ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

RAPPORTI ISTISAN 26|27

ISSN: 1123-3117 (cartaceo) • 2384-8936 (online)

Radioattività nelle acque destinate al consumo umano: risultati del secondo programma di controllo in Italia

C. Carpentieri, M.F. Teatini, M. Caprio, F. Bochicchio, C. Di Carlo



AMBIENTE
E SALUTE

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

Radioattività nelle acque destinate al consumo umano: risultati del secondo programma di controllo in Italia

Carmela Carpentieri, Maria Federica Teatini, Mario Caprio,
Francesco Bochicchio, Christian Di Carlo

*Centro per la Protezione dalle Radiazioni e Fisica Computazionale**

** Al momento della stesura gli autori e le autrici afferivano al Centro per la Protezione dalle Radiazioni e Fisica Computazionale attualmente in parte confluito nel Dipartimento Ambiente e Salute*

ISSN: 1123-3117 (cartaceo) • 2384-8936 (online)

Rapporti ISTISAN 26/27

Istituto Superiore di Sanità
Radioattività nelle acque destinate al consumo umano: risultati del secondo programma di controllo in Italia.
Carmela Carpentieri, Maria Federica Teatini, Mario Caprio, Francesco Bochicchio, Christian Di Carlo
2026, 53 p. Rapporti ISTISAN 26/27

Il rapporto descrive le attività e analizza i risultati del secondo programma di controllo della radioattività nelle acque destinate al consumo umano in Italia (2021 e 2022), condotto in attuazione del DL.vo 28/2016 (che ha recepito la Direttiva 2013/51/Euratom) e del DM 2 agosto 2017. Il controllo, coordinato dal Ministero della Salute e dall'Istituto Superiore di Sanità, si è svolto in tutte le Regioni con il supporto delle agenzie regionali e provinciali per la protezione ambientale e delle Aziende Sanitarie Locali. Le misurazioni hanno riguardato la concentrazione di attività alfa totale, beta totale, radon e trizio in circa 1700 zone di fornitura. Considerando l'unione dei primi due programmi di controllo, il database contiene misure valide di alfa e beta totale per oltre 3100 zone di fornitura, che servono l'86% della popolazione italiana. Il valore di parametro è stato superato per il radon in sette zone di fornitura e per il trizio in nessuna, mentre i livelli di screening di alfa e beta totale sono stati superati rispettivamente solo nel 4% e nel 2% delle zone di fornitura. Nei due programmi le misurazioni di approfondimento su specifici radionuclidi (534 campioni) hanno evidenziato un superamento del valore di parametro della Dose Indicativa in 10 campioni relativi a 8 zone di fornitura, con un massimo di 0,16 mSv all'anno. Nel complesso, i risultati confermano che la qualità delle acque destinate al consumo umano in Italia è in larghissima parte conforme ai requisiti normativi.
Parole chiave: Radioattività; Qualità delle acque; Acqua destinata al consumo umano; Dose Indicativa; Alfa totale; Beta totale; Radon; Trizio

Istituto Superiore di Sanità
Radioactivity in water intended for human consumption: results of the second control program in Italy.
Carmela Carpentieri, Maria Federica Teatini, Mario Caprio, Francesco Bochicchio, Christian Di Carlo
2026, 53 p. Rapporti ISTISAN 26/27 (in Italian)

The report describes the activities and analyses the results of the second national control program on radioactivity in water intended for human consumption (2021 and 2022), carried out under Legislative Decree No. 28/2016 (which transposed Directive 2013/51/Euratom) and the Ministerial Decree of 2 August 2017. The monitoring, coordinated by the Ministry of Health and the Istituto Superiore di Sanità (the National Institute of Health in Italy), was implemented in all Italian Regions with the support of regional and provincial environmental protection agencies and Local Health Authorities. Gross alpha, gross beta, radon and tritium activity concentrations were measured in approximately 1,700 water supply zones. Combining the two programs, the database contains valid gross alpha and gross beta measurements for more than 3,100 water supply zones, serving 86% of the Italian population. The parametric value was exceeded for radon in seven water supply zones and never for tritium, while the gross alpha and gross beta screening levels were exceeded in only 4% and 2% of water supply zones, respectively. In both programs, follow-up measurements of specific radionuclides (534 samples) showed that the Indicative Dose exceeded the parametric value in 10 samples from 8 water supply zones, with a maximum of 0.16 mSv per year. Overall, the results confirm that the quality of water intended for human consumption in Italy is, to a very large extent, compliant with the regulatory requirements.
Key words: Radioactivity; Water quality; Drinking water; Indicative dose; Gross alpha; Gross beta; Radon; Tritium

Si ringraziano i colleghi delle Regioni e Province Autonome, delle Agenzie Regionali/Provinciali per la Protezione Ambientale e delle Aziende Sanitarie Locali italiane, dell'Istituto Superiore di Sanità e del Ministero della Salute che hanno contribuito alle attività del secondo programma di controllo. La lista completa è riportata in Appendice.
Si ringraziano inoltre tutti i gestori dei servizi idrici coinvolti.

Per informazioni su questo documento scrivere a: carmela.carpentieri@iss.it

Il rapporto è accessibile online dal sito di questo Istituto: www.iss.it

Citare questo documento come segue:
Carpentieri C, Teatini MF, Caprio M, Bochicchio F, Di Carlo C. *Radioactivity in water intended for human consumption: results of the second control program in Italy.* Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2026. (Rapporti ISTISAN 26/27).

Legale rappresentante dell'Istituto Superiore di Sanità: *Rocco Bellantone*
Registro della Stampa - Tribunale di Roma n. 114 (cartaceo) e n. 115 (online) del 16 maggio 2014

Direttore responsabile della serie: *Antonio Mistretta*
Coordinamento redazionale: *Sandra Salinetti.* Redazione*: Sandra Salinetti, Annalisa D'Angelo*
La responsabilità dei dati scientifici e tecnici è dei singoli autori, che dichiarano di non avere conflitti di interesse.

© *Istituto Superiore di Sanità 2026*
viale Regina Elena, 299 – 00161 Roma

INDICE

Introduzione 1

Quadro normativo nazionale e internazionale 2

Analisi delle misurazioni condotte 4
Numero di misurazioni 4
Controllo e validazione dei risultati delle misurazioni 6
Confronto tra i risultati delle misurazioni effettuate per i controlli esterni e interni 6
Popolazione coperta 8

Risultati delle misurazioni 17
Concentrazione di attività alfa totale 17
Concentrazione di attività beta totale 19
Concentrazione di attività beta residua 20
Concentrazione di attività di radon 21
Concentrazione di attività di trizio 22

Superamenti dei valori di parametro 24
Dose Indicativa 24
Radon 28
Trizio 30

Risultati PdC-1 e PdC-2 33

Misurazioni di approfondimento 37
Ra-226 37
Ra-228 38
U-234 39
U-238 39
Pb-210 40
Po-210 41

Conclusioni 42

Appendice A
Partecipanti al secondo programma di controllo 45

INTRODUZIONE

Questo rapporto contiene in sintesi la descrizione delle attività svolte e l'analisi dei risultati ottenuti con il secondo programma di controllo della radioattività nelle acque destinate al consumo umano, in attuazione del DL.vo 28/2016, integrato dalle indicazioni operative riportate nel Decreto Ministeriale del 2 agosto 2017.

In base ai suddetti decreti, il controllo della radioattività nelle acque destinate al consumo umano è organizzato tramite *programmi di controllo regionali*.

Il Ministero della Salute e l'Istituto Superiore di Sanità, tramite il Centro Nazionale per la Protezione dalle Radiazioni e Fisica Computazionale, svolgono funzioni di indirizzo, coordinamento e valutazione della pianificazione e svolgimento dei programmi di controllo delle Regioni e Province Autonome (PA), predisposti dagli Assessorati competenti col supporto delle Agenzie Regionali/Provinciali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA/APPA) e realizzati tramite le Aziende Sanitarie Locali e le ARPA/APPA (Appendice A).

A scopo di indirizzo e coordinamento, il Ministero della Salute e l'Istituto Superiore di Sanità hanno effettuato diverse attività, tra cui:

- organizzazione di riunioni con tutte le Regioni e PA e con le rispettive ARPA o APPA al fine di fornire indicazioni utili alla pianificazione dei programmi di controllo;
- predisposizione dei format per la pianificazione dei programmi di controllo e per la rendicontazione dei risultati delle misurazioni di radioattività effettuate nell'ambito di tali programmi;
- analisi e valutazione dei programmi di controllo elaborati da ogni Regione e PA;
- elaborazione di criteri e algoritmi per analizzare e valutare i risultati delle misurazioni.

I programmi di controllo regionali hanno generalmente durata biennale, ma il primo programma di controllo si è svolto complessivamente nel periodo 2018-2020, in quanto le Regioni hanno iniziato in tempi diversi le attività di campionamento e misurazione della radioattività. Le misurazioni del secondo programma di controllo fanno riferimento alle annualità 2021 e 2022.

Non essendo generalmente possibile effettuare misurazioni di radioattività in tutte le zone di fornitura delle reti di distribuzione idrica nell'ambito di un programma di controllo, il Ministero della Salute e l'Istituto Superiore di Sanità hanno dato indicazione alle Regioni e PA di dare la priorità alle zone di fornitura più rilevanti, cioè le zone di fornitura che forniscono il maggior quantitativo d'acqua (ossia servono il maggior numero di persone) e quelle per le quali si ha informazione di un contenuto rilevante di radioattività. Pertanto, con il secondo programma di controllo le Regioni sono andate avanti nella scelta delle zone di fornitura da misurare seguendo lo stesso criterio. Inoltre, anche il secondo programma di controllo non include acque utilizzate da imprese alimentari e non provenienti da reti di distribuzione idrica.

Il presente rapporto è organizzato come segue: inizialmente è riportata una descrizione in sintesi del quadro normativo di riferimento; a seguire le valutazioni preliminari in merito alla numerosità delle misurazioni effettuate e dei risultati raccolti, nonché un'analisi della percentuale della popolazione italiana servita dalle acque sottoposte a misurazione nell'ambito dei primi due programmi di controllo (PdC-1 e PdC-2); l'analisi effettuata sui risultati delle singole misurazioni condotte e l'analisi raggruppata per Zona di Fornitura (ZdF) per le misurazioni del PdC-2; l'analisi raggruppata per zona di fornitura tenendo conto delle misurazioni effettuate sia nel PdC-1 che nel PdC-2 e per finire alcune conclusioni; i risultati delle misurazioni di approfondimento condotte nei due programmi di controllo per quantificare specifici radionuclidi alfa e beta emettitori; per finire alcune conclusioni..

QUADRO NORMATIVO NAZIONALE E INTERNAZIONALE

Il DL.vo 28/2016 – "Attuazione della direttiva 2013/51/Euratom del Consiglio, del 22 ottobre 2013, che stabilisce requisiti per la tutela della salute della popolazione relativamente alle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano" – recepisce la Direttiva 2013/51/Euratom – "Laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption".

Ad integrazione del DL.vo 28/2016 è stato emanato un Decreto del Ministro della Salute, il DM 2 agosto 2017, contenente indicazioni operative a carattere tecnico-scientifico ai sensi dell'articolo 8 del DL.vo 28/2016. Quest'ultimo ha permesso di definire meglio i parametri di riferimento per il monitoraggio, le modalità di attuazione dei controlli e le azioni da intraprendere.

Le "acque destinate al consumo umano" regolamentate da questi decreti sono:

1. 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 idrica, o mediante cisterne, bottiglie o altri contenitori;
2. tutte le acque (non provenienti da una rete di distribuzione idrica) 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.

Con i suddetti decreti è stato introdotto per la prima volta un sistema organico di controlli della radioattività presente nelle acque destinate al consumo umano. Alle Regioni e PA, con il supporto delle ARPA/APPA e delle ASL, è stata assegnata la responsabilità dei controlli a livello regionale – tramite l'elaborazione e realizzazione di specifici "programmi di controllo" regionali – e compiti di effettuazione dei cosiddetti "controlli esterni". Ai gestori delle reti di distribuzione idrica (e delle imprese alimentari che utilizzano acque non provenienti da una rete di distribuzione idrica) sono stati assegnati compiti di effettuazione dei cosiddetti "controlli interni".

Al Ministero della Salute e all'Istituto Superiore di Sanità sono stati assegnati compiti di indirizzo, coordinamento e valutazione dei programmi di controllo regionale, nonché la gestione di un archivio contenente i risultati delle misurazioni effettuate e la pubblicazione dei risultati stessi.

Nel DL.vo 28/2016 sono stabiliti i requisiti per la tutela della salute della popolazione relativamente alle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano, sotto forma di "valori di parametro", riportati in Tabella 1.

Tabella 1. Valori di parametro e relativi limiti di rivelazione delle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano. Tali valori sono stabiliti dal DL.vo 28/2016 e riportati nell'Allegato I e nell'Allegato III

Parametro	Valore di parametro (Tabella in Allegato I)	Limite di rivelazione (Tabella 2 in Allegato III)
Concentrazione di attività di radon	100 Bq L^{-1}	10 Bq L^{-1}
Concentrazione di attività di trizio	100 Bq L^{-1}	10 Bq L^{-1}
Dose Indicativa	0,10 mSv y^{-1}	

I valori di parametro sono i valori con cui confrontare la media annua dei valori misurati e al di sopra dei quali si deve valutare se la presenza di sostanze radioattive costituisca un rischio per la salute umana tale da richiedere un intervento. Nel decreto è riportato anche il "Limite di rivelazione" delle misurazioni (cioè, la Minima Attività Rivelabile, MAR) affinché queste possano garantire adeguatamente il rispetto del non superamento del valore di parametro.

La verifica del rispetto del valore di parametro per la Dose Indicativa viene effettuata tramite una strategia di screening basata sulla misurazione di concentrazione di attività totale dei radionuclidi emettitori alfa (di seguito concentrazione di attività alfa totale) ed emettitori beta (di seguito concentrazione di attività beta totale), utilizzando i valori di screening riportati in Tabella 2. Se i valori di screening non risultano superati, allora non è generalmente superato nemmeno il valore di parametro per la Dose Indicativa e non sono quindi richiesti approfondimenti, cioè la misurazione del contenuto di specifici radionuclidi.

Tabella 2. Valori di screening e relativi limiti di rivelazione per la concentrazione di attività totale dei radionuclidi emettitori alfa ed emettitori beta. Se i valori di screening non risultano superati, allora non è generalmente superato nemmeno il valore di parametro per la Dose Indicativa

Parametro	Valore di screening	Limite di rivelazione
Concentrazione di alfa totale	0,1 Bq L^{-1}	0,04 Bq L^{-1}
Concentrazione di beta totale	0,5 Bq L^{-1}	0,2 Bq L^{-1}

Il DL.vo 28/2016 nelle Tabelle 1 e 2 dell'Allegato II stabilisce la frequenza del monitoraggio della radioattività sia nel caso debbano essere effettuate le valutazioni preliminari (ma imponendo una frequenza minima di quattro misure l'anno) per stabilire se una determinata fornitura d'acqua debba essere messa sotto controllo oppure no, sia per i controlli necessari quando, a seguito di valutazioni preliminari, una fornitura d'acqua viene messa sotto controllo.

Il decreto indica anche le azioni *correttive* da effettuarsi nel caso in cui il superamento dei valori di parametro richieda interventi per garantire la protezione della salute pubblica.

ANALISI DELLE MISURAZIONI CONDOTTE

Le misurazioni condotte nell'ambito del secondo Programma di Controllo (PdC-2) si riferiscono alle annualità 2021 e 2022.

Come previsto dalla normativa, i dati delle misurazioni effettuate sono stati inviati annualmente al Ministero della Salute e all'Istituto Superiore di Sanità e qui organizzati in un archivio, strutturato in un database "DB PdC Radioattività Acque", che tiene conto sia delle programmazioni formulate *a priori* all'inizio di ciascun programma di controllo che delle misurazioni effettive fatte a seguito della programmazione.

Numero di misurazioni

In Figura 1 è riportato il numero delle misurazioni, così come inviate dalle Regioni, condotte nell'ambito del secondo programma di controllo, e il dettaglio riferito a ciascuna tipologia di misurazione: concentrazione di attività alfa totale, beta totale, radon e trizio. La Figura 2 invece riporta il numero di misurazioni, ma divise fra quelle effettuate dai controlli esterni e quelle effettuate dai controlli interni.

Il numero più basso di misurazioni della concentrazione di attività di trizio è ovviamente riconducibile alla necessità di condurre tali valutazioni analitiche solo qualora vi fossero accertate o presunte fonti di pressione che interessino l'acqua servita da quella specifica zona di fornitura. Per quanto concerne il radon, le Regioni e PA hanno assicurato che le indagini sui livelli di concentrazione di radon fossero effettuate nelle acque destinate al consumo umano provenienti in tutto o in parte da fonti sotterranee situate in diverse aree geologiche o da bacini superficiali di origine vulcanica: pertanto, in ragione delle caratteristiche delle sorgenti di approvvigionamento idrico potabile sul territorio italiano, le misurazioni della concentrazione di attività di radon sono state condotte nella quasi totalità delle zone di fornitura prese in esame. Infine, per il parametro Dose Indicativa, sono state effettuate misurazioni della concentrazione di attività alfa e beta totale per tutte le zone di fornitura, salvo eccezioni specifiche documentate e giustificate, prese in esame nell'ambito del secondo programma di controllo.

Il numero totale di campioni per cui sono stati raccolti i risultati di almeno una misurazione è di oltre 10000. Per circa 9700 di questi campioni sono state effettuate misurazioni della concentrazione di attività alfa e beta totale, e per circa 8400 di questi sono state condotte anche misurazioni della concentrazione di attività di radon. Per circa 2300 campioni è stata inoltre misurata analiticamente la concentrazione di attività di trizio: tali campioni, nella maggior parte dei casi, sono stati raccolti specificamente allo scopo di monitorare la concentrazione di trizio e, solo in alcune situazioni, su di essi sono state condotte anche misurazioni della concentrazione di attività alfa e beta totale o di radon. Da sottolineare che sebbene il decreto legislativo preveda che le misurazioni di attività di trizio siano effettuate solo in zone di fornitura dove si presume ci siano fonti di pressione, alcune Regioni hanno preferito mantenere un approccio di screening ed effettuare più misurazioni sul loro territorio anche per quanto riguarda la concentrazione di attività di trizio.

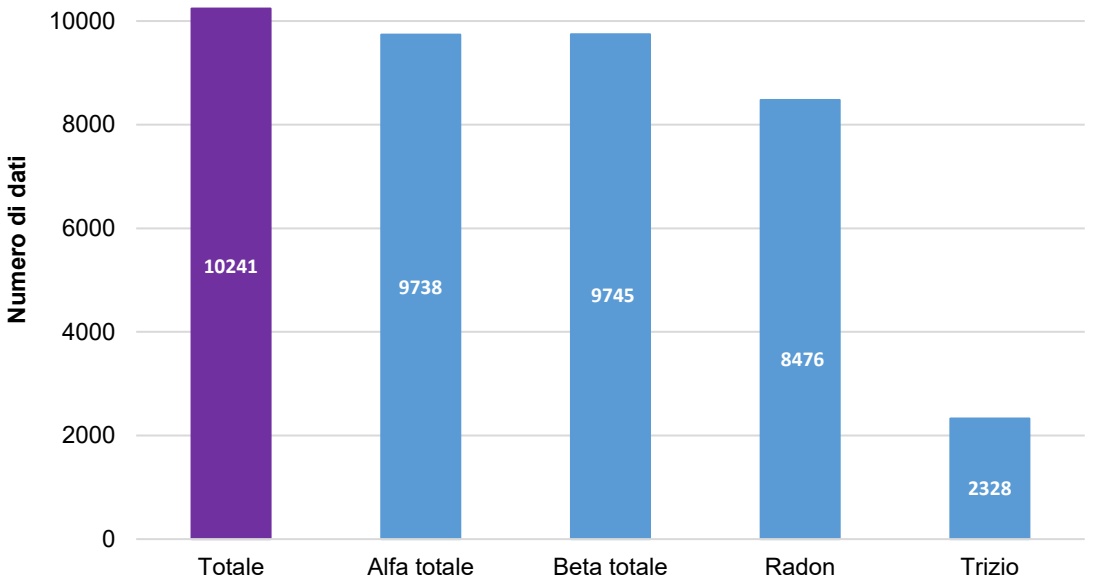


Figura 1. Campioni (n. totale) per cui sono state effettuate misurazioni e i cui esiti sono contenuti nel DB PdC Radioattività Acque nell'ambito del PdC-2

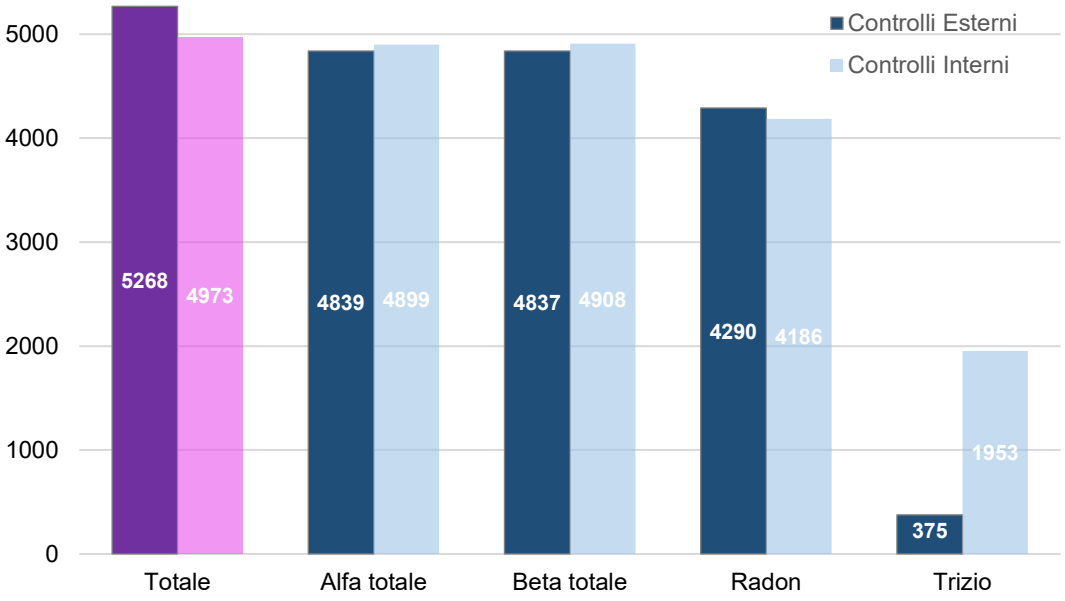


Figura 2. Campioni (n. totale) per cui sono state effettuate misurazioni e i cui esiti sono contenuti nel DB PdC Radioattività Acque divisi per controlli esterni e interni nell'ambito del PdC-2

Controllo e validazione dei risultati delle misurazioni

Per le analisi condotte a livello nazionale e regionale della qualità delle acque italiane destinate al consumo umano e sottoposte a monitoraggio nell'ambito del secondo programma di controllo, sono state considerate come "valide":

- tutte le misurazioni per cui sia stato riportato il valore della Minima concentrazione di Attività Rivelabile (nel seguito MAR) indipendentemente dal fatto che la MAR soddisfacesse o meno i requisiti riportati dal DL.vo 28/2016;
- tutte le misurazioni per cui non sia stato riportato il valore della MAR purché fosse fornito il risultato della misurazione e che tale risultato non fosse riportato come inferiore alla MAR. Per tali misurazioni, è stata, per le finalità del presente documento, assegnata una MAR pari al valore massimo richiesto dal DL.vo 28/2016.

