

La mappa del radon del Piemonte

Mauro Magnoni

ARPA Piemonte - Dipartimento Rischi Fisici e Tecnologici

Via Jervis, 30 – 10015 Ivrea (TO)

Seminario: La mappa del radon in Piemonte: un aggiornamento ai sensi del D. Lgs. 101/202

26 maggio 2023, Torino ARPA Piemonte, Via Pio VII, 9

Il gruppo radon di ARPA Piemonte

- Il lavoro che stiamo presentando oggi è un lavoro collettivo ed è risultato finale e sintesi di tanti anni di lavoro e approfondimenti
- Un ringraziamento speciale questo traguardo va quindi a tutto il «gruppo radon» di ARPA Piemonte per averci consentito di raggiungere il risultato :

***Enrico Chiaberto, Paolo Falletti, Anna Prandstatter,
Elena Serena, Rosamaria Tripodi***

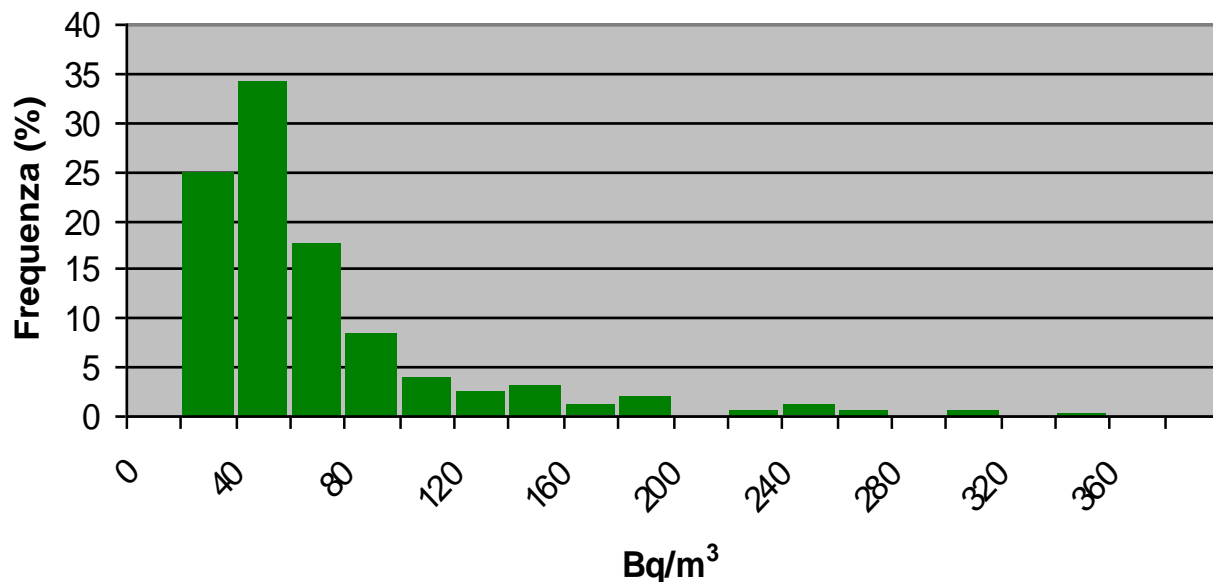
Perché produrre una mappa del radon ?

- E' la legge che lo richiede: **art. 11 del D. Lgs. 101/2020**, intitolato infatti ***Individuazione delle aree prioritarie***
- Ma perché la legge lo richiede ?
- Sono note infatti le peculiarità del fenomeno radon, con la sua proverbiale aleatorietà, sia nel tempo che nello spazio
- Questo avrebbe dovuto scoraggiare di intraprendere un'impresa che, come vedremo, ha le sue difficoltà
- Un indizio del perché è utile una mappa del radon lo si può trovare nell'aggettivo scelto per definire le aree dove il radon può presentarsi in concentrazioni elevate: ***aree prioritarie***, appunto

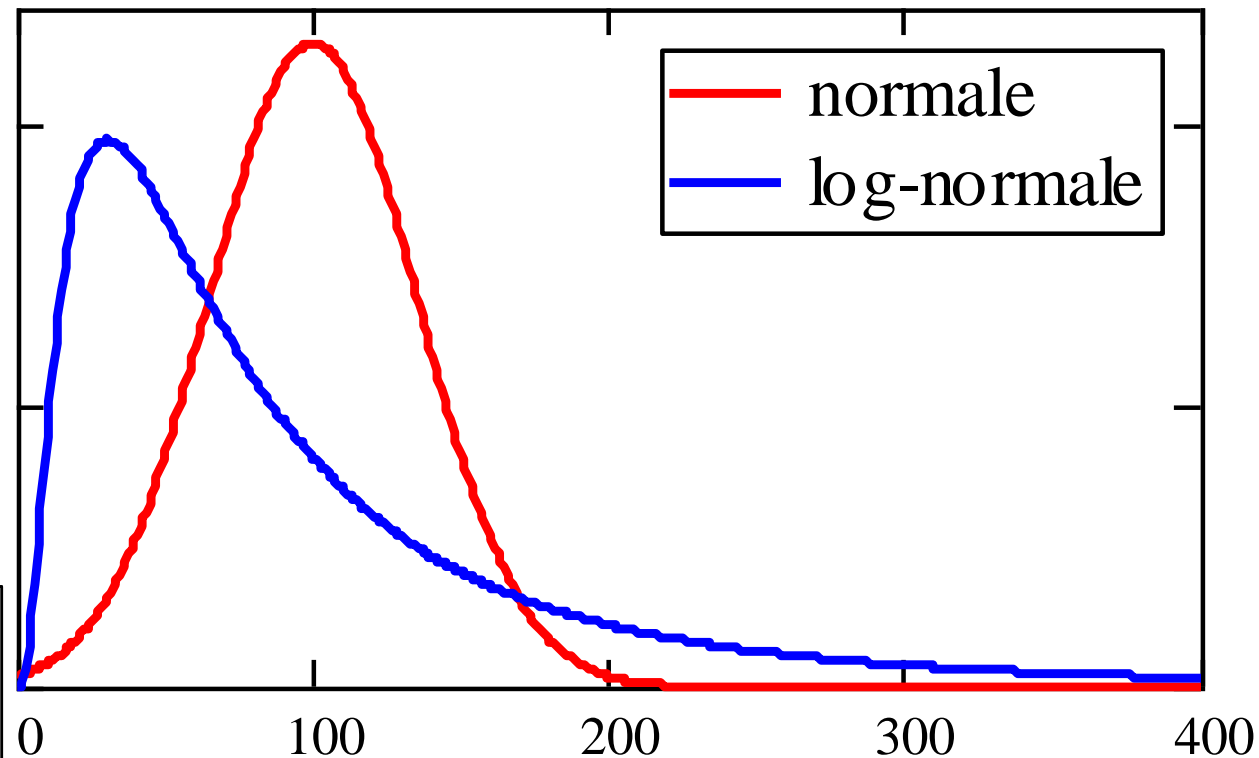
- L'utilizzo della mappa del radon deve quindi essere visto come uno strumento utile per ottimizzare l'impiego delle risorse volte alla riduzione dell'esposizione al radon: nelle aree prioritarie, per definizione, si trovano infatti con maggior frequenza situazioni di elevata esposizione di lavoratori e popolazione
- Deve tuttavia essere chiaro ciò che **a una mappa radon non deve essere chiesto:**
 - a) di calcolare a priori la concentrazione di radon in una determinata abitazione o luogo di lavoro che si trova in una determinata area
 - b) di escludere l'opportunità di effettuare misure sperimentali di radon in ambienti chiusi, perché i livelli dati dalla mappa sono mediamente bassi
 - c) di essere uno strumento di pianificazione per lo sviluppo di comprensori edilizi in aree che siano sicuramente *radon free*

- Le mappe del radon non sono quindi in grado di fornire informazioni puntuali, ma solo valori medi e probabilistici, riferiti a un certo territorio

Distribuzione Radon Piemonte



frequenza



Concentrazione radon Bq/m³

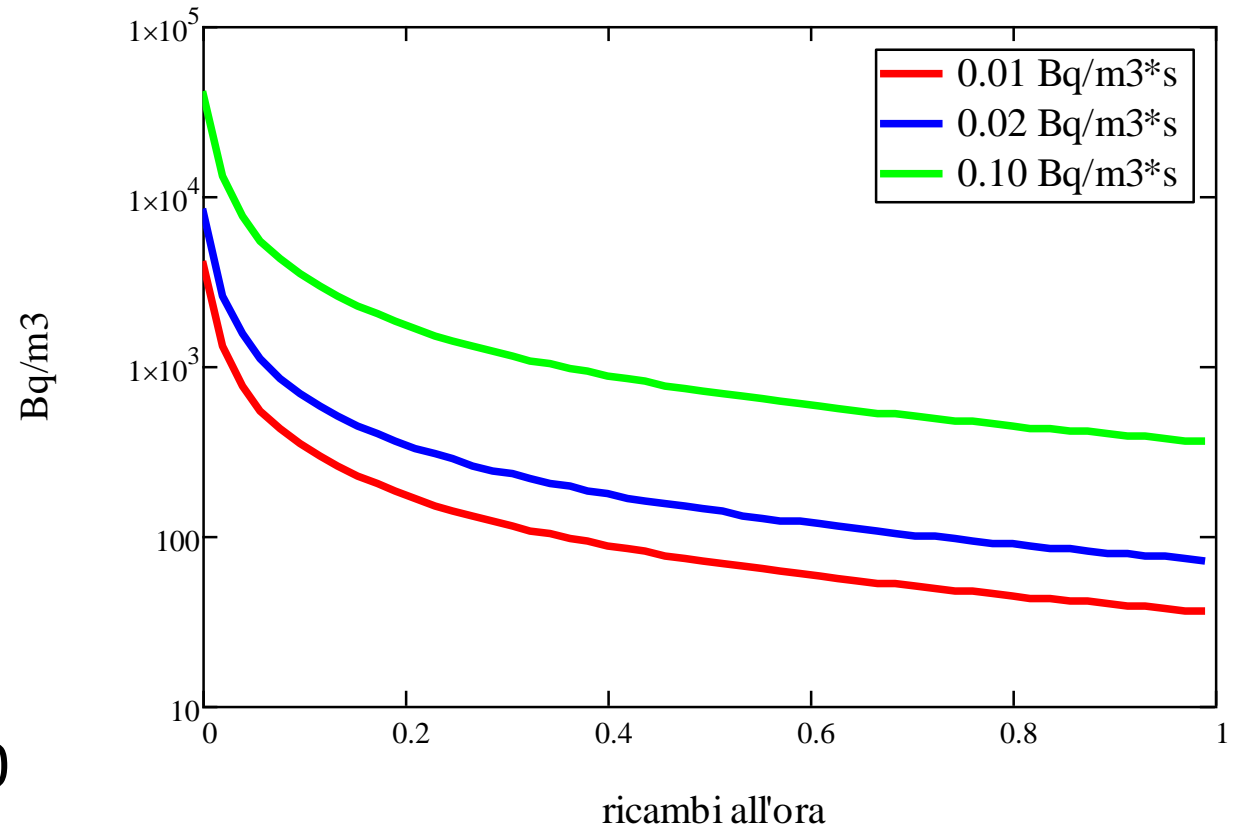
tribuzioni hanno il medesimo valore medio Bq/m^3 , ma la situazione alle per le alte e basse zioni è molto diversa !

ella log-normale, a parità di valore medio, si trovare valori molto elevati con una probabilità te più alta che nel caso normale !!

