ARPACAL

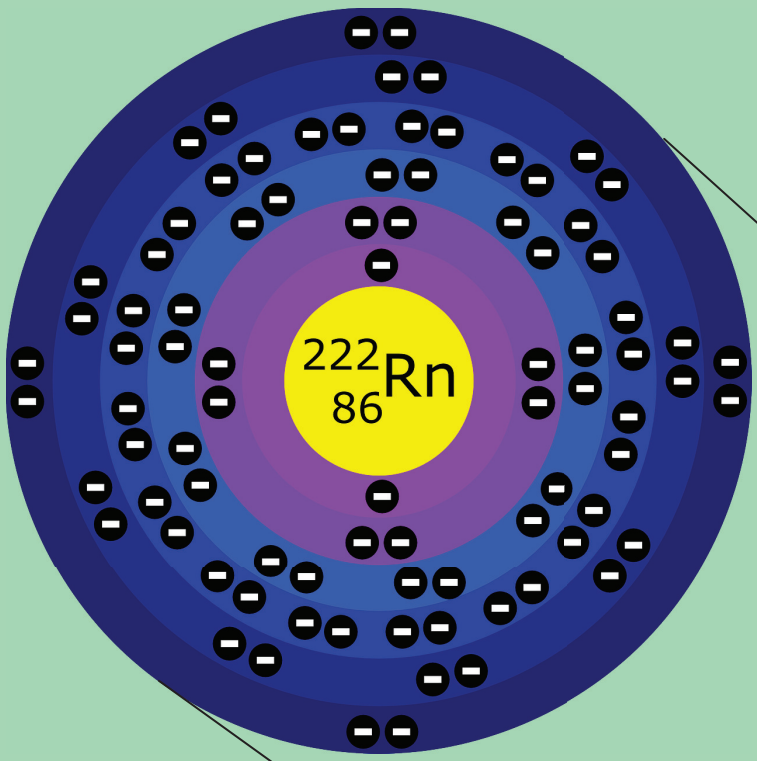
Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

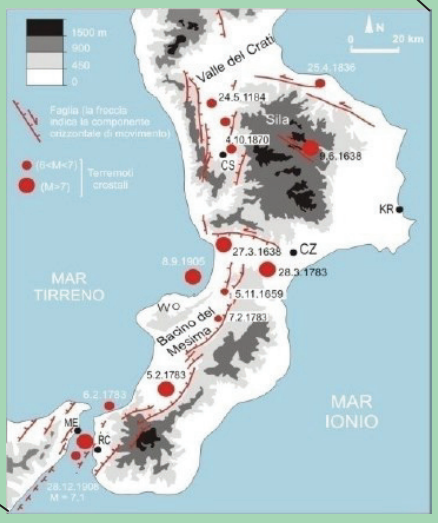
REGIONE CALABRIA

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Calabria

Dipartimento provinciale di Catanzaro

Il Radon nelle acque calabresi





Radiazioni Ionizzanti

2018

IL RADON NELLE ACQUE CALABRESI

Laboratorio Fisico *Ettore Majorana* -Arpacal Catanzaro

Si ringrazia per la collaborazione i tecnici e gli ispettori dei seguenti Enti:

Arpacal: Angela Maria Diano, Clemente Migliorino, Filomeno Caldarola, Giuseppe Lucia, Tullio De Virgilio, Salvatore Coppola, Salvatore Ferro, Michele Folino Gallo, Pietro Capone, Felice Maria Spanò,Saverio Rizzo, Fortunato Borello,Concetta Mancuso, Franco Dario Giuliano, Bruno Mario, Crocco Gianfranco, Bonfiglio Anelio, Luigi Folino Gallo, Salvatore Procopio

Asp Di Catanzaro: Franco Faragò, Giuseppe Sirianni, Giuseppe Gridà, Maurizio Daniele, Vincenzo Madia, Alfredo Morgione, Agostino Santise, Filippo Longo, Agazio Salerno, Gregorio Squillacioti, Nicolina Aiello, Salvatore Rondinelli, Franco Carnovale, Giuseppe Renda, Pasqualino Caputo, Luigi Zoffreda

