



Convenzioni tra ISPRA e ARPA, APPA, l'ENEA-INMRI, CRI, ISS nell'ambito della Convenzione del 29.12.2006 MATTM-ISPRA avente per oggetto "Supporto tecnico alla DSA all'elaborazione di linee guida ed indirizzi metodologici", linea di attività "Prevenzione dai rischi dell'esposizione a radiazioni ionizzanti", tematica "Implementazione di un sistema nazionale di monitoraggio della radioattività ambientale"

**Task n 01.02.01.**

**LINEE GUIDA PER LA PIANIFICAZIONE DELLE  
CAMPAGNE DI MISURA DELLA RADIOATTIVITA'  
NELLE ACQUE POTABILI**

Rev. 0		
Soggetti partecipanti	Verifica Coordinatore task (data e firma)	Approvazione (ISPRA) (data e firma)
ARPA Lombardia	27 aprile 2014	
ARPA Emilia Romagna		
ARPA Basilicata		
ARPA Lazio		
ARPA Toscana		
Istituto Superiore Sanità		
Ministero della Salute		

Note

### Revisioni

n.	data	Oggetto modifica

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), le Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA), le Agenzie Provinciali per la Protezione dell'Ambiente (APPA), l'Istituto Superiore di Sanità, il Ministero della Salute e le persone che agiscono per loro conto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute nel presente documento.

## **Autori**

Rosella Rusconi (ARPA Lombardia)  
Maurizio Forte (ARPA Lombardia)  
Daniela Lunesu (ARPA Lombardia)  
Michele Epifani (ARPA Basilicata)  
Cinzia Terzoni (ARPA Emilia Romagna)  
Giorgio Evangelisti (ARPA Lazio)  
Ilaria Peroni (ARPA Toscana)  
Maria Nicoletta Vicenzi (ARPA Toscana)  
Francesco Bochicchio (Istituto Superiore Sanità)  
Alessandro Magliano (Ministero della Salute)

## Indice

1	INTRODUZIONE .....	8
2	LA NORMATIVA SULLE ACQUE POTABILI .....	10
2.1	La Raccomandazione 473/2000/Euratom .....	10
2.2	Il Decreto Legislativo 152/2006 .....	11
2.3	Il Decreto Legislativo 31/2001 (attuazione Direttiva 83/1998).....	11
2.4	La Raccomandazione 2001/928/Euratom .....	12
2.5	Linee Guida per la qualità delle acque potabili dell'Organizzazione Mondiale della Sanità .....	12
2.6	La Direttiva Europea 51/2013 .....	13
3	LA SITUAZIONE IN ITALIA.....	16
3.1	Criteri di campionamento .....	16
3.2	Tipo di approvvigionamento .....	16
3.3	Frequenza dei controlli .....	17
3.4	Radionuclidi monitorati e metodi analitici .....	18
3.5	Risultati delle misure .....	19
3.5.1	Radionuclidi gamma emettitori (spettrometria gamma) .....	19
3.5.2	Attività alfa e beta totale.....	19
3.5.3	Radio 226 e isotopi dell'uranio.....	20
3.5.4	Radon 222.....	20
3.5.5	Trizio .....	21
3.5.6	Stronzio 90.....	21
3.5.7	Considerazioni conclusive .....	22
3.6	Attori del campionamento .....	22
4	PROPOSTE PER LA PROGETTAZIONE DEI PIANI DI MONITORAGGIO.....	23
4.1	Produzione di acqua potabile: schema e definizioni.....	23
4.2	Obiettivi.....	24
4.3	Criteri generali.....	25
4.4	Scelta dei punti di controllo.....	26
4.4.1	Criterio delle "zone di approvvigionamento-monitoraggio" .....	27
4.4.2	Ulteriori criteri per la selezione dei punti di controllo.....	28
4.5	Frequenza dei controlli .....	29
4.6	Punti focali della pianificazione delle campagne e dell'analisi dei dati .....	30
4.7	Schemi esemplificativi di campagne .....	31
4.7.1	Progetto di Piano di Monitoraggio per la Provincia di Matera – Regione Basilicata.....	31
4.7.2	Città di Roma.....	33
4.7.3	L'esperienza della regione Lombardia .....	34
5	METODI DI MISURA E LIVELLI DI RIFERIMENTO .....	41
5.1	Cosa misurare .....	41
5.1.1	Dose indicativa .....	41
5.1.2	Radon e trizio.....	42
5.2	Metodi analitici.....	42
5.2.1	Metodi di misura per alfa totale, beta totale, trizio e radon .....	43
5.2.2	Metodi di misura per le indagini di approfondimento .....	43
5.2.3	Spettrometria gamma.....	44
6	BIBLIOGRAFIA .....	47
	APPENDICE 1 .....	50
	ELENCO DEI PRINCIPALI GESTORI OPERANTI NELLE REGIONI ITALIANE E DELLA POPOLAZIONE SERVITA.....	50

APPENDICE 2 .....	59
ACQUE E RADIOATTIVITA' NATURALE.....	59
La radioattività naturale nelle acque.....	59
Radionuclidi in soluzione ed equilibrio secolare.....	59
Gli isotopi dell'uranio.....	60
Gli isotopi del radio.....	60
Concentrazioni di radionuclidi e dose .....	60
Il radon .....	61

## ACRONIMI

APAT – Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i Servizi tecnici (ora ISPRA)

APPA – Agenzie per la protezione dell’ambiente delle province autonome

ARPA, ARTA – Agenzie regionali per la protezione dell’ambiente

CE – Commissione Europea

CRI – Croce Rossa Italiana

DBRad – Data Base di radioattività ambientale

DSA – Direzione per la Salvaguardia Ambientale

EML – Environmental Measurements Laboratory

EN – Norme Europee

ENEA – Ente per le Nuove Tecnologie, l’Energia e l’Ambiente

EPA – Environmental Protection Agency

INMRI – Istituto di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti

IRSA – Istituto di Ricerca Sulle Acque

CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche

ISO – International Organization for Standardization

ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

ISS – Istituto Superiore di Sanità

MATTM – Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

MIDRad – Modulo Interscambio Dati di Radioattività

NORM – Naturally Occurring Radioactive Materials

RADIA – Sistema di trasferimento e archiviazione dati di radioattività ambientale

REM DB– Radioactivity Environmental Monitoring Data Base della Commissione Europea presso il Joint Research Center di Ispra (VA)

RESORAD – REte nazionale di SORveglianza della RADioattività ambientale

SINA – Sistema Informativo Nazionale Ambientale

UNI – Ente Nazionale Italiano di Unificazione

SSNTD’s - Rivelatori a stato solido di tracce nucleari

## **PREMESSA**

Il Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare-Direzione Generale per le Valutazioni Ambientali (DVA) e l’ISPRA hanno stipulato una Convenzione avente per oggetto il supporto tecnico alla DSA (ora DVA) all’elaborazione di linee guida ed indirizzi metodologici.

La Convenzione include la linea di attività “Prevenzione dai rischi dell’esposizione a radiazioni ionizzanti”, che a sua volta include la tematica “Implementazione di un sistema nazionale di monitoraggio della radioattività ambientale”.

Nell’ambito della tematica sopra citata, attraverso una preventiva consultazione con tutte le Agenzie regionali e provinciali per la protezione ambientale e gli enti qualificati, quali l’Istituto Superiore di Sanità (ISS), l’Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l’energia e lo sviluppo economico sostenibile-Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti (ENEA-INMRI) e la Croce Rossa Italiana (CRI), sono state individuate sedici specifiche attività prioritarie (task).

Per la realizzazione delle task sono state stipulate apposite convenzioni tra l’ISPRA e le ARPA, APPA, l’ENEA-INMRI e la CRI e un accordo con l’ISS. Nell’allegato tecnico alle convenzioni sono state individuate le compagini e i coordinatori delle task.

Il presente documento rappresenta il prodotto della task 01.02.01 “Linee guida per la pianificazione delle campagne di misura della radioattività nelle acque potabili”. Alla realizzazione della task, coordinata da ARPA Lombardia, hanno contribuito ARPA Basilicata, ARPA Emilia Romagna, ARPA Lazio, ARPA Toscana, Istituto Superiore di Sanità e Ministero della Salute.

Complemento necessario ai fini dell’esecuzione delle attività previste da questo documento sono i seguenti due documenti: “Trattamento campioni e metodi di analisi radionuclidi” prodotto della task 01.01.04 che descrive nel dettaglio i metodi analitici per le misure di radioattività nelle acque potabili; “Valutazione della dose alla popolazione” prodotto della task 01.01.06 che descrive la metodologia di calcolo della dose a partire dai dati radiometrici raccolti dalla rete Resorad.

# 1 INTRODUZIONE

L'acqua utilizzata a scopo potabile contiene normalmente sostanze radioattive di origine naturale la cui presenza è dovuta principalmente a fenomeni di erosione delle rocce con cui questa viene a contatto. L'acqua, soprattutto quella di origine sotterranea, viene così arricchita degli elementi costitutivi delle rocce, compresi quelli radioattivi. Le acque di falda sono normalmente protette da immissioni di origine antropica di radionuclidi sia naturali che artificiali; viceversa questi contributi possono interessare le acque superficiali, spesso utilizzate a scopo potabile. I controlli sulle acque sono pertanto finalizzati alla ricerca di sostanze radioattive sia artificiali che naturali.

La regolamentazione nazionale e internazionale attualmente in vigore (DLgs 2001, CE 1998) indica per quanto riguarda le acque ad uso potabile (con l'esclusione delle acque minerali naturali) un valore di parametro per la dose relativa all'ingestione (0,1 mSv/anno) al di sopra del quale prevedere valutazioni di approfondimento radioprotezionistiche, ed uno per la concentrazione di trizio (100 Bq/L). Tale normativa, che è in vigore ormai da più di 10 anni, non contiene tuttavia indicazioni sui criteri pratici da adottare da un punto di vista programmatico ed analitico per garantire l'obiettivo di dose.

Le linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS 2011) contengono, al contrario, delle indicazioni utili per effettuare una stima della Dose Totale Indicativa (DTI) attraverso uno screening preliminare basato sulla misura dell'attività alfa e beta totale; eventuali successivi approfondimenti sono richiesti solo qualora tali parametri risultassero superiori a dei valori prefissati che dovrebbero garantire, sotto ipotesi ragionevoli, il rispetto del limite di dose.

La mancanza di indicazioni sui criteri pratici di esecuzione dei controlli nella normativa nazionale ed europea vigenti è stata recentemente colmata dalla Direttiva 51/13 (CE 2013) che dovrà essere recepita entro novembre 2015, sostituendo in toto sia la precedente Direttiva 98/01 (CE 1998) che il Decreto 31/01 (DLgs 2001). Tale Direttiva esplicita criteri pratici per l'esecuzione dei controlli necessari al soddisfacimento dell'obiettivo di dose di 0,1 mSv/anno e fornisce indicazioni utili anche rispetto ai metodi analitici: riporta infatti le concentrazioni derivate, relative all'obiettivo di dose stabilito, per i più comuni radionuclidi naturali e artificiali come pure le caratteristiche di prestazione, in termini di limite di rivelazione, dei metodi impiegati. Nella Direttiva 51/2013 sono state incluse anche indicazioni relative al Rn-222 ed ai suoi discendenti a vita lunga Pb-210 e Po-210, riprendendo in gran parte le considerazioni già contenute nella Raccomandazione Euratom 928/01 (CE 2001).

Tutte queste regolamentazioni hanno come finalità la tutela della popolazione e la sorveglianza della risorsa idrica a scopo sanitario e demandano agli organismi nazionali l'organizzazione del monitoraggio fissando solo alcuni indirizzi generali. Tuttavia data l'onerosità delle misure radiometriche e, spesso, la grande numerosità delle fonti di approvvigionamento idrico è necessario stabilire dei criteri di pianificazione che garantiscano la rappresentatività del monitoraggio e che siano al tempo stesso sostenibili.

L'ottimizzazione delle risorse è un problema cruciale e il presente lavoro si propone di metterne a fuoco i due aspetti principali:

- le modalità di pianificazione di campagne di misura che portino, attraverso passi successivi, ad una elevata "copertura" della popolazione;
- l'individuazione di una strategia analitica cautelativa e sufficientemente agile da poter essere applicata su vasta scala: saranno pertanto discussi i possibili approcci in relazione alle prestazioni attese e all'onerosità delle procedure.

Per conseguire il primo obiettivo è necessaria una buona conoscenza della risorsa idrica (provenienza, problematiche di tipo geologico ecc.) e delle sue modalità di distribuzione, che possono variare significativamente a livello locale.

Per questo motivo non è possibile stabilire in dettaglio le regole per la pianificazione del monitoraggio, possono tuttavia essere individuati indirizzi generali. Queste linee guida si propongono di analizzare le criticità relative alla pianificazione delle campagne di monitoraggio e, attraverso la discussione di esempi, di individuare possibili soluzioni ritagliate sulle specificità locali.

Un ultimo tema rilevante è la raccolta e la razionalizzazione dei dati esistenti. E' infatti importante e necessario valorizzare le conoscenze preesistenti che assicurano il rispetto degli obiettivi di salubrità dell'acqua, come sottolineato anche dalla nuova Direttiva 51/13. In questi anni in varie regioni italiane sono stati raccolti numerosi dati riguardanti la radioattività nelle acque: un loro riesame può costituire un utile



contributo per la pianificazione delle attività future tenuto conto anche della necessità di ottimizzare l'uso delle risorse economiche, umane e strumentali del sistema nazionale e in particolare di quello agenziale delle ARPA/APPA.

## 2 LA NORMATIVA SULLE ACQUE POTABILI

Nel seguito presentiamo una breve rassegna dei contenuti principali dei riferimenti normativi ad oggi esistenti rispetto al problema della radioattività nelle acque potabili.

Verranno quindi brevemente analizzati i contenuti dei seguenti documenti:

- Raccomandazione 473/2000/Euratom sull'organizzazione delle reti di monitoraggio della radioattività ambientale
- Decreto legislativo 152/2006, testo unico delle norme in materia ambientale
- Decreto legislativo 31/2001 relativo alla qualità delle acque destinate al consumo umano, attuazione della Direttiva 83/1998
- Raccomandazione 928/2001/Euratom relativa al radon nelle acque potabili
- Linee guida OMS sulla qualità delle acque destinate al consumo umano (2011, quarta edizione)
- Direttiva 51/2013/Euratom che tabilisce i requisiti per la tutela della salute della popolazione relativamente alle sostanze radioattive presenti nelle acque destinate al consumo umano e che dal novembre 2015, data entro la quale dovrà essere recepita, sostituirà gran parte dei riferimenti normativi poco sopra richiamati.

### 2.1 La Raccomandazione 473/2000/Euratom

I principi fondamentali che regolano il controllo e lo scambio d'informazioni in materia di radioattività ambientale nell'ambito dei paesi della Comunità Europea sono contenuti negli articoli 35 e 36 del Trattato Euratom del 1957 che stabiliscono l'impegno di ciascuno Stato a svolgere in maniera permanente i relativi controlli ed a comunicarne i risultati alla Comunità su base periodica. La Raccomandazione della Commissione Europea 473/2000/Euratom (CE 2000), relativa all'applicazione dell'articolo 36 del trattato Euratom, riguarda in particolare il controllo del grado di radioattività nell'ambiente allo scopo di determinare l'esposizione dell'insieme della popolazione. La Raccomandazione stabilisce i criteri generali per la realizzazione della struttura della rete di controllo, suddivide il territorio dell'Unione Europea in macroregioni (per l'Italia le macro regioni sono tre, Nord Centro e Sud), definisce le matrici da analizzare, le principali misurazioni da effettuare e le informazioni associate alle misure stesse. Contiene anche alcune indicazioni rispetto ai controlli da effettuare sulle acque potabili oltre a quelli già previsti dalla Direttiva 83/1998 (CE 1998).

La Raccomandazione prevede rispetto alle acque potabili la necessità di effettuare, nell'ambito di ciascuna macroregione, il controllo della radioattività nell'acqua derivata dai bacini di acqua sotterranea e di scorrimento più importanti e dalle principali reti di distribuzione idriche così da garantire una copertura rappresentativa degli Stati membri.

Al fine di assicurare il rispetto di quanto previsto dalla Raccomandazione e coerentemente a quanto contenuto nel documento di revisione delle reti nazionali di sorveglianza della radioattività ambientale (ISPRA 2012) viene proposta la verifica costante e periodica, con frequenza almeno semestrale, delle acque erogate dai principali acquedotti a livello nazionale da selezionare tra quelli che erogano almeno 100000 m<sup>3</sup> d'acqua al giorno (corrispondente indicativamente ad un bacino d'utenza di 500000 abitanti, come indicato nella Direttiva 83/1998).

I parametri oggetto di controllo, i relativi livelli notificabili e le sensibilità analitiche richieste sono riassunti nella seguente tabella.

**Tabella 2.1** – Parametri oggetto di controllo e relativi livelli notificabili secondo la Raccomandazione 473/2000 e le Linee Guida ISPRA (ISPRA 2012)

Parametro	Livello notificabile ex Raccomandazione 473/2000 e/o Linee Guida ISPRA	Sensibilità analitiche richieste dalle Linee Guida ISPRA
Trizio	100 Bq/L	10
Sr-90	0,06 Bq/L	0,01
Cs-137	0,1 Bq/L	0,01

Parametro	Livello notificabile ex Raccomandazione 473/2000 e/o Linee Guida ISPRA	Sensibilità analitiche richieste dalle Linee Guida ISPRA
Attività alfa totale	0,1 Bq/L	0,01
Attività beta totale	1 Bq/L	0,1

E' importante notare che le richieste della Raccomandazione 473/2000 vanno ad aggiungersi alle attività di monitoraggio oggetto di questo documento e che saranno successivamente discusse.

## 2.2 Il Decreto Legislativo 152/2006

Il Decreto legislativo 152/2006 e s.m.i. (DLgs 2006), il cosiddetto T.U.A (Testo Unico Ambientale), detta nella parte terza le norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione, di tutela delle acque dall'inquinamento e di gestione delle risorse idriche.

I controlli della qualità ambientale di acque superficiali e sotterranee sono garantiti attraverso reti di monitoraggio gestite direttamente dalle Agenzie per l'Ambiente che provvedono al campionamento, all'analisi e validazione dei dati ed alle elaborazioni necessarie ai fini della classificazione dello stato di qualità delle acque stesse. Il monitoraggio prevede anche il controllo delle acque dolci superficiali definite "a specifica destinazione" utilizzate o destinate alla produzione di acqua potabile.

Generalmente i controlli previsti dal D.Lgs 152/2006 sono effettuati ai punti di presa ed hanno lo scopo di caratterizzare la qualità della risorsa idrica, i punti di controllo sono quindi selezionati secondo criteri non necessariamente condivisibili ai fini delle verifiche radiometriche.

In questo documento il riferimento al D.Lgs 152/2006 ha lo scopo di segnalare l'opportunità di verificare possibili sinergie e sovrapposizioni tra i controlli previsti dai diversi disposti legislativi, nell'ottica dell'ottimizzazione nell'uso delle risorse disponibili.

## 2.3 Il Decreto Legislativo 31/2001 (attuazione Direttiva 83/1998)

Il decreto legislativo 31/2001 "Attuazione della Direttiva 98/83/CE relativa alle acque destinate al consumo umano" (DLgs 2001) disciplina la qualità delle acque destinate al consumo umano al fine di proteggere la salute umana dagli effetti negativi derivanti dalla contaminazione, garantendone salubrità e pulizia.

I controlli possono essere di due tipi: *controlli interni* (effettuati dal soggetto che fornisce acqua a terzi) e *controlli esterni* (effettuati dall'azienda sanitaria locale territorialmente competente, che eventualmente si può avvalere di ARPA per l'attività analitica).

Il decreto prevede esplicitamente e per la prima volta l'obbligo di verificare la conformità delle acque destinate a consumo umano anche in base al contenuto di sostanze radioattive di origine sia naturale che artificiale. In particolare si prevede il controllo di due parametri, la concentrazione di *trizio* ( $H-3$ ) e la *dose totale indicativa* che dovrebbero rispettare i valori riportati nella tabella 2.2.

**Tabella 2.2** – Valori di parametro stabiliti dal D.Lgs 31/2001 per la radioattività

Parametro	Valore di parametro che deve essere rispettato
Trizio	100 Bq/L
Dose totale indicativa*	0,1 mSv/a

\*: nella quale non va tenuto conto del contributo di trizio, K-40, radon e prodotti di decadimento del radon

Il *trizio* è un radionuclide che può avere origine sia naturale che artificiale. In natura il trizio è prodotto dall'interazione della radiazione cosmica con gli strati alti dell'atmosfera, entra nel ciclo dell'acqua e si trova normalmente nelle acque potabili in concentrazioni dell'ordine di poche unità di Bq/L. Una fonte antropica di trizio è legata all'esercizio di alcuni tipi di strutture di ricerca e di impianti nucleari. In letteratura sono anche riportati casi di inquinamento da trizio in acque di falda nelle vicinanze di discariche di rifiuti solidi urbani nelle quali il trizio si può trovare in manufatti di origine industriale indebitamente smaltiti come rifiuti ordinari (SEC 2010, Tazioli 2011).

La *dose totale indicativa* dipende dalla quantità di radiazione assorbita dal corpo umano a causa dell'ingestione delle sostanze radioattive contenute nell'acqua e si misura in mSv/a. La dose da ingestione non può essere misurata direttamente ma viene stimata moltiplicando i valori di concentrazione di

radioattività presenti nell'acqua per opportuni coefficienti di conversione, che dipendono tra l'altro dal tipo di sostanza radioattiva presente. La valutazione della dose richiederebbe quindi la misura di tutti gli isotopi radioattivi presenti nelle acque, sia naturali che artificiali, con l'esclusione del contributo del trizio, del potassio-40, del radon-222 e dei suoi prodotti di decadimento. Questo metodo d'indagine tuttavia è estremamente oneroso perché presuppone un notevole impegno di tempo e risorse (le quantità di radioattività da ricercare sono molto piccole e richiedono l'utilizzo di tecniche analitiche particolarmente sensibili e diverse tipologie di indagine per la determinazione di specifici radionuclidi) e non è applicabile ad un numero considerevole di campioni. Nel recepire la Direttiva europea il Decreto 31/2001 ne ha recepito purtroppo anche le carenze in termini di indicazioni puntuali sulle modalità di esecuzione dei controlli per i quali non definisce né la frequenza, né i metodi analitici né i criteri per la scelta dei punti di controllo. Tali carenze saranno colmate all'atto del recepimento della nuova Direttiva europea 51/2013 (CE 2013) che entra nel merito delle attività di controllo dovute secondo il dettaglio descritto più avanti.

## 2.4 La Raccomandazione 2001/928/Euratom

Obiettivo della raccomandazione (CE 2001) è la tutela della popolazione contro l'esposizione al gas radon ed ai suoi prodotti di decadimento a vita lunga (piombo 210 e polonio 210) presenti nelle acque potabili. Con questo atto non vincolante si è voluto fornire agli Stati membri un orientamento per la predisposizione di controlli sulle acque potabili per uso domestico provenienti da fonti di approvvigionamento sotterranee (sorgenti e pozzi) che anche in relazione alle caratteristiche geologiche del territorio possono contenere quantità elevate di radioattività.

La raccomandazione sottolinea l'importanza di raccogliere informazioni sulle caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi, sulla presenza di radioattività nelle rocce e nei terreni e sulle tipologie di pozzi esistenti (in particolare quelli scavati in zone con presenza di rocce cristalline) in quanto esiste qualche correlazione tra questi parametri e la presenza di concentrazioni elevate di radon 222 e prodotti di decadimento a vita lunga nelle acque.

