# 13 IL TEST CON TRACCIANTE DI FEBBRAIO 2005

# 13.1 Nuova configurazione del sistema

Previa verifica con prove di pompaggio è stata effettuata una variazione, rispetto alla configurazione originaria, del sistema a causa di problemi verificatisi con i pozzi di iniezione.

Il mal funzionamento del sistema originale è probabilmente attribuibile ad una realizzazione non corretta dei pozzi oppure ad una eterogeneità dell'area circostante alla zona di iniezione.

Pertanto si è scelto di utilizzare i piezometri PM2 e PM7 rispettivamente come pozzo di iniezione e di estrazione.

Il nuovo sistema si può vedere rappresentato in Figura13-1.



Figura13-1- Schema dell'impianto modificato

### 13.1.1 Prima iniezione

La prima iniezione è stata effettuata il 16 Febbraio 2005 alle 11:40.

Portata peristaltica:  $Q_{tr}= 277 \text{ ml/min} (8)$ Portata media di linea:  $Q_s = 9.2 \text{ l/min}$ Concentrazione soluzione: Ctr = 200000 mg/lMassa di tracciante = 10 kg di NaCl Volume soluzione = 50 l Durata iniezione = 3 ore Concentrazione di fondo: Cs=20 mg/l



Figura 13-2 Parametri considerati per il calcolo della diluizione

Durante il test la sonda multiparametrica è stata posizionata nel piezometro PM5 in modalità di assunzione dati in continuo.

I parametri misurati sono: pH, conducibilità, Potenziale Redox, O.D., Torpidità, Temeperatura dell'acqua di falda, Andamento dei cloruri con un sensore ionico (mV).



Conducibilità

Figura 13-3-Andamento della conducibilità nel piezometro PM5 durante la prima iniezione di tracciante



### Andamento del pH

. Figura 13-4-Andamento del pH nel PM5





Figura 13-5-Andamento dell'ossigeno disciolto nel PM5



Cloruri

Figura 13-6- Andamento del potenziale (mV) rilevato dall'elettrodo iono selettivo



Figura 13-7-Andamento del potenziale Redox

### 13.1.2 Seconda iniezione

La seconda iniezione è stata effettuata il 20 Febbraio 2005 alle 8:25.

Portata peristaltica: Q<sub>tr</sub>= 424 ml/min (10) Portata media di linea: Q<sub>s</sub> = 13.3 l/min Concentrazione soluzione: Ctr = 200000 mg/l Massa di tracciante = 5 kg di NaCl Volume soluzione = 25 l Durata iniezione = 1 ore Concentrazione di fondo: Cs=20 mg/l Durante il test la sonda multiparametrica è stata posizionata nel piezometro PM5 in modalità di assunzione dati in continuo. I parametri misurati sono: pH, conducibilità, Potenziale Redox, O.D., Torpidità, Temperatura dell'acqua di falda, Andamento dei cloruri con un sensore ionico (mV).

#### Conducibilità







## Andamento del pH

Figura 13-9- Andamento del pH nel PM5







### Andamento dei potenziali redox e dello ionico

Figura 13-11- Andamento di potenziali redox e dell'elettrodo iono selettivo

### 13.1.3 Terza iniezione

La seconda iniezione è stata effettuata il 22 Febbraio 2005 alle 8:00.

Portata peristaltica:  $Q_{tr}$ = 418 ml/min (10) Portata media di linea:  $Q_s$  = 11.3 l/min Concentrazione soluzione: Ctr = 200000 mg/l Massa di tracciante = 10 kg di NaCl Volume soluzione = 50 l Durata iniezione = 2 ore Concentrazione di fondo di CI<sup>-</sup>: Cs=20 mg/l

In questa prova non sono stati disponibili i dati della sonda multiparametrica.

# 13.2 Comportamento idraulico del sistema durante il test

Durante la realizzazione dei test con tracciante è stato eseguito un monitoraggio dei livelli piezometrici e delle portate al fine di seguire le oscillazioni piezometriche della falda sottoposta a flusso radiale convergente.

