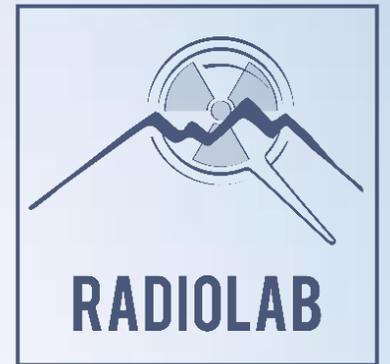




# Spring School

## Misure di radon in acqua

### Vibo Valentia-29-30 aprile 2022



# Radon nelle acque potabili e il Decreto Legislativo n.28/2016

**Dott. Giuseppe La Verde**

INFN sezione di Napoli

Dipartimento di Fisica «E.Pancini»

Università degli Studi di Napoli Federico II

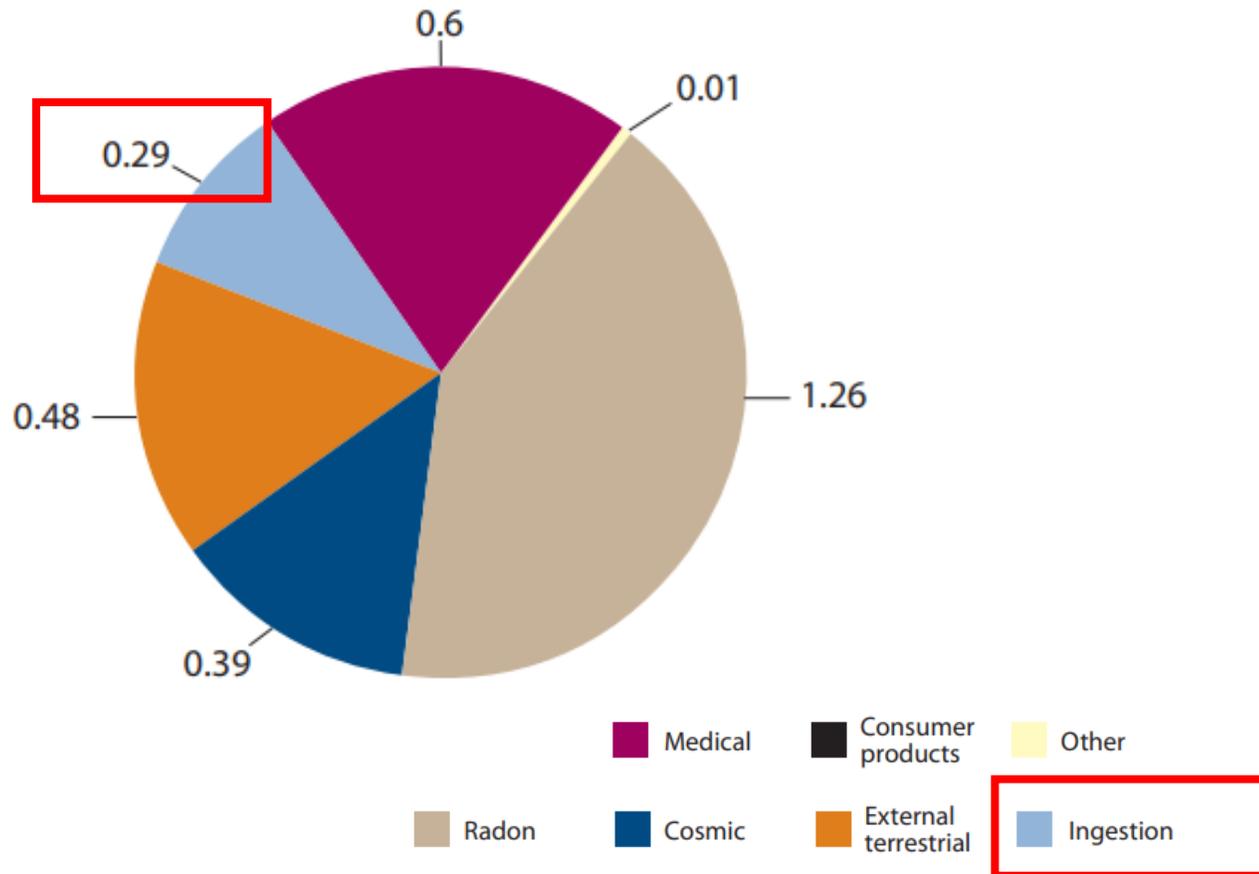
Laboratorio di Radioattività (LaRa)

UNI EN ISO 9001:2015



# Fonti di radiazione ambientale e dose media annua (mSv)

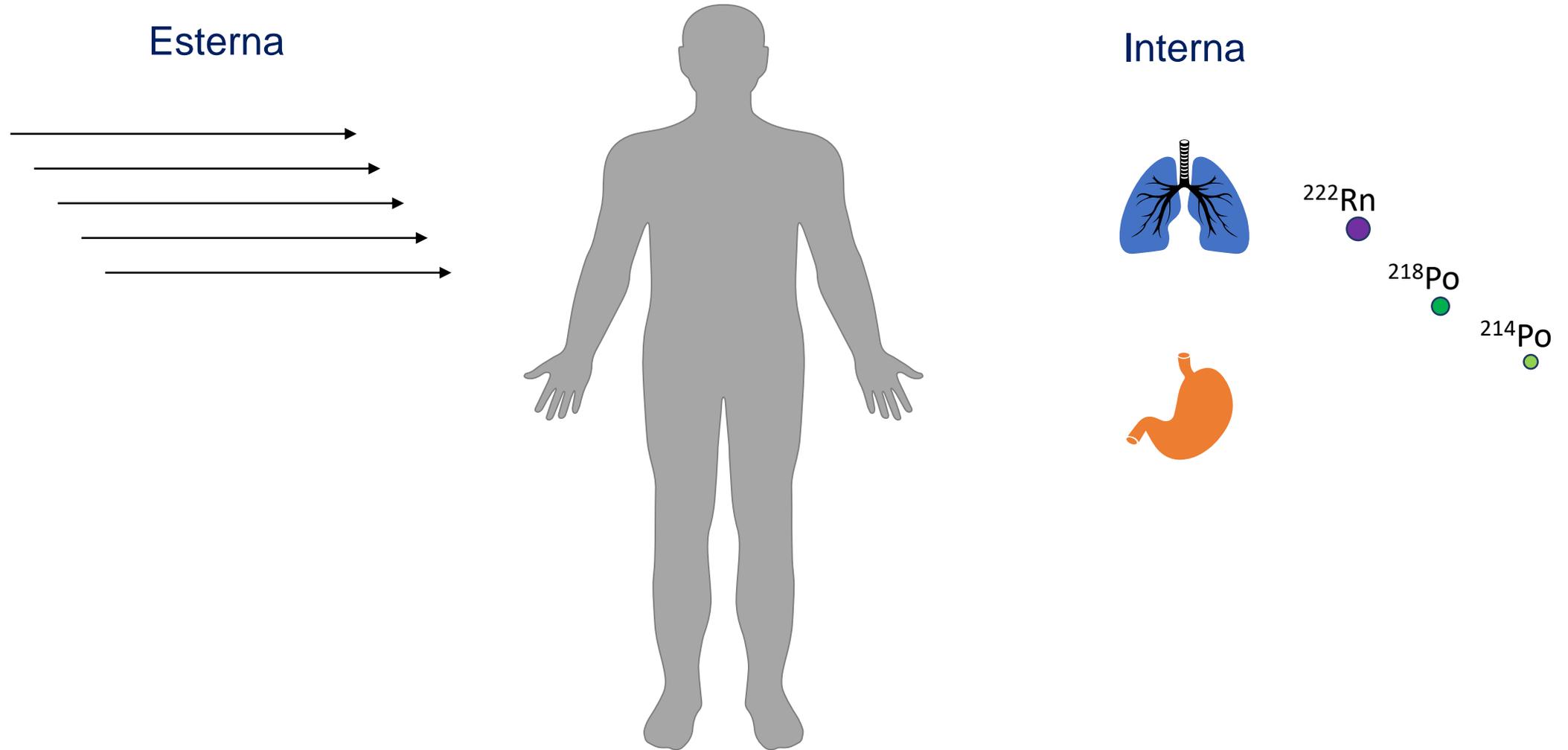
United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation  
GLOBAL (UNSCEAR 2008)