Asp di Vibo Valentia: Fortunato Carnovale, Alessandro Lampasi

Sorical: Andrea Cristallo, Mauro Locanto, Domenico Perpiglia

LA CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DEL RADON NEL TERRITORIO CALABRESE

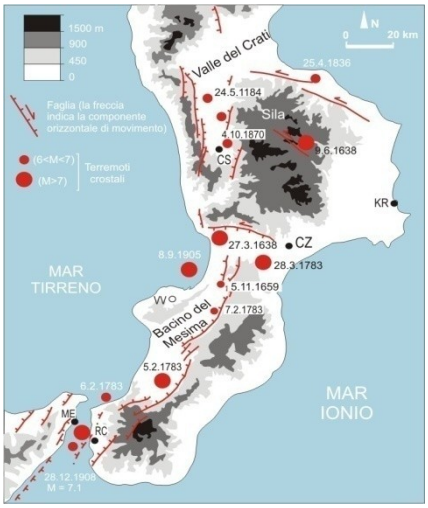
PREMESSA

La Calabria presenta una struttura geologica particolarmente complessa, costituita prevalentemente da rocce uranifere e con la presenza di gas radon nelle matrici ambientali. Le caratteristiche chimico-fisiche, in particolar modo, il tempo di dimezzamento e la solubilità del gas radon, facilitano il trasporto a notevoli distanze con vettori fluidi come, l'anidride carbonica e l'acqua. Un altro elemento predisponente per la presenza di gas radon è rappresentato della densità di faglie, numerose nel territorio calabro, che sono una via di fuga preferenziale per i gas ed in particolar modo per il radon. Le misure della concentrazione di attività del radon nelle matrici acqua e suolo, sono tutt'ora un valido strumento per la comprensione dei fenomeni geodinamici (Thomas, 1988; King et al., 1996; Neri et al., 2005), anche se gli aspetti, trattati in questo documento, sono rivolti alla natura stessa del gas e agli effetti diretti sulla salute umana. È necessario infatti, rammentare che il radon è un gas radioattivo che costituisce la frazione preponderante della radioattività ambientale e viene generato dalle rocce costituenti la crosta terrestre; deriva dal decadimento dell'Uranio-238, le cui tracce sono presenti in ogni tipo di suolo.

In Calabria, le rocce uranifere sono presenti in quasi tutte le formazioni del sottosuolo. Da un punto di vista geologico, l'Arco Calabro (Amodio -Morelli et al., 1976), è un segmento arcuato dell'orogenesi appenninico-magrebide estruso sulla crosta oceanica del Bacino Jonico durante le fasi finali dei processi collisionali tra Africa ed Europa (Ben Avraham et al., 1990). Strutturalmente, l'Arco rappresenta un thrust-belt prodotto dalla sovrapposizione, attuatasi tra il Cretaceo superiore. ed il Paleogene, di una serie di unità costituite da rocce cristallino-metamorfiche paleozoiche e coperture mesozoiche, derivanti dalla deformazione di domini continentali ed oceanici. Durante l'Oligocene-Miocene Inferiore, le suddette unità sono sovrascorse "in toto" sulle unità di piattaforma appartenenti alla catena appenninica, lungo overthrusts che mostrano attualmente vergenza NE (Amodio-Morelli et al., 1976; Tortorici, 1982). Dal Miocene Medio l'Arco ha iniziato a migrare verso SE lungo faglie trascorrenti d'importanza regionale, orientate NW-SE, direttamente connesse con l'apertura del Bacino Tirrenico (Malinverno & Ryan, 1986; Dewey et al., 1989).

Attualmente in Calabria è stata riconosciuta un'intensa deformazione crostale che si manifesta attraverso sistemi attivi di faglie normali e trascorrenti rendendo la regione una tra le zone più attive, dal punto di vista sismico, nel Mediterraneo Centrale. (Monaco & Tortorici, 2000; Tansi et al., 2005; Ferranti et al., 2009). Lungo le faglie che attraversano la Calabria, si sono verificati numerosi terremoti catastrofici caratterizzati da magnitudo (M) fino a 7.4 e intensità MCS fino a XI (fig. 1).

