



Agenzia Regionale
per la Protezione dell'Ambiente
della Lombardia

Dipartimento sub-provinciale Città di Milano e Melegnano
Dipartimento sub-provinciale di Parabiago

RAPPORTO DI INDAGINE

SUL CONTENUTO DI RADIOATTIVITA' NATURALE

NELLE ACQUE DI FALDA DEL DISTRETTO DI PARABIAGO

Documento predisposto da:

Maurizio Forte, Rosella Rusconi, Silvia Bellinzona e Rosina Gallini

ARPA Lombardia – Dipartimento sub-provinciale Città di Milano e Melegnano

Paola Panzeri, Michele Russo, Wanna Danieli e Anna Paola Gatti

ARPA Lombardia – Dipartimento sub-provinciale di Parabiago

RAPPORTO DI INDAGINE SUL CONTENUTO DI RADIOATTIVITA' NATURALE NELLE ACQUE DI FALDA DEL DISTRETTO DI PARABIAGO

- 1. Introduzione**
- 2. Caratterizzazione geologica dell'area**
 - 2.1. Lineamenti geologici generali**
 - 2.2. Lineamenti idrogeologici generali**
 - 2.3. Idrogeologia locale e criteri di scelta dei punti di campionamento**
- 3. Analisi radiometriche**
 - 3.1. Metodi di campionamento**
 - 3.2. Metodi di misura**
- 4. Analisi dei risultati**
 - 4.1. Analisi dei dati chimici e radiometrici**
 - 4.2. Applicazione di metodi statistici di indagine**
 - 4.3. Considerazioni geologiche sui dati raccolti**
 - 4.4. Stime di dose**
- 5. Conclusioni**
- 6. Ringraziamenti**
- 7. Bibliografia**
- 8. Allegati**

Tab. 1 Elenco dei pozzi oggetto di indagine e dei campioni prelevati

Tab. 2 Caratteristiche chimico-fisiche dei campioni

Tab. 3 Caratteristiche chimiche dei campioni

Tab. 4 Attività alfa totale, beta totale e uranio

Tab. 5 Attività ^{226}Ra e ^{222}Rn

Tab. 6 Matrice delle componenti ruotata

Tab. 7 Stime di dose

Tav. 1 Esito delle determinazioni radiometriche – 1[^] falda

Tav. 2 Esito delle determinazioni radiometriche – 2[^] falda

Tav. 3 Esito delle determinazioni radiometriche – 3[^] falda

Tav. 4 Attività alfa totale

Tav. 5 Uranio totale

Tav. 6 Rapporto $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$

Tav. 7 Ricostruzione paleografica del corso del fiume Ticino e del fiume Olona

1. Introduzione

Nell'ultimo trimestre del 2001 è stata avviata la prima campagna di monitoraggio radiometrico delle acque di rete in Lombardia realizzata mediante il prelievo e l'analisi, limitatamente alle attività alfa e beta totali, di campioni prelevati presso le tredici sedi ARPA lombarde.

Nel campione prelevato presso la sede di Parabiago erano stati misurati valori di attività nettamente superiori alla media lombarda, inoltre la ripetizione delle analisi aveva messo in evidenza una forte variabilità temporale dei parametri radiometrici.

Per questo motivo si è reso necessario un approfondimento volto a chiarire le origini di queste anomalie. Nel primo semestre del 2002 sono stati pertanto effettuati prelievi da ciascuno dei sette pozzi che afferiscono all'acquedotto di Parabiago; i risultati analitici sono stati riportati nelle note del 22/4/02 e 28/5/02. In sintesi era emerso che:

- l'origine della radioattività presente era comunque riconducibile a cause di origine naturale, e si escludeva qualunque ipotesi di inquinamento di origine antropico
- attività più alte della norma erano riscontrabili in tre pozzi su sette
- gli elevati valori di attività erano imputabili in modo preponderante alla presenza degli isotopi dell'uranio
- le concentrazioni di radon-222 e trizio risultavano nella norma

Noto che i contributi dei singoli pozzi alle acque erogate sono variabili in dipendenza delle esigenze gestionali della rete acquedottistica, risultava altresì spiegata la variabilità nel tempo delle attività dei campioni prelevati nel punto di erogazione finale della sede ARPA.

Le valutazioni effettuate ai sensi del D.L.vo 31/01 sulla qualità delle acque destinate al consumo umano non evidenziavano in nessun caso il superamento del valore di parametro indicato per la dose impegnata (0,1 mSv/anno – classe d'età considerata: adulti). Si evidenziava tuttavia la necessità di approfondire l'indagine al fine di raffinare le stime di dose e di comprendere l'estensione territoriale e l'origine del fenomeno.

Nella terza campagna, oggetto della presente relazione ed i cui risultati analitici sono già stati trasmessi al Dipartimento ARPA competente, sono stati effettuati prelievi in 20 pozzi ubicati a Parabiago (ripetendo le analisi precedentemente effettuate sui 7 pozzi cittadini) e nei comuni limitrofi di Inveruno, Legnano, Lainate, Cerro Maggiore, Rho, Rescaldina e Marcallo con Casone. Sui campioni prelevati sono state effettuate presso il dipartimento ARPA di Milano analisi radiometriche (attività alfa e beta totale, concentrazione degli isotopi dell'uranio, del radio-226 e del radon-222) e chimiche (tipo C3); sono stati inoltre annotati i dati relativi ai pozzi (profondità e falda di captazione).

Questa relazione presenta i risultati ottenuti nell'indagine unitamente ad un approfondimento mediante l'uso di tecniche statistiche avanzate e ad un esame della geologia ed idrogeologia locale.

2. Caratterizzazione geologica dell'area

E' noto che la geologia della zona e la composizione petrografica dell'acquifero hanno un'influenza fondamentale sul contenuto di radioattività naturale nelle acque. La maggior parte degli elementi radioattivi disciolti, infatti, provengono dalla erosione delle rocce a contatto con l'acqua (Osmond, 1992). Nei seguenti paragrafi vengono discusse le più rilevanti caratteristiche geologiche della zona di indagine e degli acquiferi di interesse.

2.1. Lineamenti geologici generali

La storia deposizionale della Pianura Padana è stata caratterizzata da un susseguirsi di eventi trasgressivi e regressivi marini Miocenici seguiti, a partire dal Pliocene superiore – Pleistocene inferiore da una fase di ritiro del mare con sedimentazione di depositi di transizione da ambiente marino a continentale (piana costiera, deltizi, fluvio lacustri e alluvionali). L'Unità sedimentaria risultante viene attribuita da vari autori al Villafranchiano ("Argille sotto il Ceppo"). Si tratta di sedimenti a granulometria medio – fine costituiti da sabbie fini, limi, argille e torbe associati a condizioni deposizionali di acque tranquille.

Successivamente questa Unità è stata oggetto di un sollevamento tettonico con conseguente erosione delle parti sommitali e formazione di solchi vallivi poi riempiti con sedimenti continentali (ambiente fluviale a canali anastomizzati – Orombelli 1979) a granulometria medio grossolana definiti in letteratura come Ceppo autoctono (sinonimi di questa unità sono Ceppo Lombardo e Ceppo dell'Adda). Si tratta di arenarie e conglomerati in genere molto cementati.

Con il Pleistocene medio si assiste al susseguirsi di fasi glaciali ed interglaciali raggruppate convenzionalmente nelle tre fasi denominate Mindel, Riss e Wurm, che diedero luogo alla formazione di una vasta coltre di sedimenti glaciali nelle aree pedemontane (depositi morenici) e fluvio glaciali nella media e bassa pianura. Questi ultimi si presentano come una alternanza di sedimenti a stratificazione sub-orizzontale e granulometria decrescente in senso Nord – Sud.

Alla sommità dei depositi derivati dalla ultima glaciazione wurmiana, si rinvengono sedimenti ghiaioso – ciottoloso - sabbiosi costituenti le alluvioni antiche che si estendono in corrispondenza dei corsi d'acqua principali ad una quota topografica più bassa rispetto ai depositi fluvio glaciali wurmiani.

In corrispondenza degli attuali corsi d'acqua si ritrovano depositi ghiaioso – sabbiosi con lenti di argilla e limo che rappresentano le alluvioni recenti.

2.2. Lineamenti idrogeologici generali

Al fine di caratterizzare la struttura idrogeologica dell'area interessata dal presente studio è stato necessario scegliere un criterio di classificazione delle Unità individuabili dall'interpretazione dei dati del sottosuolo.

