



Agenzia Regionale  
per la Protezione dell'Ambiente  
della Lombardia

*Dipartimenti Provinciali di Milano e Bergamo*

# **ACQUE POTABILI E RADIOATTIVITA'**

Risultati della campagna di  
approfondimento nella provincia di  
Bergamo

Milano, luglio 2007



## INDICE

	Introduzione	pag. 3
I.	Acque potabili e radioattività	pag. 5
II.	Riferimenti normativi ed impostazione dei controlli	pag. 6
	A. Il D.L.vo 31/01	
	B. Impostazione dei controlli	
III.	Metodi di campionamento e misura	pag. 9
	A. Misura dell'attività alfa e beta totale e del trizio	
	B. Misura del radio-226	
	C. Misura dell'uranio	
	D. Misura del Radon-222	
	E. Misura dei parametri chimico-fisici	
IV.	Risultati	pag. 10
V.	Stime di dose e conclusioni	pag. 18
VI.	Ringraziamenti	pag. 19
VII.	Riferimenti bibliografici	pag. 20

*Documento predisposto da:*

*Rosella Rusconi, Maurizio Forte, Giuseppe Abbate, Pietro Badalamenti, Daniela Lunesu, Silvia Maltese*

*ARPA Lombardia – Dipartimento di Milano*

*Silvia Arrigoni, Guido Pezzerà, Marco Romanelli, Annamaria Cugini*

*ARPA Lombardia – Dipartimento di Bergamo*

## INTRODUZIONE

A partire dal 2003, in Lombardia sono state effettuate varie campagne per il controllo della radioattività naturale nelle acque ad uso potabile in collaborazione tra l'ARPA e la Regione Lombardia - Direzione Generale Sanità. La prima fase ha portato ad una mappatura preliminare delle acque potabili lombarde, evidenziando, seppur in modo sommario, variazioni anche marcate nella distribuzione dei radionuclidi naturali in relazione alle diverse aree geografiche. Nella programmazione di un successivo monitoraggio estensivo delle risorse idriche lombarde, si è dovuto tener conto della numerosità dei punti di captazione (oltre 7.000), oltre che della particolare onerosità delle indagini radiometriche (questo fatto limita notevolmente il numero di campioni analizzabili). Approfondimenti di indagine sono stati condotti pertanto in aree selezionate in base a specifici criteri di valutazione:

- Aree di densità abitativa particolarmente elevata (la città di Milano)
- Aree in cui era stato evidenziato un più elevato contenuto di radioattività (come l'area compresa tra Parabiago e il fiume Ticino e quella compresa tra Milano e Lodi)
- Aree geologicamente anomale o in cui la struttura del sottosuolo potesse far presupporre disomogeneità degli acquiferi e fenomeni localizzati di alte concentrazioni di radioattività (Oltrepo Pavese, Provincia di Sondrio).
- Bacini idrici superficiali utilizzati anche per la captazione di acqua potabile (lago di Garda)

I risultati di queste campagne di approfondimento sono stati presentati in precedenti relazioni. In nessun caso, finora, sono state riscontrate concentrazioni di radionuclidi tali da fare 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].

Nella presente indagine sono state considerate alcune località della val Brembana, nella Provincia di Bergamo. In quest'area, appartenente alla fascia prealpina e finora non esaminata, sono presenti diverse sorgenti utilizzate commercialmente per la produzione di acqua imbottigliata (ad es. San Pellegrino, Bracca, San Carlo Spinone, Limpia, Stella Alpina). Alcune di queste acque presentano contenuti significativi di radioattività. In alcuni casi, accanto alla presenza di isotopi dell'uranio, si è misurata una concentrazione di Radio-226 dello stesso ordine di grandezza (Tab. 1), che rappresenta un fenomeno piuttosto peculiare per la Lombardia; anche se le concentrazioni misurate nelle acque imbottigliate non sono tali da far presupporre rischi per il consumatore [4] [5], si è ritenuto opportuno approfondire la conoscenza della situazione locale affiancando considerazioni di ordine idrogeologico a nuovi prelievi e misure radiometriche.

Per quanto riguarda l'inquadramento litologico e idrogeologico si osserva in particolare quanto segue: l'acquifero che alimenta la sorgente S. Pellegrino è stato ampiamente studiato e risulta costituito da rocce dolomitiche, tettonicamente disturbate con conseguente fratturazione e carsismo dell'ammasso roccioso. Soprattutto l'acquifero che alimenta la sorgente termale è compartimentato e profondo. Anche l'acqua minerale è caratterizzata da una modesta geotermia che le conferisce una temperatura costante decisamente superiore alla temperatura media riscontrata nelle sorgenti della zona (12-15°). I valori di radioattività rilevati nell'acqua minerale si potrebbero giustificare con il contesto geologico ed in particolare con l'acclarata profondità dell'acquifero, che favorisce tempi di contatto più lunghi tra l'acqua e la matrice litologica.

