

La presente copia viene fornita all'autore non per scopi commerciali, ma solo per scopi didattici o scientifici senza fini di lucro.

Non deve essere riprodotta o distribuita dall'autore

Provided for non-commercial research and education use.

Not for reproduction, distribution or commercial use



L'articolo è stato pubblicato sulla rivista *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater* edita dall'Associazione Acque Sotterranee. L'articolo può essere usato dall'autore per la didattica o per condividerlo con i colleghi. Non può essere riprodotto o inserito in siti web dell'autore o di terze parti nella forma pdf impaginata dalla Casa Editrice. Può altresì essere inserito in formato txt o Word nel sito dell'autore citando la rivista in cui è stato pubblicato e il DOI ad esso collegato

This article appeared in Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater published by Associazione Acque Sotterranee. The attached copy is furnished to the author for internal non-commercial research and education use, including for instruction at the authors institution and sharing with colleagues. Other uses, including reproduction and distribution, or selling or licensing copies, or posting to personal, institutional or third party websites are prohibited.

Authors are permitted to post their version of the article (e.g. in Word or Tex form) to their personal website or institutional repository, but it be cited appropriately: the publisher, the name of journal, ISSN and DOI.

L'impianto di ricarica riverbank filtration di S. Alessio (Lucca): attività di monitoraggio e modellistica nel progetto EU FP7 MARSOL

The riverbank filtration plant in S. Alessio (Lucca): monitoring and modeling activity within EU the FP7 MARSOL project

Iacopo Borsi, Giorgio Mazzanti, Alessio Barbagli, Rudy Rossetto

Riassunto: Lo schema di induzione della ricarica di subalveo (riverbank filtration, RBF) lungo il Fiume Serchio (Lucca) permette l'emungimento di circa 1 m³/s di acque sotterranee per fornire acqua potabile a circa 300000 persone della Toscana costiera (città di Lucca, Pisa e Livorno). L'acqua è derivata con uno schema RBF costituito da dieci pozzi verticali che inducono la filtrazione di subalveo in un acquifero altamente trasmissivo (10⁻² m²/s) in sabbia e ghiaia e da una traversa in alveo a valle dei pozzi che provoca l'innalzamento del livello del fiume e quindi un aumento dell'immagazzinamento in falda lungo il tratto fluviale. Nell'ambito del progetto FPVII-ENV-2013 MARSOL, il campo pozzi di Sant'Alessio verrà utilizzato per dimostrare la sostenibilità ed i benefici della gestione di schemi RBF, da un punto di vista tecnico e socio-economico, contro l'opzione non gestita. Le attività presso il sito sperimentale includeranno l'integrazione di tecnologie robuste, tra cui il monitoraggio in continuo e lo sviluppo di strumenti software dedicati. Il fine è di produrre un sistema di supporto alle decisioni (DSS) basato sull'acquisizione e trasmissione dati in remoto, strumenti GIS e modellazione numerica, per il monitoraggio in continuo e la

gestione del campo pozzi, riducendo operazioni manuali spesso soggette ad errore. Una serie di sensori verrà installata per monitorare da un punto di vista quantitativo e qualitativo le variabili idrologiche nelle acque superficiali e di falda, nella zona insatura ed in corrispondenza dei pozzi. I dati saranno acquisiti ogni 15 minuti, trasmessi in remoto ad un server, verificati e salvati in un database per l'elaborazione in un ambiente di modellazione dedicato incluso nel DSS. La procedura prevede inoltre un sistema di avviso per informare i gestori sul rendimento dell'impianto e sul raggiungimento di limiti relativi a tassi di infiltrazione o indici di qualità delle acque. Il DSS, il sistema di sensoristica, la trasmissione di dati e gli strumenti di archiviazione costituiranno nel loro insieme un prototipo di cui verrà analizzato il potenziale sfruttamento sul mercato.

Parole chiave: ricarica della falda in condizioni controllate, induzione della ricarica di subalveo, MARSOL, sistemi di supporto alle decisioni per la gestione della risorsa idrica, SID&GRID.

Keywords: Managed Aquifer Recharge, induced riverbank filtration, MARSOL, decision support system for water management, SID&GRID.

