



Agenzia Regionale
per la Protezione dell'Ambiente
della Lombardia

Dipartimenti Provinciali di Milano e Sondrio

ACQUE POTABILI E RADIOATTIVITA'

**Risultati della campagna di
approfondimento nella provincia di
Sondrio**

Milano, luglio 2006



INDICE

Introduzione

- I. Acque potabili e radioattività
- II. Riferimenti normativi ed impostazione dei controlli
 - A. Il D.L.vo 31/01
 - B. Impostazione dei controlli
- III. Metodi di campionamento e misura
 - A. Misura dell'attività alfa e beta totale e del trizio
 - B. Misura del radio-226
 - C. Misura dell'uranio
- IV. Risultati
 - A. Attività alfa totale
 - B. Attività beta totale e trizio
 - C. Radio-226
 - D. Uranio
 - E. Stime di dose
- V. Commenti e conclusioni
- VI. Ringraziamenti
- VII. Riferimenti bibliografici

Documento predisposto da:

*Rosella Rusconi, Maurizio Forte, Giuseppe Abbate, Pietro Badalamenti
ARPA Lombardia – Dipartimento di Milano*

*Carlo Pellegrino, Maurizio Tagni, Marco Negri
ARPA Lombardia – Dipartimento di Sondrio*

INTRODUZIONE

Nel corso del 2003 è stata condotta la prima campagna regionale per il controllo della radioattività naturale nelle acque ad uso potabile in collaborazione tra ARPA e la Regione Lombardia - Direzione Generale Sanità. L'indagine ha permesso una prima mappatura delle acque potabili lombarde evidenziando, seppur in modo sommario, variazioni anche marcate nella distribuzione dei radionuclidi naturali in relazione alle diverse aree geografiche. Questo ha permesso di impostare in modo mirato campagne di approfondimento in zone risultate di particolare interesse per la più elevata concentrazione di radioattività (come l'area compresa tra Parabiago e il fiume Ticino e quella compresa tra Milano e Lodi), o per la più alta densità abitativa (la città di Milano). Va sottolineato tuttavia che in nessun caso sono stati riscontrate concentrazioni di radionuclidi tali da presupporre pericoli per la popolazione in relazione ai pur cautelativi riferimenti della legislazione nazionale [1] o alle linee guida dell'Organizzazione Mondiale della Sanità [2] [3].

E' stata infine considerata la zona dell'Oltrepo Pavese, geologicamente anomala rispetto al resto della regione in quanto unica area appenninica della Lombardia. I risultati di queste campagne sono stati presentati in precedenti relazioni, in cui viene evidenziato tra l'altro che variazioni anche importanti del contenuto di radioattività possono essere riscontrate in punti di prelievo geograficamente prossimi.

Questo ha suggerito di realizzare campagne di approfondimento nelle zone montuose in quanto la struttura geologica degli acquiferi può variare notevolmente. La prima di queste campagne è stata condotta nella Provincia di Sondrio in stretta collaborazione con l'ARPA locale, che ha provveduto a selezionare i punti di prelievo utilizzando il duplice criterio della densità abitativa (e quindi i centri urbani più rilevanti) e delle caratteristiche geologiche delle varie aree. I prelievi sono stati effettuati a cura della Azienda Sanitaria Locale, che ha fornito tutto il supporto necessario. In questa relazione vengono presentati e discussi i dati ottenuti.

I. ACQUE POTABILI E RADIOATTIVITA'

L'acqua utilizzata a scopo potabile può contenere sostanze radioattive di origine artificiale e contiene, normalmente, sostanze radioattive di origine naturale.

La presenza di sostanze radioattive artificiali è dovuta a contaminazioni della falda causate da incidenti con immissione di radioattività nell'ambiente; nelle prime settimane dopo l'incidente di Chernobyl, ad esempio, si riscontrava sporadicamente la presenza di tracce di cesio-137 nelle acque di falda milanesi, anche se in quantità irrilevante dal punto di vista radioprotezionistico.

La presenza di radionuclidi di origine naturale nelle acque è invece un fatto usuale dovuto a fenomeni di natura geologica e prescinde nella maggior parte dei casi da ipotesi di inquinamento antropico [4] [5].

La litologia e composizione mineralogica dei terreni e delle rocce, la tettonica ed il carsismo con i conseguenti aspetti legati alla circolazione idrica nel sottosuolo (permeabilità primaria e secondaria), le caratteristiche granulometriche possono generare, concentrare o diluire il flusso dei radionuclidi nelle acque sotterranee.

La concentrazione di elementi radioattivi nelle rocce risulta primariamente legata alla presenza di uranio e torio. Essi sono maggiormente presenti nelle rocce ignee intrusive acide (graniti), in alcune rocce ignee ricche di feldspati e feldspatoidi alcalini (sieniti e fonoliti) e in rocce vulcaniche quali tufi, basalti, rioliti (che però non sono presenti nella provincia di Sondrio).

Nelle rocce sedimentarie sono normalmente presenti in concentrazioni molto più basse, ad eccezione delle rocce fosfatiche e delle argilliti che a causa delle loro notevoli proprietà adsorbenti possono trattenere i composti solubili dell'uranio, una volta lisciviati da altre rocce e trasportati dalla circolazione idrica. Nelle rocce metamorfiche, generalmente, la concentrazione degli elementi radioattivi risulta inferiore a quella delle rocce ignee.

L'accumulo nelle acque sotterranee avviene in tempi lunghi e, anche se i radionuclidi hanno una scarsa mobilità, può essere favorita da fattori naturali, quali la natura e l'attività biologica del suolo, la piovosità e da fattori antropici come il rimescolamento dovuto alle pratiche irrigue, allo scavo di pozzi e canali di drenaggio.