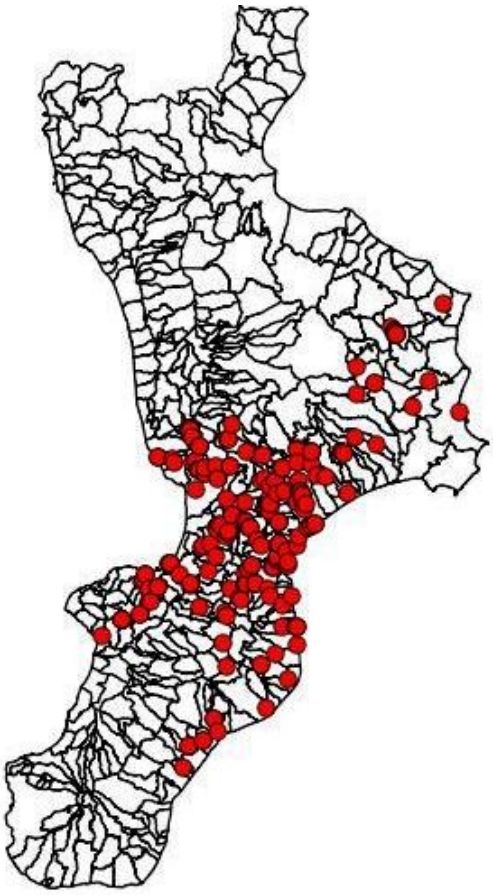
Figura 1 *- Schema sismotettonico dell'Arco Calabro e della Sicilia orientale (da: Monaco & Tortorici, 2000, modificato). Sono riportati i terremoti crostali (profondità < 35 km) a partire dal 1000 d.C. (dati tratti da: Postpischl, 1985; Boschi et al., 1997).*



In questo quadro geologico articolato e assai evolutivo il radon può diffondersi più facilmente attraverso le fratture della crosta 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 (WHO-IARC,2008) come agente cancerogeno di gruppo 1.
La direttiva 2013/51/EURATOM del Consiglio Europeo del 22 ottobre 2013, tradotta nel nostro paese con il decreto legislativo n.28/16, ha stabilito i requisiti per la tutela della salute della popolazione relativi alle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano. Tra le componenti della radioattività, da monitorare viene espressamente richiesta, con modalità di misura opportune e secondo una frequenza stabilita, la determinazione del valore di parametro per il radon in termini di concentrazione espressa in Bq/l.
Viene indicato un valore di parametro soglia pari a 100 Bq/l, come riferimento capace di garantire un buon livello di protezione della salute umana.
Da quasi più di un triennio, in collaborazione con le Aziende Sanitarie Locali, il laboratorio Fisico *Ettore Majorana* dell'Arpacal di Catanzaro, riferimento ormai regionale per la misura del radon in tutte le matrici ambientali, ha promosso e sostenuto una campagna di misurazione della concentrazione di attività di radon nelle acque destinate al consumo umano, ancor prima della promulgazione delle norme cogenti. Come, riportato in premessa la Calabria, considerata un pezzo di Alpi[i] presenta elementi geologici predisponenti e rocce uranifere in grado di determinare un aumento considerevole della concentrazione di attività di radon nell'aria e nell'acqua. Quest'ultima è uno dei vettori di incorporazione delle sostanze radioattive nel corpo umano. Pertanto, si è proceduto alla misura del radon in diversi punti di approvvigionamento e consumo di acque proveniente da acquedotti comunali o direttamente da sorgenti naturali, con una frequenza almeno annuale, e con l'obiettivo di contenere il rischio alla popolazione e di informare la stessa, in modo adeguato sulla qualità delle acque destinate al consumo. La nuova direttiva 2013/51/EURATOM del Consiglio Europeo del 22 ottobre 2013 che ha trovato una giusta allocazione nell'ordinamento giuridico italiano, oltre a stabilire i valori di parametro ne indica la frequenza dei campionamenti e i metodi per il controllo delle sostanze radioattive.
Come verrà meglio evidenziato in altre parti dello studio sono stati individuati, nel territorio calabrese, quattro punti di prelievo di notevole importanza per la presenza di radon. Su uno in particolare è stata praticata un'azione di rimedio finalizzata alla riduzione della concentrazione di attività di radon in acqua mantenendo le caratteristiche iniziali di naturalità della sorgente. La campagna di misura è ispirata inoltre ad una vecchia raccomandazione della Commissione Europea, la 2001/928/CE sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon nell'acqua potabile[ii], in cui si suggeriva la promozione di indagini rappresentative per