La ragione di ciò sta nel fatto che, pur essendo il suolo di gran lunga la principale fonte del radon (tranne casi molto particolari dove possono contribuire in modo sostanziale i materiali da costruzione), è altrettanto vero che:

- a) Il processo di accumulo del radon in ogni edificio è un processo multifattoriale che non dipende solo dal termine di sorgente, ma anche da moltissimi altri fattori locali e costruttivi (è proprio in conseguenza della multifattorialità che si ha una distribuzione log-normale)
- b) La concentrazione di radon presente in qualunque suolo, anche quello geologicamente meno ricco dei radionuclidi progenitori del radon, (^{238}U e il ^{226}Ra in particolare), è ampiamente sufficiente ad «inquinare» qualunque ambiente chiuso
- c) Per questi motivi, nessuna mappa sarà mai in grado di fornire a priori i livelli di concentrazione presenti in un determinato edificio, né di assicurare in modo assoluto sulla salubrità di una determinata zona

- Il suolo, qualunque tipo di suolo, anche quelli con contenuto ritenuto basso di radioattività naturale è un efficiente ed inesauribile serbatoio di radon: infatti, essendo esso costantemente generato dall'uranio, assai difficilmente è presente in concentrazioni $< 10000 \text{ Bq/m}^3$, un livello ampiamente sufficiente a “inquinare” un'abitazione o un luogo di lavoro a livelli inaccettabili



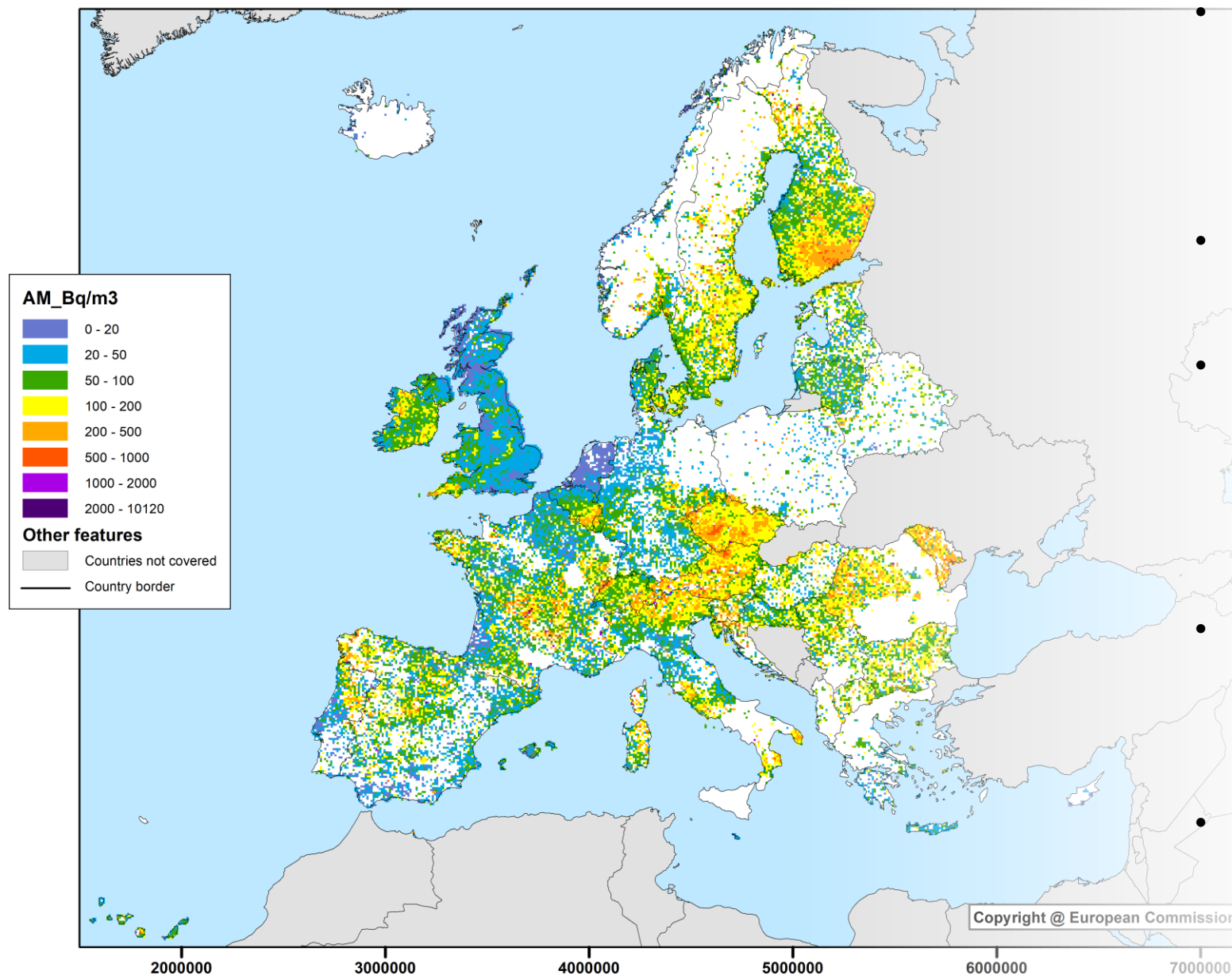
$$C_{Rn} = \frac{E_{CRn}}{\lambda + \lambda^*}$$

E_{CRn} tasso di ingresso radon, *radon entry rate*

- Detto questo, le mappe radon sono comunque utili, sia a livello di conoscenza scientifica, sia perché possono essere usate per indirizzare in modo ottimale le risorse (di monitoraggio e/o bonifica) verso i soggetti più esposti
- Ci sono moltissimi modi per costruire una mappa radon. In linea di principio possiamo individuare, ai due estremi, due approcci radicalmente diversi:
 - a) Approccio puramente teorico, geologico-pedologico: la mappa «del potenziale radon» viene costruita a partire dalla conoscenza delle caratteristiche geologiche e pedologiche del suolo (origine delle rocce che hanno generato il suolo stesso, tessitura, permeabilità, ecc.)
 - b) Approccio puramente sperimentale (misura diretta del radon su un campione rappresentativo di abitazioni)

- L'approccio a) ha il grosso vantaggio di consentire in linea di principio la costruzione di una mappa a partire da dati già conosciuti in letteratura ma ha dei limiti scientifici evidenti: le carte geologiche normalmente disponibili non sono state concepite a questo scopo e possono quindi talvolta fornire indicazioni non affidabili
- Esistono infatti rocce che dal punto di vista geologico sono classificate in modo analogo ma che hanno contenuti di radioattività naturale estremamente differenti: una classificazione puramente geologica può quindi essere fuorviante
- D'altra parte l'approccio b), puramente sperimentale, cioè una misura delle concentrazioni di radon «a tappeto» può essere molto onerosa
- Alcuni Paesi come il Regno Unito hanno seguito questa strada, suddividendo il Paese in griglie rettangolari all'interno delle quali estrarre casualmente un certo numero di abitazione campione

European Indoor Radon Map, November 2021

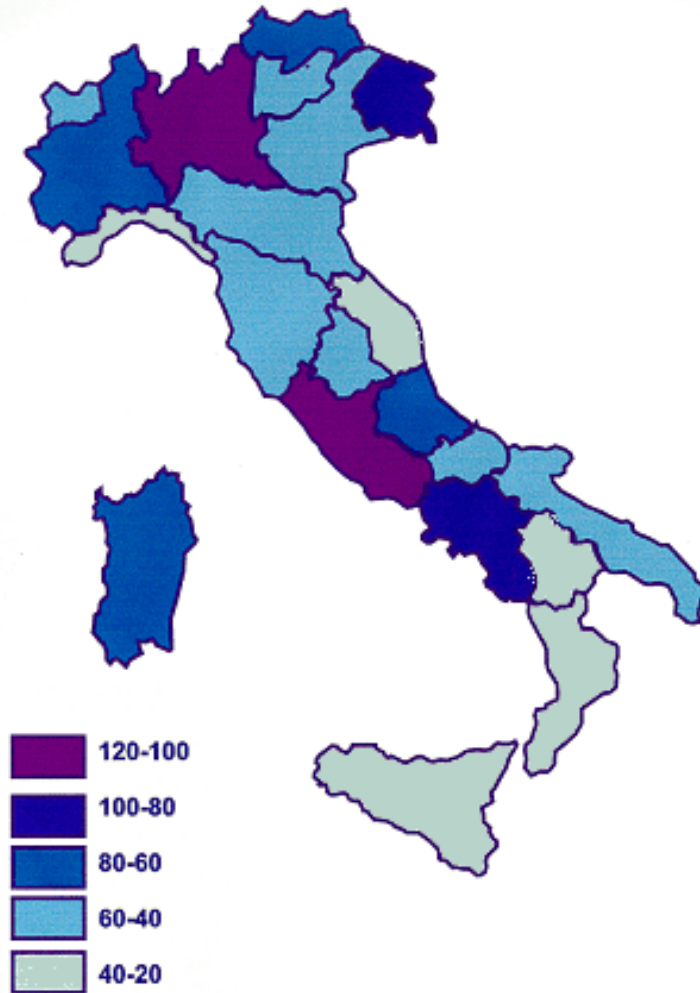


- Un approccio di questo tipo, applicato al caso italiano sarebbe stato particolarmente oneroso, stante l'estrema eterogeneità dal punto di vista geologico che caratterizza la nostra penisola rispetto alla maggior parte degli altri Stati europei
- La strada seguita in Italia è stata quindi diversa, con una sorta di ibridazione dei due approcci estremi che ho qui ricordato
- In generale, anche se non c'è stato finora un pronunciamento ufficiale a livello nazionale, l'approccio preferito dalle varie Regioni che hanno affrontato il problema, è stato quello di privilegiare l'approccio sperimentale, con l'aspetto geologico utilizzato (in alcuni casi) non come criterio principale ma accessorio
- A livello europeo, vista la grande eterogeneità del territorio e degli approcci seguiti si è alla fine optato per una rappresentazione dei valori medi dei dati sperimentali su griglia (JRC, European Radon Map)
- Il dato fornito da questa mappa è però da considerarsi puramente indicativo, essendo la semplice collazione di campagne nazionali e locali effettuate con criteri non armonizzati

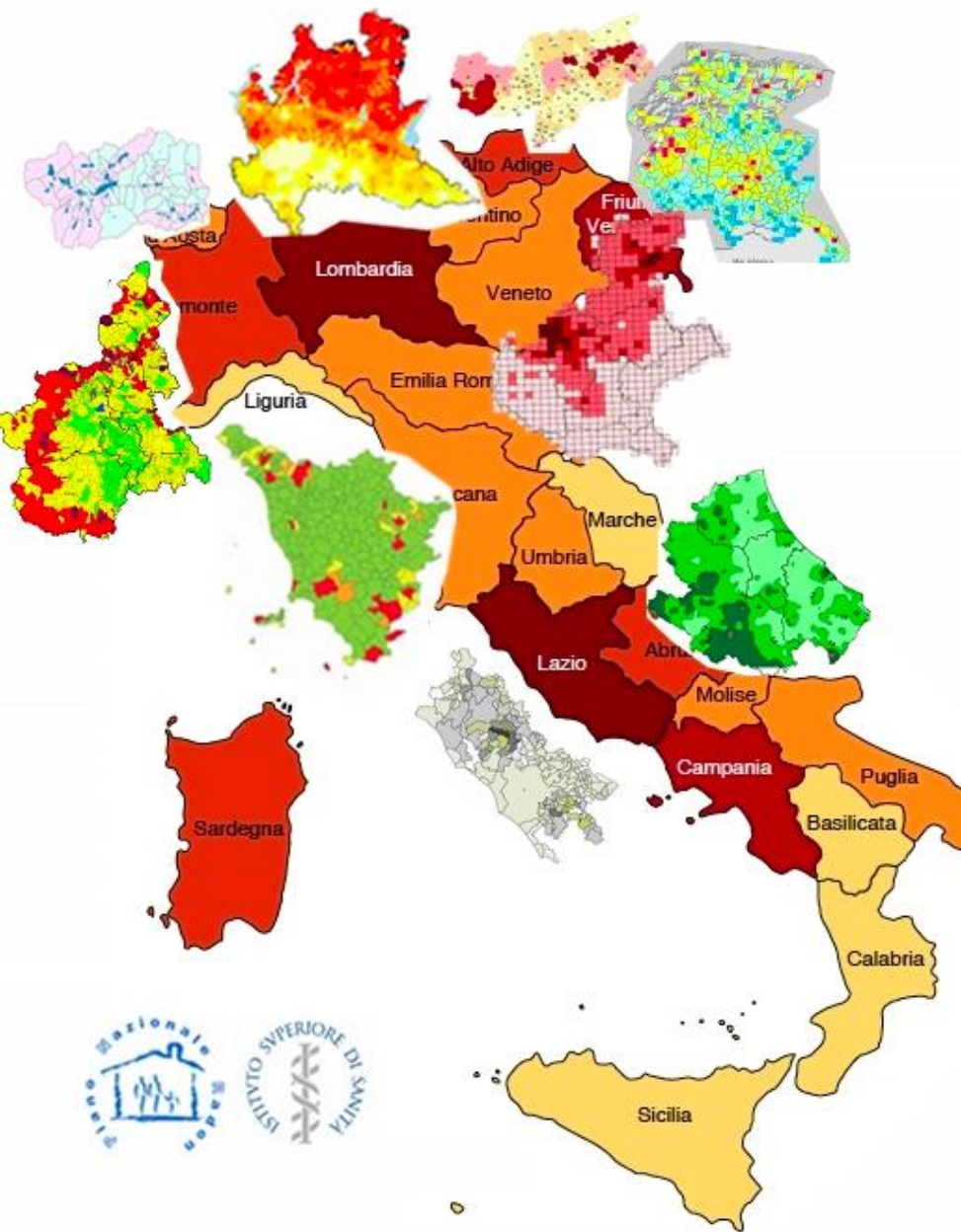
Arithmetic means over 10 km x 10 km cells of long-term radon concentration in ground-floor rooms.
(The cell mean is neither an estimate of the population exposure, nor of the risk.)