Il contenuto in elementi radioattivi primordiali nelle rocce serbatoio è fondamentale per il rinvenimento degli stessi nelle acque sotterranee, anche se non sussiste una diretta correlazione tra la concentrazione nelle rocce e quella nelle acque. Infatti entrano in gioco altri fattori quali la tettonica, la fratturazione e la permeabilità primaria e secondaria per fessurazione.

Poiché anche le sostanze radioattive naturali possono costituire un rischio per la salute, il problema della loro presenza nelle acque potabili non può essere trascurato.

I controlli sulle acque sono pertanto finalizzati alla ricerca di sostanze radioattive sia artificiali che naturali.

Per quanto riguarda le sostanze radioattive artificiali, scopo dei controlli è l'individuazione di eventuali situazioni di contaminazione di origine antropica. Questo tipo di verifiche rientra dalla fine degli anni ottanta nel piano di monitoraggio della radioattività ambientale attuato presso i diversi laboratori regionali di riferimento per la radioattività: in particolare in Lombardia sono prelevati ed analizzati con frequenza mensile campioni dell'acqua potabile delle principali città. In nessun caso è stata riscontrata l'esistenza di situazioni di contaminazione da radionuclidi artificiali di qualche rilevanza.

Per quanto riguarda le sostanze radioattive naturali, scopo dei controlli è quello di ricostruire la distribuzione della concentrazione di radionuclidi nelle acque utilizzate a scopo potabile e stimare la dose alla popolazione. Ciò anche alla luce di una recente normativa, il D.L.vo 31/01 “Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alle acque destinate al consumo umano” [1].

II. RIFERIMENTI NORMATIVI ED IMPOSTAZIONE DEI CONTROLLI

A. Il D.L.vo 31/01

Il decreto legislativo 31/01 “Attuazione della Direttiva 98/83/CE relativa alle acque destinate al consumo umano” [1] prevede esplicitamente e per la prima volta l’obbligo di verificare il contenuto nelle acque di sostanze radioattive di origine sia naturale che artificiale e prescrive, in alcuni casi, l’adozione di contromisure per ridurre i valori entro livelli ritenuti più accettabili. Questo decreto prevede, in particolare, la verifica del rispetto di due parametri relativi alla radioattività nelle acque, precisamente il *trizio* (^3H) e la *dose totale indicativa*, che non dovrebbero superare i valori riportati in tabella 1.

Tab. 1 – Valori di parametro stabiliti dal D.L.vo 31/01 per la radioattività

Categoria di radionuclidi	Valore di parametro che deve essere rispettato
H-3	100 Bq/L
Dose totale indicativa*	0,10 mSv/anno

*: ad eccezione del trizio, K-40, radon e prodotti di decadimento del radon

Il trizio è un radionuclide di origine naturale che viene prodotto dall’interazione della radiazione cosmica con gli strati alti dell’atmosfera, entra nel ciclo dell’acqua e si trova normalmente nelle acque di falda in concentrazioni dell’ordine di poche unità di Bq/L (*becquerel per litro*). Una fonte antropogenica di trizio è legata all’esercizio di alcuni tipi di strutture di ricerca e di impianti nucleari, anche se in Italia tale problema è limitato solo a situazioni particolari.

La dose totale indicativa è una misura della quantità di radiazione assorbita dal corpo umano a causa dell’ingestione delle sostanze radioattive contenute nell’acqua e si misura in *mSv/anno* (*millisievert per anno*). La dose 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 con l’esclusione, ai sensi del D.L.vo 31/01, del contributo del trizio, del potassio-40, del radon-222 e dei suoi prodotti di decadimento, che vengono altrove presi in considerazione [6]. Questo approccio 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 non è applicabile ad un numero elevato di campioni. In alternativa, è possibile eseguire uno screening preliminare del contenuto totale di radioattività attraverso la misura della concentrazione di *attività alfa totale* e *beta totale*, che è meno complessa ed onerosa rispetto alla misura dei singoli radionuclidi. Le sostanze radioattive si possono infatti

classificare grossolanamente in due categorie: sostanze che emettono radiazione di tipo alfa e sostanze che emettono radiazione di tipo beta. La concentrazione di attività alfa totale, che si esprime in Bq/L (o indifferentemente in Bq/kg), è una misura di tutte le sostanze radioattive che emettono radiazione di tipo alfa (ad esempio, tra le sostanze radioattive naturali, l'uranio ed il radio-226). La concentrazione di attività beta totale, che si esprime anch'essa in Bq/L, è una misura di tutte le sostanze radioattive che emettono radiazione di tipo beta (ad esempio, tra le sostanze radioattive naturali, il radio-228 e il potassio-40).

I risultati delle misure di attività alfa totale e beta totale si possono quindi confrontare con i seguenti valori di riferimento, ripresi dalla bozza di allegato alla direttiva 98/83:

Tab. 2 – Valori di riferimento per il contenuto di radioattività delle acque potabili

Parametro	Valore di riferimento (Bq/L)
Concentrazione di attività alfa totale	0,1
Concentrazione di attività beta totale	1

In linea di massima il rispetto dei suddetti valori di riferimento dovrebbe garantire il non superamento del valore di parametro per la dose totale indicativa, che come abbiamo ricordato è uguale a 0,1 mSv/anno. In realtà questo non è sempre necessariamente vero perché la dose dipende da quali radionuclidi sono presenti nell'acqua, ciascuno con la propria radiotossicità [7]. Una più corretta stima della dose totale indicativa deve quindi essere ricavata dalle concentrazioni dei singoli radionuclidi presenti, pertanto nella presente indagine sono stati misurati individualmente i principali isotopi radioattivi normalmente presenti nelle acque (isotopi dell'uranio e radio-226).