stimare l'esposizione al radon e ai prodotti di decadimento nella fornitura di acqua potabile per uso domestico indipendentemente dalla provenienza. Nel dispositivo si indicava un valore compreso tra i 100 e 1000 Bq/l come limite di concentrazione per la rete idrica pubblica o commerciale e in caso di superamento di questo valore, la raccomandazione obbligava la pratica di un'azione correttiva. Nella figura 1 sono evidenziati alcuni dei punti di prelievo sul territorio, indagati con una frequenza di campionamento di almeno due prelievi in un anno nello stesso punto di osservazione. Il dataset aggiornato, con punti georeferenziati e distribuiti su tutto il territorio calabrese è composto da 420 prelievi, su cui è stata determinata la concentrazione di attività del gas radon in acqua con la tecnica emanometrica.
Si può affermare che la frequenza minima di campionamento effettuata è in linea con i prelievi suggeriti in base al volume di acqua distribuito o prodotto in una zona di approvvigionamento. Inoltre, nell'allegato III della stessa direttiva europea e del decreto n.28/16, vengono suggerite le caratteristiche di prestazione e i metodi di analisi. In particolare, per la misura della concentrazione di attività di radon viene indicato un limite di rivelazione che deve necessariamente avere la catena strumentale, pari a 10 Bq/l, equivalente al 10% del valore di parametro previsto di 100 Bq/l. Poiché i dati da noi prodotti sono stati ricavati con una catena strumentale, in linea con i dettami normativi, questa base data puoò, senza alcun dubbio per robustezza del campione e metodo di misura, configurarsi come uno studio preliminare e/o, campagna di misura già posta in essere, finalizzata alla determinazione dell'agente fisico inquinate nella matrice acqua, denominato radon,.

***Fig.2**: punti di prelievo dei campioni di acqua per la misura della concentrazione di attività di radon*



MATERIALE E METODI

Le misure sui campioni di acqua, sono state realizzate utilizzando un contenitore da *250 ml* e rispettando le condizioni di equilibrio secolare. È stata adoperata una catena strumentale denominata IDRA con una minima attività rivelabile pari a 2 Bq/l[iii], in grado di determinare la concentrazione di attività di radon (^{222}Rn) mediante la tecnica del degassamento e la rivelazione delle particelle alfa emesse dal Polonio (^{218}Po). La grandezza interessata è stata determinata utilizzando la relazione [1]:

$$[^{222}Rn] = \left\{ \frac{N_\alpha - N_{f_{ondo}}}{V \cdot \tau \cdot 3 \cdot \varepsilon_{riv} \varepsilon_{\deg}} \right\} \cdot e^{-[\lambda_{Rn} \Delta t]} \quad [1]$$

dove $[^{222}Rn]$ è la concentrazione di radon in acqua espressa in *Bq/l;* N_α – N_{fondo} è il numero di conteggi netti; *V* è il volume del campione in litri; τ il tempo di conteggio in secondi; $\varepsilon_{rivelazione}$ è l'efficienza del rivelatore; $\varepsilon_{degassamento}$ è l'efficienza di degassamento; Δt è l'intervallo di tempo tra la data di prelievo e quella di conteggio; λ_{Rn} è la costante di decadimento del gas radon. La catena di misura ha una incertezza media del 12% ed il limite di rivelazione è ben al di sotto delle indicazioni previste dalla direttiva europea 2013/51/EURATOM e dal decreto legislativo n. 28/2016.