La raccomandazione definisce per le concentrazioni di Rn-222, Pb-210 e Po-210 i valori di riferimento riportati in tabella.

**Tabella 2.3** – Valori di riferimento stabiliti dalla Raccomandazione 928/2001

Parametro	Azione		
Rn-222	< 100 Bq/L: Nessuna azione	tra 100 e 1000 Bq/L: Le autorità valutano la necessità di azioni di rimedio	> 1000 Bq/L: Le azioni di rimedio sono necessarie
Pb-210	< 0,2 Bq/L: Nessuna azione	> 0,2 Bq/L: Le autorità valutano la necessità di azioni di rimedio	--
Po-210	< 0,1 Bq/L: Nessuna azione	> 0,1 Bq/L: Le autorità valutano la necessità di azioni di rimedio	--

## 2.5 Linee Guida per la qualità delle acque potabili dell'Organizzazione Mondiale della Sanità

L'obiettivo delle Linee Guida sulla qualità delle Acque potabili dell'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS 2011) è la riduzione del rischio derivante dal consumo di acqua potabile. La valutazione del rischio è effettuata rispetto agli aspetti chimici, microbiologici e radiologici. I livelli di riferimento presi in considerazione possono essere adattati alle singole realtà, tenendo conto delle circostanze e delle condizioni locali.

Per la radioattività è previsto il controllo della dose (l'obiettivo è il medesimo previsto dalla Direttiva 83/1998, vale a dire 0,1 mSv/anno) attraverso la misura dei parametri di screening attività alfa totale e attività beta totale, per i quali sono stabiliti i valori di parametro riportati in tabella 2.4. Le linee guida prevedono anche un valore di riferimento per la concentrazione dell'uranio che è in realtà riportato tra gli inquinanti di natura chimica in quanto la sua tossicità chimica è molto maggiore di quella radiologica. Per completezza anche il valore di parametro stabilito per l'uranio viene riportato nella tabella che segue.

**Tabella 2.4** – Valori di riferimento stabiliti dalle linee guida dell’OMS

Parametro	Valore consigliato
Dose	0,1 mSv/a
Attività alfa totale	0,5 Bq/L
Attività beta totale*	1 Bq/L
Uranio totale	30 µg/L (tossicità chimica)

\* In caso di valori superiori al valore di parametro valutare il contributo del K-40 (beta emettitore), eventualmente procedere alla determinazione del contributo degli altri radionuclidi.

Si evidenziano i seguenti aspetti:

- il valore di riferimento per l’attività alfa totale raccomandato dall’OMS è maggiore di quello definito dalla Direttiva 51/2013: 0,5 Bq/L per l’OMS, 0,1 Bq/L per la Direttiva 51/2013;
- il valore di riferimento per l’attività alfa totale raccomandato dall’OMS garantisce il rispetto del criterio di dose di 0,1 mSv/a se l’attività alfa totale è imputabile, come spesso accade, all’uranio ed al radio 226; tale valore non è invece adeguatamente cautelativo in presenza di Po-210 (in questo caso la concentrazione che corrisponderebbe ad una dose di 0,1 mSv/a è pari a 0,1 Bq/L);
- il valore di riferimento per l’attività alfa totale definito dalla Direttiva 51/2013 è cautelativo qualunque sia il radionuclide presente nell’acqua;
- il valore di riferimento per l’attività beta totale definito sia dall’OMS che dalla Direttiva 51/2013, pari ad 1 Bq/L, non è cautelativo nel caso (peraltro infrequente) che l’attività beta sia dovuta in maniera preponderante al Ra-228 o al Pb-210;
- la tossicità chimica dell’uranio è molto maggiore di quella radiologica: tradotto in termini di concentrazione di attività il valore di riferimento per la tossicità chimica di 30 µg/L corrisponde infatti a 0,37 Bq/L di U-238, pari circa ad 1/10 del valore di riferimento per la tossicità radiologica (3 Bq/L).

## 2.6 La Direttiva Europea 51/2013

La Commissione Europea, attraverso l’emanazione di questa Direttiva sulle acque destinate al consumo umano (CE 2013), si propone di assicurare l’uniformità, la coerenza e il completamento della legislazione che regola la protezione dalle radiazioni superando le indicazioni presenti nella precedente Direttiva 83/1998 (recepita dal D.Lgs. 31/2001). Il termine ultimo per il recepimento della Direttiva 51/2013 è fissato al 28 novembre 2015.

Si rimanda al testo completo della Direttiva per una lettura completa e approfondita; nel seguito riprendiamo solo alcuni concetti importanti.

La Direttiva 51/2013 stabilisce i “valori di parametro” per la dose indicativa DI<sup>1</sup> (con l’esclusione del contributo di H-3, K-40, radon e figli a vita breve, ma inclusi Pb-210 e Po-210 a differenza di quanto già previsto dalla Direttiva 83/1998) e le concentrazioni di radon e di trizio; i valori di parametro definiti dalla Direttiva sono riportati in tabella 2.5. La Direttiva stabilisce anche che la verifica della DI può essere eseguita per mezzo di controlli di screening alfa totale e beta totale, i cui valori di parametro sono riportati anch’essi in tabella 2.5.

**Tabella 2.5** – Valori di parametro per radon, trizio e dose indicativa delle acque destinate al consumo umano (CE 2013)

Parametro	Valore di parametro	Note
Radon	100 Bq/L	Gli Stati membri possono fissare il livello oltre il quale valutare eventuali contromisure ad un valore compreso tra 100 e 1000 Bq/L. Oltre 1000 Bq/L provvedimenti correttivi sono certamente giustificati

<sup>1</sup> Art. 2 comma 3 direttiva 51/2013: “dose indicativa o DI: la dose efficace impegnata per un anno di ingestione risultante da tutti i radionuclidi, di origine naturale e artificiale, la cui presenza è stata rilevata nella fornitura di acque destinate al consumo umano ad eccezione di trizio, potassio-40, radon e prodotti di decadimento del radon a vita breve.” (CE 2013)

Parametro	Valore di parametro	Note
Trizio	100 Bq/L	Se la concentrazione di trizio supera il valore di parametro è necessaria un'analisi della presenza di altri radionuclidi artificiali
Dose indicativa (DI)	0,1 mSv/a	Con l'esclusione del contributo di H-3, K-40, radon e figli a vita breve
Attività alfa totale	0,1 Bq/L	
Attività beta totale	1 Bq/L	In caso di valori superiori al valore di parametro stimare l'attività beta residua attraverso la sottrazione del contributo del K-40 (beta emettitore); se necessario procedere alla determinazione del contributo dei singoli radionuclidi

Ogni Stato membro deve predisporre un programma di controllo delle acque potabili (escluse le acque minerali naturali e le acque medicinali) per verificare che le stesse siano conformi ai requisiti fissati dalla Direttiva.

I metodi di analisi dovrebbero essere tali da garantire risultati attendibili e comparabili.

I controlli dovrebbero di norma essere effettuati nel punto in cui le acque fuoriescono dai rubinetti normalmente utilizzati.

Nell'allegato II alla Direttiva sono definite le strategie e le frequenze di controllo (vedi tabella 2.6), cui è possibile derogare nel caso di radionuclidi naturali: non sussiste infatti l'obbligo di controllare la concentrazione di radon o trizio nelle acque destinate al consumo umano o di stabilire la dose indicativa ove si ritenga, sulla base di indagini rappresentative, dati di monitoraggio o altre informazioni attendibili che i livelli di radon, trizio o la dose indicativa rimarranno al di sotto dei rispettivi valori di parametro.

I controlli sul radon devono essere effettuati solo sulle acque di origine sotterranea e devono essere accompagnati dalla conoscenza delle caratteristiche idrogeologiche, della radioattività delle rocce e del tipo di pozzo.

I controlli sul trizio devono essere effettuati in presenza di una fonte antropogenica di trizio o di altri radionuclidi artificiali nel bacino di captazione.

I controlli sulla dose indicativa devono essere effettuati laddove sia presente una fonte di radioattività artificiale o di radioattività naturale elevata 'enhanced' e non sia possibile dimostrare, sulla base di altri programmi di controllo o di altre indagini, il rispetto del valore di parametro. E' ammesso il ricorso a procedure di screening basate sulla misura dell'attività alfa e beta totale. La frequenza dei controlli può variare da un'unica misurazione (soprattutto per i radionuclidi naturali) alla frequenza indicata nella tabella 2.6. Se l'attività alfa totale e beta totale sono inferiori rispettivamente a 0,1 e 1 Bq/L lo Stato membro può ritenere che la dose indicativa sia inferiore a 0,1 mSv/anno e non esigere un'indagine radiologica sui singoli radionuclidi presenti, a meno che non sia ipotizzabile sulla base di altre fonti di informazione la presenza in quantità significative di Pb-210 o Ra-228 (che contribuiscono all'attività beta totale e la cui concentrazione derivata, corrispondente a una dose di 0,1 mSv/a, è pari a 0,2 Bq/L). Queste informazioni sono riprese nel capitolo 5, tabella 5.3.

Nell'allegato III alla Direttiva sono riportate le concentrazioni derivate di radioattività per i principali radionuclidi naturali e artificiali, valutate con riferimento alla classe d'età degli adulti; nello stesso allegato sono definite anche le caratteristiche di prestazione dei metodi analitici. Si osserva per inciso che i livelli derivati riportati dalla Direttiva sono i medesimi contenuti nel documento Istisan 00/16 "Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption: calculation of derived activity concentrations" (ISS 2000).

**Tabella 2.6** – Frequenza di campionamento e analisi per i controlli delle acque destinate al consumo umano secondo la Direttiva 51/2013

Volume giornaliero distribuito (m <sup>3</sup> /giorno)	Numero di abitanti (200 L pro capite al giorno)	Numero di campioni all'anno
< 100	< 500 ab.	da definire a cura dello Stato membro
> 100; ≤ 1000	> 500 ab.; ≤ 5000 ab.	1
> 1000; ≤ 10000	> 5000 ab.; ≤ 50000 ab.	1 + 1 ogni 3300 m <sup>3</sup> /giorno e frazioni di 3300 del volume erogato
> 10000; ≤ 100000	> 50000 ab.; ≤ 500000 ab.	3 + 1 ogni 10000 m <sup>3</sup> /giorno e frazioni di 1000 del volume erogato
> 100000	> 500000 ab.	10 + 1 ogni 25000 m <sup>3</sup> /giorno e frazioni di 10000 del volume totale

La tabella che segue riporta, a titolo di confronto, i contenuti del decreto 31/2001 e quelli della Direttiva 51/2013.

**Tabella 2.7 – Confronto tra le richieste del D.Lgs 31/2001 e della Direttiva 51/2013**

	<b>D.Lgs. 31/2001 “Attuazione della Direttiva 98/83/CE”</b>	<b>Direttiva 2013/51/CE</b>
<b>Scopo dei controlli</b>	Per quanto riguarda la radioattività, verificare la conformità delle acque in base al contenuto di radionuclidi di origine sia naturale che artificiale assicurando il rispetto dei seguenti valori di parametro:	Verificare la conformità delle acque in base al contenuto di radionuclidi di origine sia naturale che artificiale assicurando il rispetto dei seguenti valori di parametro:
	Trizio 100 Bq/L	Trizio 100 Bq/L
	DTI 0,1 mSv/a (escluso H-3, K-40, radon e prodotti di decadimento)	DI 0,1 mSv/a (escluso H-3, K-40, radon e prodotti di decadimento a vita breve) Alfa totale 0,1 mSv/a Beta totale 1 mSv/a
		Radon 100 Bq/L
<b>Criterio per la scelta dei punti di controllo</b>	Ogni Regione deve dettare i criteri per elaborare programmi di controllo attuati dalle aziende sanitarie locali. Il decreto non fornisce ulteriori indicazioni in merito.	Gli Stati membri adottano tutte le misure necessarie per istituire un appropriato programma di controllo delle acque destinate a consumo umano. E’ possibile ridimensionare i programmi di controllo sulla base di informazioni pregresse.
<b>Parametri analitici e frequenza dei controlli</b>	a. Trizio, se è presente una fonte antropica sul territorio e non si può dimostrare il rispetto del valore di parametro.	a. Trizio, se è presente una fonte antropica sul territorio e non si può dimostrare il rispetto del valore di parametro.
	b. DTI se non si può dimostrare in base ad altri programmi di sorveglianza il rispetto del valore di parametro.	b. DI se è presente una fonte di radioattività artificiale o di radioattività naturale elevata e non si può dimostrare in base ad altri programmi di sorveglianza il rispetto del valore di parametro.
		c. Radon, se in base ai risultati di indagini rappresentative o di altre informazioni attendibili vi sono motivi di temere un superamento del valore di parametro.
		Contiene indicazioni sia sulle concentrazioni derivate dei singoli radionuclidi che sulle prestazioni minime delle tecniche di misura.
	Frequenza dei controlli: non è stabilita	Frequenza dei controlli: gli stati membri stabiliscono la frequenza per effettuare controlli per accertare i livelli di radionuclidi naturali; per accertare i livelli di radionuclidi artificiali è stabilita una frequenza minima di campionamento e analisi che varia rispetto al volume di acqua distribuito o prodotto in una zona di approvvigionamento (vedi tabella 2.6)
<b>Punti di controllo</b>	a. Nel caso di una rete di distribuzione, nel punto in cui le acque fuoriescono dai rubinetti utilizzati per il consumo umano.	a. Nel caso di una rete di distribuzione, nel punto in cui le acque fuoriescono dai rubinetti utilizzati per il consumo umano.
	b. Nel caso di acque fornite da una cisterna, nel punto in cui fuoriescono dalla cisterna.	b. Nel caso di acque fornite da una cisterna, nel punto in cui fuoriescono dalla cisterna.
	c. Nel caso di acque confezionate in bottiglia o in contenitori, nel punto in cui sono imbottigliate o introdotte nei contenitori.	c. Nel caso di acque confezionate in bottiglia o in contenitori, nel punto in cui sono imbottigliate o introdotte nei contenitori.
	d. Nel caso di acque utilizzate nelle imprese alimentari, nel punto in cui sono utilizzate dall’impresa.	d. Nel caso di acque utilizzate nelle imprese alimentari, nel punto in cui sono utilizzate dall’impresa.



### 3 LA SITUAZIONE IN ITALIA

Uno strumento propedeutico alla definizione di una proposta “sostenibile” di monitoraggio continuo della radioattività nelle acque potabili è senza dubbio la conoscenza del quadro attuale della situazione italiana.

A tale scopo a tutti i responsabili dei 22 centri per la radioattività del sistema Agenziale è stato somministrato un questionario al fine di ricavare un quadro il più possibile esaustivo della situazione del monitoraggio acque potabili su tutto il territorio nazionale. Il questionario si componeva di 10 domande e le risposte sono state elaborate per dedurre indicazioni statistiche significative. In sintesi, si è cercato di capire quali sono i criteri seguiti per la definizione della strategia di monitoraggio, la quantità delle misure fatte, la strumentazione utilizzata, i radionuclidi controllati ed i livelli di attività rilevati.

Un dato confortante è che solo in tre ARPA/APPA la rete non è stata attivata, mentre in 13 sono attualmente in corso campagne o monitoraggi sistematici, e in altre 6 sono state effettuate campagne conoscitive nel passato recente. Tuttavia il quadro che emerge dallo studio delle attività svolte è alquanto disomogeneo, in termini quantitativi e di tipologia di analisi effettuata. Alcuni grafici e tabelle aiutano a comprendere più a fondo la situazione.

#### 3.1 Criteri di campionamento

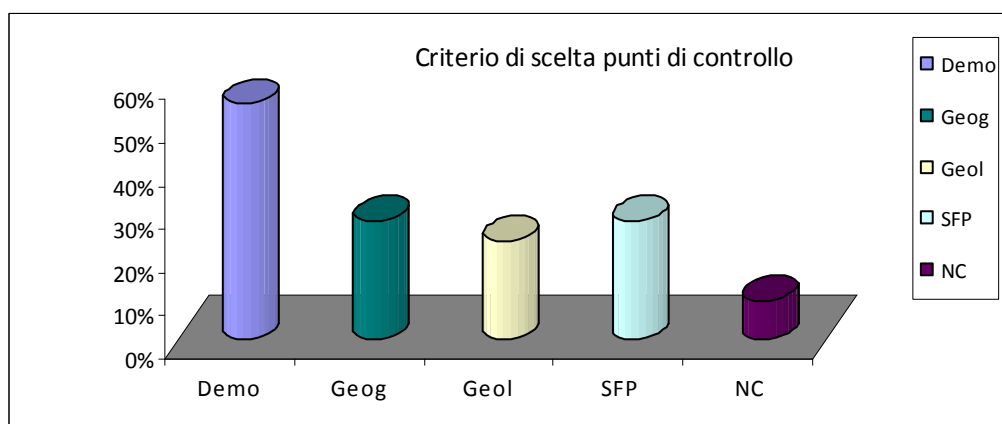
Si sono individuate 4 macro-categorie:

- Demografico: coprire la maggior porzione possibile delle popolazione residente;
- Geografico: coprire la maggior porzione possibile del territorio regionale;
- Geologico: coprire alcune aree che, per peculiarità geologiche, possono comportare un rischio maggiore di livelli elevati di radioattività;
- Specifiche Fonti di Pressione: coprire aree specifiche in cui sono presenti fonti antropiche che aumentano il rischio radiologico anche da NORM (impianti nucleari dismessi, discariche di fosfogessi, aree da bonificare, etc.).

Dall’analisi dei dati emerge che non viene mai utilizzato un unico criterio, ma si realizza una sinergia tra diverse esigenze (criterio misto). Nella seguente figura 3.1 si riporta una sintesi dei criteri guida utilizzati per la definizione della strategia di campionamento. In figura sono riportate le percentuali di utilizzo dei diversi criteri. Nei casi in cui si è adottato un criterio misto si sono contati tutti i criteri utilizzati.

Emerge che il criterio prevalente utilizzato è quello Demografico (60% dei casi). Gli altri criteri sono utilizzati in misura equivalente (30% dei casi).

**Figura 3.1** – Criterio guida per la scelta del campionamento (Demo=Demografico; Geog=Geografico; Geol=Geologico; SFP=Specifiche Fonti di Pressione; NC=non comunicato o non definito)



#### 3.2 Tipo di approvvigionamento

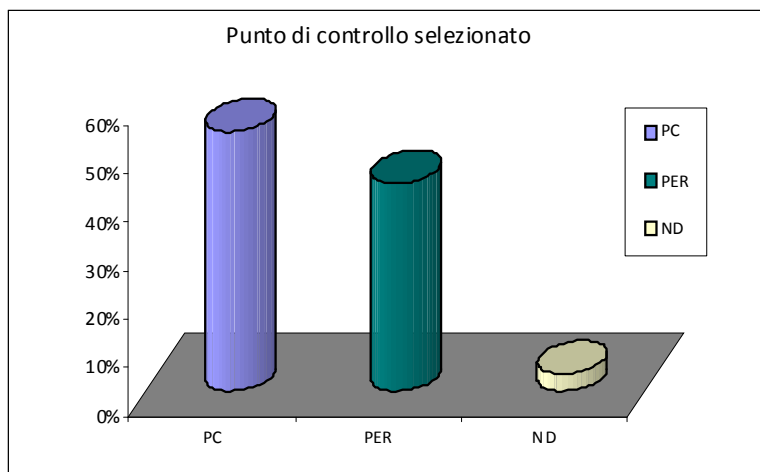
Riguardo al tipo di approvvigionamento si sono raggruppati i dati in due macro-categorie generali:



- prelievo ai punti di presa, intendendo punti di prelievo a monte della potabilizzazione, siano essi acque superficiali, pozzi che prelevano in falde o sorgenti;
- prelievo ai punti di erogazione di rete, intendendo punti di prelievo a valle della potabilizzazione, siano essi serbatoi, fontanini pubblici o rubinetti privati.

Dall'analisi dei dati, riportati nel grafico di figura 3.2, emerge che le due tipologie sono utilizzate in quasi ugual misura (rispettivamente 60% e 50%).

**Figura 3.2** – Tipo di approvvigionamento. Scelta tra punti di presa di varia natura e punti di erogazione di rete (PER= Punti Erogazione di Rete (rubinetti, fontanili, cisterne, etc.); PC=Punti di Captazione (Pozzo Piezometrico, Sorgenti Naturali, Captazione Invasi); ND=non comunicato o non definito)

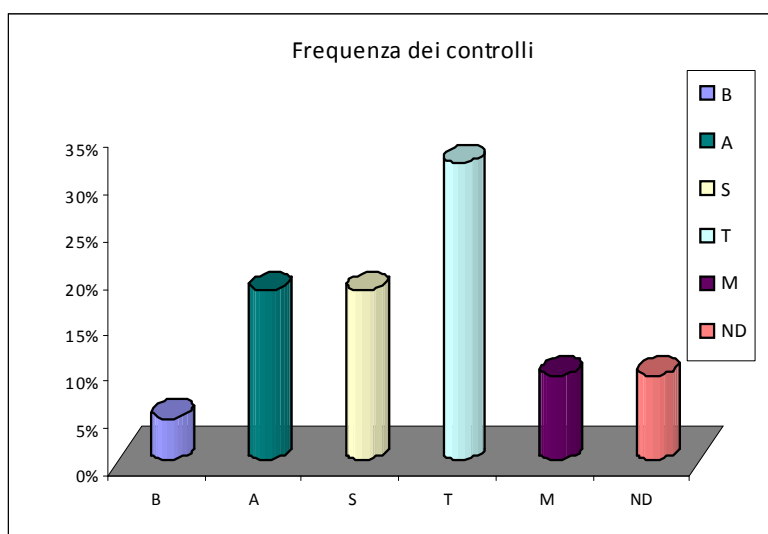


### 3.3 Frequenza dei controlli

Riguardo alla frequenza dei controlli dall'analisi dei dati, riportati nel grafico di figura 3.3, non è emerso un criterio condiviso né uno nettamente prevalente.

Infatti nel 25% dei casi sono state svolte negli anni passati campagne conoscitive per caratterizzare le acque, con una durata limitata, e solo in alcuni casi si è proseguito con un monitoraggio continuo. Nei casi in cui si è fatto (o si fa) un monitoraggio continuo, prevale la frequenza trimestrale (circa il 35%), mentre solo nel 10% dei casi viene effettuato un controllo su base mensile.

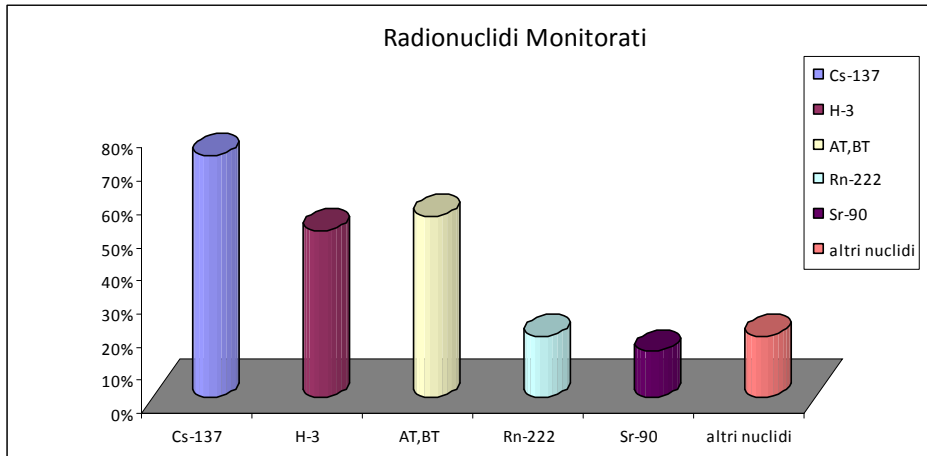
**Figura 3.3** – Frequenza dei controlli. Scelta della frequenza di campionamento per monitoraggio sistematico (B=Biennale; A=Annuale; S=Semestrale; T=Trimestrale; M=Mensile; ND=non disponibile o non comunicato)



### 3.4 Radionuclidi monitorati e metodi analitici

Riguardo ai radionuclidi monitorati dall'analisi dei dati, riportati nel grafico di figura 3.4, emerge l'evidenza che la spettrometria gamma è la tecnica più diffusamente utilizzata. Nel grafico si è riportato l'indicatore "Cs-137" per indicare tutti i nuclidi rivelabili tramite questa tecnica.