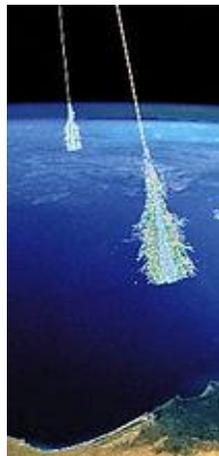
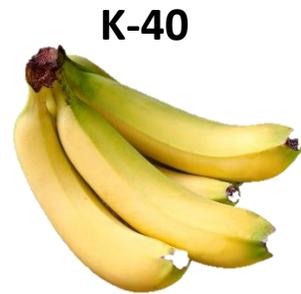
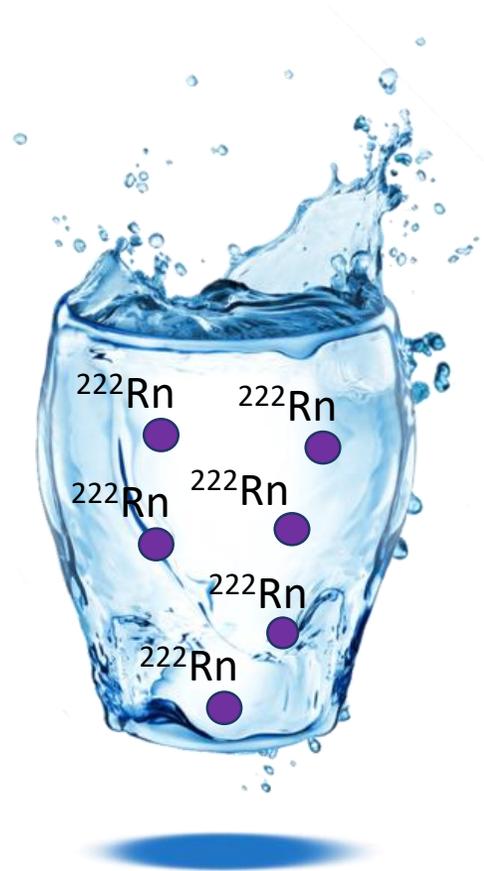
Source or mode	Annual average dose (worldwide)	Typical range of individual doses
<b>Natural sources of exposure</b>		
Inhalation (radon gas)	1.26	0.2–10
External terrestrial	0.48	0.3–1
Ingestion	0.29	0.2–1
Cosmic radiation	0.39	0.3–1
<b>Total natural</b>	<b>2.4</b>	<b>1–13</b>
<b>Artificial sources of exposure</b>		
Medical diagnosis (not therapy)	0.6	0-several tens
Atmospheric nuclear testing	0.005	Some higher doses around test sites still occur.
Occupational exposure	0.005	~0–20
Chernobyl accident	0.002 <sup>b</sup>	In 1986, the average dose to more than 300,000 recovery workers was nearly 150 mSv; and more than 350,000 other individuals received doses greater than 10 mSv.
Nuclear fuel cycle (public exposure)	0.000 2 <sup>b</sup>	Doses are up to 0.02 mSv for critical groups at 1 km from some nuclear reactor sites.
<b>Total artificial</b>	<b>0.6</b>	<b>From essentially zero to several tens</b>

# Esposizione totale

$$E = E_{ext} + \sum_j h(g)_{j,ing} \cdot J_{j,ing} + \sum_j h(g)_{j,ina} \cdot J_{j,ina}$$



# Radiazione «interna»





# Come arriva il Radon in acqua?

## Esalazione

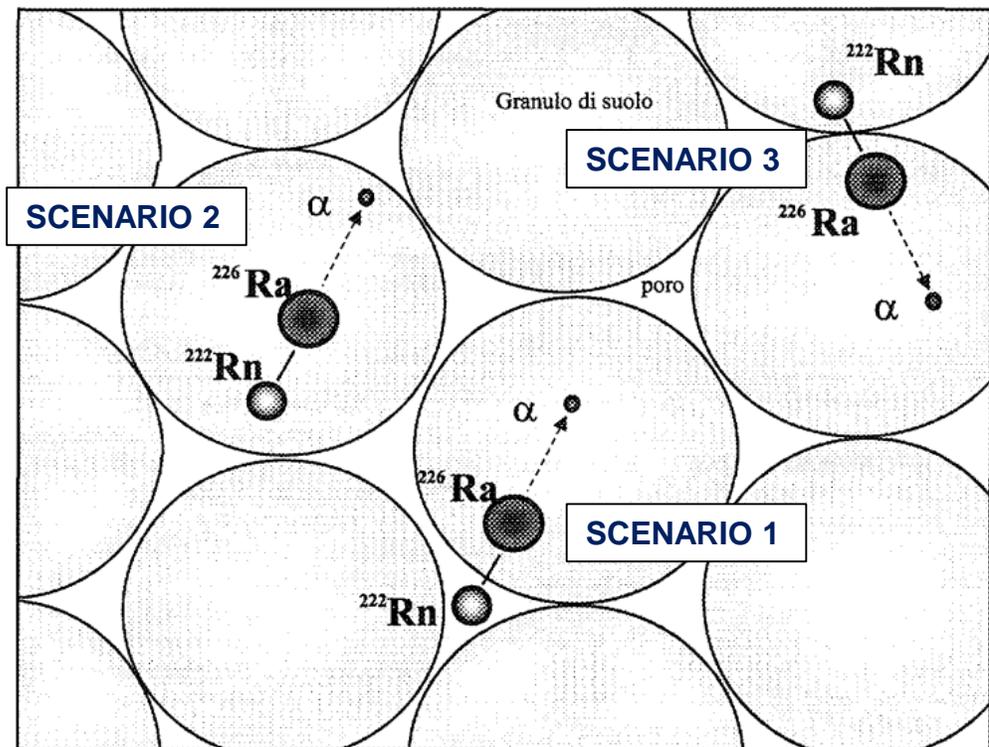


fig. 4: meccanismo di esalazione del radon nel suolo

20-70 nm il range di rinculo di un atomo di Radon all'istante della sua formazione dal decadimento del Radio