Source:
European Commission, Joint Research Centre
Directorate G - Nuclear Safety & Security

Concentrazione di radon (Bq m^{-3})



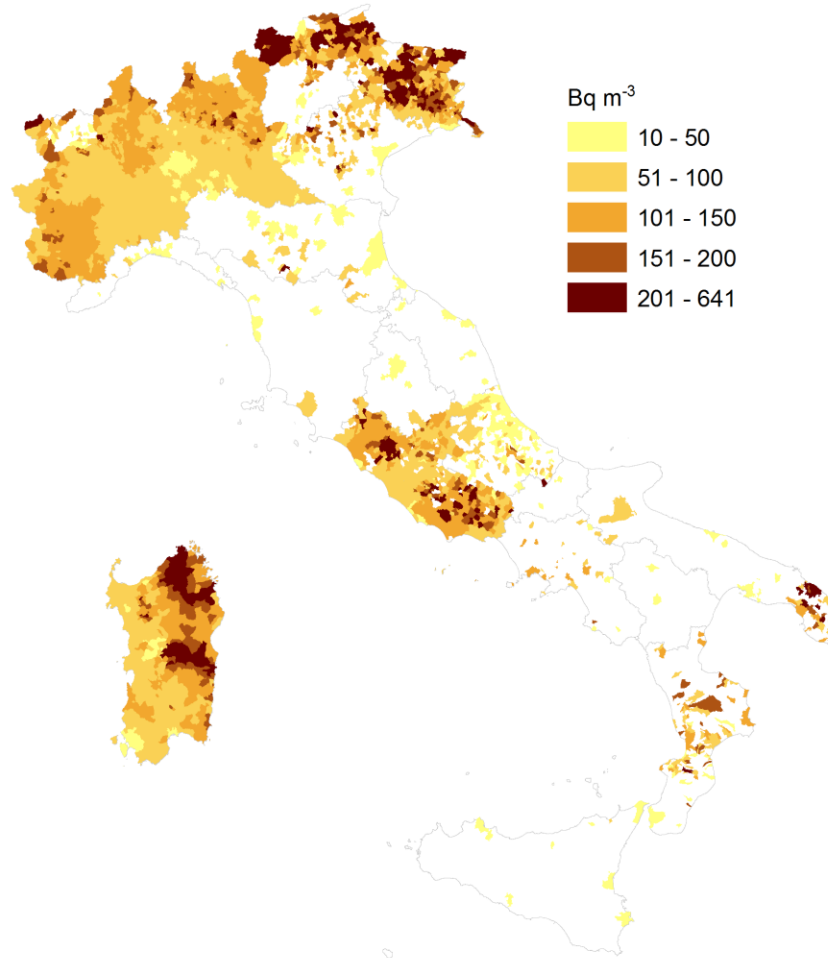
- A livello italiano le prime mappe risalgono agli anni '90 del secolo scorso, quando venne completata la Campagna Nazionale Radon promossa da ISS e ANPA (oggi ISIN) ed eseguita dai laboratori di riferimento regionali per la radioattività (CRR) facenti capo alle unità sanitarie locali (ora Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente)
- Tali mappe, basate su un campionamento casuale stratificato di abitazioni effettuato su base regionale, possono apparire grossolane per gli *standard* attuali: tuttavia funzionano bene, coerentemente con il loro scopo, forniscono un valore medio regionale che è sostanzialmente valido ancora oggi



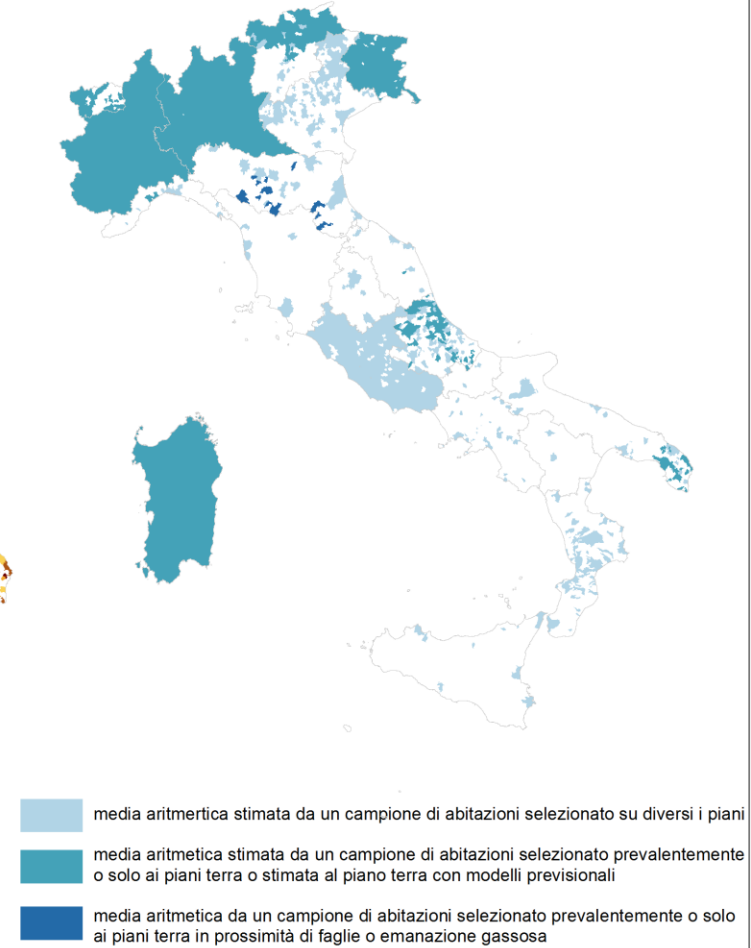
- Dopo la stagione della Campagna Nazionale, con l'emanazione del D. Lgs. 241/2000 il radon diventa per la prima volta oggetto di normazione
- Anche la mappatura del radon viene considerata: viene demandato alle Regioni il compito di costruire delle mappe seguendo linee guida nazionali che, per varie ragioni, non verranno mai emanate
- Le Regioni (di solito tramite le ARPA/APPA) si muovono quindi in autonomia, per rispondere almeno parzialmente ai requisiti di legge
- In assenza di linee guida condivise, inevitabilmente, ciascuna Regione è portata ad organizzarsi in proprio: fioriscono diverse iniziative
- Il risultato finale è un *patchwork* sicuramente molto creativo ma difficile da mettere a fattor comune

ATTENZIONE: Il valore di concentrazione media in una regione o in un'area non fornisce un'indicazione affidabile riguardo al livello di radon della propria abitazione, per conoscere il quale è necessario effettuare una misura con dispositivi e protocolli adeguati. Maggiori informazioni alla pagina "Come misurare il radon" sul sito www.iss.it/radon

Concentrazione media di radon
nei Comuni (abitazioni)

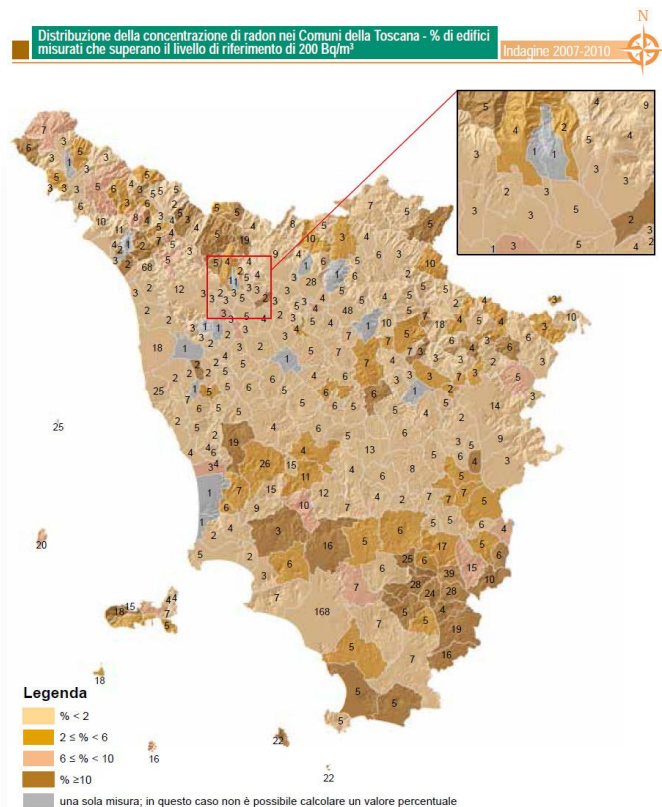


Tipologia di campionamento



Elaborazione ISIN su dati ISIN-ARPA-APPA 2019

- Tutte queste varie mappature del radon si basano su misure sperimentali indoor nelle abitazioni, anche se i criteri di campionamento variano parecchio, così come sono differenti le unità di campionamento con cui si suddivideva il territorio regionale
- Inoltre, mancando il criterio nazionale con cui definire quelle che la letteratura scientifica chiamava **radon prone areas** e che la normativa italiana aveva battezzato prima **aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon** (D. Lgs. 241/2000) e poi **aree prioritarie** (D. Lgs. 101/2020), era possibile sì classificare il territorio in base ai livelli di radon ma non definirli in termini di tali aree ai sensi di legge. Anche per questo motivo le mappature predisposte dalle ARPA non vennero ufficializzate dalla maggior parte dei governi regionali
- Un passo in più venne fatto dalla Regione Toscana che nel 2012 ufficializzò con una Delibera di Giunta la propria mappa radon elaborata da ARPAT



5.12.2012 - BOLLETTINO UFFICIALE D

sia disponibile un numero di campioni di misurazioni minimo pari a quindici;

Ritenuto di definire, come proposto nel citato rapporto dell'ARPAT, come aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon i Comuni per i quali la percentuale stimata di abitazioni con concentrazione di radon superiore a 200 Bq/m³ sia pari ad almeno il 10 %, percentuale da considerarsi significativamente più alta del valore medio nazionale e regionale, e che lo stesso valore soglia è stato adottato anche da diversi paesi europei;

Praga, che i Comuni che soddisfano i suddetti

5.12.2012 - BOLLETTINO UFFICIALE DELLA REGIONE TOSCANA - N. 49

81

DELIBERAZIONE 26 novembre 2012, n. 1019

Indagine regionale sul gas radon negli ambienti di vita e di lavoro. Individuazione delle aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon ai sensi dell'art. 10 sexies del D.Lgs. n. 230/95 e s.m.i.
- Diffusione dei dati statistici per comune riassuntivi delle misurazioni effettuate.