**Figura 3.4** – Radionuclidi monitorati e metodologie di analisi (Cs-137: si intendono i radionuclidi rilevabili tramite spettrometria gamma; AT, BT: si intende la determinazione dell'attività alfa e beta totale, esclusi Trizio e Radon; Altri Nuclidi: si intende la determinazione di Ra-226, Po-210, Pb-210, Pu-238, Pu-239/240, U-234, U-235, U-238, U totale)



Altre tecniche risultano essere ampiamente diffuse, per determinare:

- l'attività del Trizio (in 11 regioni)
- l'attività totale alfa e beta (in 12 regioni).

Altri radionuclidi che richiedono procedure di estrazione/selezione radiochimica sono invece determinati in modo sistematico solo in alcune realtà:

- Radon (Rn-222) in 4 regioni
- Stronzio (Sr-90) in 3 regioni
- Ra-226 in 2 regioni
- U-234, U-235, U-238 in 3 regioni, ma solo in 2 in maniera routinaria
- Po-210, Pb-210 in 1 regione
- Pu-238, Pu-239/240 in 1 regione.

Per quanto riguarda la strumentazione, le metodologie di analisi e preparativa, la situazione è sintetizzata nella tabella seguente.

**Tabella 3.1** – Tabella di sintesi dei metodi analitici disponibili presso i laboratori di misura

Parametro analitico	Spettrometria gamma	Spettrometria alfa	LSC	Celle di Lucas	Contatori alfa beta totale	ICP- Massa
Gamma emettitori *	13					
Trizio			10			
Attività Alfa/Beta totale			8		3	
Radon-222			4	2		
Stronzio-90					4	
Radio-226			2			
Isotopi dell'Uranio		1	2			1

Parametro analitico	Spettrometria gamma	Spettrometria alfa	LSC	Celle di Lucas	Contatori alfa beta totale	ICP- Massa
Isotopi del Plutonio		2				
Piombo-210					1	
Polonio-210		1				

\* I metodi di pretrattamento e preconcentrazione utilizzati sono la riduzione a secco e la preconcentrazione su resine a scambio ionico. In 3 casi la misura viene effettuata sul tal quale.

### 3.5 Risultati delle misure

I risultati delle campagne e dei monitoraggi tuttora attivi sono riassunti e brevemente commentati nelle tabelle seguenti. I dati sono riportati in forma anonima; lo stesso numero nelle diverse tabelle non identifica necessariamente la medesima regione.

#### 3.5.1 Radionuclidi gamma emettitori (spettrometria gamma)

Il numero totale di campioni controllati, sia nel corso di campagne che nell'ambito dei piani di monitoraggio periodico, è dell'ordine di diverse centinaia.

La maggior parte delle analisi, che in 6 regioni sono state effettuate previa preconcentrazione dei campioni su resine a scambio ionico, ha restituito valori inferiori al limite di rivelabilità riferito al Cs-137 che, tuttavia, è risultato estremamente variabile: da valori dell'ordine di 0,1 Bq/L (per analisi di campioni tal quale) ad altri dell'ordine di 0,001 Bq/L.

In particolare in 4 regioni i limiti di rivelabilità rispettano sia le richieste delle Linee guida ISPRA (0,01 Bq/L) che quelle della Direttiva 51/2013 (0,5 Bq/L); nelle rimanenti regioni i limiti di rivelabilità rispettano le richieste della Direttiva europea ma non quelle delle Linee Guida ISPRA.

#### 3.5.2 Attività alfa e beta totale

Anche in questo caso il numero totale di campioni è dell'ordine di diverse centinaia, analizzati prevalentemente nell'ambito di campagne di monitoraggio ad hoc. Il numero dei controlli eseguiti routinariamente è molto inferiore.

La distribuzione dei controlli nelle diverse regioni e l'esito degli stessi è riassunto nella tabella seguente.

**Tabella 3.2** – Esito delle misure di attività alfa e beta totale

ID Regione	Campagna (n. prelievi totali)	Monitoraggio (n. prelievi/anno)	Attività alfa totale (Bq/L)	Attività beta totale (Bq/L)
1	0	86	0,02 ÷ 0,08	0,045 ÷ 0,18
2	0	8	< 0,02	0,04 ÷ 0,1
3	100	0	0,05 ÷ 0,13	0,15 ÷ 0,70
4	145	12	0,008 ÷ 0,42	0,025 ÷ 0,27
5	550	0	< 0,2	< 0,8
6	0	40	< 0,2	< 0,4
7	0	28	< 0,1	< 0,8
8	161	12	0,01 ÷ 0,5	0,1 ÷ 0,8
9	175	44	0,01 ÷ 0,45	0,1 ÷ 0,9
10	100	0	0,02 ÷ 0,66	0,1 ÷ 1,0
11	26	0	0,05 ÷ 0,07	0,16 ÷ 0,33

NOTA - Limiti di rivelabilità richiesti:

Attività alfa totale: Direttiva 51/2013: 0,04 Bq/L

Linee Guida ISPRA: 0,01 Bq/L

Attività beta totale: Direttiva 51/2013: 0,4 Bq/L

Linee Guida ISPRA: 0,10 Bq/L

Per quanto riguarda l'attività alfa totale non tutte le misure effettuate hanno limiti di rivelabilità adeguati alle richieste della Direttiva 51/2013 (0,04 Bq/L) e delle Linee Guida ISPRA (0,01 Bq/L). In alcuni casi si

evidenzia anche il superamento del valore di riferimento per l'attività alfa totale di 0,1 Bq/L che dovrebbe dare seguito secondo la nuova Direttiva ad ulteriori approfondimenti.

Anche nel caso dell'attività beta totale non tutte le misure sono state effettuate con limiti di rivelabilità adeguati alle richieste della Direttiva 51/2013 (0,4 Bq/L) e delle Linee Guida ISPRA (0,1 Bq/L). Il livello di riferimento per l'attività beta totale di 1 Bq/L non è mai stato superato mentre è più frequente il superamento del valore di 0,2 Bq/L che darebbe la garanzia di rispetto del criterio di dose anche se il radionuclide presente fosse Ra-228 o Pb-210: anche in questo caso sarebbero quindi necessari ulteriori approfondimenti, a cominciare dalla misura della concentrazione beta residua attraverso la sottrazione del contributo del K-40 (determinabile sia per via spettrometrica che chimica).

### 3.5.3 Radio 226 e isotopi dell'uranio

Solo in pochi casi sono state effettuate misure per la determinazione puntuale delle concentrazioni di Ra-226 ed isotopi dell'uranio. I risultati sono riassunti nelle due tabelle seguenti.

**Tabella 3.3** – Esito delle misure di concentrazione di radio 226

ID Regione	Campagna (n. prelievi totali)	Monitoraggio (n. prelievi/anno)	Ra-226 (Bq/L)
1	Sporadico	sporadico	0,0011 ÷ 0,030
2	Sporadico	sporadico	0,003 ÷ 0,080

NOTA - Limite di rivelabilità richiesto dalla Direttiva 51/2013: 0,04 Bq/L

**Tabella 3.4** – Esito delle misure di concentrazione di uranio

ID Regione	Campagna (n. prelievi totali)	Monitoraggio (n. prelievi/anno)	Uranio (Bq/L)
1	Sporadico	sporadico	0,0027 ÷ 0,42 (U tot)
2	sporadico	sporadico	< 0,050 (U tot)
3	sporadico	sporadico	0,056 ÷ 0,24 (U-234) 0,038 ÷ 0,25 (U-238)

NOTA - Limiti di rivelabilità richiesti dalla Direttiva 51/2013 (sia per U-234 che per U-238): 0,02 Bq/L

L'effettiva definizione di quali siano i radionuclidi maggiormente presenti nelle acque potabili italiane è stata effettuata in pochissime regioni; non si hanno, in particolare, informazioni sufficienti sulle concentrazioni di radio 226 e uranio.

Anche la sensibilità analitica delle misure, sia di uranio che di radio 226, non è sempre adeguata alle richieste della Direttiva europea 51/2013.

### 3.5.4 Radon 222

Sul radon 222 sono state effettuate campagne di misura estese, molte delle quali con prelievi alle fonti prima dell'ingresso dell'acqua negli impianti di potabilizzazione che precedono l'immissione nella rete idrica di distribuzione: per questo motivo molti dei risultati riportati rappresentano verosimilmente una sovrastima delle concentrazioni effettivamente presenti nell'acqua distribuita dalla rete.

I risultati sono riassunti nella tabella seguente.

**Tabella 3.5** – Esito delle misure di concentrazione di radon 222

ID Regione	Campagna (n. prelievi totali)	Monitoraggio (n. prelievi/anno)	Rn-222 (Bq/L)
1	145	12	0,32 ÷ 20
2	1430	0	40 ÷ 400

ID Regione	Campagna (n. prelievi totali)	Monitoraggio (n. prelievi/anno)	Rn-222 (Bq/L)
3	292	0	1 ÷ 584
4	0	28	< 0,6
5	NC	-	1 ÷ 680
6	272	10	0,1 ÷ 174

NOTA - Limiti di rivelabilità richiesti dalla Direttiva 51/2013: 10 Bq/L

In molti casi è evidente il superamento del livello di riferimento di 100 Bq/L, tuttavia vale quanto precedentemente detto rispetto alla effettiva rappresentatività di questi valori rispetto alla qualità dell'acqua distribuita dalle reti idriche a valle dei processi di potabilizzazione.

### 3.5.5 *Trizio*

Le misure di trizio sono state effettuate in molte regioni. I risultati sono riassunti nella tabella seguente.

**Tabella 3.6** – *Esito delle misure di concentrazione di trizio*

ID Regione	Campagna (n. prelievi totali)	Monitoraggio (n. prelievi/anno)	H-3 (Bq/L)
1	0	16	7 ÷ 10
2	0	12	< 10
3	0	86	< 100
4	0	8	< 2
5	66	0	3,3 ÷ 6,4
6	145	12	< 0,045
7	0	40	< 5
8	0	28	7
9	175	44	< 7
10	26	0	< 6 ÷ 11

NOTA - Limiti di rivelabilità richiesti dalla Direttiva 51/2013 e dalle Linee guida ISPRA: 10 Bq/L

In alcuni casi i limiti di rivelabilità non sono adeguati alle richieste della Direttiva 51/2013.

In nessun caso si è osservato il superamento del livello di riferimento di 100 Bq/L per la concentrazione di attività.

### 3.5.6 *Stronzio 90*

Le misure di stronzio 90 sono effettuate in 2 sole regioni; i limiti di rivelabilità sono adeguati, non si è evidenziato alcun superamento del valore di concentrazione derivata.

**Tabella 3.7** – *Esito delle misure di concentrazione di stronzio 90*

ID Regione	Campagna (n. prelievi totali)	Monitoraggio (n. prelievi/anno)	Sr-90 (Bq/L)
1	0	8	0,002 ÷ 0,004
2	0	40	< 0,0005 ÷ 0,008

NOTA - Limiti di rivelabilità richiesti: Direttiva 51/2013: 0,4 Bq/L; Linee Guida ISPRA: 0,01 Bq/L

### **3.5.7 Considerazioni conclusive**

Il monitoraggio dei radionuclidi gamma emettitori, in particolare del cesio 137, ha una diffusione abbastanza capillare e, salvo alcune inadeguatezze dei limiti di rivelabilità che devono essere risolte, non evidenzia criticità particolari. L'uso della spettrometria gamma come tecnica di misura dei radionuclidi naturali può essere migliorato e incrementato anche attraverso l'ottimizzazione delle procedure di pretrattamento e preconcentrazione.

Per quanto riguarda le misure alfa e beta totale le informazioni disponibili sono frammentarie e incomplete, nonostante la strumentazione sia relativamente diffusa; esiste anche un problema di disponibilità delle risorse umane.

Rispetto all'effettiva composizione dell'acqua in termini di quali siano i radionuclidi che contribuiscono all'attività totale (alfa o beta) nella maggior parte delle regioni non è disponibile alcun dato, neppure nei casi in cui l'attività alfa totale supera il livello di riferimento di 0,1 Bq/L: solo in due casi sono stati effettuati approfondimenti per verificare l'effettiva composizione dell'acqua. Ne segue che vi sono situazioni in cui la verifica del rispetto del criterio di dose di 0,1 mSv/a non può prescindere da ulteriori determinazioni radiochimiche, la cui esecuzione richiede però l'esistenza di un laboratorio radiochimico attrezzato di competenze e procedure specifiche che allo stato attuale non è presente nella maggior parte delle regioni. L'ipotesi della creazione di pochi laboratori di riferimento potrebbe offrire una soluzione economicamente sostenibile, ancorché tutta da valutare e attuare.

## **3.6 Attori del campionamento**

Una finalità parallela, ma non meno cruciale, del questionario è stata quella di cercare di individuare possibili sinergie tra le reti di monitoraggio realizzate ai sensi delle diverse normative vigenti, in particolare del decreto 152/1999 e del decreto 31/2001, al fine di ottimizzare il campionamento. Si è verificato che la situazione è molto variabile da regione a regione; nei casi in cui non è l'ARPA il soggetto responsabile del campionamento, si è constatato che non è sempre immediato recuperare il piano di campionamento e ricostruire i criteri alla base della scelta dei punti di controllo.

Una maggiore sinergia e collaborazione tra ASL, gestori e ARPA/APPA consentirebbe di condividere informazioni importanti e cruciali come la dislocazione e la descrizione dei punti di controllo (acquedotto di appartenenza, tipo di approvvigionamento, etc.).

## 4 PROPOSTE PER LA PROGETTAZIONE DEI PIANI DI MONITORAGGIO

Obiettivo di questo capitolo è di fornire una metodologia generale per la progettazione dei piani di monitoraggio della radioattività nelle acque potabili sulla base di criteri e requisiti generali applicabili alla realtà italiana, che, come visto nel capitolo 3, si presenta eterogenea in termini non solo di tipologie di fonti di approvvigionamento, estensione geografica e popolazione regionale, ma anche di competenze e dotazioni strumentali.

Poiché la Direttiva 51/2013 (CE 2013) emanata nel mese di ottobre 2013 andrà a integrare e di fatto sostituire completamente la normativa ad oggi (aprile 2014) in vigore, entro novembre 2015, tutte le valutazioni e le indicazioni di seguito riportate sono state formulate con riferimento ai contenuti della nuova Direttiva anche allo scopo di far sì che i risultati ottenuti possano essere interpretati come quelle “indagini rappresentative”, previste dalla Direttiva (comma 1, allegato II<sup>2</sup>) che possono essere utilizzate ai fini della valutazione del rischio.

La progettazione di un piano di monitoraggio include i seguenti passaggi:

- definizione degli obiettivi del piano;
- definizione dei requisiti, in base agli obiettivi;
- scelta dei criteri per il soddisfacimento dei requisiti.

Partendo dalla definizione degli obiettivi si forniscono criteri utili per la scelta dei punti di controllo e della frequenza dei campionamenti. Infine, a titolo esemplificativo, si sono dati esempi e simulazioni per meglio illustrare criticità e potenzialità della metodologia.

Un imprescindibile pre-requisito per la scelta dei punti di controllo e la redazione dei piani di monitoraggio è rappresentato dal possesso di adeguate informazioni sulle fonti di approvvigionamento (sotterranee o superficiali, caratteristiche idrogeologiche, etc.), sulla presenza di eventuali fonti di pressione, sulla struttura (organizzazione della distribuzione) e l'estensione geografica (fonti di approvvigionamento) degli acquedotti, nonché sul loro bacino di utenza in termini di ubicazione geografica e afferenza amministrativa. Allo scopo di facilitare il reperimento delle informazioni necessarie in appendice è riportato l'elenco dei principali gestori di servizi idrici così come reperibile sul sito web di Federutility, federazione che riunisce le aziende di servizi pubblici locali che operano nei settori Energia Elettrica, Gas e Acqua (<http://www.federutility.it/>); l'elenco dovrebbe essere aggiornato con frequenza annuale, si rimanda al sito web per ogni ulteriore approfondimento.

### 4.1 Produzione di acqua potabile: schema e definizioni

Descriviamo brevemente il processo di produzione di acqua potabile.

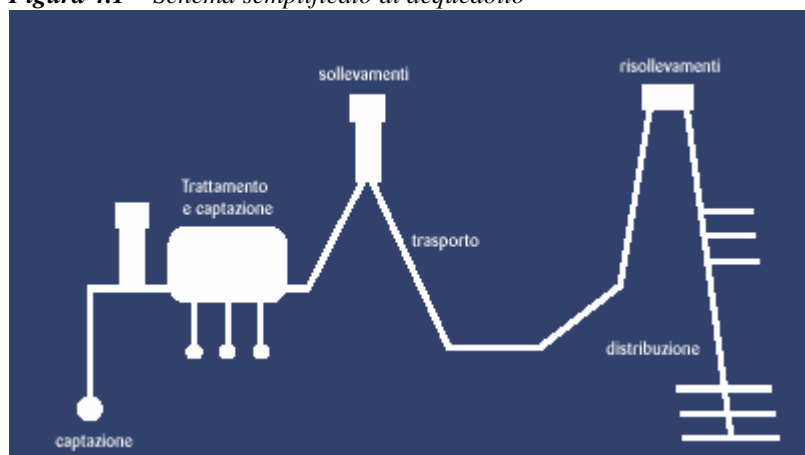
La produzione di acqua potabile prevede essenzialmente 4 fasi: captazione, trattamento, trasporto o trasferimento e distribuzione. In figura 4.1 è riportato uno schema semplificato di acquedotto, seguito dalla descrizione sintetica dei principali termini e definizioni utilizzati in questo contesto.

---

<sup>2</sup> Comma 1, allegato II direttiva 51/2013: “1. Principi generali e frequenza dei controlli. Tutti i parametri per i quali devono essere fissati dei valori di parametro ai sensi dell'articolo 5, paragrafo 1, sono soggetti a controlli. Tuttavia, non è richiesto il controllo di un parametro specifico qualora un'autorità competente possa stabilire che, per un periodo da essa determinato, è improbabile che tale parametro si trovi in un dato approvvigionamento di acque destinate al consumo umano in concentrazioni tali da far prevedere il superamento del valore di parametro corrispondente.

Nel caso di radionuclidi di origine naturale, ove risultati precedenti abbiano dimostrato che la loro concentrazione è stabile, la frequenza è decisa, in deroga ai requisiti minimi di campionamento di cui al punto 6, dallo Stato membro, valutando il rischio per la salute umana. Uno Stato membro non ha l'obbligo di controllare la concentrazione di radon o trizio nelle acque destinate al consumo umano o di stabilire la DI ove ritenga, sulla base di indagini rappresentative, dati di monitoraggio o altre informazioni attendibili che, per un periodo da esso determinato, i livelli di radon, trizio o la DI calcolata rimarranno al di sotto dei rispettivi valori di parametro di cui all'allegato I. In tal caso, lo Stato membro comunica i motivi di tale decisione alla Commissione, cui fornisce la necessaria documentazione a sostegno di tale decisione, compresi i risultati di eventuali indagini, controlli o verifiche effettuati. In tale contesto, non si applicano le disposizioni relative ai requisiti minimi di campionamento e analisi di cui al punto 6 del presente allegato.” (CE 2013)

Figura 4.1 – Schema semplificato di acquedotto



#### Definizioni

**Acquedotto:** Insieme delle opere necessarie alla captazione, trattamento, trasporto, immagazzinamento e distribuzione dell'acqua potabile.

**Fonte di approvvigionamento:** è la riserva da cui viene captata l'acqua, a monte della potabilizzazione. Le fonti si suddividono in sotterranee (falde acquifere, captate attraverso pozzi o sorgenti) e superficiali (corsi d'acqua, bacini naturali e artificiali).

**Opere di presa o captazione:** insieme di strutture e impianti atti a prelevare la risorsa idrica dalle fonti di approvvigionamento per renderla disponibile per le successive fasi del processo di produzione dell'acqua potabile.

**Punto di presa:** rappresenta il punto nell'ambito della fonte di approvvigionamento dove l'acqua viene prelevata.

**Opere di potabilizzazione/trattamento:** insieme di impianti e strutture in cui avviene l'eventuale trattamento di potabilizzazione delle acque captate.

**Rete di adduzione o di trasporto:** insieme delle opere (condutture, pompe, vasche di sollevamento, ecc.) finalizzate al trasferimento o trasporto delle acque captate ed eventualmente trattate, verso la rete di distribuzione all'utenza. La rete di adduzione è spesso anche chiamata "rete di distribuzione esterna" per distinguerla dalla rete di distribuzione verso l'utenza, chiamata anche "rete di distribuzione interna".

**Rete di distribuzione:** insieme delle opere (condutture, pompe, vasche di sollevamento, ecc.) necessarie al trasporto dell'acqua verso i punti di erogazione presso le utenze; in essa scorre l'acqua che è utilizzata dalla popolazione. Tale rete è spesso chiamata anche "rete di distribuzione interna" per distinguerla dalla rete di adduzione, detta anche "rete di distribuzione esterna".

**Centri di distribuzione:** strutture quali centri idrici, torri piezometriche, stazioni di rilancio, in cui possono confluire le acque della rete di adduzione o anche di altre fonti di approvvigionamento (ad esempio pozzi *in loco*), e da cui si diparte la rete di distribuzione interna. Sono costituiti da specifici edifici contenenti impianti e apparecchiature (pompe di sollevamento, vasche di carico, serbatoi di compensazione, ecc.). Ove presenti, essi fungono da snodi per la distribuzione alle utenze e la ripartizione ad altri centri delle acque potabili. Includono i serbatoi urbani.

Possono essere suddivisi in **centri primari e secondari**: i primi distribuiscono acque direttamente provenienti dalla rete di adduzione, mentre i secondi immettono in una rete di distribuzione interna acque provenienti da altri centri di distribuzione. In alcuni casi i centri secondari possono integrare le acque ricevute con ulteriori fonti di approvvigionamento *in loco*.

**Punti di controllo:** insieme dei punti in corrispondenza dei quali è effettuato il campionamento dell'acqua per le analisi di laboratorio atte a verificare la rispondenza dei valori di parametro delle acque.

## 4.2 Obiettivi

Gli obiettivi dei piani di monitoraggio per il controllo della radioattività nelle acque potabili sono i seguenti:

- caratterizzare e conoscere la risorsa "acqua potabile" dal punto di vista radiologico ed individuare criticità locali;



- verificare il rispetto dei valori di parametro previsti per la dose indicativa (DI), il radon ed il trizio per tutta la popolazione residente;
- controllare che il rispetto dei valori di parametro sia verificato nel tempo.

Ne discendono i seguenti requisiti:

- i piani di monitoraggio devono garantire copertura geografica e temporale. In questa ottica ogni regione deve prevedere il controllo dell'acqua erogata da tutte le reti di distribuzione, indipendentemente dalla loro dimensione, valutando caso per caso la necessità di seguirne l'evoluzione temporale;
- i piani di monitoraggio devono garantire la copertura del 100% della popolazione;
- le metodiche di preparazione dei campioni, la strumentazione e le procedure di analisi dei dati devono garantire il raggiungimento di sensibilità appropriate (vedi tabelle 5.2 e 5.3).

