

aggiunta, si osservano concentrazioni talvolta elevate di Mo (330-150 $\mu\text{g/l}$ in alcuni prelievi delle due campagne, rispettivamente), ed in alcuni casi Pb.

Questi dati preliminari mettono in evidenza la necessità di un monitoraggio delle acque nell'area, anche per evidenziare eventuali effetti dovuti alla stagionalità, ed uno studio associato di valutazione del potenziale rischio ambientale associato agli OLD (Oxic Limestone Drainage).

Riferimenti

- Anderson, G.M. and Macqueen, R.W. (1982). *Geoscience Canada* 9, 107-117
- Cravotta, C.A. and Trahan, M.K. (1999). *Applied Geochemistry* 14, 581-606
- Hammarstrom, J.M.; Seal, R.R.; Mejer, A.L. and Kornfeld, J.M. (2005). *Chem. Geol.* 215, 407-431
- Schroll, E. (2005). *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge*, Ch 2-26, 175-178



ACQUA 2011

Hydrodynamic and geochemical evolution of a multiaquifer alluvial system

Dimitra Rapti-Caputo

University of Ferrara, Department of Earth Sciences, via Saragat 1, blocco, B, stanza 314, I-44100 Ferrara, Italy (cpr@unife.it)

In the present work, the results of the hydrodynamic, hydrochemical and isotopic analyses of the multiaquifer alluvial system existing in the eastern sector of the Po plain are presented allowing to define the evolutionary trend of the aquifer system. In particular, based on the analysis of the water depth, it is possible to measure the influence on the piezometric level of the pumping rate. It is also possible to observe strong fluctuations of the piezometric level in the bore-holes very near to the Po river, due to variation of the hydrometric level and of the pumping rate of the aquifer system. As a matter of fact, during the last years the bore-holes of the investigated area showed a

progressive and continuous increase of the piezometric level likely attributed to the decrease of the exploitation rate of the aquifer. Moreover, the analysis of the hydrochemical and isotopic data permits a) to define the principal geochemical *facies* of the underground water; b) to estimate the residence time of the water in the underground reservoir; c) to identify the occurrence of mixing phenomena between different water types and salinization processes; d) to characterise the natural ionic concentration of the water and e) the occurrence of contamination phenomena.



ACQUA 2011

Approccio metodologico nell'analisi di fenomeni di contaminazione da Arsenico, Ferro e Manganese nelle falde superficiali: il caso del territorio di Cremona

Tullia Bonomi, Letizia Fumagalli, Marco Rotiroti

Università degli Studi di Milano Bicocca - Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio, Piazza della Scienza 1, Milano

Il presente lavoro nasce all'interno di una collaborazione scientifica tra l'Università di Milano-Bicocca e la Provincia di Cremona. Lo studio prevede un'analisi di tipo idrogeologico ed idrochimico del sistema acquifero multistrato presente nel territorio cremonese, in relazione a fenomeni di contaminazione da As, Fe e Mn nelle acque sot-

terranee, in particolare in quelle superficiali.

L'obiettivo è quello di sviluppare un'adeguata metodologia di analisi in grado di identificare il grado di contaminazione presente, definendo gli scenari teorici sulle possibili dinamiche e le ipotesi sulla provenienza potenziale della contaminazione.

Lo studio emerge dalla necessità da parte dell'autorità pubblica di definire e comprendere il fenomeno di contaminazione analizzato, in modo da svolgere una corretta gestione e protezione della risorsa idrica sotterranea.

L'area specifica oggetto di studio è ubicata in prossimità della confluenza tra Adda e Po e comprende un territorio di circa 50 km², esteso principalmente intorno alle zone industriali presenti ad ovest e a sud-est della città di Cremona. In queste aree produttive si concentra l'attenzione dell'autorità pubblica, visti i significativi livelli di contaminazione evidenziati negli ultimi anni (indicativamente dal 2005 ad oggi) nelle falde superficiali, interessata anche a verificare la possibile influenza, diretta e/o indiretta, dei processi antropici presenti nei meccanismi di contaminazione da As, Fe e Mn in atto.

L'intero territorio della provincia di Cremona è stato oggetto di studi idrogeologici ed idrochimici precedenti (Beretta et alii, 1992; Francani et alii, 1994; Zavatti et alii, 1995) che hanno messo in evidenza concentrazioni elevate di Arsenico, Ferro e Manganese generalmente in prossimità di falde profonde (indicativamente maggiori a 50 m di profondità), ipotizzando un'origine di tipo naturale. In particolare per l'elemento As sono state individuate concentrazioni elevate in prossimità del fiume Oglio (anche superiori a 200 µg/l) e in misura minore nel territorio oggetto del presente studio, con falde interessate comprese generalmente tra 50 e 120 m di profondità (Zavatti et alii, 1995).

