



*Scott D. Warner
Geomatrix Consultants, Inc.
Oakland, CA (USA)
Sergio Ferro, Achille De Battisti
Dipartimento di Chimica
Università di Ferrara
fre@unife.it*

BARRIERE PERMEABILI REATTIVE

Considerazioni generali e stato dell'arte

Le barriere permeabili reattive (PRB) rappresentano una tecnologia di depurazione per acque sotterranee, basata sull'uso di materiale reattivo, opportunamente posizionato sul percorso di deflusso di una falda inquinata, allo scopo di trattare le sostanze inquinanti che vengono così forzate ad attraversare la barriera. I materiali costituenti la PRB vengono scelti specificatamente per i contaminanti da attaccare, in modo da agevolare la degradazione chimica e/o biologica degli stessi.

I disinquinamento delle acque sotterranee richiede lo sviluppo di tecnologie affidabili e a basso costo, e rappresenta una sfida alla quale diversi gruppi di ricerca si sono dedicati negli ultimi anni. Si ravvisa infatti un crescente utilizzo delle acque di falda, tanto per usi domestici come per l'agricoltura, e possono rappresentare un'importante risorsa per sistemi

ecologici. Differenti forme di inquinamento possono tuttavia ridurre drasticamente la disponibilità di acqua, portando a riduzioni persino nello sviluppo economico, dal momento che la crescita civile e industriale dipende dalla disponibilità e affidabilità di fonti d'acqua pura.

I recenti sviluppi tecnologici, volti al recupero delle acque di falda, possono essere

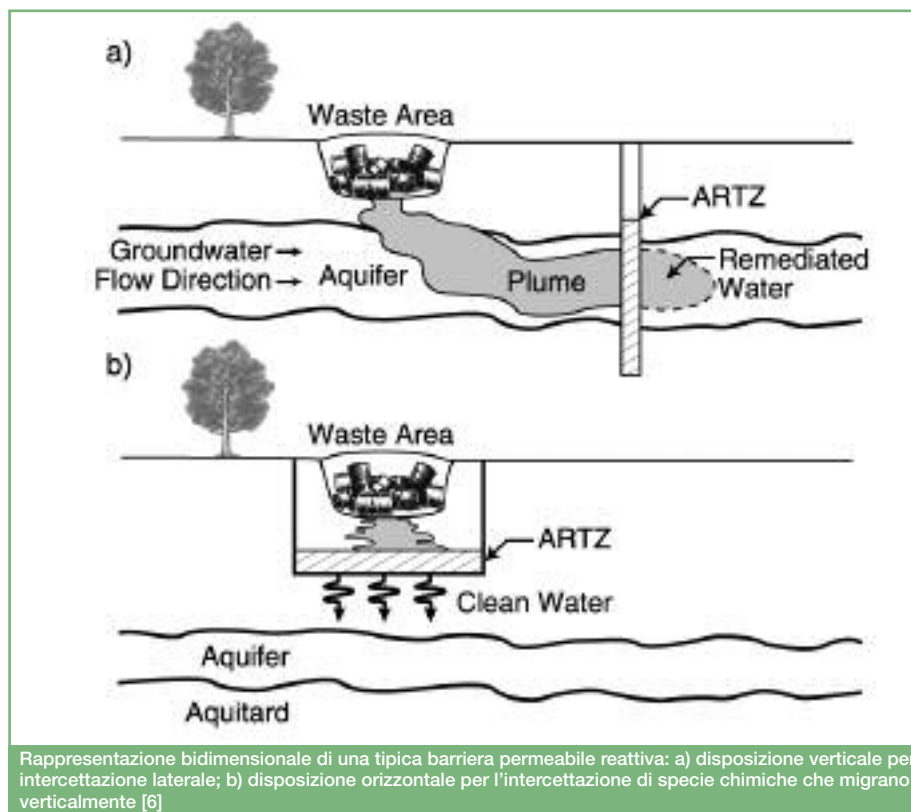
visti come una risposta al problema dell'approvvigionamento di acqua. Un passo in avanti, come recentemente discusso in occasione del convegno EREM 2005 tenutosi a Ferrara [1], è rappresentato dalla possibilità di trattare l'acquifero mediante sistemi *in situ*, attraverso l'applicazione di barriere permeabili reattive (*permeable reactive barriers*, PRB), che promuovono il

risanamento delle acque sotterranee che attraversano la barriera.