Ogni punto di campionamento è stato geo-referenziato con un GPS-V di tipo satellitare della Garmin che ha una incertezza di misura pari a 5 m. Considerato che la tecnica del degassamento presenta delle criticità durante la fase di campionamento, sono state effettuate delle prove in laboratorio, spillando il volume di acqua da misurare con una siringa e misurando la concentrazione di attività di radon nello stesso punto di prelievo. È stato dimostrato che la perdita in termini di concentrazione tra l'impiego della siringa e una buona manualità è del 1-2 %. Considerato che la quasi totalità della fase di campionamento è stata effettuata dallo stesso operatore e altri coinvolti, hanno osservato una fase di addestramento preparatorio, si può accettrare che le criticità dovute al prelievo dell'acqua sono del tutto trascurabili. In figura 3, si presenta la catena strumentale impiegata per la misura della concentrazione di radon in acqua.

Fig.3: *il sistema IDRA per la determinazione della concentrazione di attività del radon*

e un campione di acqua 250 ml

Il metodo per la determinazione della concentrazione dell'attività di radon in acqua è accreditato Iso 17025 per la gestione del campione e l'emanazione del rapporto di prova;mentre ancora sottoposto alla valutazione di Accredia per quanto attiene al metodo di prova.

Come già richiamato, i dati di concentrazione di radon impiegati per il calcolo della concentrazione media di attività si basano su un dataset robusto. Di seguito, nella tabella 1 vengono presentate alcune caratteristiche della base dati su cui sono state sviluppate delle valutazioni.

Campioni di acqua	Concentrazione >M.A.R.[Bq/l]	Concentrazione < M.A.R. [Bq/l]
420		
284 (68%)	48±11	
136		**< 2**
Concentrazione Minima	2±1	
Concentrazione Massima	1213±182	
Range	1211	
Media su tutta la popolazione	33±7	
Coefficiente di variazione	3,75	
Moda	3,3	
Mediana	5,2	
Quartile 1°	3,3	
Quartile 2°	5,2	
Quartile 3°	11,4	

Tab.1 Fonte Arpacal : campagna di misura 2010-2017

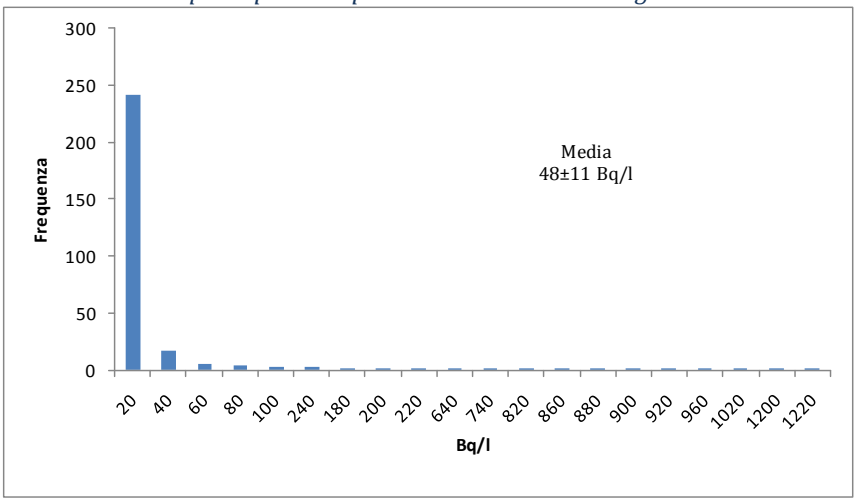
L'85 % delle concentrazione di attività del radon in acqua ricadono in un intervallo pari a [2, 20] Bq/l.

RISULTATI

Le concentrazioni di attività medie di radon nei punti dislocati sul territorio calabrese sono distribuiti come riportato nelle fig. 4. La media aritmetica della concentrazione di radon è pari a 48±11Bq/l, quasi la metà del valore di parametro di 100 Bq/l. Le frequenze della concentrazione hanno un andamento di tipo log normale.

I **420** campioni di acqua destinata al consumo umano che compongono la base di questo studio, sono stati prelevati in 210 diversi comuni del territorio calabrese. Circa il 70% dei prelievi ricade nel territorio catanzarese, 20% nella provincia di Vibo Valentia e il rimanente campione copre il territorio di Crotone e Cosenza. Meno dell'1% dei campioni è stato prelevato nella provincia di Reggio Calabria.