I risultati delle osservazioni sono riportate nelle Figura 13-12, Figura 13-13.



#### Andamento piezometrico

Figura 13-12- Andamento dei livelli dei piezometri allineati al PM2(pozzo di iniezione) e al PM7 (pozzo di estrazione)





Figura 13-13- Andamento dei livelli nel tempo.

Durante la prova si è verificato un progressivo abbassamento dei livelli di tutti i piezometri presenti nell'area ad eccezione del PM2 che attualmente, secondo la nuova configurazione, rappresenta il pozzo di iniezione.

# 13.3 I risultati sperimentali

Nelle pagine seguenti sono riportati i grafici relativi alla concentrazione dello ione cloruro effettuando le analisi mediante cromatografo ionico in laboratorio.

Le analisi effettuate sui campioni mostrano un andamento delle concentrazioni di cloruro concorde con i risultati attesi.



Andamento CI- (PIA)

Figura 13-14 Andamento dello ione cloruro nel PIA

#### Andamento CI- (PI1)



Figura 13-15 Andamento dello ione cloruro nel PI1



#### Andamento CI- (PI2)

Figura 13-16 Andamento dello ione cloruro nel PI2

#### Andamento CI- (PM1)







#### Andamento CI- (PM3)

Figura 13-18 Andamento dello ione cloruro nel PM3

#### Andamento CI- (PM5)



Figura 13-19 Andamento dello ione cloruro nel PM5



#### Andamento CI- (PM4)

Figura 13-20 Andamento dello ione cloruro nel PM4









#### Andamento CI- (PZ0)

Figura 13-22 Andamento dello ione cloruro nel PZO





Figura 13-23 Andamento dello ione cloruro nel PM7

### Andamento Cl<sup>-</sup> nei piezometri





Figura 13-24 Andamento della concentrazione di cloruro nei piezometri PM5, PM4, PM6

### 13.4 Fase di calibrazione del modello

Come già più volte evidenziato, le curve di breakthrough ottenute con la campagna sperimentale permettono, attraverso il modello di flusso e di trasporto MODFLOW/MT3D, di determinare i parametri fluidodinamici caratteristici del sistema, ovvero la conducibilità e la dispersione.

### Risoluzione del campo di moto

Come ampiamente descritto nel paragrafo 10.3, l'area oggetto di studio è stata discretizzata nel piano xy e lungo la verticale specificando, in quest'ultimo caso, un numero di layers in grado di rappresentare correttamente la stratigrafia dedotta dal carotaggio nel pozzo PZ0 preesistente.

La Tabella 13-1 riporta i valori di **conducibilità idraulica**, **porosità** e **coefficiente di immagazzinamento** utilizzati nel modello (N.B. dallo strato 3 inizia la falda superficiale)

	Kx	Ку	Kz	Ss	Sy	n	neff
Layer 1-2:	1e-6	1e-6	1e-8	0.0001	0.01	0.01	0.01
limo							
Layer3-5		0.000					
(sabbia con	0.00007	0.000	0.00007	0.0185	0.12	0.12	0.12
matrice limosa)		07					
Layer 6	0.0004						
(sabbia e	(solo	0.000	0.00004	0 195	0.12	0.12	0.12
ghiaia)	dentro	4	0.00004	0.185	0.12	0.12	0.12
	sarcofago)						
Layer 7	10.6	10.6	10.8	0.0001	0.01	0.01	0.01
(argilla)	10-0	10-0	10-0	0.0001	0.01	0.01	0.01
Ultimi layer	0.00004	0.000	0.000004	0.0017	03	0.25	0.25
(prima falda)	0.00004	4	0.00004	0.0017	0.5	0.23	0.23

Tabella 13-1

La figura seguente mostra invece le eterogeneità introdotte nei layers relativi alla falda superficiale.