### 4.3 Criteri generali

In questo paragrafo si definisce l'insieme dei criteri generali da utilizzare come linea guida per la progettazione dei piani di monitoraggio, che andranno calati nelle diverse realtà.

I piani di monitoraggio non devono, né per lo più possono, ricalcare i piani già esistenti per i controlli di tipo chimico e microbiologico per via delle seguenti considerazioni:

- è ragionevole supporre che le condizioni della rete di distribuzione e degli impianti, a livello locale, non abbiano alcuna influenza sul contenuto di radioattività delle acque;
- le fonti di inquinamento antropico di natura chimica microbiologica sono certamente più numerose e diffuse di quelle radiologiche;
- le misure di tipo radiometrico sono più onerose e complesse e le disponibilità analitiche molto più limitate, ed i potenziali punti di controllo sono estremamente numerosi soprattutto se si considera l'ipotesi di caratterizzare e monitorare tutti i punti di presa (ad esempio in Lombardia sono dell'ordine di 20000, in Basilicata circa 480): il piano proposto deve pertanto, di necessità, tenere conto delle effettive potenzialità analitiche dei laboratori di misura.

Si ritiene quindi che il numero di punti da controllare possa e debba essere notevolmente inferiore, ma in ogni caso dipendente dalla struttura della rete di distribuzione e dalla natura delle fonti di approvvigionamento.

A titolo informativo e per dare qualche indicazione sulla dimensione del problema la tabella 4.1 riporta, per ciascuna regione, il numero totale di comuni ed il numero e la percentuale di comuni in cui risiede il 50% della popolazione

**Tabella 4.1** – Numero totale di comuni per regione, e numero di comuni che coprono il 50% della popolazione

Regione	Popolazione regionale totale	Numero di province	Numero di comuni	Numero di comuni in cui risiede il 50% della popolazione	Percentuale di comuni in cui risiede il 50% della popolazione
Abruzzo	1.307.309	4	305	17	6%
Basilicata	578.036	2	131	15	11%
Calabria	1.959.050	5	409	34	8%
Campania	5.766.810	5	551	36	7%
Emilia R	4.342.135	9	348	23	7%
Friuli VG	1.218.985	4	218	18	8%
Lazio	5.502.886	5	378	2	1%
Liguria	1.570.694	4	235	3	1%
Lombardia	9.704.151	12	1546	119	8%
Marche	1.541.319	5	239	19	8%
Molise	313.660	2	136	10	7%
Piemonte	4.364.135	8	1206	37	3%
Puglia	4.052.566	6	258	28	11%
Sardegna	1.639.362	8	377	23	6%
Sicilia	5.002.904	9	390	27	7%
Toscana	3.672.202	10	287	23	8%
Trentino AA	1.029.256	2	339	24	7%
Umbria	884.268	2	92	6	7%

Regione	Popolazione regionale totale	Numero di province	Numero di comuni	Numero di comuni in cui risiede il 50% della popolazione	Percentuale di comuni in cui risiede il 50% della popolazione
Valle d'Aosta	126.806	1	74	8	11%
Veneto	4.857.210	7	581	74	13%

Le diverse regioni italiane presentano realtà molto differenti tra di loro: si passa dai 74 comuni della Valle d'Aosta ai 1546 della Lombardia, e dai 2 comuni del Lazio in cui risiede il 50% della popolazione ai 119 della Lombardia.

Considerata complessivamente la dimensione del problema si ritiene che i piani possano essere sviluppati su base pluriennale. I piani devono comunque prevedere una pianificazione della percentuale popolazione progressivamente coperta ed una valutazione finale della percentuale raggiunta, a completamento.

Per quanto riguarda gli aspetti tecnici la valutazione puntuale del valore del parametro di dose comporterebbe, in linea di principio, la determinazione di tutti i radionuclidi effettivamente presenti nelle acque. A questo si aggiunga che i livelli di radioattività da ricercare sono molto bassi e di conseguenza anche le sensibilità analitiche sarebbero molto spinte, pertanto nella maggior parte dei casi sarebbe necessario utilizzare metodi di separazione ed estrazione radiochimica particolarmente onerosi in termini di impegno di risorse umane. Viceversa, se l'obiettivo si sposta dalla valutazione puntuale della dose alla verifica del rispetto del non superamento del valore di parametro di 0,1 mSv/a, è possibile adottare l'approccio semplificato ma al tempo stesso conservativo, proposto anche dalla Direttiva 51/2013, nel seguito descritto:

- A) fase conoscitiva o di screening: per tutti i punti di controllo si determinano l'attività alfa e beta totali e le si confrontano con i rispettivi valori di parametro (vedi tabella 2.5), facendo ricorso se necessario alla valutazione dell'attività beta residua;
- B) fase di approfondimento: in caso di superamento di uno o entrambi i livelli, si procede con le misure di approfondimento mediante determinazione dei radionuclidi effettivamente presenti identificati attraverso le conoscenze disponibili.

Considerate quindi le specificità sopra descritte è necessario ottimizzare la progettazione dei piani di monitoraggio in modo da renderli adeguati ai fini del soddisfacimento dei requisiti ed al tempo stesso sostenibili dal punto di vista delle risorse umane e strumentali disponibili nelle diverse realtà.

#### 4.4 Scelta dei punti di controllo

L'insieme dei punti controllo, che costituisce la rete dei punti di controllo, è definito sulla base della sua rappresentatività dell'intero territorio regionale. Esso sarà necessariamente un sottoinsieme dei punti di erogazione di rete disponibili sul territorio. In questo paragrafo si danno le linee guida per la selezione della rete dei punti di controllo.

Essendo interessati a valutare la qualità dell'acqua potabile distribuita alla popolazione si raccomanda di effettuare i prelievi in corrispondenza di punti di erogazione di rete, a valle di qualsiasi possibile miscelazione e trattamento. La scelta di effettuare i controlli in punti antecedenti l'erogazione può essere giustificata da particolari esigenze di approfondimento, ma tali punti non sono necessariamente rappresentativi dell'acqua utilizzata dalla popolazione.

Un indispensabile pre-requisito è la disponibilità di informazioni conoscitive di dettaglio sulla rete di distribuzione e sullo stato delle fonti. A tal fine si dovrà valutare la possibilità di ricavare informazioni utili dai piani di controllo già attivi ai sensi del decreto 31/01 (DLgs 2001), dei decreti 152/2006 (DLgs 2006) e 56/2009 (DLgs 2009), oltre ai piani regionali che implementano la rete RESORAD. In tutti i casi si raccomanda di valutare l'effettiva possibilità di utilizzare i punti di controllo previsti in tali reti in quanto queste ultime sono state progettate per ottemperare ad obiettivi differenti.

Ad esempio:

- punti di controllo possono essere stati selezionati in base al criterio della vulnerabilità rispetto all'inquinamento antropico: ciò può essere adeguato ai fini del controllo della radioattività in prossimità di impianti nucleari, ma non al monitoraggio della radioattività naturale che nella maggior parte dei casi è certamente il problema dominante;
- punti di controllo possono essere ubicati alla captazione e ciò non è adeguato allo scopo di monitorare la qualità dell'acqua erogata alla popolazione, che può essere trattata e miscelata (con possibili conseguenze sia sulla dose che sulla concentrazione di radon) prima della distribuzione.

Nei paragrafi seguenti si forniscono criteri appropriati agli obiettivi da raggiungere.

#### 4.4.1 Criterio delle “zone di approvvigionamento-monitoraggio”

La scelta di un punto di controllo non può prescindere dalla definizione del concetto di “rappresentatività” dello stesso.

Il decreto 31/2001 definisce “zona di approvvigionamento” un’area geografica che è omogenea per origine dell’acqua e tipologia delle fonti di pressione. Una zona di approvvigionamento può quindi essere rappresentata da un unico punto di controllo.

Purtroppo questa definizione non è direttamente traducibile in un approccio operativo, almeno non in tutte le realtà, perché richiede conoscenze dettagliate che il più delle volte non sono disponibili sulla struttura dell’acquifero, l’organizzazione puntuale delle reti di adduzione e distribuzione, le fonti di pressione antropiche nonché conoscenze pregresse circa l’abbondanza di radionuclidi naturali all’interno delle fonti.

Pur continuando ad utilizzare il concetto di “zona di approvvigionamento”, ne diamo quindi una ridefinizione “operativa” basata sulle conoscenze disponibili sull’origine delle acque, sul sistema di approvvigionamento e distribuzione nonché sulle eventuali fonti di pressione:

- una “zona di approvvigionamento” è un’area in cui si può ritenere che un unico punto di controllo sia rappresentativo della qualità media dell’acqua erogata in quella zona. In questa accezione una “zona di approvvigionamento” coincide con una “zona di monitoraggio”, nella quale un unico punto di controllo è rappresentativo del tutto.

Nell’accezione appena riportata un’area che è servita da un unico centro di distribuzione è, in linea di massima, identificabile operativamente come una “zona di approvvigionamento-monitoraggio” ed è rappresentabile da un unico punto di controllo che è pertanto rappresentativo dell’intera area geografica e della popolazione ivi residente che riceve acqua da quel centro di distribuzione.

Ne segue che il primo criterio da seguire nella definizione della rete dei punti di controllo è tentare di suddividere l’area sotto osservazione in “zone di approvvigionamento-monitoraggio”, nell’accezione data sopra, e se tecnicamente possibile prelevare l’acqua direttamente nel centro di distribuzione di riferimento subito prima dell’immissione in rete.

Il concetto di “zona di approvvigionamento-monitoraggio” è di grande aiuto per semplificare la rete di monitoraggio a dispetto di eventuali complessità della rete di distribuzione, non solo nelle grandi città ma anche in situazioni più piccole in cui la medesima rete può servire più comuni tra loro vicini. In alcune situazioni complesse infatti le fonti di approvvigionamento possono essere miste (acque sia superficiali che profonde) e la rete può essere divisa in sottoreti tra loro interconnesse in modo e misura variabile in funzione delle esigenze di gestione. Si illustrano tre casi in cui il concetto di “zona di approvvigionamento-monitoraggio” deve essere applicato:

- nei comuni delle grandi città è possibile che la rete di distribuzione dell’acqua abbia più centri di distribuzione distinti: l’acqua erogata non è necessariamente la stessa in tutte le zone. In questo caso bisogna suddividere anche l’area urbana in “zone di approvvigionamento-monitoraggio” e scegliere un punto di controllo per ogni zona (1 comune = n punti di controllo);
- se più comuni sono serviti dal medesimo centro di distribuzione, si ritiene che un singolo punto di controllo sia rappresentativo dell’acqua erogata a più comuni (n comuni = 1 punto di controllo);
- nei comuni in cui sia presente un unico centro di distribuzione, anche in presenza di diverse diramazioni, è sufficiente scegliere un unico punto di controllo (1 comune = 1 punto di controllo).

Infine se l’acqua erogata deriva dalla miscelazione di acque sotterranee prelevate da pozzi, anche geograficamente distanti, che attingono alla medesima falda, si può ragionevolmente supporre che il contenuto di radioattività sia il medesimo. Allora un unico punto di controllo a valle della miscelazione è rappresentativo dell’intera area approvvigionata con tali acque.

Analogamente riportiamo due casi in cui il concetto di “zona di approvvigionamento-monitoraggio” deve essere applicato con cautela:

- se l’acqua erogata deriva dalla miscelazione di acque sotterranee prelevate da pozzi geograficamente vicini, ma che attingono a falde distinte dal punto di vista idrogeologico, è possibile che le acque in miscelazione siano molto diverse sia per composizione chimica che per contenuto di radioattività. Se le proporzioni di miscelazione delle acque variano nel tempo in funzione del fabbisogno e delle esigenze di gestione anche il contenuto di radioattività dell’acqua erogata dalla rete può essere variabile nel tempo. In questo caso può rendersi necessario il controllo delle acque provenienti dai singoli pozzi, a monte del miscelamento, allo scopo di caratterizzare le acque delle singole fonti di approvvigionamento e valutare,

se possibile, la conformità dei valori di parametro rispetto a quella con il contenuto maggiore di radioattività;

- per acque superficiali è possibile che l'invaso di origine sia suddiviso in più parti (in funzione ad esempio del tempo di ricambio delle acque) che devono essere considerate separatamente. Inoltre nello stesso corpo idrico possono essere presenti più punti di presa, e la posizione degli stessi rispetto ad eventuali immissari (fonti di pressione) può introdurre ulteriori differenze nella qualità dell'acqua prelevata. In entrambi i casi descritti il contenuto di radioattività dell'acqua erogata dalla rete, a valle della miscelazione, può essere variabile nel tempo. Anche in situazioni di questo tipo si deve valutare l'introduzione di più punti di controllo a monte del miscelamento.

Laddove la classificazione del territorio in "zone di approvvigionamento-monitoraggio" fosse pienamente realizzabile la rete dei punti di controllo così scelti andrebbe a soddisfare pienamente i requisiti di copertura geografica e demografica, ed un punto di controllo sarebbe rappresentativo dell'intera zona: pertanto, ove praticabile, questo criterio è da considerarsi prioritario. Una volta definite le zone di approvvigionamento-monitoraggio, si prenderanno in considerazione eventuali estensioni legate a situazioni specifiche di rischio legate ad esempio all'esistenza di specifiche fonti di pressione.

Qualora la definizione delle "zone di approvvigionamento-monitoraggio" fosse parziale o impossibile da realizzarsi, si dovranno applicare obbligatoriamente tutti i criteri generali discussi nel paragrafo seguente.

#### **4.4.2 Ulteriori criteri per la selezione dei punti di controllo**

In questo paragrafo si forniscono indicazioni su ulteriori criteri pratici da seguire per la scelta dei punti di controllo, soprattutto nei casi in cui la classificazione in termini di "zone di approvvigionamento-monitoraggio" non possa essere effettuata sia per mancanza di informazioni dettagliate sulla struttura della rete sia per le complicazioni citate nel paragrafo precedente.

Si sono quindi individuati tre criteri, già applicati nella realtà italiana: *demografico/geografico*, *geologico* e *specifiche fonti di pressione*.

##### ***Criterio demografico-geografico***

In mancanza delle "zone di approvvigionamento-monitoraggio" il piano regionale dei controlli deve comunque prevedere il controllo dell'acqua erogata ad una quota significativa di popolazione e garantire l'omogeneità nella copertura geografica distribuendo in modo omogeneo i controlli tra le diverse province. Il piano deve tendere progressivamente alla copertura di tutta la popolazione e di tutto il territorio regionale.

Si individuano i seguenti criteri di massima:

- inserire nel piano almeno tutti i capoluoghi di provincia;
- individuare almeno un punto di controllo per ogni comune;
- individuare almeno un punto di controllo in ogni area comunale per le quali vi è certezza che l'acqua provenga da acquedotti e/o centri di distribuzione differenti.

##### ***Criterio geologico/specifiche fonti di pressione***

Il piano dei controlli deve essere integrato in presenza di situazioni particolari o di specifiche fonti di pressione. Il grado di applicazione di tali criteri dipende dal livello di conoscenza dell'idrogeologia del territorio e delle fonti antropiche di contaminazione radioattiva. L'elenco seguente non è esaustivo ed ha lo scopo di individuare una casistica generale:

- a) aree, anche limitate geograficamente, i cui livelli di radioattività naturale di fondo, derivati da precedenti campagne o altre fonti conoscitive, sono superiori alla media regionale;
- b) aree con caratteristiche geologiche ed idrogeologiche note e particolari che fanno ragionevolmente supporre abbondanze di radionuclidi naturali superiori alla media regionale;
- c) aree, anche limitate geograficamente, nelle quali si rilevano livelli elevati di concentrazione di radon indoor e per le quali è quindi ragionevole ipotizzare livelli elevati di radon 222 e prodotti di decadimento a vita lunga (piombo 210 e polonio 210) nelle acque;
- d) zone in cui è nota la presenza di attività lavorative che comportano la produzione e/o lo stoccaggio, anche come scarto di lavorazione, di NORM (Naturally Occurring Radionuclide Materials) che possono contaminare le acque utilizzate a scopo potabile. È il caso ad esempio di aree interessate da attività di

estrazione petrolifera, da impianti di produzione o stoccaggio di fertilizzanti e detergenti che utilizzano le fosforiti, da produzione di silicati di zirconio e di piastrelle (ISPRA 2012);

- e) aree circostanti discariche di fosfogessi, anche dismesse;
- f) zone in cui è nota la presenza di una fonte antropica di radioattività artificiale (ad esempio in vicinanza di impianti nucleari o di siti di stoccaggio, di qualunque genere, di materie radioattive) che può contaminare le acque utilizzate a scopo potabile. In particolare nelle aree circostanti impianti nucleari è opportuno valutare la necessità di prevedere punti di controllo specifici per il trizio;
- g) discariche di rifiuti urbani o speciali, soprattutto se vecchie o dismesse da tempo, dalle quali ci si può aspettare contaminazione da radionuclidi artificiale erroneamente o dolosamente smaltiti in tali siti. In questo caso può essere opportuno prevedere il controllo anche delle concentrazioni di trizio.

## 4.5 Frequenza dei controlli

La frequenza dei controlli deve essere tale da garantire che i risultati ottenuti dalle analisi dei campioni prelevati siano rappresentativi della qualità media delle acque monitorate. Quindi la definizione della frequenza di campionamento deve essere preceduta da una preliminare valutazione, anche qualitativa, della variabilità attesa del contenuto di radioattività. Una tale valutazione è necessariamente dipendente dalle situazioni localmente osservate. Considerata l'impossibilità di descrivere tutte le possibili casistiche, si suggeriscono alcuni criteri qualitativi da seguire e che devono fungere da guida alla definizione del piano di monitoraggio:

- se l'acqua erogata alla popolazione proviene da falde sotterranee il contenuto di radioattività dovrebbe essere esclusivamente di origine naturale (tranne che in presenza di specifiche fonti di pressione) e pressoché costante, a meno che non intervengano variazioni significative nella scelta dei punti di presa, nelle quote di miscelazione di acque prelevate da pozzi e falde diversi o nel trattamento delle acque a valle della captazione;
- se l'acqua erogata alla popolazione proviene da corpi idrici superficiali l'eventuale variabilità del contenuto di radioattività è legata alla possibile presenza di fonti di pressione antropiche (immissioni di acque/reflui contaminati); al contrario, non ci si aspettano significative variazioni per la componente naturale;
- eventuali variazioni nella qualità dell'acqua erogata possono intervenire anche (ed in molti casi principalmente) in funzione delle modalità di erogazione: variazioni nella scelta dei punti di presa, variazioni nelle quote di miscelazione di acque prelevate da pozzi e falde diversi, variazioni nella posizione delle prese nel caso di acque superficiali, variazioni nel trattamento delle acque a valle della captazione, etc.

Lo schema temporale di un piano, ed il suo obiettivo, deve essere adattato allo stato conoscitivo esistente al momento della sua definizione. Poiché lo scopo del monitoraggio è controllare sia lo stato delle acque erogate sia la sua evoluzione temporale, distinguiamo tre macro-scenari:

- a) le acque sono già state caratterizzate durante campagne precedenti e non sono emerse criticità: in questo caso l'obiettivo è verificare che situazioni di rischio non subentrino nel tempo. Pertanto non è necessario procedere ad una nuova campagna estensiva ma è sufficiente ripetere le misure qualora vi siano cambiamenti significativi nella struttura della rete di distribuzione o si individuino nuove fonti di pressione antropica. La ripetizione dei controlli dovrà avvenire almeno nei punti potenzialmente interessati dalle modifiche di cui sopra;
- b) le acque sono già state caratterizzate durante campagne precedenti e sono emerse localmente delle criticità: in questo caso l'obiettivo è individuare l'origine della criticità oltre che tenere il fenomeno sotto osservazione. Pertanto una volta individuata la sorgente della contaminazione ed i nuclidi responsabili si ritiene necessario intensificare la frequenza dei controlli fino a che non si sia individuato il tempo scala del fenomeno;
- c) le acque non sono state caratterizzate e non si ha quindi conoscenza del fenomeno: in questo caso l'obiettivo è duplice, caratterizzare le acque ed evidenziare criticità. Pertanto si ritiene necessario procedere ad una campagna estensiva, di durata anche pluriennale, progettata secondo i criteri sopra definiti in tutta l'area sotto indagine. La copertura totale deve essere raggiunta in modo progressivo

selezionando, nelle varie fasi, sottoinsiemi diversi della rete e ripetendo, possibilmente, le misure sia per confermare i risultati sia per escludere variazioni su tempi brevi. Ovviamente, se i risultati delle ripetizioni evidenziassero superamenti dei valori di parametro si renderebbe necessario pianificare ulteriori ripetizioni. Una volta completata la caratterizzazione delle acque in tutta la regione, si applicheranno i criteri dei casi a) e b).

In caso di durata pluriennale si ritiene di dare alcuni principi di priorità nella selezione dei punti di prelievo, nelle diverse fasi:

- 1) prelevare i campioni dai punti di controllo individuati nelle diverse zone di approvvigionamento-monitoraggio (ove definite) o nei diversi comuni dando la priorità a quelli con popolazione maggiore, andando a coprire progressivamente aree meno densamente popolate (il criterio demografico è prevalente su quello geografico);
- 2) prelevare i campioni dai punti di controllo individuati in aree a maggior rischio di contaminazione (artificiale o naturale);
- 3) prelevare i campioni da punti di controllo individuati su acquedotti o sotto-reti che servono aree con meno di 5000 abitanti.

#### 4.6 Punti focali della pianificazione delle campagne e dell'analisi dei dati

La tabella che segue ha lo scopo di presentare schematicamente un possibile approccio funzionale all'organizzazione della campagna ed alla valutazione dei risultati.