Nello schema seguente si riportano le suddivisioni proposte dai differenti autori:

UNITA' LITOLOGICHE <i>Mazzarella S. – Martinis B.</i>		UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE <i>Franconi V. – Pozzi R.</i>		UNITA' STRATIGRAFICHE <i>AGIP</i>	ETA'	UNITA' IDROGEOLOGICHE <i>Avanzini M. et Altri</i>
Litozona ghiaioso - sabbiosa	Acquifero Tradizionale	Fluvioglaciale wurm auct. (Diluvium recente)	I acquifero	Alluvione	Pleistocene Superiore	Unita' Ghiaioso - sabbiosa
		Fluvioglaciale Mindel – Riss – Wurm (Diluvium medio – antico)	II Acquifero		Pleistocene medio	Unita' Ghiaioso – sabbiosa – limosa
		Ceppo auct.			Unita' a conglomerati ed arenarie basali	
Litozona sabbioso - argillosa	Acquiferi Profondi	Villafranchiano	III Acquifero	Sabbie d'Asti	Pleistocene Inferiore	Unita' sabbioso – argillosa (facies continentali e di transizione)
Litozona Argillosa					Calabriano	Unita' argillosa (facies marina)

Da Provincia di Milano - Sistema Informativo Falda - Quaderni Direzione Centrale Ambiente - Settore Suolo e Sottosuolo e Industrie a Rischio - "n° 4 - Osservazioni sulla geometria della base dell'acquifero tradizionale nella Provincia di Milano". Ottobre 2001

La successione sedimentaria della Pianura Padana mostra una progressiva diminuzione della granulometria dei sedimenti con l'aumentare della profondità, nel particolare è possibile distinguere tre litozone:

- **Litozona ghiaioso – sabbiosa:** costituisce l'acquifero tradizionale (I e II acquifero) normalmente sfruttato a scopo idropotabile
- **Litozona sabbioso – argillosa:** costituisce l'acquifero profondo (III acquifero)
- **Litozona argillosa:** poco sfruttabile da un punto di vista idropotabile

Da un punto di vista più strettamente idrogeologico si possono quindi distinguere tre acquiferi definiti in base alle caratteristiche di permeabilità dei sedimenti e vulnerabilità:

- **Primo acquifero:** costituito dai depositi alluvionali recenti ed antichi e dal fluvioglaciale wurmiano; si tratta di sedimenti (ghiaie e sabbie prevalenti) ad elevata permeabilità ($K = 10^{-3}$ e 10^{-4} m/sec, dove K è un parametro idrogeologico che misura la permeabilità di un acquifero) con spessori, variabili localmente, di qualche decina di metri
- **Secondo acquifero:** costituito da depositi fluvioglaciali antichi (Riss – Mindel); si tratta di sedimenti (ciottoli, ghiaie e sabbie in matrice limosa) di medio alta permeabilità ($K = 10^{-4}$ e 10^{-5} m/sec) localmente cementati ("Ceppo"), con spessori variabili che possono arrivare a 40/ 50 m
- **Terzo acquifero:** costituito da depositi a granulometria prevalentemente fine con permeabilità medio bassa ($K = 10^{-4}$ e 10^{-6} m/sec) - Villafranchiano; gli spessori non sono definibili con certezza e si individua una tendenza all'approfondimento andando da Nord verso Sud

2.3. Idrogeologia locale e criteri di scelta dei punti di campionamento

La definizione della idrogeologia locale è stata effettuata attraverso la redazione di sezioni idrogeologiche con orientazione all'incirca Nord – Sud ed Est – Ovest correlando stratigrafie di pozzi contigui. L'orientamento delle sezioni corrisponde indicativamente alle direzioni parallela e perpendicolare del flusso di falda a scala provinciale.

Nella porzione settentrionale (Legnanese) e sud - occidentale (vicinanze del Fiume Ticino) del territorio di Parabiago risulta alquanto complesso separare con esattezza il primo ed il secondo acquifero. In tali zone, infatti, i livelli a granulometria fine (acquicludi o acquitardi) che marcano in modo netto tale limite risultano, localmente, poco riconoscibili ed arealmente limitati. In particolare, questo problema si è riscontrato nel pozzo 1 di Rescaldina e nel pozzo 3 di Marcallo; comunque, dall'esame delle sezioni idrogeologiche e in accordo con la Provincia di Milano, entrambi i pozzi sono stati attribuiti al primo acquifero.

Al contrario, spostandosi verso Est la presenza di livelli limoso - argillosi arealmente continui e di discreto spessore (decimetrico) permette di definire congruamente la separazione tra il primo e il secondo acquifero.

Infine, il terzo acquifero risulta ben individuato su tutta l'area di studio al di sotto di livelli argilloso – limosi arealmente continui e di spessore anche metrico.

Per definire la distribuzione della radioattività nelle acque di falda si sono pertanto scelti 20 pozzi captanti falde diverse e distribuiti nel territorio circostante il comune di Parabiago:

- 6 pozzi di prima falda
- 5 pozzi di seconda falda
- 7 pozzi di terza falda
- 2 pozzi di seconda/terza falda (misti)

L'elenco dei campioni analizzati, della localizzazione e dell'attribuzione dei pozzi alle varie falde captate è riportato in Tabella 1.

3. Analisi radiometriche

Sono stati misurati tutti i parametri radiometrici più importanti per la caratterizzazione delle acque ed in particolare:

- l'attività alfa e beta totale, che costituisce un utile indicatore complessivo della quantità di radioattività presente
- la concentrazione degli isotopi dell'uranio, del radio-226 e del potassio-40 che sono normalmente i più diffusi radionuclidi allo stato ionico in soluzione nelle acque
- il radon-222, presente come gas in soluzione, e derivante dall'emanazione da parte di strati, anche profondi, di suolo

- il trizio, radionuclide di origine cosmogenica per il quale il D.L.vo 31/01 richiede esplicitamente la verifica del rispetto del valore di parametro per la concentrazione (pari a 100 Bq/kg)

3.1. Metodi di campionamento

I campioni sono stati prelevati ai rubinetti di spillamento dei singoli pozzi a cura del Dipartimento di Parabiago e consegnati entro 24 ore al Dipartimento di Milano per le analisi chimiche e radiometriche.

Sono stati previsti metodi di campionamento differenziati in relazione alle caratteristiche degli analiti.

L'aliquota per la determinazione del radon-222 è stata raccolta in recipienti in vetro da 500 ml dotati di tappo con setto in teflon. Il prelievo è stato effettuato introducendo completamente nel recipiente un tubo in plastica collegato al rubinetto di erogazione e flussando il liquido per alcuni minuti per consentire numerosi ricambi all'interno del contenitore. Quest'ultimo è stato poi accuratamente chiuso evitando la formazione di un battente d'aria all'interno. La procedura impedisce, come dimostrato in numerose prove comparative (che saranno oggetto di una prossima pubblicazione), perdite di gas radon che tende ad essere spontaneamente desorbito dall'acqua.

L'aliquota per le altre determinazioni radiometriche e chimiche è stata raccolta in recipienti da 10 litri in polietilene. La scelta del polietilene è volta a minimizzare i fenomeni di adesione dei soluti sulle pareti.

3.2. Metodi di misura

I valori di conducibilità e pH sono stati determinati mediante conduttimetria e pHmetria (Analytical Control Mod. 120), i valori di residuo fisso sono stati derivati per calcolo dalla conducibilità. Anioni e cationi sono stati misurati per cromatografia ionica (Dionex DX 120) ad eccezione del ferro, misurato tramite ICP ottico (Perkin Elmer 3000 DV). La misura mediante cromatografia ionica consente anche la determinazione della concentrazione di potassio, da cui si ricava per calcolo quella dell'isotopo radioattivo potassio-40 considerando la composizione isotopica del potassio naturale.

Le analisi radiometriche sono state effettuate mediante scintillazione liquida (Quantulus 1220) impiegando i protocolli di pretrattamento, separazione radiochimica e misura messi a punto dal Dipartimento di Milano (Forte, 2002). Brevemente le procedure possono essere così schematizzate:

- attività alfa/beta totale: preconcentrazione del campione per evaporazione a pH controllato; misura per scintillazione liquida con discriminazione alfa/beta.
Attraverso la stessa misura viene stimata anche l'attività del trizio
- isotopi dell'uranio: preconcentrazione del campione per evaporazione a pH controllato; estrazione selettiva mediante un appropriata soluzione scintillante; misura per scintillazione liquida seguita da deconvoluzione spettrale

- radio-226: preconcentrazione del campione per evaporazione a pH controllato; estrazione del radon-222, prodotto dal decadimento del radio, mediante una soluzione scintillante immiscibile con l'acqua; misura per scintillazione liquida in condizioni di equilibrio radioattivo
- radon-222: estrazione immediata mediante una soluzione scintillante immiscibile con l'acqua; misura per scintillazione liquida in condizioni di equilibrio radioattivo

4. Analisi dei risultati

I risultati delle analisi chimiche e radiometriche sono descritti nel paragrafo seguente. Per analizzare i dati ottenuti sono stati applicati metodi di indagine statistica (par. 4.2) e quanto deriva dalla conoscenza della geologia dell'area (par. 4.3). Sono state effettuate infine valutazioni di dose per verificare l'eventuale rilevanza radioprotezionistica delle risultanze analitiche.

