



IRSOIL 2021

Misure di concentrazione di attività radon nel suolo

Valle del Cervo e riserva naturale della Bessa

Campiglia Cervo e Zubiena (BI)

REPORT



ORGANIZZATORI	Associazione Italiana di radioprotezione (AIRP) c/o Museo di Storia Naturale Via Roma, 79 – 56011 Calci (PI) www.airp-asso.it Associazione Italiana Professionisti Radon (ASSORADON) Via Comelico 18, 20135 Milano www.assoradon.org
COMITATO ORGANIZZATORE	<i>Enrico Chiaberto</i> <i>ARPA Piemonte</i> <i>Amedeo Dordi</i> <i>Geologo, Lombardia</i> <i>Paolo Falletti</i> <i>ARPA Piemonte</i> <i>Massimo Faure Ragani</i> <i>ARPA Valle d'Aosta</i> <i>Andrea Gritti</i> <i>ASSORADON</i> <i>Mauro Magnoni</i> <i>ARPA Piemonte</i> <i>Antonio Parravicini</i> <i>ASSORADON</i> <i>Tiziana Tunno</i> <i>ASSORADON</i>
DATA DI PUBBLICAZIONE	31-10-2023
NUMERO DI PAGINE	30
CODICE REPORT	RN_IRSOIL_2021
ISBN	9788888648552
EDITORE	AIRP - Associazione Italiana di Radioprotezione
CO-EDITORE	ASSORADON - Associazione Italiana Professionisti Radon

AUTORI	<i>Enrico Chiaberto</i> <i>ARPA Piemonte</i> <i>Stefano Coria</i> <i>ASSORADON</i> <i>Paolo Falletti</i> <i>ARPA Piemonte</i> <i>Massimo Faure Ragani</i> <i>ARPA Valle d'Aosta</i> <i>Andrea Gritti</i> <i>ASSORADON</i> <i>Mauro Magnoni</i> <i>ARPA Piemonte</i>
--------	--



INDICE

1. Introduzione	4
2. Organizzazione dell'evento	4
3. Programma	5
4. Riservatezza	6
5. Partecipanti.....	6
6. Inquadramento geologico dei siti.....	7
7. Definizione degli indicatori di performance.....	10
8. Radon nel suolo: risultati e valutazione delle performance.....	12
9. Radon in acqua: risultati e valutazione delle performance.....	25
10. Conclusioni.....	29
11. Ringraziamenti	30
12. Bibliografia	30



1. Introduzione

La misura della concentrazione di attività radon nel suolo, nata come pratica strettamente legata ad aspetti di ricerca e curiosità scientifica è riuscita, nel corso degli anni, a ritagliarsi un ruolo più tecnico assumendo rilevanza proprio per i suoi risvolti pratici.

Se è vero che la possibilità di prevedere in modo affidabile la concentrazione di attività radon in una futura abitazione, semplicemente a partire da una misura nel terreno da edificare, è ancora di là da venire, è pur vero che tale misura può essere un utile strumento per la classificazione di aree a differente rischio radon.

L'emanazione del Decreto Legislativo n. 101/2020 ha indubbiamente acceso nuovo interesse su questi temi, ma la questione della misura del radon nel suolo va oltre l'ambito puramente radioprotezionistico, coinvolgendo anche aspetti geofisici di grande interesse.

Da tempo in Europa ricercatori e professionisti del settore si ritrovano periodicamente per testare insieme metodologie, tecniche e strumentazione, manifestando così grande interesse per queste valutazioni.

Assoradon ed AIRP hanno quindi ritenuto che i tempi fossero maturi per proporre, anche in Italia, un esercizio di misure sul campo che consenta ai vari laboratori che operano in questo ambito, sia pubblici che privati, di mettere a confronto le varie tecniche e metodologie di cui dispongono. L'interconfronto è stato organizzato in collaborazione con ARPA Piemonte e ARPA Valle d'Aosta.

Cornice di questo evento è la provincia di Biella, la più piccola provincia piemontese, con la sua famosa Valle del Cervo, tra i luoghi a più elevata radioattività naturale del Piemonte.

2. Organizzazione dell'evento

L'interconfronto organizzato e promosso dalle associazioni AIRP e ASSORADON in collaborazione con ARPA Piemonte e ARPA VDA ha individuato i componenti del comitato di programma col compito di raccogliere le adesioni e definire gli aspetti tecnici e scientifici dell'evento, anche attraverso la segreteria organizzativa. All'evento è stata data visibilità sui rispettivi siti web delle associazioni coinvolte (www.airp-asso.it, www.assoradon.org).

Sono stati allestiti due siti differenti e su ciascuno di essi sono state individuate n postazioni in cui tutti i partecipanti erano invitati ad effettuare almeno una misura nelle giornate del 08/07/2021 e 09/07/2021. Le attività di misura sono state effettuate presso due diversi siti di misura, con la finalità di indagare terreni con diverse caratteristiche geologiche e diversi tenori di radon e toron:

Sito 1: Valle del Cervo - SP100 località Malpensà - 13812 Campiglia Cervo (BI)

Sito 2: Riserva Naturale della Bessa – Località Vermogno - 13888 Zubiena (BI)

Per ciascuno dei due siti indagati i partecipanti hanno effettuato campionamenti di radon nel terreno in corrispondenza di diverse stazioni di campionamento numerate, ognuno con la propria sonda e tecnica di campionamento, nonché con la propria metodologia/algoritmo di misura. Una delle difficoltà della prova consisteva nel determinare la concentrazione di radon nel terreno in presenza



di concentrazioni non trascurabili di toron (Rn-220), fonte di potenziale interferenza se non opportunamente valutata.

Ai partecipanti è stato chiesto di fornire, per ciascun sito di misura e per ciascun punto di campionamento, i risultati delle misure di radon (Rn-222) nel terreno in unità di misura di kBq/m³, riportando in maniera facoltativa anche le eventuali concentrazioni di toron (Rn-220) contemporaneamente rilevate.

Trattandosi di misure eseguite a profondità di campionamento tipicamente diverse da partecipante a partecipante e avendo lasciato ai partecipanti stessi la discrezionalità di scelta del punto di campionamento desiderato in prossimità delle postazioni numerate, non è stato possibile per gli organizzatori garantire l'uniformità dei contenuti di radon e toron nelle vicinanze di punti prestabiliti, anche a causa dell'assenza di uno storico rilevante di misure presso i siti indagati.

La variabile meteorologica ha rappresentato un ulteriore elemento di difficoltà nell'esecuzione delle prove: le misurazioni sono state infatti condizionate dalle abbondanti precipitazioni avvenute nella mattinata del giorno 08/07/2021, che hanno determinato difficoltà organizzative e di campionamento per le attività svolte presso il sito di misura della Valle del Cervo. Nella giornata del 09/07/2021, presso la Riserva Naturale Speciale della Bessa, le condizioni meteorologiche favorevoli hanno invece consentito uno svolgimento regolare delle prove di misura.