<p>Pianificazione delle misure</p>	<p>Quanti comuni ci sono nella tua regione? Verifica nella tabella 4.1 in quanti comuni risiede il 50% della popolazione e compila un elenco. Individua anche le situazioni in cui esistono fonti di pressione specifiche.</p> <p>Quanti acquedotti/gestori servono i comuni di cui sopra? Verifica l'elenco dei gestori (ad esempio quello fornito da Federutility o altro, se disponibile presso l'ARPA/Regione) e cerca di ricostruire l'elenco degli acquedotti (che non coincidono necessariamente con il numero di gestori).</p> <p>Analizza la rete di distribuzione di ogni acquedotto e valuta come scegliere punti di controllo rappresentativi (utilizzando se possibile il criterio delle zone di approvvigionamento-monitoraggio). Effettua i controlli a valle di tutti i trattamenti e di eventuali miscele, al punto di erogazione di rete.</p> <p>Pianifica i controlli inserendo per cominciare la misura dell'attività alfa e beta totale. Se vuoi utilizzare la spettrometria gamma considera attentamente i limiti della tecnica (vedi tabelle 5.4 e 5.5). Inserisci i controlli sul trizio solo se è presente una specifica fonte di pressione (impianti nucleari o altro). Pianifica (se non hai conoscenze preesistenti sui livelli di radon all'erogazione di rete) anche i controlli sul Rn-222 tenendo presente che le modalità di prelievo sono specifiche e particolarmente critiche.</p> <p>Valuta la numerosità dei controlli rispetto alle tue potenzialità analitiche: seleziona le priorità di analisi in base alla demografia (controlla prima l'acqua utilizzata da più persone) e alla criticità della risorsa (controlla prima l'acqua sottoposta a fonti di pressione specifiche).</p>
<p>Valutazione dei risultati</p>	<p>Confronta i risultati delle analisi con i valori di parametro: 0,1 Bq/L per l'alfa totale, 1 Bq/L per il beta totale, 100 Bq/L sia per il Rn-222 che per il trizio. Ricordati che per l'attività beta totale hai la garanzia del rispetto del criterio di dose solo se confronti l'attività beta residua - beta totale meno il contributo del K-40 - con il valore di 0,2 Bq/L (concentrazione derivata per Ra-228 e Pb-210).</p> <p>Se hai osservato superamenti pianifica la ripetizione delle misure di screening e la misura dei singoli radionuclidi cominciando, in assenza di fonti di pressione specifiche, dagli isotopi dell'uranio e del radio.</p> <p>Se le analisi di screening sono state effettuate mediante spettrometria gamma confronta gli esiti con le concentrazioni derivate per gli isotopi dell'uranio e del radio (sempre in assenza di specifiche fonti di pressione). L'analisi gamma non restituisce informazioni utili rispetto a Pb-210 e Po-210 la cui presenza in quantità significative è generalmente limitata (IRSN 2011) ma non si può escludere.</p> <p>Se i superamenti sono confermati per un anno valuta con le autorità competenti la necessità di adottare contromisure.</p>

<p>Approfondimento delle conoscenze e caratterizzazione degli acquiferi</p>	<p>E' importante conoscere l'origine e la natura della risorsa idrica sia per evidenziare eventuali criticità rispetto all'inquinamento antropico che per determinare la composizione radiometrica prevalente rispetto ai radionuclidi naturali.</p> <p>Se le acque sono di origine superficiale avrai una maggiore potenziale esposizione all'inquinamento antropico (inclusi eventuali fallout radioattivi); il contenuto di radon-222 sarà invece presumibilmente trascurabile.</p> <p>Se le acque sono di origine sotterranea la situazione della risorsa idrica può essere molto complessa: considera che possono essere presenti più falde distinte e sovrapposte che dovrebbero essere caratterizzate distintamente, il contenuto di radioattività naturale può essere molto diverso. In caso di miscelazione (che può variare in funzione delle esigenze di gestione) ciò può comportare variazioni nel contenuto di radioattività dell'acqua erogata alla rete.</p> <p>Ricorda che la geologia del territorio non ha legami diretti con la radioattività delle acque (se si esclude, in qualche misura, il radon-222): usa con cautela i dati di questo tipo per identificare zone 'a rischio'. Ricorda però di effettuare, almeno a campione, analisi di Pb-210 e Po-210 almeno nelle acque con elevate concentrazioni di radon-222.</p> <p>Nemmeno le caratteristiche chimiche delle acque sono correlate in modo univoco e generalizzabile al loro contenuto di radioattività.</p> <p>Quando hai ricostruito, almeno in parte, la composizione radiologica delle tue acque (misura dei singoli radionuclidi) analizza i risultati ottenuti per individuare, in modo empirico, aree con acque radiologicamente 'simili'. Utilizza queste informazioni per concentrare i monitoraggi successivi nelle zone più 'a rischio'.</p>
---	---

## 4.7 Schemi esemplificativi di campagne

In questo paragrafo si riportano esempi esplicativi di progettazioni di piani di monitoraggio in alcune realtà regionali.

### 4.7.1 Progetto di Piano di Monitoraggio per la Provincia di Matera – Regione Basilicata

Si riporta un possibile progetto di piano di monitoraggio sviluppato per la provincia di Matera, seguendo le linee guida tracciate nei paragrafi precedenti del presente capitolo.

Al momento non esiste una conoscenza pregressa sul contenuto di radioattività nelle acque potabili in tutto il territorio provinciale, ma solo nell'area circostante l'impianto ITREC del Centro ENEA di Trisaia (Rete Locale RESORAD), che prevede due punti di controllo con prelievo da fontanelle pubbliche. I controlli nell'ambito della rete locale RESORAD obbediscono comunque al criterio delle Specifiche Fonti di Pressione.

#### DATI DI INGRESSO

Il territorio della Provincia di Matera è caratterizzato da una bassa densità di popolazione (circa 200000 ab, densità: 59 ab./km<sup>2</sup>; media nazionale: 200ab./km<sup>2</sup>), una superficie mediamente estesa (3400 km<sup>2</sup>) e 31 comuni, con ampie aree scarsamente abitate. Le risorse idriche utilizzate a scopo potabile derivano con grande prevalenza da invasi superficiali o da fiumi ed in piccola parte da sorgenti. In totale, si contano circa 111 punti di presa.

**Tabella 4.2** - Rete di distribuzione Provincia di Matera e popolazione servita

Acquedotto	Sigla	Tipo di acqua	Abitanti serviti per acquedotto	Consumo giornaliero (m <sup>3</sup> /giorno)	Comuni/Frazioni serviti per acquedotto
Agri	A	Sorgente	1086	217	1
Camastra - Basento	C - B	Impianto	10787	2157	3
Frida - Mancosa	F - M	Sorgente	76688	15338	26
Metapontino	M	Impianto	42442	8488	10
Pertusillo	P	Impianto	21149	4230	7
Pertusillo-Sinni-Frida	P - F - S	Sorgente	10119	2024	1
Pertusillo-Sinni-Sele	P - S	Impianto	59938	11988	3

Acquedotto	Sigla	Tipo di acqua	Abitanti serviti per acquedotto	Consumo giornaliero (m <sup>3</sup> /giorno)	Comuni/Frazioni serviti per acquedotto
TOTALE			222209	44442	51

I dati sulla rete di distribuzione sono stati aggregati per acquedotto, in mancanza di dati dettagliati sui punti di distribuzione. Quindi si sono costruiti due scenari, seguendo due criteri distinti per la scelta del numero di punti di controllo.

#### SCELTA DEI PUNTI DI CONTROLLO – SCENARIO N. 1

Sulla base della conoscenza della rete di distribuzione si sono definite delle zone di approvvigionamento-monitoraggio assumendo che l'acqua erogata da un dato acquedotto sia la stessa in tutte le località da esso servite. Allora, secondo le definizioni date in precedenza, l'insieme delle aree comunali servite da un dato acquedotto è stata identificata con una singola zona di approvvigionamento-monitoraggio, assegnando ad ogni zona un singolo punto di controllo. Ovviamente si tratta di un approccio di prima approssimazione, che si utilizzerà nella fase iniziale conoscitiva. Per tener conto sia della scarsa conoscenza della rete che per dare una copertura geografica/demografica si è considerato un punto di controllo per ogni comune. Si è quindi pervenuti alla seguente tabella 4.3.

**Tabella 4.3** – Zone di approvvigionamento-monitoraggio e numero punti di controllo (scenario n 1)

ID	Acquedotto	Sigla	Tipo di acqua	Abitanti serviti per acquedotto	Comuni/Frazioni serviti per acquedotto	Punti di controllo
1	Agri	A	Sorgente	1086	1	1
2	Camastra - Basento	C – B	Impianto	10787	3	3
3	Frida - Mancosa	F – M	Sorgente	76688	26	26
4	Metapontino	M	Impianto	42442	10	10
5	Pertusillo	P	Impianto	21149	7	7
6	Pertusillo-Sinni-Frida	P - F – S	Sorgente	10119	1	4
7	Pertusillo-Sinni-Sele	P – S	Impianto	59938	3	3
TOTALE				222209	51	51

#### SCELTA DEI PUNTI DI CONTROLLO – SCENARIO N. 2

Considerata la conoscenza parziale della rete di distribuzione, si è preso in considerazione un secondo approccio, applicando il criterio Geografico/demografico, prendendo in considerazione il consumo pro-capite per ogni zona di approvvigionamento-monitoraggio ed applicando ad ogni Zona il criterio previsto dal decreto 31/2001 per i controlli di verifica (vedi tabella 4.4). Quindi, si è calcolato il numero di punti di controllo per ogni zona di approvvigionamento-monitoraggio (vedi tabella 4.5).

**Tabella 4.4** – Criterio per la determinazione del numero di punti di controllo ex decreto 31/2001

Volume giornaliero distribuito (m <sup>3</sup> /giorno)	Numero punti di controllo
> 100; ≤ 1000	1
> 1000; ≤ 10000	1 + 1 ogni 3300 m <sup>3</sup> /giorno e frazioni di 3300 del volume erogato
> 10000; ≤ 100000	3 + 1 ogni 10000 m <sup>3</sup> /giorno e frazioni di 1000 del volume erogato
> 100000	10 + 1 ogni 25000 m <sup>3</sup> /giorno e frazioni di 10000 del volume totale

**Tabella 4.5** – Zone di approvvigionamento-monitoraggio e numero punti di controllo (scenario n 2)

ID	Acquedotto	Sigla	Tipo di acqua	Abitanti serviti per acquedotto	Comuni/Frazioni serviti per acquedotto	Punti di controllo
1	Agri	A	Sorgente	1086	1	1
2	Camastra - Basento	C – B	Impianto	10787	3	4
3	Frida - Mancosa	F – M	Sorgente	76688	26	51



ID	Acquedotto	Sigla	Tipo di acqua	Abitanti serviti per acquedotto	Comuni/Frazioni serviti per acquedotto	Punti di controllo
4	Metapontino	M	Impianto	42442	10	10
5	Pertusillo	P	Impianto	21149	7	7
6	Pertusillo-Sinni-Frida	P - F - S	Sorgente	10119	1	4
7	Pertusillo-Sinni-Sele	P - S	Impianto	59938	3	39
TOTALE				222209	51	116

## STRUMENTAZIONE, METODICA E PARAMETRI MISURATI

Strumentazione: scintillatore liquido a basso fondo Quantulus 1220.

Parametri di Misura: alfa e beta totali al netto di trizio, potassio 40, radon 222.

Metodica: metodo normato UNI 11260/ISO 11704. Il contributo del trizio è eliminato escludendo le basse energie. Il contributo del potassio 40 viene stimato tramite determinazione chimica del potassio totale e calcolo dell'attività tramite rapporto isotopico e attività specifica. Il contributo del radon è eliminato sia tramite procedura sia avviando la misura entro 2 giorni e non prima di 3 ore dalla preparazione.

Prestazioni dello strumento: M.C.R. alfa: 0,09 Bq/L, M.C.R. beta: 0,30 Bq/L, con tempo di conteggio 1800 min, vial PTE 20ml, rapporto: 8:12 (ULTIMA GOLD AB).

**Tabella 4.6** – Scenario n 1 – Numero punti di controllo 51

Durata singola misura (min)	Tempo di utilizzo annuo dello strumento (giorni)	Percentuale di utilizzo annuo dello strumento (%)	Campioni/Settimana	Rapporto LSP/MAR alfa*	Rapporto LSP/MAR beta*	Durata screening (anni)
2100	97	30	2	1,1	0,7	3,1
1360	97	30	2	0,9	0,6	2,0
1000	97	30	3	0,8	0,5	1,5

\* LSP (Livello Screening Preliminare) sono i valori di concentrazione che garantiscono il rispetto della DTI (Tabella 5.1, cap. 5)

**Tabella 4.7** – Scenario n 2 – Numero punti di controllo 116

Durata singola misura (min)	Tempo di utilizzo annuo dello strumento (giorni)	Percentuale di utilizzo annuo dello strumento (%)	Campioni/Settimana	Rapporto LSP/MAR alfa*	Rapporto LSP/MAR beta*	Durata screening (anni)
2100	97	30	2	1,1	0,7	7,0
1360	97	30	2	0,9	0,6	4,5
1000	97	30	3	0,8	0,5	3,3

\* LSP (Livello Screening Preliminare) sono i valori di concentrazione che garantiscono il rispetto della DTI (Tabella 5.1, cap. 5)

## DATI DI USCITA

Popolazione coperta: 100%

Numero zone di approvvigionamento-monitoraggio: 7

Numero comuni coperti: 31 (incluse frazioni: 51 frazioni/località)

Frequenza Annuale: trimestrale (4 prelievi annui per ogni PdC)

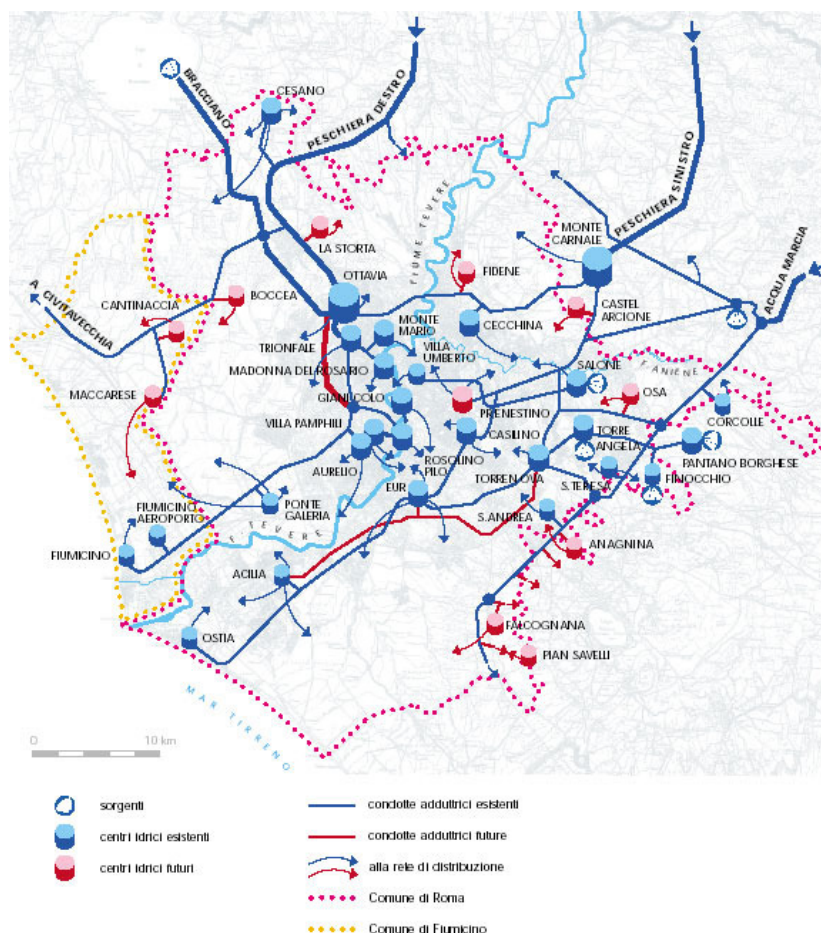
### 4.7.2 Città di Roma

Nelle aree urbane di dimensioni medie o grandi la rete di distribuzione dell'acqua è normalmente articolata in più sottoreti che si originano da altrettanti centri di distribuzione. Si dovranno quindi individuare un numero di punti di controllo pari al numero di centri di distribuzione primari. L'area urbana risulterà quindi suddivisa in sottoreti di distribuzione, tante quante sono i relativi centri (1 Comune = n punti di controllo).

A scopo esemplificativo è riportato il caso della rete di distribuzione di Roma, di cui è riportato in figura 4.2 uno schema semplificato. E' possibile individuare tre centri idrici principali, Ottavia, Monte Carnale e Acqua Marcia: Ottavia risulta alimentato dalle acque provenienti dall'adduttrice del Peschiera-Capore e dal lago di

Bracciano, Monte Carnale solo dalle acque del Peschiera-Capore, mentre Acqua Marcia è alimentato da acque provenienti da altra area di approvvigionamento. A questi tre centri si aggiungono 4 punti (Salone, Torre Angela, Pantano-Borghese, Finocchio) in corrispondenza di integrazioni all'adduzione da parte di pozzi o sorgenti.

*Figura 4.2 – Mappa semplificata della rete di distribuzione della città di Roma*



### 4.7.3 L'esperienza della regione Lombardia

La regione Lombardia è un caso esemplificativo dell'utilizzo combinato dei criteri di pianificazione e valutazione sopra riportati in un caso particolarmente complesso.

#### Premessa

In Lombardia esistono circa 2000 reti acquedottistiche ed un numero totale di prese d'acqua pubbliche pari a 7578, sia sotterranee che superficiali. I comuni lombardi sono 1546, la popolazione complessiva è pari 9.700.000 abitanti, di cui il 50% risiede in 119 comuni.

La Lombardia è costituita da una fascia di pianura, una fascia prealpina, una fascia alpina ed una zona appenninica a sud (Oltrepo Pavese); sono inoltre presenti alcune fonti di acque minerali con un contenuto di radioattività significativo e zone con acque termali con elevate concentrazioni di radon. La Lombardia è anche una delle regioni italiane con le maggiori concentrazioni di radon indoor.

Queste informazioni rendono evidente la complessità della situazione e quanto sia onerosa una mappatura completa ed esaustiva della risorsa idrica.

E' stato perciò necessario pianificare le campagne di indagine adottando un criterio misto: inizialmente è stato effettuato uno screening esteso geograficamente all'intero territorio regionale, limitatamente a circa 30

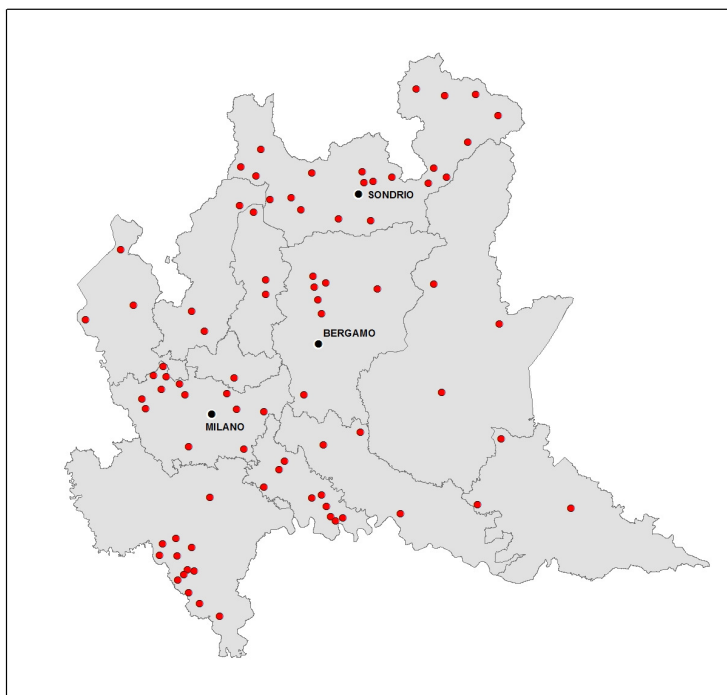
città selezionate tra le più popolose; tale screening è stato seguito da indagini di approfondimento motivate dalla presenza di anomalie emerse nella campagna di screening o legate a fattori geologici e alla elevata densità di abitazione di aree urbane specifiche (Forte 2005b, Forte 2005c, Rusconi 2004).

Le campagne sono state impostate in modo da consentire sia lo screening preliminare basato sulla misura dell'attività alfa e beta totale che i successivi approfondimenti per determinare l'effettiva composizione radiologica delle acque monitorate; questo secondo passaggio è stato fondamentale in quanto ha consentito di appurare che la radioattività misurata è dovuta principalmente agli isotopi dell'uranio, ed è quindi garantito il rispetto del criterio di dose anche nei casi in cui l'attività alfa totale è maggiore di 0,1 Bq/L.

I tempi di attuazione di campagne di monitoraggio della radioattività nelle acque sono lunghi (anche dell'ordine di più anni), e in Lombardia non hanno ancora consentito la copertura di tutta la popolazione: al 2013 sono state effettuate circa 500 determinazioni analitiche per monitorare le acque di 90 comuni (6% dei comuni lombardi) in cui risiede circa il 30% della popolazione. Tuttavia il fatto di avere appurato che la presenza di radioattività è dovuta principalmente all'uranio, e la distribuzione sul territorio delle analisi effettuate, consente di affermare con relativa certezza che è improbabile il superamento del valore di parametro della dose.

La mappa che segue riporta l'indicazione di tutti i comuni in cui sono state effettuate misure di radioattività nelle acque.

**Figura 4.3** – Comuni lombardi in cui sono stati effettuati controlli delle acque potabili



In alcuni di questi sono state condotte indagini mirate (ad esempio a Milano) e quindi il numero totale di misure effettuate è molto maggiore del numero di comuni (vedi tabella 4.8).

**Tabella 4.8** – Tabella di sintesi delle analisi effettuate in Lombardia

Campagna	Parametri analitici	Numero di comuni	Numero di punti di controllo	Numero di analisi	% di popolazione coperta rispetto alla popolazione regionale
Campagna regionale 2003	$\alpha/\beta$ totale uranio radio 226 Trizio	34	35	140	24,9%

Campagna	Parametri analitici	Numero di comuni	Numero di punti di controllo	Numero di analisi	% di popolazione coperta rispetto alla popolazione regionale
Città di Milano 2003	$\alpha/\beta$ totale radon 222	1	31	62	12,8%
Parabiago e comuni limitrofi 2001 - 2003	$\alpha/\beta$ totale uranio radio 226 radon 222	8	20	80	2,0%
Oltrepo Pavese 2003	$\alpha/\beta$ totale uranio radio 226 radon 222 trizio	12	15	75	0,6%
Provincia di Sondrio 2005	$\alpha/\beta$ totale uranio radio 226 trizio	21	29	116	0,9%
Val Brembana (BG) 2007	$\alpha/\beta$ totale uranio radio 226 trizio	7	15	60	0,2%
Centro Pianura – Province di Milano e Lodi 2001	$\alpha/\beta$ totale	14	21	21	15,5%

Nella tabella 4.8 non sono indicate le analisi di routine effettuate nell'ambito della Rete nazionale di monitoraggio della radioattività ambientale, che prevede:

- prelievo in continuo, con analisi su base mensile dei radionuclidi gamma emettitori, delle acque delle città di Milano, Bergamo e Sondrio (analisi ad alta sensibilità su campioni di circa 200 L preconcentrati su resina a scambio ionico);
- analisi mensile del contenuto di attività alfa e beta totale, trizio delle acque della città di Milano;
- analisi trimestrale del contenuto di stronzio 90 delle acque della città di Milano.

Riportiamo di seguito alcuni casi esemplificativi estratti dalle campagne di indagine effettuate nel corso degli anni.

### ***Criterio demografico-geografico***

Utilizzando un criterio demografico-geografico è stata pianificata nel 2003 una campagna regionale che ha coinvolto le 3 città più popolose di ogni capoluogo di provincia, per un totale di 34 comuni sparsi sull'intero territorio regionale (che in senso macroscopico può essere suddiviso in una fascia di pianura, una fascia prealpina ed una fascia alpina). La maggior parte degli approvvigionamenti idrici è da acque profonde, in pochi casi si utilizzano acque di origine superficiale (Forte 2002, Forte 2003, Forte 2007).

E' stata effettuata la misura dell'attività alfa e beta totale e in tutti i casi è stata eseguita anche la determinazione del contenuto di radio 226 e uranio anche allo scopo di caratterizzare il contenuto radiometrico delle acque. Le informazioni principali e gli esiti sono riassunti di seguito.

**Tabella 4.9** – Regione Lombardia – Approccio demografico-geografico

Numero di comuni coinvolti	34 (35 punti di controllo)
Popolazione residente nei 34 comuni e % rispetto alla popolazione lombarda	2.471.000 abitanti - 25 % della popolazione lombarda
Attività alfa totale: Risultati	Alfa totale compreso tra valori inferiori della sensibilità analitica (< 0,008 Bq/L) e 0,186 Bq/L
% di superamenti del valore di parametro	Valori > 0,1 Bq/L nel 14% dei casi
Approfondimenti	Misura delle concentrazioni di uranio e radio-226 in tutti i campioni allo scopo di verificare i casi con alfa totale > 0,1 Bq/L e contemporaneamente caratterizzare le acque dal punto di vista radiologico. Tutta l'attività alfa totale risulta attribuibile all'uranio (e sempre inferiore al livello derivato di 3 Bq/L, che corrisponde al criterio di dose di 0,1 mSv/a nel caso dell'uranio), non vi è radio-226.
Attività beta totale: Risultati	Beta totale compreso tra valori inferiori della sensibilità analitica (< 0,050 Bq/L) e 0,150 Bq/L
% di superamenti del valore di parametro	Valori > 1 Bq/L: nessuno Valori > 0,2 Bq/L (valore che garantisce il rispetto del criterio di dose anche in caso di presenza di Pb-210 e Ra-228, la cui concentrazione derivata è pari a 0,2 Bq/L): nessuno
Approfondimenti	Non necessari
Dose	Il valore massimo di dose (classe d'età adulti) è pari a 0,0072 mSv/a I valori più elevati non sono misurati nelle zone montane (fascia alpina o prealpina) ma nella fascia di pianura. La dose è sempre inferiore a 0,1 mSv/anno (la concentrazione derivata di uranio che corrisponde a 0,1 mSv/a è dell'ordine di 3 Bq/L).