4.1. Analisi dei dati chimici e radiometrici

Nelle tabelle 2 e 3 sono riportati i risultati delle determinazioni chimiche e nelle tabelle 4 e 5 quelle radiometriche. I risultati relativi alla concentrazione di trizio non sono riportati esplicitamente, in quanto è risultata sempre inferiore al limite di sensibilità della metodica (pari a 10 Bq/kg). I risultati radiometrici sono presentati anche graficamente nelle tavole da 1 a 6.

L'analisi completa dei risultati relativi ai parametri chimici viene presentata nel paragrafo successivo. Per quanto riguarda in particolare il residuo fisso, si osserva che la sua concentrazione varia tra 200 e 500 mg/l circa, corrispondente alla classe delle acque oligominerali.

Per quanto riguarda i parametri radiometrici, l'attività alfa totale varia tra 16 e 388 mBq/kg; l'attività dell'uranio totale, che contribuisce alla componente alfa insieme al radio-226, varia tra 11 e 375 mBq/kg. L'attività alfa è dovuta in maniera preponderante all'uranio, le concentrazioni di radio-226 sono sempre marcatamente inferiori e spesso minori della minima attività rivelabile.

Il rapporto tra gli isotopi uranio-234 e uranio-238 varia tra 1,18 e 2,12; un rapporto superiore ad 1 tra isotopi appartenenti alla stessa serie naturale (per cui sarebbe attesa uguale attività in condizioni di equilibrio secolare) è normalmente riscontrata nelle acque in quanto legata al meccanismo di erosione delle rocce ed alla maggior instabilità da un punto di vista cristallografico dell'isotopo uranio-234 in seguito ai decadimenti alfa che lo originano (fenomeno del rinculo) (Osmond, 1992). In questo caso si ritiene che tale variazione non sia in alcun modo riconducibile a situazioni di inquinamento antropico delle acque di falda.

L'attività beta totale presenta un minor intervallo di variabilità ed è compresa tra 55 e 187 mBq/kg. L'attività beta è dovuta non solo ai radionuclidi delle serie naturali dell'uranio e del torio ma anche, e spesso in larga parte, all'isotopo potassio-40 presente in rapporto costante col potassio stabile.

Le attività di gas radon disciolto (radon-222) sono superiori di 2-3 ordini di grandezza a quelle dell'uranio e variano tra 5 e 20 Bq/kg. Le maggiori concentrazioni in attività di radon sono dovute al diverso meccanismo di dissoluzione, il radon infatti deriva solo in minima parte dal decadimento radioattivo dei suoi progenitori disciolti nel mezzo acquoso ed in porzione più consistente dalla

permeazione del gas presente nelle rocce o nei terreni costituenti l'acquifero. I valori riscontrati sono in linea con quelli attesi per campioni d'acqua della pianura padana (Pittana, 1997; Bellinzona, 2002).

Il dato peculiare che emerge dallo screening radiometrico è la concentrazione mediamente più elevata di isotopi dell'uranio (e di conseguenza l'elevata attività alfa totale) in alcuni campioni.

4.2. Applicazione di metodi statistici di indagine

Sull'intera matrice di dati (chimici e radiometrici) è stato applicato il metodo di analisi statistico delle "componenti principali" (PCA).

La matrice delle componenti è riportata in tabella 6; in grassetto sono riportate le correlazioni superiori a 0,5 dei parametri appartenenti alle singole componenti principali.

La prima componente raggruppa tutti i parametri chimici (ad eccezione dell'ossidabilità), la falda ed il rapporto isotopico tra uranio-234 e uranio-238, con correlazioni piuttosto elevate. Ciò significa che le acque provenienti dalle differenti falde sono chiaramente distinguibili in base alla loro composizione chimica (legata presumibilmente all'acquifero di origine) e che il rapporto isotopico tra gli urani può essere considerato un "marcatore" delle caratteristiche generali (non radiometriche) del campione.

La seconda componente raggruppa alcuni parametri radiometrici quali l'attività alfa totale e quella degli isotopi dell'uranio (singolarmente e come totale); ciò è dovuto al fatto che l'attività alfa totale, come già ricordato precedentemente è dovuta principalmente alla presenza di uranio. La varianza spiegata cumulata delle prime due classi è del 65%, il che indica che queste due componenti danno conto della maggior parte delle relazioni tra le variabili.

Il radon e l'attività beta totale sono ricomprese in componenti distinte. La varianza spiegata da queste componenti è minore né appaiono chiare da un punto di vista chimico-fisico le relazioni con gli altri parametri della classe. Si può comunque concludere che attività beta totale e concentrazione di radon sono indipendenti da tutti gli altri parametri ad un primo screening.

Una visualizzazione grafica di questi risultati è riportata negli istogrammi delle figure da 1 a 4, 6 e 7, dove i campioni sono stati raggruppati per falda di appartenenza (sono stati esclusi i due campioni di falde miste 2° e 3°), che riportano in ordinata la media dei valori e, nella barra di errore, la deviazione standard della media.

Si può notare che il residuo fisso decresce in modo regolare con la profondità della falda (fig. 1) ed il rapporto $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ segue l'andamento inverso (fig. 2). La correlazione lineare tra i due parametri, intesi come valore medio per falda di appartenenza, è discreta ($R^2 = 0,67$). La quantità di residuo fisso non è strettamente correlata con il contenuto totale di radioattività delle acque.

Sia l'attività alfa totale che quella dell'uranio totale presentano la maggior concentrazione nei campioni provenienti dalla seconda falda, mentre la prima e la terza falda presentano attività simili (figg. 3 e 4).

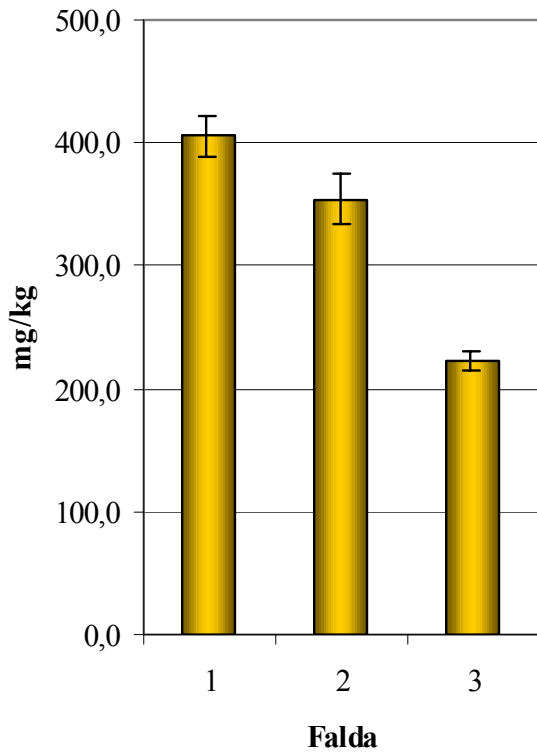


Fig. 1. Residuo fisso in funzione della falda

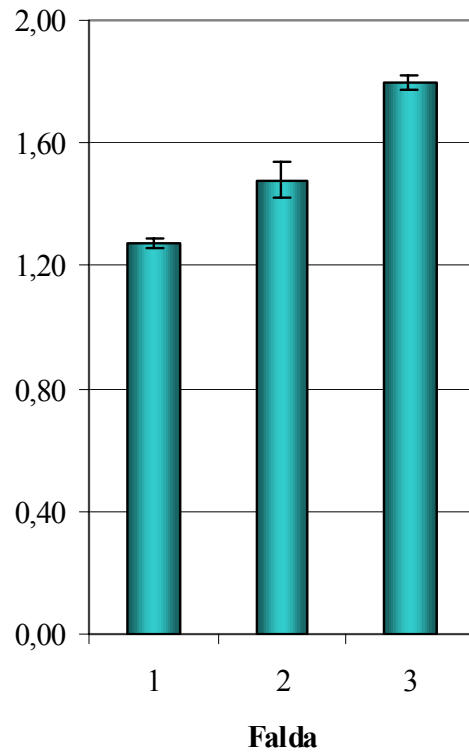


Fig. 2. Rapporto $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ in funzione della falda

