da letto	630747	4312239	710	0,54±0,07	0,50±0,06
30	Viale dei mille CIVICO 66	630992	4312544	655	LOW	LOW
31	Chiarella - Armando - Viale Mazzini 237 scala A esterno balcone vista antenne 3° piano	630671	4311771	605	1,4±0,2	1,2±0,1
32	Chiarella - Armando - Viale Mazzini 237 scala A interna stanza da letto 3° piano	630671	4311771	605	0,31±0,04	0,28±0,03
33	Chiarella - Armando - Viale Mazzini 237 scala A interna soggiorno finestra 3° piano	630671	4311771	605	0,70±0,09	0,46±0,06
34	Monte Tiriolo osservatorio -dopo lo switch off digitale	631352	4312412	840	11,4±1,5	10,7±1,4
35	Monte Tiriolo osservatorio - dopo lo switch off digitale near osservatorio	631352	4312412	837	9,9±1,3	9,3±1,2
36	Monte Tiriolo 120 m sud da Rai	631352	4312412	833	3,4±0,4	3,12±0,40
37	Monte Tiriolo 120 m sud da Rai	631352	4312412	833	3,4±0,4	3,1±0,4
38	Monte Tiriolo 50 m sud dal trabocco sulla strada dopo lo switch off - Digitale	631364	4312370	830	5,9±0,7	5,3±0,6
39	Monte Tiriolo a 10m dal cancello Rai dopo lo switch off	631329	4312381	837	5,6±0,7	5,2±0,6

**Tab. 3:**valori misurati di campo elettrico generato da sorgenti radio tv e telefonia mobile

I livelli di riferimento sui campi elettromagnetici riportati descrivono un territorio privo di interesse e in accordo con le norme vigenti in materia.

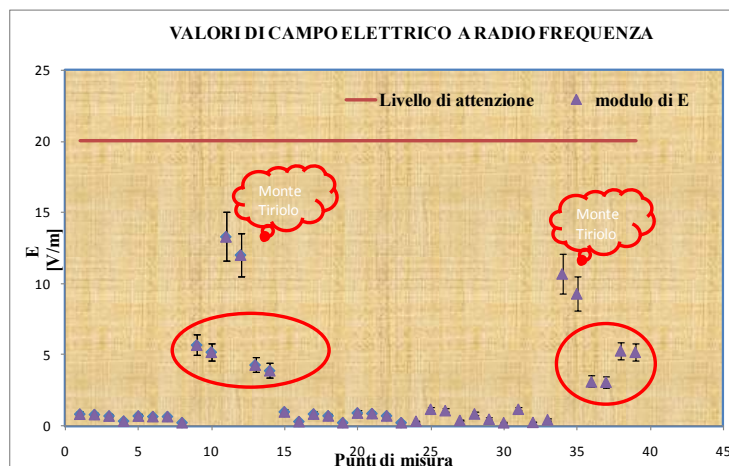


Fig.7: valori misurati nei diversi punti del territorio

I valori più alti dei livelli di campo riguardano la località monte Tiriolo dove si aggirano intorno a  $13,3 \pm 1,7$  V/m. Le osservazioni sperimentali interessano anche le fasi di passaggio al digitale; nell'area del Monte Tiriolo che è il punto con valori più elevati rispetto a tutto il territorio, in media il passaggio ha comportato una riduzione di  $1,3 \pm 0,9$  V/m. Trattasi di un dato medio e comunque derivante da osservazioni limitate nel tempo. In generale non sempre questa riduzione si può accordare. Il fondo medio dei livelli di campo elettromagnetico nella restante parte del territorio ben rappresentato nelle diverse parti (Tab.3) è di  $0,61 \pm 0,07$  V/m, di certo un fondo non naturale ma considerato ormai *pseudo naturale* anche se di origine antropica e comunque ben al disotto della norma. Le osservazione a bassa frequenza, in prossimità delle cabine di trasformazione dell'energia elettrica, presentano dati ben al disotto degli obiettivi di qualità. È stato escluso l'approfondimento sulle 24 ore di monitoraggio perché i livelli osservati non presentavano alcuna specificità. Nella tabella di seguito vengono presentati i luoghi di osservazioni e i corrispettivi valori associati (Fig.8, Tab.4)