Abstract: *The riverbank filtration (RBF) scheme along the Serchio River, Lucca (Tuscany – Italy) allows abstraction of an overall amount of about 1 m³/s groundwater providing drinking water for about 300000 people of the coastal Tuscany (town of Lucca, Pisa and Livorno). Water is derived by means of an RBF scheme by a set of ten vertical wells inducing riverbank filtration into a high yield (10⁻² m²/s transmissivity) sand and gravel aquifer including a downstream weir to raise river head and increasing water storage in the aquifer along the river reach. Within the framework of the MARSOL FPVII-ENV-2013 project, the Sant'Alessio well field will be used to demonstrate the sustainability, by a technical, social and market point of view, and the benefits of RBF managing versus the unmanaged option. The Serchio experimental site will involve merging existing and proved technologies, including continuous monitoring of several parameters and analytes and the development of dedicated software tools, to produce a Decision Support System (DSS) based on remote data acquisition and transmission and GIS physically-based fully distributed numerical modeling to continuously monitor and manage the well field, reducing also, prone to error, human operated activities. A set of sensors will be installed to monitor by a quantitative and qualitative point of view hydrologic variables in the river water, in the aquifer, the unsaturated zone and the wells. Data will be continuously acquired and remotely transmitted to a server where they will first be checked for consistency and then sent to a database for processing in a dedicated modelling environment included in the DSS and equipped with an alert system to inform water managers about the scheme performance and reaching limits of infiltration rates or water quality indices. The DSS along with the installed sensors, data transmission and storage tools will constitute a prototype whose potential market exploitation will be tested.*

Iacopo BORSI 
TEA Sistemi Spa
iacopo.borsi@tea-group.com

Giorgio MAZZANTI
Provincia di Lucca

Alessio BARBAGLI, Rudy ROSSETTO
Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa
r.rossetto@sssup.it

Ricevuto: 25 agosto 2014 / Accettato: 09 settembre 2014
Pubblicato online: 30 settembre 2014

© Associazione Acque Sotterranee 2014

Introduzione

L'induzione di ricarica di subalveo attraverso la messa in opera di pozzi di captazione su o nei pressi dei rilevati arginali, meccanismo noto in inglese con il termine *riverbank filtration* (RBF), è una tecnica ampiamente utilizzata di ricarica delle falde in condizioni controllate (*Managed Aquifer Recharge*, MAR), allorché esse sono in connessione idraulica con corsi d'acqua superficiali, con comprovati effetti positivi sulla qualità e quantità dell'acqua che si ottiene da tali impianti di captazione (Schubert, 2002; Tufenkji et al., 2002; Civita, 2005). Questo tipo di tecnica permette di captare dai pozzi un cospicuo volume di acqua evitando, al tempo stesso, forti abbassamenti del livello della falda. Inoltre, grazie alla naturale filtrazione attraverso il terreno, molte specie chimiche presenti nelle acque superficiali possono essere ridotte in concentrazione o rimosse del tutto (composti biodegradabili, solidi sospesi, batteri, virus, parassiti, etc.). L'acqua così filtrata attraverso la zona iporeica diventa dunque un'ottima risorsa per la produzione di acqua potabile (Tufenkji et al., 2002).

D'altra parte, le acque superficiali sono per loro natura particolarmente esposte a rischi di contaminazione derivanti da scarichi industriali o civili, da fitofarmaci, etc. In un sistema idraulico come quello sopra descritto, un'eventuale contaminazione delle acque superficiali di una certa durata può innescare anche una contaminazione delle acque sotterranee con impossibilità di utilizzo dell'impianto o necessità di deroghe a particolari analiti per la distribuzione idropotabile delle acque emunte. Approfondimenti di carattere tecnico scientifico degli impianti MAR si sono avuti agli inizi del 2000, ma il preoccupante rilevamento di contaminanti emergenti nelle acque superficiali e di falda ed i cambiamenti climatici in atto, hanno negli ultimi anni rinnovato l'interesse alla gestione di tali impianti (Sprenger et al., 2011; Stepien et al., 2013; Henzler et al., 2014).

Da queste brevi considerazioni emerge chiaramente il fatto che gli impianti RBF possono essere forieri di problematiche per la salute umana, ma anche di tipo ambientale, se lasciati in un regime incontrollato o non gestito. Nell'ambito del progetto FPVII-ENV-2013 MARSOL - *Demonstrating Managed Aquifer Recharge as a Solution to Water Scarcity and Drought* (Rossetto & Bonari, 2014), verrà messo in opera un dispositivo sperimentale in un'area del campo pozzi di Sant'Alessio (Lucca) per studiare in dettaglio le relazioni e connessioni idrauliche tra le acque superficiali e sotterranee, al fine di dimostrare la sostenibilità (dal punto di vista tecnico, sociale ed anche economico) ed i benefici di una gestione controllata vs la presente gestione degli impianti RBF.