La metodologia di analisi sviluppata ed applicata nel presente studio prevede la realizzazione delle seguenti fasi d'indagine:

- raccolta dei dati storici e delle informazioni esistenti riguardanti la geologia, l'idrologia, l'idrogeologia, la geochimica e i fenomeni di contaminazione progressivi e/o in atto nell'area di studio;
- individuazione di una rete di monitoraggio piezometrica ed idrochimica al fine di effettuare un campionamento di tipo sito-specifico e realizzazione di una campagna di monitoraggio sulla rete individuata;
- organizzazione ed interpretazione dei dati raccolti tramite banche dati specifiche, in particolare di tipo idrogeologico per pozzi e di tipo chimico, e sistemi informativi territoriali;
- ricostruzione delle caratteristiche idrogeologiche dell'area di studio sulla base dei dati stratigrafici disponibili;
- analisi delle caratteristiche idrauliche delle falde superficiali e profonde in base ai dati disponibili ed analisi della relazione idraulica tra la falda superficiale e quelle profonde, con possibile ricostruzione del deflusso tra i due sistemi.
- analisi spaziale e temporale dei dati chimici, sia di quelli storici disponibili che di quelli derivati dalla campagna sito-specifica, con l'individuazione delle variazioni idrochimiche in funzione dell'evoluzione piezometrica, considerando anche la struttura geologica e tessitura dell'acquifero.

In base ad una analisi idrogeologica preliminare ed in funzione della pianificazione della campagna di monitoraggio specifica è stata effettuata una suddivisione del sistema idrogeologico considerato in 5 unità: freatico 1 (0-25 m di profondità), freatico 2 (30-50 m), semi-confinato 1 (65-85 m), semi-confinato 2 (100-150 m) e semi-confinato 3 (160-250 m). Questa suddivisione assume un significato esclusivamente a livello locale, in funzione della presenza di consistenti livelli limosi ed argillosi.

La raccolta ed acquisizione dei dati storici si è focalizzata principalmente intorno alle informazioni sugli eventi di inquinamento progressivi nel territorio considerato e sui pozzi pubblici e privati dell'area. Sono stati valutati 35 eventi di inquinamento archiviati nell'Ufficio Bonifiche della Provincia, 23 dei quali hanno coinvolto le acque sotterranee. Per questi siti sono stati individuati 302 piezometri di monitoraggio, rispetto ai quali sono stati raccolti complessivamente 917 rapporti di analisi chimiche, riferiti al periodo temporale 2000-2009.

Sono stati censiti 510 pozzi tra pubblici e privati su un'area di estensione maggiore (circa 500 km²), con raccolta delle informazioni strutturali, stratigrafiche, piezometriche e chimiche, dove presenti.

Questi dati storici sono stati organizzati nella banca idrogeologica per pozzi TANGRAM (Bonomi et alii, 1996) e nella banca idrochimica TANGCHIM, collegata a quella idrogeologica, al fine di gestire in un ambiente unico e in maniera strutturata le molteplici informazioni, con la possibilità di effettuare estrazioni specifiche. Il dato chimico storico è stato anche rappresentato con mappe tematiche di sintesi, elaborate attraverso l'uso di Sistemi Informativi Territoriali, che hanno raggruppato in un quadro complessivo le informazioni relative ai singoli siti.

La campagna di monitoraggio, eseguita nel mese di luglio 2010, è stata realizzata per avere un punto di riferimento temporalmente e spazialmente più omogeneo rispetto al dato storico. Sono stati identificati 73 punti d'indagine, tra i pozzi e piezometri censiti, sui quali è stata effettuata una campagna idrochimica ed una piezometrica, accompagnata da misure di quote e coordinate con strumentazione GPS. I punti d'indagine utilizzati sono stati classificati in base alla suddivisione del sistema idrogeologico effettuata, considerando la profondità dei filtri e anche le modalità di completamento dei pozzi, per supportare l'interpretazione del dato chimico rilevato.

Dai risultati della campagna di monitoraggio, ma anche dall'analisi dei dati storici, emergono significative concentrazioni di As, Fe e Mn nelle falde profonde e superficiali, per quest'ultime in particolare in prossimità di un ampio sito contaminato da idrocarburi.

L'elaborazione quantitativa di questi dati, attualmente in atto, e la loro interpretazione comprenderà quindi la verifica di un'ipotesi di correlazione tra elevate concentrazioni di As, Fe e Mn e presenza di idrocarburi in falda, ipotesi verificata in diversi studi internazionali (Berbenni,

2000; He, 2010).

Altra ipotesi da verificare per comprendere le elevate concentrazioni di As, sia in falde superficiali che profonde, è la sua correlazione con la presenza di torba. Ipotesi già presa in considerazione da Zavatti et alii (1995) ed evidenziata da McArthur et alii (2001) che definisce la torba come fattore primario di controllo della concentrazione di Arsenico. Il ruolo della torba è sottolineato anche dal lavoro di Francani et alii (1994), identificato per i meccanismi dell'azoto ammoniacale, ma che può essere anche valutato per le specie ridotte di Ferro e Manganese.