La situazione così evidenziata trova riscontro nel contesto geologico, litologico (rocce dolomitiche) e strutturale (disturbi tettonici: faglie, piani di scorrimento, fatturazione dell'ammasso) in analogia con quanto rilevato nell'indagine di approfondimento sulla radioattività nelle acque potabili, analoga alla presente, svolta presso la sorgente di Sas della Prada in comune di Valdidentro (Sondrio).

Tab. 1 – Valori misurati in acque imbottigliate nella provincia di Bergamo

Prot.	Marca	Comune	$\alpha$ totale (mBq/kg)	$\beta$ totale (mBq/kg)	U totale (mBq/kg)	$^{238}\text{U}$ (mBq/kg)	$^{226}\text{Ra}$ (mBq/kg)
040140	San Pellegrino	San Pellegrino	$359 \pm 78$	< 215	$195 \pm 2$	$89 \pm 13$	$126 \pm 20$
030831	Bracca	Zogno	$265 \pm 65$	< 308	$220 \pm 5$	$95 \pm 2$	$81 \pm 13$
040723	San Carlo Spinone	Spinone al Lago	$27 \pm 10$	< 73	$31 \pm 4$	$11 \pm 3$	$1,4 \pm 1,0$
040813	Limpia	San Pellegrino	$33 \pm 11$	< 65	$37 \pm 4$	$17 \pm 2$	< 1,2
040640	Satella Alpina	Moio de Calvi	< 14	$76 \pm 54$	$6 \pm 4$	< 4	$3,6 \pm 1,3$

Gli acquiferi delle sorgenti destinate all'imbottigliamento sono normalmente distinti dalla falda utilizzata per la pubblica distribuzione. Tuttavia il contesto litologico è sempre determinato dalla presenza di dolomie (Dolomia principale di età norica) che conferiscono all'acqua una mineralizzazione Ca, Mg, bicarbonato-carbonatica e la presenza di ione  $\text{SO}_4$  è attribuibile alla formazione di S. Giovanni Bianco (d'ambiente deposizionale evaporitico con presenza di lenti gassose  $\text{Ca SO}_4$  di età carnica).

La presenza di ione solfato è facilmente correlabile alla lisciviazione di rocce appartenenti alla formazione di S. Giovanni Bianco.

Detta litologia ha favorito l'impilamento delle masse carbonatico-dolomitiche nelle varie fasi orogenetiche fungendo da lubrificante per le caratteristiche geomeccaniche.

La presenza di ione solfato può essere correlabile ad una circolazione idrica relativamente più profonda rispetto ad acque con tenori di solfati nella media relativa alla zona di appartenenza (12-15 mg  $\text{SO}_4$  /litro).

In linea di principio a circolazioni più profonde potrebbe corrispondere un'acqua più ricca di radioisotopi, tuttavia questa ipotesi non è stata suffragata dalle indagini e dalle analisi statistiche sino ad ora condotte, fatto questo confermato anche dalla letteratura scientifica.

Nella presente indagine si è ritenuto opportuno analizzare le acque potabili di rete captate nei comuni più prossimi ai punti di captazione delle sorgenti per l'imbottigliamento, allo scopo di appurarne le caratteristiche radiometriche e di valutare la dose alla popolazione associata al consumo di acqua potabile.

In questa relazione vengono presentati e discussi i dati ottenuti.

## I. ACQUE POTABILI E RADIOATTIVITA'

L'acqua utilizzata a scopo potabile contiene, normalmente, sostanze radioattive di origine naturale. In casi specifici (contaminazione della falda) può contenere anche sostanze radioattive di origine artificiale.

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 in alcune acque di falda lombarde, 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 e in rocce vulcaniche. 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 o allo scavo di pozzi e canali di drenaggio.

Il contenuto di 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.

Il problema della presenza di sostanze radioattive naturali nelle acque potabili non può essere trascurato perché, per quanto non dovute a fenomeni di inquinamento antropico, possono costituire un rischio per la salute.

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 del 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 2.

Tab. 2 – 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. 3 – 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  $^{238}\text{U}$ , valore 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. 4) non siano emerse anomalie relativamente ai punti rete monitorati in provincia di Bergamo (Bergamo città, Treviglio e Clusone), se paragonati alla media regionale, si è ritenuto comunque utile effettuare una campagna di approfondimento relativa alla Val Brembana, ed in particolare nel comune di San Pellegrino e dintorni (Tab. 5) in relazione ai valori di radioattività riscontrati in alcune acque imbottigliate prodotte nella zona, come specificato nell'introduzione.

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.