Figura 13-25 Eterogeneità locali introdotte nel layer relativo alla falda superficiale

	Conducibilità	Ss	neff	ntot
	(m/s)			
Rosso	0.00003			
Verde	0.000044			
Grigio(ghiaia)	0.0017	0.027	0.23	0.23

Per quanto riguarda invece il parametro relativo la dispersione, di seguito si riportano i dati di dispersività inseriti nel modello.



Figura 13-26 Valori di dispersività orizzontale e verticale inseriti nel modello



Figura 13-27 Eterogeneità locali relative alla dispersività nei layers relativi alla falda superficiale.



Figura 13-28 Andamento delle velocità prima dell'avvio del sistema



Figura 13-29 Andamento delle velocità dopo 3 giorni dall'avvio del sistema



Figura 13-30 Dettaglio sull'andamento del campo di moto

### Risoluzione del modello di trasporto

Come ormai noto, il modello è stato sviluppato considerando l'immissione di un tracciante conservativo quale il Cloruro di Sodio; non sono state, quindi, considerate interazioni con la matrice solida.

Una volta risolto il campo di moto, è stato ricostruito il modello di trasporto.

I grafici presentati nelle pagine seguenti illustrano come il modello di trasporto ottimizzato interpreta le osservazioni sperimentali.



Figura 13-31 Plume del tracciante in diversi istanti temporali.



Figura 13-32 Plume del tracciante in diversi istanti temporali.

Le curve di risposta, per ogni punto di osservazione, sono mostrate in Figura 13-33. I tre picchi si riferiscono alle tre iniezioni di cloruro di sodio effettuate rispettivamente, la prima, il 16 febbraio 2005 alle 11.40, la seconda il 20 febbraio 2005 ore 8.25 e la terza il 22 febbraio 2005 alle 8.00.



Figura 13-33 Curve di risposta nei piezometri

I grafici presentati nelle pagine successive mostrano le curve di "best fitting": dal confronto tra i risultati delle simulazioni di cui sopra ed i valori sperimentali, è stato possibile determinare le caratteristiche fluidodinamiche e dispersive del sistema.



BTC (PM5)



BTC (PM4)



BTC (PM6)



BTC (PZ0)



BTC (PM7)



BTC (PM1)



BTC (PI2)



BTC (PIA)

## **14 CONCLUSIONI**

Qualsiasi intervento di bonifica richiede la definizione di un adeguato modello concettuale del sito al fine di indirizzare l'intervento verso la bonifica che dia i risultati più soddisfacenti.

In questa ottica è stato stabilito un protocollo relativo alla bonifica di una falda contaminata da composto organo alogenati, acquisendo preliminarmente informazioni sulle procedure già disponibili nella letteratura internazionale

L'esperienza effettuata ha evidenziato ulteriormente l'importanza di redigere un protocollo che permetta di utilizzare procedure metodologiche standardizzate per ottimizzare la qualità e la quantità delle informazioni e per la valutazione dell'applicabilità di tecniche di trattamento in situ.

Il lavoro svolto è preceduto rispettando i punti preliminarmente stabiliti nel protocollo ossia:

Studio accurato del sito;

Studi di microcosmo;

Preparazione dell'applicazione del test di campo;

Test di campo.

Nella caratterizzazione del sito gli aspetti fondamentali studiati al fine di sviluppare un modello concettuale preliminare, sono stati i seguenti:

Agenti chimici utilizzati sul sito, o ivi depositati

Utilizzo del sito

Storia climatologica

Precedenti attività di decontaminazione

Tipo di utilizzo delle falde soggiacenti

Dal punto di vista della contaminazione, sono stati reperiti i seguenti dati:

Contaminanti presenti

Identificazione della sorgente

Distribuzione spaziale e temporale della contaminazione

Distribuzione nelle diverse fasi (dissolto, adsorbito, vapore, NAPL)

Nella caratterizzazione idrogeologica, sono stati acquisiti i seguenti dati:

Composizione dell'acquifero Conducibilità idraulica Gradiente idraulico Velocità della falda Pozzi e piezometri presenti

Queste informazioni sono state determinanti al fine di ricostruire un modello concettuale del sito che rappresenti, tridimensionalmente, la contaminazione e l'idrogeologia dell'area di studio. Infatti avendo a disposizione una visione globale della contaminazione dell'area, è possibile pianificare il piano di intervento e progettare la disposizione dei pozzi di monitoraggio e degli altri dispositivi necessari all'intervento di bonifica.