Il sistema prevede la distruzione degli inquinanti, oppure la loro immobilizzazione e rimozione dalla fase acquosa, e sfrutta l'azione del materiale trattante, che entra in contatto con l'acqua da trattare: essenzialmente, l'acqua contaminata attraversa la PRB e ne fuoriesce purificata.

La tecnologia delle PRB rappresenta un approccio innovativo al risanamento delle acque sotterranee *in situ*, da più di una decina d'anni; nondimeno, è solo negli ultimi 10 anni che hanno cominciato a prendere piede quale soluzione pratica al trattamento delle acque di falda. La prima applicazione dimostrativa risale al 1991, presso l'Università di Waterloo, in Canada [2, 3], mentre la prima applicazione commerciale si è avuta nel 1994 in California, USA [4, 5]. Da allora, si contano più di 75 sistemi in larga scala, installati nel mondo; in Italia, la prima installazione si è avuta all'inizio del 2005, in un sito industriale in Piemonte.

L'uso di una PRB per distruggere o immobilizzare gli inquinanti presenti in un'acqua di falda costituisce un approccio relativamente semplice, basato sulla capacità di opportuni materiali di agire direttamente o indirettamente (attraverso opportune modifiche geochimiche e/o biologiche dell'ambiente da trattare), distruggendo o immobilizzando i composti chimici indesiderati; i materiali che consentono il risanamento dell'acquifero vengono sistemati nel sottosuolo, in modo da intercettare il flusso del-



Rappresentazione bidimensionale di una tipica barriera permeabile reattiva: a) disposizione verticale per intercettazione laterale; b) disposizione orizzontale per l'intercettazione di specie chimiche che migrano verticalmente [6]

l'acqua contaminata, che si muove a seguito di un proprio gradiente idraulico. La PRB, o "zona di applicazione del trattamento reattivo", può essere orientata in modo da intercettare flussi contaminati che si muovono in senso sia orizzontale che verticale (nella pratica, l'applicazione è indirizzata ad evitare una dispersione laterale), come illustrato in Figura.

La PRB può essere sistemata immediatamente a valle della zona inquinata dell'acquifero, in modo da prevenirne un'ulteriore migrazione, o immediatamente a valle della

sorgente di contaminazione, per impedire lo sviluppo dell'inquinamento.

In genere, le PRB sono progettate in modo da non interferire con il flusso dell'acquifero; tuttavia, le condizioni idrauliche dell'ambiente possono risultare alterate dalla presenza della barriera, ed è necessario considerare tale effetto in fase di progettazione, per evitare manutenzioni successive.

I materiali che vanno a costituire la zona attiva della PRB sono scelti sulla base dello specifico contaminante da trattare. Il ferro granulare si è mostrato efficiente nella

Permeable Reactive Barriers

Permeable reactive barriers (PRB) represent a groundwater cleanup technology that consists of a wall of reactive material installed in the path of a flowing contaminated groundwater plume to treat pollutants as they penetrate through the wall. The PRB contains materials that target specific contaminants and chemically and/or biologically degrade them.

ABSTRACT 



distruzione di specie organiche alogenate (è il caso di alcuni solventi comuni, come percloroetilene e tricloroetilene) e nell'immobilizzazione di alcuni metalli disciolti, quali cromo, arsenico e uranio. I meccanismi di distruzione hanno luogo come risultato di un'efficace azione riduttiva, promossa dalla corrosione del ferro in ambiente acquoso; anche l'immobilizzazione dei metalli si realizza, almeno in parte, a seguito di meccanismi di riduzione e corrosione. Altri materiali reattivi includono il *compost*, per promuovere processi biodegradativi, materiali fosforati e carboni attivi, per favorire l'adsorbimento dei metalli, e le zeoliti, attive nell'immobilizzazione di contaminanti attraverso processi di scambio ionico. Inoltre, i metodi di elettro-risanamento, che prevedono l'applicazione di correnti elettromagnetiche per la distruzione dei composti organici, risultano particolarmente efficienti se realizzati mediante una PRB.