### SCENARIO 1

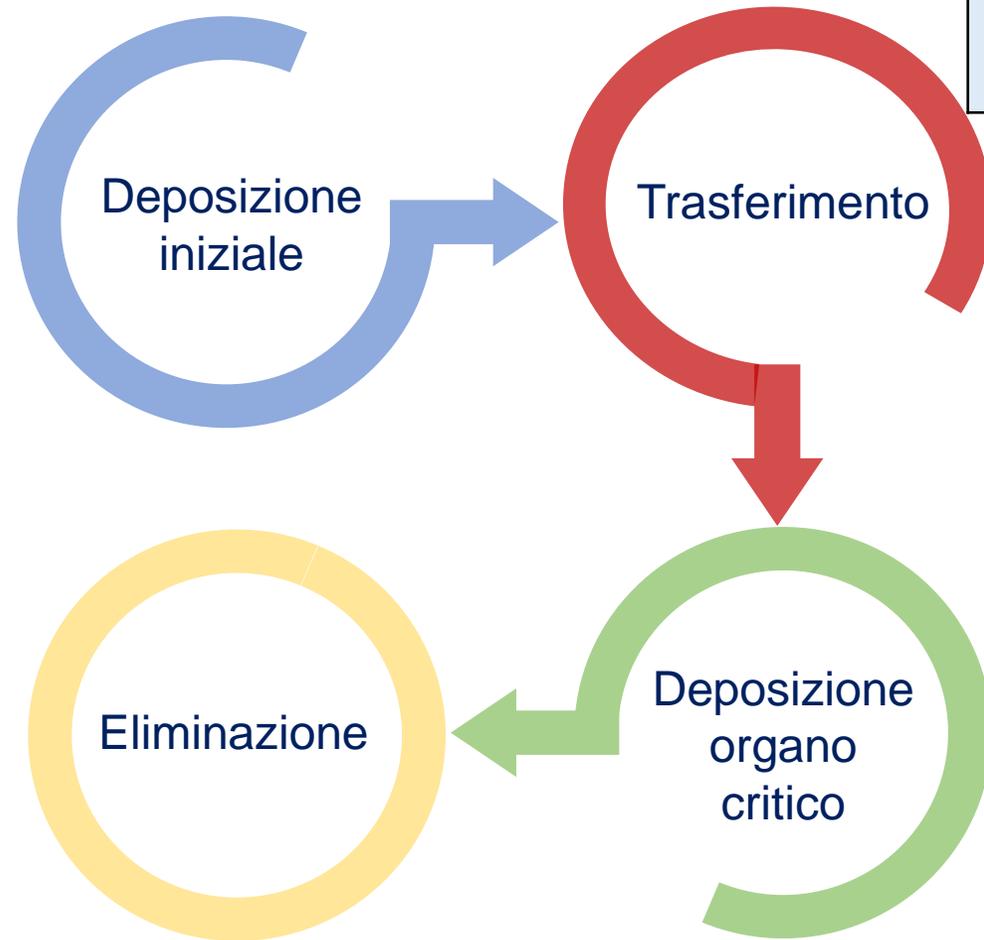
In aria per diffusione e/o convezione – centimetri e metri

In soluzione – pochi centimetri perché il fluido stesso è meno veloce dell'aria.

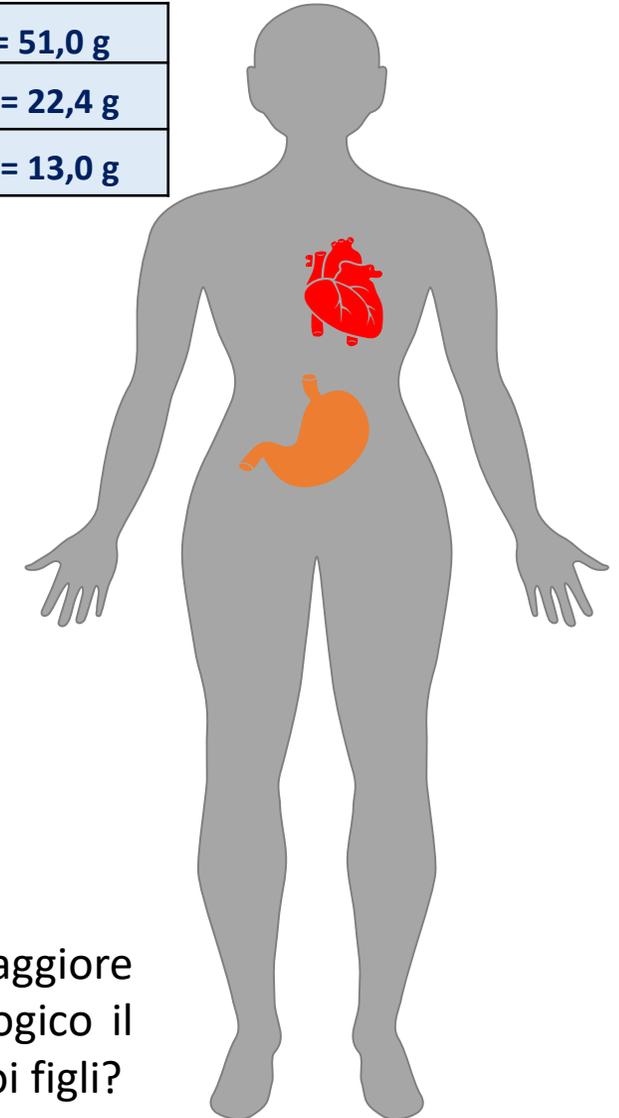
A volte alcuni parametri geologici possono facilitare la migrazione del fluido e quindi anche del radon. Un altro caso è quello in cui il fluido attraversa la roccia e trasporta via con se il radon.

10-40% di Radon riesce ad esalare migrando nei pori (SCENARIO 1) nella maggior parte dei casi non riesce ad uscire dal poro (SCENARIO 2) o migra direttamente in un altro poro (SCENARIO 3)

# Contaminazione interna da ingestione

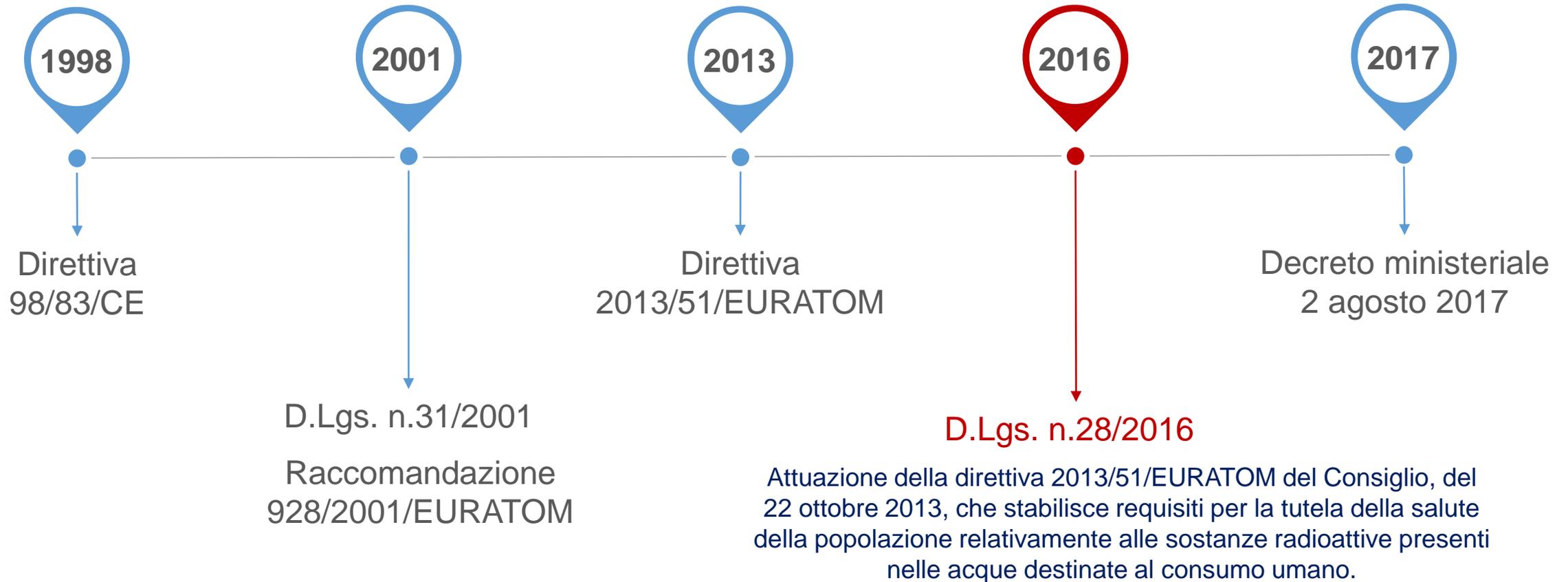


Solubilità in 100 g di H <sub>2</sub> O	a 0° C = 51,0 g
	a 25° C = 22,4 g
	a 50° C = 13,0 g



Chi ha un maggiore impatto biologico il Radon o i suoi figli?