Pertanto è stato creato un modello tridimensionale dell'area al fine di indirizzare il progetto del sistema di bonifica verso una configurazione che sia il più possibile efficiente.

Una volta messe a punto le tecniche e le procedure di modellizzazione ed effettuate le simulazioni sull'area, è stato creato un nuovo modello relativo ad un area campione dove implementare il test di campo, finalizzato a verificare la possibilità di utilizzare sul sito, la metodologia di bonifica scelta sulla base dei risultati sperimentali e modellistici.

Sulla base dei risultati ottenuti dal modello, è stato messo in opera il sistema idraulico per effettuare il test.

Per verificare il corretto funzionamento del sistema sono state effettuate diverse prove di campo, ossia:

Test con tracciante

Prove di emungimento

Prove di circuitazione tra piezometri.

La campagna sperimentale ha messo ulteriormente in luce l'importanza di elaborare un protocollo che indirizzi la scelta verso indagini di caratterizzazione efficaci ed esaustive circa le condizioni del sito. Infatti al fine di effettuare una bonifica in situ basata su un processo biologico di tipo anaerobico riduttivo è fondamentale conoscere non solo le condizioni biologico-chimiche, ma anche idrogeologiche al fine di evitare che nell'implementazione in scala reale si incontrino difficoltà realizzative che risulterebbero onerose e tali da rendere non applicabile la bonifica. Inoltre, la conoscenza delle condizioni che si riscontrano nel sottosuolo, è fondamentale al fine di effettuare un

controllo efficace delle reazioni chimico-biologiche che si verificano durante il processo di declorazione. Infatti qualora ci siano interazioni tali che il processo non proceda secondo quanto ipotizzato si potrebbero creare dei composti intermedi la cui tossicità risulti maggiore di quelli di partenza (ad esempio il cloruro di vinile).

Ancora una volta va sottolineata l'importanza di una descrizione il più completa possibile delle condizioni geologiche, idrogeologiche e geochimiche del sottosuolo ricorrendo a tutte le tecnologie più avanzate disponibili.

In tal senso saranno effettuate ulteriori investigazioni che possano contribuire ad una caratterizzazione approfondita dell'area oggetto dell'intervento, che tenga adeguato conto dell'eterogeneità dell'acquifero su scala locale, sia in senso orizzontale che verticale. In particolare saranno utilizzate tecniche geofisiche per la ricostruzione indiretta della stratigrafia del sito e tecniche innovative per il campionamento stratificato lungo la verticale. Infatti, le caratteristiche proprie dei contaminanti in esame (DNAPL) suggeriscono l'opportunità di poter prelevare campioni indisturbati e rappresentativi a diverse profondità stabilite. A tal fine verranno impiegati, all'interno di pozzi appositamente realizzati, dei sistemi multipacker.

Infine, l'ulteriore fattore caratterizzante il protocollo in costruzione è sicuramente l'applicazione di modelli di simulazione "standard" che hanno permesso di strutturare in dettaglio l'impianto pilota che rappresenta il precursore di un'attività a scala reale. L'uso di tali modelli "standard" accoppiati a parametri ricavati da indagini in campo con procedure note e codificate è il primo passo verso il riordino delle metodologie di bonifica che consentirà agli enti di controllo una reale verifica dei risultati raggiungibili e dei costi necessari associati all'intervento.