Tab. 4 – Risultati delle misure in provincia di Bergamo nel corso della campagna regionale 2004

Prot. interno	Comune	Att. $\alpha$ tot (mBq/kg)	$\pm$	Att. $\beta$ tot (mBq/kg)	$\pm$	Att. $^{226}\text{Ra}$ (mBq/kg)	$\pm$
040125	Treviglio	57	15	48	41	-2,8	-
040126	Bergamo	17	8,4	-48		-2,8	-
040127	Clusone	9	7,2	-48		-2,8	-

Tab. 5 – Elenco delle località in cui sono stati eseguiti i campionamenti

	Prot. interno	Data prelievo	Comune	Località	Punto di prelievo	Sorgente	Codice
1	060160	14/03/2006	Camerata Cornello	Brembella	Fontana pubblica	Piazzo e Valsecca	RE016048XU0002
2	060161	14/03/2006	Camerata Cornello	Orbrembo	Fontana pubblica	Fontanino Freddo, Valsecca, Pozzi	RE016048XU0005
3	060162	14/03/2006	Dossena	Capoluogo	Fontana pubblica	Acqua Dura, Monte Rocco, Piazza, Bretta	RE016092XU0001
4	060163	14/03/2006	Dossena	Molini	Abit. privata	Salina	RE016092XU0002
5	060186	23/03/2006	S.Pellegrino Terme	Ripa	Abit. privata	Castello	RE016190XU0005
6	060187	23/03/2006	S.Pellegrino Terme	Monte Zucco	Ditta Avogadro	Foppette, Picchetto	RE016190XU0006
7	060188	23/03/2006	S.Pellegrino Terme	Capoluogo	Fontana pubblica	Boione	RE016190XU0003
8	060226	28/03/2006	S. Giovanni Bianco	Pianca	Fontana pubblica	Naselli media	RE016188XU0001
9	060227	28/03/2006	S.Giovanni Bianco	Oneta	Fontana pubblica	Bastioni	RE016188XU0002
10	060228	28/03/2006	S.Giovanni Bianco	Capoluogo	Rete pubblica	Bastioni, Acqua della Fame	RE016188XU010
11	060229	24/03/2006	S.Giovanni Bianco	Cornalita Bassa	Fontana pubblica	Bastioni, Acqua della Fame	RE016188XU0004
12	060230	04/04/2006	Zogno	Spino al Brembo	Scuola materna	Val Morasca	RE016246XU0004
13	060231	04/04/2006	Zogno	Capoluogo	Ditta M.V.B.	Amoc	RE016246XU0008
14	060232	04/04/2006	Zogno	San Cipriano	Abit. privata	Miniera	RE016246XU0009
15	060233	04/04/2006	Zogno	Camissinone	Fontana pubblica	Camissinone	RE016246XU0010



### 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 dell'Azienda Sanitaria Locale di Bergamo e consegnati entro il minor tempo possibile al Dipartimento ARPA di Milano per le analisi radiometriche e chimiche.

Il prelievo e la determinazione del radon-222 sono stati a cura del Dipartimento di Bergamo.

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 [9], 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  $^{226}\text{Ra}$  è stato misurato per scintillazione liquida mediante una procedura messa a punto da ARPA Lombardia e precedentemente descritta [9] che presuppone la misura indiretta del radionuclide mediante la quantificazione del  $^{222}\text{Rn}$  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 [9].

#### D. Misura del Radon-222

La concentrazione del radon disciolto in acqua è stata misurata in due campioni per ogni punto di prelievo, con la tecnica della scintillazione liquida in doppia fase, seguendo il metodo EPA n° 913 del 1991.

#### E. Misura dei parametri chimico-fisici

I sottoriportati parametri chimico-fisici delle acque (Tab. 8 e 9) sono stati tutti determinati dalla U.O. Laboratorio del Dipartimento ARPA di Milano con le tecniche normalmente impiegate per le misure di "routine allargata".

#### IV. RISULTATI

I risultati delle misure di attività alfa totale, beta totale, uranio e radio-226 sono riportati nella tabelle 6 e 7. L'incertezza di misura è espressa in termini di incertezza estesa ed è stata valutata secondo le indicazioni della norma UNI CEI ENV 13005 [10]. 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 la concentrazione di trizio è sempre risultata minori del limite di sensibilità della metodica (< 5 Bq/kg), e quindi sempre abbondantemente inferiori al valore di parametro di 100 Bq/kg fissato dal D.L.vo 31/01.

Il contenuto di attività alfa totale varia da valori inferiori alla sensibilità analitica, che è dell'ordine di 15 mBq/kg, fino ad un massimo di 158 mBq/kg (Fig. 1). Supera il valore di riferimento di 100 mBq/kg (o 0,1 Bq/L, vedi Tab.3) solo in due casi; entrambi questi prelievi sono stati effettuati nel comune di Zogno.