Fig.4: *le frequenze delle concentrazione di attività di radon in acqua – punti di prelievo sul territorio regionale*



Dal database iniziale, sono stati estratti i comuni che presentano una concentrazione media, calcolata su diversi prelievi annui, superiore a 20 Bq/l. Nella tabella 2, di seguito presentata, si evidenziano 14 comuni del territorio calabrese con una concentrazione media di attività di radon , superiore a 20 Bq/l. In ogni caso la media delle concentrazioni di radon calcolata soltanto su questa parte del territorio risulta pari a **33±3** Bq/l.

	Comuni	Concentrazione [Bq/l]	incertezza
1	Conflenti -Contrada San Mazzei	20,9	3,1
2	Accaria Serrastretta Cona - Vescio piazza Mazzini	36,4	5,5
3	Brognaturo - fontana publica	26,3	3,9
4	Comune di Cardinale - via Padre Pio	23,8	3,6
5	Cotronei - Contrada Orichella	59,2	8,9
6	Gimigliano - Acqua del Ceraso	50,4	7,6
7	Martirano Lombardo	33,9	5,1
8	San Pietro Apostolo via Ciriè -	21,2	3,2
9	Serrastretta	26,8	4,0
10	Simeri Crichi - uscita pozzo Alli	23,8	3,6
11	Sorical - Acquedotto Crini Serbatoio Crini Gioiosa ionica	31,3	4,7
12	Sorical - Acquedotto Torbido Campo Pozzi Galea (S. Pietro Marina di Gioiosa Ionica)	25,3	3,8
13	Soveria Mannelli	39,4	5,9
14	Triparni Vibo Valentia - Località Trisaino	41,1	6,2

Tab.2: *comuni con concentrazioni di attività di radon maggiore di 20 Bq/l*

Le concentrazioni di attività di radon dei comuni riportati in tabella2 rappresentano un sottoinsieme del dataset, con una concentrazione media che è circa 1/3 del valore di parametro (100 Bq/l) previsto dalla direttiva 2013/51/Euratom e dal decreto n.28/2016.
Sempre da una analisi attenta dei valori di concentrazione raccolti in circa 7 anni di misure, è possibile estrarre, per un eventuale monitoraggio particolareggiato (tabella 3), quattro punti di prelievo, di sorgenti naturali siti in tre comuni della Regione.
Nella tabella 3 vengono richiamati questi punti con le denominazioni delle fontane di accesso al pubblico dove vi è un consumo importante di acqua. I dati riportati sono le medie di cinque diversi prelievi effettuati durante l'anno. La sorgente di Curinga (Samboni), ritenuta allo stato quella con un livello di concentrazione di radon più alto della Regione Calabria, è stata interessata da un programma specifico di monitoraggio. In particolare, sono stati eseguiti alcuni campionamenti simulando il prelievo del consumatore. Si è osservato che la concentrazione di attività di radon misurata con questa modalità di campionamento si riduceva di 15 volte rispetto alla concentrazione derivante da un corretto prelievo, passando da 1213±82 a 80±10 Bq/l.
Nonostante ciò, di concerto con le autorità locali ed in particolare con il Sindaco del comune interessato si è proceduto alla realizzazione di un'azione di rimedio finalizzata all'abbattimento dei livelli di radon, attraverso l'inserimento nel circuito di canalizzazione dell'acqua, di una vasca di accumulo di volume opportuno che, per gravità ha consentito un buon degassamento, riportando i livelli di radioattività

naturale in armonia con il dettato normativo. È stata esclusa qualsiasi tipo di soluzione alternativa a quella appena descritta, come per esempio il mix con acque provenienti da altre reti di distribuzione per mantenere le caratteristiche primordiali del prezioso fluido. Inoltre su questo sito è stata valutata la qualità radiometrica dell'acqua attraverso la stima della Dose Totale Indicativa (DTI) e della concentrazione di attività del Trizio (^3H) verificando così i vincoli imposti dal decreto n.28/2016. Se si considera la concentrazione di radon in acqua della sorgente Samboni pari a 80±10 Bq/l e si assume un consumo giornaliero di acqua di 2 l si può stimare la dose derivante da ingestione del radon in acqua che è pari a 0,2 mSv/anno. Ciò ha indotto a sperimentare un'azione di rimedio finalizzata alla riduzione della concentrazione di attività di radon.