Ogni PRB va progettata sulla base delle specifiche condizioni geologiche, idrauliche, chimiche, strutturali, legali ed economiche del sito da trattare; ne segue che le PRB vanno considerate come "categoria di metodi" piuttosto che viste come una tecnologia unica e specifica. Le considerazioni su geometria, disegno, materiale reattivo, e sui metodi di costruzione di ogni PRB sono univoche e formano le basi per l'ottenimento degli obiettivi di risanamento.

Le PRB non si adattano a qualsiasi sito inquinato: tanto la profondità come eventuali limitazioni logistiche possono impedire un'applicazione con esito positivo del metodo. Tuttavia, le metodologie costruttive sono in continuo sviluppo (ad esempio, mentre la prima PRB non andava oltre i 10 metri di profondità, quelle di recente costruzione possono raggiungere i 40 metri), e l'applicabilità delle PRB si va estendendo ad un numero sempre crescente di siti.

Oltre alla necessità di usare il giusto materiale, per trattare una data miscela di contaminanti dell'acquifero, l'efficacia della PRB dipende in modo critico dal controllo del sistema dal punto di vista idraulico. L'acqua da trattare deve attraversare la barriera ad una velocità di flusso appropriata, e non devono assolutamente verificarsi migrazioni di acqua non trattata attorno alla zona di trattamento. Sebbene la maggior parte delle PRB sia progettata per

lavorare con il flusso naturale dell'acquifero, la velocità di flusso può essere aumentata disponendo barriere orizzontali o laterali a minor permeabilità, oppure mediante l'uso di pompe sommerse.

La vita di servizio della PRB è un fattore chiave nel determinare l'applicabilità di una data barriera reattiva ad un determinato sito; l'esempio applicativo più longevo è rappresentato dalla PRB installata nella California del Nord, USA, nel 1994 [6] e che continua ad essere operativa e funzionante ancora adesso. Il persistere delle capacità di risanamento dipende da diversi fattori, incluse la tipologia del materiale reattivo, e le condizioni di flusso e di qualità dell'acquifero. In genere, i materiali solidi di natura inorganica (come il ferro granulare) offrono prestazioni superiori, in termini di durata, rispetto ai materiali organici (come il *compost* o il carbone granulare).

La messa a punto di una PRB per il raggiungimento di specifici obiettivi di risanamento richiede la profonda comprensione e l'accurata progettazione dell'intero sistema, dal trattamento chimico ai componenti di controllo idraulico. Il lavoro di ricerca e sviluppo prosegue ed è volto all'identificazione di nuove sostanze, utilizzabili per i trattamenti di risanamento, che garantiscano maggiori durate, costi inferiori, e che permettano l'applicazione in situazioni operative sempre più varie. È prevedibile che nei prossimi anni trovino applicazione nuove metodologie, e che le PRB rientrino tra le tecnologie di trattamento comune.

Bibliografia

- [1] S. Ferro *et al.*, *Chimica e Industria*, 2005, **87**(7), 42.
- [2] R.W. Gillham, S.F. O'Hannesin, *Ground Water*, 1994, **32**(6), 958.
- [3] S.F. O'Hannesin, R.W. Gillham, *Ground Water*, 1998, **36**(1), 164.
- [4] C.L. Yamane, *et al.*, 209th National Meeting, American Chemical Society, Anaheim (CA, USA), 1995, **35**(1), 792.
- [5] S.D. Warner, *et al.*, *Permeable Reactive Barriers*, IAHS Pub. 298, 2004, 32.
- [6] S.D. Warner *et al.*, *Contaminated Soils*, 1998, **3**, 315.