Quindi, gli unici risultati esclusi dalle analisi riportate in questo rapporto sono quelli per cui il risultato della misurazione è riportato come inferiore alla MAR e, contestualmente, il valore di questa non è indicato. In tali circostanze, infatti, in considerazione dell'estrema variabilità dei valori della minima attività rivelabile delle diverse quantità misurate in relazione alla tecnica analitica impiegata e alla strumentazione nonché alle specifiche scelte procedurali adottate dal laboratorio, non sarebbe stato possibile fornire una stima sufficientemente affidabile del livello di radioattività effettivamente presente nell'acqua monitorata.

Si tenga, inoltre, presente che ai fini delle analisi e delle valutazioni del presente rapporto non sono state escluse le misurazioni per cui la MAR non è stata riportata e quelle per cui la MAR riportata non rispetta quanto previsto dal DL.vo 28/2016 in merito alle prestazioni analitiche dei metodi impiegati (Tabella 2 dell'Allegato III).

Confronto tra i risultati delle misurazioni effettuate per i controlli esterni e interni

In base alle indicazioni riportate nel DL.vo 28/2016 e nel DM del 2 agosto 2017, il punto di campionamento per i controlli interni dovrebbe essere equivalente a quello per i controlli esterni, in quanto per i controlli interni viene adottato un approccio di screening che prevede inizialmente la misurazione del contenuto di radioattività a valle della miscelazione e trattamento delle acque provenienti dalle diverse fonti, e solo in caso di valori "alti" si deve procedere a effettuare campionamenti alle singole fonti. Quindi i risultati dei controlli interni dovrebbero essere equivalenti a quelli dei controlli esterni, pur tenendo conto che l'incertezza di misura determina comunque una variabilità, soprattutto a livelli di concentrazione bassi.

Per verificare l'attesa equivalenza sono stati confrontati i risultati dei controlli interni ed esterni separatamente per ogni grandezza misurata, cioè concentrazione di attività alfa totale, beta totale, radon e trizio e tali confronti sono riportati nelle Figure 3-5.

Una prima analisi di tali confronti mostra, in alcuni casi, una variabilità eccessiva del rapporto (per ogni zona di fornitura) tra la media dei controlli esterni e quella dei controlli interni. Inoltre, per alcune grandezze misurate (concentrazione di alfa totale e di beta totale) la mediana della distribuzione di tali rapporti risulta sensibilmente diversa da 1 anche se i numeri sono migliorati rispetto a quelli presentati nel Rapporto sui dati del primo programma di controllo.

I parametri di queste distribuzioni sono riportati in Tabella 3. Queste differenze comunque mostrano ancora una volta la necessità di effettuare ulteriori controlli di qualità sia sui dati inseriti nei file delle misurazioni inviati al Ministero della Salute e all'Istituto Superiore di Sanità, sia sulle procedure sperimentali adottate dai vari laboratori.

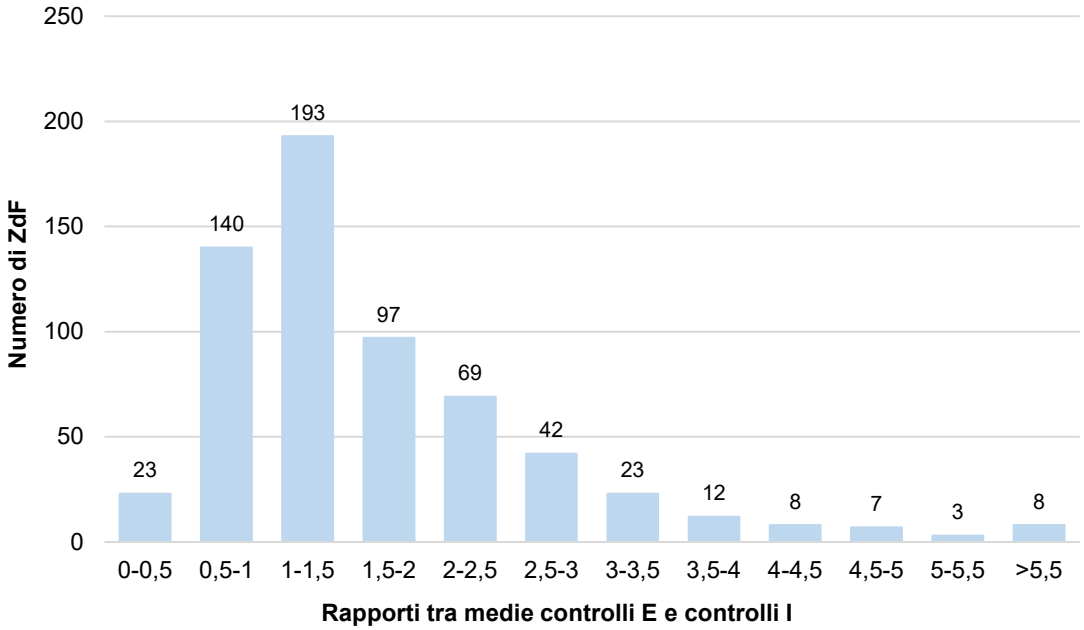


Figura 3. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI ALFA TOTALE: distribuzione dei rapporti (per ogni zona di fornitura) tra la media dei controlli esterni e la media dei controlli interni nell'ambito del PdC-2
(l'analisi è effettuata per quelle zone di fornitura per le quali sono disponibili almeno due misurazioni effettuate dai controlli esterni e due dai controlli interni)

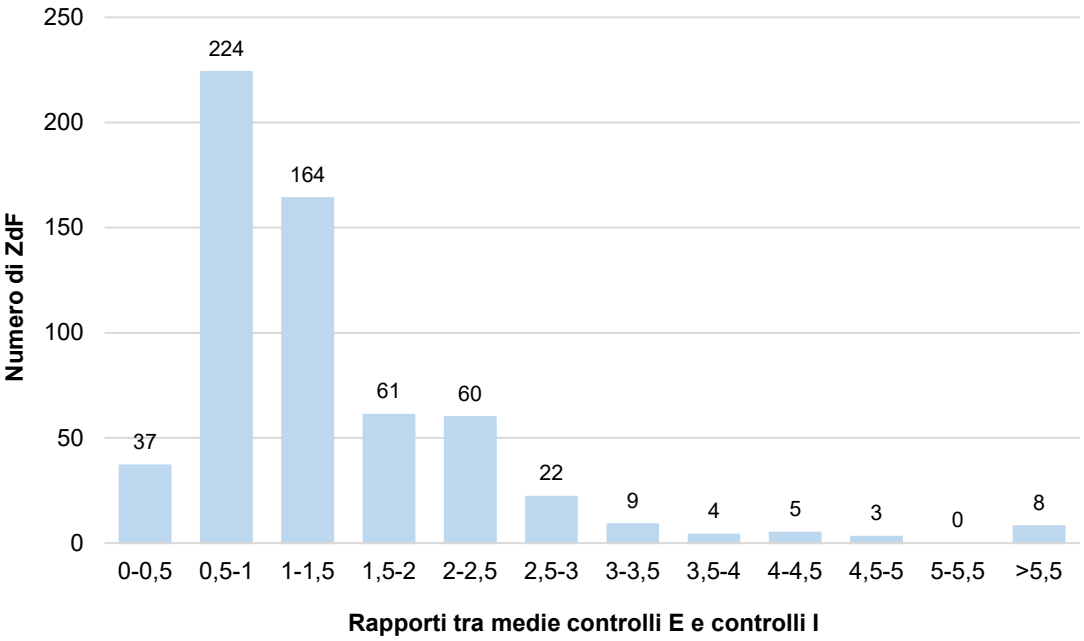


Figura 4. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI BETA TOTALE: distribuzione dei rapporti (per ogni zona di fornitura) tra la media dei controlli esterni e la media dei controlli interni nell'ambito del PdC-2
(l'analisi è effettuata per quelle zone di fornitura per le quali sono disponibili almeno due misurazioni effettuate dai controlli esterni e due dai controlli interni)

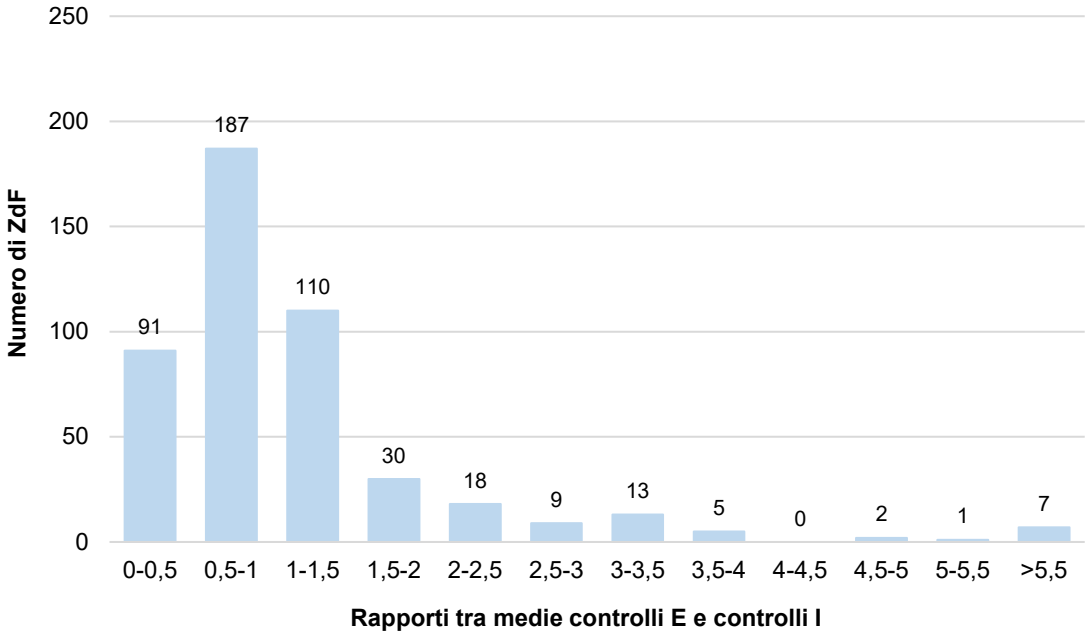


Figura 5. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI RADON: distribuzione dei rapporti (per ogni zona di fornitura) tra la media dei controlli esterni e la media dei controlli interni nell'ambito del PdC-2
(l'analisi è effettuata per quelle zone di fornitura per le quali sono disponibili almeno due misurazioni effettuate dai controlli esterni e due dai controlli interni)

Tabella 3. Misurazioni delle concentrazioni di attività alfa totale, beta totale, radon e trizio: parametri delle distribuzioni dei rapporti tra la media dei controlli esterni (E) e quella dei controlli interni (I) nell'ambito del PdC-2

Parametro	Alfa totale	Beta totale	Radon	Trizio
N. di rapporti E/I	625	597	475	8
Media	1,7	1,3	1,2	0,5
Deviazione Standard	1,1	1,0	1,6	0,1
Mediana	1,4	1,0	0,9	0,4
1° quartile	1,0	0,7	0,6	0,4
3° quartile	2,1	1,6	1,3	0,5

L'analisi è effettuata per quelle zone di fornitura per le quali sono disponibili almeno due misurazioni effettuate dai controlli esterni e due dai controlli interni

Popolazione coperta

Uno degli aspetti chiave del primo programma di controllo è stato l'ampia copertura del territorio nazionale, che ha permesso di raccogliere dati su un numero significativo di zone di fornitura d'acqua. Nell'ambito del PdC-1 sono state effettuate misure valide della concentrazione di attività

alfa e beta totale per un totale di oltre 1400 (rispettivamente 1457 e 1438) zone di fornitura: la popolazione servita corrisponde al 62% della popolazione italiana. Tale copertura rappresenta un importante passo avanti nella valutazione del rischio radiologico associato al consumo di acqua potabile. Con l'implementazione del secondo programma di controllo la copertura è ovviamente salita, ma bisogna tener conto che alcune Regioni nel secondo programma di controllo hanno effettuato sia misure in zone di fornitura che non erano state ancora prese in considerazione nel primo programma di controllo (come richiesto dal decreto), sia misure in zone di fornitura già misurate nel primo programma di controllo ma per le quali non erano state portate a termine tutte le misurazioni previste dalla programmazione.

A valle dell'unione delle misurazioni effettuate nel PdC-1 e PdC-2 il database contiene misure valide della concentrazione di attività alfa e beta totale per un totale di oltre 3100 zone di fornitura: la popolazione servita corrisponde a circa l'86% della popolazione italiana.

Di seguito sono riportate le percentuali di copertura per le singole Regioni per quanto riguarda le misure di concentrazione di attività di alfa e beta totale e radon tenendo conto delle misure effettuate sia nel primo che nel secondo programma di controllo.

In Figura 6 sono riportate le percentuali di copertura per le singole Regioni per il monitoraggio del parametro Dose Indicativa (cioè la concentrazione di alfa e beta totale).

Le percentuali di copertura variano tra le diverse Regioni, con alcune che hanno raggiunto livelli di monitoraggio anche molto elevati.

Per la Calabria, la percentuale di copertura della popolazione riportata è quella indicata in fase di programmazione dalla Regione stessa e non è, al contrario del resto d'Italia, determinata sulla base delle misurazioni effettivamente eseguite. Per la Calabria, non è stato possibile valutare la percentuale di popolazione coperta in quanto, in fase di trasferimento dei risultati delle misurazioni, non sono state utilizzate le medesime codifiche definite durante la fase di programmazione: tuttavia, i risultati delle misurazioni condotte nell'ambito del secondo programma di controllo sono stati raccolti ed inclusi nel database.

Per la Campania e la Liguria le percentuali risultano superiori al 100% probabilmente perché per le zone di fornitura che servono più Comuni, ma solo una parte di tali Comuni, in alcuni casi potrebbe essere stata utilizzata la popolazione totale del Comune stesso. Queste percentuali verranno corrette nei rapporti dedicati ai prossimi programmi di controllo.

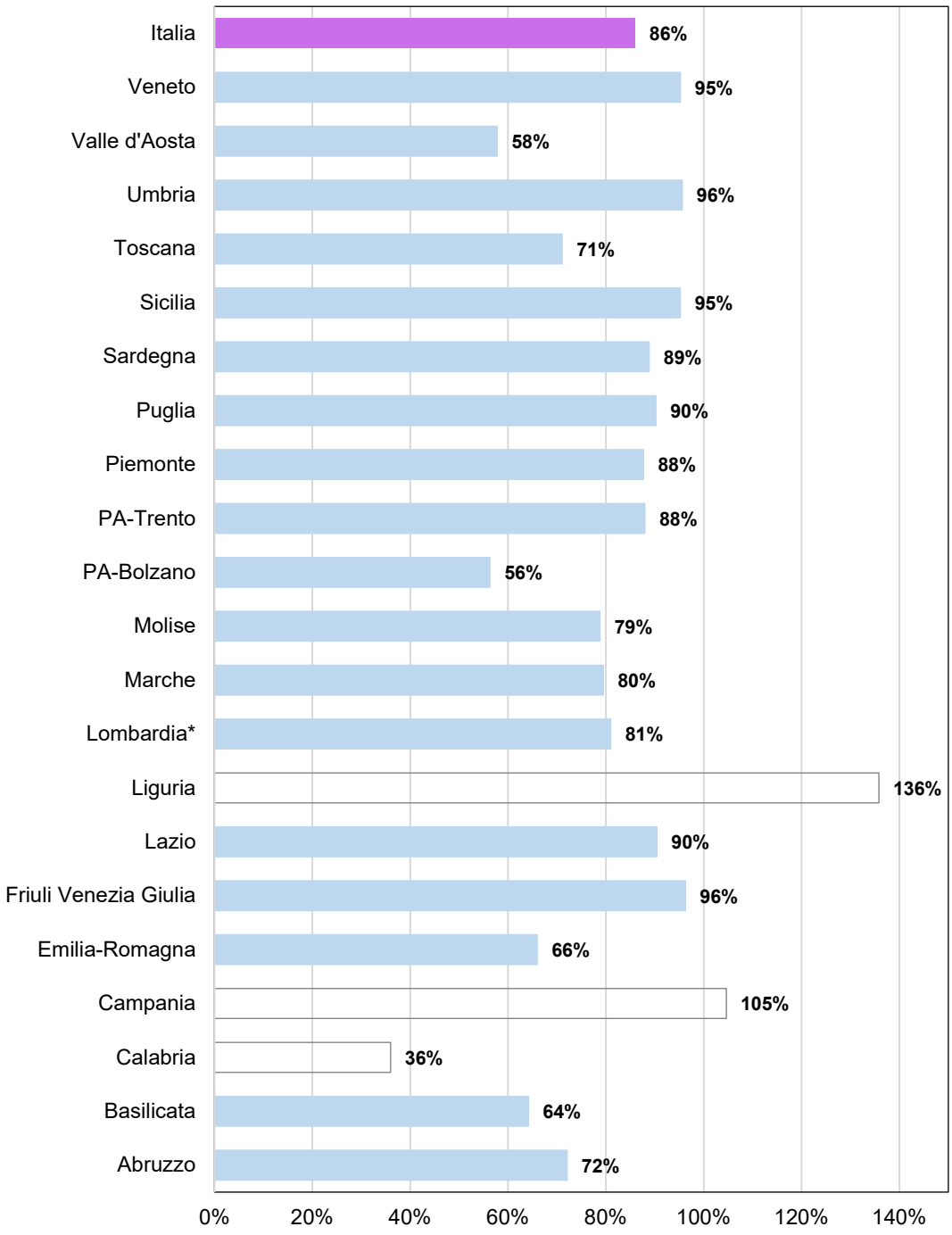
Se consideriamo le zone di fornitura per cui sono state effettuate, nell'ambito del primo e del secondo programma di controllo, almeno 4 misurazioni di concentrazione di alfa totale o di beta totale, la corrispondente popolazione servita è, per entrambi i parametri, 75% della popolazione italiana.

In Figura 7 sono riportate le percentuali di copertura sia nazionale che per le singole Regioni per quanto riguarda le misure di concentrazione di attività di alfa e beta totale.

Riferendosi al solo PdC-2, per ciascuna Regione è riportato il numero di zone di fornitura per cui è presente nel database almeno una misurazione valida di concentrazione di attività di alfa totale (Tabella 4) e beta totale (Tabella 5) e il numero totale di misurazioni effettuate sul territorio regionale sia per quanto riguarda i controlli interni che per quanto riguarda i controlli esterni.