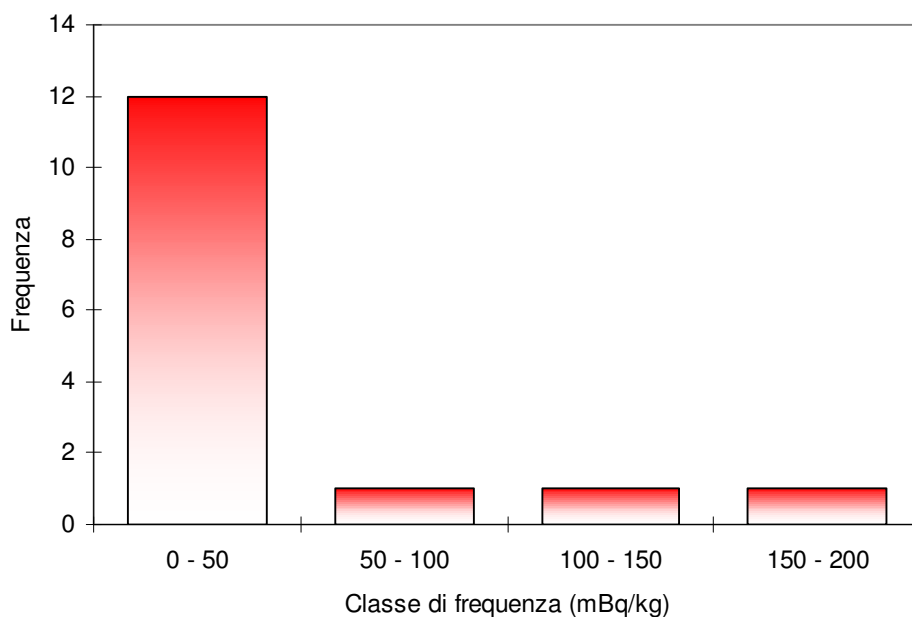


Fig. 1 – Attività alfa totale – Distribuzione dei valori di concentrazione

Il contenuto di attività beta totale (Fig. 2) è superiore al limite di sensibilità della metodica solo in un caso (135 mBq/kg), largamente inferiore al valore di riferimento di 1000 mBq/kg (o 1 Bq/L), vedi Tab. 3.

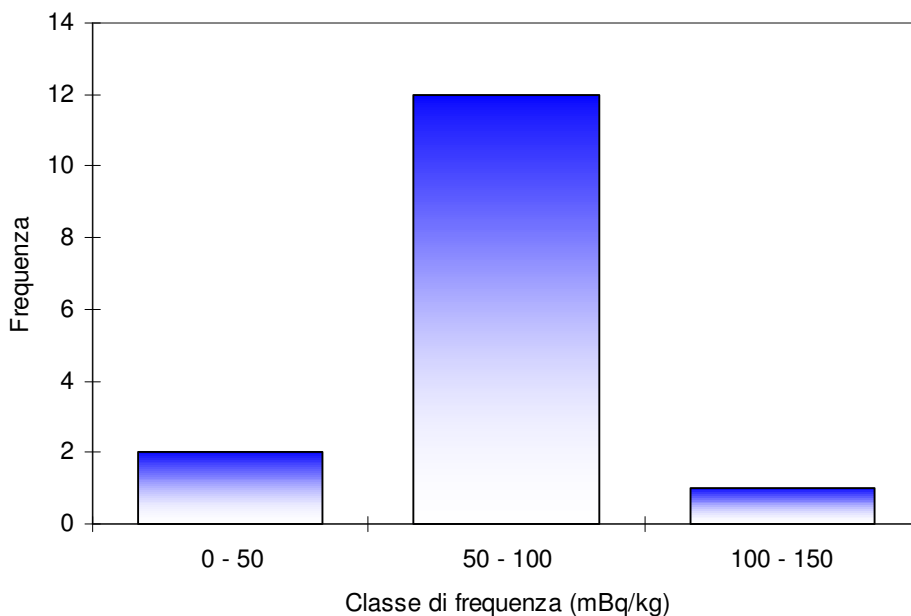


Fig. 2 – Attività beta totale – Distribuzione dei valori di concentrazione

La concentrazione di  $^{226}\text{Ra}$  (Fig. 3) è risultata nella maggior parte dei casi inferiore alla sensibilità della metodica, che è dell'ordine di 2 mBq/kg. I valori più elevati (peraltro modesti: 7,2 e 5,3 mBq/kg) sono stati riscontrati nel comune di Zogno.