# Normative radionuclidi in acqua potabile



# Ambito di applicazione

## acque destinate al consumo umano

- tutte le acque trattate o non trattate, destinate ad uso potabile, per la preparazione o la cottura di cibi e bevande, o per altri usi domestici, a prescindere dalla loro origine, siano esse fornite tramite una rete di distribuzione, mediante cisterne, in bottiglie o altri contenitori;
- tutte le acque utilizzate in un'impresa alimentare per la fabbricazione, il trattamento, la conservazione o l'immissione sul mercato di prodotti o sostanze destinati al consumo umano;



# Ambito di esenzione

## acque minerali

1. Sono considerate acque minerali naturali le acque che, avendo origine da una falda o giacimento sotterraneo, provengono da una o più sorgenti naturali o perforate e che hanno caratteristiche igieniche particolari e, eventualmente, proprietà favorevoli alla salute.
2. Le acque minerali naturali si distinguono dalle ordinarie acque potabili per la purezza originaria e sua conservazione, per il tenore in minerali, oligoelementi o altri costituenti ed, eventualmente, per taluni loro effetti.

***D.Lgs. n.176/2011 art.2***

## Acque medicinali

1. ogni sostanza o associazione di sostanze presentata come avente proprietà curative o profilattiche delle malattie umane;
2. ogni sostanza o associazione di sostanze che può essere utilizzata sull'uomo o somministrata all'uomo allo scopo di ripristinare, correggere o modificare funzioni fisiologiche, esercitando un'azione farmacologica, immunologica o metabolica, ovvero di stabilire una diagnosi medica.

***D.Lgs. n. 219/2006***

**acque destinate al consumo umano** provenienti da una singola fonte che ne eroga in media meno di 10 m<sup>3</sup> al giorno o che approvvigiona meno di 50 persone, escluse le acque fornite nell'ambito di una attività commerciale o pubblica

# Dove si effettuano i campionamenti

- nel punto in cui le acque fornite attraverso una rete di distribuzione idrica fuoriescono dai rubinetti;
- nel punto in cui le acque fuoriescono dalla cisterna;
- nel punto in cui le acque sono imbottigliate o introdotte nei contenitori;
- per le acque utilizzate nelle imprese alimentari, nel punto in cui sono utilizzate nell'impresa.



## **Controlli esterni**

Sono i controlli effettuati dagli enti pubblici, volti a verificare che l'acqua destinata al consumo umano sia conforme ai requisiti stabiliti nel decreto legislativo. (Controllo ufficiale)

## **Controlli interni.**

Sono effettuati dai gestori e sono volti a garantire che l'acqua fornita si conformi ai requisiti stabiliti nel decreto legislativo.

# Frequenza dei campionamenti

Volume di acqua m <sup>3</sup> /giorno <sup>(1)</sup>	Numero di campioni all'anno
≤ 100	da stabilire secondo le indicazioni a carattere tecnico-scientifico <sup>(2)</sup> , non inferiore a 1 campione ogni 3 anni per volumi superiori a 10 m <sup>3</sup> /giorno
1 000 < v ≤ 10 000	minimo=2, massimo=4
10 000 < v ≤ 100 000	minimo=5, massimo=13
v > 100 000	minimo=15

<sup>(1)</sup> I volumi rappresentano una media su un anno civile

<sup>(2)</sup> Decreto ministeriale 2 agosto 2017.

È possibile basarsi sul numero di abitanti serviti dalla rete di distribuzione invece che sul volume d'acqua distribuito, assumendo un consumo di 0,2 m<sup>3</sup> pro capite al giorno.

Volume di acqua confezionato ogni giorno (in m <sup>3</sup> /d)	Numero di campioni all'anno
volume ≤ 1	1
1 < volume ≤ 10	1
10 < volume ≤ 100	1 + 1 per ogni 33 m <sup>3</sup> /d del volume totale e relativa frazione (min=2, max=4)
100 < volume ≤ 1000	3 + 1 per ogni 100 m <sup>3</sup> /d del volume totale e relativa frazione (min=5, max=13)
volume > 1000	10 + 1 per ogni 250 m <sup>3</sup> /d del volume totale e relativa frazione (min=15)