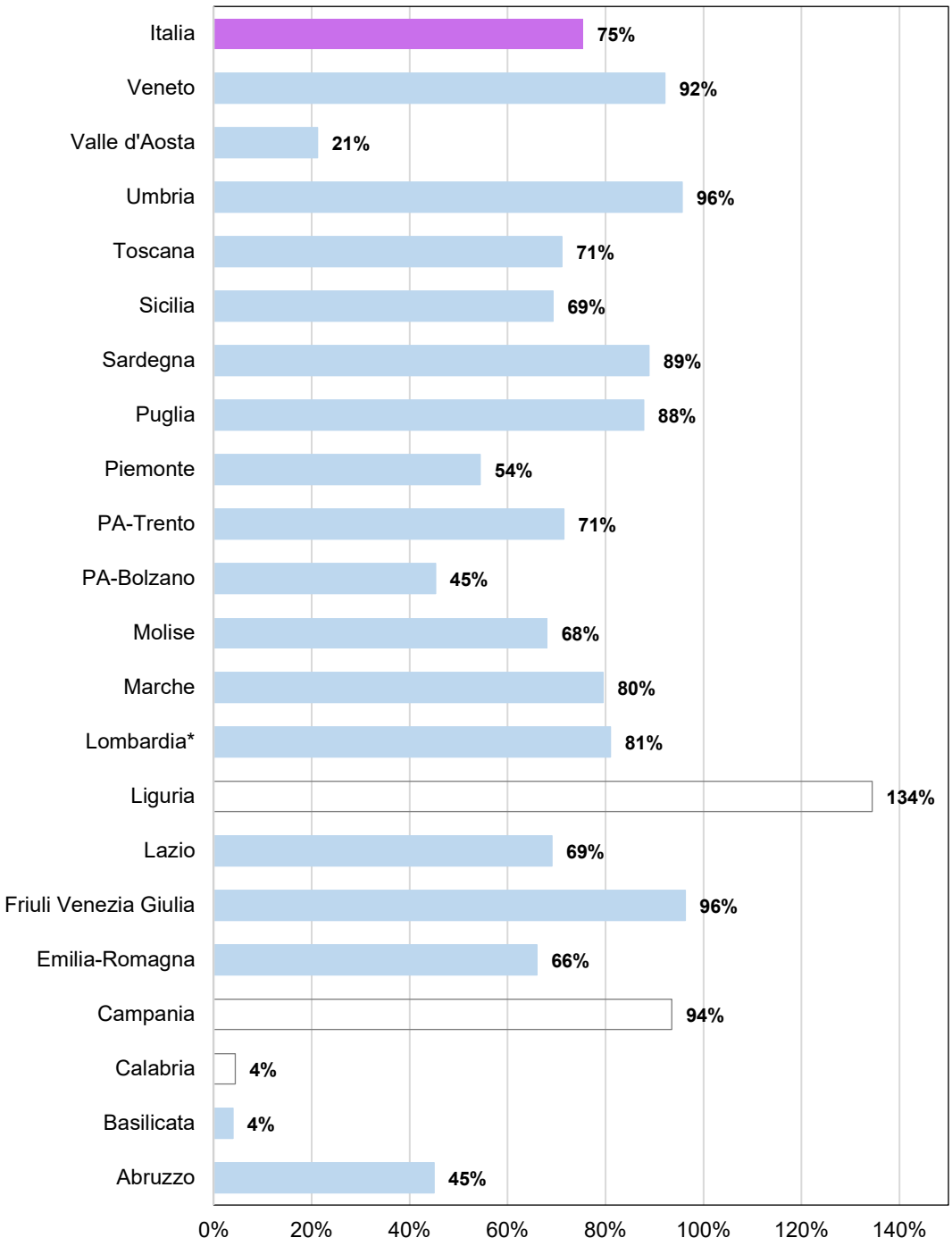
Nell'ambito del PdC-1 sono state effettuate misure valide della concentrazione di radon per un totale di oltre 1200 zone di fornitura: la popolazione servita corrisponde a circa il 56% della popolazione italiana. A valle dell'unione delle misurazioni effettuate nel PdC-1 e PdC-2 il database contiene misure valide della concentrazione di radon per un totale di oltre 2500 zone di fornitura: la popolazione servita corrisponde a circa il 78% della popolazione italiana.

In Figura 8 sono riportate le percentuali Regione per Regione. Per la Calabria, la Campania e la Liguria valgono le stesse considerazioni esposte in precedenza con riferimento al monitoraggio del parametro Dose Indicativa. In Figura 9 sono riportate le percentuali Regione per Regione considerando le sole zone di fornitura per cui sono state effettuate, nell'ambito del primo e del secondo programma di controllo, almeno 4 misurazioni di concentrazione di radon.



* In Lombardia la percentuale di copertura totale è ottenuta dalla somma delle zone di fornitura in cui sono state effettuate le misurazioni per il PdC-1 e PdC-2 e dalle misurazioni effettuate nelle indagini pregresse.

Figura 6. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ ALFA E BETA TOTALE: popolazione coperta (%) dal monitoraggio del parametro Dose Indicativa per mezzo delle misurazioni nell'ambito del PdC-1 e PdC-2



* In Lombardia la percentuale di copertura totale è ottenuta dalla somma delle zone di fornitura in cui sono state effettuate le misurazioni per il PdC-1 e PdC-2 e dalle misurazioni effettuate nelle indagini pregresse.

Figura 7. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ ALFA E BETA TOTALE: popolazione coperta (%) dal monitoraggio, quando vengono considerate le zone di fornitura per cui sono risultate valide *almeno 4 misurazioni* nell'ambito del PdC-1 e del PdC-2

Tabella 4. ATTIVITÀ DI ALFA TOTALE: zone di fornitura (n.) con almeno una misurazione valida di concentrazione e misurazioni valide di concentrazione (n.) effettuate sia dai controlli interni che dai controlli esterni per ciascuna Regione nell'ambito del PdC-2

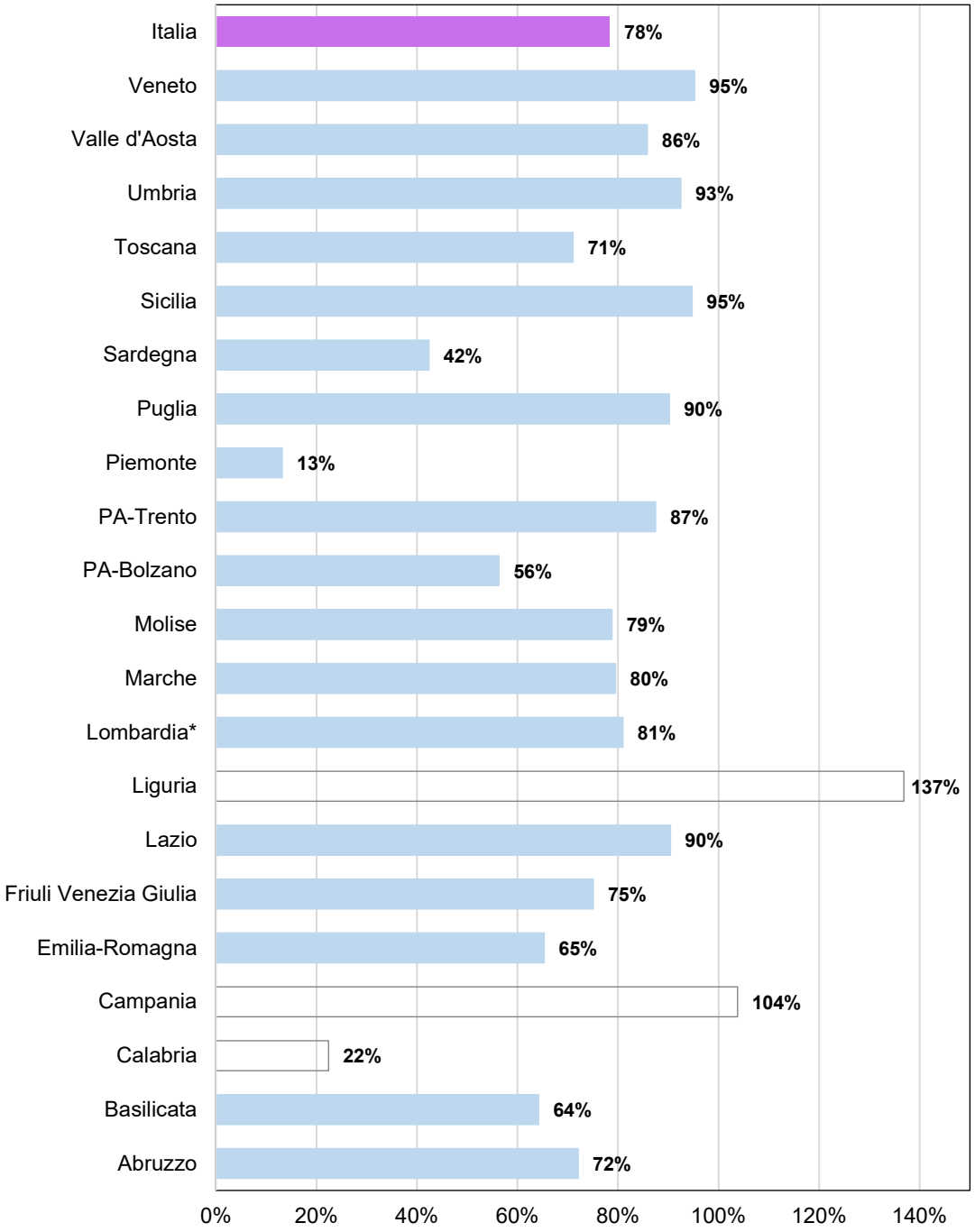
Regione	N. zone di fornitura con almeno una misura valida	N. misurazioni valide		
		totale	controlli interni	controlli esterni
Abruzzo	15	64	-	64
Basilicata	-	-	-	-
Calabria	54	133	2	131
Campania	238	970	550	420
Emilia-Romagna	18	155	119	36
Friuli Venezia Giulia	41	331	156	175
Lazio	115	585	408	177
Liguria	361	1997	859	1138
Lombardia	50	388	192	196
Marche	16	129	32	97
Molise	16	31	31	-
PA Bolzano	42	145	72	73
PA Trento	341	1050	569	481
Piemonte	583	1201	657	544
Puglia	42	206	114	92
Sardegna	29	304	138	166
Sicilia	141	346	164	182
Toscana	21	128	63	65
Umbria	62	492	245	247
Valle d'Aosta	60	102	40	62
Veneto	122	981	488	493
ITALIA	2367	9738	4899	4839

PA: Provincia Autonoma

Tabella 5. ATTIVITÀ DI BETA TOTALE: zone di fornitura (n.) con almeno una misurazione valida di concentrazione e misurazioni valide di concentrazione (n.) effettuate sia dai controlli interni che dai controlli esterni per ciascuna Regione nell'ambito del PdC-2

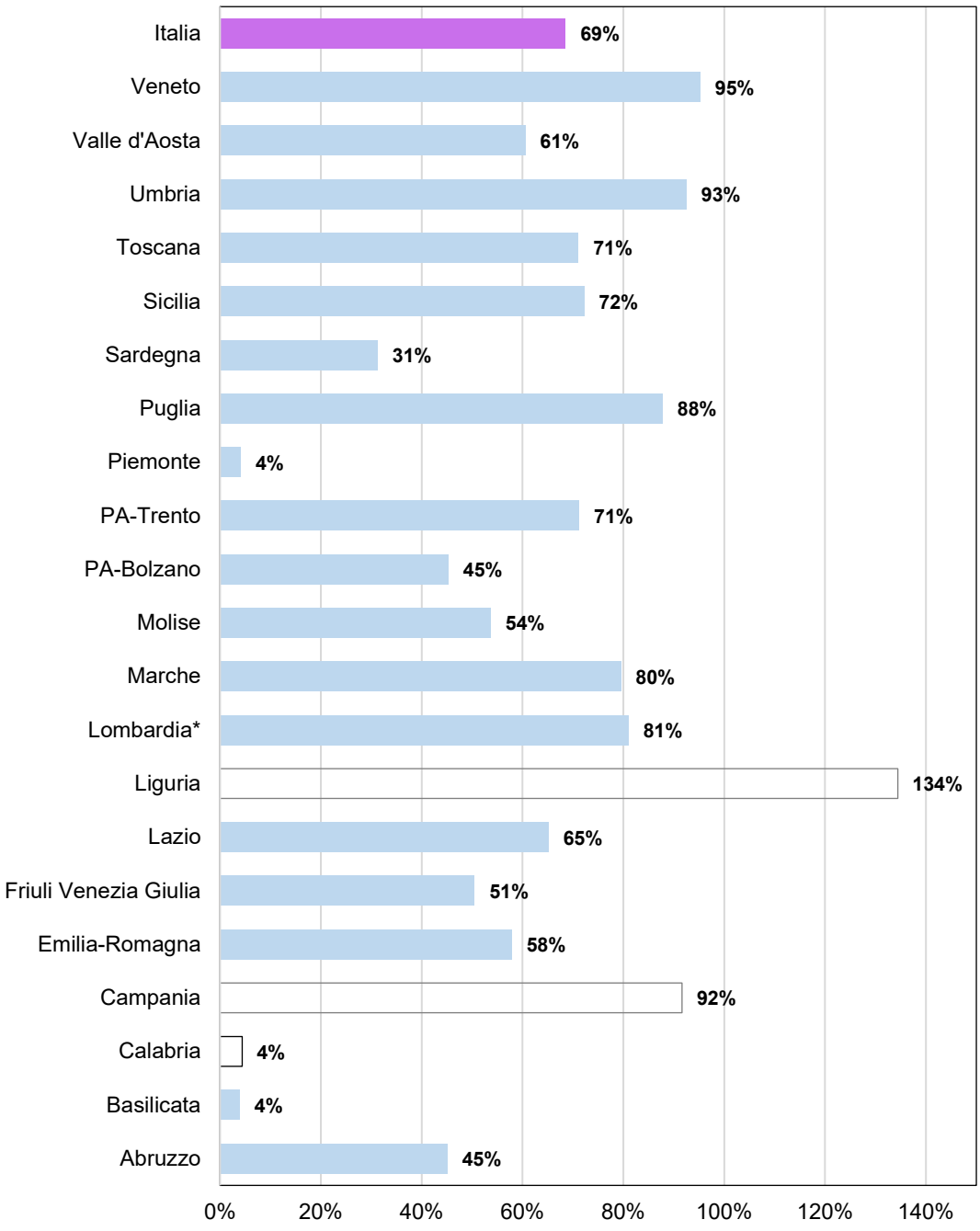
Regione	N. zone di fornitura con almeno una misura valida	N. misurazioni valide		
		totale	controlli interni	controlli esterni
Abruzzo	15	64	-	64
Basilicata	-	-	-	-
Calabria	54	132	2	130
Campania	237	978	558	420
Emilia-Romagna	18	155	119	36
Friuli Venezia Giulia	41	331	156	175
Lazio	115	585	408	177
Liguria	361	1997	859	1138
Lombardia	50	388	192	196
Marche	16	129	32	97
Molise	16	32	32	-
PA Bolzano	42	145	72	73
PA Trento	341	1050	569	481
Piemonte	583	1201	657	544
Puglia	42	207	115	92
Sardegna	29	304	138	166
Sicilia	141	344	163	181
Toscana	21	128	63	65
Umbria	62	492	245	247
Valle d'Aosta	60	102	40	62
Veneto	122	981	488	493
ITALIA	2366	9745	4908	4837

PA: Provincia Autonoma



* In Lombardia la percentuale di copertura tiene conto sia delle zone di fornitura misurate nel PdC-1 e nel PdC-2 sia di quelle misurate in indagini precedenti ai programmi di controllo.

Figura 8. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI RADON: popolazione (%) coperta dal monitoraggio, quando vengono considerate le zone di fornitura per cui è risultata valida *almeno 1 misurazione* nell'ambito del PdC-1 e PdC-2



* In Lombardia la percentuale di copertura totale è ottenuta dalla somma delle zone di fornitura in cui sono state effettuate le misurazioni per il PdC-1 e PdC-2 e dalle misurazioni effettuate nelle indagini pregresse.

Figura 9. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI RADON: popolazione (%) coperta dal monitoraggio, quando vengono considerate le zone di fornitura per cui sono risultate valide *almeno 4 misurazioni* nell'ambito del PdC-1 e PdC-2

Con riferimento al solo PdC-2, in Tabella 6 per ciascuna Regione è riportato il numero di zone di fornitura per cui è presente nel database almeno una misurazione valida di concentrazione di attività di radon. La stessa tabella riporta il numero totale di misurazioni effettuate sul territorio regionale per questo parametro.

Tabella 6. ATTIVITÀ DI RADON: zone di fornitura (n.) con almeno una misurazione valida di concentrazione e misurazioni valide di concentrazione (n.) effettuate sia dai controlli interni che dai controlli esterni per ciascuna Regione nell'ambito del PdC-2

Regione	N. zone di fornitura con almeno una misura valida	N. misurazioni valide		
		totale	controlli interni	controlli esterni
Abruzzo	15	142	-	142
Basilicata	-	-	-	-
Calabria	54	132	2	130
Campania	233	967	501	466
Emilia-Romagna	18	155	119	36
Friuli Venezia Giulia	41	140	92	48
Lazio	114	555	408	147
Liguria	361	1995	858	1137
Lombardia	50	388	192	196
Marche	16	128	31	97
Molise	15	30	30	-
PA Bolzano	42	145	72	73
PA Trento	336	1019	546	473
Piemonte	39	53	41	12
Puglia	41	200	109	91
Sardegna	29	278	138	140
Sicilia	136	323	163	160
Toscana	21	128	63	65
Umbria	61	484	241	243
Valle d'Aosta	96	236	92	144
Veneto	122	978	488	490
ITALIA	1840	8476	4186	4290

PA: Provincia Autonoma

Per le misurazioni condotte per la determinazione della concentrazione di attività di trizio si fa presente che, coerentemente con le disposizioni contenute nel DL.vo 28/2016, tali misurazioni sono da prevedersi solo laddove siano presenti fonti di pressione per questo radionuclide (es. centri di ricerca, laboratori di medicina nucleare e radioimmunologia).

Mettendo insieme le misurazioni relative al PdC-1 e al PdC-2 sono stati raccolti risultati validi di misurazioni della concentrazione di attività di trizio per circa 1200 zone di fornitura. La popolazione servita corrisponde a circa il 44% della popolazione italiana; tuttavia, tale parametro non è da ritenersi un indicatore efficace della copertura effettiva in quanto non tutte le zone di fornitura richiedono che venga effettivamente eseguito un monitoraggio di tale parametro.

Se consideriamo le zone di fornitura per cui sono state effettuate almeno quattro misurazioni di concentrazione di attività di trizio, la corrispondente popolazione servita è circa il 33% della popolazione italiana.

In Tabella 7 per ciascuna Regione è riportato il numero di zone di fornitura per cui è presente nel database almeno una misurazione valida di concentrazione di attività di trizio. La stessa tabella riporta il numero totale di misurazioni effettuate sul territorio regionale per questo parametro.

Tabella 7. ATTIVITÀ DI TRIZIO: zone di fornitura (n.) con almeno una misurazione valida di concentrazione e misurazioni valide di concentrazione (n.) effettuate sia dai controlli interni che dai controlli esterni per ciascuna Regione nell'ambito del PdC-2

Regione	N. zone di fornitura con almeno una misura valida	N. misurazioni valide		
		totale	controlli interni	controlli esterni
Calabria	54	132	2	130
Campania	169	389	248	141
Emilia-Romagna	11	27	23	4
Lazio	114	408	408	-
Liguria	273	860	859	1
Lombardia	17	65	58	7
Molise	5	10	10	-
PA Trento	2	3	2	1
Piemonte	26	36	36	-
Puglia	41	197	108	89
Sicilia	76	147	145	2
Toscana	2	2	2	-
Valle d'Aosta	24	52	52	-
ITALIA	814	2328	1953	375

RISULTATI DELLE MISURAZIONI

Tutti i risultati delle misurazioni valide sono considerati per le analisi di cui si discute nel presente capitolo. Le valutazioni sono differenziate per i tre parametri di Dose Indicativa, concentrazione di attività di radon e di trizio. Per il parametro Dose Indicativa, le analisi sono condotte separatamente con riferimento alle misurazioni della concentrazione di attività complessiva dei radionuclidi alfa emettitori e beta emettitori con ulteriore differenziazione per la concentrazione di attività beta residua.

Per il parametro Dose Indicativa, oltre al numero di misurazioni per cui il risultato è maggiore del livello di screening, è evidenziato anche il numero di quelle per cui, anche assumendo l'ipotesi meno conservativa – ovvero qualora tutta l'attività sia dovuta al radionuclide con radiotossicità minore e quindi concentrazione derivata (ovvero la concentrazione di attività dello specifico radionuclide che comporterebbe una dose pari al valore di parametro per la Dose Indicativa) più alta – il risultato ottenuto è tale da assicurare il superamento del valore di parametro.

Per i parametri concentrazione di attività di radon e di trizio, invece, sono stati valutati il numero e la corrispondente percentuale di misurazioni il cui risultato eccede il valore di parametro.

Concentrazione di attività alfa totale

La Tabella 8 e la Figura 10 riportano i risultati delle misurazioni di concentrazione di attività alfa totale dei radionuclidi emettitori alfa nell'ambito del secondo programma di controllo. Il 93,5% delle misurazioni ha riportato risultati inferiori al livello di screening di 0,1 Bq L^{-1}.

Il fatto che tale concentrazione di attività non venga superata garantisce che la dose efficace impegnata annualmente dall'ingestione dell'acqua in oggetto nel corso dell'intero anno, ipotizzando che l'approvvigionamento idrico per finalità di consumo diretto avvenga esclusivamente per mezzo di tale acqua, non superi 0,1 mSv.

Tuttavia, affinché una concentrazione di attività di 0,1 Bq L^{-1} possa comportare una dose efficace impegnata all'anno di 0,1 mSv, è necessario che il miscuglio di radionuclidi alfa emettitori sia costituito interamente da polonio-210, circostanza, questa, estremamente rara. Pertanto, per i 627 campioni per cui sono risultati valori della concentrazione di attività superiori al livello di screening di 0,1 Bq L^{-1}, l'eventuale superamento del valore di parametro della Dose Indicativa (0,1 mSv all'anno) va investigato mediante misure di approfondimento rivolte alla quantificazione di specifici radionuclidi alfa emettitori.

Lo 0,01% delle misurazioni ha risultati superiori a 3 Bq L^{-1}, valore per il quale, indipendentemente dalla distribuzione dell'attività tra i diversi radionuclidi emettitori alfa, risulterebbe comunque superato il valore di parametro per la Dose Indicativa: infatti, una concentrazione di attività complessiva di 3 Bq L^{-1} per i radionuclidi alfa emettitori, anche qualora fosse interamente determinata dal radionuclide che comporta il rischio minore di effetti sanitari avversi futuri (l'uranio-238), comporterebbe il superamento del valore di 0,1 mSv all'anno fissato per il parametro Dose Indicativa.