LA GIUNTA REGIONALE

Visto il D.Lgs. n. 230/1995 "Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti" e s.m.i.;

Visto quanto stabilito dall'art. 10 sexies, comma 1, del decreto legislativo n. 230/1995 "Attuazione delle direttive 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 92/3/Euratom e 96/29/Euratom in materia di radiazioni ionizzanti" e s.m.i. il quale prevede che le Regioni individuano le zone o i luoghi di lavoro con caratteristiche determinate ad elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon;

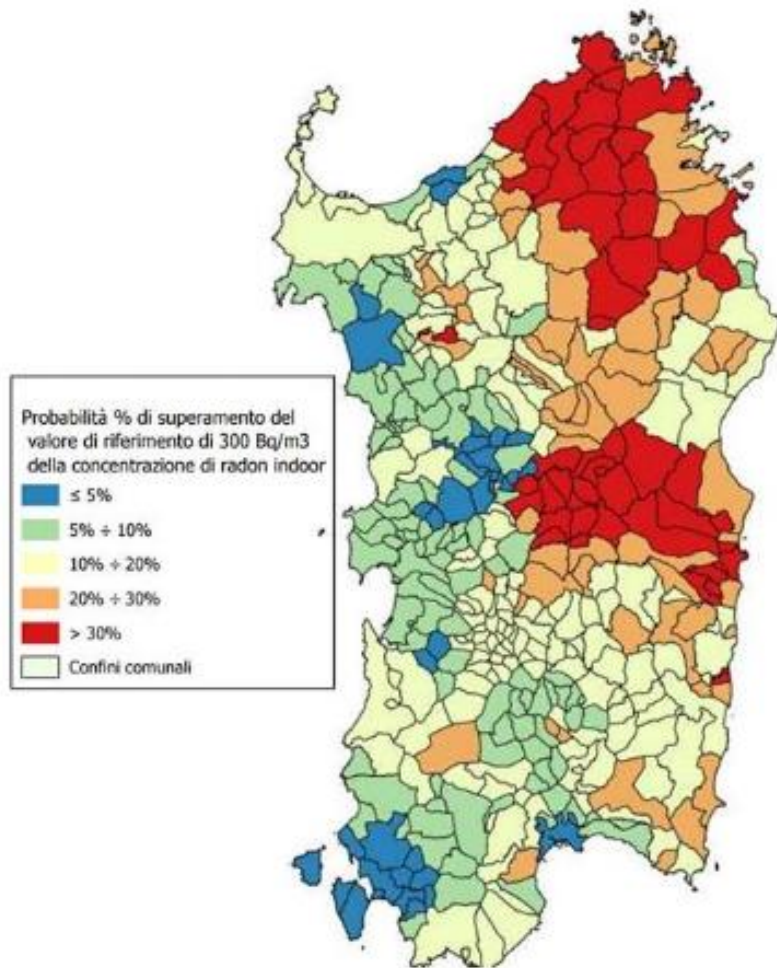
Vista la D.G.R. n. 1243 del 19.12.2005 "Approvazione del progetto per l'individuazione delle aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon in ambienti di lavoro";

Vista la D.G.R. n. 38 del 30.01.2006 "Realizzazione di una indagine conoscitiva sulla concentrazione del Gas Radon in Toscana. - Componente Ambientale. Determinazioni."

Visto il D.D. n. 3596 del 23.06.06 "Approvazione della componente ambientale dello schema di convenzione tra Regione Toscana e ARPAT per la realizzazione di un'indagine conoscitiva sulla concentrazione di Radon negli ambienti di vita e negli ambienti di lavoro e relativo impegno di spesa";

Visto il D.D. n. 3216 del 23.06.2006 "Approvazione di uno schema di convenzione tra la Regione Toscana ed l'ARPAT per la realizzazione di una indagine conoscitiva sulla concentrazione di radon negli ambienti di vita e di lavoro - componente ambienti di lavoro";

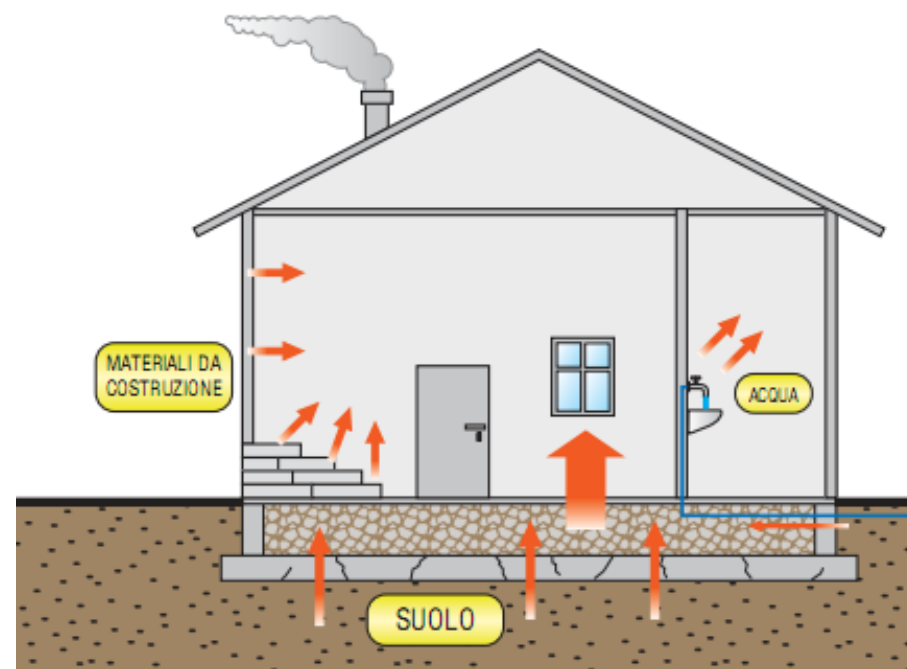
- Vennero considerati aree ad elevata probabilità di alte concentrazioni di radon quei Comuni in cui la probabilità di superare il livello di 200 Bq/m³ era superiore al 10%
- 13 Comuni vennero identificati a seguito di ciò
- Allo stato attuale sappiamo che la Regione Toscana sta procedendo ad aggiornare la mappa secondo i criteri, finalmente disponibili, emanati grazie al D. Lgs. 101/2020, rendendo così la mappa pienamente applicabile ai sensi di legge
- Alla luce di questo aggiornamento in fieri, probabilmente i Comuni da individuare come aree prioritarie scenderanno un po'



- Nel 2019, anche la Regione Sardegna classificò ufficialmente il proprio territorio su base comunale, impiegando un approccio misto sperimentale-geologico
- Anche in questo caso però le aree individuate non poterono avere forza di legge per la mancanza di criteri nazionali
- L'elenco del 2019 è stato però recentemente aggiornato tenendo conto dei criteri del D. Lgs. 101/2020

- Arriviamo dunque ai nostri giorni
- Con l'emanazione del D. Lgs. 101/2020 finalmente abbiamo alcune indicazioni precise, valide per tutto il territorio nazionale, per la costruzione di una mappa del radon
- Non vengono dati criteri tecnici per la costruzione della mappa ma solo valori di riferimento per la loro definizione
- In base all'art. 11 comma 3 del Decreto sono definite come **aree prioritarie** quelle **porzioni di territorio regionale in cui il 15% delle abitazioni situate al piano terra superano il Livello di Riferimento di 300 Bq/m³**
- La scelta del legislatore di indicare come riferimento per la mappa tra le concentrazioni di radon al piano terra contiene però implicitamente alcune importanti indicazioni

- In questo modo, anche in assenza di linee guida tecniche, si dà infatti, implicitamente, un'indicazione operativa forte su come fare per giungere a costruire una mappa del radon
- Questo perché:
 - 1) La misura al piano terra è scelta come riferimento in quanto il suolo è riconosciuto essere la fonte di gran lunga preponderante del flusso di radon entrante nelle abitazioni (in media, più del 90%)
 - 2) La misura al piano terra è un indicatore sperimentale «robusto» in quanto ingloba in sé in modo sintetico informazioni diverse: la natura del suolo (più o meno ricco di radon) e le caratteristiche del patrimonio edilizio che, come è noto, sono essenziali nel determinare le concentrazioni di radon indoor



Deliberazione della Giunta Regionale 25 novembre 2022, n. 61-6054
L.r. 5/2010. Individuazione, ai sensi dell'art.11, comma 3, del D.lgs. 101/2020, delle “aree prioritarie”, già' "zone ad elevata probabilita' di alte concentrazioni di attivita' di radon", ai sensi dell'art.10 sexies del D.lgs. 230/1995 e disposizioni attuative del Piano regionale di Prevenzione 2020-2025, di cui alla d.g.r. 16-4469 del 29.12.2021.

A relazione degli Assessori Icardi, Marnati:
Premesso che l'articolo 11 della Legge regionale 18 febbraio 2010, concernente la protezione dai rischi da esposizioni a radiazioni ionizzanti” stabilisce che: al comma 1, la Regione si doti di strumenti idonei per la individuazione e riduzione dei rischi connessi alla esposizione al gas radon ed alla radioattività; al comma 2, in particolare, la Giunta regionale individui, con propria deliberazione, dell'ARPA, le zone ad elevata probabilità di alte concentrazioni di attività di radon, e, soprattutto a una nuova e più rigorosa individuazione delle aree prioritarie;

- Il Piemonte ha ufficialmente adottato la delibera della Giunta Regionale 25 novembre 2022, n. 61-6054, con la quale sono individuate da questo studio sono state pubblicate nella Gazzetta Ufficiale del 20 aprile 2023.

Piemonte

20-4-2023

GAZZETTA UFFICIALE DELLA REPUBBLICA ITALIANA

Serie generale - n. 93

PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI

Rettifica del decreto 23 marzo 2023, relativo alla nomina dei membri facenti parte della componente governativa del Consiglio generale degli italiani all'estero.

Si dà comunicazione che all'art. 1, comma 1, lettera a) del decreto del Presidente del Consiglio dei ministri 23 marzo 2023, con il quale sono nominati i membri facenti parte della componente governativa del Consiglio generale degli italiani all'estero - CGIE, pubblicato nella *Gazzetta Ufficiale* n. 84 dell'8 aprile 2023, il nome di battesimo del dott. Angelo Pagliara, componente designato dalla UIM - Unione italiani nel Mondo, deve ritenersi Angelo anziché Antonio.

23A02338

REGIONE PIEMONTE

Individuazione delle aree nelle quali la stima della percentuale di edifici situati al piano terra che superano i 300 Bq/m³ in termini di concentrazione media annua di attività di radon, è superiore al 15% (c.d. «aree prioritarie»).

Elenco dei comuni piemontesi individuati, con deliberazione della giunta regionale del Piemonte n. 61 - 6054 del 25 novembre 2022 (pubblicata nel BUR n. 2 del 12 gennaio 2023), come «aree prioritarie» ai sensi dell'art. 11, comma 3 del decreto legislativo n. 101/2020:

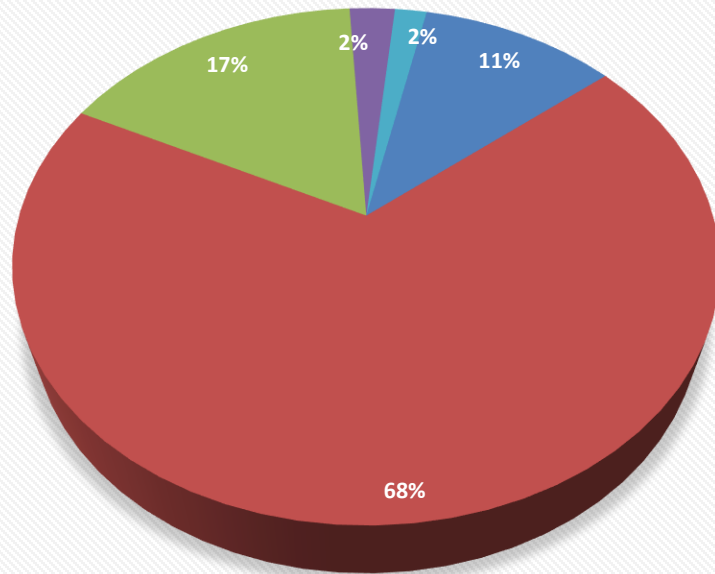
Andorno Micca (BI), Angrogna (TO), Aurano (VCO), Bellinzago Novarese (NO), Bognanco (VCO), Brondello (CN), Brossasco (CN), Buriasco (TO), Campiglia Cervo (BI), Candelo (BI), Cannobbio (VCO), Ceresole Reale (TO), Chiusa di Pesio (CN), Druogno (VCO), Entracque (CN), Gaglianico (BI), Gaiola (CN), Giffenga (BI), Macugnaga (CN), Melle (CN), Moiola (CN), Noasca (TO), Oleggio Castello (NO), Pagno (CN), Perosa Argentina (TO), Peveragno (CN), Quargnento (AL), Re (VCO), Roccavione (CN), Rosazza (BI), Roure (TO), Santa Maria Maggiore (VCO), Traversella (TO), Venasca (CN), Vigliano Biellese (BI), Villar Pellice (TO), Vinadio (CN).