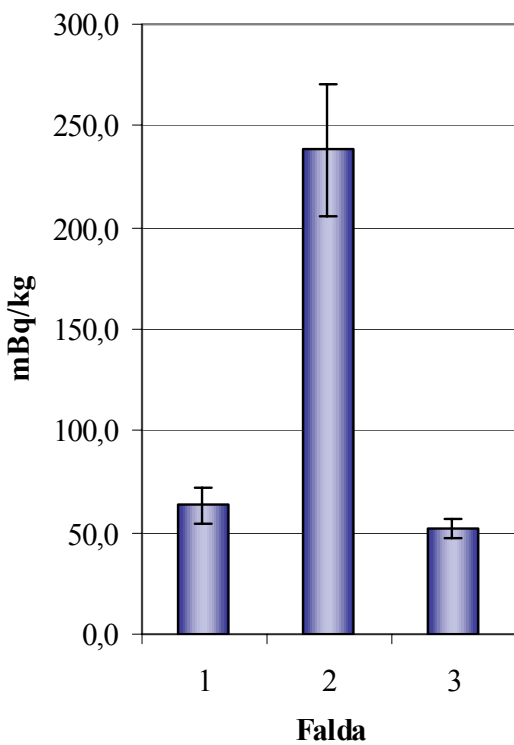


Fig.3. Attività alfa totale in funzione della falda

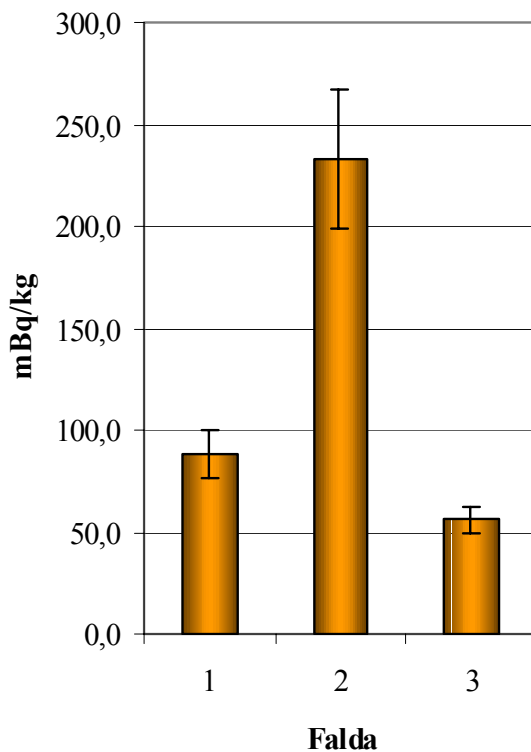


Fig. 4. Concentrazione di uranio totale in funzione della falda

La correlazione lineare tra attività alfa totale ed uranio totale è, ovviamente, molto elevata e con coefficiente angolare prossimo ad 1 (fig. 5).

Nel caso dell'attività beta totale la variazione della concentrazione nelle differenti falde non è significativa (fig. 6). La concentrazione del radon-222 diminuisce progressivamente dalla prima alla terza falda (fig. 7).

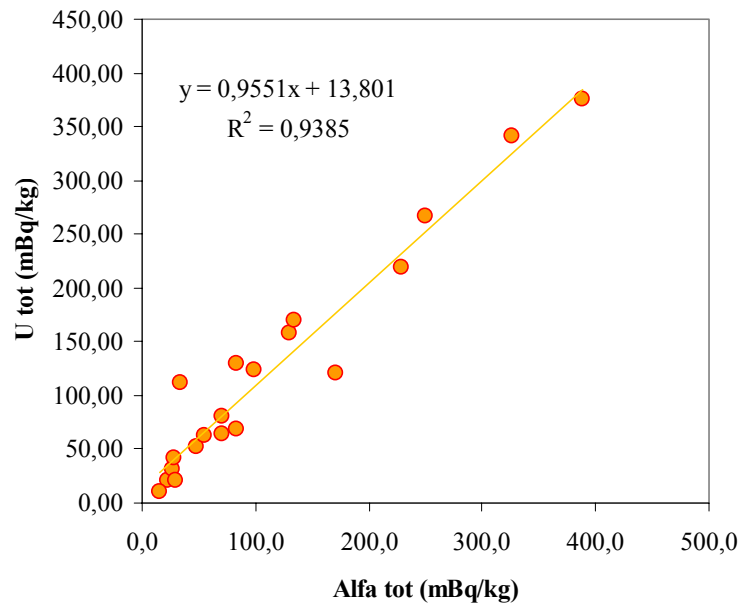


Fig. 5. Correlazione tra l'attività alfa totale e l'attività dell'uranio totale

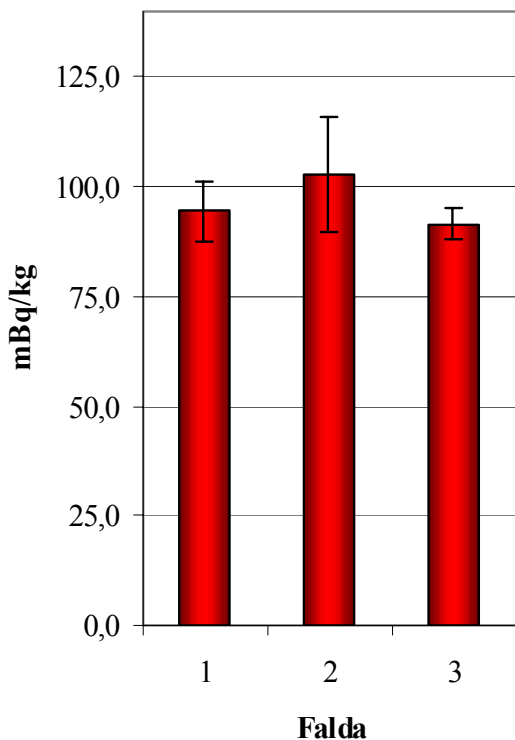


Fig. 6. Attività beta totale in funzione della falda

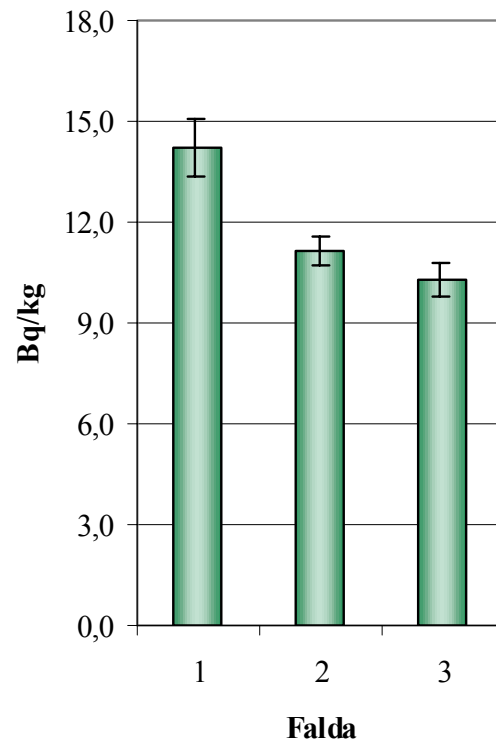


Fig. 7. Concentrazione di radon-222 in funzione della falda

Viene infine presa in considerazione la disposizione geografica dei pozzi su cui è stato effettuato il prelievo. Nel grafico seguente (fig. 8) sono riportate in ascissa ed ordinata le coordinate Gauss-Boaga; le dimensioni della bolla sono proporzionali all'attività totale dell'uranio mentre sono state rappresentate con diversi colori le falde di appartenenza.