Tabella 8. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ ALFA TOTALE: descrittiva delle misurazioni condotte nell'ambito del PdC-2

Descrizione	n.	%
Numero di misurazioni di concentrazione di attività alfa totale	9738	100,0
Numero di misurazioni di concentrazione di attività alfa totale con risultati validi[1]	9715	99,8
Numero di misurazioni valide con risultato minore del livello di screening	9088	93,5
Numero di misurazioni valide con risultato maggiore del livello di screening	627	6,5
Numero di misurazioni valide con Dose Indicativa sicuramente maggiore del corrispondente valore di parametro[2]	1	0,01

[1] Si intendono "valide" le misurazioni con risultati diversi da "<MAR" e quelli "<MAR" per cui la MAR risulta indicata nel campo corrispondente.

[2] Quando la concentrazione di attività alfa totale risulta maggiore di 3 Bq L^{-1}, i.e., la concentrazione derivata del radionuclide con coefficiente di dose più basso (U-238), la Dose Indicativa risulta maggiore del corrispondente valore di parametro indipendentemente dal miscuglio di radionuclidi alfa emettitori.

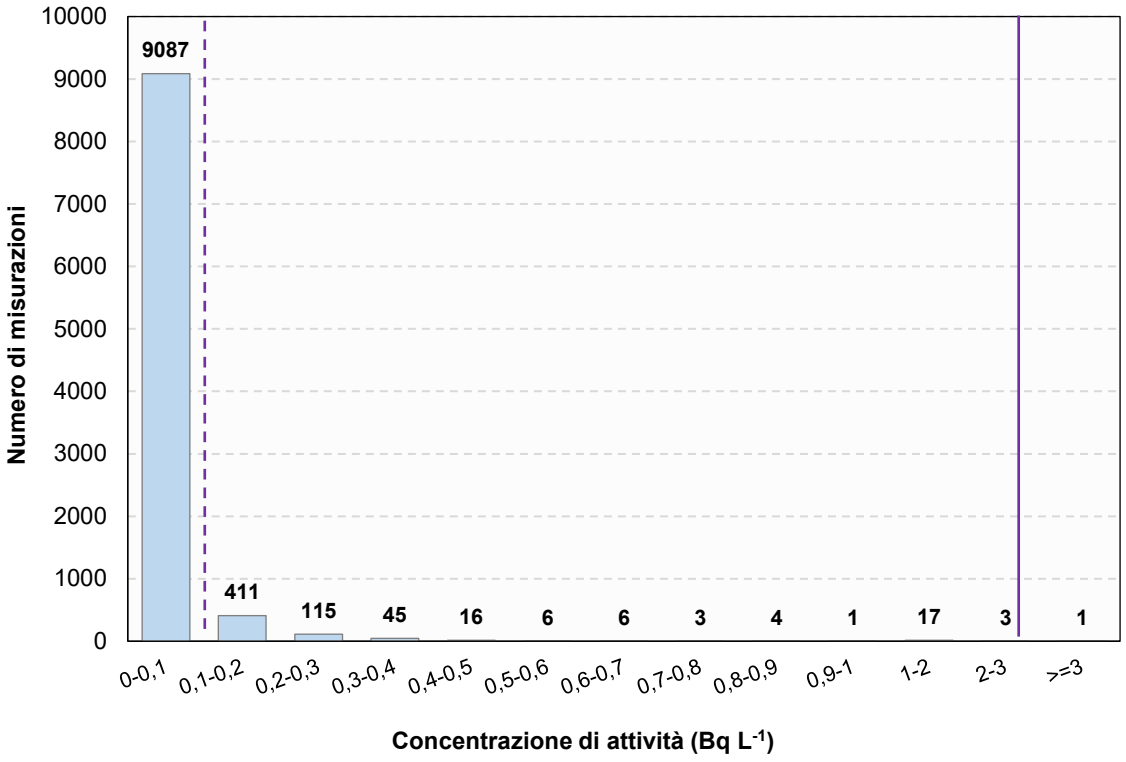


Figura 10. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ ALFA TOTALE: distribuzione dei risultati delle misurazioni nell'ambito del PdC-2.
A destra della riga tratteggiata le misurazioni con risultati maggiori del livello di screening (0,1 Bq L^{-1}); a destra della riga continua tutte le misurazioni per le quali, indipendentemente dalla distribuzione dell'attività tra i diversi radionuclidi, risulterebbe comunque superato il valore di parametro per la Dose Indicativa

Concentrazione di attività beta totale

La Tabella 9 e la Figura 11 riportano i risultati delle misurazioni di concentrazione di attività beta totale dei radionuclidi emettitori beta nell'ambito del secondo programma di controllo. Il 95% delle misurazioni ha riportato risultati inferiori al livello di screening.

Tabella 9. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ BETA TOTALE: descrittiva delle misurazioni condotte nell'ambito del PdC-2

Descrizione	n.	%
Numero di misurazioni di concentrazione di attività beta totale	9745	100,0
Numero di misurazioni di concentrazione di attività beta totale con risultati validi[1]	9714	99,7
Numero di misurazioni valide con risultato minore del livello di screening	9237	95,1
Numero di misurazioni valide con risultato maggiore del livello di screening	477	4,9

[1] Si intendono "valide" le misurazioni con risultati diversi da "<MAR" e quelli "<MAR" per cui la MAR risulta indicata nel campo corrispondente.

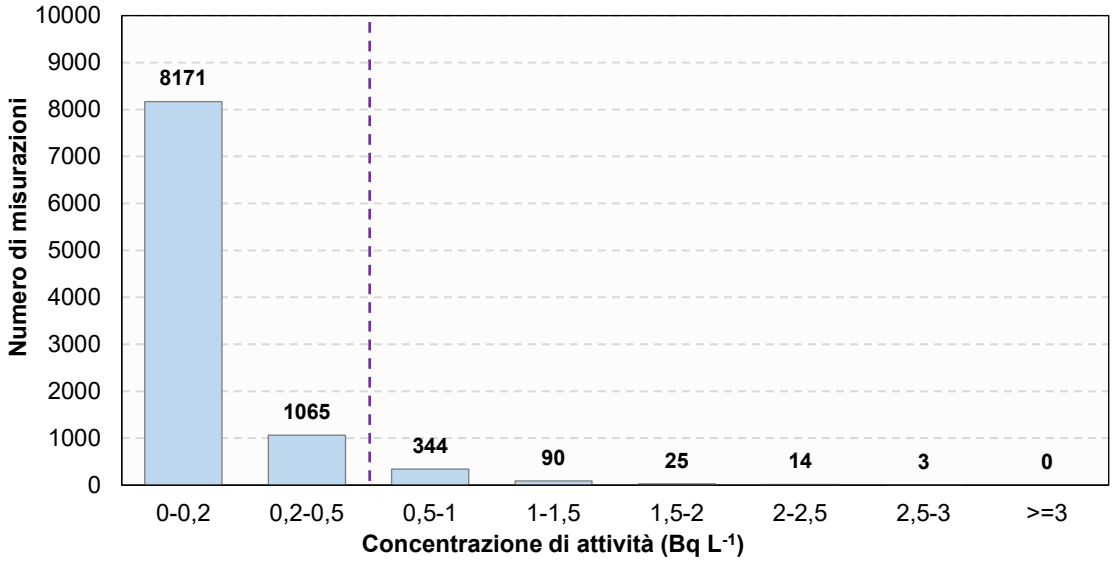


Figura 11. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ BETA TOTALE: distribuzione dei risultati delle misurazioni nell'ambito del PdC-2.
A destra della riga tratteggiata tutte le misurazioni con risultati maggiori del livello di screening (0,5 Bq L^{-1})

Si rappresenta, tuttavia, che a differenza di quanto precedentemente discusso per la concentrazione di attività alfa totale, il livello di screening per la concentrazione di attività beta totale corrisponde ad una dose efficace impegnata di 0,1 mSv all'anno per un miscuglio di radionuclidi beta emettitori tipico, e non per il più conservativo che possa essere ipotizzato in termini di proporzioni: cioè, anche valori della concentrazione di attività beta totale compresi tra 0,2 e 0,5 Bq L^{-1}, pertanto inferiori al livello di screening, possono comportare il superamento del valore di parametro previsto per la Dose Indicativa. Tale circostanza si può realizzare laddove sia significativa la presenza di piombo-210 e radio-228. Pertanto, il livello di screening per la concentrazione di attività beta totale non va interpretato come uno strumento sicuramente

conservativo per la verifica del parametro Dose Indicativa, bensì come uno strumento operativo da considerarsi congiuntamente ad altre informazioni da raccogliere sulle acque in studio in merito all'eventuale presenza di radionuclidi beta emettitori con un maggiore rischio associato all'insorgenza di effetti sanitari futuri.

Per i 477 campioni con risultato maggiore del livello di screening è necessaria l'effettuazione di misurazioni dei singoli radionuclidi beta emettitori. In tale contesto, è consigliata l'effettuazione preliminare della misura del solo potassio-40, tipicamente presente in quantità molto significative nelle acque destinate al consumo umano e tecnicamente agevole da misurare (di norma si procede alla quantificazione a partire dai risultati delle indagini di tipo chimico). La concentrazione di attività di potassio-40 determinata, sottratta alla concentrazione di attività beta totale precedentemente determinata, consente la determinazione della cosiddetta concentrazione di attività beta residua, ovvero decurtata proprio del contributo del potassio-40.

Concentrazione di attività beta residua

La Tabella 10 e la Figura 12 riportano i risultati delle misurazioni di concentrazione di attività beta residua dei radionuclidi emettitori beta nell'ambito del secondo programma di controllo.

Tabella 10. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ BETA RESIDUA: descrittiva delle misurazioni condotte nell'ambito del PdC-2

Descrizione	n.	%
Numero di misurazioni di concentrazione di attività beta residua con risultati validi[1]	517	100
Numero di misurazioni valide con risultato minore del livello di screening	411	79
Numero di misurazioni valide con risultato maggiore del livello di screening	106	21

[1] Si intendono "valide" le misurazioni con risultati diversi da "<MAR" e quelli "<MAR" per cui la MAR risulta indicata nel campo corrispondente.

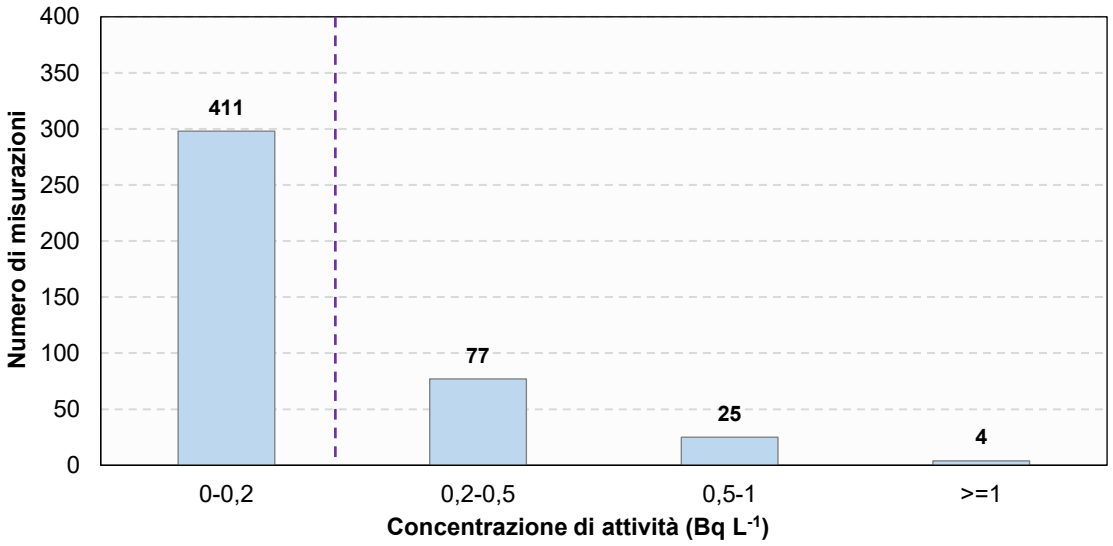


Figura 12. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ BETA RESIDUA: distribuzione dei risultati delle misurazioni nell'ambito del PdC-2.
A destra della riga tratteggiata tutte le misurazioni con risultati maggiori del livello di screening (0,2 Bq L^{-1})

Come si evince dal confronto tra il numero dei superamenti del livello di screening per la concentrazione di attività beta totale (vedi Tabella 9) e il numero delle misurazioni della concentrazione di attività beta residua, l'approccio seguito per il monitoraggio del parametro Dose Indicativa relativamente ai radionuclidi beta emettitori non è stato per tutti i campioni coerente rispetto alle raccomandazioni contenute nell'Allegato III del DL.vo 28/2016 così come integrato dal DM del 2 agosto del 2017.

Per quanto concerne la validazione dei dati raccolti dalle diverse Regioni e PA, non è stato definito un criterio per i risultati di concentrazione di attività beta residua in quanto i valori riportati sono ottenuti in modo indiretto come sottrazione di due quantità, la concentrazione di attività di tutti i radionuclidi beta emettitori e quella del solo potassio-40 per cui non è definita una caratteristica prestazionale minima del metodo impiegato per la determinazione.

Si fa presente, inoltre, che se il non superamento del livello di screening per la concentrazione di attività beta residua comporta sicuramente il non superamento del valore fissato per il parametro Dose Indicativa (0,1 mSv all'anno di dose efficace impegnata), il superamento del medesimo valore, verificato per 106 campioni, non è, di per sé, assicurazione di una dose efficace impegnata in ragione d'anno solare superiore al valore di parametro: tale circostanza è, infatti, verificata solo se si suppone trascurabile la concentrazione di radionuclidi beta emettitori di origine artificiale, caratterizzati, questi, da un rischio di insorgenza di effetti sanitari avversi molto più basso di quelli naturali (ad eccezione del potassio-40).

Concentrazione di attività di radon

La Tabella 11 e la Figura 13 riportano i risultati delle misurazioni di concentrazione di attività di radon nell'ambito del secondo programma di controllo. Il 99% delle misurazioni ha riportato risultati inferiori al valore di parametro fissato in 100 Bq L^{-1}. Solo 66 misurazioni risultano al di sopra del valore di parametro.

Contrariamente a quanto visto in precedenza per il parametro Dose Indicativa, per cui il monitoraggio è realizzato per mezzo della misura della concentrazione di attività di radionuclidi alfa e beta emettitori, per il radon il monitoraggio è realizzato mediante misura diretta del radionuclide stesso.

Tabella 11. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI RADON: descrittiva delle misurazioni condotte nell'ambito del PdC-2

Descrizione	n.	%
Numero di misurazioni di concentrazione di attività di radon	8476	100,0
Numero di misurazioni di concentrazione di attività di radon con risultati validi[1]	8459	99,8
Numero di misurazioni valide con risultato minore del valore di parametro	8393	99,2
Numero di misurazioni valide con risultato maggiore del valore di parametro	66	0,8

[1] Si intendono "valide" le misurazioni con risultati diversi da "<MAR" e quelli "<MAR" per cui la MAR risulta indicata nel campo corrispondente.

In nessuno dei campioni analizzati è stata determinata una concentrazione di attività di radon superiore a 1000 Bq L^{-1}, cioè il livello di riferimento superato il quale l'adozione dei provvedimenti correttivi e delle misure cautelative di cui all'articolo 4, comma 4, lettere b) e c) del decreto legislativo 28 del 2016, è giustificata da motivi di protezione radiologica, senza la

necessità di ulteriori considerazioni, senza passare, quindi, per la valutazione del rischio associato all'ingestione dell'acqua in oggetto. Nello specifico, come graficamente visualizzato dalla

Figura 13, solo per cinque campioni tra quelli sottoposti a misurazione è risultata una concentrazione di attività di radon superiore a 300 Bq L^{-1}.

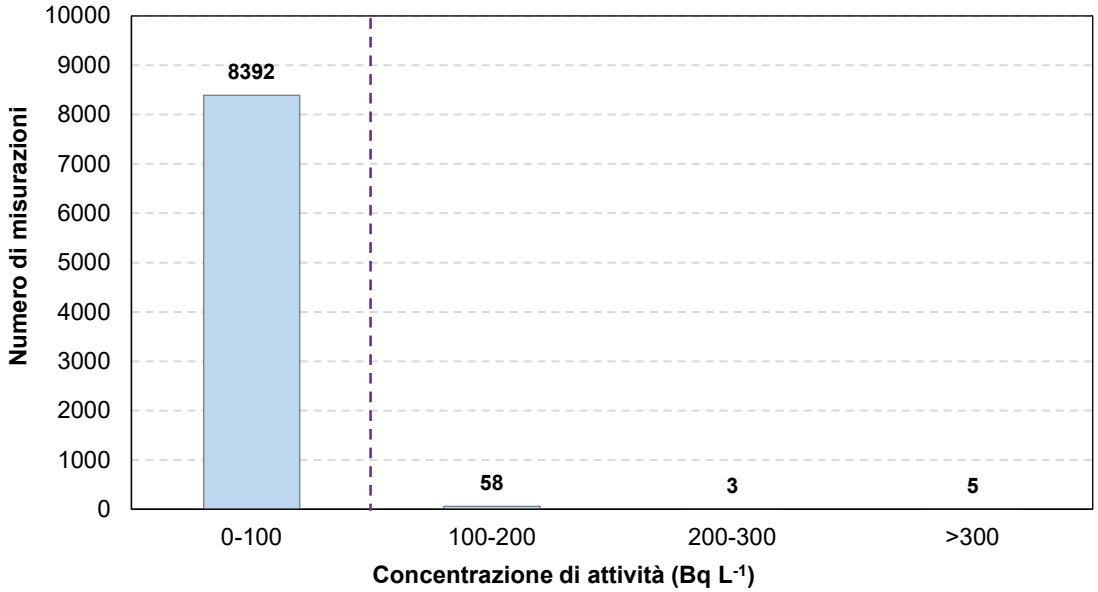


Figura 13. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI RADON: distribuzione dei risultati delle misurazioni nell'ambito del PdC-2.
A destra della riga tratteggiata tutte le misurazioni con risultati maggiori del valore di parametro (100 Bq L^{-1})

Concentrazione di attività di trizio

Le misurazioni della concentrazione di attività di trizio sono state realizzate in sole 13 regioni coerentemente con le disposizioni contenute nel DL.vo 28/2016 che prevede che la presenza di trizio venga indagata analiticamente solo laddove siano presenti fonti di pressione. Da sottolineare che alcune Regioni hanno preferito mantenere un approccio di screening ed effettuare più misurazioni sul loro territorio anche per quanto riguarda la concentrazione di attività di trizio.

La Tabella 12 riporta i risultati delle misurazioni di concentrazione di attività di trizio nell'ambito del secondo programma di controllo.

Tabella 12. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI TRIZIO: descrittiva delle misurazioni condotte nell'ambito del PdC-2

Descrizione	n.	%
Numero di misurazioni di concentrazione di attività di trizio	2328	100,0
Numero di misurazioni di concentrazione di attività di trizio con risultati validi[1]	2311	99,3
Numero di misurazioni valide con risultato minore del valore di parametro	2311	99,3
Numero di misurazioni valide con risultato maggiore del valore di parametro	0	0

[1] Si intendono "valide" le misurazioni con risultati diversi da "<MAR" e quelli "<MAR" per cui la MAR risulta indicata nel campo corrispondente.

Tutte le misurazioni valide risultano ben al di sotto del valore di parametro (Figura 14). Il 98% delle misurazioni valide risulta essere al di sotto di 10 Bq L^{-1}.

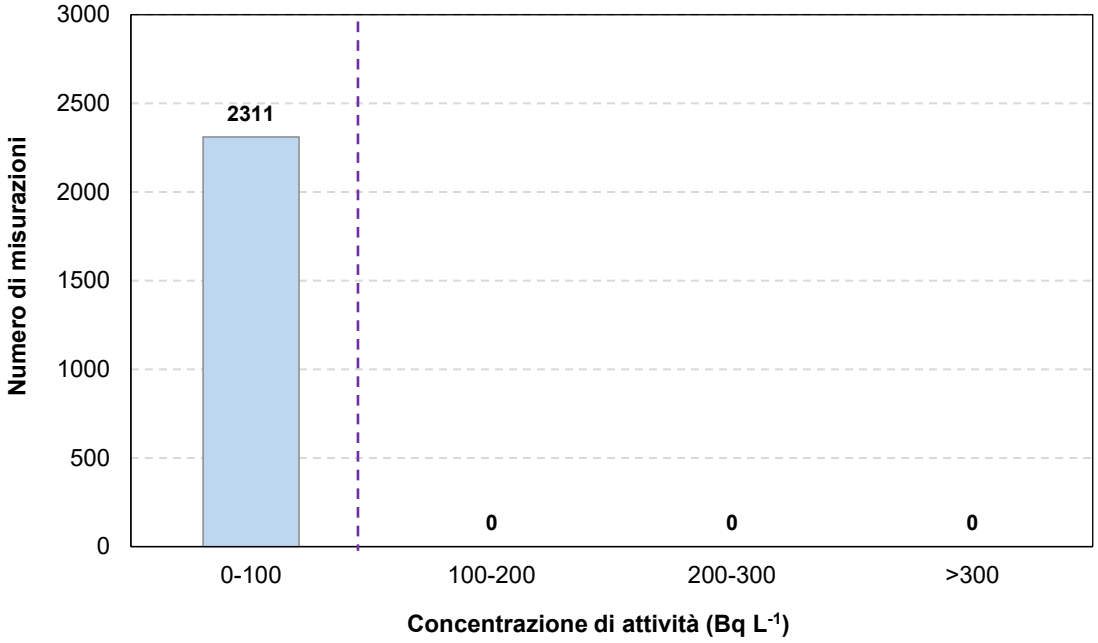


Figura 14. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI TRIZIO: la distribuzione dei risultati delle misurazioni nell'ambito del PdC-2.
A destra della riga tratteggiata tutte le misurazioni con risultati maggiori del valore di parametro (100 Bq L^{-1})

SUPERAMENTI DEI VALORI DI PARAMETRO

Una corretta valutazione del rischio sanitario connesso al contenuto di radioattività dell'acqua destinata al consumo umano in Italia richiede che vengano considerati non i risultati delle singole misurazioni ma le medie delle diverse misurazioni condotte nelle diverse zone di fornitura prese in esame.