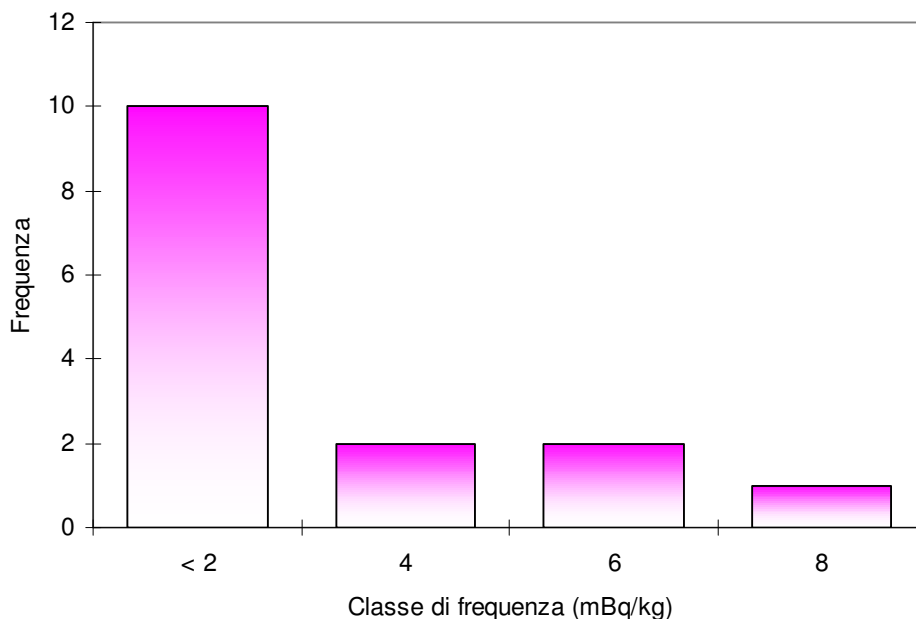


Fig. 3 – Radio 226 – Distribuzione dei valori di concentrazione

La concentrazione di uranio totale ( $^{234}\text{U} + ^{235}\text{U} + ^{238}\text{U}$ ) varia da un valore minimo di 11 ad un valore massimo di 147 mBq/kg. ; la media dei valori misurati è uguale a  $57 \pm 84$  mBq/kg (Fig. 4).

Considerata l'incertezza delle determinazioni analitiche, il valore del rapporto  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  è significativamente diverso da 1 solo in pochi casi, di cui due sempre riferiti ai due campioni di Zogno che presentano le attività assolute maggiori.

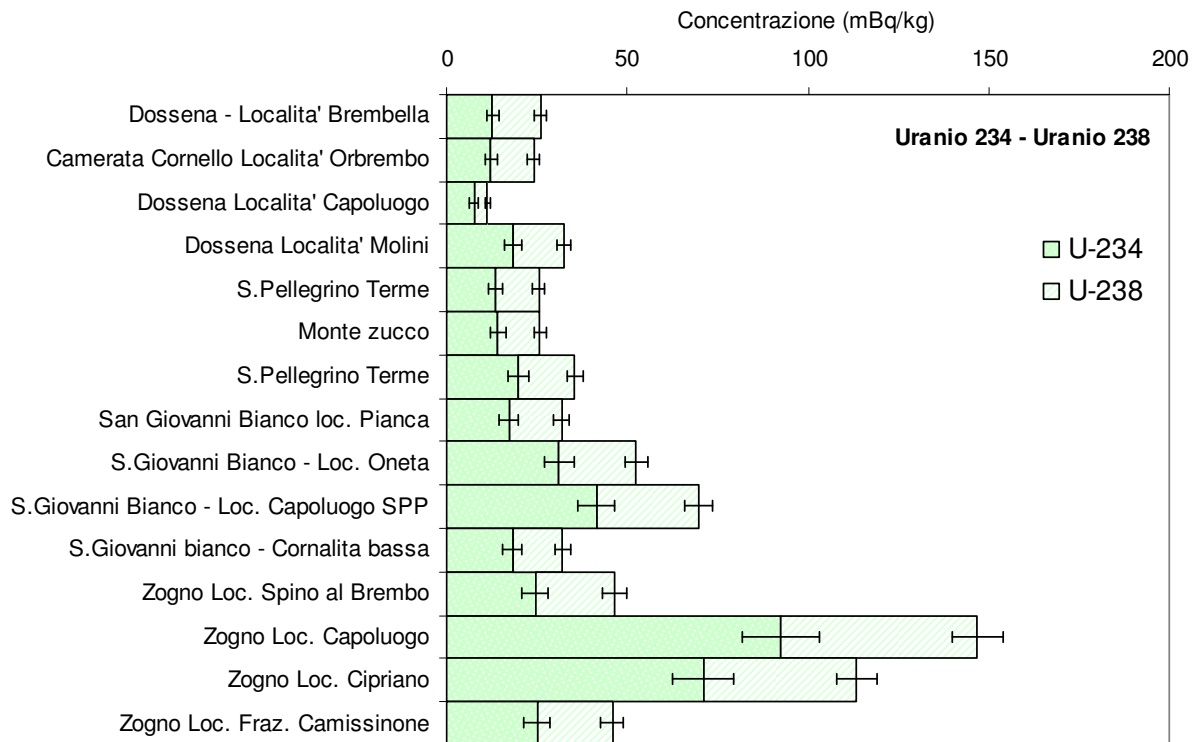


Fig. 4 – Concentrazione di Uranio

Nella tabella 8 sono riportati i risultati delle misure di radon-222 disciolto nell'acqua: in generale i valori sono piuttosto bassi, inferiori a 20 Bq/l.

I due valori più elevati sono stati riscontrati nei campioni prelevati a S. Giovanni Bianco (Acqua della fame) e, ancora una volta, Zogno (Camissinone).

Nelle tabelle 9 e 10 vengono riportati i parametri chimico-fisici delle acque. Si può notare che la concentrazione salina non è particolarmente elevata (residuo fisso < 500 mg/L).