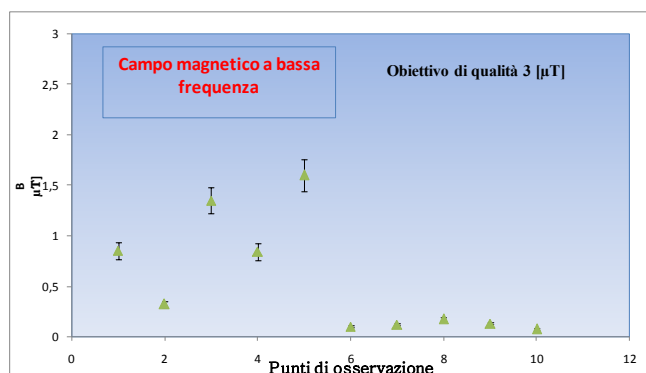


Fig.8: livelli di induzione magnetica

	Punto di osservazione	Coordinate geografiche		Altitudine	B <sub>RMS</sub>
		Latitudine	Longitudine	[m slm]	[ $\mu$ T]
1	CABINA VIA INDIPENDENZA APERTO (PORTA DI ACCESSO) TIRIOLO 2 n. 207417 LUGLIO 1986	630768	4312303	655	0,85±0,08
2	CABINA VIA INDIPENDENZA APERTO (LATO BASSO) TIRIOLO 2 n. 207417 LUGLIO 1986	630768	4312312	650	0,32±0,03
3	Località Arieste linea ad alta tensione sotto traliccio	632005	4311047	655	1,35±0,13
4	Cabina elettrica - via magna grecia opera dal 96 nome 207434 - c/o abitazione Gabriele lato finestra d'ingresso - misura in esterno	630672	4311772	645	0,84±0,08
5	Cabina elettrica - via magna grecia opera dal 96 nome 207434 - c/o abitazione Gabriele parete limitrofa cabina - misura interna - impianto elettrico spento	630672	4311772	645	1,6±0,2
6	Cabina elettrica - via Magna Grecia opera dal 96 nome 207434 - c/o abitazione Gabriele parete limitrofa cabina - misura interna - impianto elettrico spento	630672	4311772	645	0,10±0,01
7	opera dal 96 nome 207434 - c/o abitazione Gabriele parete limitrofa cabina - misura esterna - sopra la scala	630672	4311772	645	0,12±0,01
8	Cabina elettrica - via magna grecia opera dal 96 nome 207434 - c/o abitazione Gabriele parete limitrofa cabina - misura interna soggiorno aderenza parete 1°piano	630672	4311772	645	0,17±0,02
9	Cabina elettrica - via magna grecia opera dal 96 nome 207434 - c/o abitazione Gabriele parete limitrofa cabina - misura interna soggiorno centro stanza parete 1°piano	630672	4311772	650	0,13±0,01
10	Cabina elettrica - via magna grecia opera dal 96 nome 207434 - c/o abitazione dott. sala casa limitrofa cabina - misura interna parete sala visite pazienti al 1°pian.o (h. +6m rispetto alla Cabina).	630672	4311772	670	0,072±0,007

Tab.4: valori misurati di induzione magnetica generata da sorgenti a bassa frequenza