Il giorno 8/6/2021 è stato inoltre organizzato un esercizio aggiuntivo facoltativo riguardante la misura del radon in acqua a cui hanno partecipato 8 laboratori riportati in tabella in ordine alfabetico. I partecipanti hanno effettuato un prelievo da una sorgente d'acqua corrente, ognuno col proprio metodo. Si è chiesto quindi di fornire il risultato della misura successivamente, riportandolo alla data di campionamento. Trattandosi di una sorgente naturale non è stato possibile garantire e valutare a priori l'uniformità del contenuto di attività del radon in acqua erogato, anche per via delle abbondanti precipitazioni avvenute in mattinata e per il fatto che i laboratori hanno potuto procedere al prelievo dell'acqua in orari diversi dalle 15 alle 16.30. Per tali ragioni l'analisi complessiva dei risultati è stata condotta senza la trattazione di eventuali outlier.

3. Programma

Primo giorno: giovedì 8 luglio 2021

Ore 14:00 raggiungimento del primo sito in Valle Cervo
14:00-14:20 inquadramento geologico e litologico del complesso plutonico della Valle Cervo
14:20-17:00 esecuzione misure in campo

Dalle 16:00 possibilità di prelievo da sorgente per la misura della concentrazione di attività del radon in acqua

Secondo giorno: venerdì 9 luglio 2021

Ore 9:00 raggiungimento del secondo sito nella Riserva Naturale della Bessa
9:00-9:20 inquadramento geologico e litologico della Bessa
9:20-12:00 esecuzione misure in campo
12:00 Pausa pranzo
14:00 riunione conclusiva, confronto e discussione

4. Riservatezza

Ai partecipanti è stato attribuito un codice numerico. Nel presente report i dati sono trattati in forma anonima.

5. Partecipanti

Tabella 1. Elenco dei partecipanti (in ordine alfabetico) alle misure di radon nel suolo

Partecipante	Strumentazione impiegata	Tecniche per escludere il Rn-220	Tecniche per misurare il Rn-220
ARPA Lombardia - CRR			
ARPA Piemonte	MR1 con Cella di Lucas	Sì, tubo lungo per decadimento Rn-220	No
ARPA VdA	Alphaguard Sarad EQF 3220	Sì, spettrometria	Sì, spettrometria
ARPACAL	Radon Mapper Cella di Lucas	Sì	Sì, procedura radon-toron
ECOGEO di Marsetti Dott. Diego			
FIORAD SRL	Radon Mapper Cella di Lucas	Sì	Sì, procedura radon-toron
JRC - ISPRA	Alphaguard PQ2000 PRO Camera a ionizzazione	Sì	No
MI.AM S.r.l.	Radon Mapper Cella di Lucas	Sì	Sì, algoritmo analisi conteggi
Misurazione-Radon S.r.l.	Radon Mapper Cella di Lucas	Sì	Sì
No Radon S.r.l.s.	Radon Mapper Cella di Lucas	Sì	No
Protezione Radon S.r.l.	Radon Mapper Cella di Lucas	No	Sì, routine di calcolo interna
Tiziana Tunno Libero professionista	Alphaguard PRO Camera a ionizzazione	No	Sì
U-Series S.r.l.	SARAD RTM 2100 Semiconduttore	Sì, spettrometria	No

Tabella 2. Elenco dei partecipanti (in ordine alfabetico) alle misure di concentrazione di attività in acqua

Partecipante	Metodo
ARPA Lombardia - CRR	LSC - ISO13164-4
ARPA Piemonte	Emanometria ISO13164-3
ARPA VdA	Emanometria ISO13164-3
ARPACAL	Emanometria ISO13164-3
FIORAD SRL	Emanometria ISO13164-3
MI.AM Srl	Emanometria ISO13164-3
No Radon Srls	Emanometria
Protezione Radon Srl	Emanometria
U-Series Srl	LSC ISO13164-4

6. Inquadramento geologico dei siti

La parte medio-alta della Valle del Cervo, a Nord-Ovest di Biella, è caratterizzata da una elevata radioattività naturale in quanto impostata sulle rocce del Plutone della Valle del Cervo. Il Plutone della Valle del Cervo è un corpo di rocce magmatiche che si è formato 30 milioni di anni fa, durante l'Oligocene. Il magmatismo oligocenico è di tipo collisionale, ossia connesso alla collisione tra Europa e Africa che ha portato all'edificazione della catena alpina, ed è successivo alla fase principale di strutturazione della catena, poiché è esente da metamorfismo.



Fig.1 Valle del Cervo - Biella

Il plutone presenta una caratteristica struttura ad anelli subconcentrici, per intrusioni successive, con un nucleo granitico, una fascia mediana di sienite e un anello esterno di monzonite. L'aureola di contatto ben sviluppata è dovuta a una marcata differenza di temperatura tra magma in cristallizzazione e roccia incassante, a indicazione del fatto che l'intrusione è avvenuta a profondità relativamente basse (a 4-7 km dalla superficie). I dati sperimentali evidenziano come la litologia con il maggior contenuto di radionuclidi sia la sienite.

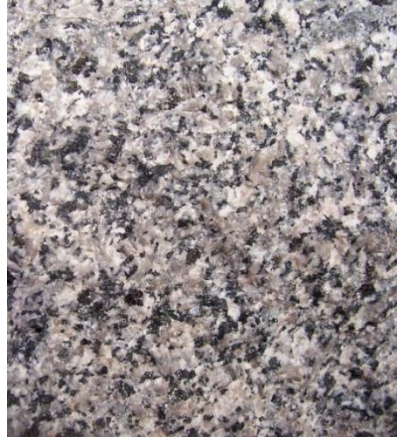


Fig.2 Sienite della Balma

Chiamata “Sienite della Balma” nella letteratura geologica, la sienite è costituita da feldspato potassico, plagioclasio, anfibolo, biotite, quarzo; il tipico colore rosa-violaceo è dato dal feldspato potassico. Da sempre utilizzata localmente come materiale da costruzione, la sienite della Balma a partire dal XIX secolo è stata impiegata in tutta Italia e all'estero come pietra da rivestimento e pavimentazioni, per la sua valenza estetica e le caratteristiche di resistenza al calpestio.



Fig.3 Sito di misura in Valle del Cervo - Biella

Il sito individuato per l'esecuzione delle misure è un'area pianeggiante adiacente al Torrente Cervo, impostata sui depositi alluvionali del torrente stesso. L'attività su terreni sviluppati direttamente sulla roccia risultava di difficile esecuzione per il ridotto spessore della copertura di suolo, che limitava l'infissione delle sonde, e per l'elevata acclività dei versanti, che avrebbe ostacolato le operazioni. Le misure di prova effettuate avevano indicato concentrazioni di radon comunque elevate, pur trattandosi di terreni non direttamente sviluppati sulla sienite; ciò in relazione al ridotto spessore del deposito, con il substrato roccioso a 2 metri di profondità, e al fatto che la composizione petrografica dei sedimenti alluvionali ha una prevalente componente detritica di litologie del Plutone della Valle del Cervo.