Tab. 6– Risultati delle misure del contenuto di attività alfa totale, beta totale e radio-226

Prot. interno Comune			Att. $\alpha$ tot (mBq/kg)	$\pm$	Att. $\beta$ tot (mBq/kg)	$\pm$	Att. $^{226}\text{Ra}$ (mBq/kg)	$\pm$
1	060160	Camerata Cornello	<b>35</b>	12	<b>-55</b>		<b>-1,7</b>	
2	060161	Camerata Cornello	<b>26</b>	10	<b>-50</b>		<b>-1,6</b>	
3	060162	Dossena	<b>-15</b>		<b>-50</b>		<b>-1,6</b>	
4	060163	Dossena	<b>32</b>	11	<b>-50</b>		<b>-1,6</b>	
5	060186	S.Pellegrino Terme	<b>31</b>	11	<b>-52</b>		<b>-1,7</b>	
6	060187	S.Pellegrino Terme	<b>24</b>	10	<b>-52</b>		<b>-1,7</b>	
7	060188	S.Pellegrino Terme	<b>24</b>	10	<b>-53</b>		<b>-1,7</b>	
8	060226	S. Giovanni Bianco	<b>36</b>	12	<b>135</b>	62	<b>4,7</b>	1,5
9	060227	S.Giovanni Bianco	<b>49</b>	14	<b>-54</b>		<b>3,2</b>	1,3
10	060228	S.Giovanni Bianco	<b>67</b>	17	<b>-50</b>		<b>2,1</b>	1,1
11	060229	S.Giovanni Bianco	<b>36</b>	12	<b>-54</b>		<b>-1,8</b>	
12	060230	Zogno	<b>24</b>	11	<b>-60</b>		<b>-2,0</b>	
13	060231	Zogno	<b>138</b>	29	<b>-54</b>		<b>7,2</b>	1,8
14	060232	Zogno	<b>158</b>	33	<b>-60</b>		<b>5,3</b>	1,6
15	060233	Zogno	<b>37</b>	12	<b>-63</b>		<b>-1,8</b>	

Tab. 7 – Risultati delle misure del contenuto di uranio totale, uranio-234 e uranio-238

Prot. interno Comune			Att. <sup>234</sup> U (mBq/kg)	±	Attività <sup>238</sup> U (mBq/kg)	±	Att. U tot (mBq/kg)	±	<sup>234</sup> U/ <sup>238</sup> U	±
1	060160	Camerata Cornello	<b>12,8</b>	1,7	<b>13,1</b>	1,8	<b>25,9</b>	3,2	<b>0,97</b>	0,18
2	060161	Camerata Cornello	<b>12,2</b>	1,7	<b>11,9</b>	1,7	<b>24,0</b>	3,0	<b>1,02</b>	0,20
3	060162	Dossena	<b>7,6</b>	1,3	<b>3,75</b>	0,82	<b>11,3</b>	1,7	<b>2,01</b>	0,55
4	060163	Dossena	<b>18,3</b>	2,4	<b>14,2</b>	1,9	<b>32,4</b>	3,9	<b>1,29</b>	0,24
5	060186	S.Pellegrino Terme	<b>13,6</b>	1,9	<b>11,9</b>	1,7	<b>25,5</b>	3,2	<b>1,14</b>	0,22
6	060187	S.Pellegrino Terme	<b>14,3</b>	2,0	<b>11,5</b>	1,7	<b>25,7</b>	3,2	<b>1,24</b>	0,25
7	060188	S.Pellegrino Terme	<b>20,0</b>	2,8	<b>15,6</b>	2,4	<b>35,6</b>	4,3	<b>1,28</b>	0,27
8	060226	S. Giovanni Bianco	<b>17,4</b>	2,7	<b>14,3</b>	2,4	<b>31,7</b>	3,8	<b>1,21</b>	0,27
9	060227	S.Giovanni Bianco	<b>31,2</b>	4,0	<b>21,2</b>	3,0	<b>52,4</b>	6,1	<b>1,47</b>	0,28
10	060228	S.Giovanni Bianco	<b>41,6</b>	5,1	<b>28,3</b>	3,8	<b>69,9</b>	8,0	<b>1,47</b>	0,27
11	060229	S.Giovanni Bianco	<b>18,3</b>	2,6	<b>13,6</b>	2,2	<b>32,0</b>	3,9	<b>1,34</b>	0,29
12	060230	Zogno	<b>24,7</b>	3,7	<b>21,6</b>	3,4	<b>46,3</b>	5,4	<b>1,14</b>	0,25
13	060231	Zogno	<b>92</b>	11	<b>54,6</b>	6,8	<b>147</b>	16	<b>2,69</b>	0,45
14	060232	Zogno	<b>71,1</b>	8,5	<b>42,4</b>	5,5	<b>114</b>	13	<b>1,68</b>	0,30
15	060233	Zogno	<b>25,1</b>	3,7	<b>20,8</b>	3,3	<b>45,9</b>	5,4	<b>1,21</b>	0,26

Tab. 8 – Risultati delle misure del contenuto di radon-222 –  
valori medi su due campioni per punto di prelievo