E' inoltre noto dalla letteratura che la tossicità "chimica" dell'uranio (in quanto metallo pesante) è più elevata di quella radiologica. L'Organizzazione Mondiale della Sanità ha recentemente indicato [3] un parametro provvisorio di attenzione per l'uranio di 15 ppb ($\mu\text{g/L}$), corrispondenti a soli 0,186 Bq/L (o 186 mBq/L) di ^{238}U , più restrittivo di quanto richiesto dal punto di vista radioprotezionistico.

B. Impostazione dei controlli

Sebbene nel corso della campagna regionale condotta nel 2004 [8] (Tab. 3) non siano emerse anomalie relativamente ai punti-rete monitorati in provincia di Sondrio (Sondrio città, Chiavenna, Livigno), se paragonati alla media regionale, si è ritenuto comunque utile effettuare una campagna di approfondimento sulla base delle seguenti considerazioni:

- 1) nella provincia di Sondrio, prevalentemente montagnosa, sono rappresentate quasi tutte le litologie (ad eccezione delle rocce vulcaniche) ed in particolare rocce di tipo granitico. La disomogeneità geologica del territorio (figg. 1 e 2) può far supporre anomalie locali nel contenuto di radioattività delle acque;
- 2) sono presenti inoltre importanti dislocazioni tettoniche di interesse regionale (linea "Insubrica", dello "Zembrù", del "Porcile" ecc.);
- 3) in precedenti lavori [9] [10] era stato evidenziata l'esistenza di aree limitate in cui elevate concentrazioni di ^{222}Rn erano misurabili nelle acque di sorgente nella provincia di Sondrio;

- 4) infine nel territorio comunale di Piateda (Val Vedello) è stato individuato uno dei più importanti giacimenti italiani di pechblenda (UO_2).

Tab. 3 – Risultati delle misure in provincia di Sondrio nel corso della campagna regionale 2004

	α totale (mBq/kg)	β totale (mBq/kg)	^{226}Ra (mBq/kg)
Sondrio	52 ± 14	71 ± 42	$< 2,5$
Chiavenna	$22 \pm 9,5$	81 ± 44	$< 2,5$
Livigno	52 ± 14	50 ± 39	$3,4 \pm 1,5$
<i>Media regionale (aritmetica)</i>	46 ± 47	98 ± 41	--

Sulla scorta di queste conoscenze si è cercato di individuare e monitorare le sorgenti che possiedono dei bacini di alimentazione impostati in rocce di natura litologica differente (igneo, sedimentarie e metamorfiche) e nel limite del possibile in prossimità di faglie d'importanza regionale e/o fratturazioni del substrato.

Tab. 4 – Elenco dei comuni in cui sono stati eseguiti i campionamenti

Comune	Popolazione (dati ISTAT al 01/01/2005)
Bormio	4087
Caspoggio	1559
Chiavenna	7263
Chiuro	2499
Dubino	3270
Fusine	650
Gordona	1770
Mello	983
Montagna in Valtellina	2983
Morbegno	11433
Piateda	2291
Samolaco	2889
Sondalo	4537
Sondrio	21790
Tirano	9136
Tovo S.Agata	577
Valdidentro	3975
Valfurva	2725
Val Masino	962
Vervio	230

Per ogni campione sono stati determinati i seguenti parametri radiometrici:

- concentrazione di trizio, da confrontare con il valore di parametro di 100 Bq/L stabilito dal D.L.vo 31/01;
- concentrazione di attività alfa totale e beta totale, da confrontare con i rispettivi valori di riferimento di 0,1 e 1 Bq/L;
- concentrazione di uranio;
- concentrazione di radio-226.

Sulla base delle misure effettuate sono state condotte le stime di dose.

III. METODI DI CAMPIONAMENTO E MISURA

A. Misura dell'attività alfa e beta totale e del trizio

I campioni sono stati prelevati ai rubinetti dei punti rete selezionati a cura degli operatori delle Aziende Sanitarie Locali e consegnati entro il minor tempo possibile al Dipartimento ARPA di Milano per le analisi radiometriche.

La concentrazione di attività alfa e beta totale è stata determinata mediante conteggio in scintillazione liquida con discriminazione alfa/beta di campioni preconcentrati; la tecnica di misura, che è stata descritta altrove [11] [12], è applicabile a tutte le acque potabili con contenuto di sali inferiore a 500 mg/L e presenta, rispetto al conteggio alfa totale e beta totale di campioni evaporati (metodi ISO 9696 e 9697), il vantaggio di una maggiore rapidità di esecuzione.

La metodica analitica applicata presso il Laboratorio consente anche, contemporaneamente alla misura dell'attività alfa e beta totale, la misura della concentrazione di trizio. Questa tecnica inoltre è selettiva relativamente al radon-222, che viene completamente rimosso dal campione durante il pretrattamento e non interferisce in alcun modo nel corso della misura.

B. Misura del radio-226

Il ^{226}Ra è stato misurato per scintillazione liquida mediante una procedura messa a punto da ARPA Lombardia e precedentemente descritta [11] [12] che presuppone la misura indiretta del radionuclide mediante la quantificazione del ^{222}Rn in condizioni di equilibrio isotopico.