Il secondo sito è stato invece scelto nella Riserva Naturale della Bessa (Vermogno) (Fig.4). La località si trova nella zona collinare della Serra di Ivrea, che rappresenta la parte orientale dell'anfiteatro morenico di Ivrea, edificato dal ghiacciaio della Dora Baltea durante le glaciazioni quaternarie. L'area è sviluppata su un substrato di depositi glaciali in cui sono presenti tutte le litologie delle unità geologiche alpine affioranti in Valle d'Aosta. Il sito è prossimo alle aree archeologiche che testimoniano l'estrazione dell'oro in quella che era la miniera d'oro romana più importante in età repubblicana, con ingenti accumuli di ciottoli derivanti dai lavori minerari di lavaggio dei sedimenti glaciali.



Fig.4 Sito di misura nella Riserva Naturale della Bessa (Vermogno)

7. Definizione degli indicatori di performance

Per studiare le performance di ogni partecipante sono stati utilizzati alcuni indicatori secondo la ISO/IEC 1704 – annex B e ISO 13528 che definiscono e descrivono i principali parametri statistici usati per tale scopo:

- x Risultato del singolo partecipante
- X Valore di riferimento (media robusta)

È quindi possibile valutare i seguenti indicatori

Rapporto "R":
$$R = \frac{x}{X}$$

Differenza "D":
$$D = (x - X)$$

Differenza percentuale "D%":
$$D_{\%} = \frac{(x - X)}{X} \cdot 100$$

ζ score
$$\zeta = \frac{x - X}{\sqrt{u^2(x) + u^2(X)}}$$

z score:
$$z = \frac{x - X}{\hat{\sigma}}$$

dove:

$\hat{\sigma}$	Deviazione standard per il calcolo dello z score:
u	Incertezza (fattore di copertura k=1)

L'incertezza del valore di riferimento è stata calcolata a partire dalla deviazione standard robusta σ_{rob} e in base alla formula: $u(X) = 1,25 \cdot \frac{\sigma_{rob}}{\sqrt{p}}$, con p uguale al numero di partecipanti che hanno fornito un risultato (ISO 13528).

Il comitato organizzatore ha scelto il valore della deviazione standard $\hat{\sigma}$ pari a:

$$\hat{\sigma} = 0,20 \cdot X$$

Nella scelta del parametro $\hat{\sigma}$ sono state considerate, da parte dell'organizzazione, le diverse peculiarità dell'esercizio di misura proposto:

- la complessità dell'esercizio di misura stesso ossia di un campionamento all'aperto e in una matrice non sempre uniforme e facilmente sondabile come il suolo;
- attività di campionamento rese critiche dalle avverse condizioni meteo;
- mancanza di un solido storico di misure di *soil radon* nei siti di misura prescelti;
- incompletezza dei risultati comunicati, dovuta al fatto che alcuni partecipanti hanno restituito risultati di misura solo per alcuni dei punti di misura prestabiliti.

Per quanto attiene alla misura dell'attività di concentrazione di radon in acqua trattandosi di un campionamento in campo all'aperto da fontana pubblica, reso maggiormente difficoltoso dalle avverse condizioni meteo all'atto del prelievo, si è valutato di considerare la regola di scelta per $\hat{\sigma}$ applicata alle misure di radon nel suolo.

Per la definizione del valore di riferimento X come media robusta il comitato organizzatore ha valutato, per ogni punto di misura, l'eventuale esclusione di risultati anomali (*blunders*) dalla statistica robusta, secondo norma tecnica.

In accordo con le ISO/IEC 17043, B.4.1.1 l'interpretazione convenzionale del valore assoluto dello z-score $|z|$ è la seguente:

- $|z| \leq 2,0$ indicates "satisfactory" performance;
- $2,0 < |z| < 3,0$ indicates "questionable" performance (warning signal);
- $|z| \geq 3,0$ indicates "unsatisfactory" performance (action signal).

8. Radon nel suolo: risultati e valutazione delle performance

RIEPILOGO RISULTATI SITO 1 - Valle del Cervo - 08/07/2021

Concentrazione radon [kBq/m ³] comunicata dai partecipanti, con incertezza (k=1)						
Partecipante	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
2			168,3 ± 17,0			
5	51,1 ± 1,9	114,0 ± 3,4		31,1 ± 1,0		
6		99,5 ± 14,9	99,6 ± 14,9		116,3 ± 17,4	88,6 ± 13,3
7	110,0 ± 15,0	2,5 ± 20,0		56,8 ± 15,0		
8	92,7 ± 19,5		59,8 ± 12,0			
9	123,0 ± 1,8					
10	104,0 ± 6,0					
11		139,6 ± 18,0	78,3 ± 10,0		89,4 ± 12,0	83,4 ± 11,0
12		139,2 ± 17,0	79,3 ± 10,0		89,8 ± 13,0	83,5 ± 11,0
13			57,3	32,2	0,3	7,8
14			95,6 ± 15,0		136,4 ± 15,0	92,3 ± 12,0