Bibliografia consultata

Berbenni P., Pollice A., Canziani R., Stabile L. & Nobili F. (2000) – *Removal of iron and manganese from hydrocarbon-contaminated groundwaters*. *Bioresource Technology* 74 (2), 109-114.

Beretta G. P., Francani V. & Fumagalli L. (1992) – *Studio Idrogeologico della Provincia di Cremona*. Pitagora Editrice, Bologna.

Bonomi T., Cavallin A. & De Amicis M. (1995) – *Un database per pozzi: Tangram*. *Quaderni Geologia Applicata*, suppl. n. 3, 461-465.

Francani V., Beretta G. P., Bareggi A., Nobile A., Cremonini Bianchi M. & Cattaneo F. (1994) – *Aspetti idrogeologici del problema della presenza di azoto ammoniacale nelle acque sotterranee della provincia di Cremona*. Pitagora Editrice, Bologna.

He Y. T., Fitzmaurice A. G., Bilgin A., Choi S., O'Day P., Horst J., Harrington J., Reisinger H. J., Burris D. R. & Hering J. G. (2010) – *Geochemical processes controlling arsenic mobility in groundwater: A case study of arsenic mobilization and natural attenuation*. *Applied Geochemistry* 25 (1), 69-80.

McArthur J. M., Ravenscroft P., Safiulla S. and Thirlwall M. F. (2001) – *Arsenic in groundwater: Testing pollution mechanisms for sedimentary aquifers in Bangladesh*. *Water Resources Research* 37 (1), 109-117.

Zavatti A., Atramini D., Bonazzi A., Boraldi V., Malagò R., Martinelli G., Naldi S., Patrizi G., Pezzera G., Vandini W., Venturini L. & Zuppi G. M. (1995) – *La presenza di Arsenico nelle acque sotterranee della Pianura Padana: evidenze ambientali e ipotesi geochimiche*. *Quaderni di geologia Applicata*, suppl. n. 2, 301-325.



Impatto sulle risorse idriche e terreni dell'utilizzo dei fanghi di depurazione come ammendante in agricoltura

Dimitra Rapti-Caputo⁽¹⁾ e Fabiano Campi⁽²⁾

⁽¹⁾Università di Ferrara, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Saragat 1, blocco B, stanza 314, 44100 Ferrara, Italy (cpr@unife.it)

⁽²⁾Ter.Am.Ec. S.r.l.

Nella presente ricerca vengono discussi i risultati preliminari relativi al riutilizzo dei fanghi di depurazione in agricoltura come ammendanti per i terreni agricoli in alternativa ai fertilizzanti chimici. L'efficienza del riutilizzo di tali fanghi di depurazione andrebbe valutata in base al rapporto costi/benefici/rischi. Attualmente, purtroppo, l'unico aspetto valutabile è il basso costo della materia prima (fango) rispetto ai fertilizzanti chimici ampiamente utilizzati in agricoltura. Per quanto riguarda gli altri due aspetti relativi ai benefici ed ai rischi è possibile effettuare una stima solo per periodi di tempo prolungati, essendo legati a fenomeni che avvengono molto lentamente, come gli accumuli di elementi e composti nel terreno e negli acquiferi. In un campo sperimentale, localizzato nella provincia di Ferrara, l'analisi integrata di dati pedologici, stratigrafici, idrogeologici e geochimici relativi a fanghi, terreni e risorse idriche sotterranee ha permesso di fare alcune considerazioni per quanto riguarda la tipologia del fango utilizzata e di valutare gli effetti dello spandimento

sugli acquiferi e terreni. In particolare, l'analisi integrata dei dati ha messo in evidenza tre aspetti principali. In primo luogo, la presenza di fanghi 'non stabilizzati chimicamente' potrebbe compromettere il loro uso, nel caso in cui le oscillazioni composizionali nel tempo provocassero il superamento dei limiti ammissibili per legge e, di conseguenza, causassero l'inquinamento del suolo. In secondo luogo, la somministrazione di fanghi di depurazione ha contribuito ad un lieve aumento delle concentrazioni di zinco nei sedimenti del settore sud-orientale dell'area investigata, la quale passa, ad una distanza di 4 mesi, dai 110 mg/kg pre-spargimento ai 180 mg/kg post-spargimento, mentre non si osserva nessuna variazione delle concentrazioni in mercurio, rame e piombo. Infine, nell'acquifero a falda libera si è osservato, subito dopo lo spargimento, un aumento delle concentrazioni in nitrati, solfati, cloruri, cobalto, rame, arsenico e cadmio, che diminuiscono, però, nell'arco di un mese.