***Criterio delle “zone di approvvigionamento-monitoraggio”***

Nella città di Milano, in relazione alla complessità del sistema di approvvigionamento e distribuzione idrica, è stata effettuata una campagna di approfondimento utilizzando il criterio delle zone di approvvigionamento-monitoraggio identificate con i centri di distribuzione presenti nella città (Rusconi 2004a).

Nella città alla data di esecuzione della campagna (2003) erano attivi circa 550 pozzi (tutta l'acqua è di origine sotterranea e proviene da due falde diverse) e 31 centri di distribuzione, ciascuno dei quali serve in modo prioritario l'area circostante ma che sono tra loro interconnessi e operano in condizioni di sussidiarietà in caso di necessità.

E' stata effettuata la misura dell'attività alfa e beta totale e del radon 222. Le informazioni principali e gli esiti sono riassunti di seguito.

**Tabella 4.10** – Città di Milano – Criterio delle “zone di approvvigionamento-monitoraggio”- centri di distribuzione

Numero di zone di approvvigionamento-monitoraggio/centri di distribuzione	31
Attività alfa totale: Risultati	Alfa totale compreso tra 0,07 Bq/L e 0,3 Bq/L
% di superamenti del valore di parametro	Valori > 0,1 Bq/L nel 48% dei casi
Approfondimenti	E' già nota la composizione radiometrica delle acque utilizzate nella città di Milano, che contengono prevalentemente uranio. Si osserva una notevole variabilità dei valori di radioattività misurati. Non si ritiene necessario nessun approfondimento ulteriore, la dose è certamente sempre inferiore a 0,1 mSv/anno.

Attività beta totale: Risultati	Beta totale compreso tra valori inferiori della sensibilità analitica (< 0,050 Bq/L) e 0,27 Bq/L
% di superamenti del valore di parametro	Valori > 1 Bq/L: nessuno Valori > 0,2 Bq/L (valore che garantisce il rispetto del criterio di dose anche in caso di presenza di Pb-210 e Ra-228, la cui concentrazione derivata è pari a 0,2 Bq/L): 1.
Approfondimenti	Sul campione che ha evidenziato il superamento di 0,2 Bq/L per l'attività beta totale è stata effettuata la stima dell'attività beta residua sottraendo il contributo del K-40 (noto sia dalle analisi chimiche che dalle analisi radiometriche per spettrometria gamma). L'attività beta è risultata completamente attribuibile al K-40; è esclusa la presenza in quantità significative di Pb-210 o Ra-228. La dose è quindi sempre certamente inferiore a 0,1 mSv/a
Dose	Il valore massimo di dose (classe d'età adulti) è pari a 0,01 mSv/a
Radon 222: Risultati	Radon 222 compreso tra 0,3 Bq/L e 13 Bq/L
% di superamenti del valore di parametro	Valori > 100 Bq/L: nessuno

### ***Criterio geologico***

Sono stati effettuati alcuni approfondimenti di indagine in aree con caratteristiche geologiche particolari nelle provincie di Sondrio (area alpina) e Pavia (Oltrepo Pavese). Una ulteriore indagine è stata effettuata in provincia di Bergamo (Val Brembana) in cui sono presenti acque minerali a contenuto elevato di radioattività (Forte 2005d).

Presentiamo nel seguito, a titolo esemplificativo, le principali informazioni relative alle campagne effettuate nella provincia di Sondrio e nel distretto di Parabiago.

In provincia di Sondrio, prevalentemente montagnosa, esiste una notevole varietà litologica (rocce ignee, sedimentarie e metamorfiche) e sono presenti importanti dislocazioni tettoniche di interesse regionale (faglie e fratturazioni); è presente uno dei più importanti giacimenti italiani di pechblenda (UO<sub>2</sub>) ed è nota l'esistenza di acque di sorgente con concentrazioni elevate di radon 222 (Facchini 1993).

E' stata effettuata la misura dell'attività alfa e beta totale, dell'uranio, del radio e del trizio utilizzando come criterio guida le caratteristiche geologiche del territorio. Le informazioni principali e gli esiti sono riassunti di seguito.

**Tabella 4.11** – *Provincia di Sondrio – Criterio geologico*

Numero di comuni/punti di controllo	21 comuni, 29 punti di controllo (tutte acque sotterranee, di cui 24 sorgenti)
Attività alfa totale: Risultati	Alfa totale compreso tra 0,10 Bq/L e 0,4 Bq/L
% di superamenti del valore di parametro	Valori > 0,1 Bq/L nel 17% dei casi
Attività beta totale: Risultati	Beta totale compreso tra valori inferiori della sensibilità analitica (< 0,050 Bq/L) e 0,27 0 Bq/L
% di superamenti del valore di parametro	Valori > 1 Bq/L: nessuno Valori > 0,2 Bq/L (valore che garantisce il rispetto del criterio di dose anche in caso di presenza di Pb-210 e Ra-228, la cui concentrazione derivata è pari a 0,2 Bq/L): 1. E' stata valutata la concentrazione beta residua (sottratto il contributo del K-40) che è risultata inferiore a 0,2 Bq/L.
Uranio: Risultati	Uranio totale compreso tra 0,003 e 0,42 Bq/L (rapporto U-234/U-238 pari a 1)
% di superamenti della concentrazione corrispondente a 0,1 mSv/a	Valori > 3 Bq/L: nessuno



Radio 226: Risultati	2 campioni su 29 con concentrazione superiore alla sensibilità analitica (0,003 Bq/L): concentrazioni misurate pari rispettivamente a 0,009 e 0,021 Bq/L
% di superamenti della concentrazione corrispondente a 0,1 mSv/a	Nessuno
Dose	Il valore massimo di dose (classe d'età adulti) è pari a 0,02 mSv/a
% di superamenti del valore di parametro	Valori > 0,1 mSv/a: nessuno
Trizio: Risultati	Tutti i valori sono inferiori alla sensibilità analitica, pari a 5 Bq/L
% di superamenti del valore di parametro	Valori > 100 Bq/L: nessuno
Commenti	La radioattività nelle acque è ascrivibile in misura preponderante agli isotopi dell'uranio. I valori più elevati sono stati misurati in acque che scaturiscono nei pressi di rocce dolomitiche con caratteristiche geo-litologiche che ne favoriscono una elevata solubilità, pur contenendo quantità di radioattività naturale inferiore a quella delle rocce granitiche. Esiste qualche correlazione tra caratteristiche geologiche e contenuto di radioattività, ma ha carattere locale ed è difficilmente estrapolabile ad altre situazioni

Un ulteriore esempio di applicazione del criterio geologico è illustrato di seguito; a differenza del caso precedente la necessità di applicare questo criterio non è derivata dalla conoscenza a priori dell'esistenza di una situazione geologica peculiare ma dall'analisi dei risultati della prima campagna di screening.

L'esempio è relativo al distretto di Parabiago in provincia di Milano, circa 30 km a nord ovest del capoluogo lombardo (Panzeri 2003, Forte 2004, Forte 2004a). Nella zona sono attivi alcune decine di pozzi che immettono acqua direttamente nella rete di distribuzione, senza che vi sia una miscelazione presso un centro di distribuzione: la miscelazione avviene direttamente nella rete e il contributo di ciascun pozzo varia in funzione delle condizioni di gestione e del fabbisogno. Le prime misure di screening alfa e beta totale avevano evidenziato una notevole variabilità nel tempo del contenuto di radioattività delle acque prelevate presso alcuni punti di rete selezionati. Gli approfondimenti sono stati effettuati prelevando l'acqua direttamente ai pozzi al fine di consentire la comprensione del fenomeno.

E' stata effettuata la misura dell'attività alfa e beta totale, dell'uranio, del radio 226 e del radon 222, oltre ad un set completo di analisi di tipo chimico. Dati chimici e radiometrici sono stati analizzati applicando metodi di analisi statistica avanzati (metodo delle componenti principali). Le informazioni principali e gli esiti sono riassunti di seguito.

**Tabella 4.12** – *Distretto di Parabiago – Criterio geologico*

Numero di punti di controllo/comuni	20, di cui 7 nel comune di Parabiago, i rimanenti in 7 comuni limitrofi. I prelievi sono stati effettuati direttamente ai pozzi, che attingono a 3 falde diverse: – 6 pozzi di prima falda – 5 pozzi di seconda falda – 7 pozzi di terza falda – 2 pozzi di seconda/terza falda (misti)
Attività alfa totale: Risultati	Alfa totale compreso tra 0,016 Bq/L e 0,39 Bq/L
% di superamenti del valore di parametro	Valori > 0,1 Bq/L nel 35% dei casi. In tutti i casi si è verificato che l'attività alfa è pressoché totalmente attribuibile all'uranio.
Attività beta totale: Risultati	Beta totale compreso tra 0,050 Bq/L e 0,19 Bq/L
% di superamenti del valore di parametro	Valori > 1 Bq/L: nessuno Valori > 0,2 Bq/L (valore che garantisce il rispetto del criterio di dose anche in caso di presenza di Pb-210 e Ra-228, la cui concentrazione derivata è pari a 0,2 Bq/L): nessuno

Uranio: Risultati	Uranio totale compreso tra 0,011 e 0,37 Bq/L; rapporto U-234/U-238 variabile tra 1,2 e 2,1
% di superamenti della concentrazione corrispondente a 0,1 mSv/a	Valori > 3 Bq/L: nessuno
Radio 226: Risultati	5 campioni su 20 con concentrazione superiore alla sensibilità analitica (0,003 Bq/L): concentrazione massima misurata pari a 0,030 Bq/L
% di superamenti della concentrazione corrispondente a 0,1 mSv/a	Valori > 0,5 Bq/L: nessuno
Dose	Il valore massimo di dose (classe d'età adulti) è pari a 0,02 mSv/a
% di superamenti del valore di parametro	Valori > 0,1 mSv/a: nessuno
Trizio: Risultati	Tutti i valori sono inferiori alla sensibilità analitica, pari a 10 Bq/L
% di superamenti del valore di parametro	Valori > 100 Bq/L: nessuno
Radon 222: Risultati	Radon 222 compreso tra 5 Bq/L e 20 Bq/L
% di superamenti del valore di parametro	Valori > 100 Bq/L: nessuno
Commenti	<p>Le acque di seconda falda contengono quantità di radioattività (alfa totale) mediamente più elevate delle acque di prima e terza falda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– prima falda: da 0,016 a 0,13 Bq/L</li> <li>– seconda falda: da 0,055 a 0,39 Bq/L</li> <li>– terza falda: da 0,023 a 0,1 Bq/L</li> </ul> <p>Questa differenza, e la miscelazione in misura variabile di acque da falde diverse, spiega la variabilità dei dati che era stata osservata in occasione della ripetizione di alcuni prelievi e misure di acque già precedentemente monitorate (sempre presso lo stesso punto di erogazione di rete). La questione dirimente è comunque il fatto che la radioattività nelle acque è ascrivibile in misura preponderante agli isotopi dell'uranio: anche se il contenuto di radioattività varia ed è spesso &gt; 0,1 Bq/L (alfa totale), il criterio di dose di 0,1 mSv/anno è sempre ampiamente rispettato.</p> <p>L'analisi statistica avanzata (metodo delle componenti principali) non ha evidenziato alcuna correlazione evidente tra qualunque coppia costituita da un parametro radiometrico ed un parametro chimico.</p> <p>Una studio geologico condotto ad hoc ha consentito di formulare l'ipotesi che i valori più elevati misurati nella seconda falda siano dovuti al fatto che questa falda attinge al paleoalveo del Ticino, composto da frammenti di rocce granitiche e gneissiche ricche in elementi radioattivi.</p>



## 5 METODI DI MISURA E LIVELLI DI RIFERIMENTO

### 5.1 Cosa misurare

Lo scopo delle misure è verificare il non superamento dei valori di parametro previsti per dose indicativa (DI), radon e trizio.

Le considerazioni seguenti saranno tutte riferite alle indicazioni tecniche contenute nella nuova Direttiva 51/2013 (CE 2013).

#### 5.1.1 Dose indicativa

La dose indicativa ha come valore di parametro 0,10 mSv/a, da valutare con l'esclusione del contributo di trizio, potassio 40, radon e prodotti di decadimento a vita breve.

La DI non può essere misurata direttamente ma viene stimata moltiplicando i valori di concentrazione di radioattività presenti nell'acqua per opportuni coefficienti di conversione, che dipendono tra l'altro dal tipo di sostanza radioattiva presente; la valutazione della dose richiederebbe quindi la misura di tutti gli isotopi radioattivi di cui è ragionevole ipotizzare la presenza. Questo approccio presuppone un notevole impegno di tempo e risorse e non è applicabile ad un numero elevato di campioni.

In alternativa, è possibile misurare le concentrazioni di attività alfa totale e beta totale che consentono di quantificare, complessivamente, tutte le specie radioattive presenti nell'acqua: questo tipo di indagine prevede l'utilizzo di protocolli di analisi relativamente semplici ed è applicabile ad un numero più elevato di campioni. Sia l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS 2011) che la Direttiva UE (CE 2013) propongono valori di riferimento per l'attività alfa e beta totale ricavati sulla base di valutazioni puntuali espresse nei documenti di origine. I livelli di screening proposti da entrambi i documenti sono riassunti in tabella 5.1.

**Tabella 5.1** – Valori di riferimento per le misure di attività alfa totale e beta totale nelle acque assunti dalle Linee Guida OMS (OMS 2011) e dalla Direttiva 51/2013 (CE 2013)

Parametro	Valore di riferimento Linee Guida OMS	Valore di riferimento Direttiva UE	Valore che garantisce il rispetto della Dose Indicativa
Concentrazione di attività alfa totale	0,5 Bq/L	0,1 Bq/L	0,1 Bq/L
Concentrazione di attività beta totale	1 Bq/L	1 Bq/L	0,2 Bq/L

In questa sede riteniamo utile precisare che il rispetto effettivo del valore di riferimento di 0,1 mSv/a per la DI attraverso la misura dell'attività alfa e beta totale è garantito solo a condizione che:

- l'attività alfa totale sia inferiore a 0,1 Bq/L, concentrazione corrispondente a 0,1 mSv/a anche nell'ipotesi che all'attività alfa totale contribuisca solo il nuclide più radiotossico tra gli alfa emettitori, vale a dire il Po-210;
- l'attività beta totale sia inferiore a 0,2 Bq/L, concentrazione corrispondente a 0,1 mSv/a anche nell'ipotesi che all'attività beta totale contribuiscono solo i nuclidi più radiotossici tra i beta emettitori, vale a dire Ra-228 e/o Pb-210. Ai fini di questa valutazione è necessario ricordare che all'attività beta totale deve essere sottratto il contributo del K-40 che non deve essere considerato ai fini della stima della dose anche se contribuisce spesso in misura dominante all'attività beta totale.

I risultati delle misure di attività alfa totale e beta totale garantiscono quindi il rispetto del valore di parametro per la DI solo se sono singolarmente confrontati con i valori riportati nell'ultima colonna della tabella 5.1. Particolare attenzione deve essere posta nei casi in cui sia la componente alfa che quella beta si avvicinano ai rispettivi valori di riferimento (ultima colonna della tabella 5.1), perché in questo caso può non essere garantito il rispetto del valore di dose di 0,1 mSv/a se i radionuclidi presenti sono Po-210 (alfa emettitore), Pb-210 o Ra-228 (beta emettitori).

---

Nel caso in cui si decida di misurare i singoli radionuclidi presenti nelle acque, il rispetto della DI è garantito se è soddisfatta la formula:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i(\text{obs})}{C_i(\text{ref})} \leq 1$$

dove

$C_i(\text{obs})$  = concentrazione misurata del radionuclide  $i$

$C_i(\text{ref})$  = concentrazione derivata del radionuclide  $i$  (vedi tabella 5.3)

In questo caso i radionuclidi da ricercare devono essere individuati in base a tutte le conoscenze disponibili sull'area oggetto di indagine. L'elenco dei radionuclidi oggetto di indagine potrà essere definito sulla base delle seguenti indicazioni di massima:

- isotopi dell'uranio (principalmente uranio 238 ed uranio 234, in quanto il contributo in termini di attività dell'uranio 235 è normalmente trascurabile), che insieme agli isotopi del radio sono tra i radionuclidi naturali che contribuiscono maggiormente alla radioattività naturale presente in acqua;
- isotopi del radio (radio 226 e radio 228), piombo 210 e polonio 210, per i quali vale la precisazione riportata nel punto precedente e che sono inoltre particolarmente radiotossici;
- isotopi del torio solo in presenza di rocce ad elevata concentrazione di torio 232 in quanto la presenza di questo elemento nelle acque in quantità significative è rara e limitata a casi in cui nel bacino di captazione sono presenti rocce particolarmente attive (Ivanovich 1992);
- radionuclidi artificiali (gamma emettitori, stronzio 90 e isotopi del plutonio), che devono essere ricercati nei casi in cui sulla base delle informazioni disponibili sia realmente ipotizzabile l'esistenza di fonti locali di inquinamento antropico.

La misura dei singoli radionuclidi può essere prevista anche nei casi in cui le misure di attività alfa e beta totale abbiano evidenziato il superamento di uno o entrambi i valori di screening sopra definiti; in questo caso la scelta dei radionuclidi da monitorare sarà valutata sia sulla base della conoscenza della situazione che dei risultati parziali degli approfondimenti previsti (ad esempio se l'attività alfa totale è risultata pari a 0,2 Bq/L e la misura dell'uranio restituisce una concentrazione pari a 0,2 Bq/L, non è necessario andare oltre).

### **5.1.2 Radon e trizio**

Secondo le indicazioni della Direttiva 51/2013 la misura del radon deve essere prevista solo sulle acque sotterranee e in assenza di informazioni preesistenti.

La misura del trizio invece è necessaria nei casi in cui è presente una sorgente antropica di trizio o di altri radionuclidi artificiali all'interno del bacino di captazione.

## **5.2 Metodi analitici**

I metodi analitici da utilizzare per la misura della radioattività nelle acque devono consentire di misurare concentrazioni uguali o inferiori ai limiti di rivelabilità indicati dai documenti di riferimento (CE 2013, ISPRA 2012).

Un criterio di scelta delle metodiche consiste nel grado di complessità e onerosità dell'implementazione delle stesse, tenendo in considerazione la capacità strumentale ed analitica dei laboratori. Può essere utile ricorrere a forme consortili fra le diverse strutture.

In quest'ottica e nella prospettiva di campagne che richiedano un gran numero di misure sono preferibili metodi analitici quali la spettrometria gamma o la misura alfa/beta in scintillazione liquida.

Una recente rassegna di metodi normati a livello nazionale e internazionale per la misura della radioattività è in fase di redazione nell'ambito della stesura del Manuale della Rete Resorad (Task 01.01.04 "Trattamento campioni e metodi di analisi radionuclidi").

### 5.2.1 Metodi di misura per alfa totale, beta totale, trizio e radon

Ad oggi in ambito UNI sono state pubblicate una norma relativa alla misura della attività alfa e beta totale (UNI 2008) ed una norma relativa alla misura del radon 222 (UNI 2008a), entrambi mediante scintillazione liquida. In alternativa alla misura del radon in scintillazione liquida si può usare la metodica della spettrometria gamma purché si utilizzino opportuni contenitori “a tenuta”, che siano in grado di evitare la fuoriuscita del gas.

Da alcuni anni anche nell’ambito della commissione tecnica 147 ISO opera la sottocommissione SC3 col compito di revisionare e pubblicare norme specifiche per la misura della radioattività nelle acque. Le norme già pubblicate riguardano la determinazione della concentrazione di attività di trizio nell’acqua tramite scintillazione liquida (ISO 2010) e la misura dell’attività alfa totale e beta totale col metodo della sorgente spessa (ISO 2007 e ISO 2008), col metodo della sorgente sottile (ISO 2009) e tramite scintillazione liquida (ISO 2010a).

In tabella 5.2 sono riportate le minime attività rilevabili richieste dai documenti di riferimento, insieme alle indicazioni su alcuni metodi analitici utilizzabili.

**Tabella 5.2** – Valori di riferimento e sensibilità analitiche richieste per misure di concentrazione di trizio, attività alfa e beta totale e radon (CE 2013, ISPRA 2012)

Parametro	Valore di riferimento Direttiva UE	Sensibilità analitica richiesta Direttiva UE	Sensibilità analitica richiesta Linee guida ISPRA	Sensibilità analitica tipica delle misure di laboratorio	Quantità di campione analizzato	Metodo analitico
Alfa totale	0,1 Bq/L	0,04 Bq/L	0,01 Bq/L	0,01 Bq/L	1 Bq/L 0,08 L	Sorgente spessa (ISO 9696) Scintillazione liquida (UNI 11260)
Beta totale	1 Bq/L	0,4 Bq/L	0,1 Bq/L	0,08 Bq/L	1 Bq/L 0,08 L	Sorgente spessa (ISO 9697) Scintillazione liquida (UNI 11260)
Radon 222	100 Bq/L	10 Bq/L	n.d.	0,5 Bq/L	0,01 L	Scintillazione liquida (UNI 11261)
Trizio	100 Bq/L	10 Bq/L	10 Bq/L	5 Bq/L	0,008 L	Scintillazione liquida (ISO 9698)

### 5.2.2 Metodi di misura per le indagini di approfondimento

Nel caso di indagini di approfondimento vengono misurati i singoli radionuclidi e il valore di concentrazione che non dovrebbe essere superato è quello cui corrisponde una dose impegnata pari a 0,1 mSv/anno, calcolata nell’ipotesi che il campione d’acqua contenga solo il radioisotopo in oggetto, la classe d’età considerata sia quella degli adulti ed il consumo d’acqua sia pari a 730 L/anno (ISS 2000; Risica 2000). Tali valori sono riassunti nella seconda colonna della tabella 5.3 per alcuni dei principali radionuclidi naturali ed artificiali e sono parzialmente riportati anche dalla Direttiva 51/2013.

Per quanto riguarda il valore di concentrazione di attività riportato per l’uranio 238 si sottolinea che tale valore è stato calcolato tenendo conto solo delle sue proprietà radiologiche e non della tossicità chimica, in considerazione della quale le Linee Guida OMS (WHO, 2011) propongono un valore di riferimento di 30 µg/L (ppb), corrispondente ad una concentrazione di U-238 di 372 mBq/L (molto minore del valore di riferimento relativo alla tossicità radiologica, pari a 3 Bq/L). Pertanto, per quanto riguarda l’uranio, il valore più cautelativo è rappresentato dal limite per la tossicità chimica; il sopra menzionato valore di 30 µg/L si può confrontare direttamente con il risultato ottenuto dalle analisi dell’uranio condotte per via chimica (ad esempio fluorimetria o spettroscopia ICP-AS). Se al contrario l’uranio viene misurato per via radiometrica quantificando l’attività in Bq/L dei singoli

radioisotopi bisogna ricordare che in termini di massa l'uranio naturale è costituito in maniera preponderante da U-238<sup>3</sup>, e che pertanto la verifica del rispetto del valore di 30 µg/L si traduce nella verifica che la concentrazione di U-238 sia inferiore a 372 mBq/L<sup>4</sup>. Si evidenzia anche che, in termini di attività alfa totale, una concentrazione di U-238 di 372 mBq/L si traduce in una attività alfa almeno doppia (almeno 744 mBq/L) a causa del contributo degli isotopi U-234 e U-235, anch'essi alfa emettitori; è anche noto dalla letteratura che l'isotopo U-234 è normalmente presente nelle acque in misura maggiore o uguale a quella dell'U-238<sup>5</sup>.