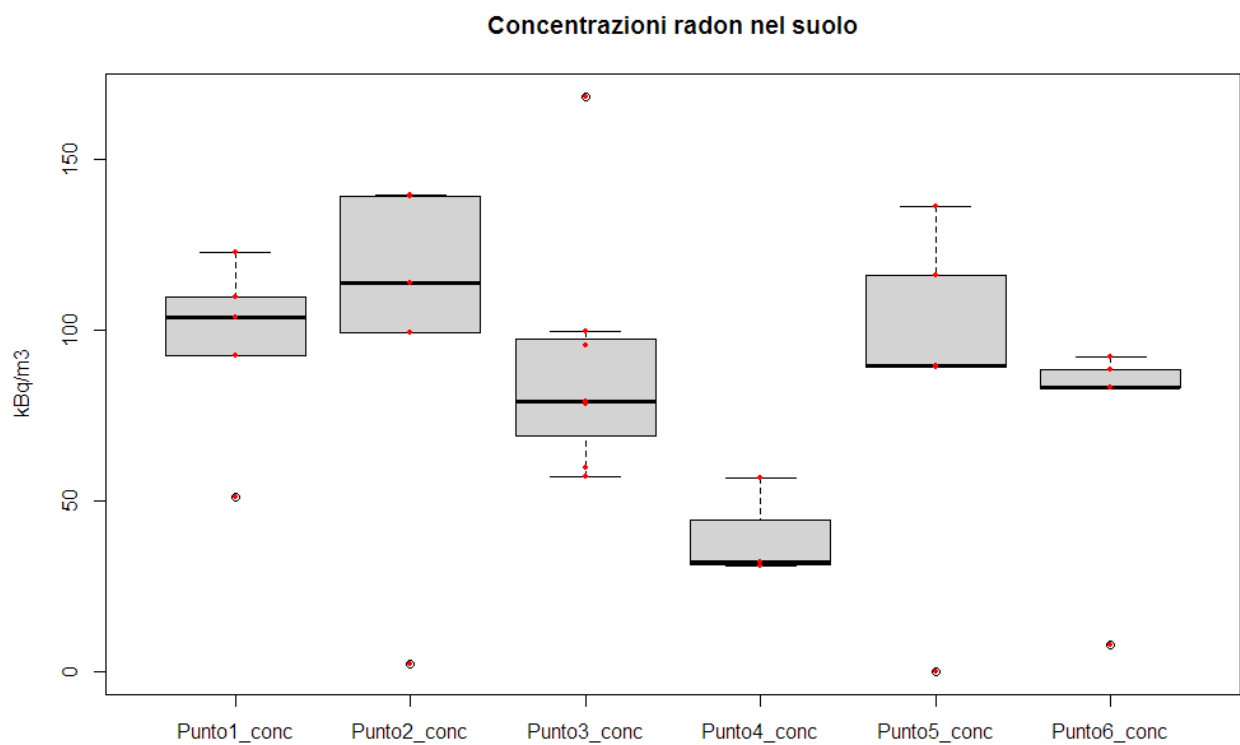
VALUTAZIONI COMPLESSIVE SITO 1

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
MAX	123,0	139,6	168,3	56,8	136,4	92,3
min	51,1	2,5	57,3	31,1	0,3	7,8
MA	96,2	99,0	91,2	40,0	86,4	71,1
σ	27,5	56,6	37,6	14,5	52,0	35,6
# Blunders	1	1	1	0	1	1
X	107,4	123,1	78,3	40,0	108,0	87,0
σ_{rob}	14,3	22,4	19,9	16,5	25,8	4,9
$u(X)$	8,0	12,5	9,4	11,9	14,4	2,7
$\hat{\sigma}$	21,5	24,6	15,7	8,0	21,6	17,4

Dove:

MAX	Valore massimo partecipanti
min	Valore minimo partecipanti
MA	Media aritmetica partecipanti
σ	Deviazione standard
$\#$ <i>Blunders</i>	Numero di risultati valutati come anomali ed esclusi dalla statistica robusta
X	Media robusta (valore di riferimento)
σ_{rob}	Deviazione standard robusta
$u(X)$	Incertezza standard del valore di riferimento
$\hat{\sigma}$	$0,20 \cdot X$ Deviazione standard per il calcolo dello z score

BOXPLOT SITO 1 - Valle del Cervo - concentrazioni radon



VALUTAZIONI PER PARTECIPANTE SITO 1

PARTECIPANTE 2

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
RnC [kBq/m ³]			168,3			
U_{RnC} [kBq/m ³]			17,0			
R			2,15			
D %			115%			
z-score			5,75			
ζ -score			4,63			

PARTECIPANTE 5

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
RnC [kBq/m ³]	51,1	114		31,1		
U_{RnC} [kBq/m ³]	1,9	3,4		1		
R	0,48	0,93		0,78		
D %	-52,4%	-7,4%		-22,3%		
z-score	2,62	0,37		1,11		
ζ -score	6,85	0,70		0,75		

PARTECIPANTE 6

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
RnC [kBq/m ³]		99,5	99,6		116,3	88,6
U_{RnC} [kBq/m ³]		14,9	14,9		17,4	13,3
R		0,81	1,27		1,08	1,02
D %		-19,2%	27,2%		7,7%	1,8%
z-score		0,96	1,36		0,38	0,09
ζ -score		1,21	1,21		0,37	0,12

PARTECIPANTE 7

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
$RnC [kBq/m^3]$	110	2,5		56,8		
$U_{RnC} [kBq/m^3]$	15	20		15		
R	1,02	0,02		1,42		
$D \%$	2,4%	-98,0%		42,0%		
z-score	0,12	4,90		2,10		
ζ -score	0,15	5,11		0,88		

PARTECIPANTE 8

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
$RnC [kBq/m^3]$	92,7		59,765			
$U_{RnC} [kBq/m^3]$	19,54		11,953			
R	0,86		0,76			
$D \%$	-13,7%		-23,7%			
z-score	0,68		1,18			
ζ -score	0,70		1,22			

PARTECIPANTE 9

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
$RnC [kBq/m^3]$	123					
$U_{RnC} [kBq/m^3]$	1,8					
R	1,15					
$D \%$	14,5%					
z-score	0,73					
ζ -score	1,90					

PARTECIPANTE 10

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
RnC [kBq/m ³]	104					
u_{RnC} [kBq/m ³]	6					
R						
D %	-3,2%					
z -score	0,16					
ζ -score	0,34					

PARTECIPANTE 11

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
RnC [kBq/m ³]		139,6	78,3		89,4	83,4
u_{RnC} [kBq/m ³]		18	10		12	11
R		1,13	1,00		0,83	0,96
D %		13,4%	0,0%		-17,2%	-4,1%
z -score		0,67	0,00		0,86	0,21
ζ -score		0,75	0,00		0,99	0,32

PARTECIPANTE 12

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
RnC [kBq/m ³]		139,2	79,3		89,8	83,5
u_{RnC} [kBq/m ³]		18	10		12	11
R		1,13	1,01		0,83	0,96
D %		13,1%	1,3%		-16,9%	-4,0%
z -score		0,65	0,06		0,84	0,20
ζ -score		0,73	0,07		0,97	0,31