Tab.3: *punti di prelievo con maggior concentrazione di radon*

PUNTI DI PRELIEVO	Concentrazione di attività di radon [Bq/l]
Curinga (Cz) -Samboni	1213±82
Pallagorio (Kr)- Cascate Lauro	237±35
Castiglione cosentino (Cs) - Pristini	145±22
Castiglione cosentino (Cs) - Orbo	52±7

Sulla base di ipotesi assunte come vere è dunque possibile calcolare la dose media annua da ingestione dovuta al radon per la popolazione calabrese, utilizzando il valore della media regionale pari a 48±11 Bq/l e il fattore di conversione (Sv/Bq), tratto dalla Raccomandazione della Commissione della Comunità Europee[iv] che, assume pari a $0{,}35 \cdot 10^{-8}$ Sv·Bq^{-1}, ricavato dal trattato del Comitato Statunitense, National Research Council del 1998[v]. Se si ipotizza un consumo giornaliero di due litri di acqua con una concentrazione di radon prima richiamata, si stima che la dose media annua da ingestione di acqua è pari a 0,12 mSv/anno.
Anche se la media della concentrazione in acqua è pari a 48±11 Bq/l, il contributo che il radon disciolto in acqua può dare alla dose da inalazione è invece trascurabile, poiché si tratta in genere di sorgenti outdoor e quindi il radon che si libera dal degassamento durante la fase di prelievo per un consumatore abituale, viene rilasciato in atmosfera libera.
Infine è possibile,facendo riferimento alla figura 5, sulla base della popolazione di dati acquisiti in diverse campagne di misura, sviluppare altre importanti considerazioni.
Nel box plot (fig.5) vengono presentati i valori dei quartili e il secondo coincide con il valore della mediana. Tra le diverse osservazioni che si possono organizzare, si comprende immediatamente che il 75 % dei dati è inferiore ad una concentrazione pari a 11,4 Bq/l, a partire da un valore minimo che coincide con la minima attività rivelabile della catena strumentale (2Bq/l). Nella figura, anche se non rappresentato per ragioni di scala, è possibile verificare lungo il baffo superiore, valori anomali della distribuzione, i cosiddetti, outlier. Per gli obbiettivi di questo lavoro sono stati esclusi dal calcolo degli indici di dispersione della popolazione dei dati, soltanto le concentrazioni con un valore inferiore alla sensibilità dello strumento.