Il basso valore del limite di rilevabilità richiesto per l'uranio 238 dalla Direttiva 51/2013 e riportato in tabella 5.3 è in effetti calcolato in base alla tossicità chimica dell'elemento. Da un punto di vista strettamente radioprotezionistico potrebbero essere accettabili anche sensibilità analitiche più alte, ma che non sarebbero più sufficienti a soddisfare i requisiti della Direttiva.

**Tabella 5.3** – Valori di riferimento e sensibilità analitiche richieste per la misura dei singoli radionuclidi (CE 2013, ISPRA 2012)

Parametro analitico	Conc. di attività che corrisponde a 0,1 mSv/anno (Bq/L)	Sens. analitica richiesta Direttiva UE (Bq/L)	Sens. analitica richiesta Linee Guida ISPRA (Bq/L)	Sens. analitica tipica delle misure di laboratorio (Bq/L)	Q.tà di campione analizz. (L)	Metodo analitico
U-238	3	0,02	--	0,010 0,002	0,20 1	Spettrometria alfa Scintillazione liquida
U-234	2,8	0,02	--	0,010 0,002	0,20 1	Spettrometria alfa Scintillazione liquida
Ra-226	0,5	0,04	--	0,02 0,02	0,5 0,01	Emanometria Scintillazione liquida
Ra-228 via Ac-228	0,2	0,02	--	0,02	10	Spettrometria gamma
Th-232	0,6	0,06	--	0,001	1,5	Spettrometria alfa
Th-228	1,9	0,2	--	0,001	1,5	Spettrometria alfa
U-238 via Th-234	40	4	--	0,08	10	Spettrometria gamma
Th-230	0,7	0,07	--	0,001	1,5	Spettrometria alfa
Sr-90	4,9	0,4	0,010	0,003 0,15	4 0,1	Conteggio beta totale Scintillazione liquida
Pu-239/ Pu-240	0,6	0,04	--	0,0002	4	Spettrometria alfa
Am-241	0,7	0,06	--	0,01	80	Spettrometria gamma
Co-60	40	0,5	--	0,005	10	Spettrometria gamma
Cs-134	7,2	0,5	--	0,005	10	Spettrometria gamma
Cs-137	11	0,5	0,010	0,005	10	Spettrometria gamma
I-131	6,2	0,5	--	0,005	10	Spettrometria gamma
Pb-210	0,2	0,02	--	0,01 0,01	300 1	Spettrometria gamma-GMX Conteggio beta totale
Po-210	0,1	0,01	--	0,01	0,1	Spettrometria alfa

### 5.2.3 Spettrometria gamma

La spettrometria gamma è un metodo rapido, con una fase di preparativa semplice e di grande diffusione; queste caratteristiche lo rendono estremamente conveniente rispetto ai metodi analitici che prevedono una preparativa complessa e tempi di analisi più lunghi come alcuni metodi che

<sup>3</sup> L'uranio naturale è una miscela di tre radioisotopi (U-234, U-235 e U-238), tutti alfa emettitori, in cui l'U-238 è l'isotopo dominante (abbondanza in moli: 99,2745%), mentre l'U-235 e l'U-234 costituiscono rispettivamente lo 0,72% e lo 0,0054% (abbondanza in moli) della miscela naturale.

<sup>4</sup> Attività specifica dell'U-238: 12,4 mBq per ogni µg di uranio.

<sup>5</sup> Nell'uranio naturale indisturbato si assume che l'U-238 e l'U-234 siano in condizioni di equilibrio radioattivo, e che pertanto la concentrazione di ciascuno di questi due isotopi sia pari a 12,4 mBq per ogni µg di uranio (U-234/U-238 = 1). Tuttavia nelle acque è comune riscontrare un valore superiore ad 1 per il rapporto U-234/U-238; questo fatto è legato al meccanismo di erosione delle rocce ed alla maggior instabilità da un punto di vista cristallografico dell'isotopo U-234 in seguito ai decadimenti alfa che lo originano (fenomeno del rinculo). La quantità di U-235 presente, invece, rispetta normalmente il valore del rapporto isotopico naturale (rapporto delle attività U-235/U-238 = 0,045) e la sua attività specifica è pari a 0,56 mBq per ogni µg di uranio.

utilizzano la tecnica di scintillazione liquida o i metodi della sorgente spessa o sottile. In questo paragrafo si mostrerà come, anche con la spettrometria gamma, per alcuni radionuclidi si possono ottenere valori di sensibilità analitica adeguati a soddisfare le richieste della Direttiva 51/2013.

### **Misure di campioni tal quale**

In tabella 5.4 sono presentati i risultati delle misure di campioni di acqua tal quale nelle seguenti condizioni: tempo di analisi 18 h, geometria di misura Marinelli da 1 L, rivelatore HPGe con efficienza relativa dell'ordine del 30%. Si osserva che la misura di campioni tal quale è adeguata a soddisfare i requisiti della Direttiva 51/2013 esclusivamente per i radionuclidi di origine artificiale, con l'eccezione dell'Am-241 (per il quale comunque si può misurare la concentrazione di attività corrispondente al vincolo di dose di 0,1 mSv/a); per la misura dei radionuclidi di origine naturale è necessario ricorrere a tecniche di preconcentrazione dei campioni.

Nella tabella è stata inserita anche la sensibilità analitica per la misura del K-40 (che può essere misurato anche per via chimica) che è escluso dal campo di applicazione della Direttiva 51/2013 ma la cui conoscenza è necessaria per potere effettuare, se necessario, il calcolo dell'attività beta residua.

**Tabella 5.4** – Spettrometria gamma – Radionuclidi naturali e artificiali - Sensibilità analitica per misure di campioni tal quale, volume 1 L. Durata misure 18 ore.

Parametro analitico	Concentrazione di attività corrispondente a 0,1 mSv/anno (Bq/L)	Sensibilità analitica richiesta Direttiva UE (Bq/L)	Sensibilità analitica tipica delle misure di laboratorio (Bq/L)	Giudizio
U-238 via Th-234	3	0,02	5	NON ADEGUATO
Ra-226 via Pb-214 e Bi-214 *	0,5	0,04	0,2	NON ADEGUATO
Ra-228 via Ac-228	0,2	0,02	0,4	NON ADEGUATO
Pb-210	0,2	0,02	10	NON ADEGUATO
Am-241	0,7	0,06	0,5	NON ADEGUATO
Co-60	40	0,5	0,1	ADEGUATO
Cs-134	7,2	0,5	0,1	ADEGUATO
Cs-137	11	0,5	0,1	ADEGUATO
I-131	6,2	0,5	0,1	ADEGUATO
K-40	n.a.	n.a.	2,5	n.a.

\* 20 giorni di attesa per l'equilibrio in contenitore a tenuta di Rn-222

### **Misure di campioni preconcentrati**

In tabella 5.5 sono presentati alcuni risultati in condizioni in cui sono state ottimizzate le condizioni di misura rispetto al volume di campione da pretrattare ed alla durata delle misure, in funzione della sensibilità analitica desiderabile. La tecnica di preconcentrazione utilizzata è quella della percolazione attraverso una colonna di resina a scambio ionico a letto misto, con riduzione ad un volume finale di 1 L (80 L) o 2 L (300 L) in beaker di Marinelli.

I valori indicativi delle sensibilità analitiche sono relativi ad un rivelatore HPGe con efficienza relativa dell'ordine del 30% e tempo di misura pari a 18 h; soltanto il valore della sensibilità analitica per il Pb-210 è riferito ad una misura con rivelatore GMX con efficienza relativa dell'ordine del 30% e tempo di misura circa 48 h.

**Tabella 5.5 – Spettrometria gamma – Radionuclidi naturali e artificiali - Sensibilità analitica per misure di campioni preconcentrati. Durata misure 18 ore.**

Parametro analitico	Concentrazione di attività corrispondente a 0,1 mSv/anno (Bq/L)	M.A.R. richiesta (Bq/L)	Quantità di campione analizzato (L)	Minima Attività Rivelabile (valore indicativo) (Bq/L)	Giudizio
U-238 via Th-234	3	0,02	80	0,03	ADEGUATO *
Ra-226 via Pb-214 e Bi-214 **	0,5	0,04	80	0,002	ADEGUATO
Ra-228 via Ac-228	0,2	0,02	80	0,004	ADEGUATO
Pb-210 ***	0,2	0,02	300	0,01	ADEGUATO
Am-241 ****	0,7	0,06	80	0,01	ADEGUATO
Co-60 ****	40	0,5	80	0,001	ADEGUATO
Cs-134 ****	7,2	0,5	80	0,001	ADEGUATO
Cs-137 ****	11	0,5	80	0,001	ADEGUATO
I-131 ****	6,2	0,5	80	0,001	ADEGUATO
K-40	n.a.	n.a.	80	0,03	n.a.

\* La sensibilità analitica per la misura dell'U-238 è ritenuta adeguata considerando che si tratta di un valore indicativo. L'ordine di grandezza è soddisfacente, l'effettiva adeguatezza delle condizioni di misura deve essere verificata in ogni laboratorio. E' comunque possibile aumentare il volume di campione da preconcentrare.

\*\* 20 giorni di attesa per l'equilibrio in contenitore a tenuta di Rn-222.

\*\*\* Dato riferito ad una misura con rivelatore GMX con efficienza relativa dell'ordine del 30% e tempo di misura circa 48 h.

\*\*\*\* Riportiamo indicativamente il valore della sensibilità analitica per i radionuclidi artificiali nelle condizioni di misura ottimali per i radionuclidi di origine naturale.

Si sottolinea che anche volumi inferiori a 80 L (ad es. 5 L misurati, dopo miscelazione con resina ed essiccazione per lenta evaporazione, in geometria da 10 cm<sup>3</sup>) possono dare risultati soddisfacenti per gli isotopi del radio (sensibilità analitica pari a 0,02 Bq/L).

---

## 6 BIBLIOGRAFIA

- CE 1998. Direttiva 98/83/CE del Consiglio del 3 novembre 1998 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano; G.U. delle Comunità Europee L 330, 5 dicembre 1998
- CE 2000. Raccomandazione della Commissione dell'8 giugno 2000 riguardante il controllo del grado di radioattività ambientale allo scopo di determinare l'esposizione dell'insieme della popolazione (2000/473/Euratom); G.U. delle Comunità europee L 191, 27 luglio 2000
- CE 2001. Raccomandazione della Commissione 2001/928/Euratom sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon nell'acqua potabile; G.U. delle Comunità europee L 344, 28 dicembre 2001
- CE 2013. 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; G.U. dell'Unione Europea L 296, 7 novembre 2013
- Cothorn 1990. Cothorn C.R., Rebers P.A. (eds.). "Radon, radium and uranium in drinking water"; Chelsea, Mich.: Lewis Publishers; 1990
- Diaz-Frances 2013. Diaz-Frances I. et al., 2013. "Po-210 and U-238 isotope concentration in commercial bottled mineral water samples in Spain and their dose contribution". Rad. Prot. Dosim. 156(3), 336-342
- DLgs 2001. Decreto legislativo 2 febbraio 2001, n. 31 "Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alle acque destinate al consumo umano"; Supplemento ordinario n. 41 alla G.U. n. 52 del 3 marzo 2001
- DLgs 2006. Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale"; Supplemento ordinario n. 96 alla G.U. n. 88 del 14 aprile 2006
- DLgs 2009. Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio. Decreto 14 aprile 2009, n. 56 Regolamento recante "Criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e l'identificazione delle condizioni di riferimento per la modifica delle norme tecniche del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante Norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del decreto legislativo medesimo"; Supplemento ordinario n. 83 alla G.U. n. 124 del 30 maggio 2009
- Facchini 1993. U. Facchini, S. Magnoni, C. Dezzuto, M. Cantatori, "Radon nelle acque di fonte nella pianura padana e in alcune vallate alpine", Acque Sotterranee 25, p. 38, 1993
- Forte 2002. M. Forte, R. Rusconi, S. Bellinzona and G. Sgorbati, "Natural radionuclides monitoring in Lombardia drinking water by liquid scintillation technique", Atti del convegno: European IRPA Congress 2002; Firenze, 8-11 ottobre 2002
- Forte 2003. M. Forte, R. Rusconi, E. Di Caprio, S. Bellinzona and G. Sgorbati, "Natural radionuclides measurements in drinking water by liquid scintillation counting", Atti del convegno: 9th Symposium on Environmental radiochemical Analysis; Maidstone (Kent- GB), 18-20 settembre 2002- Pubblicato in: Environmental Chemical Analysis II, edited by P. Warwick, Royal Society of Chemistry 128-142 (2003)
- Forte, 2004. Forte M., Rusconi R., S. Bellinzona, M.T. Cazzaniga, Sgorbati G., "A wide range monitoring of drinking water natural radioactivity in northern Italy"; in: 11<sup>th</sup> International Congress of International Radiation Protection Association- IRPA 2004 Proceedings, Madrid, Spain, 23-28 May 2004

---

Forte 2004a. M. Forte, R. Rusconi, G. Abbate, Bellinzona, W. Danieli, A.P. Gatti, P. Panzeri, M. Russo e G. Sgorbati, “La radioattività naturale nelle acque di falda: pianificazione ed esecuzione di una campagna di indagine”, *Acque sotterranee*: 39-54, 87 (2004)

Forte, 2005. M. Forte, R. Rusconi, M.T. Cazzaniga and G. Sgorbati, “The measurement of radioactivity in drinking water”, XII Hungarian-Italian Symposium on Spectrochemistry, Pecs 23-27 ottobre 2005. *Microchemical Journal*, sent for publication

Forte, 2005a. M. Forte, A. Bertolo, F. D’Alberti, P. De Felice, D. Desideri, M. Esposito, R. Fresca Fantoni, R. Lorenzelli, A. Luciani, M. Magioni, F. Marsili, A. Moretti, G. Queirazza, S. Risica, R. Rusconi, S. Sandri, R. Travisi, M.T. Valentini Ganzerli, “Standardised methods for measuring radionuclides in drinking water”, 8<sup>th</sup> International Conference on Nuclear Analytical Methods in the Life Sciences, Rio de Janeiro, 17-22 April 2005

Forte 2005b. M. Forte, R. Rusconi, M.T. Cazzaniga e Giuseppe Sgorbati, “La radioattività nelle acque potabili lombarde: impostazione dei controlli”, *Acqua e Aria*: 24-27, 3 (2005)

Forte 2005c. M. Forte, R. Rusconi, S. Bellinzona, M.T. Cazzaniga e G. Sgorbati, “Metodi radiometrici di misura delle acque potabili: esperienze e nuovi sviluppi”, *Acque Sotterranee*: 9-17, 95 (2005)

Forte 2005d. M. Forte, R. Rusconi, S. Bellinzona, M.T. Cazzaniga, C. Bosio, L. Bosticco, L. Broglia, R. Pisati, “La radioattività naturale nelle acque dell’Oltrepo Pavese”, *Acqua e Aria*: 32-36, 5 (2005)

Forte 2007. M. Forte, R. Rusconi, M.T. Cazzaniga e Giuseppe Sgorbati, “The measurement of radioactivity in drinking water”, *Atti del convegno: XII Hungarian-Italian Symposium on Spectrochemistry. Pecs 23-27 October 2005. Pubblicato in: Microchemical Journal: 98-102, 105 (2007)*

Forte 2010. Forte M., Bagnato L., Caldognetto E., Risica S., Trotti F. and Rusconi R. “Radium isotopes in Estonian groundwater: measurements, analytical correlations, population dose and a proposal for a monitoring strategy”; *J Radiol Prot* 2010; 30:761-80

IAEA 1990. International Atomic Energy Agency (IAEA). “The environmental behaviour of radium”; Vienna: IAEA; 1990 (Technical Report STI/DOC/10/310)

IRSN 2011. “Analyse de la radioactivité des eaux”. Direction de l’Environnement et de l’Intervention – STEME, 2011

Ivanovich, 1992. M. Ivanovich, R.S. Harmon, “Uranium-series disequilibrium: applications earth, marine and environmental sciences”, Clarendon Press, Oxford, 1992

ISO 2007. ISO, “Water quality - Measurement of gross alpha activity in non-saline water - Thick source method”, International Organization for Standardization, ISO 9696, Geneva, 2007

ISO 2008. ISO, “Water quality - Measurement of gross beta activity in non-saline water – Thick source method”, International Organization for Standardization, ISO 9697, Geneva, 2008

ISO 2009. ISO, “Water quality - Measurement of gross alpha and gross beta activity in non-saline water – Thin source deposit method”, International Organization for Standardization, ISO 10704, Geneva, 2009

ISO 2010. ISO, “Water quality – Determination of tritium activity concentration – Liquid scintillation counting method”, International Organization for Standardization, ISO 9698, Geneva, 2010



---

ISO 2010a. ISO, “Water quality - Measurement of gross alpha and beta activity concentration in non-saline water – Liquid scintillation counting method”, International Organization for Standardization, ISO 11704, Geneva, 2010

ISPRA 2012. ISPRA, Linee guida per il monitoraggio della radioattività. Manuali e linee guida 83/2012, 2012

ISPRA 2012a. ISPRA, Annuario Dati Ambientali. 2012

ISS 2000. Istituto Superiore di Sanità, “Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption: calculation of derived activity concentrations”, S. Risica and S. Grande, Rapporti ISTISAN 00/16, 2000. <http://www.iss.it/binary/publ/publi/0016.1109850012.pdf>

Nuccetelli 2013. C. Nuccetelli, R. Rusconi and M. Forte, “Radioactivity in drinking water: regulations, monitoring, results and radiation protection issues”, Annali Istituto Superiore Sanità 48(4) 362-373 (2012)

OMS, 2011. World Health Organization, “Guidelines for drinking water quality”, Fourth Edition, 2011

Panzeri 2003. P. Panzeri, S. Bellinzona, W. Danieli, M. Forte, A.P. Gatti, R. Rusconi, M. Russo e G. Sgorbati, “Contenuto radiometrico delle acque sotterranee: il caso di Parabiago (Milano)”, Atti del Convegno Nazionale: Dal monitoraggio degli agenti fisici sul territorio alla valutazione dell’esposizione ambientale. Torino 29-31 ottobre 2003

Risica 2000. S. Risica, S. Grande, “Livelli derivati di concentrazione di attività in acque potabili, a seguito dell’emanazione della direttiva europea 1998”, Atti del XXXI Congresso Nazionale AIRP, Ancona, 20-22 settembre 2000

Rusconi 2004. Rusconi R., Forte M., Badalamenti P., Bellinzona S., Gallini R., Maltese S., Romeo C. and Sgorbati G. “The monitoring of tap waters in milano: planning, methods and results”, Radiat Prot Dosimetry 2004; 111:373-6

Rusconi 2004a. R. Rusconi, A. Azzellino, S. Bellinzona, M. Forte, R. Gallini and G. Sgorbati, “Assessment of drinking water radioactivity content by liquid scintillation counting: set up of high sensitivity and emergency procedures”, Atti del convegno: International Conference on Isotopic and Nuclear Techniques for Health and Environment” IAEA, Vienna 10-13 June 2003. Pubblicato in: Analytical and Bioanalytical Chemistry 247-253 (379 No.2), 2004

SEC 2010. Safety and Ecology Corporation, “Radiological investigation results for Pennsylvania landfill leachate: 2009 tritium update”, Environmental Research and Education Foundation, Project No. 130651, 2010

Tazioli 2011. A. Tazioli, “Landfill investigation using tritium and isotopes as pollution tracers”, Aqua Mundi (2011), Am03030: 083 - 092

UNI 2008. UNI, “Qualità dell’acqua – Determinazione del contenuto di attività alfa e beta totale in acque destinate al consumo umano mediante scintillazione liquida”, UNI 11260, 2008

UNI 2008a. UNI, “Qualità dell’acqua – Determinazione della concentrazione di attività di <sup>222</sup>Rn nelle acque mediante scintillazione liquida”, UNI 11261, 2008

---

## APPENDICE 1

### ELENCO DEI PRINCIPALI GESTORI OPERANTI NELLE REGIONI ITALIANE E DELLA POPOLAZIONE SERVITA

In questa appendice sono riportati i dati dei principali gestori di servizi idrici (incluso il link al loro sito web) e delle popolazioni servite da tali servizi. Tali dati sono forniti nel 2012 da Federutility in collaborazione con i gestori idrici italiani (<http://www.federutility.it/giornata-mondiale-acqua-2012-dati-qualita.htm>). Per ogni Regione è riportato anche il totale degli abitanti serviti da tali gestori, e la percentuale rispetto al totale della popolazione residente in Regione (aggiornata al censimento ISTAT del 2011).

Si fa notare che un valore maggiore del 100% rispetto agli abitanti residenti (contrassegnato nel seguito con un \*) può essere dovuto a utenze ubicate in altre Regioni e/o a utenze di non residenti.

#### **Abruzzo (3 gestori principali)**

[Consorzio Acquedottistico Marsicano](#)

AVEZZANO

Abitanti: 240.000

[Ruzzo Reti Spa](#)

TERAMO

Abitanti: 279.678

[Servizi Ambientali Centro Abruzzo Spa](#)

SULMONA

Abitanti: 56.042

Totale abitanti serviti: 575.720 (=44% dei 1.324.391 abitanti residenti in Regione).

#### **Basilicata (1 gestore)**

[Acquedotto Lucano Spa](#)

POTENZA

Abitanti: 591.338

Totale abitanti serviti: 591.338 (=100% dei 582.540 abitanti residenti in Regione).

#### **Campania (8 gestori principali)**

[Alto Calore Servizi Spa](#)

AVELLINO

Abitanti: 202.580

[Azienda Risorse Idriche di Napoli Spa](#)

NAPOLI

Abitanti: 1.650.000

[GORI Spa - Gestione Ottimale Risorse Idriche](#)

ERCOLANO

Abitanti: 1.450.225

[Salerno Sistemi Spa](#)

SALERNO

Abitanti: 140.580

[GESESA Gestione Servizi Sannio Spa](#)

BENEVENTO

Abitanti: 95.018

[Ausino Spa - Servizi Idrici Integrati](#)

---

CAVA DE' TIRRENI

Abitanti: 53.147

[ASIS Salernitana Reti ed Impianti Spa](#)

SALERNO

Abitanti: 413.047

[Consac Gestioni Idriche Spa](#)

VALLO DELLA LUCANIA

Abitanti: 134.272

Totale abitanti serviti: 2.653.869 (= 46% dei 5.799.240 abitanti residenti in Regione).

### **Emilia Romagna**

[AIMAG Spa](#)

MIRANDOLA

Abitanti: 215.195

[CADF Spa](#)

CODIGORO

Abitanti: 104.699

[HERA Spa - Holding Energia Risorse Ambiente](#)

BOLOGNA

Abitanti: 2.600.000

[IREN Spa](#)

REGGIO EMILIA

Abitanti: 900.000

[Romagna Acque - Società delle Fonti Spa](#)

FORLÌ

Abitanti: 1.000.000

[EmiliaAmbiente Spa](#)

FIDENZA

Abitanti: 102.292

[SorgeAqua Srl](#)

FINALE EMILIA

Abitanti: 59.159

Totale abitanti serviti: 4.981.345 ( 114%\* dei 4.386.829 abitanti residenti in Regione).