C. Misura dell'uranio

Anche l'uranio totale e il rapporto $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ sono stati misurati mediante scintillazione liquida previa estrazione selettiva mediante una opportuna soluzione scintillante [11] [12].

IV. RISULTATI

I risultati delle misure di attività alfa totale, beta totale, uranio e radio-226 sono riportati nella tabelle 5 e 6. L'incertezza di misura è espressa in termini di incertezza estesa ed è stata valutata secondo le indicazioni della norma UNI CEI ENV 13005 [13]. I valori preceduti dal segno '-' sono da intendersi come inferiori alla minima attività rivelabile, che è espressa al livello di confidenza del 95 %. I dati relativi alle misure di trizio non sono riportati in tabella in quanto sono risultati sempre inferiori alla sensibilità analitica, uguale a 5 Bq/kg.

Tab. 5– Risultati delle misure del contenuto di attività alfa totale, beta totale e radio-226

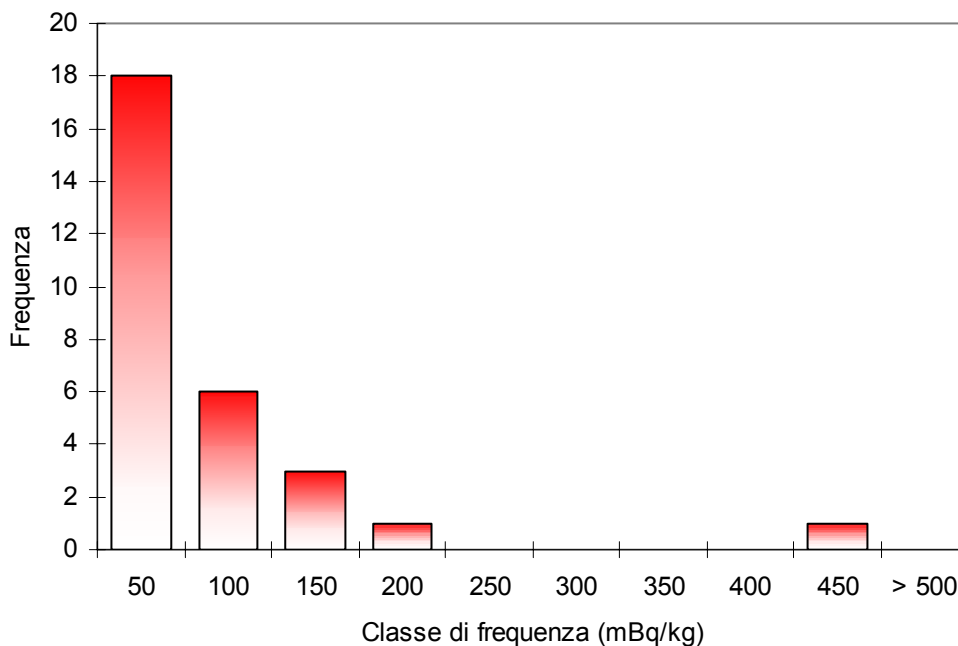
Id	Prot. interno	Comune	Tipo	Denominazione	Data prelievo	Attività α totale		Attività β totale		Attività ^{226}Ra	
						mBq/kg	\pm	mBq/kg	\pm	mBq/kg	\pm
1	050708	Bormio	Sorgente	Bocche d'Adda	19/09/05	14,9	7,5	-80		-1	
2	050709	Valfurva	Sorgente	Fosgina	15/09/05	13,6	7,3	-80		-1	
3	050714	Sondalo	Sorgente	Fontanaccia	23/09/05	55	14	95	56	-1	
4	050715	Valdidentro	Sorgente	Sas della Prada	23/09/05	415	76	109	59	21,3	3,5
5	050752	Chiavenna	Sorgente	Sorgente Capiola 7	26/09/05	-12		93	55	-1	
6	050753	Gordona	Sorgente	Cornello	27/09/05	60	15	-80		-1	
7	050754	Samolaco	Sorgente	Legarfoglio 1	29/09/05	105	22	92	55	-1	
8	050755	Samolaco	Sorgente	Sorgente Pilatti 1	29/09/05	75	17	85	55	-1	
9	050774	Dubino	Sorgente	Valle Marta 1	04/10/05	38	11	111	59	-1	
10	050775	Mello	Sorgente	Poira	03/10/05	-12		-80		-1	
11	050776	Valmasino	Sorgente	Sasso Remenno	03/10/05	-12		-80		-1	
12	050779	Morbegno	Sorgente	Serone	13/10/05	61	15	118	60	-2	
13	050780	Morbegno	Sorgente	Acquarosa	13/10/05	-12		82	54	-1	
14	050854	Chiuro	Pozzo	Latteria	24/10/05	121	25	138	64	-3	
15	050855	Fusine	Sorgente	Piscini	24/10/05	16,6	8,5	88	57	-2	
16	050856	Montagna in Valt.	Sorgente	Puladur	24/10/05	46	13	159	67	-1	
17	050866	Piateda	Sorgente	Vedello	24/10/05	-12		-80		-1	
18	050867	Piateda	Sorgente	Agnedà	24/10/05	-12		-80		-1	
19	050868	Sondrio	Sorgente	Ligari	26/10/05	45	13	82	56	-1	
20	050869	Sondrio	Sorgente	Bypass di Spriana	24/10/05	128	27	120	62	8,8	2,0
21	050893	Caspoggio	Sorgente	Casotto	02/11/05	-12		138	64	-1	
22	050894	Tovo S.Agata	Sorgente	Lot	31/10/05	34	11	91	57	-1	
23	050895	Vervio	Sorgente	Varadura	31/10/05	16,2	8,5	92	57	-1	
24	050901	Tirano	Sorgente	Piattamala	10/11/05	192	37	140	63	-2	
25	050902	Tirano	Sorgente	Trivigno	10/11/05	-12		-80		-2	
26	050707	Bormio	Erogazione	Fontana via Alberti	15/09/05	19,3	8,2	-80		-1	
27	050778	Morbegno	Erogazione	Fontana via dei Barai	13/10/05	-12		-80		-1	
28	050713	Sondalo	Erogazione	Fontana via Lambertenghi	23/09/05	94	20	88	52	-1	
29	050900	Tirano	Erogazione	Fontana via Porta Milanese	10/11/05	51	14	162	67	-2	