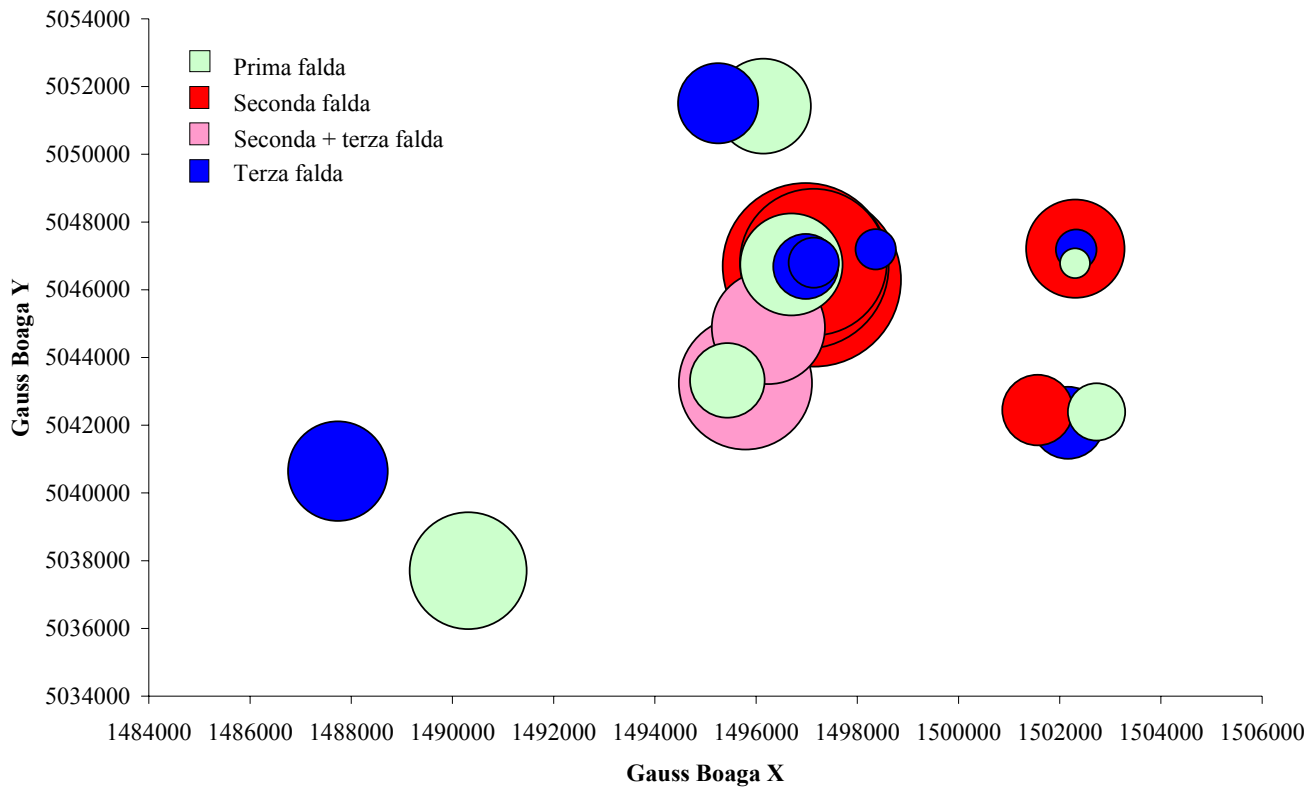


Fig. 8. Attività dell'uranio totale per pozzo

Risulta evidente come esista anche una dipendenza dell'attività dalla posizione; i punti con valori più elevati per quanto riguarda la seconda falda appaiono centrati su Parabiago. Nonostante il limitato numero di dati si può individuare un trend che porta ad un generale innalzamento dei valori per tutte le falde nella direzione est-ovest, cioè verso l'alveo del fiume Ticino (fig. 9), mentre non si nota una analoga dipendenza dalla posizione in direzione nord-sud.

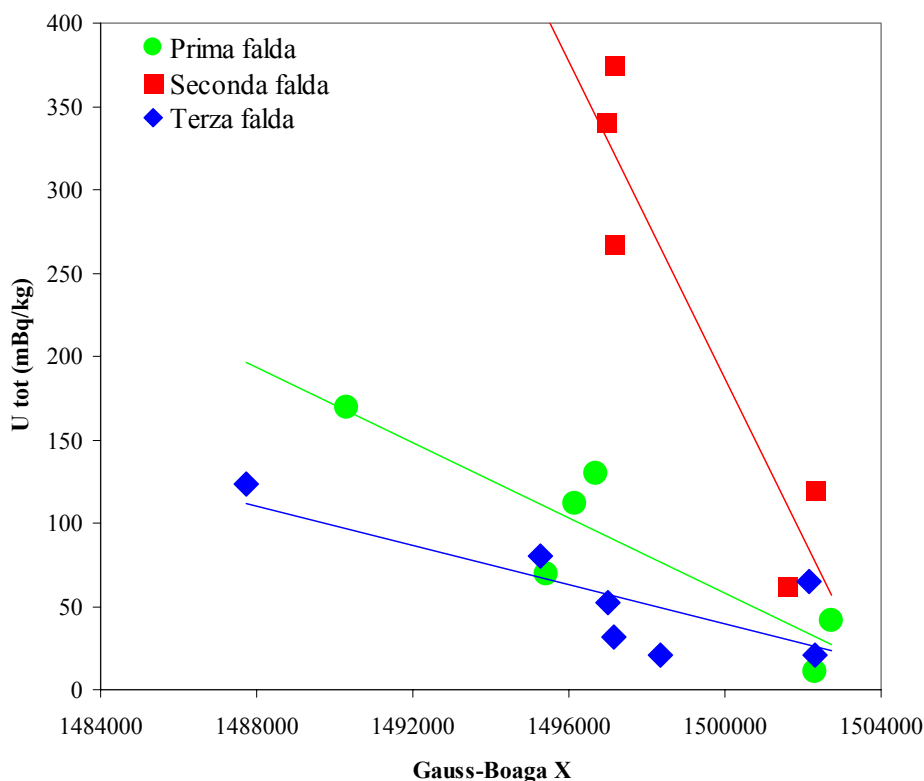


Fig. 9. Variazione dell'attività di uranio totale in direzione est-ovest

4.3. Considerazioni geologiche sui dati raccolti

Gli aspetti più rilevanti ricavabili dai dati sino ad ora raccolti e dalle elaborazioni effettuate risultano essere l'alto contenuto radiometrico riscontrato nelle acque di seconda falda e la tendenza ad un progressivo aumento di attività alfa totale nelle acque di tutte e tre le falde spostandosi verso Ovest, ovvero verso il Bacino del Ticino.

Trattandosi di radioattività naturale, le possibili cause di queste evidenze, seppure basate su un ridotto numero di dati, dovrebbero essere legate alla composizione petrografica degli acquiferi. Tuttavia la caratterizzazione idrogeologica esposta precedentemente e basata prevalentemente su criteri litologici di permeabilità e vulnerabilità della risorsa, non permette di avanzare ipotesi sull'origine del contenuto radiometrico delle acque.

Studi recenti (Bini e Zuccoli, 2001) effettuati nell'alta valle del Fiume Olona, immediatamente a Nord dell'area oggetto della presente relazione, hanno consentito di ricostruire la struttura geologica di dettaglio dei depositi pre-quadernari e quadernari e la loro evoluzione paleogeografica. In particolare nella carta allegata (tav. 7 - tratta da: Bini e Zuccoli, 2001 - modificata) si evidenzia la presenza dei paleovalvei del Fiume Olona e del Fiume Ticino. Il primo risulta posizionato in prossimità e parallelo all'attuale corso del fiume, mentre il secondo si colloca molto più ad est della posizione del corso attuale. Sino al Pliocene superiore, infatti, il fiume Ticino scorreva in direzione Ovest - Est, dal Lago Maggiore al Lago di Varese, per poi puntare verso Sud in prossimità di

Gazzada (Va) percorrendo l'attuale valle del Fiume Arno. Le due piane fluviali, nella zona a valle di Castel Seprio (Va), formano un unico corpo sedimentario costituito dall'interdigitazione dei sedimenti dei due fiumi e, data la predominanza del Ticino sia per portata che per carico sedimentario, si rinvengono graniti provenienti dalla zona ticinese anche in Valle Olona (Bini e Zuccoli, 2001). Tali depositi sedimentari vengono identificati come Allogruppo di Cairate (ghiaie, sabbie con livelli di limo sabbioso e/o limo argilloso più o meno frequenti) il cui prisma sedimentario è ben visibile nei profili sismici eseguiti dall'Agip all'altezza e a sud di Busto Arsizio.

Si può, quindi, ipotizzare che il delta-conoide del paleo-Ticino, approfondendosi ed ispessendosi verso sud, si spingesse almeno sino all'area di studio contribuendo a formare parte del secondo acquifero.

Considerando che l'area di alimentazione dei sedimenti trasportati dal Ticino è costituita principalmente da graniti, ortogneiss e scisti (Duomo Lepontino), tutte rocce ricche in uranio, sino a 3.9 g/t rispetto alle rocce basiche con un massimo di 0.96 g/t (Carobbi, 1971), si può ipotizzare che il contenuto radiometrico della seconda falda e la sua variabilità areale siano legati alla presenza o meno del paleoalveo del fiume Ticino sepolto dai depositi fluvio-glaciali. Di contro i depositi legati all'attuale corso del Ticino possono giustificare la variabilità del contenuto radiometrico in prima falda

4.4. Stime di dose

Le stime di dose da ingestione sono state effettuate adottando i criteri previsti dalla normativa vigente e dalle linee guida internazionali e considerando la classe d'età adulti (> 17 anni); infatti secondo informazioni in proposito recentemente acquisite il valore di parametro per la dose totale indicativa riportato nel D.L.vo 31/01 (0,1 mSv/anno) è stato derivato prendendo a riferimento questa classe d'età.

I radionuclidi considerati ai fini del calcolo della dose sono l'uranio-234 e l'uranio-238 ed il radio-226; nei casi in cui la concentrazione di radio-226 nel campione è inferiore alla sensibilità della metodica si è assunto cautelativamente che la concentrazione presente fosse uguale alla sensibilità analitica.

I valori dei coefficienti di dose utilizzati sono stati ricavati dal D.L.vo 230/95 e successive modifiche ed integrazioni; i valori del consumo annuale di acqua sono quelli raccomandati nel Rapporto ISTISAN 00/16 'Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption: calculation of derived activity concentrations'. Si riporta di seguito il valore dei parametri utilizzati ai fini del calcolo:

Classe d'età	Consumo d'acqua litri/anno	Coeff. dose U-234 Sv/Bq	Coeff. dose U-238 Sv/Bq	Coeff. dose Ra-226 Sv/Bq
> 17 anni	730	4,9E-8	4,5E-8	2,8E-7

La tabella 7 riporta i risultati delle stime di dose effettuate; l'ultima colonna della tabella segnala, con un asterisco, i casi in cui la stima della dose da radio-226 è stata effettuata utilizzando il valore del limite di sensibilità della metodica.