In questo contributo descriviamo le principali caratteristiche del sito e presentiamo il progetto di sistema di supporto alle decisioni (DSS, *Decision Support System*) che sarà implementato nel corso del progetto, a partire dall'autunno 2014.

L'area sperimentale del campo pozzi di Sant'Alessio (Lucca)

L'area sperimentale del campo pozzi di Sant'Alessio è descritta in dettaglio in Rossetto & Bockelmann-Evans (2007).

Lungo il Fiume Serchio (Lucca) sono presenti opere di captazione delle acque sotterranee per un prelievo pari a circa $1 \text{ m}^3/\text{s}$, atto a fornire la risorsa idropotabile per circa 300000 persone nei comuni di Lucca, Pisa e Livorno. Nel tratto di Sant'Alessio, il Fiume Serchio ricarica naturalmente un esteso acquifero in sabbie e ghiaie ad elevata trasmissività ($10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$; Fig. 1). Presso il campo pozzi di Sant'Alessio l'emungimento di elevate quantità, circa $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ per mezzo di 10 punti di prelievo (Fig. 2), ha generato una estesa depressione piezometrica al di sotto dell'alveo, inducendo un fortissimo incremento della ricarica di subalveo. Tale ricarica è stata quindi ulteriormente aumentata mettendo in opera, negli anni novanta, a valle del campo pozzi una traversa in alveo, sì da elevare il livello del corso d'acqua e conseguentemente il carico idraulico nell'acquifero. Tale impianto, come del resto la stragrande maggioranza di questo tipo di impianti di ricarica, è comunque privo di qualsiasi sistema di gestione automatizzato: il controllo della sua efficienza è limitato all'insieme dei controlli di routine svolti dall'ente gestore (GEAL spa), dalla locale ASL o ARPAT.

Motivo di preoccupazione in tale tipo di impianto riguarda la qualità e la quantità dell'acqua emunta, come pure le relazioni con i minimi deflussi del corso d'acqua e l'efficienza dell'impianto in relazione a fenomeni di *clogging*. Gli aspetti quantitativi riguardano essenzialmente il regime idrologico del corso d'acqua ed il suo minimo deflusso vitale: in contesti fluviali in cui le portate di magra arrivano a pochi m^3/s (nel caso del Fiume Serchio ad es. negli anni idrologici 2002/2003 e 2011/2012) l'emungimento di $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ha un impatto non trascurabile. Dal punto di vista della qualità, la contaminazione di lungo periodo delle acque superficiali può comportare una contaminazione diretta delle acque emunte, come nel periodo 2000-2006, quando il fitofarmaco terbutilazina causò seri problemi all'approvvigionamento idrico (Comune di Lucca, 2007).

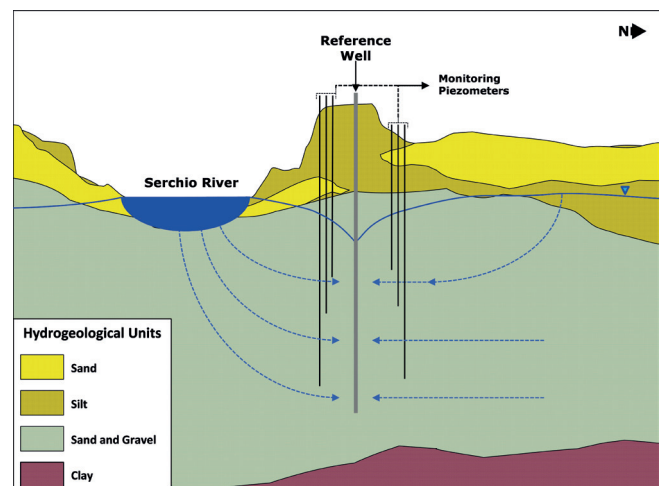


Fig 1 - Idrostratigrafia e schema di monitoraggio sperimentale presso il campo pozzi di Sant'Alessio.

Fig 1 - Hydrostratigraphy and monitoring concept at the S. Alessio well field.