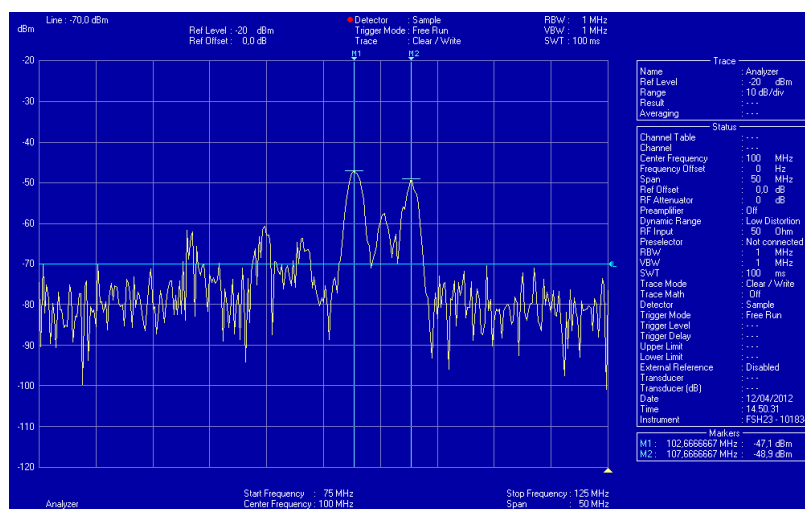
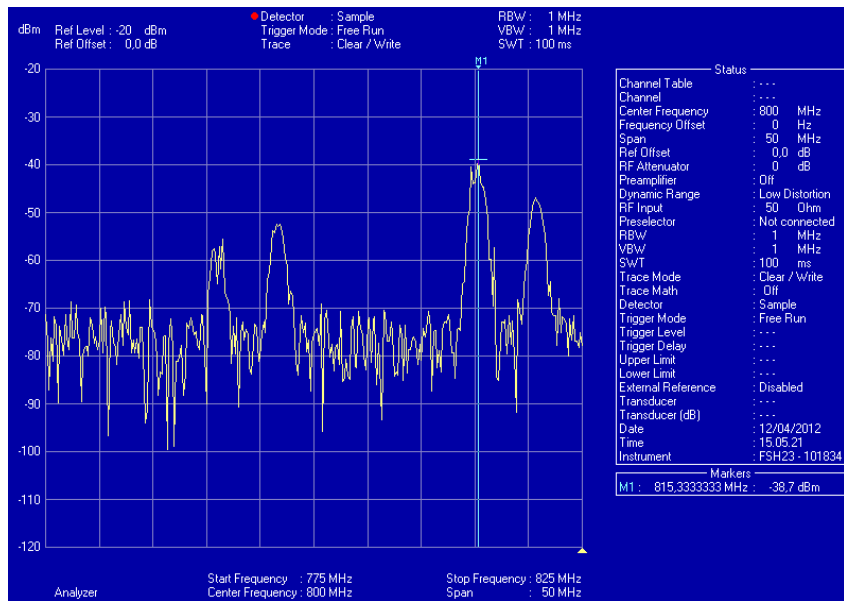