Tab. 6 – Risultati delle misure del contenuto di uranio totale, uranio-234 e uranio-238

Id	Prot. interno	Comune	Tipo	Denominazione	Attività Utot :		Attività ²³⁴ U		Attività ²³⁸ U		Rapporto ²³⁴ U/ ²³⁸ U	
					mBq/kg	±	mBq/kg	±	mBq/kg	±		±
1	050708	Bormio	Sorgente	Bocche d'Adda	10,4	1,6	5,5	1,6	5,0	1,5	1,10	0,46
2	050709	Valfurva	Sorgente	Fosgina	14,6	2,1	8,1	1,7	6,5	1,5	1,23	0,39
3	050714	Sondalo	Sorgente	Fontanaccia	50,8	5,9	25,6	3,2	25,2	3,1	1,01	0,18
4	050715	Valdidentro	Sorgente	Sas della Prada	418	46	219	24	199	22	1,10	0,17
5	050752	Chiavenna	Sorgente	Sorgente Capiola 7	9,4	1,8						
6	050753	Gordona	Sorgente	Cornello	67,8	7,8	33,0	4,0	34,8	4,2	0,95	0,16
7	050754	Samolaco	Sorgente	Legarfoglio 1	101	11	47,1	5,5	53,6	6,2	0,88	0,14
8	050755	Samolaco	Sorgente	Sorgente Pilatti 1	77,2	8,8	38,9	4,7	38,3	4,7	1,01	0,17
9	050774	Dubino	Sorgente	Valle Marta 1	32,2	3,9	16,1	2,2	16,2	2,2	1,00	0,19
10	050775	Mello	Sorgente	Poirà	6,9	1,3	3,1	0,7	3,7	0,8	0,83	0,26
11	050776	Valmasino	Sorgente	Sasso Remenno	2,7	0,9						
12	050779	Morbegno	Sorgente	Serone	66,9	7,7	34,5	4,5	32,4	4,3	1,07	0,20
13	050780	Morbegno	Sorgente	Acquarosa	4,5	1,0						
14	050854	Chiuro	Pozzo	Latteria	132	15	67,9	7,8	64,1	7,4	1,06	0,17
15	050855	Fusine	Sorgente	Piscini	6,2	1,2	3,1	0,7	3,2	0,7	0,97	0,31
16	050856	Montagna in Valt.	Sorgente	Puladur	45,3	5,3	22,5	3,2	22,7	3,2	0,99	0,20
17	050866	Piateda	Sorgente	Vedello	9,7	1,5	5,0	1,4	4,7	1,4	1,06	0,42
18	050867	Piateda	Sorgente	Agneda	5,1	1,1	2,6	1,1	2,6	1,1	1,00	0,60
19	050868	Sondrio	Sorgente	Ligari	45,5	5,3	22,6	3,1	23,0	3,2	0,98	0,19
20	050869	Sondrio	Sorgente	Bypass di Spriana	118	13	59,2	6,9	58,9	6,8	1,00	0,16
21	050893	Caspoggio	Sorgente	Casotto	6,8	1,3						
22	050894	Tovo S.Agata	Sorgente	Lot	35,7	4,3	17,5	2,3	18,1	2,4	0,97	0,18
23	050895	Vervio	Sorgente	Varadura	8,1	1,4	3,9	0,8	4,2	0,9	0,92	0,27
24	050901	Tirano	Sorgente	Piattamala	196	22	99	11	97	11	1,02	0,16
25	050902	Tirano	Sorgente	Trivigno	3,5	1,0						
26	050707	Bormio	Erogazione	Fontana via Alberti	10,6	1,7	6,1	1,1	4,5	0,9	1,35	0,35
27	050778	Morbegno	Erogazione	Fontana via dei Barai	5,1	1,1						
28	050713	Sondalo	Erogazione	Fontana via Lambertenghi	102	11	50,4	5,9	51,3	6,0	0,98	0,16
29	050900	Tirano	Erogazione	Fontana via Porta Milanese	52,2	6,1	26,6	3,3	25,6	3,2	1,04	0,18

A. Attività alfa totale

Il contenuto di attività alfa totale varia da valori inferiori alla sensibilità analitica, che è dell'ordine di 10 mBq/kg, fino ad un massimo di 415 mBq/kg; la media dei valori misurati (calcolata considerando cautelativamente come positivi i valori inferiori al limite di sensibilità) è uguale a 59 ± 82 mBq/kg; la funzione di distribuzione dei valori è mostrata nel grafico 1. La mappa (figura 3) presenta i risultati delle misure riportati su carta regionale.