	<b>N° registro</b>	<b>Località (fraz)</b>	<b>Sorgente</b>	<b>(Rn) Bq/l</b>
1	1159	Camerata Cornello (Brembella)	Piazza-Valsecca	1,3 +/- 0,1
2	1160	Camerata Cornello (Ombrembo)	Freddo- Valsecca- Pozzi	0,6 +/- 0,3
3	1161	Dossena	Dura-Zucco- Piazza- Bretta	3,4 +/- 0,2
4	1162	Dossena (Molini)	Salina	11,8 +/- 1,0
5	1385	S.Pellegrino (Ripa)	Castello	6,6 +/- 0,6
6	1386	S.Pellegrino (Monte Zucco)	Foppette-Picchetto	7,0 +/- 0,7
7	1387	S.Pellegrino	Boione	7,1 +/- 0,7
8	1433	S.Giovanni Bianco (Pianca)	Naselli media	7,0 +/- 0,3
9	1434	S.Giovanni Bianco	Bastioni- Acqua della fame	6,8 +/- 0,2
10	1435	S.Giovanni Bianco (Oneta)	Bastioni	2,8 +/- 0,7
11	1436	S.Giovanni Bianco (Cornalita Bassa)	Acqua della fame	17,3 +/- 0,2
12	1535	Zogno (Spino)	Val Moresca	2,6 +/- 0,1
13	1536	Zogno	AMAC	8,1 +/- 0,9
14	1537	Zogno (S.Cipriano)	Miniera	1,5 +/- 0,5
15	1538	Zogno (Camissinone)	Camissinone	15,4 +/- 0,2

Tab. 9 – Risultati misure chimico-fisiche

	<b>Prot. interno</b>	<b>Comune</b>	<b>Località</b>	<b>RGA</b>	<b>pH</b>	<b>Conducib. mS/cm</b>	<b>Res. Fisso mg/L</b>	<b>Durezza °F</b>	<b>Ossidab. mg/L O<sub>2</sub></b>
1	060160	Camerata Cornello	Brembella	1194	8,4	331	248	14,5	0,97
2	060161	Camerata Cornello	Orbrembo	1195	8,5	277	208	12,3	0,83
3	060162	Dossena	Capoluogo	1196	7,9	377	283	17,3	0,37
4	060163	Dossena	Molini	1197	8,3	351	263	16,6	0,45
5	060186	S.Pellegrino Terme	Ripa	1412	8,1	487	365	25,1	0,48
6	060187	S.Pellegrino Terme	Monte Zucco	1413	8,2	383	287	20,4	0,32
7	060188	S.Pellegrino Terme	Capoluogo	1414	8,1	386	290	20,6	0,40
8	060226	S. Giovanni Bianco	Pianca	1884	7,8	601	451	32,2	0,64
9	060227	S.Giovanni Bianco	Oneta	1885	8,2	275	206	15,0	0,24
10	060228	S.Giovanni Bianco	Capoluogo	1886	8,1	275	206	14,8	0,24
11	060229	S.Giovanni Bianco	Cornalita Bassa	1887	8,2	339	254	18,8	0,32
12	060230	Zogno	Spino al Brembo	2611	8,3	368	276	21,4	0,51
13	060231	Zogno	Capoluogo	2612	8,3	454	340	26,7	0,29
14	060232	Zogno	San Cipriano	2613	8,3	441	331	24,6	0,27
15	060233	Zogno	Camissinone	2614	8,1	473	355	28,4	0,58



Tab. 10 – Risultati analisi chimiche

Prot. interno	Comune	NH <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	060160	Camerata Cornello	<0,02	0,2	0,1	37,1	12,8	5	< 10	<0,01	2,5	0,4	12,6	0,018	195
2	060161	Camerata Cornello	<0,02	0,1	<0,1	30,3	11,6	<5	< 10	<0,01	4,6	0,4	9,7	0,021	159
3	060162	Dossena	<0,02	1,2	0,9	65,4	2,3	<5	< 10	<0,01	4,9	1,3	8,6	0,024	226
4	060163	Dossena	<0,02	0,5	0,1	40,5	15,8	<5	< 10	<0,01	6,8	0,8	16,7	0,028	201
5	060186	S.Pellegrino Terme	<0,02	1,1	0,2	60,6	24,3	<5	< 10	<0,01	6,7	1,3	50,3	0,042	250
6	060187	S.Pellegrino Terme	<0,02	0,9	0,1	43,7	23,2	<5	< 10	<0,01	7,6	1,1	8,2	0,044	232
7	060188	S.Pellegrino Terme	<0,02	1,0	0,3	46,3	22,0	<5	< 10	<0,01	4,9	1,0	6,1	0,045	244
8	060226	S. Giovanni Bianco	<0,02	2,2	3,4	76,0	32,2	<5	< 10	<0,01	14,9	5,1	50,2	0,044	305
9	060227	S.Giovanni Bianco	<0,02	0,6	0,1	32,7	16,6	<5	< 10	<0,01	2,3	0,3	5,6	0,046	165
10	060228	S.Giovanni Bianco	<0,02	1,1	0,1	32,0	16,5	<5	< 10	<0,01	2,0	0,4	5,6	0,032	165
11	060229	S.Giovanni Bianco	<0,02	0,9	0,1	39,8	21,6	<5	< 10	<0,01	7,4	1,0	5,7	0,023	207
12	060230	Zogno	<0,02	1,2	0,2	41,7	26,7	<5	< 10	<0,01	4,1	1,2	4,7	0,040	232
13	060231	Zogno	<0,02	1,3	0,3	53,9	32,2	<5	< 10	<0,01	1,3	1,5	21,0	0,047	268
14	060232	Zogno	<0,02	2,0	0,3	45,3	32,4	<5	< 10	<0,01	1,4	1,6	21,3	0,052	268
15	060233	Zogno	<0,02	1,5	0,2	53,6	36,6	<5	< 10	<0,01	3,9	1,7	7,1	0,066	305