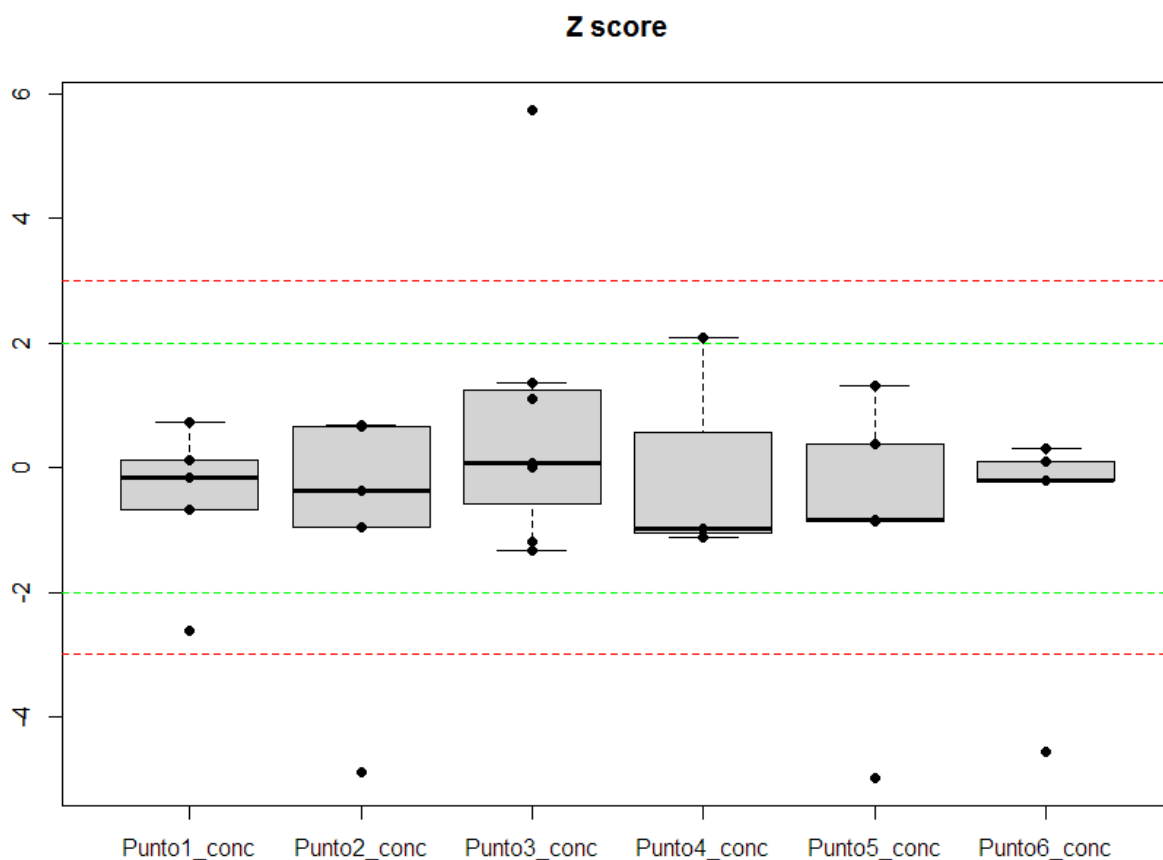
PARTECIPANTE 13

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
RnC [kBq/m ³]			57,3	32,217	0,316	7,8
U_{RnC} [kBq/m ³]						
R			0,73	0,81	0,00	0,09
D %			-26,8%	-19,5%	-99,7%	-91,0%
z -score			1,34	0,97	4,99	4,55
ζ -score			2,23	0,65	7,48	28,91

PARTECIPANTE 14

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
RnC [kBq/m ³]			95,6		136,4	92,3
U_{RnC} [kBq/m ³]			15		15	12
R			1,22		1,26	1,06
D %			22,1%		26,3%	6,1%
z -score			1,10		1,31	0,30
ζ -score			0,98		1,37	0,43

BOXPLOT SITO 1 Valle Cervo - Z score



RIEPILOGO RISULTATI SITO 2 - Riserva Naturale Speciale della Bessa - 09/07/2021

	Concentrazione radon [kBq/m³] comunicata dai partecipanti, con incertezza (k=1)					
Partecipante	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
2	12,4 ± 1,3				11,9 ± 1,2	6,4 ± 0,7
5	8,3 ± 0,5	9,7 ± 0,4	5,5 ± 0,3	7,6 ± 0,6	9,3 ± 0,5	
6	10,4 ± 1,6	14,4 ± 2,2	8,4 ± 1,3	8,2 ± 1,2	11,8 ± 1,8	10,0 ± 1,5
8	14,0 ± 2,8	15,2 ± 3,0	8,3 ± 1,7	9,9 ± 2,0	13,8 ± 2,8	8,9 ± 1,8
9	12,8 ± 1,2	16,8 ± 1,2	5,7 ± 0,8	3,5 ± 0,9	11,3 ± 1,0	3,3 ± 0,7
10	13,2 ± 3,2	17,2 ± 3,4	7,8 ± 2,9	8,0 ± 3,1	13,3 ± 3,2	15,2 ± 3,2
11	12,0 ± 1,0	15,0 ± 2,0	7,1 ± 1,0	8,0 ± 1,0	11,3 ± 1,0	9,3 ± 1,0
12	12,5 ± 1,0	14,7 ± 2,0	7,1 ± 1,0	8,2 ± 1,0	11,2 ± 1,0	9,5 ± 1,0
13	10,4	12,0	8,2	6,3	13,0	1,8
14			8 ± 1,2	8,5 ± 1,3		

VALUTAZIONI COMPLESSIVE

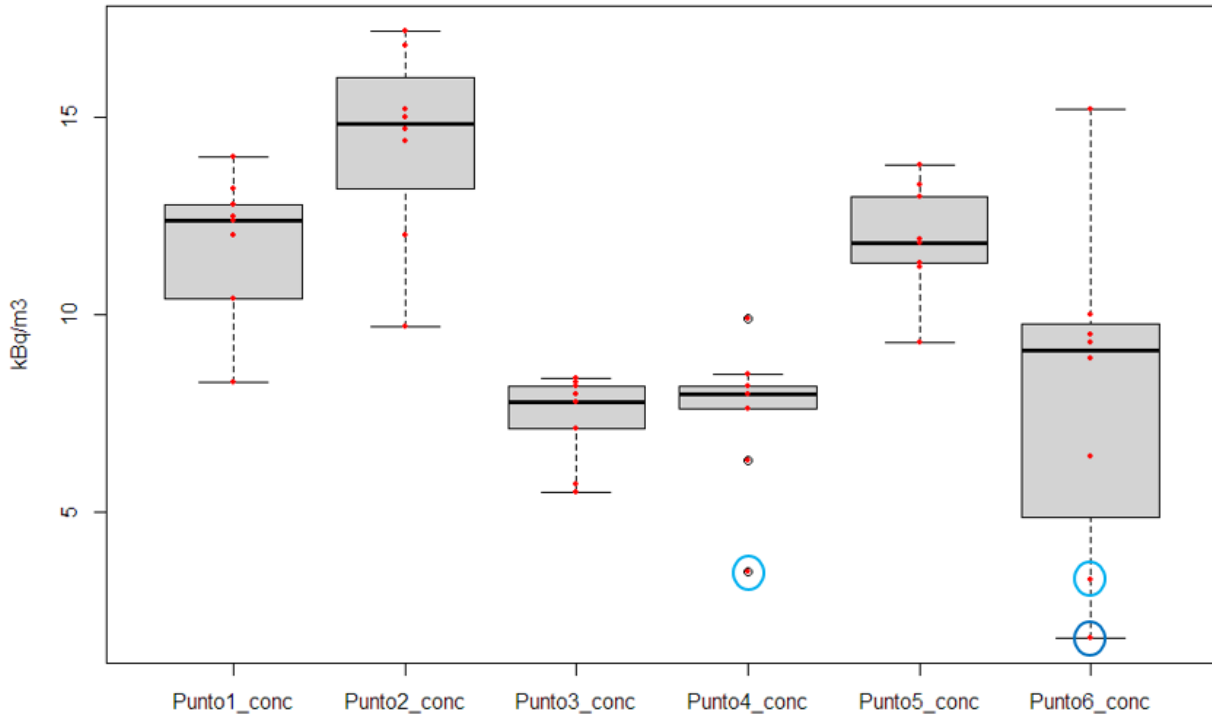
INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
MAX	14	17,2	8,4	9,9	13,8	15,2
min	8,3	9,7	5,5	3,5	9,3	1,8
MA	11,8	14,4	7,3	7,6	11,9	8,1
σ	1,8	2,5	1,1	1,8	1,4	4,2
# Blunders	0	0	0	1	0	2
X	11,9	14,5	7,4	8,1	11,9	9,4
σ_{rob}	1,7	2,5	1,2	0,6	1,4	2,1
$u(X)$	0,7	1,1	0,5	0,3	0,6	0,9
$\hat{\sigma}$	2,4	2,9	1,5	1,6	2,4	1,9

Dove:

MAX	<i>Valore massimo partecipanti</i>
min	<i>Valore minimo partecipanti</i>
MA	<i>Media aritmetica partecipanti</i>
σ	<i>Deviazione standard</i>
# Blunders	<i>Numero di risultati valutati come anomali ed esclusi dalla statistica robusta</i>
X	<i>Media robusta (valore di riferimento)</i>
σ_{rob}	<i>Deviazione standard robusta</i>
$u(X)$	<i>Incertezza standard del valore di riferimento</i>
$\hat{\sigma}$	<i>0,20·X Deviazione standard per il calcolo dello z score</i>

BOXPLOT SITO 2 - Bessa – concentrazioni radon

Concentrazioni radon nel suolo



PARTECIPANTE 2

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
RnC [kBq/m³]	12,4				11,9	6,4
u_{RnC} [kBq/m³]	1,3				1,2	0,7
R	1,04				1,00	0,68
D %	0,04				0,00	-0,32
z-score	0,21				0,00	1,60
ζ-score	0,34				0,00	2,63

PARTECIPANTE 5

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
$RnC [kBq/m^3]$	8,3	9,7	5,5	7,6	9,3	
$U_{RnC} [kBq/m^3]$	0,5	0,4	0,3	0,6	0,5	
R	0,70	0,67	0,74	0,94	0,78	
$D \%$	-0,30	-0,33	-0,26	-0,06	-0,22	
z-score	1,51	1,66	1,28	0,31	1,09	
ζ -score	4,18	4,10	3,26	0,75	3,33	

PARTECIPANTE 6

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
$RnC [kBq/m^3]$	10,4	14,4	8,4	8,2	11,8	10
$U_{RnC} [kBq/m^3]$	1,6	2,2	1,3	1,2	1,8	1,5
R	0,87	0,99	1,14	1,01	0,99	1,06
$D \%$	-0,13	-0,01	0,14	0,01	-0,01	0,06
z-score	0,63	0,03	0,68	0,06	0,04	0,32
ζ -score	0,86	0,04	0,72	0,08	0,05	0,34

PARTECIPANTE 8

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
$RnC [kBq/m^3]$	14,0	15,2	8,3	9,9	13,8	8,9
$U_{RnC} [kBq/m^3]$	2,8	3,0	1,7	2,0	2,8	1,8
R	1,18	1,05	1,12	1,22	1,16	0,95
$D \%$	0,18	0,05	0,12	0,22	0,16	-0,05
z-score	0,88	0,24	0,61	1,11	0,80	0,27
ζ -score	0,73	0,22	0,51	0,89	0,66	0,25

PARTECIPANTE 9

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
$RnC [kBq/m^3]$	12,8	16,8	5,7	3,5	11,3	3,3
$U_{RnC} [kBq/m^3]$	1,2	1,2	0,8	0,9	1,0	0,7
R	1,08	1,16	0,77	0,43	0,95	0,35
$D \%$	0,08	0,16	-0,23	-0,57	-0,05	-0,65
z-score	0,38	0,79	1,15	2,84	0,25	3,24
ζ -score	0,65	1,41	1,80	4,85	0,51	5,35

PARTECIPANTE 10

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
$RnC [kBq/m^3]$	13,2	17,2	7,8	8	13,3	15,2
$U_{RnC} [kBq/m^3]$	3,2	3,4	2,9	3,1	3,2	3,2
R	1,11	1,19	1,05	0,99	1,12	1,62
$D \%$	0,11	0,19	0,05	-0,01	0,12	0,62
z-score	0,55	0,93	0,27	0,06	0,59	3,09
ζ -score	0,40	0,76	0,14	0,03	0,43	1,74

PARTECIPANTE 11

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
$RnC [kBq/m^3]$	12,0	15,0	7,1	8,0	11,3	9,3
$U_{RnC} [kBq/m^3]$	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0
R	1,01	1,03	0,96	0,99	0,95	0,99
$D \%$	0,01	0,03	-0,04	-0,01	-0,05	-0,01
z-score	0,04	0,17	0,20	0,06	0,25	0,05
ζ -score	0,08	0,22	0,27	0,10	0,51	0,07

PARTECIPANTE 12

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
RnC [kBq/m ³]	12,5	14,7	7,1	8,2	11,2	9,5
U_{RnC} [kBq/m ³]	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0
R	1,05	1,01	0,96	1,01	0,94	1,01
D %	0,05	0,01	-0,04	0,01	-0,06	0,01
z -score	0,25	0,07	0,20	0,06	0,29	0,05
ζ -score	0,49	0,09	0,27	0,10	0,60	0,07

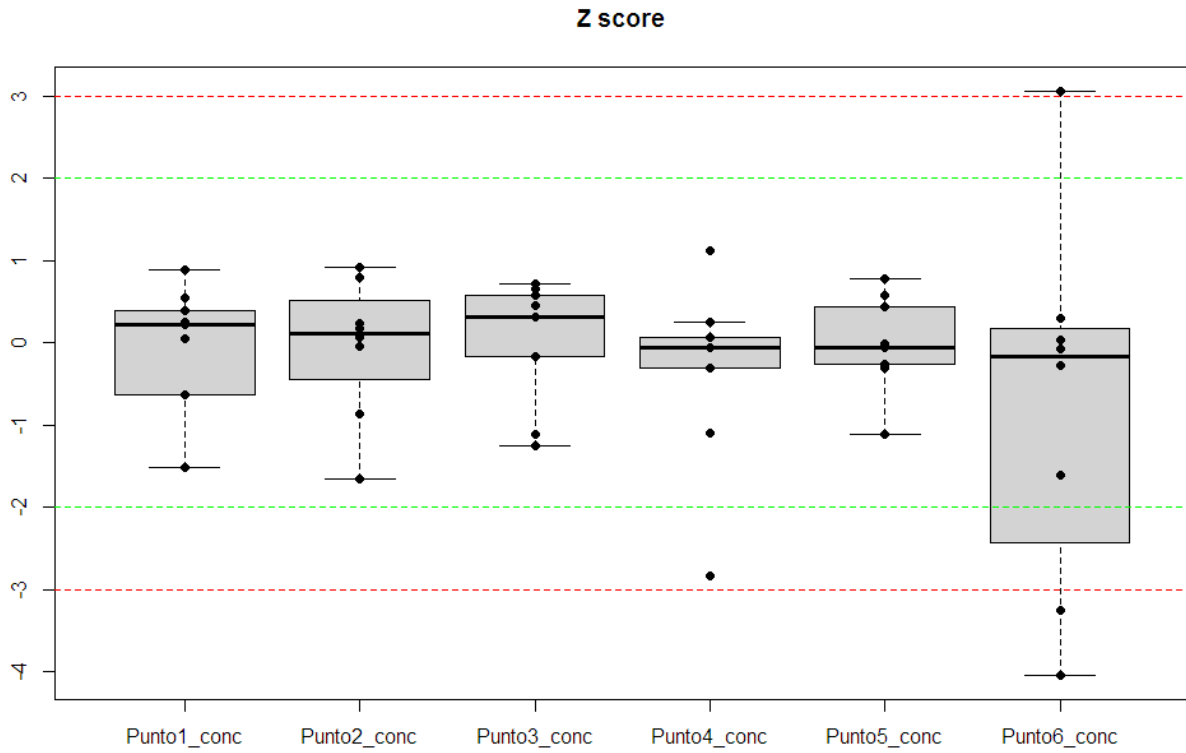
PARTECIPANTE 13

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
RnC [kBq/m ³]	10,4	12,0	8,2	6,3	13,0	1,8
U_{RnC} [kBq/m ³]						
R	0,87	0,83	1,11	0,78	1,09	0,19
D %	-0,13	-0,17	0,11	-0,22	0,09	-0,81
z -score	0,63	0,86	0,54	1,11	0,46	4,04
ζ -score	2,14	2,27	1,60	6,00	1,83	8,44