Il progetto della rete di monitoraggio e del DSS

Sul sito saranno installati dei sensori per il monitoraggio in continuo di diversi parametri, sia per le acque superficiali che sotterranee (Fig. 2) che andranno a costituire i nodi di una *wireless sensors network* (WSN). Per quest'ultima è stata selezionata una configurazione del tipo seguente: i sensori comunicano il dato in radiofrequenza ad uno (o due) punti di aggregazione (*gate*) i quali a loro volta trasmettono le informazioni via GSM ad un database (DB) installato su un apposito server in remoto. Questa configurazione (resa possibile dalle distanze previste per la rete di sensori e dalla buona trasmissione di segnale che si ha nella zona di interesse) permette di ottenere una trasmissione ottimale delle informazioni, in termini di qualità di trasmissione e contenimento dei costi di installazione ed esercizio.

La WSN sarà costituita da (almeno): 7 sensori di temperatura, livello piezometrico, e conducibilità elettrica nelle acque sotterranee; 2 misuratori di livello e temperatura nel corso d'acqua superficiale; 1 sonda multi-parametrica per la determinazione di diversi parametri chimico-fisici e analiti nel corso d'acqua (ad es: temperatura, pH, conducibilità elettrica, OD, COD, nitrati, idrocarburi totali, principi attivi fitofarmacologici e farmaceutici in via di definizione).

Il DSS sarà lo strumento software per gestire, controllare e analizzare i dati provenienti dalla WNS. L'obiettivo di questo strumento è il controllo, l'analisi e la simulazione di scenari previsionali per la gestione dell'impianto di ricarica ed è costituito dai seguenti strumenti (Fig. 3):

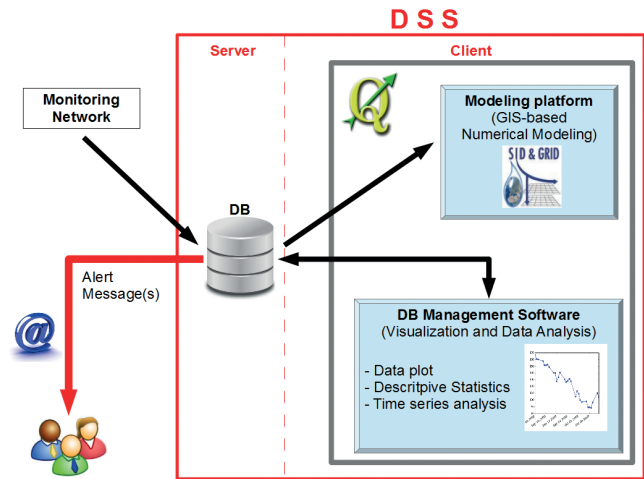


Fig 3 -Schema degli strumenti software di cui è composto il DSS.

Fig 3 -Scheme of the software tools constituting the DSS.

1. un sistema di allerta, per il controllo dei superamenti di livelli limite;
2. un insieme di formule e soluzioni analitiche per estrarre utili informazioni sull'andamento dei vari parametri, in tempo quasi-reale (il c.d. *short-cut modeling*, ad esempio: differenze o rapporti fra parametri, indici aggregati di diversi parametri, etc.);
3. strumenti di analisi statistica avanzata;
4. modellistica numerica integrata in ambiente GIS.