E' importante rilevare che il valore di parametro di 0,1 mSv/anno indicato dal D.L.vo 31/01 non è mai superato.

5. Conclusioni

Si possono quindi così riassumere le conclusioni dell'indagine:

per quanto riguarda la verifica dei valori di riferimento stabiliti dalla normativa vigente (D.L.vo 31/01):

- non si osserva alcun superamento dei valori di riferimento previsti, né per quanto riguarda la concentrazione di trizio né per quanto riguarda la dose
- per quanto riguarda la concentrazione di attività del radon-222 disciolto, in nessun caso viene superato il livello di riferimento di 100 Bq/l definito dalla 'Raccomandazione della Commissione Europea 2001/928/Euratom sulla tutela della popolazione contro l'esposizione al radon nell'acqua potabile'. I valori misurati rientrano tra quelli normalmente riscontrati nelle falde padane e non appaiono dipendere dalla profondità di captazione dell'acqua

per quanto riguarda l'analisi dei dati radiometrici e chimici:

- la radioattività presente nelle acque è di origine esclusivamente naturale
- il valore dell'attività alfa totale è in alcuni casi maggiore dei valori misurati in altre zone della Lombardia, almeno per quanto riguarda il confronto con i dati ad oggi noti, ed è dovuta principalmente alla presenza degli isotopi dell'uranio mentre è modesto il contributo del radio-226
- la variabilità dell'attività beta è più contenuta, ed i valori misurati sono confrontabili a quelli normalmente misurati in altre zone della Lombardia. Attività alfa e beta totale non sono generalmente correlate
- l'attività alfa varia in funzione sia della falda (le attività più elevate si registrano nella seconda) che della posizione geografica del pozzo (aumentano in direzione ovest), anche se quest'ultimo dato necessita di ulteriori riscontri
- non esiste una correlazione evidente tra qualunque coppia costituita da un parametro radiometrico ed un parametro chimico. La correlazione tra parametri è evidente solo applicando il metodo dell'analisi statistica delle componenti principali, che individua il gruppo costituito da una serie di parametri chimico-fisici ed un parametro radiometrico (rapporto isotopi dell'uranio) come criterio di classificazione coerente con la falda prevalente
- nel gruppo di campioni considerato un solo parametro radiometrico (ad esempio l'attività alfa totale) risulta sufficientemente descrittivo dal punto di vista del contenuto di radioattività

per quanto riguarda l'indagine geologica e le possibili cause dei valori mediamente più elevati misurati in seconda falda:

- la geologia del sottosuolo sembrerebbe suggerire una relazione diretta tra il contenuto radiometrico delle acque di falda e la presenza dei depositi fluviali del Ticino, che risultano composti da frammenti di rocce granitiche e gneissiche notoriamente ricche in elementi radioattivi. In particolare la posizione del paleoalveo del Ticino potrebbe spiegare i valori mediamente più elevati misurati in seconda falda

6. Ringraziamenti

Gli autori ringraziano:

il Dr. Robles della U.O. Risorse Idriche Naturali e la U.O. Laboratorio del Dipartimento A.R.P.A. di Milano per la analisi chimico-fisiche

la Dr.ssa Arianna Azzellino del Dipartimento Ingegneria Ambientale del Politecnico di Milano per il contributo alle elaborazioni statistiche

il Prof. Alfredo Bini della Facoltà di Scienze Geologiche dell'Università degli Studi di Milano per le informazioni sulla geologia e l'idrogeologia dell'area

7. Bibliografia

S. Bellinzona:

"MESSA A PUNTO DI UNO STRUMENTO PER SCINTILLAZIONE LIQUIDA A BASSO FONDO CON POSSIBILITA' DI DISCRIMINAZIONE ALFA/BETA ED APPLICAZIONI A MISURE SU MATRICI AMBIENTALI"

Tesi di Laurea in Fisica – Università degli Studi di Milano, 2002

A. Bini, L. Zuccoli:

"GEOLOGIA DI SOTTOSUOLO DELLA VALLE OLONA TRA MALNATE E LONATE CEPPINO (VA)"

Geologia Insubrica 6/2, 2001

C. Carcano e A. Piccin:

"GEOLOGIA DEGLI ACQUIFERI PADANI DELLA REGIONE LOMBARDIA"

Regione Lombardia, Eni Divisione Agip; S.EL.CA, 2002

Carobbi:

"TRATTATO DI MINERALOGIA"

3° Edizione, 1971 USES Edizioni Scientifiche Spa Firenze.

M. Forte, R. Rusconi, E. Di Caprio, S. Bellinzona and G. Sgorbati (a):
“NATURAL RADIONUCLIDES MEASUREMENTS IN DRINKING WATER BY LIQUID
SCINTILLATION COUNTING”
9th Symposium on Environmental Radiochemical Analysis
Maidstone (Kent- GB), 18-20 settembre 2002

M. Forte, R. Rusconi, S. Bellinzona and G. Sgorbati (b):
“NATURAL RADIONUCLIDES MONITORING IN LOMBARDIA DRINKING WATER BY
LIQUID SCINTILLATION TECHNIQUE”
European IRPA Congress 2002; Firenze, 8-11 ottobre 2002

J.K. Osmond, J.B. Cowart in:
“URANIUM SERIES DISEQUILIBRIUM” –
2^o Edition, Clarendon Press – Oxford, 1992

C. Pittana:
“DETERMINAZIONE DI RADIONUCLIDI NATURALI IN ACQUE DESTINATE AL
CONSUMO UMANO IN LOMBARDIA: METODOLOGIE, RISULTATI ED ASPETTI
RADIPROTEZIONISTICI”
Tesi di Laurea in Fisica – Università degli Studi di Milano, 1997

Provincia di Milano - Sistema Informativo Falda:
"n° 4 - OSSERVAZIONI SULLA GEOMETRIA DELLA BASE DELL'ACQUIFERO
TRADIZIONALE NELLA PROVINCIA DI MILANO".
Quaderni Direzione Centrale Ambiente - Settore Suolo e Sottosuolo e Industrie a Rischio, 2001

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”
International Conference on Isotopic and Nuclear Analytical Techniques for Health and
Environment; IAEA-Vienna 10-13 June 2003

G. Sgorbati, M. Forte, G. Gianforma, R. Rusconi, C. Margini
“RILEVAZIONE DELLE CONCENTRAZIONI DI URANIO-238 E RADIO-226 IN ACQUE
DESTINATE AL CONSUMO UMANO IN LOMBARDIA”
P.M.I.P. di Milano, A.S.L. Milano Città, 1998

TABELLA 1 - ELENCO DEI POZZI OGGETTO DI INDAGINE E DEI CAMPIONI PRELEVATI

ELENCO ED IDENTIFICAZIONE DEI POZZI								DATA DI PRELIEVO ED IDENTIFICAZIONE DEI CAMPIONI	
Codice pozzo	Descrizione	Indirizzo	Comune	Prof	Falda	GB_X	GB_Y	Data	Prot
0151130005	Pozzo comunale-acquedotto	via Rosselli	Inveruno	240,00	3	1487736	5040641	03/09/02	020389
0151680014	Ditta ITS ARTEA spa	via Sempione, 78	Parabiago	41,50	1	1496698	5046745	03/09/02	020390
0151180016	Pozzo AMGA	via Quasimodo	Legnano	154,00	3	1495252	5051501	03/09/02	020391
0151680023	Ditta SO.LA.GO.	via Butti, 49/51	Parabiago	60,83	1	1495433	5043320	03/09/02	020392
0151160024	Ditta Perfetti	via XXV aprile, 7	Lainate	50,00	1	1502304	5046782	03/09/02	020393
0151680008	Pozzo comunale-acquedotto	fraz. S.Lorenzo	Parabiago	104,31	2	1496980	5046702	10/09/02	020407
0151680009	Pozzo comunale-acquedotto	fraz. S.Lorenzo	Parabiago	164,62	3	1496981	5046685	10/09/02	020408
0151680010	Pozzo comunale-acquedotto	fraz. S.Lorenzo	Parabiago	104,00	2	1497135	5046813	10/09/02	020409
0151680011	Pozzo comunale-acquedotto	fraz. S.Lorenzo	Parabiago	165,20	3	1497140	5046798	10/09/02	020410
0151680003	Pozzo comunale-acquedotto	Via Don Gnocchi	Parabiago	97,04	2	1497144	5046292	17/09/02	020417
0150720005	Pozzo comunale-acquedotto	Via Vercelli	Cerro Maggiore	162,00	3	1498363	2047193	17/09/02	020418
0151680007	Pozzo comunale-acquedotto	P.zza Vittoria	Parabiago	200,00	2,5	1496244	2044880	17/09/02	020419
0151680047	Pozzo comunale-acquedotto	Via Borromini	Parabiago	197,50	2,5	1495790	5043240	17/09/02	020420
0151820013	Pozzo comunale-acquedotto	Via Capuana	Rho	111,00	2	1501563	5042445	24/09/02	020426
0151820611	Pozzo comunale-acquedotto	Via B.D'Este	Rho	157,00	3	1502165	5042069	24/09/02	020427
0151810001	Pozzo comunale-acquedotto	Via Melzi	Rescaldina	81,70	1	1496144	5051420	24/09/02	020428
0151820018	Ospedale	Corso Europa	Rho	60,00	1	1502727	5042389	24/09/02	020429
0151340003	Pozzo comunale-acquedotto	Via Jacini	Marcallo	93,00	1	1490311	5037706	01/10/02	020445
0151160008	Pozzo comunale-acquedotto	Via Caronasca	Lainate	110,00	2	1502307	5047209	01/10/02	020446
0151160009	Pozzo comunale-acquedotto	Via Caronasca	Lainate	250,00	3	1502325	5047182	01/10/02	020447