# **15 BIBLIOGRAFIA**

- Aulenta F., Leccese M., Majone M., Petrangeli Papini M., Rossetti S., Tandoi V., Stracqualursi N., Viotti P., Assessing the potential for natural or enhanced in – situ bioremadiation at a TCE-contaminated site by coupling process analysis and modeling, COST Action 629 – Proceedings of the International Workshop "Saturated and Unsaturated Zone: integration of process knowledge into effective models", 5 - 7 May 2004 Rome, Italy.
- Aulenta F., Majone M., Petrangeli Papini M., Leccese M., Viotti P., Tandoi V., Rossetti S., Calloni A., Sala P., *Sviluppo di un protocollo per la valutazione di fattibilità della bonifica per via biologica di falde contaminate da solventi clorurati*, 8<sup>^</sup> Fiera Internazionale del Recupero di Materia ed Energia e dello Sviluppo Sostenibile, 3 – 6 Novembre 2004, Rimini Italia.
- Aulenta F., Majone M., Petrangeli Papini M., Leccese M., Viotti P., Rossetti S., Tandoi V., Biorisanamento in situ di falde contaminate da solventi clorurati: un caso di studio in provincia di Milano - Parte II, Nuovi indirizzi nella bonifica dei siti contaminati: la prassi, la normativa, le nuove tecnologie, Convegno annuale sulla bonifica dei siti contaminati, Provincia di Milano, 03 dicembre 2004, Milano.
- Becker M.W., Charbeneau R.J.(2000) "First-passage-timetransfer function for groundwater tracer test conducted in radially convergent flow" – Journal of Contaminant Hydrology- Vol.70.pp. 117-145
- Beccari M., Majone M., Piemontese G., Tandoi V. and Tomei M.C. (1998): Reductive dechlorination of Tetrachloroethene by an anaerobic microbial consortium. La Chimica e l'Industria, 80, 63-72.
- Binning P., Celia M.A.,(2002) "A forward tracking Eulerian-Lagrangian Localized Adjoint Method for solution of the contaminant transport equation in three dimension" –Advances in Water Resources- Vol. 25, pp.147-157

- Bonomi T., Cavallin A.(1999) "Three dimensional hydrogeological modelling application to the Alverà mudslide(Cortina d'Ampezzo,Italy)"-Geomorphology-Vol. 30, pp. 189-199
- Boulding J.R (1995) "Pratical Handbook of soil,Vadose Zone,and Ground-Water Contamination-Assestment,Prevention and Remediation" Capitolo 8
- Bradford S.A.,Linda M. Abriola & Klaus M. Rathfelder (1998) "Flow and entrapment of dense nonaqueous phase liquids in phisically and chemically heterogeneous aquifer formation" - Advances in Water Resources- Vol.22, pp.117-132
- Chatwin P.C, (1971) "On the interpretation of some longiyudinal dispersion experiments" Journal of Fluid Mechanics- pp. 689-702
- Chen J.S., Chen C.S., Gau H.S., Liu C.W.(1999) "A two-well method to evaluate transverse dispersivity for tracer tests in a radially convergent flow field" -Journal of Hydrology- Vol. 223, pp. 175-197
- Chen Xunhong, Chen Xi (2003) "Sensitivity analysis and detrmination of streambed leakance and aquifer hydraulic properties" - Journal of Contaminant Hydrology-Vol. 284, pp. 270-284
- Civita M., Fiorucci A., Pizzo S., Sappa G., Caratterizzazione idrochimica dell'acquifero soggiacente il sito di bonifica di un area industriale della provincia di Milano, GEA Ingegneria e Geologia degli Acquiferi – N°17 2002
- Davis S.N. et al. (1985) "Ground Water Tracer" National Groundwater Association- pp.200
- Dole R.B. (1906) "Use of fluoresceine in the study of groundwater waters" U.S Geological Survey Water Supply- Cap. 160, pp. 73-85
- Duke Engineering & Services (1999) "DNAPL Site Charaterization Using a Partitioning Interwell Tracer Test at Site 88, Marine Corps Base Camp Lejeune, North Carolina"
- F. Ippolito, et al. (2000) "Geologia Tecnica" Isedi, Libreria Utet- pp 234-247.
- Ferguson J.F.,Pietari J.M.H (2000) "Anaerobic transformation and bioremediation of chlorinated solvents"-Environmental Pollution- Vol.107, pp.209-215,