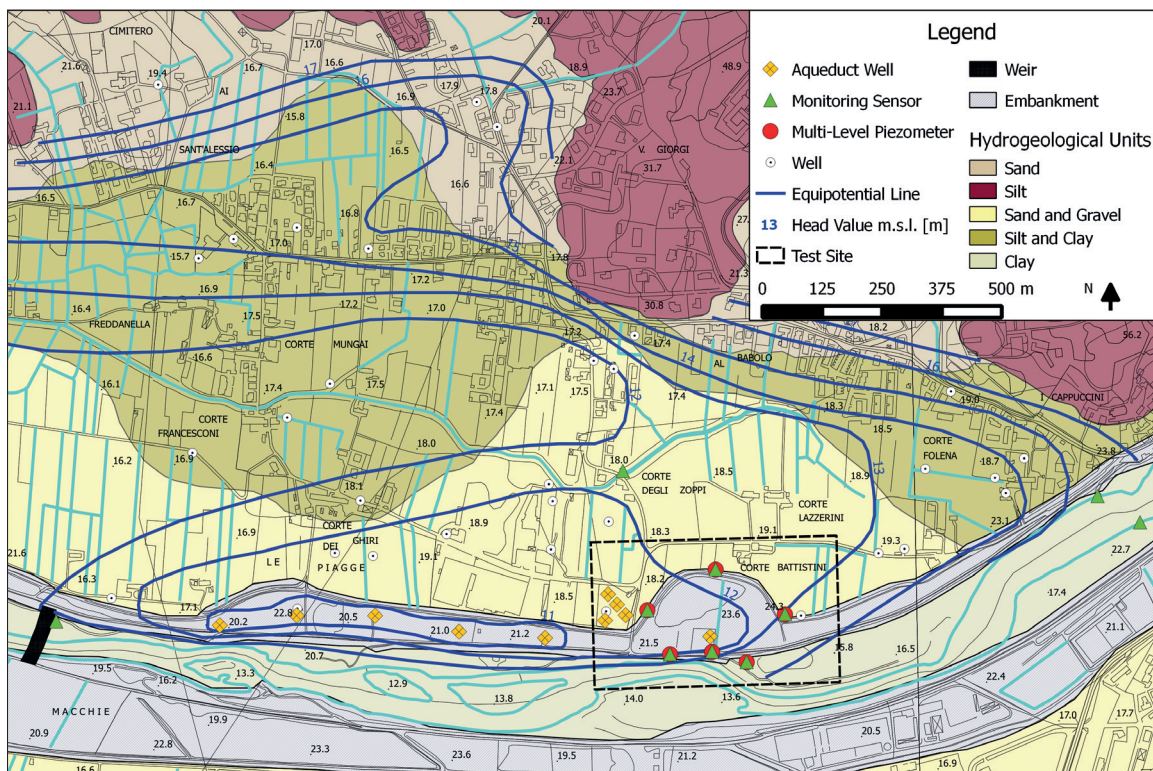


Fig 2 - Carta piezometrica e schema di monitoraggio al campo pozzi di Sant'Alessio.

Fig 2 - Potentiometric map and monitoring scheme at Sant'Alessio well field (plain view).

Queste applicazioni e procedure sono contenute in tre diversi tipi di software, di seguito descritte.

Gestore di un database relazionale (RDBMS), lato server

È il DB su cui vengono salvati i dati provenienti dalla rete di monitoraggio, basato su tecnologia PostgreSQL (2014). Il DB, oltre alle usuali tabelle di dati e alle reciproche relazioni, sarà corredato da apposite *stored procedures*, cioè da funzioni e routine definite direttamente dentro l'architettura del DB e che dunque vengono attivate in automatico all'arrivo di nuovi dati (Bales, 2007). Queste funzioni hanno il compito di calcolare grandezze derivate dai dati grezzi che, per brevità, denominiamo *indicatori*. Essi contribuiscono ad arricchire l'informazione sul sistema RBF, in aggiunta a quella direttamente fornita dai dati monitorati. L'inclusione di questi calcoli nel DB evita che essi (seppur veloci e facilmente implementabili) debbano essere fatti esternamente dal singolo utente dopo l'arrivo delle nuove informazioni. Sarà sufficiente interrogare il DB per visualizzare e valutare i risultati di queste pre-elaborazioni. Gli indicatori riguarderanno sia le caratteristiche idrodinamiche (ad es: gradienti idraulici, flussi di infiltrazione, etc.) sia qualitative (ad esempio indici cumulati per la stima della qualità dell'acqua).

Delle suddette *stored procedures* fanno parte anche le funzioni per il controllo del superamento di valori soglia (pre-impostati) e del relativo invio di segnali di allerta agli utenti interessati (via email o sms).

Il DB Management Software, lato client

Il DB Management Software sarà sviluppato come plug-in del ben noto GIS libero e gratuito QGIS (QGIS, 2014), su cui sarà basata anche la piattaforma modellistica. Da esso si potranno richiamare le tabelle desiderate del DB per effettuare analisi statistiche, fra cui: interrogare e visualizzare i dati di interesse; test statistici di normalità; analisi di serie storiche (periodogramma, trend test, ecc.). Per condurre questo tipo di analisi sarà sviluppato un *plugin* dedicato, che potrà essere utilizzato indipendentemente o integrandolo con altri strumenti di analisi statistica e geostatistica già presenti nell'attuale versione del software.