23A02331

Dai dati sperimentali alla mappatura

- La mappa è stata ricavata a partire da una base dati sperimentale costituita da misure di concentrazione di attività radon (**medie annuali, effettuate con rivelatori a tracce CR-39**): complessivamente **4373** misure annuali
- **La gran maggioranza delle misure (68%),** ma non tutte, **sono state eseguite al piano terra.** Quelle a piani differenti sono state sottoposte ad un processo di «normalizzazione al piano terra», opportunamente validato

Normalizzazione al piano terra



■ S ■ T ■ 1 ■ 2 ■ >2

- La normalizzazione si basa su alcune semplici assunzioni

a) Le concentrazioni a ciascun piano seguono una distribuzione log-normale:

$$f(C_{PX}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{PX}} \frac{e^{-\frac{(\ln(C_{PX}) - \mu_{PX})^2}{2\sigma_{PX}^2}}}{C_{PX}}$$

b) Esiste una relazione lineare tra la concentrazione ad generico piano X e la concentrazione al piano terra:

$$C_{PX} = k_x C_{PT}$$

con k_x costante di normalizzazione incognita

- Date queste ipotesi si può dimostrare che:

$$k_x = \frac{e^{\mu_{PX}}}{e^{\mu_{PT}}}$$

Dai dati sperimentali alla mappatura

- Come unità base di campionamento si è preso il territorio comunale. Il Piemonte ha attualmente 1181 Comuni (dato 2019): un numero troppo elevato per poter ottenere una mappa «puramente sperimentale». E' stato seguito così un approccio «ibrido», sperimentale e modellistico
- Necessità dello sviluppo di un modello radio-geo-litologico per assegnare un valore anche a per quei Comuni con pochi dati a disposizione
- Un'impostazione simile era stata seguita anche nel lavoro del 2009, ma utilizzando informazioni cartografiche non completamente idonee

Il modello radio-geo-litologico

- Questa volta il punto di partenza è stata una carta geologica aggiornata, alla scala 1:250.000 (ARPA Piemonte, 2012), caratterizzata da oltre 200 unità!
- Tali unità sono state poi riprofilate in 37 unità radio-geo-litologiche caratterizzate dall'ipotesi, verificata sperimentalmente (**misure di spettrometria γ su circa 400 campioni di rocce del Piemonte**) di omogeneità di contenuto radioattivo
- Questa è stata la parte più qualificante e impegnativa del lavoro oltre che di maggior novità, anche per il notevole lavoro sperimentale e di interpretazione sottostante



Le 37 unità radio-geo-litologiche

	Depositi fluviali della pianura del Po; Pleistocene superiore – attuale
	Depositi fluviali delle valli Scrivia, Curone e Staffora; Pleistocene superiore – attuale
	Depositi fluviali di Belbo-Bormida-Orba, medio-basso Tanaro e Banna; Pleistocene superiore – attuale
	Depositi fluviali di alto Tanaro, Stura di Demonte, Grana-Maira, <u>Varaita</u> , alto Po, Pellice-Chisone, <u>Chisola</u> ; Pleistocene superiore – attuale
	Depositi fluviali di Orco, Malone, Stura di Lanzo, <u>Ceronda</u> , Dora Riparia, Sangone, Po torinese; Pleistocene superiore – attuale
	Depositi fluviali della Dora Baltea
	Depositi fluviali di Sesia e Cervo; Pleistocene superiore – attuale
	Depositi fluviali di Ticino, Toce, Agogna, <u>Terdoppio</u> ; Pleistocene superiore – attuale
	Depositi fluviali, fluvioglaciali e glaciali del bacino cuneese; Pleistocene inferiore - medio
	Depositi fluviali del Torrente Cervo
	Depositi fluviali e fluvioglaciali del bacino padano occidentale; Pleistocene inferiore - medio
	Depositi glaciali dell'anfiteatro morenico di Rivoli-Avigliana. Pleistocene - Olocene
	Depositi glaciali dell'anfiteatro morenico di Ivrea e di Cuorgnè. Pleistocene - Olocene
	Depositi glaciali degli anfiteatri morenici del Verbano e di Orta, lembi isolati di depositi glaciali entrovallivi (Verbano). Pleistocene - Olocene
	Depositi fluviali del bacino alessandrino; Pleistocene inferiore - medio
	Depositi marini, transizionali e continentali pliocenici
	Depositi evaporitici e terrigeni messiniani
	Unità terrigene cenozoiche del Bacino terziario piemontese, Monferrato, Collina di Torino ed <u>epiliguri</u>

	Unità sedimentarie e <u>metasedimentarie</u> cenozoiche del bacino di <u>avanfossa alpino</u>
	Plutoni della Valle del Cervo, di Brosso-Traversella e di Miagliano e relative aureole di contatto; vulcaniti e <u>vulcanoclastiti oligoceniche</u>
	Unità <u>flyschoidi</u> cretacico superiori - paleoceniche
	Unità sedimentarie e <u>metasedimentarie</u> mesozoiche <u>brianzonesi</u> e <u>delfinesi</u>
	Unità vulcaniche e <u>vulcanoclastiche</u> permiane <u>brianzonesi</u> e <u>delfinesi</u> , talora metamorfiche
	Massiccio dell'Argentera; basamento <u>brianzone</u> ; Zona di Acceglio; massiccio d'Ambin; unità Gran San Bernardo; unità <u>Camughera-Moncucco</u>
	Coperture sedimentarie mesozoiche delle unità penniniche inferiori; unità vallesane
	Unità penniniche inferiori della Val d'Ossola
	Unità Monte Rosa, Gran Paradiso, Dora-Maira e <u>Valosio</u> : <u>ortogneiss</u> e <u>metagranitoidi</u>
	Unità Monte Rosa, Gran Paradiso, Dora-Maira e <u>Valosio</u> : rocce <u>polimetamorfiche</u> e coperture <u>metasedimentarie</u>
	Successioni mesozoiche e <u>metasedimenti</u> di origine oceanica o di margine continentale
	<u>Metabasiti</u> e <u>metaultrabasiti</u> di origine oceanica
	Unità Sesia-Lanzo
	Zona del Canavese
	Successioni mesozoiche <u>sudalpine</u>
	Vulcaniti e <u>vulcanoclastiti</u> permiane <u>sudalpine</u>
	Graniti permiani <u>sudalpini</u>
	Serie dei laghi
	Zona Ivrea-Verbano

- Una volta stabilite queste 37 unità, è stato possibile utilizzarle per costruire un modello matematico in grado di «predire» le concentrazioni di radon laddove i dati sperimentali mancavano del tutto o erano insufficienti
- Per far ciò sono state calcolate, a partire dai risultati sperimentali disponibili (misure di concentrazione di radon indoor al piano terra, medie annue), **37 «medie radio-geo-litologiche»** da cui, per ogni unità territoriale (Comune) è stato possibile stimare i rispettivi valori medi tramite la seguente formula:

$$\mu_j = \sum_{k=1}^P \frac{AL_k \cap AC_j}{AC_j} \cdot \mu_k$$

dove AL_k è l'area della k -esima area radio-geo-litologica che ricade nel territorio comunale, mentre AC_j è l'area totale del j -esimo Comune, mentre μ_j e μ_k sono, rispettivamente, le medie comunali e le medie radio-geo-litologiche

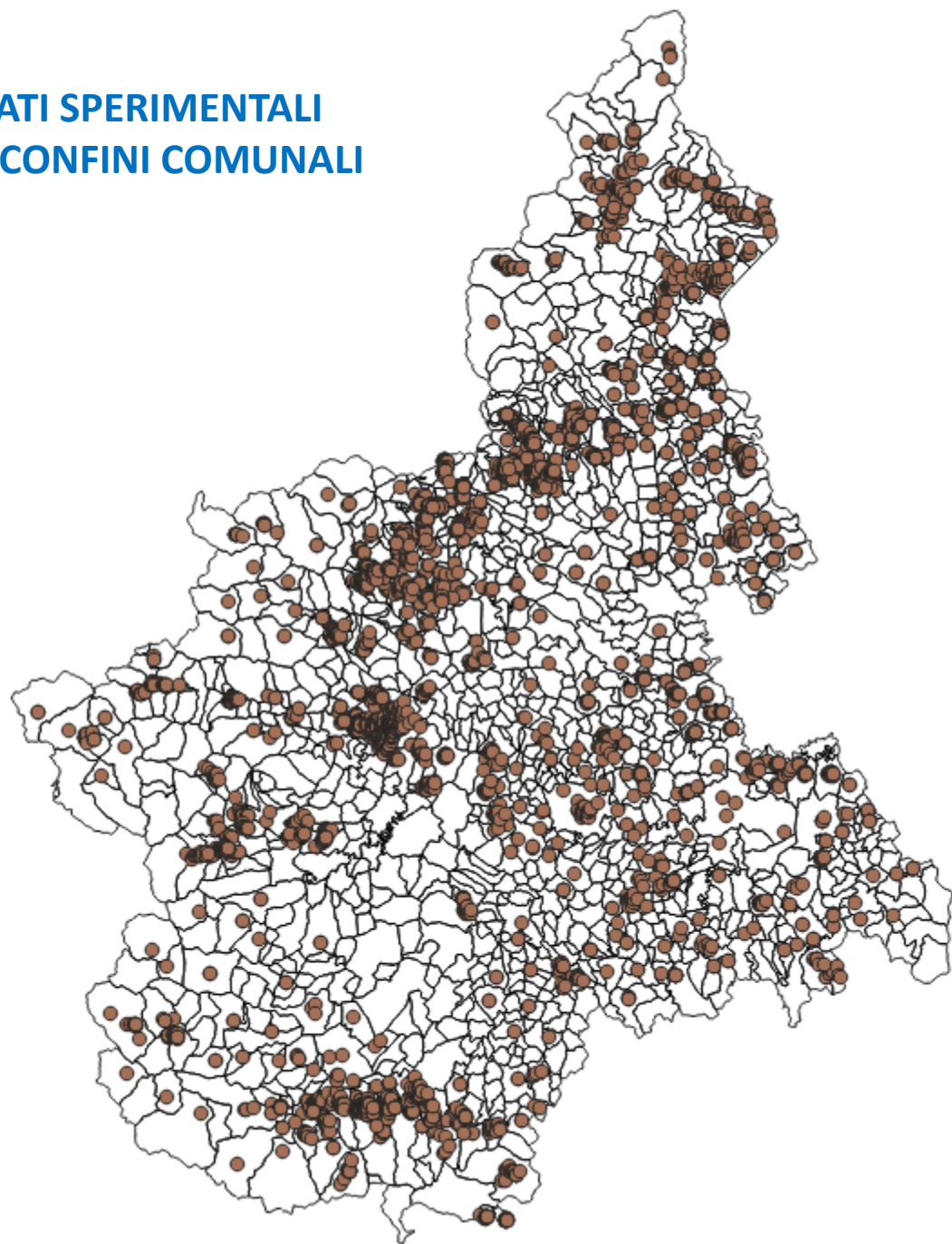
- **Importante**: in accordo con l'assunzione che le distribuzioni comunali delle concentrazioni siano approssimate da log-normali, i parametri μ_j e μ_k sono le medie dei logaritmi delle concentrazioni. Quindi la media comunale M_j è data da:

$$M_j = e^{\mu_j + \frac{\sigma_j^2}{2}}$$

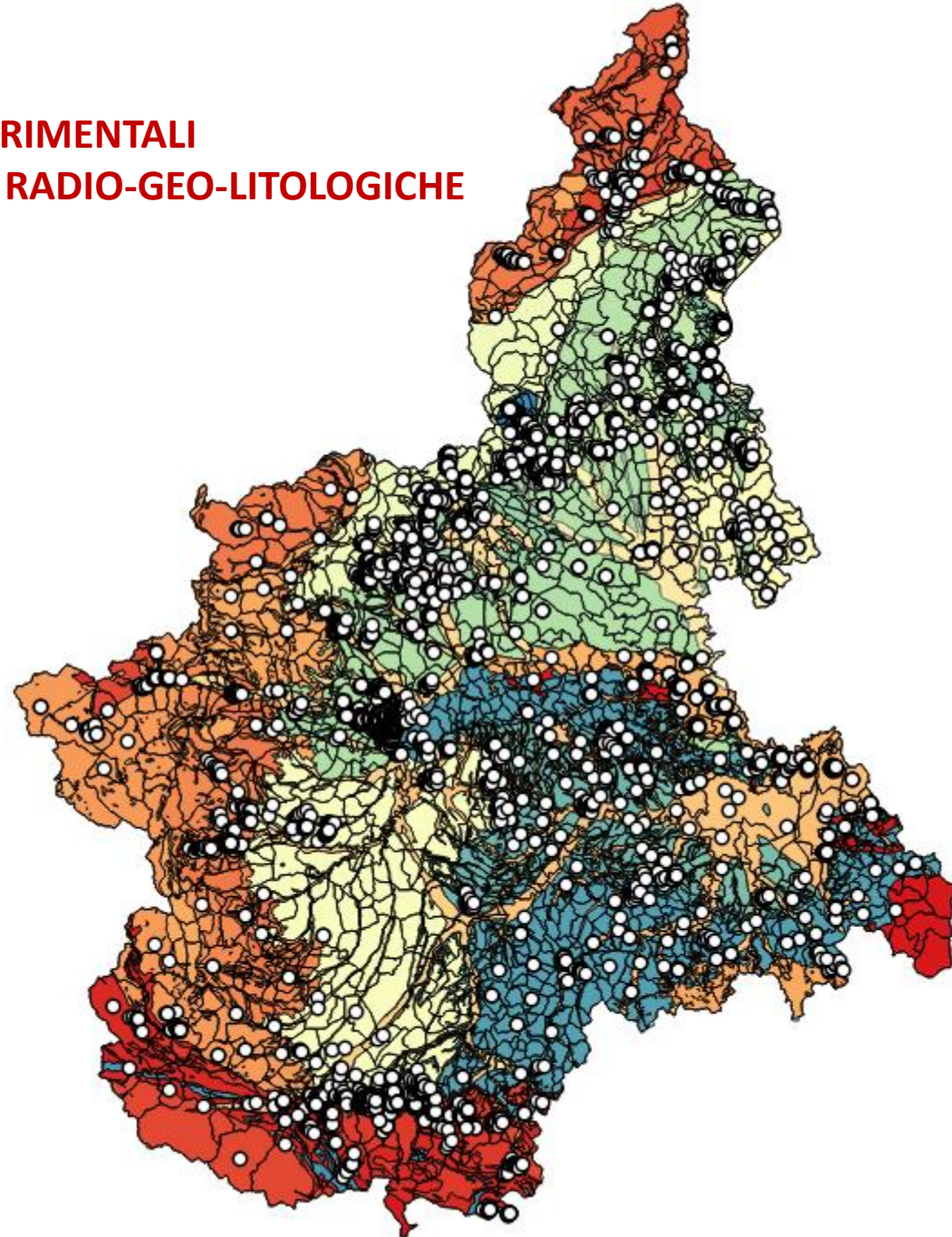
in cui σ_j è la deviazione standard dei logaritmi delle concentrazioni

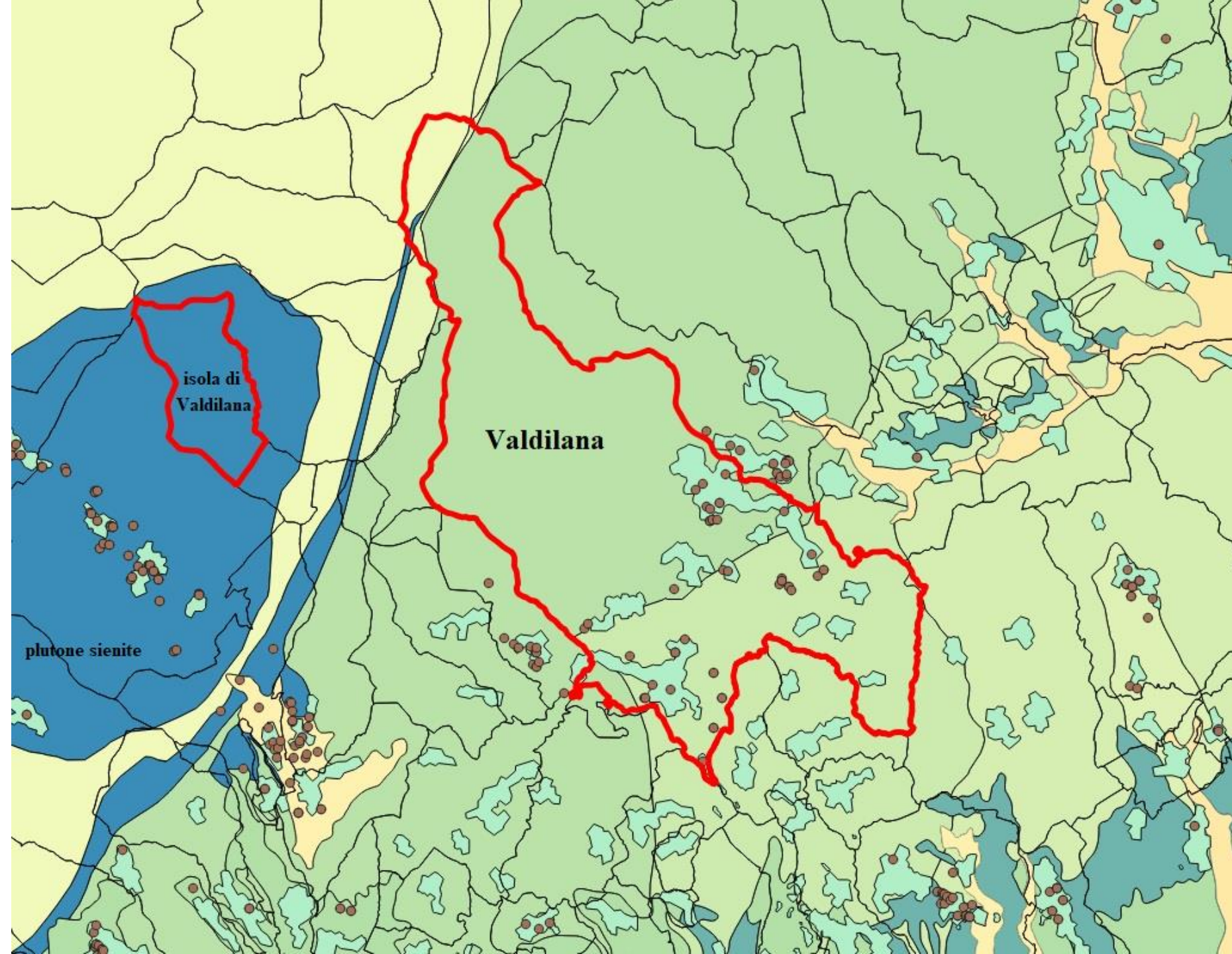
- In tal modo è stato possibile non solo associare un valore medio a ciascun comune ma anche una distribuzione

**DATI SPERIMENTALI
E CONFINI COMUNALI**



**DATI SPERIMENTALI
E UNITA' RADIO-GEO-LITOLOGICHE**





L'individuazione delle aree prioritarie

- Poiché abbiamo visto che le aree prioritarie sono quelle **porzioni di territorio regionale in cui il 15% delle abitazioni situate al piano terra superano il Livello di Riferimento di 300 Bq/m³**, avendo definito come unità territoriale della mappatura il Comune, dobbiamo valutare tale probabilità
- Ciò, in termini matematici, equivale a calcolare il seguente integrale:

$$P_{>LR} = 100 \cdot \int_{LR}^{\infty} f_i(c, \mu_i, \sigma_i) dc \quad (§)$$

dove **LR=300 Bq/m³** mentre $f_i(c, \mu_i, \sigma_i)$ è la funzione di distribuzione delle concentrazioni al piano terra che, grazie al calcolo dei parametri μ_i e σ_i siamo stati in grado di definire per tutti i Comuni

- Il calcolo della formula (§), che costituisce il cuore del problema per la definizione delle aree prioritarie, coinvolge aspetti tecnici non banali ed è stato effettuato con tecniche differenti a seconda del modo in cui si è giunti a definire le funzioni $f_i(c, \mu_i, \sigma_i)$

Per chi fosse interessato ad approfondire questo od altri aspetti scientifici rimando alla consultazione dell'articolo:

Chiaberto E., Falletti P., & Magnoni M. (2022). Radon mapping in Piedmont (North-West Italy): a radio-geo-lithological approach. *Journal of the European Radon Association*, 3. <https://doi.org/10.35815/radon.v3.7719>



RESEARCH PAPER

Radon mapping in Piedmont (North-West Italy):
a radio-geo-lithological approach

Enrico Chiaberto¹, Paolo Falletti² and Mauro Magnoni^{1*}

¹ARPA Piemonte – Department of Physical and Technological Risks, Via Guglielmo Jervis, Ivrea, Italy; ²ARPA Piemonte – Department of Natural and Environmental Risks, Via Felice Piacenza, Biella, Italy

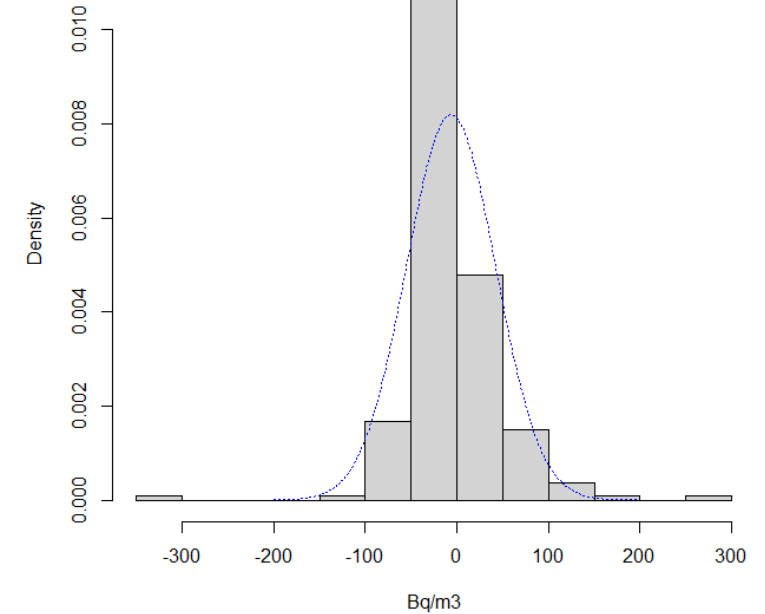
Abstract

Background: In this work a radon mapping method implemented in Piedmont, an Italian Region in the Northern part of the country, is presented and discussed.

Methods: The method is based on a “mixed approach”, combining together an experimental approach, based on a large set of experimental radon measurements performed with nuclear track detectors, and an empirical model,

Due parole sulla validazione del modello.....

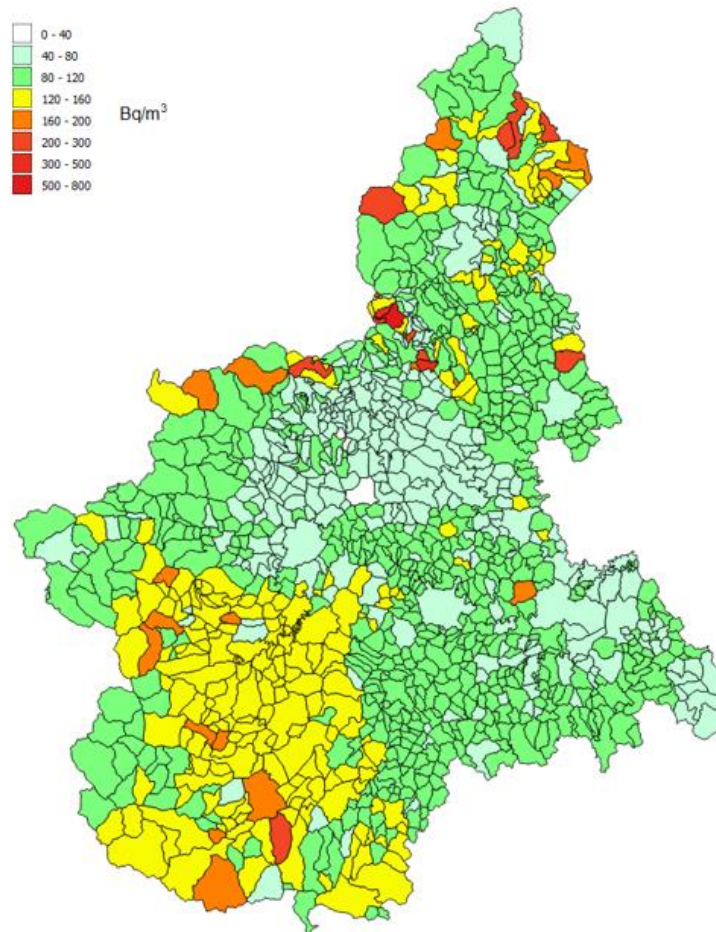
- La validazione del modello è stata una parte importante del lavoro, ci ha impegnato parecchio, sia sperimentalmente che nel lavoro di revisione dell'articolo scientifico: ci è stato (giustamente !) chiesto di fornire anche i dati grezzi in base ai quali abbiamo poi effettuato i calcoli
- Verifica del rapporto **dati stimati / dati sperimentali**: media 0,89 con $R^2=0,83$