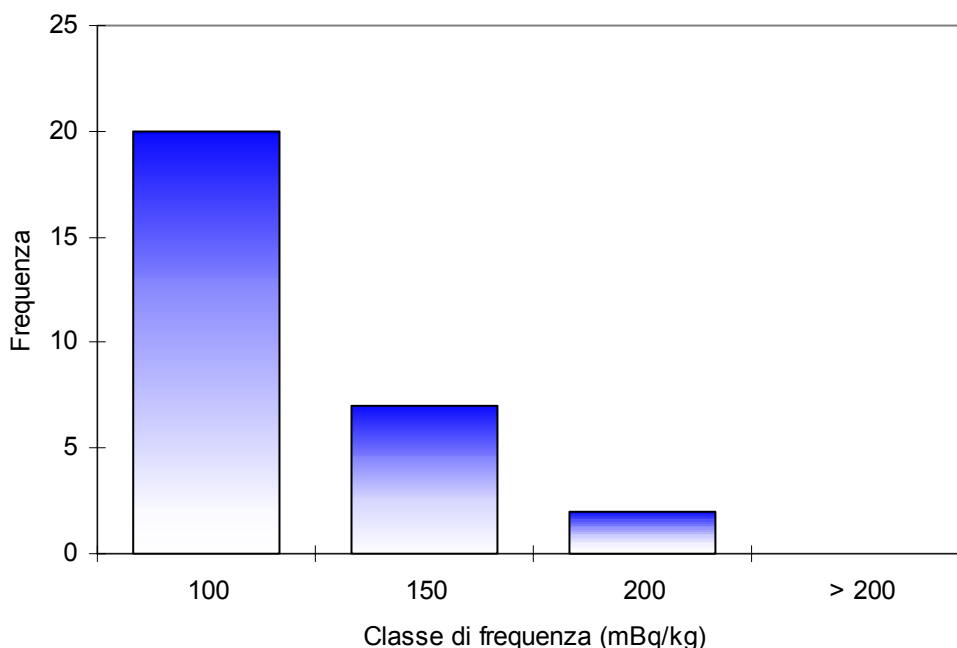
Graf. 1 – Attività alfa totale – Distribuzione dei valori di concentrazione

Il valore di riferimento di 100 mBq/kg è superato in 5 campioni su 29.

B. Attività beta totale e trizio

La concentrazione di trizio è sempre risultata minore del limite di sensibilità della metodica (< 5 Bq/kg), e quindi sempre abbondantemente inferiore al valore di parametro di 100 Bq/kg fissato dal D.L.vo 31/01.

Il contenuto di attività beta totale varia da valori inferiori al limite di sensibilità della metodica, che è uguale a 80 mBq/kg, fino ad un massimo di 162 mBq/kg; la media dei valori misurati (calcolata considerando cautelativamente come positivi i valori inferiori alla sensibilità analitica) è uguale a 99 ± 25 mBq/kg; la funzione di distribuzione dei valori è mostrata nel grafico 2. La mappa in figura 4 presenta i risultati delle misure riportati su carta regionale.



Graf. 2 – Attività beta totale – Distribuzione dei valori di concentrazione

Il valore di riferimento di 1 Bq/kg non è mai stato superato in nessuno dei campioni analizzati.

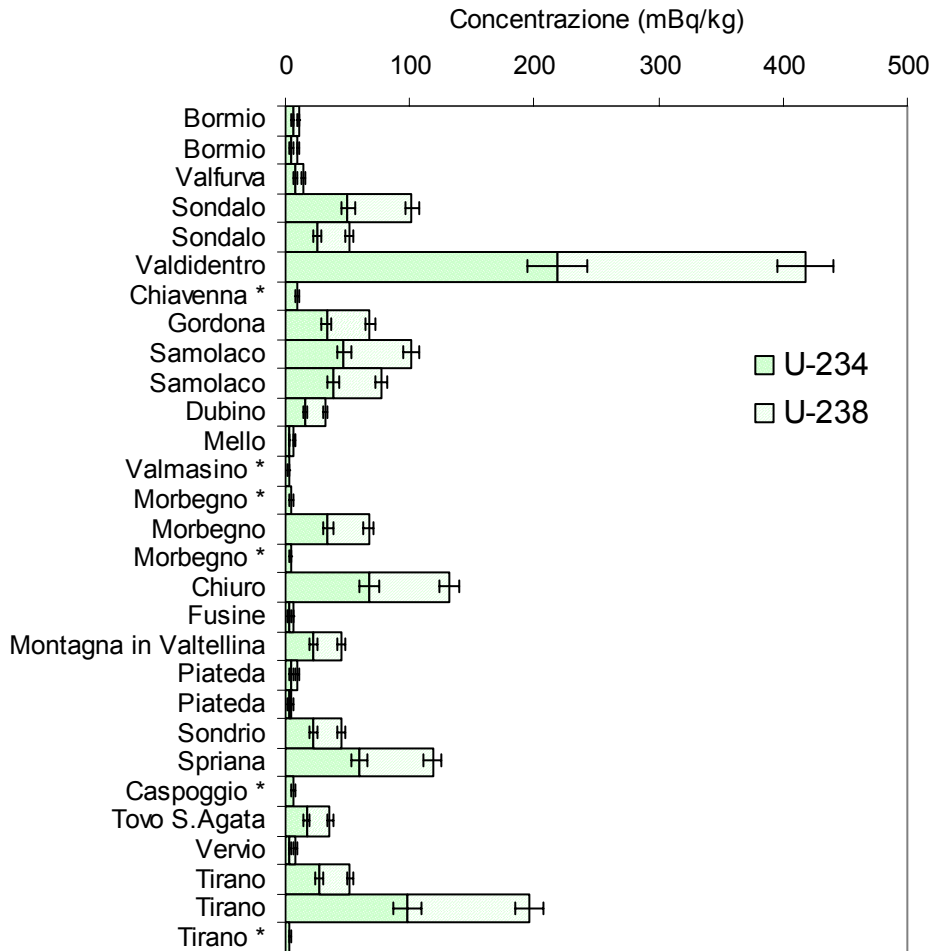
C. Radio-226

La concentrazione di ^{226}Ra è risultata sempre inferiore alla sensibilità della metodica, che è dell'ordine di 2 mBq/kg, con l'unica eccezione dei campioni prelevati in Valdidentro ($^{226}\text{Ra} = 21,3 \pm 3,5$ mBq/kg) e a Spriana ($^{226}\text{Ra} = 8,8 \pm 2,0$ mBq/kg). In fig. 5 vengono presentati i risultati delle misure riportati su carta regionale.