Piattaforma modellistica

La piattaforma modellistica SID&GRID integrata in ambiente GIS gratuito e open source (Rossetto et al., 2013) sarà ulteriormente potenziata includendo la capacità di simulare processi di trasporto di soluti e calore, anche densità-dipendente. Questo tipo di caratteristica è fondamentale per l'utilizzo di simulazioni numeriche utili alla gestione della RBF. In particolare, ogni qualvolta il sistema di allerta fornisca un dato "sospetto" (ad esempio l'aumento nel fiume di una sostanza non desiderata, o l'ipotesi di forte variazione della permeabilità del letto del fiume dovuta a fenomeni di *clogging*) sarà possibile effettuare delle previsioni di scenario, utilizzando la stessa piattaforma GIS per caricare direttamente dal DB i dati input di interesse per il modello.

Conclusioni

Gli impianti RBF, seppur operativi in molte aree del paese, necessitano di strumenti di gestione per mantenere elevati livelli di efficienza operativa e di sicurezza per quanto riguarda la qualità delle acque emunte. Le attività in svolgimento nel progetto MARSOL hanno l'obiettivo, attraverso la definizione di una rete di monitoraggio associata allo sviluppo di strumenti software dedicati di proporre una prima soluzione applicativa a tale necessità.

Ringraziamenti: Le attività descritte in questo contributo sono co-finanziate dal progetto FP7-ENV-2013-WATER-INNO-DEMO MARSOL (Grant Agreement n. 619120).

BIBLIOGRAFIA

- Bales, D.J. (2007). *Beginning PL/SQL: From Novice to Professional*, Springer-Verlag New York.
- Civita, M. (2005). *Idrogeologia applicata ed ambientale*. Casa Editrice Ambrosiana.
- Comune di Lucca (2007). Progetto LIFE SERIAL WELLFIR: i risultati di un triennio di attività per la salvaguardia della risorsa idrica. A cura di M. Di Bugno, N. Silvestri, T. Sabbatini. ISBN 88-95144-01-5 978-88-95144-01-6
- Henzler, A.F., Greskowiak, J., Massmann, G. (2014). Modeling the fate of organic micropollutants during riverbank filtration (Berlin, Germany). *Journal of Contaminant Hydrology* 156, 78–92.
- PostgreSQL (2014). <http://www.postgresql.org/> [ultimo accesso 8 agosto 2014]
- QGIS (2014). <http://www.qgis.org> [ultimo accesso 8 agosto 2014]
- Rossetto, R., Borsi, I., Schifani, C., Bonari, E., Mogorovich P., Primicerio M. (2013). SID&GRID: integrating hydrological modeling in GIS environment hydroinformatics system for the management of the water resource. *Rendiconti Online Società Geologica Italiana Volume 24*, 282-283
- Rossetto, R. & Bockelmann-Evans, B. (2007). Modellazione numerica del flusso e del trasporto di soluti ai fini dell'investigazione dei processi di trasporto dell'erbicida terbutilazina nel sistema acquifero della pianura di S. Alessio (Lucca). *Giornale di Geologia Applicata* 01/2007; 5:29-44. DOI: 10.1474/GGA.2007-05.0-03.0164.
- Rossetto, R & Bonari, E. (2014). Il futuro della ricarica delle falde in condizioni controllate in Italia: il progetto europeo FPVII MARSOL e la EIP on water MAR to MARKET. *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater*, Vol. 3, n. 3/137
- Sharma, L., Greskowiak, J., Ray C., Eckert, P., Prommer, H. (2012). Elucidating temperature effects on seasonal variations of biogeochemical turnover rates during riverbank filtration. *Journal of Hydrology* 428429, 104 – 115.
- Schubert, J. (2002). Hydraulics aspects of riverbank filtration - field studies. *Journal of Hydrology* 266, 145-161.
- Sprenger, C., Lorenzen, G., Hülshoff, I., Grützmacher, G., Ronghang, M., Pekdeger, A. (2011). Vulnerability of bank filtration systems to climate change. *Science of the Total Environment* 409, 655–663.
- Stepien, D.K., Regnery, J., Merz, C., Püttmann, W. (2013). Behavior of organophosphates and hydrophilic ethers during bank filtration and their potential application as organic tracers. A field study from the Oderbruch, Germany. *Science of the Total Environment* 458–460, 150–159.
- Tufenkji, N., Ryan, J., Elimelech M. (2002). The promise of bank filtration: A simple technology... *Environmental Science and Technology*, 36 (21), 422A–428A.