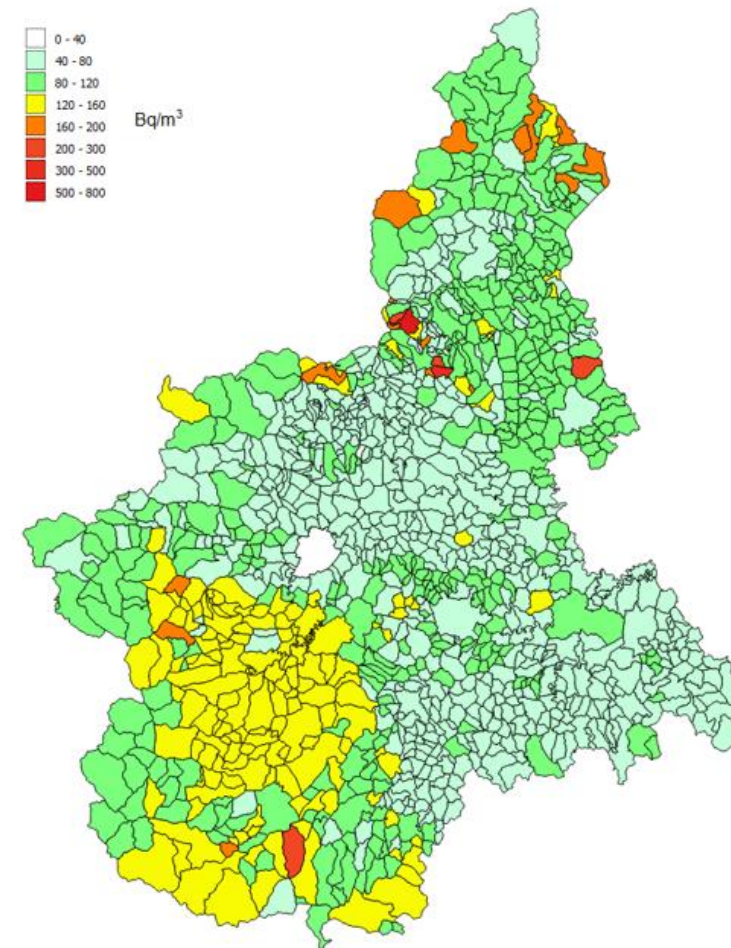
- Per tener conto, in senso cautelativo, nella definizione della aree prioritarie, di questa sottostima e dell'incertezza degli scarti si è posto, nell'integrale (§):

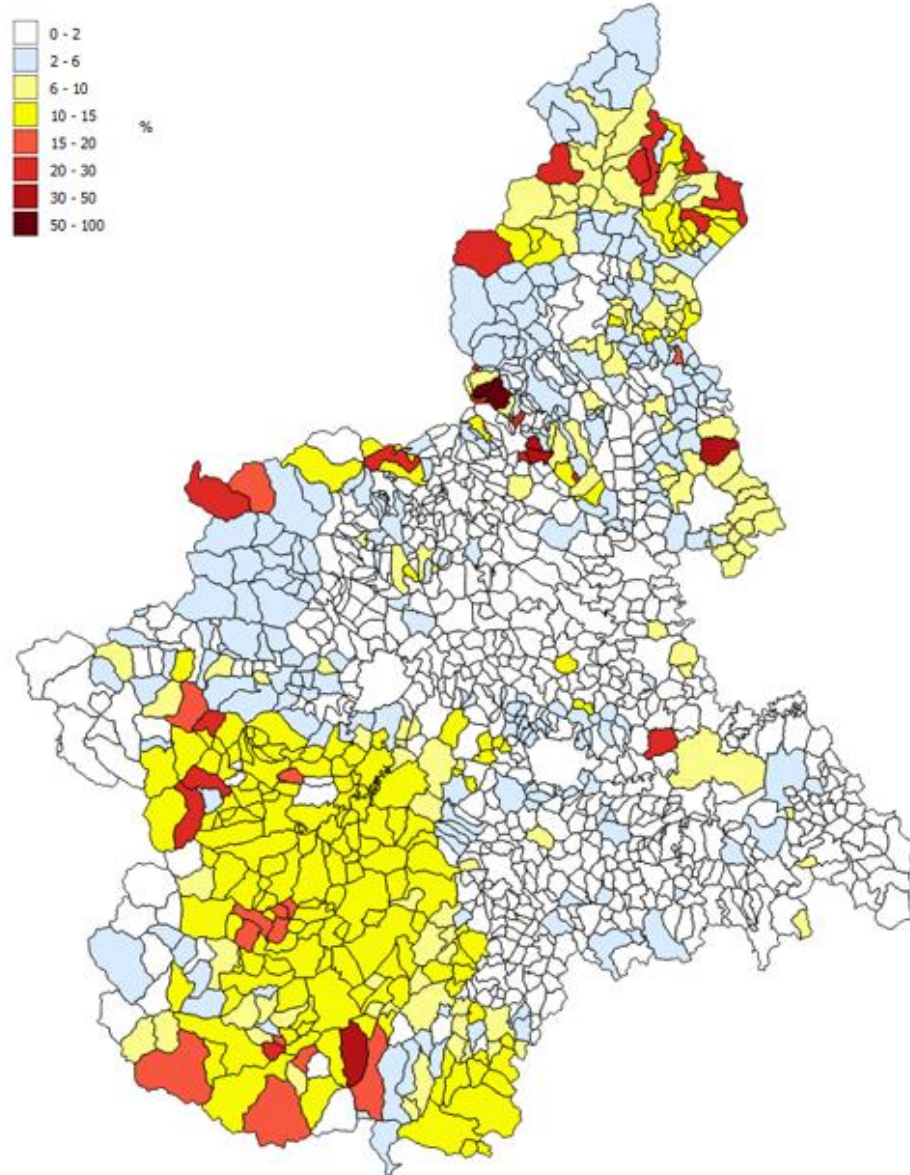
$$LR=300-50=250$$

Medie piano terra



Medie «reali»
calcolate grazie alla
procedura di
normalizzazione



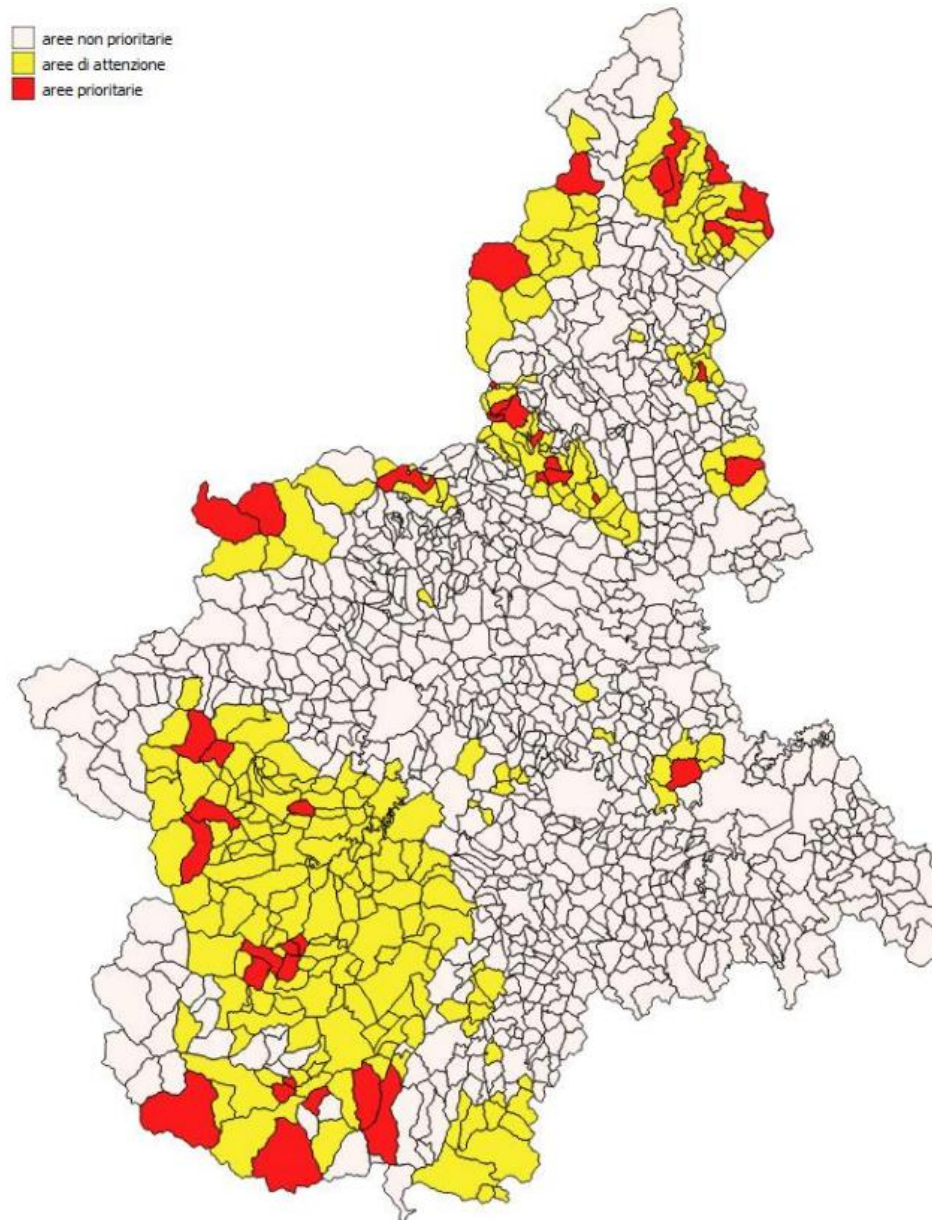


**Percentuale di abitazioni al piano terra
che eccede il Livello di Riferimento di
300 Bq/m³**

Mappa del radon in Piemonte

- In rosso *le aree* definite *prioritarie* in base alle legge, in giallo quelle *di attenzione*, definite da ARPA Piemonte

(% abitazioni > 300 Bq/m³
compresa tra 10 – 15 %)