Questo è dovuto al fatto che i possibili effetti sanitari connessi al contenuto di radioattività nelle acque sono effetti non a soglia, la cui probabilità di manifestarsi è proporzionale alla concentrazione e al tempo di esposizione.

Quindi serve valutare la media della concentrazione di radioattività su un periodo di almeno un anno, e le eventuali variazioni stagionali nel corso dell'anno non hanno particolare rilevanza per la valutazione del rischio.

Utilizzando per i vari parametri la media della concentrazione misurata, è possibile arrivare a quantificare anche il rischio collettivo tenendo conto della popolazione servita dalla specifica zona di fornitura.

Per tali ragioni, il DL.vo 28/2016 prevede che vengano confrontati con i diversi valori di parametro – nel caso del parametro Dose Indicativa il confronto non è diretto e avviene preliminarmente per mezzo dei livelli di screening – non i risultati delle singole misurazioni ma le medie annue dei risultati ottenuti dal monitoraggio di ogni specifica zona di fornitura.

Per le valutazioni discusse nel presente capitolo sono prese in esame le medie delle diverse grandezze misurate nel corso di tutto il secondo programma di controllo in ogni zona di fornitura.

La scelta di non prendere in considerazione la media annua ma la media sull'intera durata del secondo programma di controllo è giustificata dalla distribuzione non sempre uniforme dei diversi campionamenti nel corso dell'anno: come risultato di questo, la media dei risultati in uno solo degli anni del secondo programma di controllo non sarebbe rappresentativa dell'andamento stagionale dei valori effettivamente assunti dalle diverse grandezze misurate nel corso dell'anno.

Inoltre, la media effettuata su tutti i valori ottenuti nel corso del secondo programma di controllo, di durata generalmente biennale, consente di ridurre la distorsione introdotta da eventuali risultati soggetti a difetti nell'applicazione del metodo di campionamento e/o di prova, nonché di ridurre l'influenza di temporanee ed episodiche variazioni delle grandezze misurate.

Dose Indicativa

La verifica del rispetto del valore di parametro per la Dose Indicativa viene effettuata tramite una strategia di screening basata sulla misura della concentrazione di attività alfa totale e della concentrazione di attività beta totale, utilizzando i valori di screening riportati in Tabella 2.

Si procede quindi all'analisi delle misurazioni di queste due grandezze.

Nella Figura 15 sono riportate le distribuzioni dei valori medi di concentrazione di attività di alfa totale e beta totale quando si considerano tutte le zone di fornitura con almeno una misurazione valida effettuata nell'ambito del secondo programma di controllo.

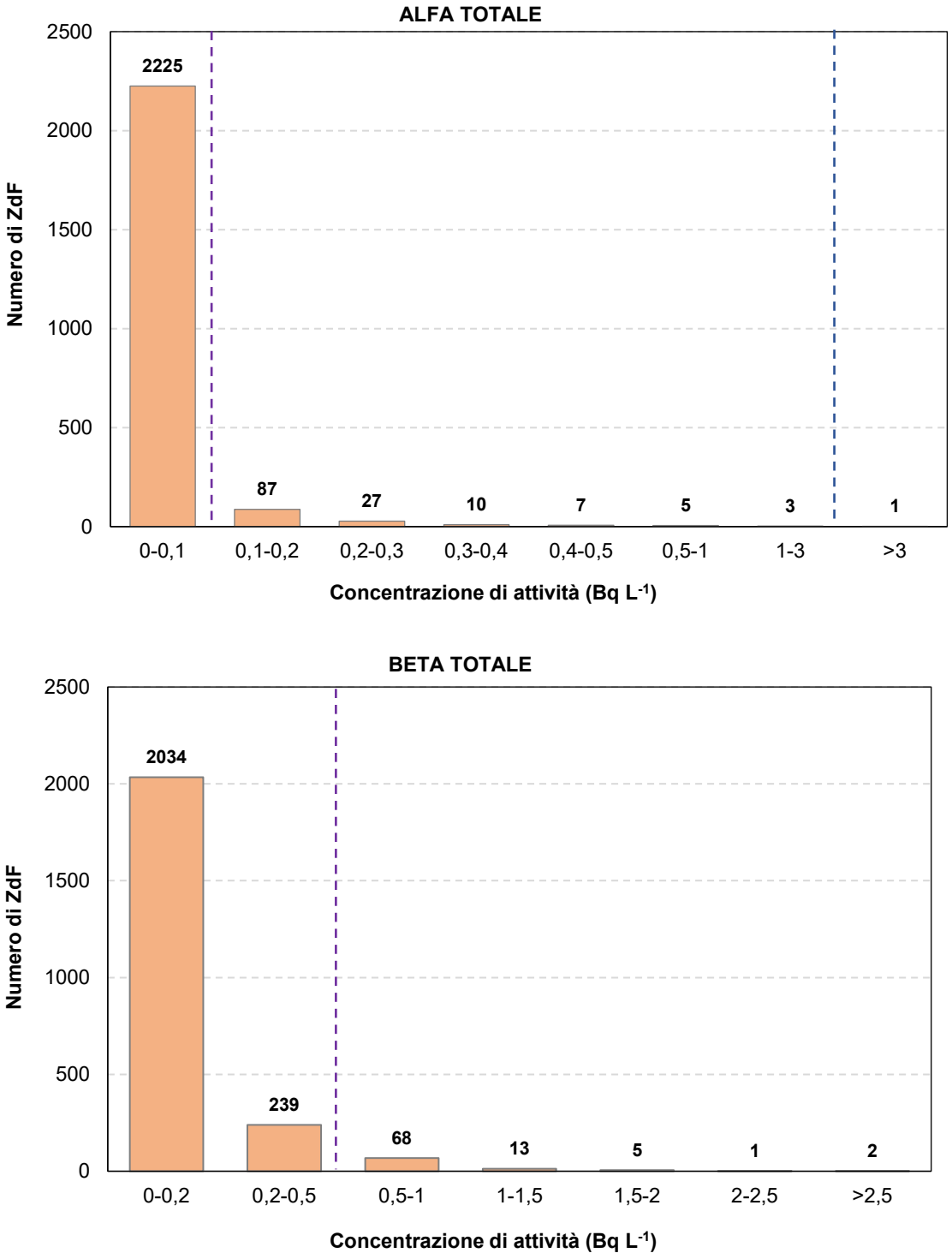


Figura 15. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI ALFA TOTALE E BETA TOTALE: distribuzione dei valori medi considerando tutte le zone di fornitura con almeno una misurazione valida effettuata nell'ambito del PdC-2

Le zone di fornitura in cui sono state effettuate almeno quattro misurazioni di concentrazione di alfa totale sono 1030. In 967 delle zone di fornitura prese in esame nel corso del secondo programma di controllo, la Dose Indicativa corrispondente alla concentrazione di attività alfa totale misurata risulta sicuramente inferiore al corrispondente valore di parametro di 0,1 mSv all'anno. In nessuna zona di fornitura è possibile affermare che la Dose Indicativa dovuta a radionuclidi alfa emettitori sia sicuramente superiore al valore di parametro. Nelle restanti 63 zone di fornitura prese in esame, la valutazione della Dose Indicativa corrispondente può risultare in valori superiori o inferiori al valore di parametro in funzione delle necessarie misure di approfondimento che dovranno essere condotte per quantificare l'attività dei singoli radionuclidi alfa emettitori. La distribuzione dei valori medi di concentrazione di attività di alfa totale (media effettuata per le zone di fornitura per cui esistevano almeno 4 misurazioni valide effettuate nell'ambito del PdC-2) è riportata in Figura 16.

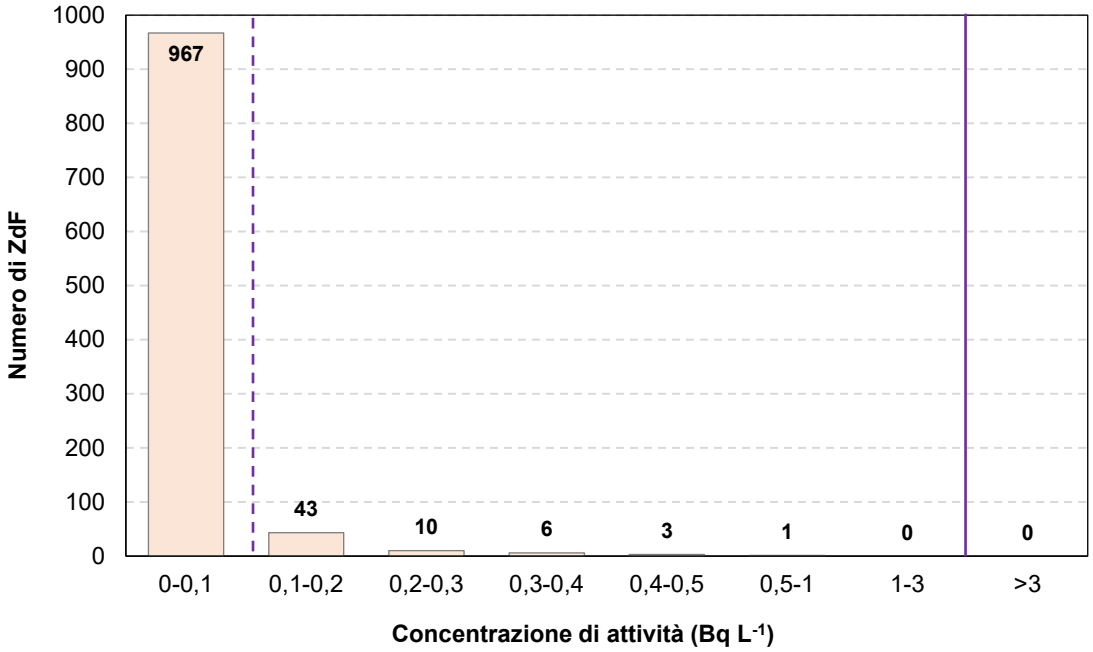


Figura 16. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI ALFA TOTALE: distribuzione dei valori medi considerando tutte le zone di fornitura con almeno 4 misurazioni valide effettuate nell'ambito del PdC-2.
A destra della riga tratteggiata le misurazioni con risultati maggiori del livello di screening (0,1 Bq L^{-1}); a destra della riga continua tutte le misurazioni per le quali, indipendentemente dalla distribuzione dell'attività tra i diversi radionuclidi, risulterebbe comunque superato il valore di parametro per la Dose Indicativa

Le zone di fornitura in cui sono state effettuate almeno quattro misurazioni di concentrazione di beta totale sono 1029. Per 981 delle zone di fornitura prese in esame nell'ambito del secondo programma di controllo, la Dose Indicativa corrispondente alla concentrazione totale di radionuclidi beta emettitori misurata può essere considerata ragionevolmente inferiore al valore di parametro di 0,1 mSv all'anno. Tuttavia, come già messo in evidenza nel corso della discussione relativa ai risultati delle singole misurazioni, non è possibile escludere, benché tale circostanza sia improbabile, che per esse la Dose Indicativa risulti superiore al valore di parametro nonostante la concentrazione di attività di radionuclidi beta emettitori risulti inferiore al

corrispondente livello di screening di 0,5 Bq L^{-1}. In 904 zone di fornitura, in considerazione di una concentrazione di attività beta totale inferiore a 0,2 Bq L^{-1}, la Dose Indicativa corrispondente è sicuramente inferiore al corrispondente valore di parametro. La distribuzione dei valori medi di concentrazione di attività di beta totale (media effettuata per le zone di fornitura per cui esistevano almeno 4 misurazioni valide effettuate nell'ambito del PdC-2) è riportata in Figura 17.

Si osserva, inoltre, come per 48 delle zone di fornitura considerate la concentrazione di radionuclidi beta emettitori sia risultata superiore al corrispondente livello di screening.

In 128 zone di fornitura sono state condotte valutazioni della concentrazione di attività di radionuclidi beta emettitori al netto del contributo del potassio-40, la cosiddetta concentrazione di attività beta residua (Figura 18). Pertanto, risulta che una prima misura di approfondimento, consistente nella misurazione del potassio-40, sia stata condotta in un numero di zone di fornitura superiore a quello delle zone di fornitura in cui il valore medio della concentrazione di attività beta totale sia risultato superiore al livello di screening. Tale dato, se analizzato congiuntamente a quello riguardante la numerosità delle singole valutazioni di concentrazione di attività beta residua disponibili (si veda il paragrafo "Concentrazione di attività beta residua"), permette di concludere che le misurazioni di potassio-40 siano state condotte non per tutti i campioni in cui sono risultate concentrazioni di attività beta totale maggiori del livello di screening ma in tutte le zone di fornitura in cui il valore medio ha superato il medesimo livello di screening. Tale osservazione riflette la difficoltà riscontrata dai laboratori di procedere puntualmente con nuovi campionamenti e misurazioni a valle di ogni singolo superamento del livello di screening per la concentrazione di attività beta totale e della contestuale impossibilità, per come i campionamenti sono generalmente organizzati (soprattutto in termini di volume campionato, tempo e modalità di stoccaggio), di effettuare sul medesimo campione la misurazione di potassio-40 successivamente ad aver appurato un superamento del livello di screening in termini di concentrazione di attività beta totale.

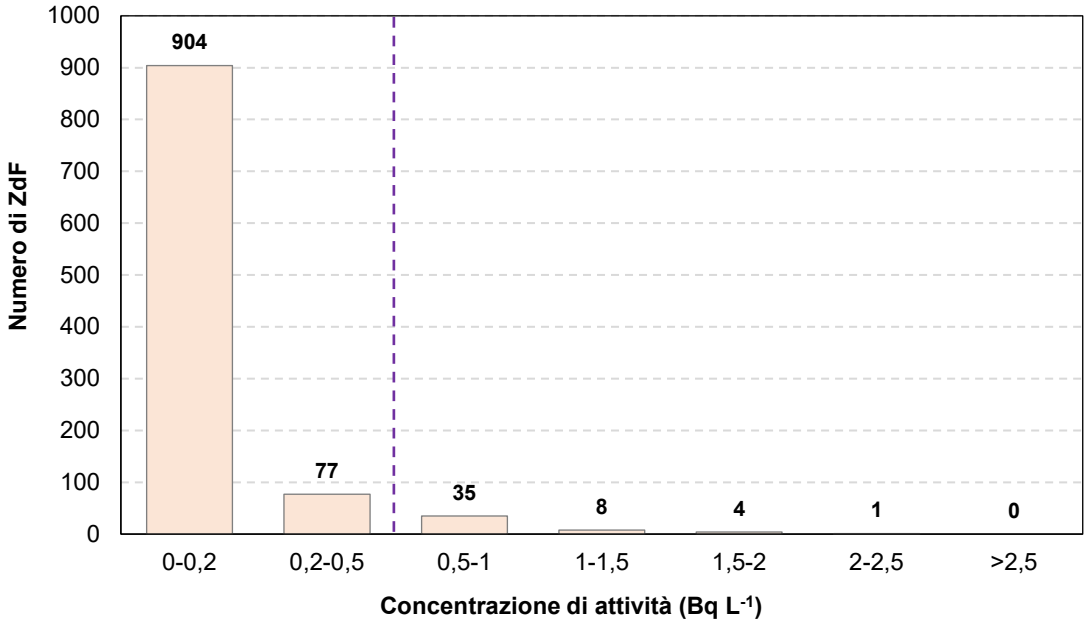


Figura 17. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI BETA TOTALE: distribuzione dei valori medi considerando tutte le zone di fornitura con almeno 4 misurazioni valide effettuate nell'ambito del PdC-2.
A destra della riga tratteggiata tutte le misurazioni con risultati maggiori del livello di screening (0,5 Bq L^{-1})

In considerazione dei risultati ottenuti per la concentrazione di attività complessiva di radionuclidi beta emettitori al netto del contributo del potassio-40, se si esclude una presenza significativa di radionuclidi artificiali (diversi dal trizio) o di radionuclidi beta emettitori a breve emivita in equilibrio con l'uranio-238 contestualmente presente in concentrazioni molto elevate, è possibile concludere che la Dose Indicativa dovuta ai radionuclidi beta emettitori risulti superiore al valore di parametro corrispondente in 31 zone di fornitura in tutto il territorio italiano.

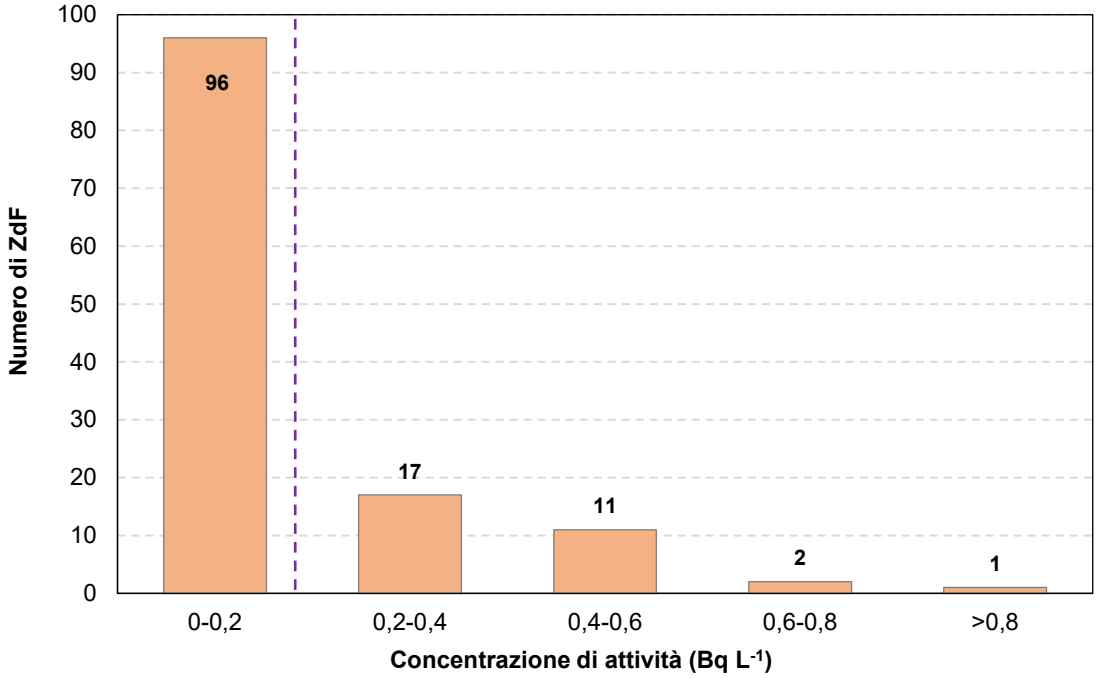


Figura 18. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI BETA RESIDUA: distribuzione dei valori medi calcolati su tutte le misurazioni valide effettuate nell'ambito del PdC-2.
A destra della riga tratteggiata tutte le misurazioni con risultati maggiori del livello di screening (0,2 Bq L^{-1})

Radon

Analogamente a quanto visto per il parametro Dose Indicativa, il DL.vo 28/2016 richiede che il valore di parametro per la concentrazione di attività di radon venga confrontato non con il risultato della singola misura ma con una media che tenga conto delle fluttuazioni che la grandezza subisce nel corso dell'anno.

Tali fluttuazioni sono dovute alla variazione di caratteristiche delle fonti impiegate per la specifica zona di fornitura (es. variazioni del percorso e del tempo di residenza nel sottosuolo per le acque sotterranee, velocità di efflusso e turbolenze per le acque superficiali), ma soprattutto a come l'acqua proveniente dalle diverse fonti viene miscelata nel corso dell'anno in funzione delle esigenze specifiche.

Per via delle caratteristiche fisico-chimiche del radon – oltre alla sua inerzia chimica, principalmente la bassa solubilità in acqua e la sua forte dipendenza dalla temperatura – la

concentrazione di attività di radon può variare in maniera estremamente significativa tra le diverse fonti che alimentano una certa zona di fornitura: pertanto, una variazione del rapporto di miscelazione può determinare aumenti o diminuzioni estremamente significative.

In Figura 19 sono riportate le distribuzioni dei valori medi di concentrazione di attività di radon quando si considerano tutte le zone di fornitura con almeno una misurazione valida effettuata nell'ambito del secondo programma di controllo.

Le ragioni esposte sopra spiegano perché i 66 superamenti del valore di parametro risultati dall'analisi dei singoli campioni si traducano in sole sette zone di fornitura in cui la media della concentrazione di attività di radon sulle misurazioni del secondo programma di controllo risulti superiore al valore di parametro di 100 Bq L^{-1}.