Fig. 9: analisi in banda stretta



**Fig. 9:** analisi in banda stretta

## CONCLUSIONI

Il lavoro sperimentale ha migliorato il quadro cognitivo su alcuni agenti fisici inquinanti del territorio contribuendo a giustificare completamente i motivi che lo hanno ispirato. 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 elettrico e i valori misurati si possono considerare come fondo ambientale derivante da attività antropiche almeno sul territorio relativo al centro abitato e quello storico. La situazione più critica dal punto di vista dell'impatto elettromagnetico è rappresentata dal monte Tiriolo, dove comunque non vengono superati i limiti previsti dalla norma, 20 V/m per il modulo del campo elettromagnetico e in luoghi aperti dove la permanenza è inferiore alle quattro ore. Rimane comunque un punto "privilegiato" e degno di meritevoli approfondimenti, soprattutto nell'ipotesi di una maggiore frequentazione di popolazione derivante dall'attività legata all'Osservatorio Astronomico, attualmente in ristrutturazione, oppure se dovesse profilarsi uno scenario di neoinstallazioni di impianti di diffusione di campi elettromagnetici. La campagna di misura della radioattività naturale delle abitazioni ha permesso di emettere per ciascun ambiente indoor misurato, pubblico o privato il certificato della radioattività naturale. La concentrazione media di attività del radon e la dose gamma in aria misurata ha permesso di stimare la dose assorbita dalla popolazione a seguito dell'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, abitazioni poco isolate dal terreno che facilitano estrazione di radon dal suolo. Un elemento interpretativo a supporto di tale ipotesi è lo studio del rapporto stagionale delle concentrazioni di radon. 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 podologiche predisponenti al rischio radon e per questo tali da far registrare un valore di concentrazione paragonabile a quella stimata. Dai dati osservati risulta che le concentrazioni di radon nel suolo, hanno una moderata correlazione con quelle dell'ambiente indoor, evidenziando un passaggio quasi diretto tra suolo - edificio. Inoltre, la carta ottenuta con le rivelazioni del radon nel suolo, disegna un quadro significativo soprattutto in ambito della programmazione amministrativa. I valori più interessanti sono stati registrati nel suolo di Sarrotrino e Soluri, dati che sono confermati largamente dalle misure realizzate negli ambienti indoor. L'applicazione di tecniche di costruzione degli edifici che considerano il rischio radon già nella fase di progettazione, soprattutto nelle aree con un'alta probabilità di rischio, sono in grado di sollevare completamente la popolazione residente dall'azione patogena dell'agente killer chiamato radon. Vespai e fondamenta areati sono soluzioni che si possono praticare agevolmente per eliminare il rischio radon. Le abitazioni (**5 casi**) in cui la concentrazione di attività supera il livello di azione previsto dal dispositivo normativo europeo dei 400 Bq/m<sup>3</sup>, riceveranno, nella certificazione della radioattività naturale 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 <sup>[xxvi]</sup> non sono state registrate anomalie radiometriche. Nel complesso i dati acquisiti presentano un territorio con un livello di radioattività naturale normale.

## BIBLIOGRAFIA

---

[<sup>i</sup>] World Health Organization (WHO). *International EMF Project web site*; <http://www.who.int/peh-emf>.

[<sup>ii</sup>] 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](http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_E.pdf).

[<sup>iii</sup>] 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.

- 
- [<sup>iv</sup>] World Health Organization (WHO). *Electromagnetic fields and public health: mobile phones*. June 2011; <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/en/index.html>.
- [<sup>v</sup>] IARC Monographs, *Non Ionizing radiation Part 2: Radiofrequency Electromagnetic fields*, Volume 102, Lyon, France -2013
- [<sup>vi</sup>] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, Delibera Giunta Regionale della Calabria n. 47 del 10.02.2004.
- [<sup>vii</sup>] 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
- [<sup>viii</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>ix</sup>] NRPB (National Radiological Protection Board). *Health Risks from Radon*, ISBN 0-85951-449-8;2000;
- [<sup>x</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>xi</sup>] Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n°136 del 13 giugno 1995, *Decreto Legislativo n°230 del 17 marzo 1995*
- [<sup>xii</sup>] Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Supplemento ordinario n°203 del 31 agosto 2000, *Decreto Legislativo n°241 del 26 maggio 2000*
- [<sup>xiii</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>xiv</sup>] 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
- [<sup>xv</sup>] A Nero, *Earth air, radon and home*. Physics Today 42 (1989) pp.32-39
- [<sup>xvi</sup>] L. Tommasino, *Radon*; Encyclopedia of Analytical Science (1998), pp.4359-4368
- [<sup>xvii</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, 198. 1982
- [<sup>xviii</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>xix</sup>] Ministero della Salute, *Piano Nazionale Radon*, 2002
- [<sup>xx</sup>] *Intercomparison Radon Passive*, BFS-Berlino 2013
- [<sup>xxi</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>xxii</sup>] Bartolo 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>xxiii</sup>] ISS-ANPA, *Indagine nazionale sulla radioattività naturale nelle abitazioni*, ISTISAN Congressi 34, 1994
- [<sup>xxiv</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
- [<sup>xxv</sup>] *Naturally Occurring Radioactive Materials*