PARTECIPANTE 14

INDICATORE	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6
RnC [kBq/m ³]			8,0	8,5		
U_{RnC} [kBq/m ³]			1,2	1,3		
R			1,08	1,05		
D %			0,08	0,05		
z -score			0,41	0,25		
ζ -score			0,46	0,30		

BOXPLOT SITO 2 - Bessa – Z score



9. Radon in acqua: risultati e valutazione delle performance

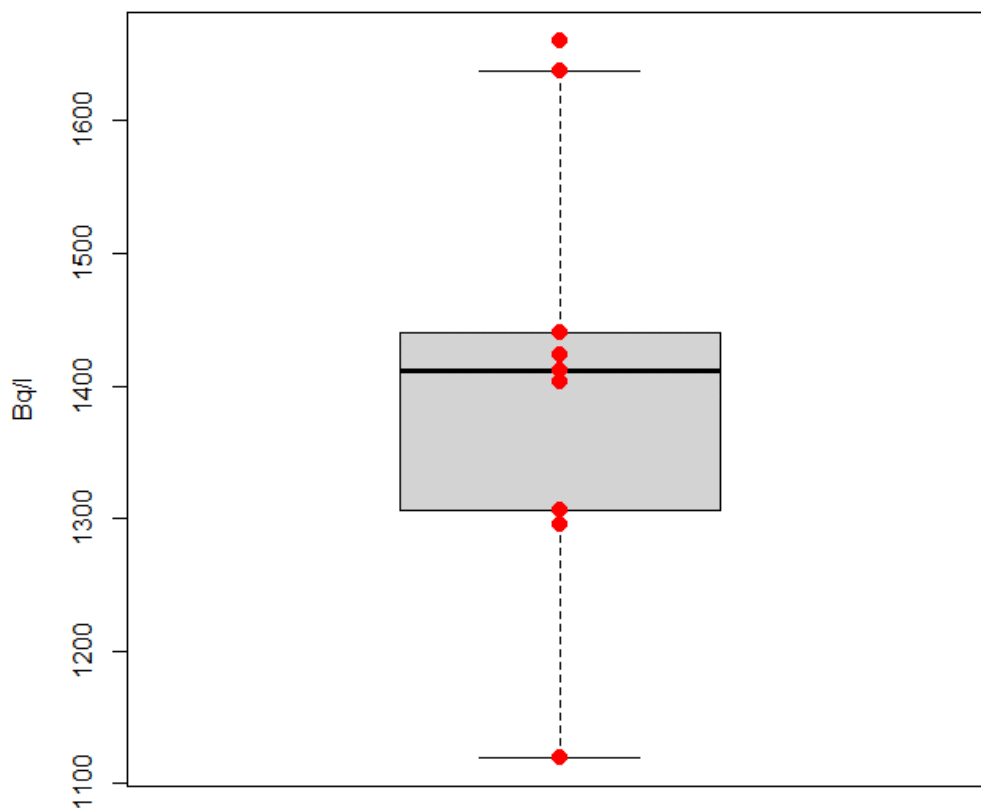
RISULTATI MISURE RADON IN ACQUA

Codice partecipante	Concentrazione di attività di radon in acqua comunicata dal partecipante (Bq/l)	Incertezza estesa (k=2) (Bq/l)
l'assegnazione del codice non è secondo l'ordine alfabetico dei partecipanti	x	$U(x)$
03	1440	318
05	1660	140
06	1403	314
07	1423	342
08	1295	160
10	1637	185
11	1411	157
12	1120	74
13	1306	200

VALUTAZIONI COMPLESSIVE

MA	1411 Bq/l	Media aritmetica partecipanti
σ	167 Bq/l	Deviazione standard
X	1412 Bq/l	Media robusta
σ_{rob}	186 Bq/l	Deviazione standard robusta
$\hat{\sigma}$	282 Bq/l	0,20*X
$u(X)$	78 Bq/l	Incertezza del valore di riferimento
$U(X)$	155 Bq/l	Incertezza estesa del valore di riferimento