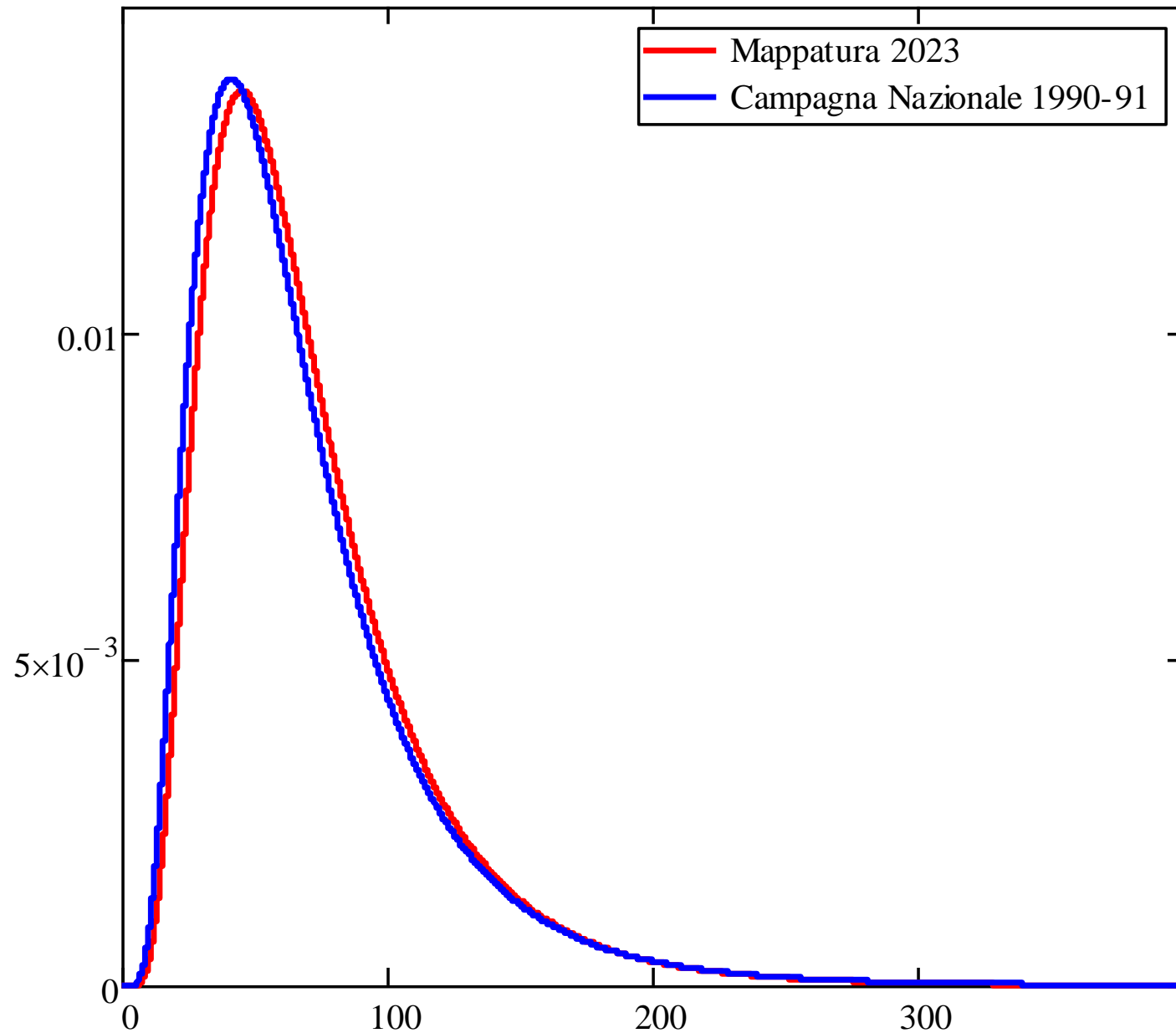


COMUNI individuati come “aree prioritarie” *	P_{>300}>15% al piano terra (percentuale di edifici situati al piano terra che superano i 300 Bq/m ³ , in termini di concentrazione media annua di attività di radon)
Andorno Micca	29
Angrogna	27
Aurano	25
Bellinzago Novarese	43
Bognanco	26
Brondello	16
Brossasco	17
Buriasco	19
Campiglia Cervo	95
Candelo	48
Cannobbio	22
Ceresole Reale	21
Chiusa di Pesio	15
Druogno	24
Entracque	17
Gaglianico	25
Gaiola	15
Giffenga	20
Macugnaga	28

COMUNI individuati come “aree prioritarie” *	P_{>300}>15% al piano terra (percentuale di edifici situati al piano terra che superano i 300 Bq/m ³ , in termini di concentrazione media annua di attività di radon)
Melle	15
Moiola	25
Noasca	15
Oleggio Castello	17
Pagno	15
Perosa Argentina	20
Peveragno	36
Quargnento	20
Re	26
Roccavione	17
Rosazza	67
Roure	16
Santa Maria Maggiore	27
Traversella	23
Venasca	18
Vigliano Biellese	34
Villar Pellice	20
Vinadio	16

* fonte “La mappa del radon in Piemonte: un aggiornamento alla luce dell’emanazione del d.lgs 101/2020” elaborato da ARPA Piemonte su istanza della Regione Piemonte

In tali aree prioritarie (37 Comuni) si avrà un regime di maggiore attenzione al radon: sarà per esempio, tra le altre cose, reso qui obbligatorio il controllo del radon in tutti i luoghi di lavoro situati al piano terra o semi-interrati (art. 16)



Confronto vecchia e nuova mappatura

- **Media Regionale
Campagna
Nazionale
69 Bq/m³**
- **Media mappatura
2023
71 Bq/m³**

Dove consultare la mappa radon? Sul Geoportale di Arpa Piemonte

La mappa radon del Piemonte

è disponibile sul

Geoportale di Arpa Piemonte

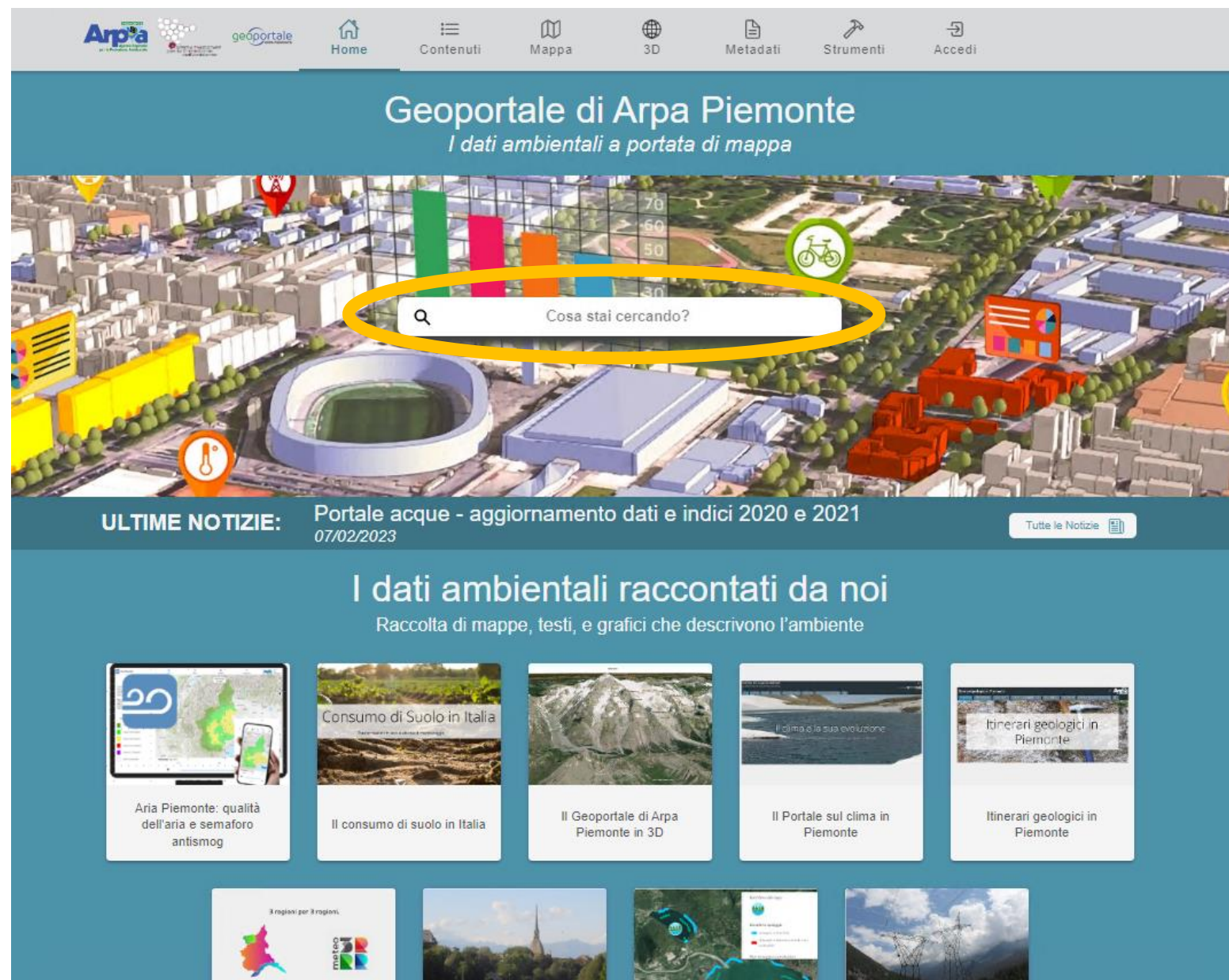
(<https://geoportale.arpa.piemonte.it/>)

Marcella Alibrando

Massimiliano Carrino

Istruzioni

Accedere al Geoportale e scrivere "**radon**" nella casella "**Cosa stai cercando?**"



Geoportale Arpa Piemonte

Lanciata la ricerca con la parola «radon»:

- il Geoportale **elenc**a le **informazioni** disponibili
- **Facendo click su «Apri in Mappa»** del geodato di interesse, si accede alla consultazione

The screenshot displays the Geoportale Arpa Piemonte interface. At the top, there is a navigation bar with logos for Arpa Piemonte, Geoportale, and Home, along with menu items: Contenuti, Mappa, 3D, Metadati, Strumenti, and Accedi. A search bar on the left contains the text 'radon'. Below it, a list of environmental topics is shown with counts in parentheses: Acqua (0), Amianto (0), Aria (0), Campi elettromagnetici (0), Ecosistemi e biodiversità (0), Energia (0), Geologia (0), Industrie ed edifici (0), Meteorologia e clima (0), Pianificazione (0), Radioattività (4), Rifiuti (0), Rischi naturali (0), Rumore e vibrazioni (0), Società e demografia (0), Suolo (0), Topografia e dati di base (0), Valutazioni ambientali (0), and Viabilità ed infrastrutture (0). To the right of the search bar, it indicates 'Hai cercato: Parola: radon' and 'Hai trovato: 4 contenuti (2 GeoDati, 2 Notizie)'. Below this, there are filters for 'Tutto (4)', 'WebApp (0)', 'GeoDati (2)', 'Tutorial (0)', and 'Notizie (2)'. The main content area is titled 'Tutti i nostri dati' and 'Elenco completo di WebApp, GeoDati, Notizie e Tutorial'. A section titled 'RADIOATTIVITÀ (4)' is highlighted with a yellow box. It contains two items: 'Medie Radon comunali e aree prioritarie' and 'Misure radiometriche nelle acque'. The first item is also highlighted with a yellow box and includes a map thumbnail, the title 'Medie Radon comunali e aree prioritarie', a description 'Mappa regionale delle concentrazioni medie di attività radon normalizzate al piano terra', a 'PIÙ INFORMAZIONI' link, and buttons for 'WMS' and 'Metadato'. The second item, 'Misure radiometriche nelle acque', also includes a map thumbnail, a description 'Mappe regionali delle concentrazioni di attività alfa totale, beta totale, uranio, radon e trizio nelle acque della regione.', a 'PIÙ INFORMAZIONI' link, and buttons for 'WMS' and 'Metadato'. Both items have an 'Apri in Mappa' link with a map icon.

Geoportale Arpa Piemonte

Dopo il click su «**Apri in Mappa**» sono disponibili:

- la mappa delle aree prioritarie per il Radon
-

Medie Radon comunali e aree prioritarie

Mappatura del Radon in Piemonte - Aree prioritarie - Radon

- Aree di attenzione
- Aree non prioritarie
- Aree prioritarie

Medie Radon comunali e aree prioritarie Mappatura del Radon in Piemonte - Aree prioritarie - Radon	
PROVINCIA	Torino
COMUNE	Noasca
AREE PRIORITARIE	Aree prioritarie

Zoom to 1 of 2

Acqua (10)

- Bacini idrografici
- Fonti acque minerali, sorgenti, termali
- GEmMA - GEodatabase Morfologia corsi d'Acqua in Piemonte
- Monitoraggio acque - Misure del Piano di Tutela delle Acque
- Monitoraggio acque - Pressioni sui corpi idrici
- Monitoraggio acque sotterranee
- Monitoraggio acque superficiali
- Portate al colmo in Piemonte
- Rete Piezometrica Metropolitana di Torino
- Reticolo idrografico ai sensi della Direttiva Europea WFD/2000/60/CE - Corpi idrici "fiumi"

AMIANTO (2)

- Mappatura amianto in natura
- Mappatura coperture in cemento amianto

ARIA (6)

- Emissioni in atmosfera (IREA 2008)

Geoportale Arpa Piemonte

- ... La mappa della media comunale al piano terra (Bq/m^3)

Medie Radon comunali e aree prioritarie |
Mappatura del Radon in Piemonte - Media
comunale al piano terra (Bq/mc)

PROVINCIA	Torino
COMUNE	Pinerolo
MEDIA	138

Zoom to

1 of 6

La mappa radon del Piemonte può essere **consultata contestualmente** alle altre informazioni disponibili sul Geoportale

Cerca

WMS

Filtra per tematica

Filtra per caricati su mappa

168 GeoDati

ACQUA (10)

- Bacini idrografici
- Fonti acque minerali, sorgenti, termali
- GEMMA - GEodatabase Morfologia corsi d'Acqua in Piemonte
- Monitoraggio acque - Misure del Piano di Tutela delle Acque
- Monitoraggio acque - Pressioni sui corpi idrici
- Monitoraggio acque sotterranee
- Monitoraggio acque superficiali
- Portate al colmo in Piemonte
- Rete Piezometrica Metropolitana di Torino
- Reticolo idrografico ai sensi della Direttiva Europea WFD/2000/60/CE - Corpi idrici "fiumi"

AMIANTO (2)

- Mappatura amianto in natura
- Mappatura coperture in cemento amianto

Grazie per l'attenzione