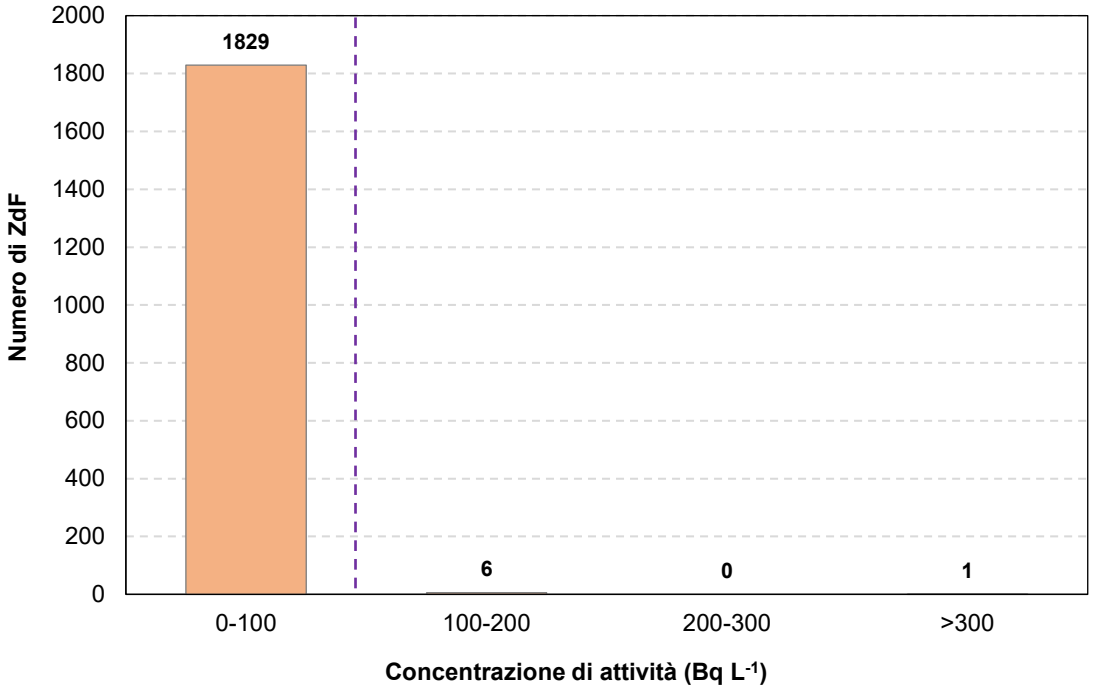


Figura 19. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI RADON: distribuzione dei valori medi considerando tutte le zone di fornitura con almeno una misurazione valida effettuata nell'ambito del PdC-2.
A destra della riga tratteggiata tutte le misurazioni con risultati maggiori del valore di parametro (100 Bq L^{-1})

Al fine di fare valutazioni basate su un numero di misurazioni che garantisca un minimo di rappresentatività della media ottenuta con le misurazioni, in Figura 20 è riportata la distribuzione dei valori medi di concentrazione di attività di radon quando si considerano tutte le zone di fornitura con almeno quattro misurazioni valide effettuate nell'ambito del secondo programma di controllo.

Anche limitando l'analisi alle 975 zone di fornitura che soddisfano questa condizione, si hanno sette zone di fornitura la cui media risulta superiore al valore di parametro di 100 Bq L^{-1}, come riportato in Figura 20.

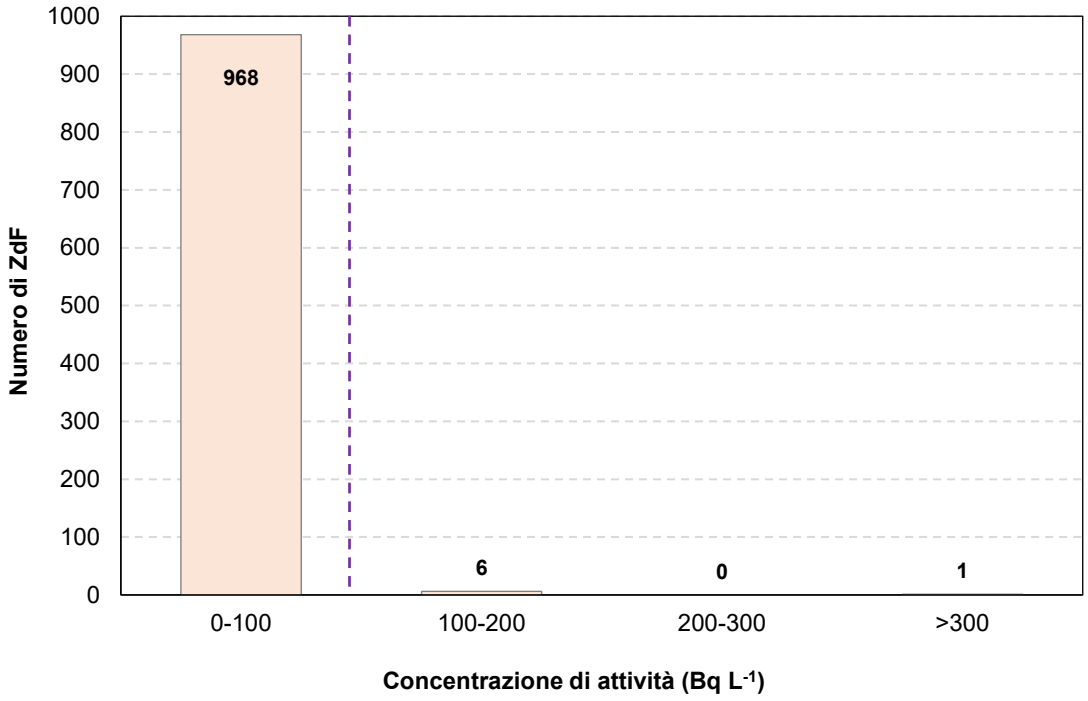


Figura 20. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI RADON: distribuzione dei valori medi considerando tutte le zone di fornitura con almeno 4 misurazioni valide effettuate nell'ambito del PdC-2.
A destra della riga tratteggiata tutte le misurazioni con risultati maggiori del valore di parametro (100 Bq L^{-1})

Trizio

Analogamente a quanto visto per gli altri parametri, il DL.vo 28/2016 richiede che il valore di parametro per la concentrazione di attività di trizio venga confrontato non con il risultato della singola misura ma con una media che tenga conto delle fluttuazioni che la grandezza subisce nel corso dell'anno. Da sottolineare che alcune Regioni hanno preferito mantenere un approccio di screening ed effettuare misurazioni sul loro territorio anche in zone di fornitura dove non erano esplicitamente presenti fonti di pressione.

In Figura 21 sono riportate le distribuzioni dei valori medi di concentrazione di attività di trizio[1] quando si considerano tutte le zone di fornitura con almeno una misurazione valida effettuata nell'ambito del secondo programma di controllo.

Già le singole misure erano risultate ben al di sotto del valore di parametro, implicando che in nessuna zona di fornitura la media della concentrazione di attività di trizio sulle misurazioni del secondo programma di controllo risulti superiore al valore di parametro di 100 Bq L^{-1}.

[1] Nel caso di misurazioni con risultato minore della Minima Attività Rivelabile (MAR), nel calcolo della media è assunto conservativamente pari a metà della MAR.

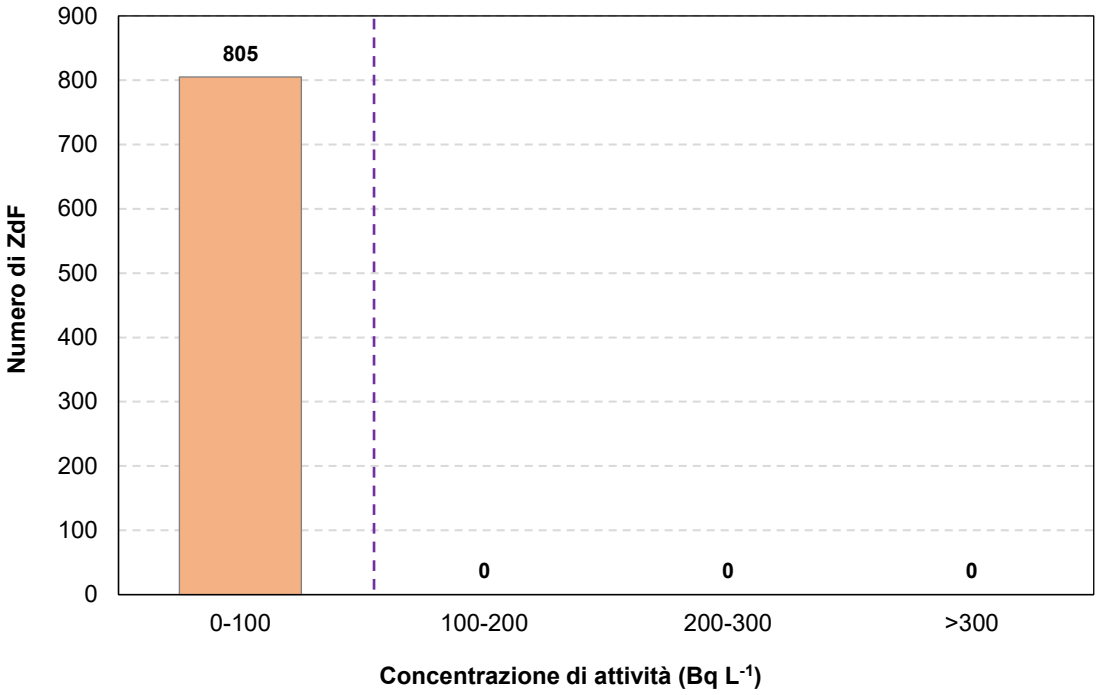


Figura 21. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI TRIZIO: distribuzione dei valori medi considerando tutte le zone di fornitura con almeno una misurazione valida effettuata nell'ambito del PdC-2.
A destra della riga tratteggiata tutte le misurazioni con risultati maggiori del valore di parametro (100 Bq L^{-1})

Al fine di fare valutazioni basate su un numero di misurazioni che garantisca un minimo di rappresentatività della media ottenuta con le misurazioni, in Figura 22 è riportata la distribuzione dei valori medi di concentrazione di attività di trizio[2] quando si considerano tutte le zone di fornitura con almeno quattro misurazioni valide effettuate nell'ambito del secondo programma di controllo.

Risulta un totale di 245 zone di fornitura per cui è stata calcolata la media della concentrazione di attività di trizio: in nessuna zona di fornitura, il valore medio della concentrazione di attività di trizio supera il valore di parametro per la concentrazione di attività di trizio fissato in 100 Bq L^{-1}. La media della concentrazione di trizio per tutte le zone di fornitura risulta inferiore a 10 Bq L^{-1}.

[2] Nel caso di misurazioni con risultato minore della Minima Attività Rivelabile (MAR), nel calcolo della media è assunto pari a metà della MAR.

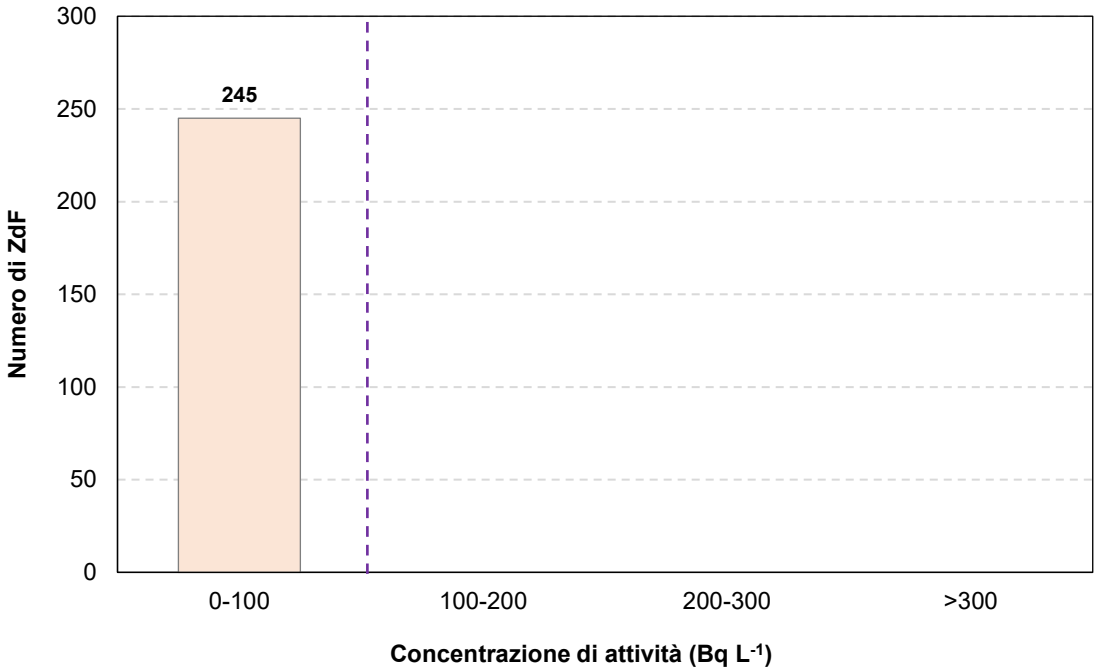


Figura 22. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI TRIZIO: distribuzione dei valori medi considerando tutte le zone di fornitura con almeno 4 misurazioni valide effettuate nell'ambito del PdC-2.
A destra della riga tratteggiata tutte le misurazioni con risultati maggiori del valore di parametro (100 Bq L^{-1})

RISULTATI PDC-1 E PDC-2

I dati relativi al PdC-2 si riferiscono sia a misurazioni effettuate in zone di fornitura che non erano state prese in considerazione durante il PdC-1 sia, per alcune Regioni, a misurazioni effettuate in zone di fornitura già misurate nell'ambito del PdC-1. La motivazione di tale scelta risiede nel fatto che durante il PdC-1 (per ragioni diverse), in molte zone di fornitura non era stato effettuato il numero di misurazioni minimo richiesto dalla normativa per effettuare le valutazioni preliminari. Questo numero minimo di misurazioni è stato raggiunto in molti casi durante il PdC-2, e per questo motivo i dati relativi ad entrambi i programmi di controllo sono stati analizzati congiuntamente.

Nella Figura 23 sono riportate le distribuzioni dei valori medi di concentrazione di attività di alfa totale quando si considerano tutte le zone di fornitura con almeno una misurazione valida effettuata nell'ambito dei primi due programmi di controllo, quelle con quattro misurazioni valide e infine quelle con otto misurazioni valide (numero sufficiente di misurazioni per effettuare le valutazioni preliminari). Sul totale di oltre 3100 zone di fornitura misurate il 52% risulta avere quattro misurazioni e il 32% risulta avere 8 misurazioni.

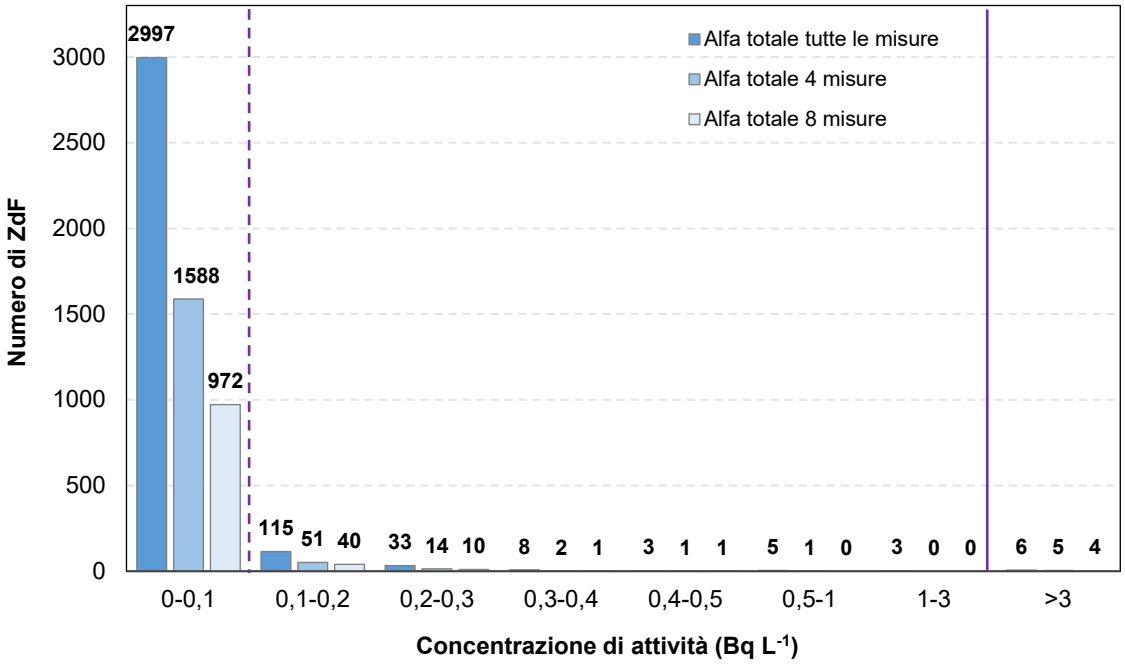


Figura 23. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI ALFA TOTALE: distribuzione dei valori medi considerando le zone di fornitura con almeno una misurazione, con almeno 4 misurazioni valide e almeno 8 misurazioni valide effettuate nell'ambito del PdC-1 e PdC-2
A destra della riga tratteggiata le misurazioni con risultati maggiori del livello di screening (0,1 Bq L^{-1}); a destra della riga continua tutte le misurazioni per le quali, indipendentemente dalla distribuzione dell'attività tra i diversi radionuclidi, risulterebbe comunque superato il valore di parametro per la Dose Indicativa

Se consideriamo le zone di fornitura in cui sono state portate a termine almeno 8 misurazioni, in 972 delle zone di fornitura la Dose Indicativa corrispondente alla concentrazione di attività alfa

totale misurata risulta sicuramente inferiore al corrispondente valore di parametro di 0,1 mSv all'anno. Solo per quattro zone di fornitura è possibile affermare che la Dose Indicativa dovuta a radionuclidi alfa emettitori sia sicuramente superiore al valore di parametro. Nelle restanti 52 zone di fornitura prese in esame, la valutazione della Dose Indicativa corrispondente può risultare in valori superiori o inferiori al valore di parametro in funzione delle necessarie misure di approfondimento per quantificare l'attività dei singoli radionuclidi alfa emettitori.

Nella Figura 24 sono riportate le distribuzioni dei valori medi di concentrazione di attività di beta totale quando si considerano tutte le zone di fornitura con almeno una misurazione valida effettuata nell'ambito dei primi due programmi di controllo, quelle con quattro misurazioni valide e infine quelle con otto misurazioni valide (numero sufficiente di misurazioni per effettuare le valutazioni preliminari). Sul totale di oltre 3100 zone di fornitura misurate, il 53% risulta avere quattro misurazioni e il 33% risulta avere 8 misurazioni.

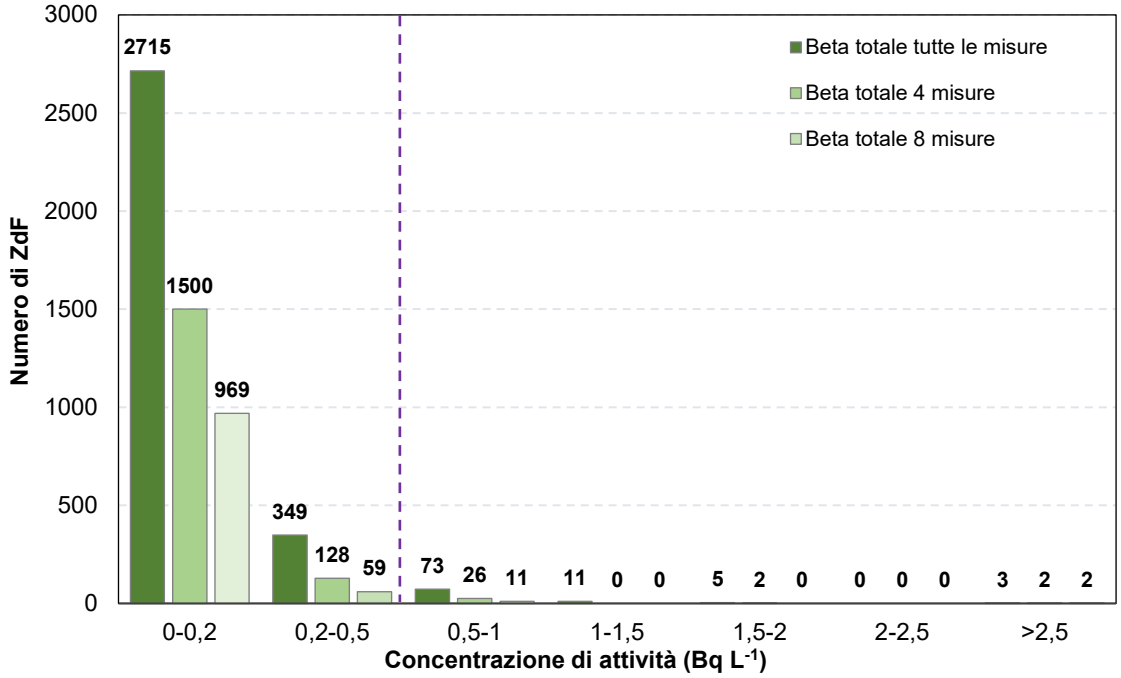


Figura 24. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI BETA TOTALE: distribuzione dei valori medi considerando le zone di fornitura con almeno una misurazione, con 4 misurazioni valide e 8 misurazioni valide effettuate nell'ambito del PdC-1 e PdC-2

A destra della riga tratteggiata tutte le misurazioni con risultati maggiori del livello di screening (0,5 Bq L^{-1})

Se consideriamo le zone di fornitura in cui sono state portate a termine almeno 8 misurazioni, in 1028 delle zone di fornitura la Dose Indicativa corrispondente alla concentrazione totale di radionuclidi beta emettitori misurata può essere considerata ragionevolmente inferiore al valore di parametro di 0,1 mSv all'anno. Tuttavia, come già messo in evidenza nel corso della discussione relativa ai risultati delle singole misurazioni, non è possibile escludere, benché tale circostanza sia improbabile, che la Dose Indicativa risulti per esse superiore al valore di parametro nonostante la concentrazione di attività di radionuclidi beta emettitori risulti inferiore al corrispondente livello di screening di 0,5 Bq L^{-1}; tale circostanza è, infatti, associata all'improbabile presenza di Ra-228 e Pb-210 in concentrazioni significative e comunque non in

equilibrio rispetto ad altri radionuclidi beta emettitori appartenenti alle catene di decadimento rispettivamente di Th-232 e U-238. In 969 zone di fornitura, in considerazione di una concentrazione di attività beta totale inferiore a 0,2 Bq L^{-1}, la Dose Indicativa corrispondente è sicuramente inferiore al corrispondente valore di parametro.