# Valori di parametro

Parametro	Valore di parametro
Radon	100 Bq/L
Trizio	100 Bq/L
DI*	0.1 mSv/anno

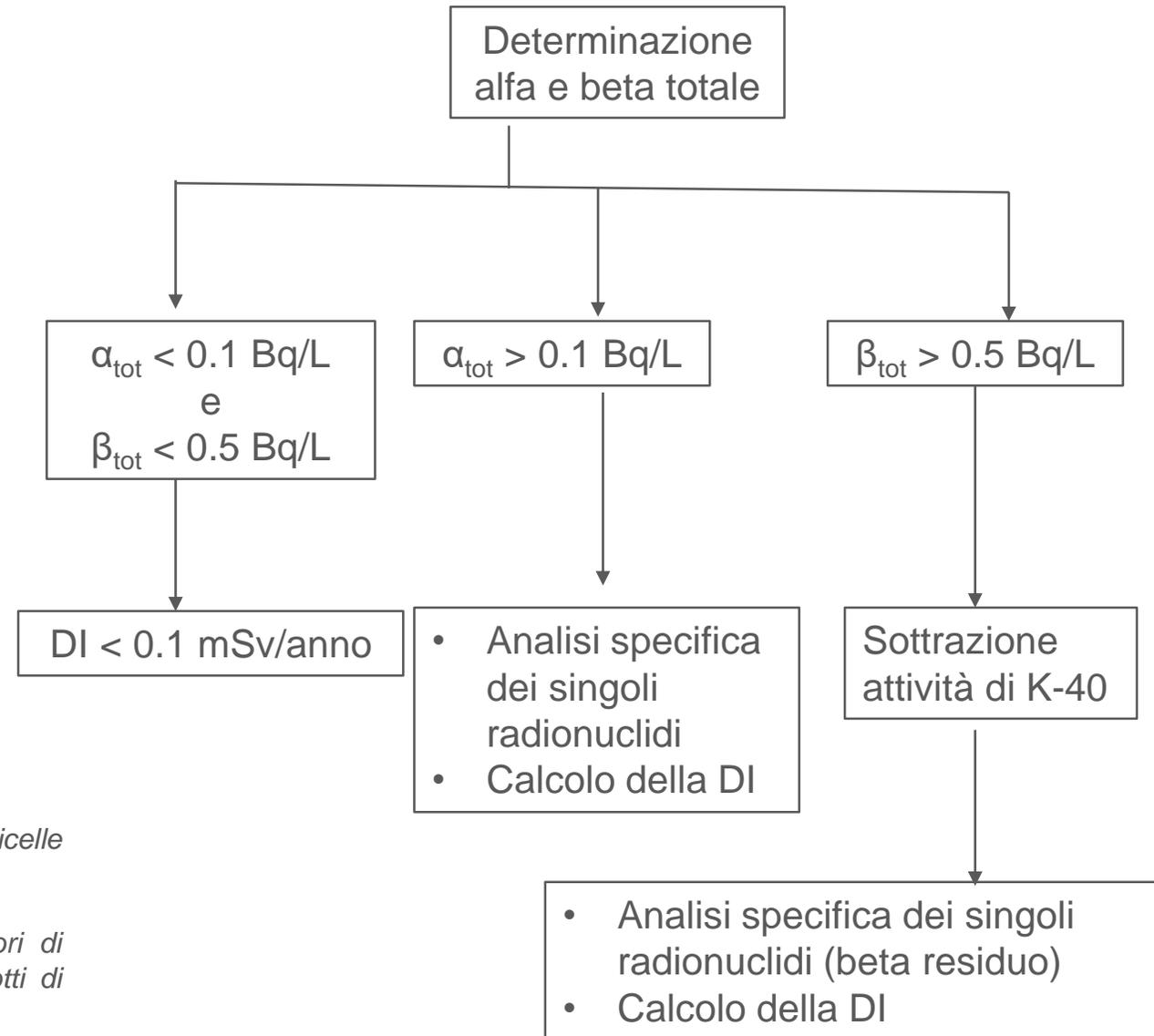
\*«dose indicativa» o «DI»: dose efficace impegnata per un anno di ingestione risultante da tutti i radionuclidi, di origine naturale e artificiale, la cui presenza è stata rilevata nella fornitura di acque destinate al consumo umano ad eccezione di trizio, potassio-40, radon e prodotti di decadimento del radon a vita breve.

## Screening

Parametro	Livello di screening
Alfa totale*	0.1 Bq/L
Beta totale**	0.5 Bq/L

\*Alfa totale (concentrazione di attività) = Attività totale di tutti gli emettitori di particelle alfa, eccetto radon e prodotti di decadimento a vita breve

\*\*Beta totale (concentrazione di attività) = Attività totale di tutti gli emettitori di particelle beta, eccetto emettitori di particelle beta di bassa energia e prodotti di decadimento del radon a vita breve



# il rispetto della DI è garantito se è soddisfatta la formula

$$\sum_1^n \frac{C_i(obs)}{C_i(der)} \leq 0.1$$

dove:

- $C_i(obs)$ , concentrazione osservata del radionuclide i-esimo,
- $C_i(der)$ , concentrazione derivata del radionuclide i-esimo.

QUANDO QUESTA CONDIZIONE NON SI VERIFICA ALLORA SI DOVRÀ PROCEDERE AL CALCOLO DELLA DOSE INDICATIVA.

Origine	Radionuclide	decadimento	derivata
Naturale	U-238 (2)	Alfa	3,0 Bq/l
	U-234 (2)	Alfa	2,8 Bq/l
	Ra-226	Alfa	0,5 Bq/l
	Ra-228	Beta	0,2 Bq/l
	Pb-210	Beta	0,2 Bq/l
	Po-210	Alfa	0,1 Bq/l
	Artificiale	C-14	Beta
Sr-90		Beta	4,9 Bq/l
Pu-239/Pu-240		Alfa	0,6 Bq/l
Am-241		Alfa	0,7 Bq/l
Co-60		Beta	40 Bq/l
Cs-134		Beta	7,2 Bq/l
Cs-137		Beta	11 Bq/l
I-131		Beta	6,2 Bq/l

In caso di **superamento** come valore medio annuo di uno dei valori di parametro, **ASL** comunica tale superamento al gestore e, avvalendosi di **ARPA**:

- valuta i rischi per la salute a cui è esposta la popolazione interessata
- esamina, avvalendosi della collaborazione del gestore interessato, i dati relativi al superamento al fine di individuarne la causa
- individua, se necessario, i provvedimenti correttivi e le misure cautelative

La **Regione** invia tempestivamente al **Ministero della salute** la documentazione relativa alla valutazione dei rischi

Il **sindaco**, cooperando con il **gestore**, adotta le misure cautelative a tutela della salute pubblica

La popolazione sia tempestivamente e adeguatamente informata della valutazione del rischio nonché degli eventuali provvedimenti correttivi e misure cautelative adottati



# Tecniche di misura

UNI EN ISO  
9698

Misure di  
Trizio



Wallac 1220 Quantulus  
PerkinElmer®

Misure di alfa totale



Rivelatori ULTRAAS  
Spettrometro Alpha Duo Ortec®

EPA 900



Misure di beta totale



Umo LB 123 Activity monitor e sonda  
Berthold Technologies

E-PERM



Misure di radon

Apparato di misura radon in acqua  
E-Perm®

UNI EN ISO  
13164:1



# Camera di diffusione ad elettrete

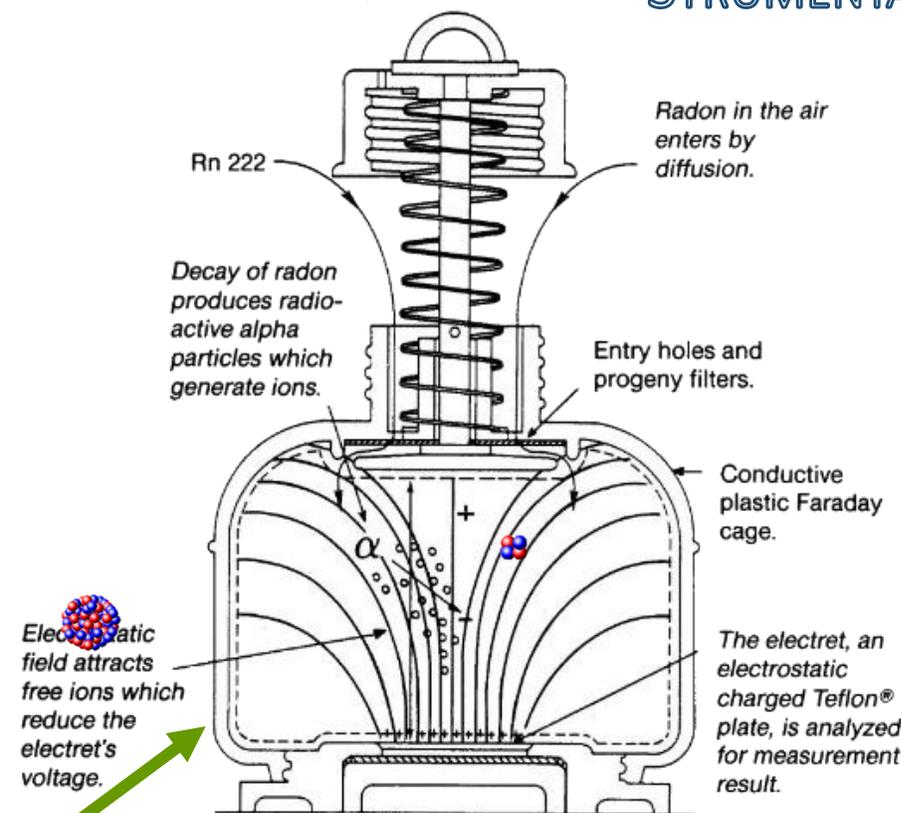
## Sistema E-PERM

STRUMENTAZIONE PASSIVA

I rivelatori ad elettrete sono costituiti da una camera di diffusione alla quale è agganciato un disco di teflon precedentemente caricato elettricamente ad una tensione di riferimento nota.