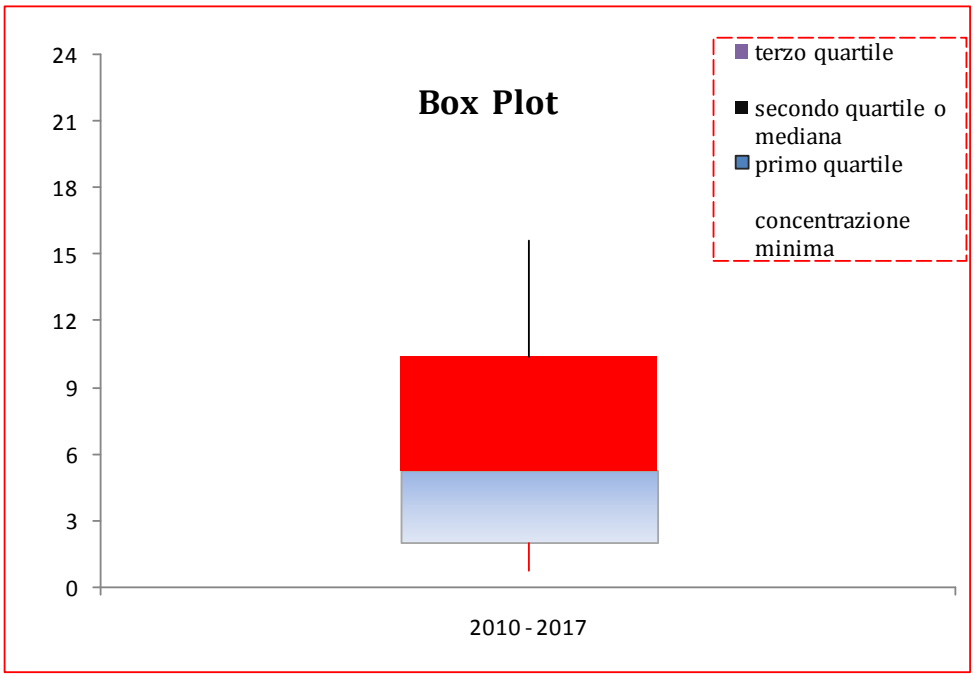


Fig.5 : box plot della popolazione di dati

Nell'ultimo anno, avendo condiviso con Asp di Catanzaro e Sorical, gestore quasi unico della rete di acquedotti calabresi dei criteri di scelta sul prelievo a monte (Strategic point) dei campioni e non alle fontane comunali, sono state effettuate altre misure di concentrazioni con valori di attività di radon del tutto trascurabili.
Le misure hanno riguardato principalmente il territorio di Catanzaro e Provincia (tabella. 4)

Tab.4*: punti di prelievo negli strategic point*

Sito	Concentrazione [B /l]	Incertezza [Bq /l]
impianto di Santa Domenica - campione acqua potabile	0,1	0,0
impianto di Santa Domenica - campione acqua grezza	0,6	0,1
Impianto di colle del Corto - San Pietro I	2,0	0,3
Impianto di colle del Corto - San Pietro II	2,4	0,4
Sorgente Ospedale Soverato	1 ,1	0,2
Sorgente Ospedale Soverato Siringa	1 ,6	0,2
Sollevamento Scinà - SP schema Vatt- Sambuco	2,6	0,4
Sambiase basso SP, Schema Pozzi Sambuco	5,7	0,9
Sorgente Grande Palazzo a monte dello SP. Ceramidio	6,1	0,9
Serbatorio SP. Ceramidio - Schema Palazzo	4,0	0,6
Sorgente Vattendirei schema Vatt- Sambuco Risorsa	1 ,6	0,2
Fontana pubblica via Marzabotto a valle di Sambiase Basso	5,4	0,8
Pozzo Acconia - Schema Pozzo	4,2	0,6
Fontana Via Indipendenza a Valle dello Sp Canne - lamezia Terme	2,4	0,4
Partitore Canne - Lamezia Terme	1 ,1	0,2
Serbatio Richetti - Schema Pian del Duca	2,8	0,4

CONCLUSIONI

Il monitoraggio del radon nelle acque potabili calabresi di fatto non costituisce un rischio radiologico per la popolazione. Visto il valore medio di concentrazione di attività è altrettanto trascurabile il contributo alla dose inalata nelle abitazioni, derivante dal gas radon disciolto in acqua. Pur tuttavia, dall'analisi del set indagato, esistono sottogruppi di punti di prelievo che possono essere osservati, con frequenze stabilite a priori e con l'intento di verificare eventuali variabilità della concentrazione di gas radon.

BIGLIOGRAFIA

[i] C. Tansi e VV. *Interpretation of radon anomalies in seismotectoni an tectoni- gravitational settings: the south-eastern Cratigraben (northern Calabria Italy)*, Elsevier Tectonophysics 396 (2005)181-193

[ii] Raccomandazione della Commissione delle Comunità Europee del 20 dicembre 2001 s*ulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon nell'acqua potabile*, (2001/928/Euratom);

[iii] Guida tecnica sulle misure di radioattività ambientale: H^3, α e β totale in acque potabili, α e β emettitori artificiali e naturali in matrici ambientali AGF-T- GTE-03-01

[iv] International Commission on Radiological Protection. *Lung cancer from indoor exposure to radon daughters*. ICRP 50; Annals of the ICRP Vol. 17, No. 1; 1987.

[v] U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *National primary drinking water regulations; radionuclides; proposed rules*. Fed. Regist., 56 (138): 33050; 1991

ARPACAL

Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

REGIONE CALABRIA