- Field M.S. (1988) "Approximating tracer sorption to Karst conduit walls using a simple column model analogy"
- Field M.S. (2002a) "A review of some tracer-design for tracer mass-mass estimation and sample collection frequency" Cave and Karst Science.
- Field M.S. (2002b) "Efficient hydrologic tracer-test design for tracer mass estimation and sample collection frequency ,1, method development." Water resorces Research.
- FrankeO.L., Reilly T.E., Bennet G.D. USGS "Definition of boundary and initial conditions in the analysis of saturated ground-water flow sistems-an introduction" –Application of hidraulics- Vol.3, Capitolo B5
- Gaspar E. (1987a) "Modern trends in tracer Hydrology" Boca Reton- Vol.1
- Huyakorn P.S., Guven O., Melville J.G. (1986) "Simulation of Two-Well Tracer Tests in Stratified Aquifers at the Chalk River and the Mobile Sites" –Water resources research- Vol. 22, pp.1016-1030
- Kass W. "Tracing technique in geohydrology" Capitolo 4 pp.341-379, 122-130.
- Kilpatrick F.A and Cobb E.D. (1985) "Measurement of discharge using tracer" Techniques of Water Resources Invastigation of United States Geological Survey-Libro 3, Cap. A16 pp.52.
- Lee W.,Batchelor B.(2004) "Abiotic reeductive dechlorination of chlorinated ethylenes by soil"-Chemosphere- Vol. 44, pp.705-713
- Leitao T.E., Lobo-Ferreira J.P., Vallocchi A.J.(1996) "Application of a reactive transport model for interpretino non-conservative tracer experiment: The Rio Maior case-study" -Journal of Contaminant Hydrology- Vol. 24, pp. 167-181
- Lorah M.M., Voytek M.A. (2004) "Degradation of 1,1,2,2-tetrachloroethane and accumulation of vinyl chloridein wetland sediment microcosms and in situ porewater: biogeochemical controls and associations with microbial communities" – Journal of Contaminant Hydrology- Vol.70, pp.117-145
- Majone M., *Biorisanamento in situ di falde contaminate da solventi clorurati: un caso di studio nella provincia di Milano*, Workshop bilaterale Italia Germania La bonifica dei siti contaminati: aspetti tecnologici e gestionali a confronto nella esperienza italiana e tedesca, 14 ottobre 2004, Centro di Ricerca C.E.R.I.: Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici, Valmontone (Roma)

- Majone M., Natural attenuation and enhanced natural attenuation of an anaerobic groundwater contaminated by chlorinated solvents, INCA European Summer School "Innovative approaches to the bioremediation of contaminated sites" September, 7 – 11, 2004 Bologna, Italy.
- Maloszewski P. et al. (1992) "Mathematical modelling of tracer experiments in the karst of lurbach system" – 6<sup>th</sup> Simposium on Water Tracing- Vol 43, pp. 116-136
- Medina M.A. et al. (2004) "Contaminated groundwater and sediment" –Lewis Publishers- Cap 4
- Mull D.S et al. (1988) "Application of dye-tracing techniques for determining solute-transport characteristic of ground water in karst terranes" – Rep. EPA 904/6-88-001, U.S. Environmental Protection Agency, Atlanta-p.103
- National Center for Evironmental Asestment (2002)"*The QTRACER2 Program* for tracer-Breaktrough Curve Analysis for Tracer Tests in Karstic Aquifers and Other Hydrologic Systems" EPA
- National Center for Evironmental Assestment (2002)"Tracer-Test Planning Using the Efficient Hydrology Tracer-Test Design (EHDT) Program" EPA
- Neretnieks I., Moreno L. (2003)"Prediction of some in situ tracer tests with sorbing tracer using indipendent data"- Journal of Contaminant Hydrology-Vol. 61, pp. 351-360
- Parker B.L., Cherry J.A., Chapman S. W.(2004) "Field study of TCE diffusion profile below DNAPL to assess aquitard integrity" - Journal of Contaminant Hydrology- Vol. 74, pp. 197-230
- Pickens J.F., Grisak G.E. (1981) "Scale-Dependent Dispersion in a Stratified Granular Aquifer"–Water resources research- Vol. 17, pp.1191-1211
- Prommer H.,Barry D.A., Davis G.B.(2002) "Modelling of phisical and reactive processe during biodegradation of a hydrocarbon plume under transiet groundwater flow condition" –Journal of Contaminant hydrology-Vol. 59, pp.113-131
- Provincia di Milano, 1992: "Indagini sulla presenza di composti organo-alogenati nelle acque di falda della Provincia di Milano". Milano