Il radon diffonde insieme all'aria all'interno della camera di raccolta, raggiunge l'equilibrio e decade.

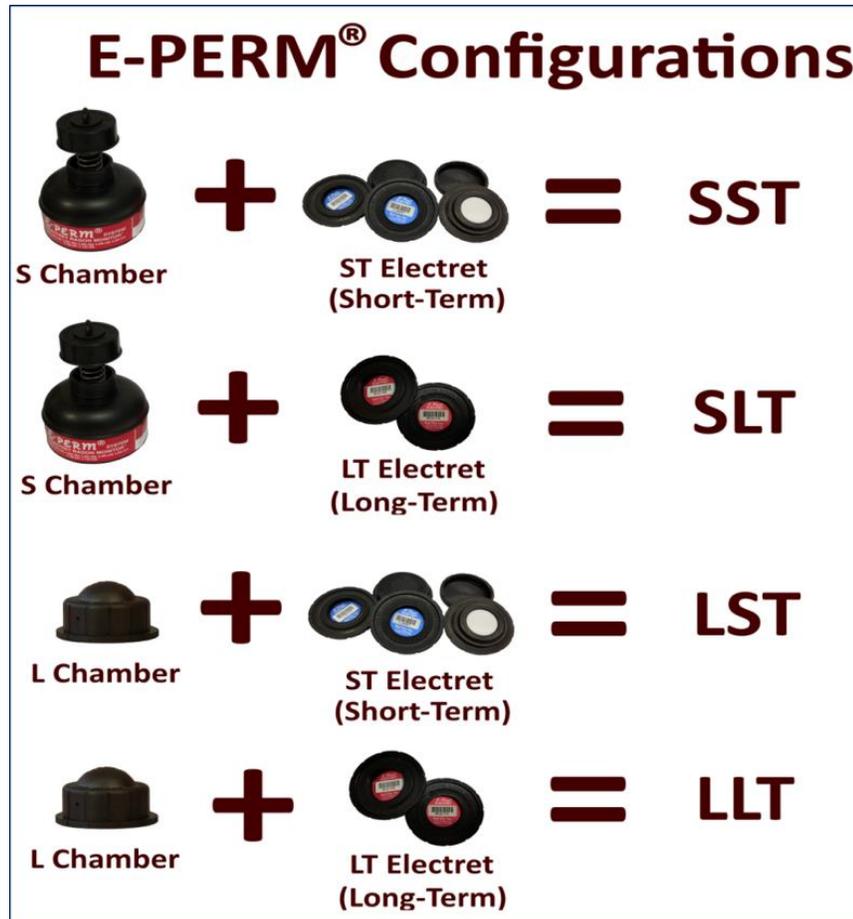
Quando un atomo Rn222 decade e la particella alfa emessa ionizza l'aria contenuta in essa, il disco di teflon raccoglie gli ioni prodotti e perde una parte della sua carica.



Camera di raccolta

disco di teflon

# Configurazioni e Lettura del voltaggio



**SST = 1 – 7 giorni**

**LST = 30 – 90 giorni**

**LLT = 6 – 12 mesi**

**SLT = 15 – 30 giorni**



La variazione di carica complessiva del disco dopo l'esposizione ci dice quanto è stato irraggiato.

# Calcolo della concentrazione di attività di radon

$$CRn(\text{water}) = CRn \cdot B1 \cdot B2 \cdot B3$$


$$CRn = \left[ \frac{(Vi - Vf)}{(CF \cdot T)} - G_\gamma C1 \right] \cdot 37$$

dove:

- CRn: concentrazione di radon misurata nell'aria all'interno del barattolo con le equazioni [Bq / L];
- B1\*: periodo tra la raccolta del campione d'acqua e l'inizio della misura [h];
- B2\*: periodo di misurazione [h];
- B3: rapporto tra il volume del barattolo e il volume del campione d'acqua, è una costante (4000ml volume della giara -136ml volume del campione di acqua)

Più in dettaglio

$$* \quad B_1 = e^{\lambda \times TD}$$
$$B_2 = \frac{\lambda \times TA}{1 - e^{(-\lambda \times TA)}}$$

TD è il periodo di ritardo tra il tempo di raccolta del campione d'acqua e la misurazione ora di inizio del campione, TA è la misura periodo dal momento dell'inserimento della bottiglia di campionamento nel barattolo fino alla rimozione dell'E-PERM e  $\lambda = 0,1814$  è la costante di decadimento del radon in unità per giorno.

$$CF = C2 + C3 \cdot (Vi + Vf)/2$$

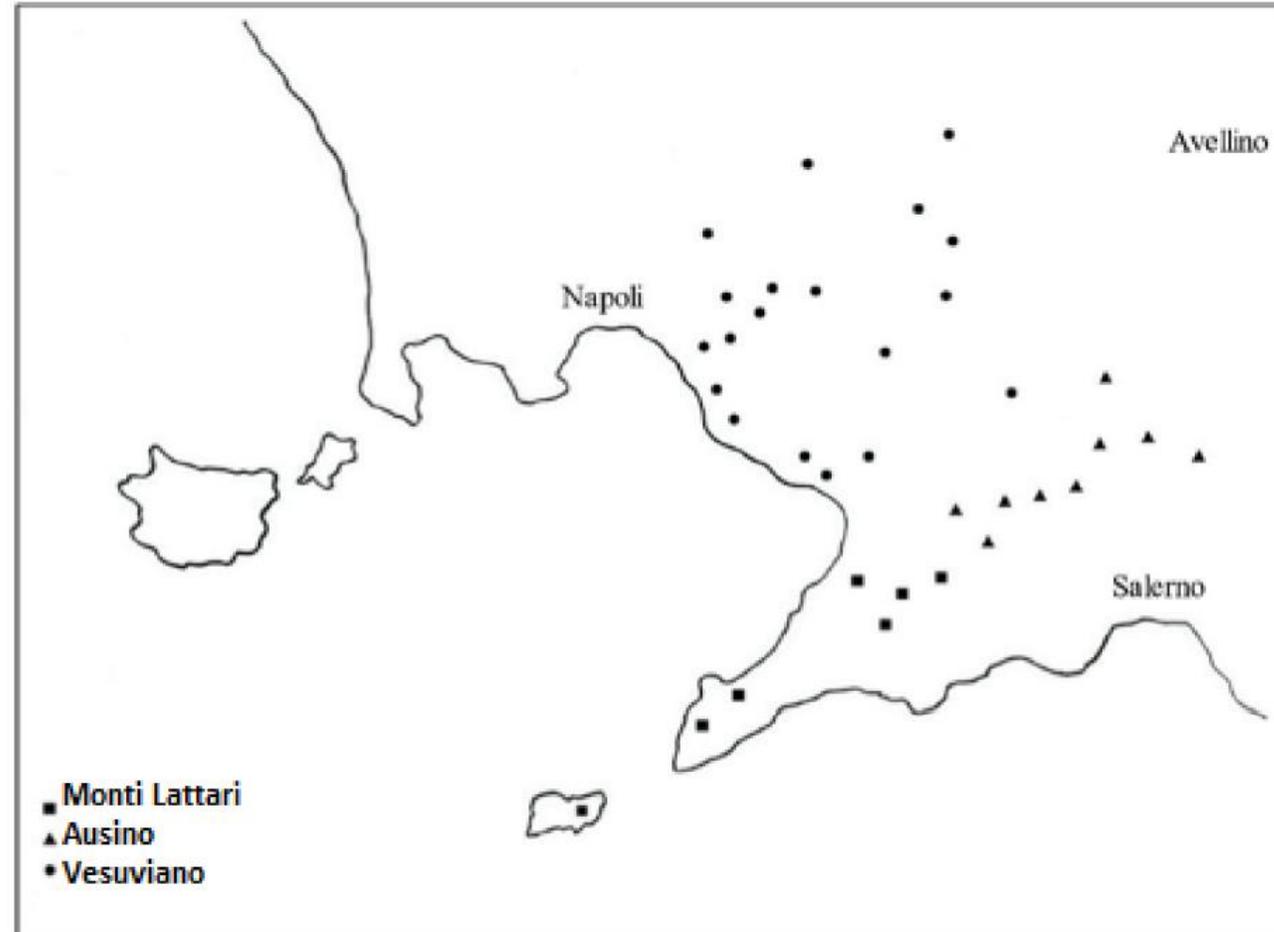
dove:

- Vi e Vf: letture della tensione dell'elettretre rispettivamente prima e dopo l'esposizione [V];
- T: tempo di esposizione [d];
- G $\gamma$ : fondo di radiazione gamma [ $\mu R \cdot h^{-1}$ ];
- C1 = 0.097, C2 = 1.670, C3 = 0.0005742, costanti fornite dal produttore in funzione della configurazione e del volume della camera E-Perm<sup>®</sup>.

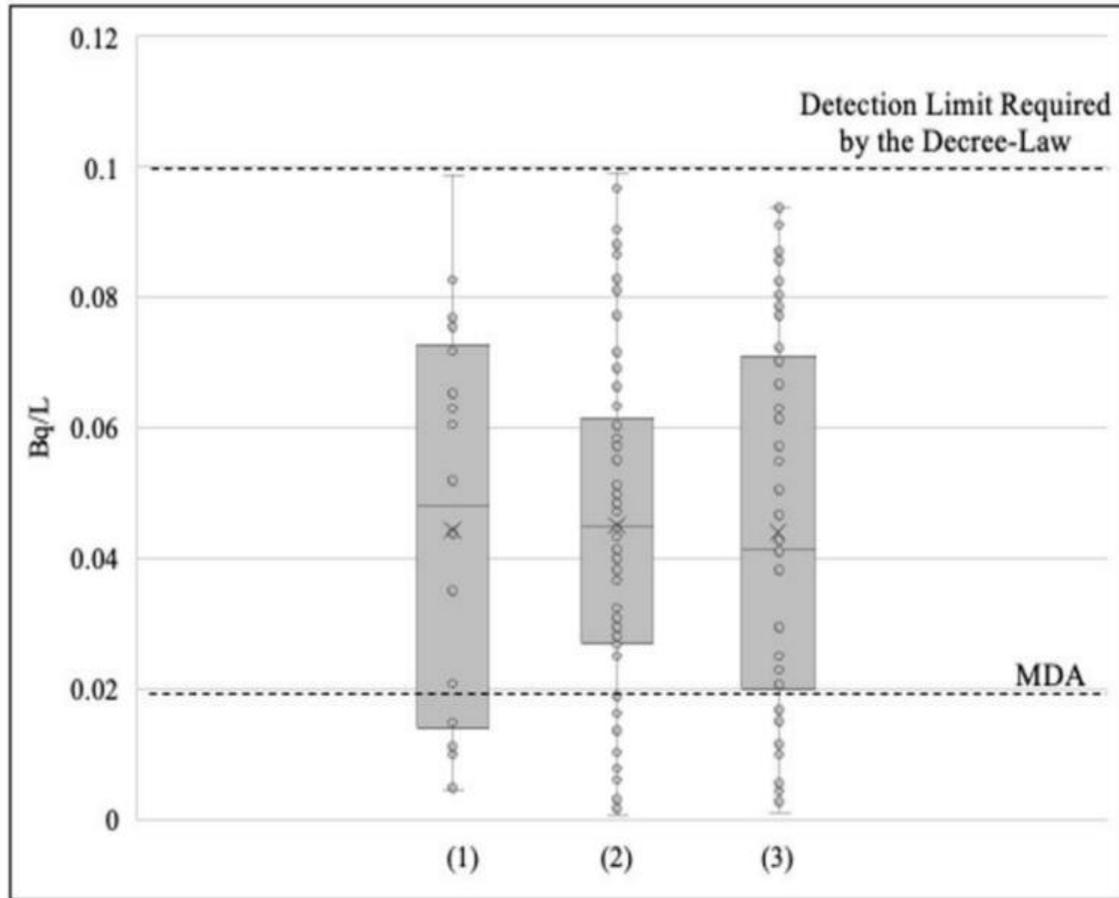
Article

# Measurement of Natural Radionuclides in Drinking Water and Risk Assessment in a Volcanic Region of Italy, Campania

Giuseppe La Verde <sup>1,2,\*</sup> , Valeria Artiola <sup>3</sup>, Vittoria D'Avino <sup>1,2</sup> , Marco La Commara <sup>1,4</sup>, Marianna Panico <sup>5</sup>, Salvatore Polichetti <sup>5</sup> and Mariagabriella Pugliese <sup>1,2</sup> 