Nella Figura 25 sono riportate le distribuzioni dei valori medi di concentrazione di attività di radon quando si considerano tutte le zone di fornitura con almeno una misurazione valida effettuata nell'ambito dei primi due programmi di controllo, quelle con quattro misurazioni valide e infine quelle con otto misurazioni valide (numero sufficiente di misurazioni per effettuare le valutazioni preliminari).

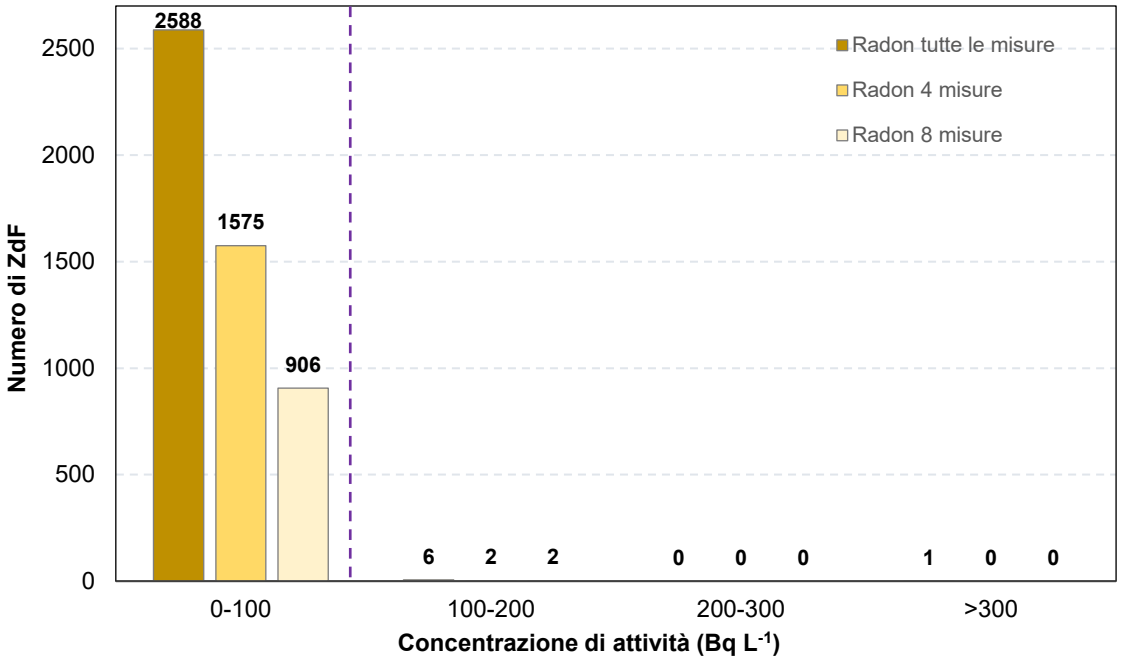


Figura 25. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI RADON: distribuzione dei valori medi considerando le zone di fornitura con almeno una misurazione, con almeno 4 misurazioni valide e almeno 8 misurazioni valide effettuate nell'ambito del PdC-1 e PdC-2

A destra della riga tratteggiata tutte le misurazioni con risultati maggiori del valore di parametro (100 Bq L^{-1})

Sul totale di oltre 2500 zone di fornitura misurate il 61% risulta avere quattro misurazioni e il 35% risulta avere 8 misurazioni.

Se consideriamo le zone di fornitura in cui sono state portate a termine almeno 8 misurazioni, in due zone di fornitura si ottiene un valore superiore al valore di parametro di 100 Bq L^{-1}.

Nella Figura 26 sono riportate le distribuzioni dei valori medi di concentrazione di attività di trizio quando si considerano tutte le zone di fornitura con almeno una misurazione valida effettuata nell'ambito dei primi due programmi di controllo, quelle con quattro misurazioni valide e infine quelle con otto misurazioni valide (numero sufficiente di misurazioni per effettuare le valutazioni preliminari).

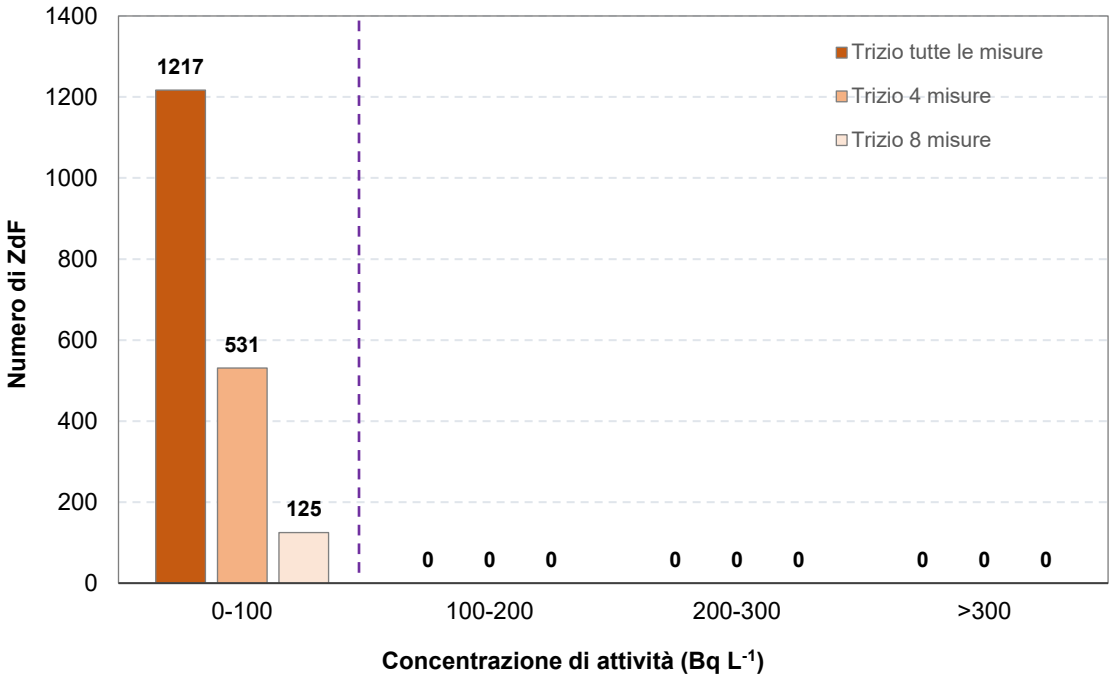


Figura 26. CONCENTRAZIONE DI ATTIVITÀ DI TRIZIO: distribuzione dei valori medi considerando le zone di fornitura con almeno una misurazione, con almeno 4 misurazioni valide e almeno 8 misurazioni valide effettuate nell'ambito del PdC-1 e PdC-2
A destra della riga tratteggiata tutte le misurazioni con risultati maggiori del valore di parametro (100 Bq L^{-1})

Sul totale di oltre 1200 zone di fornitura misurate il 44% risulta avere quattro misurazioni e il 10% risulta avere 8 misurazioni.

Già le singole misure erano risultate ben al di sotto del valore di parametro, implicando che in nessuna zona di fornitura la media della concentrazione di attività di trizio sulle misurazioni dei primi due programmi di controllo risulti superiore al valore di parametro di 100 Bq L^{-1}. La media della concentrazione di trizio per tutte le zone di fornitura risulta inferiore a 10 Bq L^{-1}.

MISURAZIONI DI APPROFONDIMENTO

Nell'ambito del primo e del secondo programma di controllo, sono state complessivamente effettuate misurazioni di approfondimento su un totale di 534 campioni (203 sottoposti a misurazione nell'ambito del primo programma di controllo e 331 del secondo) da un totale di 12 Regioni (8 nel primo programma di controllo e 12 nel secondo che includono tutte quelle già impegnate nelle misurazioni di approfondimento nel primo programma di controllo). Nell'analisi, in caso di disponibilità di più di un campione su cui sono state effettuate misurazioni di approfondimento come risultato del medesimo superamento di uno dei valori di screening, sono stati mantenuti unicamente i risultati relativi al campione per cui la Dose Indicativa stimata risulta più elevata.

Dei 534 campioni su cui sono state effettuate misurazioni di approfondimento, per 415 è stato possibile identificare la corrispondente misurazione di concentrazione di attività alfa e beta totale. Di questi 415 campioni, 90 sono stati sottoposti ad approfondimento nonostante le corrispondenti concentrazioni di attività alfa e beta totale non avessero evidenziato superamenti dei valori di screening. Risultano, quindi, 325 i campioni sottoposti ad approfondimento sulla base del superamento dei valori di screening della concentrazione di attività alfa o beta totale.

La Dose Indicativa valutata sulla base dei risultati delle misurazioni di approfondimento è risultata superiore al corrispondente valore di parametro (0,1 mSv y^{-1}) per 10 campioni riferiti a 8 zone di fornitura distinte, 7 nel Lazio e una in Toscana. Il valore massimo calcolato della Dose Indicativa è di 0,16 mSv y^{-1}.

Ra-226

Nella Figura 27 è riportato il numero di campioni analizzati per la ricerca del radio-226 nelle 12 Regioni che hanno effettuato misurazioni di approfondimento nell'ambito sia del PdC-1 che del PdC-2.

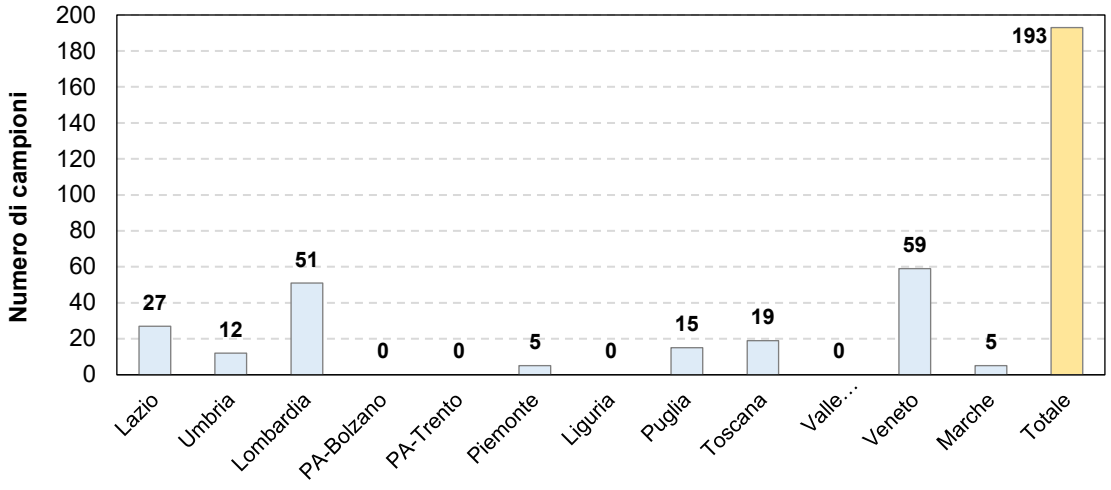


Figura 27. Numero di campioni per cui sono state effettuate misurazioni di radio-226 nelle 12 Regioni impegnate nelle misurazioni di approfondimento nell'ambito del PdC-1 e del PdC-2

Dei 193 campioni per cui sono state effettuate misurazioni di approfondimento di radio-226, in 82 è stata misurata una concentrazione di attività maggiore della Minima Attività Rivelabile (nel seguito MAR) con un valore medio di 0,05 Bq L^{-1}. In nessuno dei campioni indagati analiticamente, la concentrazione di attività di radio-226 è risultata superiore alla concentrazione derivata di 0,5 Bq L^{-1}.

Dei campioni per cui la concentrazione misurata è risultata minore della MAR, per 44 misurazioni della concentrazione di attività di radio-226 la MAR è superiore al limite di rivelazione corrispondente (0,04 Bq L^{-1}) riportato in Tabella 2 dell'Allegato III del DL.vo 28/2016. Su base nazionale, la media della minima attività rivelabile di tutte le misurazioni per cui tale parametro analitico è riportato è di 0,02 Bq L^{-1} (corrispondente a circa il 5% del corrispondente limite di rivelazione).

Ra-228

Nella Figura 28 è riportato il numero di campioni analizzati per la ricerca del radio-228 nelle 12 Regioni che hanno effettuato misurazioni di approfondimento nell'ambito sia del PdC-1 che del PdC-2.

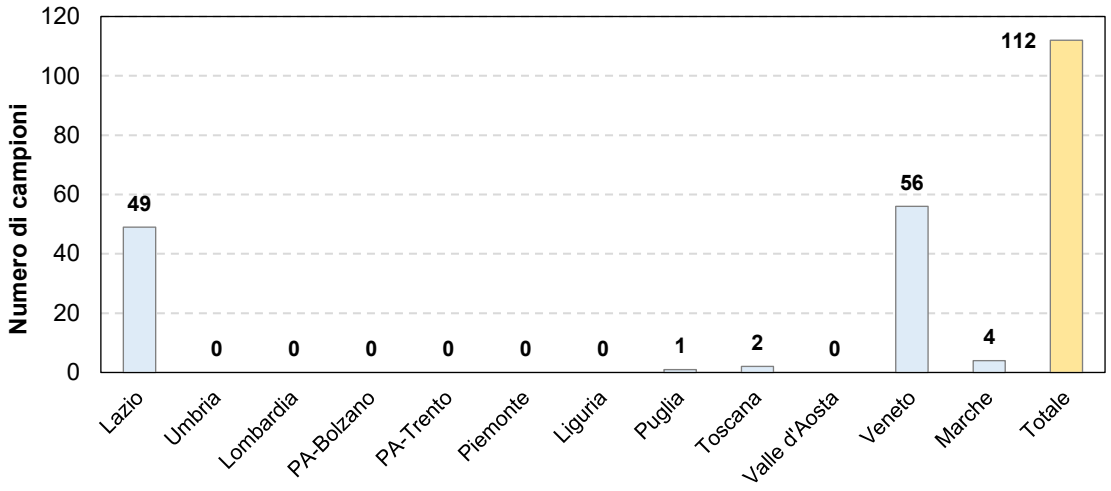


Figura 28. Numero di campioni per cui sono state effettuate misurazioni di radio-228 nelle 12 Regioni impegnate nelle misurazioni di approfondimento nell'ambito del PdC-1 e del PdC-2

Dei 112 campioni per cui sono state effettuate misurazioni di approfondimento di radio-228, in 23 è stata misurata una concentrazione di attività maggiore della MAR con un valore medio di 0,01 Bq L^{-1}. In nessuno dei campioni indagati analiticamente, la concentrazione di attività di radio-228 è risultata superiore alla concentrazione derivata di 0,2 Bq L^{-1}.

Dei campioni per cui la concentrazione misurata è risultata minore della MAR, per 17 misurazioni della concentrazione di attività di radio-228 la MAR è superiore al limite di rivelazione corrispondente (0,02 Bq L^{-1}) riportato in Tabella 2 dell'Allegato III del DL.vo 28/2016. Su base nazionale, la media della minima attività rivelabile di tutte le misurazioni per cui tale parametro analitico è riportato è di 0,02 Bq L^{-1} (corrispondente a circa l'8% del corrispondente limite di rivelazione).

U-234

Nella Figura 29 è riportato il numero di campioni analizzati per la ricerca dell'uranio-234 nelle 12 Regioni che hanno effettuato misurazioni di approfondimento nell'ambito sia del PdC-1 che del PdC-2.

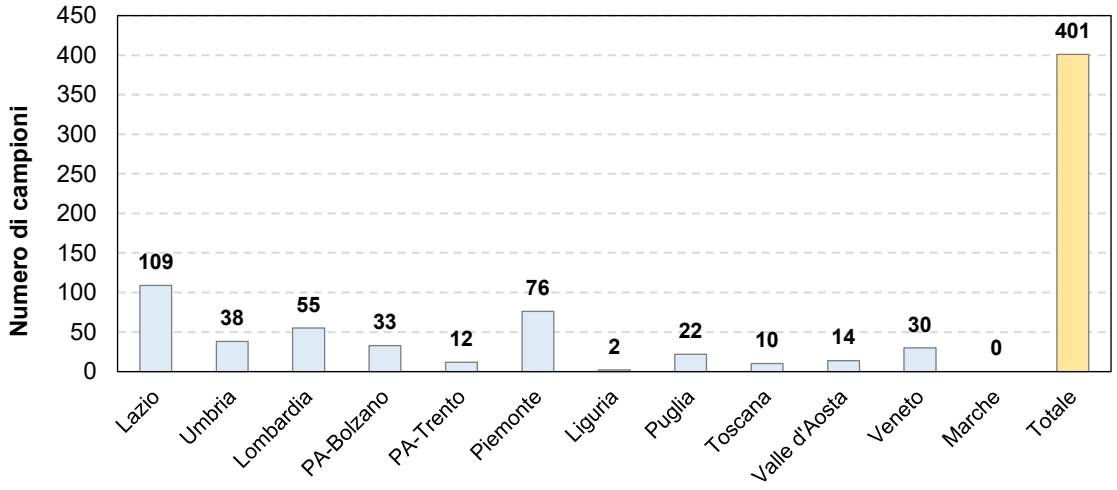


Figura 29. Numero di campioni per cui sono state effettuate misurazioni di uranio-234 nelle 12 Regioni impegnate nelle misurazioni di approfondimento nell'ambito del PdC-1 e del PdC-2

Per tutti i 401 campioni per cui sono state effettuate misurazioni di approfondimento di uranio-234 è stata misurata una concentrazione di attività maggiore della MAR, con un valore medio di 0,01 Bq L^{-1}. In nessuno dei campioni indagati analiticamente, la concentrazione di attività di uranio-234 è risultata superiore alla concentrazione derivata di 2,8 Bq L^{-1}.

Dei campioni per cui è riportato il valore della MAR, la MAR è risultata superiore al limite di rivelazione corrispondente (0,02 Bq L^{-1}) riportato in Tabella 2 dell'Allegato III del DL.vo 28/2016 in nessuna delle misurazioni della concentrazione di attività di uranio-234. Su base nazionale, la media della minima attività rivelabile di tutte le misurazioni per cui tale parametro analitico è riportato è di 0,02 Bq L^{-1} (corrispondente a circa l'1% del corrispondente limite di rivelazione).

U-238

Nella Figura 30 è riportato il numero di campioni analizzati per la ricerca dell'uranio-238 nelle 12 Regioni che hanno effettuato misurazioni di approfondimento nell'ambito sia del PdC-1 che del PdC-2.

Per tutti i 402 campioni per cui sono state effettuate misurazioni di approfondimento di uranio-238 è stata misurata una concentrazione di attività maggiore della MAR, con un valore medio di 0,01 Bq L^{-1}. In nessuno dei campioni indagati analiticamente, la concentrazione di attività di uranio-238 è risultata superiore alla concentrazione derivata di 3,0 Bq L^{-1}.

Dei campioni per cui è riportato il valore della MAR, la MAR è risultata superiore al limite di rivelazione corrispondente (0,02 Bq L^{-1}) riportato in Tabella 2 dell'Allegato III del DL.vo 28/2016 in nessuna delle misurazioni della concentrazione di attività di uranio-238.

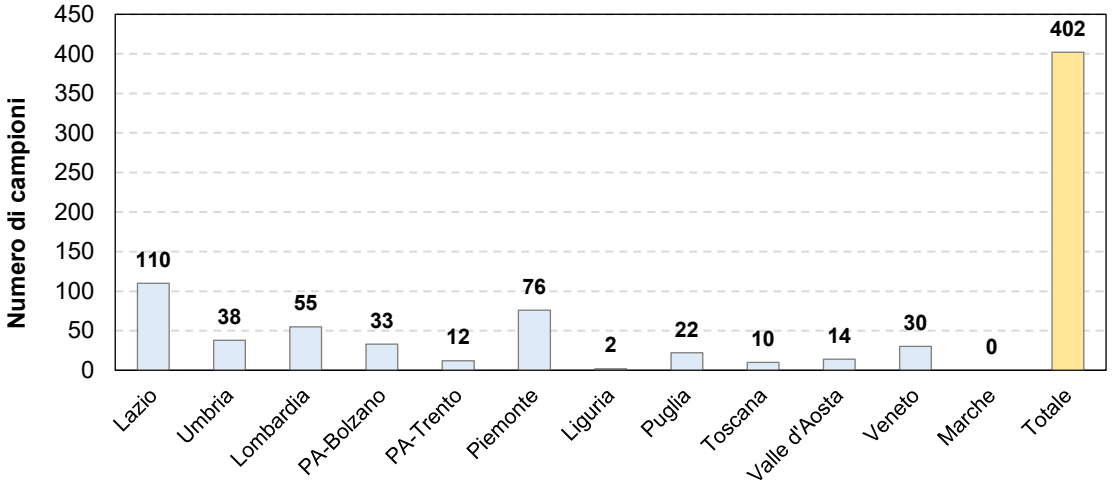


Figura 30. Numero di campioni per cui sono state effettuate misurazioni di uranio-238 nelle 12 Regioni impegnate nelle misurazioni di approfondimento nell'ambito del PdC-1 e del PdC-2

Su base nazionale, la media della minima attività rivelabile di tutte le misurazioni per cui tale parametro analitico è riportato è di 0,02 Bq L^{-1} (corrispondente a circa l'1% del corrispondente limite di rivelazione).