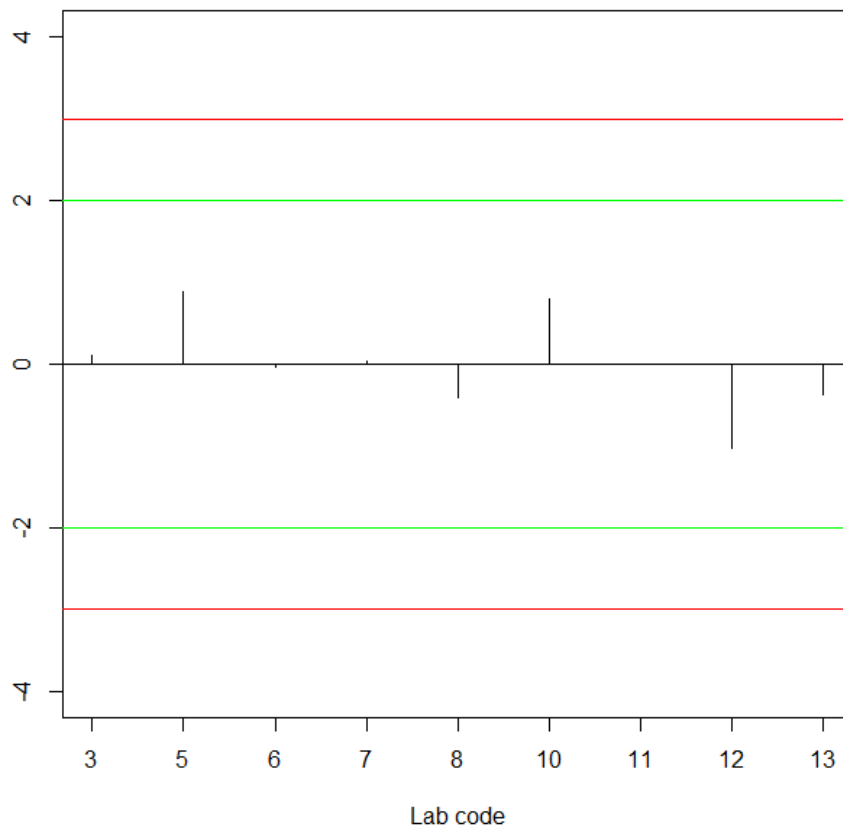
Concentrazioni radon in acqua



VALUTAZIONE DELLE PERFORMANCE

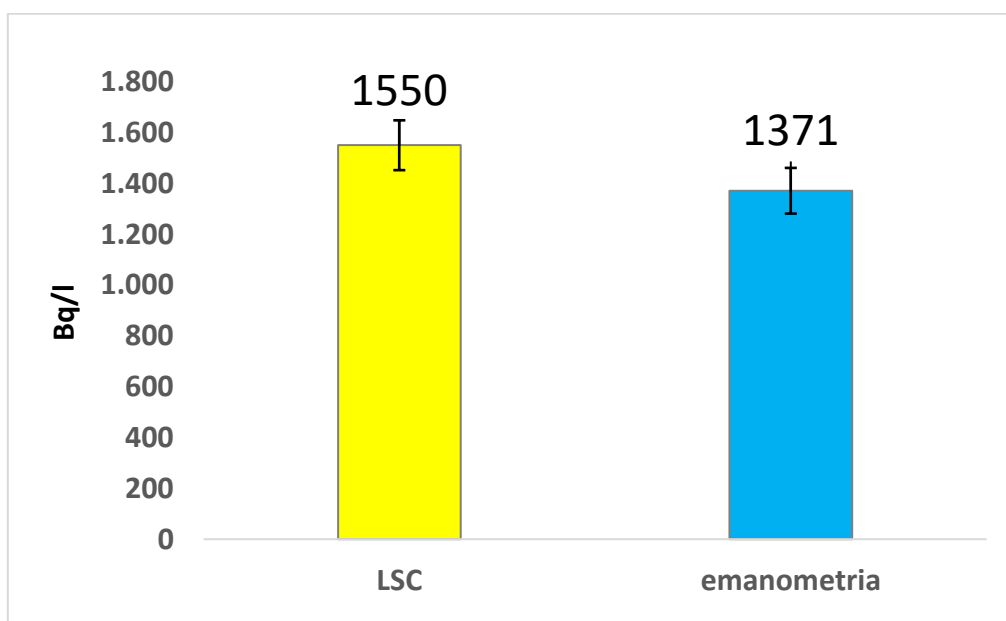
Codice partecipante	Rapporto	Differenza (Bq/l)	Differenza %	ζ score	Z score
03	1,0	28	2,0	0,2	0,1
05	1,2	248	17,6	2,4	0,9
06	1,0	-9	-0,6	0,0	0,0
07	1,0	11	0,8	0,1	0,0
08	0,9	-117	-8,3	-1,0	-0,4
10	1,2	225	15,9	1,9	0,8
11	1,0	-1	-0,1	0,0	0,0
12	0,8	-292	-20,7	-3,4	-1,0
13	0,9	-106	-7,5	-0,8	-0,4

Z score

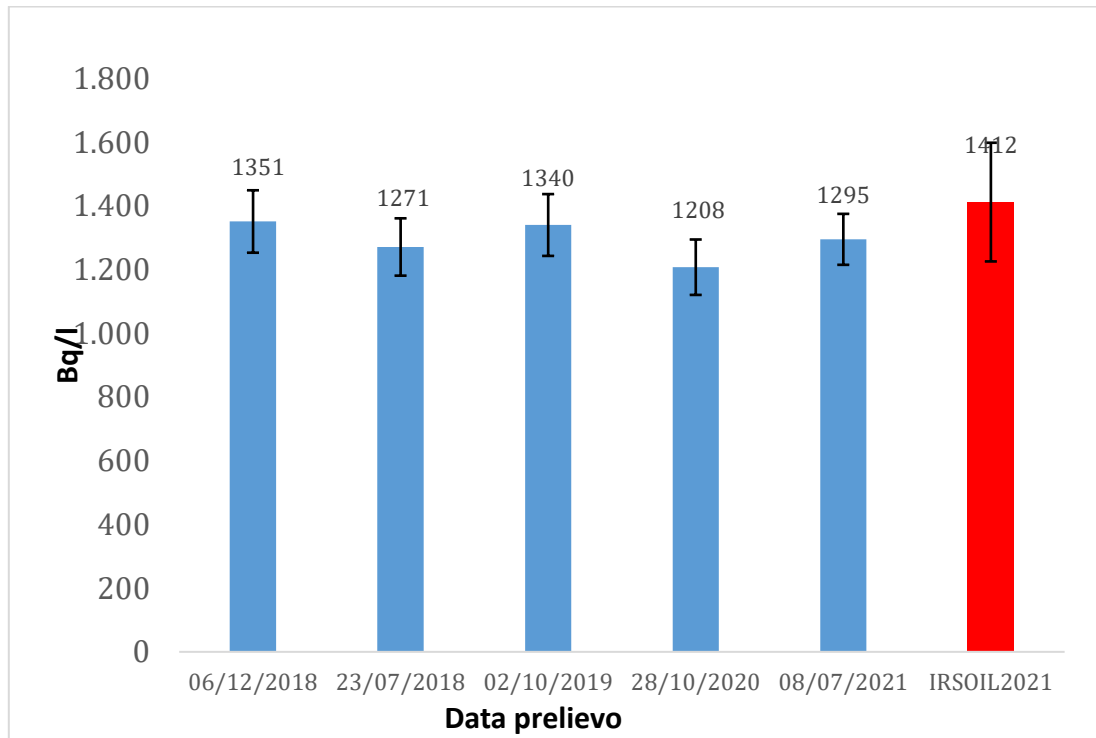


CONFRONTO TRA METODOLOGIE

Due laboratori hanno utilizzato la tecnica della scintillazione liquida mentre i restanti l'emanometria.



CONFRONTO TRA RISULTATO IRSOIL E SERIE STORICA





10. Conclusioni

La prima edizione 2021 di IRSOIL è stata caratterizzata da condizioni climatiche sfavorevoli per le abbondanti piogge che hanno condizionato l'esito della prima giornata di campionamento in valle Cervo. In entrambi i siti i laboratori partecipanti hanno comunque fornito risultati, non però in tutte le piazzole predisposte, per mancanza di tempo e per le condizioni meteo avverse e ciò ha reso, in parte, debole l'analisi statistica dei risultati.

Per ciascun sito si è comunque riscontrata una buona performance per i laboratori partecipanti, nonostante le difficoltà oggettive di campionamento. Solo in alcuni punti gli Z score di alcuni laboratori non sono risultati ottimali, ma ciò sembra più probabile da imputare alle caratteristiche puntuali della piazzola (difformità del suolo e presenza di acqua), piuttosto che alle capacità del laboratorio. Il toron, inoltre, ha reso più difficile l'esercizio, ingenerando una maggiore dispersione dei dati tra i laboratori che adottano o non adottano diverse tecniche di sottrazione e determinazione del contributo toron.

L'esercizio di interconfronto per la misura del radon in acqua, che ha coinvolto solo parte dei partecipanti, ha messo in evidenza un ottimo risultato sia in termini di Z score che di sovrapposibilità dei risultati ottenuti tra metodi diversi e rispetto alla serie storica di misure sulla sorgente considerata.

11. Ringraziamenti

Si ringraziano per la collaborazione:

- il Comune di Campiglia Cervo;

- l'Ente di Gestione delle Aree Protette del Ticino e del Lago Maggiore e la Riserva Naturale Speciale della Bessa;

- I partecipanti tutti:



12. Bibliografia

ISO/IEC 17043

ISO 13528