### **Friuli Venezia Giulia**

[ACEGAS APS Spa](#)

TRIESTE

Abitanti: 532.121

[IRISACQUA Srl](#)

GORIZIA

Abitanti: 141.000

[Sistema Ambiente Srl](#)

BRUGNERA

Abitanti: 85.443

[Acquedotto Poiana Spa](#)

CIVIDALE DEL FRIULI

Abitanti: 57.186

[AMGA Azienda Multiservizi Spa](#)

UDINE

Abitanti: 100.000

---

[CAFC Spa](#)

UDINE

Abitanti: 230.000

Totale abitanti serviti: 1.145.750 (= 93.4% dei 1.226.794 abitanti residenti in Regione).

**Lazio**

[ACEA Spa](#)

ROMA

Abitanti: 3.881.574

[ACQUALATINA Spa](#)

LATINA

Abitanti: 774.500

[AMEA Spa](#)

PALIANO

Abitanti: 480.000

Totale abitanti serviti : 5.136.074 (=92% dei 5.614.355 abitanti residenti in Regione).

**Liguria**

[ACAM Spa](#)

LA SPEZIA

Abitanti: 120.000

[Società dell'Acqua Potabile Srl](#)

SESTRI LEVANTE

Abitanti: 35.000

[SCA Srl - Servizi Comunali Associati](#)

ALASSIO

Abitanti: 15.713

[IREN Spa](#)

GENOVA

Abitanti: 1.250.000

[AMAT S.p.A.](#)

IMPERIA

Abitanti: 68.176

Totale abitanti serviti: 1.488.889 (=94% dei 1.592.064 abitanti residenti in Regione).

**Lombardia**

[A2A Spa](#)

MILANO

Abitanti: 585.000

[ACSM-AGAM Spa](#)

MONZA

Abitanti: 216.839

[Amiacque Srl](#)

MILANO

Abitanti: 1.736.776

[ASM Vigevano e Lomellina Spa](#)

VIGEVANO

Abitanti: 114.581

[Brianzacque Srl](#)

MONZA

---

Abitanti: 443.701

[CAP Holding Spa](#)

ASSAGO

Abitanti: 2.000.000

[Idrolario Srl](#)

VALMADRERA

Abitanti: 221.000

[SCS Gestioni Srl](#)

CREMA

Abitanti: 34.100

[AEM GESTIONI Srl](#)

CREMONA

Abitanti: 72.000

[Metropolitana Milanese Spa](#)

MILANO

Abitanti: 2.000.000

[Tutela Ambientale Sud Milanese Spa](#)

NOVERASCO DI OPERA

Abitanti: 500.000

[UniAcque Spa](#)

BERGAMO

Abitanti: 680.100

[AOB2 Acque Ovest Bresciano Due](#)

ROVATO

Abitanti: 302.000

[AMAGA - Azienda Multiservizi Abbatense Gestioni Ambientali Spa](#)

ABBIATEGRASSO

Abitanti: 42.000

[ANTIGA Spa](#)

APPIANO GENTILE

Abitanti: 22.369

[AGESP Spa](#)

BUSTO ARSIZIO

Abitanti: 141.888

[Canturina Servizi Territoriali Spa](#)

CANTÙ

Abitanti: 39.540

[ASM Castelleone Spa](#)

CASTELLEONE

Abitanti: 9.670

[Azienda Multiservizi Comunali Spa](#)

GALLARATE

Abitanti: 160.190

[AQUALIS Spa](#)

GHISALBA

Abitanti: 158.062

[Società Acqua Lodigiana Srl](#)

LODI

Abitanti: 225.835

[ASM Magenta Azienda Speciale Multiservizi Srl](#)

---

MAGENTA

Abitanti: 56.700

[TEA Spa](#)

MANTOVA

Abitanti: 170.000

[COGEIDE Spa](#)

MOZZANICA

Abitanti: 100.000

[TAM Tutela Ambientale del Magentino spa](#)

ROBECCO SUL NAVIGLIO

Abitanti: 400.000

Totale abitanti serviti: 7.769.155 (=79% dei 9.809.298 abitanti residenti in Regione).

## **Marche**

[ASET Spa](#)

FANO

Abitanti: 78.891

[ASTEIA Spa](#)

RECANATI

Abitanti: 100.000

[CIIP Spa - Cicli Integrati Impianti Primari](#)

ASCOLI PICENO

Abitanti: 295.452

[Marche Multiservizi Spa](#)

PESARO

Abitanti: 280.000

[Multiservizi Spa](#)

ANCONA

Abitanti: 440.000

[Acquambiente Marche Srl](#)

CASTELFIDARDO

Abitanti: 75.000

[ATAC Civitanova Spa](#)

CIVITANOVA MARCHE

Abitanti: 18.000

[APM – Azienda Pluriservizi Macerata spa](#)

MACERATA

Abitanti: 112.000

[Società per l'Aquedotto del Nera Spa](#)

MACERATA

Abitanti: 80.000

[Azienda San Severino Marche Spa](#)

SAN SEVERINO MARCHE

Abitanti: 250.000

[Tennacola Spa](#)

SAN'ELPIDIO A MARE

Abitanti: 110.000

[Azienda Specializzata Settore Multiservizi Spa](#)

TOLENTINO

Abitanti: 24.500

---

Totale abitanti serviti: 1.863.843 (=120%\* dei 1.553.012 abitanti residenti in Regione)

### **Molise**

[Molise Acque](#)

CAMPOBASSO

Abitanti: 387.441

Totale abitanti serviti: 387.441 (=122%\* dei 316.463 abitanti residenti in Regione).

### **Piemonte**

[Azienda Cuneese dell'Acqua Spa](#)

CUNEO

Abitanti: 209.168

[Asti Servizi Pubblici Spa](#)

ASTI

Abitanti: 256.000

[Consorzio dei Comuni per l'Acquedotto del Monferrato](#)

MONCALVO

Abitanti: 77.000

[CORDAR Spa - Biella Servizi](#)

BIELLA

Abitanti: 145.000

[Società Metropolitana Acque Torino Spa](#)

TORINO

Abitanti: 2.209.576

[Azienda Multiutility Acqua Gas Spa](#)

ALESSANDRIA

Abitanti: 150.000

[Acquedotto Valtiglione Spa](#)

ASTI

Abitanti: 35.000

[Acquedotto Langhe e Alpi Cuneesi Spa](#)

CUNEO

Abitanti: 20.560

[Comuni dell'Acquedotto Langhe Sud Occidentali Spa](#)

DOGLIANI

Abitanti: 20.500

[Gestione Acqua Spa](#)

CASSANO SPINOLA

Abitanti: 140.089

[CORDAR Valsesia Spa](#)

SERRAVALLE SESIA

Abitanti: 40.000

Totale abitanti serviti: 3.302.893 (=75% dei 4.407.499 abitanti residenti in Regione).

### **Puglia**

[Acquedotto Pugliese Spa](#)

BARI

Abitanti: 4.000.000

[Giovanni Putignano & Figli Srl](#)

NOCI

---

Abitanti: 42.000

Totale abitanti serviti: 4.042.000 (=99% dei 4.070.666 abitanti residenti in Regione).

### **Sardegna**

[ABBANO Spa](#)

CAGLIARI

Abitanti: 1.750.000

Totale abitanti serviti: 1.750.000 (=105%\* dei 1.656.629 abitanti residenti in Regione)

### **Sicilia**

[AMAP Spa](#)

PALERMO

Abitanti: 1.200.000

[SIDRA Spa](#)

CATANIA

Abitanti: 350.000

[AMA Spa](#)

PATERNÒ

Abitanti: 50.000

Totale abitanti serviti: 1.600.000 (=32% dei 5.025.465 abitanti residenti in Regione).

### **Toscana**

[Acque Spa](#)

EMPOLI

Abitanti: 762.285

[Acquedotto del Fiora Spa](#)

GROSSETO

Abitanti: 379.000

[Azienda Servizi Ambientali Spa](#)

LIVORNO

Abitanti: 372.618

[Gaia spa](#)

LUCCA

Abitanti: 500.000

[GEAL Spa](#)

LUCCA

Abitanti: 134.170

[Nuove Acque Spa](#)

AREZZO

Abitanti: 300.000

[Publiacqua Spa](#)

FIRENZE

Abitanti: 1.277.000

Totale abitanti serviti 3.725.073 (=100% dei 3.708.797 abitanti residenti in Regione).

### **Trentino Alto Adige**

[Asm Bressanone Spa](#)

BRESSANONE

Abitanti: 16.500

[Dolomiti Energia Spa](#)



---

**ROVERETO**

Abitanti: 200.000

[Servizi Energia Ambiente Bolzano Spa](#)

**BOLZANO**

Abitanti: N.P.

[Azienda Pubbliservizi Brunico](#)

**BRUNICO**

Abitanti: 12.000

[Azienda Servizi Municipalizzati di Merano Spa](#)

**MERANO**

Abitanti: 34.000

[Azienda Intercomunale Rotaliana Spa](#)

**MEZZOLOMBARDO**

Abitanti: 13.000

Totale abitanti serviti: 275.500 (=27% dei 1.033.350 abitanti residenti in Regione).

**Umbria**

[Servizio Idrico Integrato Spca](#)

**TERNI**

Abitanti: 248.284

[Umbra Acque Spa](#)

**PONTE SAN GIOVANNI**

Abitanti: 500.000

Totale abitanti serviti: 748.284 (=84% dei 894.851 abitanti residenti in Regione).

**Veneto**

[Acque Veronesi Scarl](#)

**VERONA**

Abitanti: 718.965

[Acque Vicentine Spa](#)

**VICENZA**

Abitanti: 299.330

[Acque del Chiampo Spa](#)

**ARZIGNANO**

Abitanti: 95.491

[Azienda Gardesana Servizi Spa](#)

**PESCHIERA DEL GARDA**

Abitanti: 79.102

[Azienda Servizi Integrati Spa](#)

**SAN DONÀ DI PIAVE**

Abitanti: 110.000

[Alto Trevigiano Servizi Srl](#)

**MONTEBELLUNA**

Abitanti: 300.000

[Alto Vicentino Servizi Spa](#)

**THIENE**

Abitanti: 253.000

[Energia Territorio Risorse Ambientali - ETRA Spa](#)

**BASSANO DEL GRAPPA**

Abitanti: 500.000

---

[Medio Chiampo Spa](#)

MONTEBELLO VICENTINO

Abitanti: *15.855*

[Polesine Acque Spa](#)

ROVIGO

Abitanti: *265.000*

[Servizi Idrici Sinistra Piave Srl](#)

CODOGNÈ

Abitanti: *248.900*

[VERITAS Spa](#)

VENEZIA

Abitanti: *750.000*

[Acque del Basso Livenza Spa](#)

ANNONE VENETO

Abitanti: *140.000*

[Azienda Servizi Pubblici Sile-Piave Spa](#)

RONCADE

Abitanti: *95.000*

Totale abitanti serviti: 3.870.643 (=79% dei 4.895.756 abitanti residenti in Regione).

---

## APPENDICE 2

### ACQUE E RADIOATTIVITA' NATURALE

#### La radioattività naturale nelle acque

Gli isotopi radioattivi naturali presenti nelle acque derivano, come del resto gli elementi stabili disciolti, dall'erosione delle rocce con cui l'acqua viene in contatto, con alcune eccezioni (trizio, berillio 7, etc), che hanno origine atmosferica. Le acque potabili contengono da pochi milligrammi a diversi grammi per litro di sali. Non esiste una proporzionalità diretta tra quantità di sali (normalmente definita come residuo fisso) e radioattività anche se è plausibile in linea generale che acque con contenuto di sali molto elevato contengano più isotopi radioattivi di acque poco mineralizzate.

I radionuclidi naturali presenti nelle acque sono principalmente il  $^{40}\text{K}$  e i radioisotopi delle tre serie naturali ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{234}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ) in proporzioni variabili. Esiste un'ampia bibliografia che tratta il tema della presenza dei radionuclidi nelle acque (Cothorn 1990; IAEA 1990; Ivanovich 1992).

La concentrazione di isotopi radioattivi dipende dai tipi di roccia di cui è costituito l'acquifero, dai tempi di contatto, dalle condizioni chimico-fisiche che si vengono a determinare all'interno dell'acquifero. Questa molteplicità di fattori rende molto difficile ogni analisi previsionale. D'altro canto, in linea generale, questo complesso di condizioni non varia rapidamente. La stabilità degli acquiferi si riflette nella stabilità della composizione chimica e quindi radiometrica delle acque.

Va tuttavia tenuto presente che, se non ci si deve aspettare una rilevante variazione del tempo per un singolo punto dell'acquifero, le acque distribuite dalla rete idrica sono spesso il prodotto di miscele di più pozzi che possono emungere differenti acquiferi e che la percentuale di miscelazione varia a seconda delle necessità tecniche dell'acquedotto. A titolo esemplificativo si riporta un caso riscontrato a Parabiago (Mi) in cui la variazione di miscelazione che coinvolgeva acquiferi con concentrazioni di uranio molto differenti portava ad un rilevante cambiamento della qualità radiometrica dell'acqua distribuita (Forte 2004).

#### Radionuclidi in soluzione ed equilibrio secolare

Nonostante le catene radioattive naturali siano in condizione di equilibrio secolare all'interno delle rocce, ciò non si verifica per i radionuclidi disciolti in acqua che pure da queste provengono. Questo è dovuto al fatto che nell'acquifero intervengono numerosi processi chimico fisici che alterano la composizione delle acque, anche da un punto di vista radiometrico (Cothorn 1990). Alcuni radionuclidi, come ad esempio il torio, sono poco solubili, per altri la solubilità dipende dalle condizioni di pH (acidità dell'acqua), redox (potere ossidante, dipendente tra l'altro dalla presenza di sacche di aria nell'acquifero), dal tipo di anioni presenti. Ad esempio una elevata concentrazione di carbonati e bicarbonati favorisce la solubilità e la mobilità dell'uranio che forma complessi solubili in queste condizioni e contemporaneamente provoca la precipitazione del radio. Al contrario, condizioni riducenti nell'acquifero (assenza di aria e quindi di ossigeno) favoriscono la precipitazione dell'uranio: si formano così "depositi secondari" in cui l'uranio si concentra e produce  $^{226}\text{Ra}$  che viene facilmente mobilizzato. In questi casi si riscontreranno concentrazioni elevate di  $^{226}\text{Ra}$ .

La conclusione è che non ci si deve attendere che nelle acque i radionuclidi appartenenti alla stessa serie naturale siano all'equilibrio secolare. Un compendio sulle relazioni tra caratteristiche dell'acquifero e radioattività è disponibile in rete (Forte 2010a).

---

## Gli isotopi dell'uranio

I due principali isotopi dell'uranio ( $^{238}\text{U}$  e  $^{234}\text{U}$ ) appartengono alla stessa serie naturale e sono quindi presenti nella roccia in uguale concentrazione di attività. Essendo anche identico il loro comportamento chimico sarebbe ragionevole ipotizzare che anche la loro concentrazione in attività nelle acque fosse la stessa ma ciò tuttavia non accade: è noto infatti che l'attività di  $^{234}\text{U}$  è quasi sempre maggiore o uguale a quella di  $^{238}\text{U}$ . Il rapporto  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  nella maggior parte dei casi non si discosta significativamente dall'unità, ma in casi non infrequenti può essere di 2 o 3, e anche maggiore in casi sporadici (Cothorn 1990, Ivanovich 1992).

Questo fenomeno viene interpretato come conseguenza del rinculo dovuto al decadimento alfa che trasforma  $^{238}\text{U}$  in  $^{234}\text{Th}$  (Osmond, in Ivanovich 1992). Questo rinculo produce un spiazzamento del radionuclide all'interno del reticolo cristallino della roccia rendendolo meno stabile e quindi più facilmente erodibile, se molto vicino alla superficie, o addirittura espellerlo dalla roccia se ubicato nello strato a contatto con l'esterno.

Da un punto di vista massico, la gran parte dell'uranio naturale (99,3 %) è costituita da  $^{238}\text{U}$ . La determinazione dell'uranio come elemento per via chimica (ad esempio mediante fluorimetria oppure tramite assorbimento o emissione atomica) misura quindi sostanzialmente la concentrazione di  $^{238}\text{U}$ . Una conversione mediante le costanti fisiche, valide per situazioni di equilibrio secolare, delle concentrazioni in massa alle concentrazioni in attività può portare a sottostime anche rilevanti nel caso in cui non sia garantito il rapporto isotopico naturale. Conseguentemente anche eventuali successive stime di dose darebbero luogo a sottostime.

Al contrario, se si determina la concentrazione di attività dell'uranio, la sua conversione in concentrazione in massa può portare a sovrastime. Questo può avere conseguenze rilevanti in quanto, dato che la tossicità chimica dell'uranio viene considerata preponderante su quella radiometrica, i valori di parametro per le concentrazioni di uranio nelle linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità sono fissati in  $\mu\text{g/L}$  (WHO 2004).

## Gli isotopi del radio

Le serie dell'uranio e del torio sono entrambe presenti nelle rocce, anzi quella del torio è mediamente più abbondante nella crosta terrestre. La concentrazione di torio in acqua è normalmente bassa a causa della scarsa solubilità. Il  $^{228}\text{Ra}$  è un beta emettitore appartiene alla serie del torio ed ha un tempo di dimezzamento relativamente breve (5,7 anni); questo fatto, unito alla scarsa mobilità del torio progenitore, fa sì che le possibilità di trasporto a lunga distanza siano limitate e che le concentrazioni di  $^{228}\text{Ra}$  siano legate alle caratteristiche dell'intorno immediato dell'acquifero (Cothorn 1990).

In letteratura sono presenti molti più dati per il  $^{226}\text{Ra}$  che per il  $^{228}\text{Ra}$ : presumibilmente ciò è legato al fatto che il primo può essere misurato molto più agevolmente e con migliori sensibilità che il secondo. Tuttavia estese campagne di misura condotte negli Stati Uniti (Longtin, in Cothorn 1990) mostrano che le concentrazioni di  $^{228}\text{Ra}$  sono spesso paragonabili o superiori a quelle di  $^{226}\text{Ra}$ . In generale non esistono correlazioni tra le concentrazioni dei radionuclidi appartenenti alle serie dell'uranio e del torio e quindi tra  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$ . Un riesame della bibliografia riguardante i radionuclidi in acqua in generale e gli isotopi del radio in particolare è stata recentemente pubblicata (Nuccetelli 2013).

## Concentrazioni di radionuclidi e dose

Tra i radionuclidi naturali con i più elevati coefficienti di dose figurano il  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{210}\text{Po}$ , conseguentemente concentrazioni di attività relativamente limitate possono dare un importante contributo alla dose complessiva.

---

Nell'acquedotto di Milano il rapporto  $^{226}\text{Ra}/^{228}\text{Ra}$  è prossimo all'unità. Considerato che il coefficiente di dose del  $^{228}\text{Ra}$  è più che doppio di quello del  $^{226}\text{Ra}$ , per gli adulti, e rispettivamente  $6,9 \cdot 10^{-7}$  Sv/Bq e  $2,8 \cdot 10^{-7}$  Sv/Bq, si può concludere che la determinazione del primo sia importante, soprattutto nelle situazioni in cui la presenza degli isotopi di radio è rilevante. Una recente esperienza condotta sul monitoraggio delle acque di falda in Estonia nell'ambito di un progetto europeo (Forte 2010) ha messo in luce come, in una situazione in cui la concentrazione di radio è particolarmente rilevante, la maggior parte di contributo alla dose totale (circa il 75 % per gli adulti e quasi il 90% per i lattanti) fosse proprio dovuta al  $^{228}\text{Ra}$ .

Un recente studio sulle acque minerali in Spagna (Diaz-Frances 2013) mostra che il contributo alla dose del  $^{210}\text{Po}$  è quasi sempre decisamente più elevato di quello dell'uranio.

I rapporti dell'IRSN sulla radioattività delle acque francesi (IRSN 2011) mostra che nei pochi casi in cui si verifica il superamento del valore di parametro di 0,1 mSv/anno il contributo del  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{210}\text{Po}$  è spesso decisivo.

## Il radon

Il  $^{222}\text{Rn}$  è il discendente diretto del  $^{226}\text{Ra}$ . Da un punto di vista chimico il radon appartiene al gruppo dei gas nobili e quindi non è in grado di legarsi stabilmente ad altri elementi. La sua affinità (misurata come coefficiente di ripartizione) verso l'acqua è scarsa, tende quindi a desorbirsi piuttosto rapidamente, inoltre ha un breve tempo di dimezzamento fisico (3,82 giorni).

Il radon si forma prevalentemente all'interno delle rocce contenenti i suoi precursori, in particolare rocce di origine magmatica come i graniti e i porfidi, e, in parte, diffonde al di fuori del reticolo cristallino sia in seguito al fenomeno di rinculo collegato all'emissione della particella alfa del decadimento del  $^{226}\text{Ra}$ , sia grazie alle imperfezioni del reticolo stesso. La migrazione del radon all'interno del corpo roccioso è poi favorita dalla presenza di fratture e da meccanismi di trasporto convettivo da parte di altri gas del sottosuolo; poiché si tratta di un gas inerte, si può muovere liberamente attraverso materiali porosi come il terreno o i frammenti di roccia. Quando i pori sono saturi d'acqua, come nel caso del terreno e delle rocce sotto il livello della falda freatica, il radon si dissolve nell'acqua e viene da essa trasportato.

Anche se la sua presenza in ambiente è sovente connessa a quella di tracce del suo precursore, il  $^{226}\text{Ra}$ , la concentrazione di radon nelle acque di falda è normalmente superiore di diversi ordini di grandezza a quella del  $^{226}\text{Ra}$  disciolto dal momento che, prevalentemente, non deriva dal decadimento del radio in soluzione quanto dall'emanazione diretta dalle rocce costituenti l'acquifero. Nell'acquedotto di Milano (Rusconi 2004) ad esempio la concentrazione di  $^{226}\text{Ra}$  è di circa 1 mBq/L mentre quella di  $^{222}\text{Rn}$  è mediamente raggiunge 10 Bq/L (quattro ordini di grandezza più elevato).

L'adsorbimento del radon in acqua è un fenomeno reversibile. Dal momento che il coefficiente di ripartizione acqua/aria del radon è favorevole a quest'ultima, il radon viene infatti anche facilmente desorbito dall'acqua. Si constata ad esempio normalmente che la sua presenza è maggiore nelle acque di falda che in quelle superficiali, che presentano una vasta superficie di scambio acqua/aria. Inoltre trattamenti e manipolazioni dell'acqua effettuate per migliorarne la qualità (come la filtrazione su carboni attivi o, soprattutto, l'aerazione in torri di strippaggio) ne abbattano le concentrazioni. Alla riduzione delle concentrazioni concorre altresì il breve tempo di dimezzamento fisico. La sua concentrazione in acque di superficie e nelle acque imbottigliate è per questi motivi, normalmente trascurabile.

Questa stessa facilità di desorbimento fa sì che il radon disciolto nell'acqua utilizzata per usi domestici possa contribuire all'aumento di concentrazione del radon indoor in modo, tra l'altro, indipendente dall'ubicazione dei locali (ad esempio il piano). Il coefficiente di trasferimento dall'acqua all'ambiente domestico, in condizioni di uso normale, è stato valutato essere dell'ordine di 10-4, il che significa che una concentrazione di  $^{222}\text{Rn}$  in acqua di 10 Bq/kg provoca un aumento

---

di 1 Bq/m<sup>3</sup> della concentrazione in aria (Prichard, 1987). In casi particolari, alcuni autori (Asikainen, 1980; Cothorn 1986) attribuiscono al rilascio dall'acqua una frazione del 10-15% del radon indoor.