TABELLA 2 - CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DEI CAMPIONI

IDENTIFICAZIONE CAMPIONE					CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE				
Prot	Codice pozzo	Descrizione	Indirizzo	Comune	pH	Cond $\mu\text{Sv/cm a } 20^\circ\text{C}$	ResFisso $\text{mg/l a } 180^\circ\text{C}$	Durezza $^\circ\text{F}$	Ossidab mg/l di O_2
020389	151130005	Pozzo comunale-acquedotto	via Rosselli	Inveruno	7,4	401	287	24,6	0,36
020390	151680014	Ditta ITS ARTEA spa	via Sempione, 78	Parabiago	7,4	636	455	37,6	0,36
020391	151180016	Pozzo AMGA	via Quasimodo	Legnano	7,7	404	289	24,3	0,36
020392	151680023	Ditta SO.LA.GO.	via Butti, 49/51	Parabiago	7,2	668	478	34,5	0,32
020393	151160024	Ditta Perfetti	via XXV aprile, 7	Lainate	7,1	434	311	22,1	0,32
020407	151680008	Pozzo comunale-acquedotto	fraz. S.Lorenzo	Parabiago	7,8	517	370	29,3	0,36
020408	151680009	Pozzo comunale-acquedotto	fraz. S.Lorenzo	Parabiago	7,9	282	217	15,5	0,36
020409	151680010	Pozzo comunale-acquedotto	fraz. S.Lorenzo	Parabiago	7,8	475	340	27,2	0,36
020410	151680011	Pozzo comunale-acquedotto	fraz. S.Lorenzo	Parabiago	7,9	229	176	12,6	0,32
020417	0151680003	Pozzo comunale-acquedotto	Via Don Gnocchi	Parabiago	7,5	676	484	40,3	0,36
020418	0150720005	Pozzo comunale-acquedotto	Via Vercelli	Cerro Maggiore	7,9	243	187	13,0	0,32
020419	0151680007	Pozzo comunale-acquedotto	P.zza Vittoria	Parabiago	7,8	373	267	20,0	0,32
020420	0151680047	Pozzo comunale-acquedotto	Via Borromini	Parabiago	7,7	433	310	24,2	0,32
020426	0151820013	Pozzo comunale-acquedotto	Via Capuana	Rho	7,5	441	316	23,6	0,36
020427	0151820611	Pozzo comunale-acquedotto	Via B.D'Este	Rho	7,5	280	215	13,3	0,32
020428	0151810001	Pozzo comunale-acquedotto	Via Melzi	Rescaldina	7,4	692	495	39,1	0,32
020429	0151820018	Ospedale	Corso Europa	Rho	7,4	456	326	23,5	0,32
020445	0151340003	Pozzo comunale-acquedotto	Via Jacini	Marcallo	7,6	516	369	28,8	0,36
020446	0151160008	Pozzo comunale-acquedotto	Via Caronasca	Lainate	7,9	365	261	18,9	0,32
020447	0151160009	Pozzo comunale-acquedotto	Via Caronasca	Lainate	8,0	249	192	12,9	0,32

TABELLA 3 - CARATTERISTICHE CHIMICHE DEI CAMPIONI

IDENTIFICAZIONE CAMPIONE		CARATTERISTICHE CHIMICHE											
Prot	Codice pozzo	NH ₄ mg/l	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	PO ₃ mg/l	F mg/l	Fe mg/l
020389	151130005	-0,02	5,3	1,4	71,8	16,1	-0,01	15,4	9,6	9,0	-0,375	0,129	0,016
020390	151680014	-0,02	13,3	2,5	106,8	26,6	-0,01	48,7	18,3	34,1	-0,375	0,086	0,096
020391	151180016	-0,02	6,1	1,6	70,0	16,5	-0,01	22,0	7,4	12,1	-0,375	0,082	0,015
020392	151680023	-0,02	37,9	2,1	99,0	23,7	-0,01	54,5	28,9	48,3	-0,375	0,081	0,065
020393	151160024	-0,02	15,2	1,1	67,9	12,4	-0,01	46,7	15,4	39,2	-0,375	0,080	0,017
020407	151680008	-0,02	5,3	1,5	85,7	19,2	-0,01	41,6	12,1	26,4	-0,375	0,086	0,015
020408	151680009	-0,02	6,3	1,5	45,5	10,1	-0,01	13,0	4,1	6,6	-0,375	0,093	0,016
020409	151680010	-0,02	5,5	1,4	79,2	18,1	-0,01	32,8	9,6	23,4	-0,375	0,090	0,026
020410	151680011	-0,02	6,5	1,3	36,8	8,3	-0,01	7,9	3,6	4,2	-0,375	0,097	0,032
020417	0151680003	-0,02	9,2	1,7	112,7	29,5	-0,01	48,6	16,6	57,8	-0,375	-0,025	0,035
020418	0150720005	-0,02	6,6	1,0	38,5	8,1	-0,01	10,7	4,2	3,8	-0,375	0,084	0,033
020419	0151680007	-0,02	8,1	1,5	58,1	13,3	-0,01	21,5	8,7	13,6	-0,375	0,085	0,028
020420	0151680047	-0,02	7,5	1,5	69,4	16,6	-0,01	21,2	12,0	25,4	-0,375	0,082	0,028
020426	0151820013	-0,02	5,0	0,9	69,5	15,1	-0,01	34,1	9,1	21,2	-0,375	0,104	0,039
020427	0151820611	-0,02	4,8	0,8	41,5	7,2	-0,01	19,7	4,8	7,7	-0,375	0,101	0,039
020428	0151810001	-0,02	7,7	1,5	113,5	26,1	-0,01	32,0	14,5	24,0	-0,375	-0,025	0,033
020429	0151820018	-0,02	5,7	1,0	71,8	13,4	-0,01	40,8	18,6	42,7	-0,375	0,091	0,059
020445	0151340003	-0,02	8,9	1,7	82,4	20,0	-0,01	36,4	12,1	35,1	-0,375	0,100	0,057
020446	0151160008	-0,02	7,5	1,0	59,4	9,9	-0,01	36,6	9,8	19,4	-0,375	0,110	0,100
020447	0151160009	-0,02	5,1	0,8	39,6	7,2	-0,01	13,6	4,1	5,1	-0,375	0,090	0,130