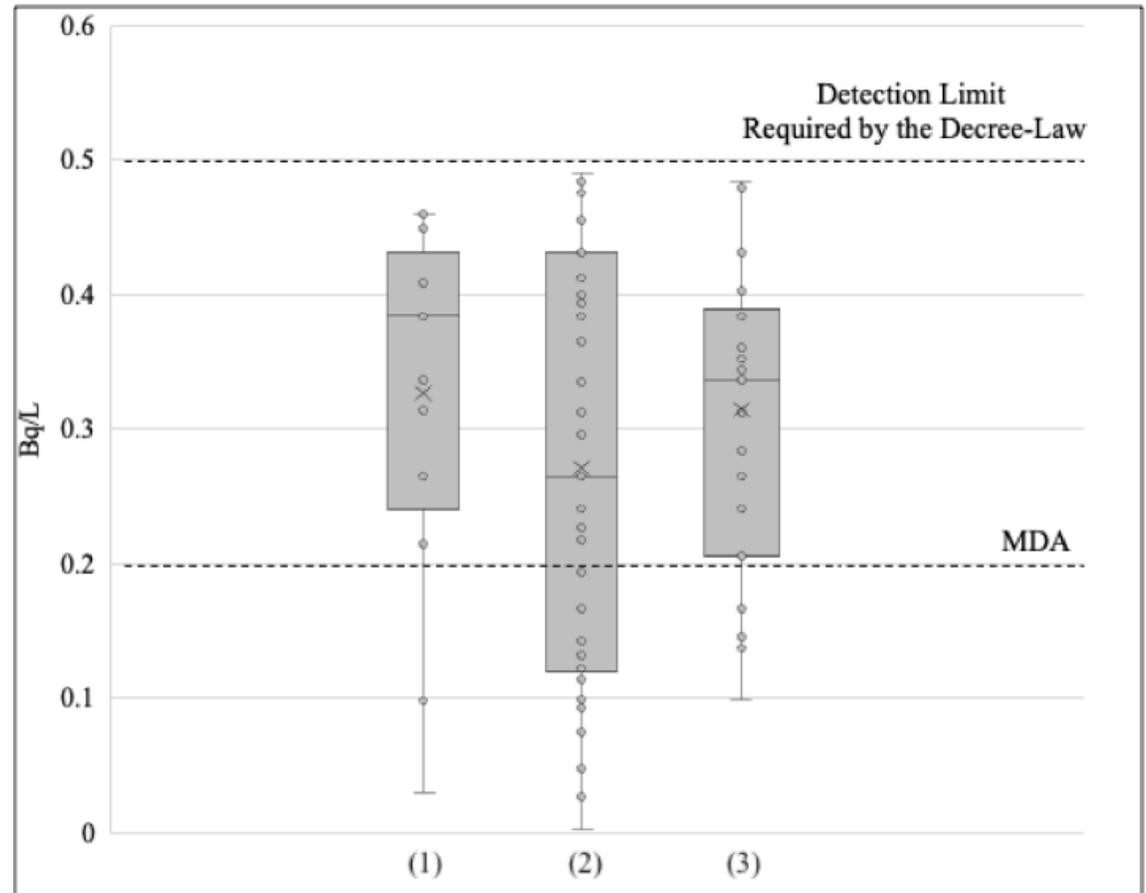


# Alfa totale

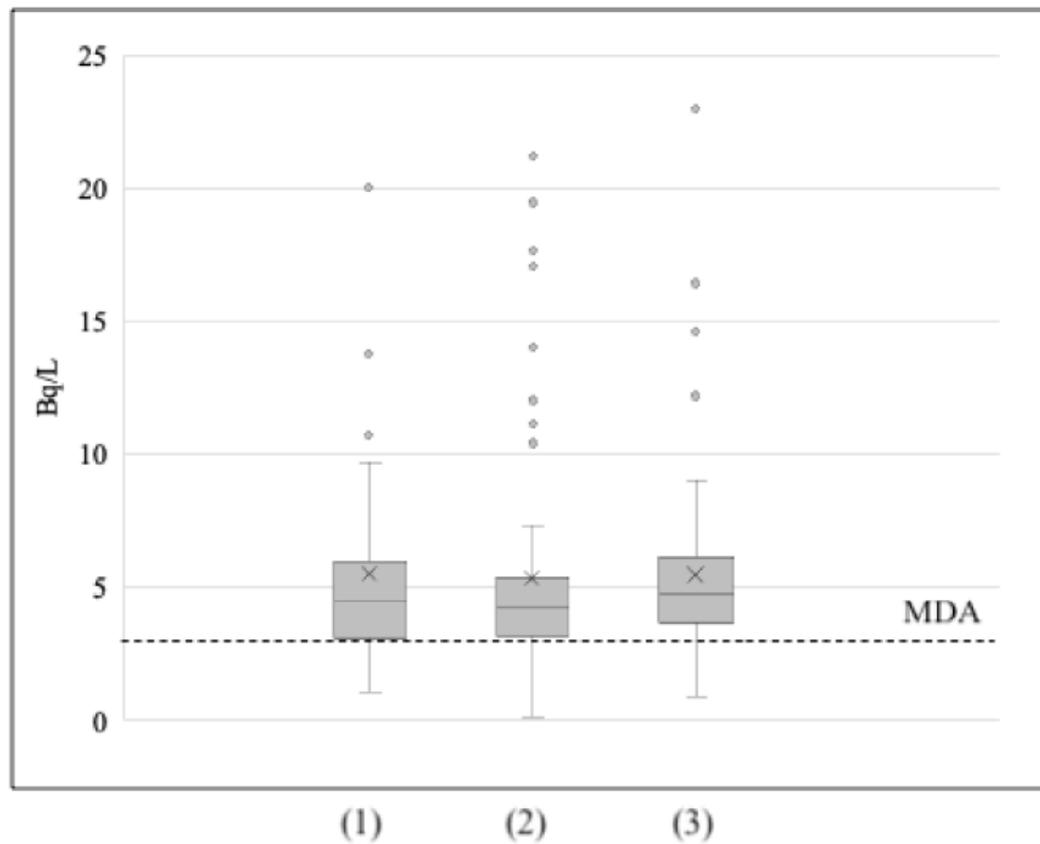


- 1. Monti Lattari
- 2. Ausino
- 3. Vesuviano

# Beta totale

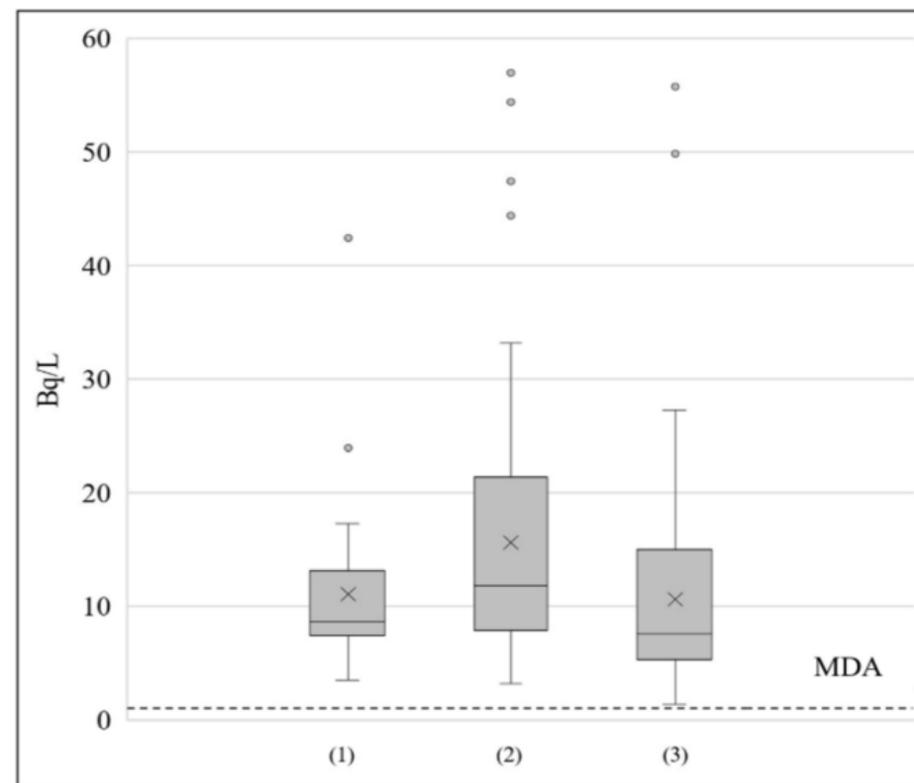


# Attività di Trizio



- 1. Monti Lattari
- 2. Ausino
- 3. Vesuviano

# Attività di Radon



# Grazie per l'attenzione

*«Niente nella vita va temuto, dev'essere solamente compreso. Ora è tempo di comprendere di più, così possiamo temere di meno»...*

*Marie Skłodowska Curie*

*«... e così il bicchiere sarà sempre mezzo pieno»*

*Giuseppe La Verde*

**Dott. Giuseppe La Verde**

**Mail: [glaverde@na.infn.it](mailto:glaverde@na.infn.it)**

INFN sezione di Napoli

Dipartimento di Fisica «E.Pancini»

Università degli Studi di Napoli Federico II

Laboratorio di Radioattività (LaRa)