- Provincia di Milano- Politecnico di Milano, 1995: Le risorse idriche sotterranee della Provincia di Milano, vol 1: Lineamenti idrogeologici. Milano
- Provincia di Milano- Politecnico di Milano, 2000: Le risorse idriche sotterranee della Provincia di Milano, vol 2: Stato qualitativo delle acque anni 1990-1996-1997, Milano
- Ptak T., Pipenbrink M., Martac E., (2004) "Tracer tests for the investigation of heterogeneous porous media and stochastic modelling of flow and transport –a review of some recent developments"-Journal of Hydrology-Vol. 294, pp. 122-163
- Rentier C. et al. (2002) "Integrating geophisical and tracer test data for accumulate solute transport modelling in heterogeneous media, Groundwater Quality: Natural and Enhanced Restoration of Groundwater Pollution" – IAHS Pubblication- Vol. 275, pp. 3-10
- Rivett M.,Feenstra S.,Cherry J.,(2001) "A controlled field experiment on groundwater contamination by a multicomponent of the emplaced-source and overview of dissolved plume development"- Journal of Contaminant hydrology -Vol. 49, pp. 111.149
- Rivett M.,Richelle M.,(2003)"A controlled field experiment on groundwater contamination by a multicomponent DNAPL: dissolved-plume retardation" – Journal of Contaminant Hydrology-Vol.66, pp.117-146
- Samani N.,Kompani-Zare M.,Barry D.A,(2004) "MODFLOW equipped with a new method for the accurate simulation of a axisymmetric flow" - Advances in Water Resources-Vol. 27, pp.31-45
- Sardin M. Et al., (1991) "Modeling the nonequilibrium transport of linearly interacting solutes in porous media" – Water Resources Research- Vol.27, pp.2287-2307
- Sauty J.P (1980) " An Analysisi of Hydrodispersive Transfer in Aquifer"–Water resources research-Vol. 16, pp.145-158
- Smart C. et al. (1997) "Experimental design, technique and protocol in fluorometric tracing of groundwater" – Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Congress of Speleology – Vol. 2, pp.54-57

- Smith J.E., Zhang Z.F.,(2001) "Determining effective interfacial tension and predicting finger spacing for DNAPL penetration into water-saturated porous media" – Journal of Contaminant Hydrology- Vol. 48, pp.167-183
- Steffen M.,Mary C. Hill, (2002) "Development and evalutation of a local grid refinement method for block-centered finite difference groundwater models using shared nodes" – Advances in Water Resources- Vol. 25, pp.497-511
- Vandenbohede A., Lebbe L.(2003) "Combined interpretation of pumping and tracer test:theorical consideration and illustration with a field test" -Journal of Hydrology- Vol. 277, pp. 134-149
- Vanderborght J., Vereecken H.(2002) "Estimation of local scale dispersion from local breakthrough curves during a tracer test in a heterogeneous aquifer: the Lagrangian approach" – Journal of Contaminant Hydrology- Vol . 54, pp. 141-171
- Viotti P.: "Scaling Properties of Tracer Trajectories in a Saturated Porous Medium", Transport in Porous Media, N° 27 pp1-16, Kluwer Academic Publishers 1995, The Netherlands.
- Zhara Ms., Zahiraleslamzadeh (2001) "Enhanced bioremediation in clay soil" Sixth Annual In-Situ and On-site Bioremediation Conference- San Diego,CA