TABELLA 4 - ATTIVITÀ ALFA TOTALE, BETA TOTALE E URANIO

IDENTIFICAZIONE CAMPIONE			PARAMETRI RADIOMETRICI					
Prot	Codice pozzo	Comune	Alfa tot mBq/kg	Beta tot mBq/kg	Uranio tot mBq/kg	U-238 mBq/kg	U-234 mBq/kg	U-234 / U-238
020389	0151130005	Inveruno	98,7 ± 14,5	117,5 ± 27,6	123,1 ± 10,8	44,60 ± 5,64	78,53 ± 9,17	1,76 ± 0,16
020390	0151680014	Parabiago	82,9 ± 12,8	81,5 ± 25,1	129,6 ± 11,0	59,46 ± 7,20	70,13 ± 8,31	1,18 ± 0,10
020391	0151180016	Legnano	71,1 ± 11,6	101,1 ± 26,4	80,1 ± 7,4	29,04 ± 4,00	51,02 ± 6,21	1,76 ± 0,22
020392	0151680023	Parabiago	83,2 ± 12,9	142,5 ± 29,3	69,2 ± 6,3	31,25 ± 4,07	37,97 ± 4,75	1,22 ± 0,14
020393	0151160024	Lainate	15,6 ± 6,1	63,8 ± 24,1	11,1 ± 2,7	4,76 ± 1,90	6,37 ± 1,98	1,34 ± 0,88
020407	0151680008	Parabiago	326,6 ± 45,4	117,5 ± 43,6	341,0 ± 27,6	144,18 ± 16,45	196,77 ± 22,11	1,36 ± 0,07
020408	0151680009	Parabiago	47,8 ± 9,2	79,3 ± 25,0	52,5 ± 5,1	19,34 ± 2,87	33,17 ± 4,23	1,72 ± 0,25
020409	0151680010	Parabiago	249,9 ± 41,5	187,4 ± 45,1	267,2 ± 21,8	116,02 ± 13,37	151,15 ± 17,16	1,31 ± 0,07
020410	0151680011	Parabiago	26,9 ± 7,2	54,7 ± 23,6	31,4 ± 3,5	11,22 ± 2,07	20,16 ± 2,88	1,80 ± 0,39
020417	0151680003	Parabiago	388,3 ± 60,8	74,5 ± 43,8	374,8 ± 30,1	164,70 ± 18,68	210,14 ± 23,57	1,28 ± 0,06
020418	0150720005	Cerro Maggiore	22,9 ± 6,8	88,4 ± 25,4	20,4 ± 2,6	7,63 ± 1,64	12,79 ± 2,08	1,68 ± 0,47
020419	0151680007	Parabiago	129,4 ± 17,7	128,6 ± 28,3	158,5 ± 13,5	60,74 ± 7,39	97,75 ± 11,28	1,61 ± 0,13
020420	0151680047	Parabiago	228,6 ± 35,6	86,0 ± 38,9	219,3 ± 18,9	90,17 ± 11,01	129,09 ± 15,40	1,43 ± 0,09
020426	0151820013	Rho	54,9 ± 10,0	58,5 ± 23,8	62,1 ± 5,8	23,27 ± 3,26	38,84 ± 4,82	1,67 ± 0,22
020427	0151820611	Rho	70,0 ± 11,5	111,5 ± 27,1	64,6 ± 6,2	23,51 ± 3,46	41,08 ± 5,17	1,75 ± 0,26
020428	0151810001	Rescaldina	34,2 ± 7,9	85,9 ± 25,3	111,7 ± 9,7	47,54 ± 5,93	64,16 ± 7,65	1,35 ± 0,13
020429	0151820018	Rho	28,5 ± 7,3	61,8 ± 23,9	41,1 ± 4,2	18,5 ± 2,77	22,58 ± 3,15	1,22 ± 0,21
020445	0151340003	Marcallo	134,8 ± 18,3	130,8 ± 28,4	169,6 ± 14,2	72,34 ± 8,63	97,27 ± 11,26	1,34 ± 0,10
020446	0151160008	Lainate	170,9 ± 32,7	75,9 ± 36,5	120,2 ± 10,5	43,2 ± 5,49	77 ± 9,00	1,78 ± 0,17
020447	0151160009	Lainate	29,8 ± 7,5	88,3 ± 25,6	20,6 ± 2,8	6,6 ± 1,63	14 ± 2,25	2,12 ± 0,67

Nota: l'incertezza sui parametri radiometrici è espressa in termini di incertezza estesa (fattore di copertura k = 2)

TABELLA 5 - ATTIVITÀ ^{226}Ra E ^{222}Rn

IDENTIFICAZIONE CAMPIONE			PARAMETRI RADIOMETRICI	
Prot	Codice pozzo	Comune	Ra-226 mBq/kg	Rn-222 Bq/kg
020389	0151130005	Inveruno	-7,3	6,99 ± 1,10
020390	0151680014	Parabiago	10,4 ± 5,9	18,91 ± 2,71
020391	0151180016	Legnano	-7,3	10,93 ± 1,63
020392	0151680023	Parabiago	-7,3	9,96 ± 1,49
020393	0151160024	Lainate	-7,3	10,00 ± 1,50
020407	0151680008	Parabiago	19,3 ± 6,4	13,58 ± 2,00
020408	0151680009	Parabiago	-7,9	10,88 ± 1,63
020409	0151680010	Parabiago	21,9 ± 6,6	9,53 ± 1,45
020410	0151680011	Parabiago	-7,2	13,60 ± 2,00
020417	0151680003	Parabiago	29,5 ± 7,2	10,20 ± 1,54
020418	0150720005	Cerro Maggiore	-7,3	5,31 ± 0,88
020419	0151680007	Parabiago	-7,2	11,40 ± 1,68
020420	0151680047	Parabiago	12,1 ± 6,0	11,60 ± 1,73
020426	0151820013	Rho	-7,3	n.d.
020427	0151820611	Rho	-7,3	n.d.
020428	0151810001	Rescaldina	-7,3	14,70 ± 2,19
020429	0151820018	Rho	-7,2	n.d.
020445	0151340003	Marcallo	-9,3	19,80 ± 2,86
020446	0151160008	Lainate	-7,2	10,40 ± 1,58
020447	0151160009	Lainate	-7,3	12,30 ± 1,84

Nota: l'incertezza sui parametri radiometrici è espressa in termini di incertezza estesa (fattore di copertura $k = 2$)

TABELLA 6 - MATRICE DELLE COMPONENTI RUOTATA

	Componente				
	1	2	3	4	5
Falda	-0,87	0,05	-0,08	-0,28	0,09
Alfa totale	0,13	0,97	0,01	-0,03	0,07
beta totale	0,08	0,36	0,13	-0,12	0,76
U-238	0,23	0,95	0,19	-0,05	0,00
U-234	0,15	0,96	0,18	-0,07	0,03
U totale	0,19	0,96	0,18	-0,06	0,02
U-234/U-238	-0,84	-0,25	-0,13	0,07	-0,01
Rn-222	0,21	-0,01	0,61	0,60	-0,18
pH	-0,81	0,29	-0,02	0,25	0,05
Conducibilità	0,88	0,32	0,28	0,01	-0,10
Residuo fisso	0,88	0,31	0,28	0,01	-0,11
Durezza	0,81	0,38	0,38	-0,03	-0,13
Ossidabilità	0,00	0,36	0,75	-0,19	0,13
Na	0,73	-0,23	-0,18	0,05	0,43
K	0,57	0,17	0,58	0,03	0,25
Ca	0,83	0,36	0,35	-0,02	-0,13
Mg	0,77	0,41	0,43	-0,05	-0,11
NO ₃	0,88	0,22	-0,01	0,20	0,03
Cl	0,96	0,04	-0,06	0,09	0,13
SO ₄	0,88	0,29	-0,07	0,10	-0,09
F	-0,46	-0,33	0,02	0,15	0,62
Fe	0,06	-0,14	-0,13	0,90	0,04
Varianza spiegata %	42,5	23,1	9,4	6,7	6,2
Varianza cumulata spiegata %	42,5	65,6	75,0	81,7	87,9

Metodo estrazione: analisi componenti principali.

Metodo rotazione: Varimax con normalizzazione di Kaiser.

In blu i valori maggiori di 0,5; in rosso i valori minori di - 0,5

TABELLA 7 - STIME DI DOSE

IDENTIFICAZIONE CAMPIONE			STIME DI DOSE	
Protocollo	Comune	Descrizione	Dose efficace impegnata (mSv/anno)	
020389	Inveruno	Pozzo comunale-acquedotto	0,0057	*
020390	Parabiago	Ditta ITS ARTEA spa	0,0066	
020391	Legnano	Pozzo AMGA	0,0043	*
020392	Parabiago	Ditta SO.LA.GO.	0,0039	*
020393	Lainate	Ditta Perfetti	0,0019	*
020407	Parabiago	Pozzo comunale-acquedotto	0,0157	
020408	Parabiago	Pozzo comunale-acquedotto	0,0034	*
020409	Parabiago	Pozzo comunale-acquedotto	0,0137	
020410	Parabiago	Pozzo comunale-acquedotto	0,0026	*
020417	Parabiago	Pozzo comunale-acquedotto	0,0190	
020418	Cerro Maggiore	Pozzo comunale-acquedotto	0,0022	*
020419	Parabiago	Pozzo comunale-acquedotto	0,0070	*
020420	Parabiago	Pozzo comunale-acquedotto	0,0100	
020426	Rho	Pozzo comunale-acquedotto	0,0036	*
020427	Rho	Pozzo comunale-acquedotto	0,0037	*
020428	Rescaldina	Pozzo comunale-acquedotto	0,0053	*
020429	Rho	Ospedale	0,0029	*
020445	Marcallo	Pozzo comunale-acquedotto	0,0077	*
020446	Lainate	Pozzo comunale-acquedotto	0,0056	*
020447	Lainate	Pozzo comunale-acquedotto	0,0022	*

* : casi in cui la stima di dose da ²²⁶Ra è stata effettuata utilizzando il valore del limite di sensibilità della metodica

ELENCO TAVOLE

- Tavola 1 Esito delle determinazioni radiometriche – 1^a falda
- Tavola 2 Esito delle determinazioni radiometriche – 2^a falda
- Tavola 3 Esito delle determinazioni radiometriche – 3^a falda
- Tavola 4 Attività alfa totale
- Tavola 5 Uranio totale
- Tavola 6 Rapporto $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$
- Tavola 7 Ricostruzione paleografica del corso del fiume Ticino e del fiume Olona

Nota

In tutte le tabelle incluse nelle tavole, le concentrazioni di attività sono riferite alla seguenti unità di misura:

- attività alfa e beta totale: mBq/kg
- ^{234}U , ^{238}U e uranio totale: mBq/kg
- ^{222}Rn : Bq/kg