Pb-210

Nella Figura 31 è riportato il numero di campioni analizzati per la ricerca del piombo-210 nelle 12 Regioni che hanno effettuato misurazioni di approfondimento nell'ambito sia del PdC-1 che del PdC-2.

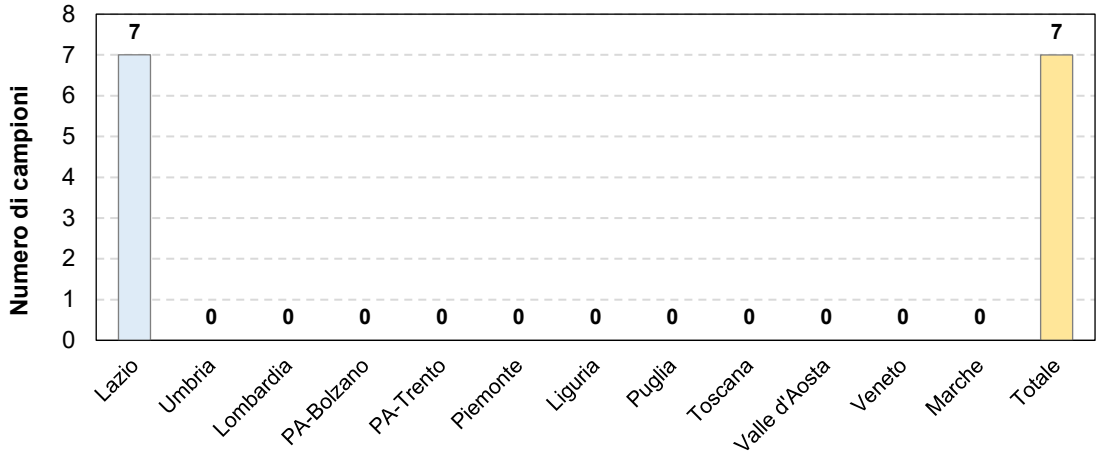


Figura 31. Numero di campioni per cui sono state effettuate misurazioni di piombo-210 nelle 12 Regioni impegnate nelle misurazioni di approfondimento nell'ambito del PdC-1 e del PdC-2

Per tutti i 7 campioni per cui sono state effettuate misurazioni di approfondimento di piombo-210 è stata misurata una concentrazione di attività maggiore della MAR, con un valore medio di 0,01 Bq L^{-1}. Per 2 dei campioni indagati analiticamente, la concentrazione di attività di piombo-210 è risultata superiore alla concentrazione derivata di 0,2 Bq L^{-1}.

Per 4 dei 7 campioni per cui la concentrazione misurata è risultata superiore alla MAR è stato riportato anche il valore di quest'ultima: per nessuna di queste quattro misurazioni la MAR è superiore al limite di rivelazione corrispondente (0,02 Bq L^{-1}) riportato in Tabella 2 dell'Allegato III del DL.vo 28/2016. Su base nazionale, la media della minima attività rivelabile di tutte le misurazioni per cui tale parametro analitico è riportato è di 0,02 Bq L^{-1} (corrispondente a circa l'8% del corrispondente limite di rivelazione).

Po-210

Nella Figura 32 è riportato il numero di campioni analizzati per la ricerca del polonio-210 nelle 12 Regioni che hanno effettuato misurazioni di approfondimento nell'ambito sia del PdC-1 che del PdC-2.

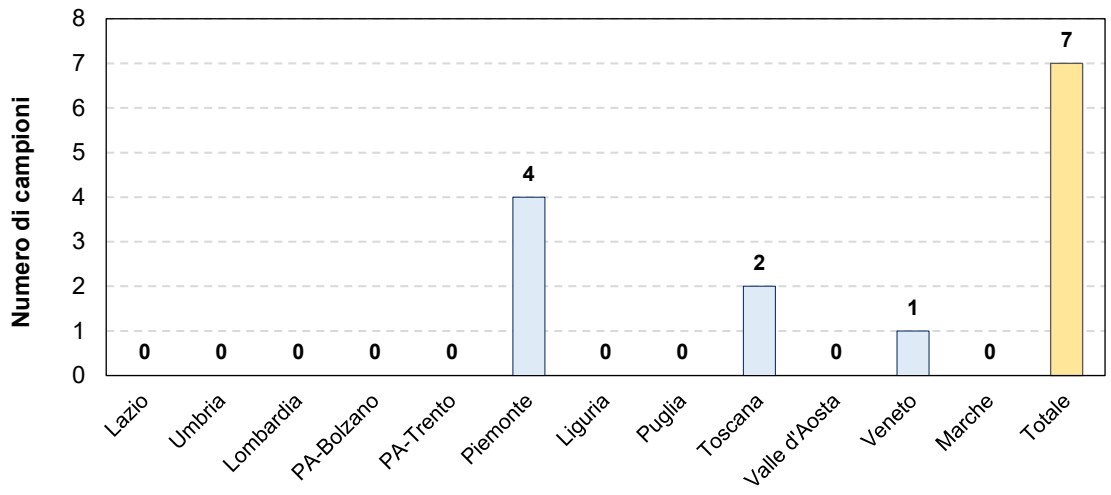


Figura 32. Numero di campioni per cui sono state effettuate misurazioni di polonio-210 nelle 12 Regioni impegnate nelle misurazioni di approfondimento nell'ambito del PdC-1 e del PdC-2

Per tutti i 7 campioni per cui sono state effettuate misurazioni di approfondimento di polonio-210 è stata misurata una concentrazione di attività maggiore della MAR, con un valore medio di 0,01 Bq L^{-1}. Per nessuno dei campioni indagati analiticamente, la concentrazione di attività di polonio-210 è risultata superiore alla concentrazione derivata di 0,1 Bq L^{-1}.

Per tutti i 7 campioni per cui la concentrazione misurata è risultata superiore alla MAR è stato comunque riportato anche il valore di quest'ultima: per nessuna delle misurazioni della concentrazione di attività di polonio-210 la MAR è superiore al limite di rivelazione corrispondente (0,01 Bq L^{-1}) riportato in Tabella 2 dell'Allegato III del DL.vo 28/2016. Su base nazionale, la media della minima attività rivelabile di tutte le misurazioni per cui tale parametro analitico è riportato è di 0,02 Bq L^{-1} (corrispondente a circa l'1% del corrispondente limite di rivelazione).

CONCLUSIONI

L'applicazione del secondo programma di controllo ha consentito la prosecuzione dell'implementazione del sistema di monitoraggio della radioattività nelle acque destinate al consumo umano, in conformità a quanto stabilito dal DL.vo 28/2016 e alle disposizioni attuative del D.M. 2 agosto 2017. I risultati di tale programma dimostrano un consolidamento del sistema di controllo sistematico ed uniforme sull'intero territorio nazionale. Nell'individuazione delle zone di fornitura in cui effettuare misurazioni, le Regioni hanno confermato il criterio di selezione già adottato nel primo programma di controllo, attribuendo priorità alle zone di fornitura di maggiore rilevanza demografica e a quelle per le quali si disponeva già di informazioni che ne evidenziavano livelli significativi di radioattività.

Riguardo alla copertura territoriale, il secondo programma ne ha determinato un significativo incremento. Occorre precisare che le misurazioni del secondo programma di controllo sono state effettuate sia in zone di fornitura non incluse nel primo programma di controllo, in ottemperanza alle disposizioni normative vigenti, sia in quelle già oggetto di monitoraggio nel primo programma, per le quali non era stato completato quanto previsto durante la pianificazione originaria.

Pertanto, a valle dell'unione dei dati ottenuti nell'ambito del PdC-1 e del PdC-2, il database contiene complessivamente circa 19000 misurazioni valide (oltre 9000 per PdC-1 e oltre 9000 per PdC-2) della concentrazione di attività alfa e beta totale, effettuate in oltre 3100 zone di fornitura (rispettivamente ~1400 e ~1700); tali zone di fornitura servono circa l'86% della popolazione italiana. Le zone di fornitura per cui sono state effettuate almeno quattro misurazioni di concentrazione di attività alfa e beta totale servono circa il 75% della popolazione italiana. Delle 3100 zone di fornitura, la frazione di esse in cui sono state effettuate almeno quattro misurazioni di concentrazione di attività di alfa e beta totale è, rispettivamente circa il 52% e il 53%. La frazione delle zone di fornitura con almeno otto misurazioni è, rispettivamente, il 32% ed il 33%.

Per quanto riguarda la concentrazione di attività di radon, lo stesso database contiene misurazioni effettuate in un totale di oltre 2500 zone di fornitura, con una copertura del 78% della popolazione italiana. Le zone di fornitura per cui sono state effettuate almeno quattro misurazioni di concentrazione di radon coprono il 69% della popolazione italiana. Di queste 2500 zone di fornitura, la frazione con almeno quattro misurazioni di concentrazione di radon è circa il 61%; tale percentuale scende al 35% se si considerano solo le zone di fornitura con almeno otto misurazioni.

Complessivamente, nell'ambito dei due programmi di controllo sono state condotte misurazioni valide della concentrazione di attività di trizio in circa 1200 zone di fornitura, corrispondenti ad una copertura di circa il 44% della popolazione italiana. Di queste 1200 zone di fornitura, circa il 44% è stato interessato da almeno 4 misurazioni e il 10% da almeno otto misurazioni.

Relativamente ai risultati delle misurazioni, nella stragrande maggioranza dei casi i valori misurati sono risultati ben al di sotto dei livelli sopra i quali la normativa prevede azioni di vario tipo: e.g., aumento della frequenza di indagine, analisi delle fonti, fino alla valutazione del rischio e agli eventuali interventi di mitigazione.

In particolare, in solo una ZdF il valore medio della concentrazione di attività alfa totale è risultato tale da indicare un sicuro superamento, indipendentemente dai risultati delle misure di approfondimento, del valore di parametro della Dose Indicativa (0,1 mSv y^{-1}); per tale zona di fornitura, tuttavia, è stata effettuata una sola misurazione. Se si considerano unicamente le ZdF per cui la media della concentrazione di attività alfa totale è valutata sui risultati di almeno 4

misurazioni, in nessun caso si ha una Dose Indicativa sicuramente superiore a 0,1 mSv y^{-1}. Relativamente alla concentrazione di attività di radionuclidi beta emettitori, in 106 campioni (pari a circa il 21% di quelli per cui è stato misurato anche il potassio-40), il risultato della misurazione dimostra un superamento del valore di parametro della Dose Indicativa, nella sola ipotesi di escludere la presenza di radionuclidi di origine artificiale o di radionuclidi beta emettitori a breve emivita in equilibrio con l'uranio-238 contestualmente presente in concentrazioni molto elevate. Considerando, invece, il valore medio per ZdF dei risultati delle misurazioni della concentrazione di attività dei radionuclidi beta emettitori (potassio-40 escluso), per 31 ZdF il valore misurato corrisponde a un superamento del valore di parametro della Dose Indicativa sotto le medesime ipotesi appena descritte. A tal proposito, si segnala che sono state effettuate misurazioni della concentrazione di attività di potassio-40 in circa l'85% dei campioni per cui la concentrazione di attività beta totale è risultata superiore al corrispondente livello di screening. Inoltre, 325 campioni sono stati sottoposti a misurazioni di approfondimento sulla base di superamento dei valori di screening della concentrazione di attività alfa o beta totale. La Dose Indicativa valutata dai risultati di tali misurazioni è risultata superiore al corrispondente valore di parametro per 10 campioni riferiti a 8 zone di fornitura distinte, 7 nel Lazio e una in Toscana. Il valore massimo calcolato della Dose Indicativa è di 0,16 mSv y^{-1}. La concentrazione di attività di radon è risultata superiore al valore di parametro in sole sette zone di fornitura, mentre per il trizio non si è registrato alcun superamento.

Complessivamente, per tutti i parametri monitorati – indirettamente, come per la Dose Indicativa, o direttamente, come per il radon, il trizio e per la Dose Indicativa valutata mediante le misurazioni di specifici radionuclidi alfa e beta emettitori – le misurazioni hanno permesso di evidenziare livelli ben al di sotto dei corrispondenti valori di parametro, con superamenti generalmente modesti in entità ed estremamente ridotti in numero.

Analogamente a quanto rappresentato nella valutazione del primo programma di controllo, si ribadisce la necessità di aumentare il numero di misurazioni, di tutti gli analiti, per zona di fornitura per migliorare, coerentemente alle disposizioni legislative, la rappresentatività dei valori medi valutati e, di conseguenza, la robustezza delle valutazioni di rischio eventualmente da effettuare.

Relativamente all'approfondimento dei superamenti dei livelli di screening per alfa e beta totale, si segnala l'effettuazione di un numero estremamente significativo, benché insufficiente, di misurazioni dei singoli radionuclidi alfa e beta emettitori. I radionuclidi considerati da tali misurazioni riflettono le difficoltà analitiche connesse alla loro rivelazione e quantificazione mettendo in evidenza la necessità di approfondire studi specifici volti a valutare criticamente le possibilità disponibili per la misurazione soprattutto di piombo-210 e polonio-210. Si rappresenta, comunque, che le concentrazioni di attività di uranio-238 e uranio-234, valutate nella quasi totalità dei campioni, sono spesso sufficienti a descrivere il corrispondente superamento della concentrazione alfa totale.

In conclusione, anche i risultati del secondo programma di controllo dimostrano, in larga parte, la conformità delle acque destinate al consumo umano in Italia relativamente al contenuto di radioattività.

APPENDICE A
Partecipanti
al secondo programma di controllo

Hanno contribuito alle attività del secondo programma di controllo della radioattività nelle acque destinate al consumo umano in tutte le sue fasi (coordinamento, gestione, prelievo, preparazione e analisi dei campioni) le persone di seguito elencate.

ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ

Centro per la protezione dalle radiazioni e fisica computazionale

Francesco Bochicchio
Carmela Carpentieri
Mario Caprio
Christian Di Carlo
Marco Ampollini
Maria Federica Teatini

MINISTERO DELLA SALUTE

Ufficio 4 ex Direzione Generale della Prevenzione Sanitaria

Annalisa Salvatore

ABRUZZO

Regione – Dipartimento Sanità, Servizio sanità veterinaria e sicurezza degli alimenti

Paolo Torlontano

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Valentina Conti
Sara De Novellis
Erica Aloè

BASILICATA

Regione – Direzione Generale per la salute e le politiche della persona, Ufficio prevenzione sanità umana, veterinaria e sicurezza alimentare

Gerardo Salvatore

ASP Potenza – Dipartimento Prevenzione Collettiva Salute Umana

Canio Rufino

ASM Matera – Dipartimento Prevenzione Collettiva Salute Umana

Rocco Eletto,
Achille Palma, ARPA

PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO

Provincia – Ufficio Prevenzione, Promozione della salute e Sanità pubblica, Ripartizione Salute

Daniela Giuriola
Lorella Zago

Agenzia Provinciale per la Protezione Ambientale

Claudia Marchesoni,
David Ratering
Astrid Sapelza
Luca Verdi

Azienda Sanitaria dell'Alto Adige, Brunico

Paul Huber

Azienda Sanitaria dell'Alto Adige, Bressanone

Thomas Sigmund

Azienda Sanitaria dell'Alto Adige, Bolzano

Hansjörg Ebner
Sergio Lapegna
Umberto Masetti

Azienda Sanitaria dell'Alto Adige, Merano

Elmar Koch
Manfred Raffl

CAMPANIA

Regione – Prevenzione e sanità pubblica veterinaria

Paolo Sarnelli,
Mauro Cosentino
Gelsomina Lamberti

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Gian Carlo De Tullio

ASL Napoli 1

Vincenzo Stefanelli,

ASL Napoli 2

Pasquale Sannino,

ASL Napoli 3

Thomas Cirace Sonny,

ASL Avellino

Michelina Prudente,

ASL Benevento

Maria Giovanna Fuggi,

ASL Caserta

Loredana Casto

Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Mezzogiorno

Germana Colarusso
Eloice Peirce

EMILIA–ROMAGNA

Regione – Settore Prevenzione collettiva e Sanità

Lisa Gentili

Regione – Settore Difesa del Territorio, Area Geologia, Suoli e Sismica

Maria Teresa De Nardo

Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia dell'Emilia-Romagna

Cinzia Terzoni
Roberto Sogni

FRIULI VENEZIA GIULIA

Regione – Direzione Centrale Salute, Politiche Sociali e disabilità

Marika Mariuz
Gabriella Trani

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Lucia Tramontin,
Massimo Garavaglia
Giuseppe Candolini

Aziende del Sistema Sanitario regionale

Walter Sancin
Sonia Solari
Silvia Mentil
De Battisti Fabio
Taiariol Angelo
Giorgio Brianti
Roberto Turus
Elisa Fania
Marco Iacuzzo
Paolo Boscarol

LAZIO

Regione – Direzione Regionale Ambiente, cambiamenti climatici, transizione energetica e sostenibilità, parchi

Silvana Rodolico
Irene Annecchiarico

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Alessandro Di Giosa
Giorgio Evangelisti

LIGURIA

Area Salute e Servizi Sociali, Servizio Tutela della Salute negli Ambienti di Vita e di Lavoro

Elena Nicosia
Daniele Colobraro,

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Elga Filippi
Andrea Cogorno

LOMBARDIA

Regione Lombardia

Emanuela Ammoni

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Maurizio Forte
Daniela Lunesu
Rosella Rusconi

MARCHE

Regione – Agenzia Regionale sanitaria settore prevenzione veterinaria e sicurezza alimentare

Rachele Zorzan

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Corrado Pantalone

MOLISE

Regione – Servizio Prevenzione, Veterinaria e Sicurezza Alimentare, Ufficio Controllo acque, Prodotti fitosanitari e OGM

Michele Serago
Michele Colitti

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Claudio Cristofaro

Azienda Sanitaria Regionale del Molise

Maria Letizia Ciallella

PIEMONTE

Regione – Assessorato Sanità Direzione Sanità Settore Prevenzione, sanità pubblica, veterinaria e sicurezza alimentare

Ruggero Dal Zotto

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Maria Clivia Losana
Brunella Bellotto

PUGLIA

Regione – Dipartimento promozione della salute e del benessere animale sezione promozione della salute e del benessere

Mongelli Onofrio,
Di Vittorio Giuseppe, Regione

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Celeste Alfonso

IZSPB

Nardelli Valeria,

ASL Bari

Nencha Alessandra
Spinelli Caterina
Vino Francesco
D'Aniello Ezio
D'Aprile Carla
Pappagallo Michele
Scervino Gianfranco

ASL Barletta-Trani

Stingi Giacomo
Losapio Pantaleo
Serafini Ruggiero

ASL Foggia

Panunzio Michele
Russo Rachele
Spera Mario
Morese Francesco

ASL Lecce

Carlà Roberto
Protopapa Martino
Verardi Tommaso
Papadia Federica
Quarta Luigi
Rugge Angelo

ASL Taranto

Durante Armando
Perniola Giuseppe

SARDEGNA

Regione – Assessorato alla Sanità

Giovanna Irranca

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Massimo Cappai
Bruno Floris
Massimo Ragatzu

Azienda Ospedaliera Universitaria Sassari

Giovanna Deiana

SICILIA

Regione – Assessorato regionale della salute, Dipartimento attività sanitarie e osservatorio epidemiologico

Daniela Nifosì
Daniela Zora

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Antonio Sansone
Daniela Morelli
Gaetano Arnetta
Mirko Vizzini

Azienda Sanitaria Provinciale di Enna

Luigi Renna

Azienda Sanitaria Provinciale di Catania

Patrizia Pisana
Elena Alonzo

TOSCANA

Regione – Direzione Sanità, Welfare e Coesione Sociale

Emanuela Balocchini
Piergiuseppe Calà

Regione – Direzione Ambiente e Energia

Renata Laura Caselli
Riccardo Grifoni

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Silvia Bucci
Massimo Guazzini
Ilaria Peroni

PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

APSS - Dipartimento di Prevenzione

Giuseppina Pezzarossi
Franco Guizzardi
Fabrizio Casna

Agenzia Provinciale per la Protezione Ambientale

Massimo Paolazzi
Stefano Pegoretti

UMBRIA

Regione – Servizio Prevenzione, Sanità veterinaria, Sicurezza alimentare

Giovanni Santoro

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Paola Sabatini
Matteo Marconi

USL Umbria 1

Pazzaglia Loreta
Nicoletta Titoli

USL Umbria 2

Andrea Maria Favaro
Marco Facincane,
Eleonora Giannini

VALLE D'AOSTA

Regione – Prevenzione, sanità pubblica veterinaria e sicurezza alimentare

Enrica Muraro
Sara Montolivo

VENETO

Regione – Direzione Prevenzione, Sicurezza Alimentare, Veterinaria

Francesca Russo
Vanessa Groppi
Sara Michielan
Michele Nicoletti

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale

Flavio Trotti
Sabrina Poli
Filippo Bragato

ULSS 1 Dolomiti

Oscar Cora

ULSS 2 Marca Trevigiana

Simone Rossi
Riccardo Migotto
Giuseppina Girlando
Facchin Francesco
Stefano Zen

ULSS 3 Serenissima

Michele Zordan
Gian Piero Boscaro
Marianna Elia
Massimo Maldera

ULSS 4 Veneto Orientale

Riccardo Sciacco
Dania Donati
Andrea Girardi

ULSS 5 Polesana

Fiorella Costa
Virginio Piva
Roberto Sartori

ULSS 7 Pedemontana

Sonia Russo

ULSS 8 Berica

Franco Rebesan
Livio Chiementin

ULSS 9 Scaligera

Monica Lorenza Montoli
Linda Chioffi
Mauro Vallenari
Elisa Finco
Pietro Guarda

Serie Rapporti ISTISAN
numero di novembre 2026

Stampato in proprio
Servizio Comunicazione Scientifica – Istituto Superiore di Sanità

Roma, novembre 2026