D. Uranio

La concentrazione di uranio totale ($^{234}\text{U} + ^{235}\text{U} + ^{238}\text{U}$) varia da un valore minimo di 3 ad un valore massimo di 418 mBq/kg; la media dei valori misurati è uguale a 57 ± 84 mBq/kg (fig. 6).

Il grafico 3 mostra i valori di concentrazione di uranio 234 ed uranio 238 misurati nei diversi campioni. Considerata l'incertezza delle determinazioni analitiche, il valore del rapporto $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ non è mai significativamente diverso da 1.



Graf. 3 – Concentrazione di uranio.

I dati contrassegnati da * rappresentano la concentrazione di uranio totale

E. Stime di dose

Le stime di dose totale indicativa sono state effettuate separatamente per la classe d'età lattanti (< 1 anno), bambini (7-12 anni) e adulti (> 17 anni) considerando la sola componente alfa, che sulla base dei dati attuali appare essere la più significativa e rilevante; il contributo della componente alfa è stato attribuito all'uranio (per il quale si è utilizzato cautelativamente il coefficiente di dose dell'uranio-234, che è il più elevato) ed al radio-226 (per il quale si è utilizzato cautelativamente il valore della sensibilità analitica anche nel caso di dati inferiori alla minima attività rivelabile).

I valori dei coefficienti di dose sono stati ricavati dal D.L.vo 230/95 e successive modifiche ed integrazioni; i valori del consumo annuale di acqua (tabella 7) sono stati ricavati dal Rapporto ISTISAN 00/16 [7].

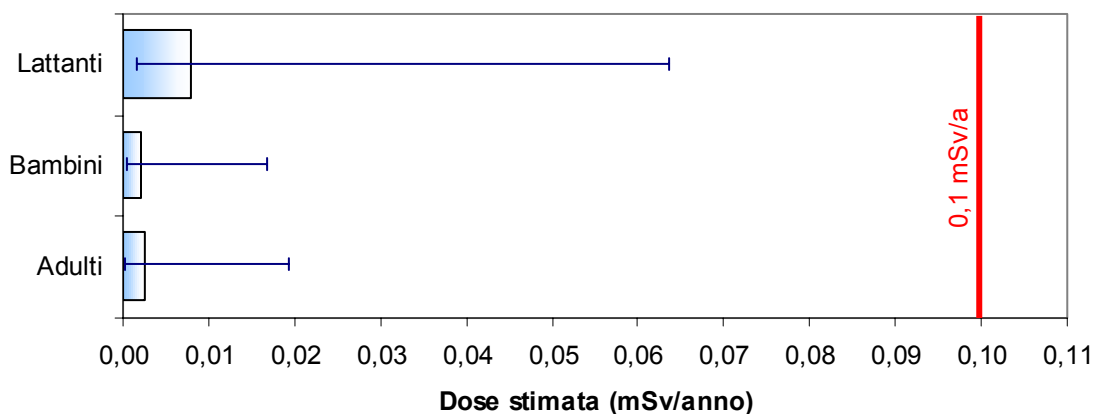
Tab. 7 – Consumo annuale d'acqua per classe d'età

	Classe d'età		
	Lattanti	Bambini	Adulti
Consumo medio annuo (litri/anno)	250	350	730

La tabella 8 riporta, per ogni classe di età, il valore medio, minimo e massimo di dose stimata. Gli stessi risultati sono presentati nel grafico 4, in cui per ogni classe d'età sono evidenziati il valore medio, minimo e massimo misurati, ed il confronto con il valore di parametro di 0,1 mSv/anno.

Tab. 8 – Stime di dose

Classe d'età	Dose stimata (mSv/anno)		
	Valore medio	Valore minimo	Valore massimo
Lattanti	0,0080	0,0015	0,064
Bambini	0,0021	0,0004	0,017
Adulti	0,0025	0,0003	0,019



Graf. 4 – Dose totale indicativa – Stime per classe d'età

Le dosi più elevate sono quelle relative alla classe d'età dei lattanti (< 1 anno), ed in questo caso il valore più alto misurato è pari circa a 2/3 di 0,1 mSv/anno.

Pur considerando tutte le indeterminazioni associate al calcolo della dose, e la possibilità che vi sia qualche ulteriore contributo di radionuclidi presenti in tracce, si ritiene improbabile che la dose totale indicativa superi in qualcuno dei campioni analizzati il valore di parametro di 0,1 mSv/anno fissato dal D.L.vo 31/01.

V. COMMENTI E CONCLUSIONI

La mappatura del contenuto di radionuclidi naturali nelle acque potabili della provincia di Sondrio ha evidenziato una notevole variabilità nel contenuto di radioattività naturale. La radioattività misurata è ascrivibile in larga parte agli isotopi dell'uranio analogamente a quanto riscontrato nelle altre località della Lombardia fin qui esaminate [11].