## V. STIME DI DOSE E CONCLUSIONI

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 10) sono stati ricavati dal Rapporto ISTISAN 00/16 [7].

Tab. 11 – Consumo annuale d'acqua per classe d'età

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

La tabella 11 riporta, per ogni classe di età, il valore di dose stimata.

Tab. 12 – Stime di dose

	Prot. interno	Comune	Località	Dose totale adulti (mSv/anno)	Dose totale bambini (mSv/anno)	Dose totale lattanti (mSv/anno)
1	060160	Camerata Cornello	Brembella	0,0012	0,0011	0,0044
2	060161	Camerata Cornello	Orbrembo	0,0012	0,0010	0,0040
3	060162	Dossena	Capoluogo	0,0007	0,0007	0,0029
4	060163	Dossena	Molini	0,0014	0,0013	0,0048
5	060186	S.Pellegrino Terme	Ripa	0,0012	0,0011	0,0043
6	060187	S.Pellegrino Terme	Monte Zucco	0,0012	0,0011	0,0043
7	060188	S.Pellegrino Terme	Capoluogo	0,0016	0,0014	0,0052
8	060226	S. Giovanni Bianco	Pianca	0,0021	0,0021	0,0084
9	060227	S.Giovanni Bianco	Oneta	0,0025	0,0022	0,0085
10	060228	S.Giovanni Bianco	Capoluogo	0,0028	0,0023	0,0087
11	060229	S.Giovanni Bianco	Cornalita Bassa	0,0015	0,0013	0,0050
12	060230	Zogno	Spino al Brembo	0,0020	0,0017	0,0064
13	060231	Zogno	Capoluogo	0,0066	0,0057	0,0216
14	060232	Zogno	San Cipriano	0,0050	0,0043	0,0164
15	060233	Zogno	Camissinone	0,0019	0,0016	0,0062

Il valore medio, minimo e massimo delle dosi in tabella 11 sono riportati nel grafico in figura 5, nel quale sono confrontati con il valore di parametro di 0,1 mSv/anno.

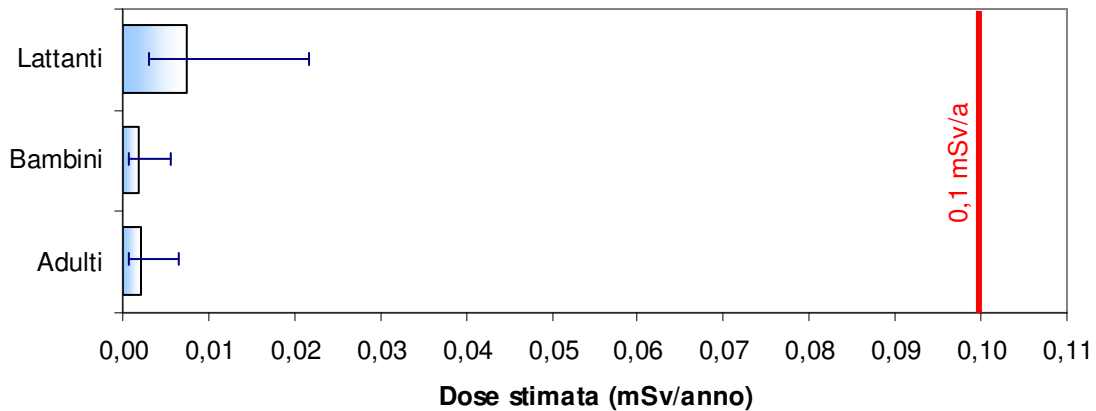


Fig. 5 – Dose totale indicativa – Stime per classe d'età

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 1/5 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, la dose totale indicativa non supera in nessuno dei campioni analizzati il valore di parametro di 0,1 mSv/anno fissato dal D.L.vo 31/01.

## VI. RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano per la collaborazione l'ASL di Bergamo per i prelievi dei campioni e la U.O. Laboratorio del Dipartimento ARPA di Milano per le analisi chimico-fisiche.

## 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, 2<sup>nd</sup> edition, 1 (1993), 2 (1996)
- [3] World Health Organization, Guidelines for drinking water quality, 3<sup>rd</sup> 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° 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
- [8] 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)
- [9] 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)
- [10] UNI CEI ENV 13005, Guida all'espressione dell'incertezza di misura, Luglio 2000