La maggior concentrazione di radioattività si è riscontrata nelle acque della sorgente denominata "Sass de la Prada" situata nel territorio comunale di Valdidentro. Questa scaturisce in prossimità di estesi affioramenti di rocce dolomitiche di colore grigio scuro altamente fratturate e fessurate. Tali caratteristiche geo-litologiche le rendono alquanto solubili con conseguente elevata lisciviazione delle sostanze da parte delle acque di circolazione idrica sotterranea (in base al loro chimismo dette acque sono classificabili come bicarbonato-magnesiache). Pertanto, seppur le rocce serbatoio in esame presentino concentrazioni in elementi radioattivi primordiali sicuramente inferiori a rocce ad esempio di tipo granitico, le loro particolari caratteristiche strutturali e tessiturali favoriscono l'accumulo ed il trasferimento degli elementi radioattivi nelle acque che vengono a contatto con le stesse rocce. Ciò è favorito anche dal fatto che il bacino di alimentazione idrica della sorgente è impostato in vicinanza di una linea di dislocazione tettonica d'importanza regionale denominata "linea dello Zembrù", presso la quale si originano peraltro le sorgenti termali dei Bagni Vecchi di Valdidentro che evidenziano significative concentrazioni di radon.

Ulteriori scostamenti nel contenuto di radioattività rispetto alla media riscontrata a livello provinciale sono stati rilevati nelle acque sorgive alimentate da una circolazione sotterranea impostata in rocce di tipo "granitico" (Legarfoglio e Pilatti), che si originano in ambiente carsico (Bypass di Spriana) o a contatto con un substrato roccioso altamente fratturato (Piattamala).

Concentrazioni misurabili di radio-226 sono state individuate solo nei due campioni che presentano la maggior concentrazione di radioattività (Sass de la Prada in Valdidentro e Spriana a Sondrio) e anche in questo caso la concentrazione del radio è inferiore di circa un ordine di grandezza a quella dell'uranio. La Valdidentro era stata oggetto di un dettagliato monitoraggio da parte del gruppo del Prof. Facchini (Università di Milano) [9] [10]. Tuttavia, i campioni che mostravano concentrazioni particolarmente elevate di ^{226}Ra si riferivano tutti ad acque ad esclusivo uso termale e non utilizzate nella distribuzione idrica locale. Generalmente è stato trovato un buon accordo relativamente agli altri dati riportati per la provincia di Sondrio e quelli determinati nel presente lavoro.

Da un punto di vista sanitario e radioprotezionistico non sono emerse particolari criticità relativamente alle acque esaminate: sebbene in alcuni casi sia stato superato il parametro di screening di 100 mBq/kg per l'attività alfa totale, in nessun caso è stato superato il valore di parametro di 0,1 mSv/anno per la dose totale indicativa. Il valore di riferimento per la concentrazione di trizio, stabilito in 100 Bq/kg, è rispettato in tutti i campioni analizzati.

Per quanto riguarda la tossicità chimica dell'uranio il valore indicativo di 15 $\mu\text{g/L}$ (o 186 mBq/L di ^{238}U) – vedi capitolo II A - non è mai superato tranne nel caso di Sass de la Prada, in cui la concentrazione di uranio è paragonabile, considerata l'incertezza sperimentale. Va rimarcato tuttavia che tale valore è provvisorio e ampiamente cautelativo.

VI. RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia per la collaborazione il Dipartimento di Prevenzione Medica dell'ASL di Sondrio per i prelievi dei campioni e Christian Stella del Dipartimento ARPA di Milano per la consulenza grafica.

VII. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Decreto Legislativo 2 febbraio 2001, n. 31 "Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alle acque destinate al consumo umano"; Supplemento ordinario alla G.U. n. 52, 3 marzo 2001
- [2] World Health Organization, Guidelines for drinking water quality, 2nd edition, 1 (1993), 2 (1996)
- [3] World Health Organization, Guidelines for drinking water quality, 3rd edition, 1 (2004)
- [4] C.R. Cothorn, P.A. Rebers "Radon, Radium and Uranium in Drinking Water" Lewis Publisher, 1991
- [5] J.K. Osmond and J.B. Cowart "Uranium Series Disequilibrium", 2^o Edition, Clarendon Press, Oxford, 1992
- [6] Raccomandazione della Commissione 2001/928/Euratom sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon nell'acqua potabile; Gazzetta ufficiale delle Comunità Europee n. L 344, 28 dicembre 2001
- [7] S. Risica and S. Grande, Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption: calculation of derived activity concentrations, Rapporto ISTISAN 00/16
- [9] S. Magnoni, R. Colombo, A. Ghedini "Misure di ²²⁶Ra e ²²²Rn in acque sorgive"- Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee- Nonantola 17-19 maggio 1995
- [10] U. Facchini, S. Magnoni, C. Dezzuto, M. Cantadori "Radon nelle acque di fonte nella pianura padana e in alcune vallate alpine" Acque Sotterranee pag 25, 38-21 (1993)
- [11] M. Forte, R. Rusconi "Acque potabili e radioattività- Risultati della prima campagna regionale per la misura del contenuto di radioattività nelle acque potabili lombarde" Relazione interna, ARPA Lombardia (2004)
- [12] R. Rusconi, M. Forte, G. Abbate, R. Gallini, G. Sgorbati "Natural radioactivity in bottled mineral waters: A survey in Northern Italy", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 260, No. 2 (2004)
- [13] UNI CEI ENV 13005, Guida all'espressione dell'incertezza di misura, Luglio 2000