

Candidato: Enrico Miletto

Relatore: Prof. Paolo Viotti

Titolo della tesi: Valutazione dello stato di contaminazione di terreni soggiacenti uno snodo ferroviario

A.A.: 2014/2015 Sessione Gennaio

Abstract

La presente Tesi di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio ha come obiettivo la predisposizione di un modello concettuale, con l'ausilio del software integrato Visual MODFLOW 2011.1, che possa essere di supporto, alla progettazione di un intervento di bonifica da effettuare in situ nella zona dello snodo ferroviario della Stazione Centrale di Bologna nell'ambito di una Convenzione tra il Dip. Di Chimica dell'Università degli Studi di Roma "Sapienza" e RFI.

La zona in esame, oggetto di grandi trasformazioni strutturali e infrastrutturali, è destinata a divenire uno dei Nodi cardine del sistema Alta Velocità europeo. Nel 2007 sono cominciati gli scavi per la realizzazione delle infrastrutture interrato: la Stazione e la Galleria Policentrica. Queste nuove realizzazioni sono state al centro di questa Tesi perché influenti sulla circolazione idrica sotterranea. La conformazione idrogeologica nei pressi della Stazione è molto articolata perché è situata in corrispondenza dell'interconoide fra il Fiume Reno e il Torrente Savena; questo comporta una grande eterogeneità di materiale e frammentarietà degli acquiferi che possono comunque essere suddivisi in tre livelli di profondità: uno superiore caratterizzato da conducibilità idrauliche mediamente basse, uno intermedio in pressione di spessore modesto e uno profondo più trasmissivo. In questo sistema sono state inserite le opere della nuova stazione ferroviaria. In particolare, la Galleria sbarra perpendicolarmente, su tutto lo spessore, la falda acquifera di media profondità, mentre il Camerone ostruisce anche la falda più superficiale. Al fine di evitare la generazione di un effetto diga, e il conseguente rischio di cedimenti strutturali, sono attivi due sistemi di by-pass, uno superficiale e uno intermedio, così da ripristinare una condizione idraulica sotterranea prossima a quella ante-operam.

In quest'area, già dal 2004, è stata rilevata una contaminazione diffusa di solventi clorurati, in particolare Percloroetilene (PCE) e Tricloroetilene (TCE). Le cause sono individuabili nelle attività di manutenzione varie (riparazioni, lavaggio, sgrassaggio, ecc.), svolte in Stazione. Il processo di bonifica, ad oggi non ancora concluso per quanto riguarda la matrice acque sotterranee, è stato commissionato all'Università di Roma La Sapienza (Dip. di Chimica, DICEA e Dip. Di Scienze della Terra) e si ipotizza possa concludersi nei prossimi anni stimolando un biorisanamento in situ.

Il lavoro svolto in questo percorso di Tesi è articolato sostanzialmente in quattro fasi, necessariamente consecutive fra loro.

1. Fase operativa di calibrazione ante-operam. L'obiettivo della calibrazione è quello di ridurre al minimo lo scarto fra le quote piezometriche calcolate dal modello e quelle di riferimento osservate mensilmente dai piezometri installati in situ. In questa fase i parametri che non erano definibili esattamente a priori, come la conducibilità idraulica del terreno e l'infiltrazione superficiale, sono stati modificati secondo un metodo trial-and-error; preliminarmente, però, in collaborazione con il Dip. Di Scienze della Terra è stato fissato uno stretto range di valori plausibili per descrivere ciascun parametro in ogni situazione. La prima fase si è conclusa con la validazione del modello.
2. Costruzione del modello post-operam. Per raggiungere questo obiettivo è stato necessario modificare in fase di calibrazione le nuove condizioni al contorno che simulano la presenza dei sistemi di by-pass. Come periodo di riferimento per la fase di calibrazione post-operam si è preso in considerazione l'anno 2013, in quanto la realizzazione delle opere si era conclusa e i sistemi di by-pass delle falde acquifere erano già attivi. Il percorso è stato suddiviso in tre step:
 - a) calibrazione delle nuove condizioni al contorno del Camerone;
 - b) calcolo dei volumi circolanti nei sistemi di by-pass nel modello così calibrato;
 - c) simulazione idrodinamica imponendo gli stessi volumi calcolati sia ai pozzi di captazione

a monte e sia a quelli di restituzione a valle.

3. La valutazione dello stato di contaminazione attuale nel sito in esame. In questo lavoro sono stati utilizzati i risultati ottenuti dalla simulazione idrodinamica post-operam.
4. La valutazione di un intervento di biorisanamento in situ. Una delle ipotesi più attuabili fra gli interventi di bonifica possibili consiste nell'immettere l'ammendante direttamente nei sistemi di by-pass, in modo che venga rilasciato a valle senza costi aggiuntivi per nuovi carotaggi o pompaggi.

In conclusione, dalla simulazione ante-operam si è evinto come esista un vero e proprio acquifero, quello intermedio, e uno strato molto eterogeneo la cui trasmissività è così modesta da poter essere considerato un acquitardo. Quest'ultimo strato, che è sempre stato indicato come acquifero superficiale, presenta effettivamente delle lenti sabbiose, ma la matrice di natura prevalentemente limosa riesce a condurre il flusso di falda a velocità effettive comprese fra 1×10^{-7} e 5×10^{-7} m/s. La simulazione del moto nell'acquifero intermedio, invece, ha riportato velocità effettive comprese fra 1×10^{-6} e 4×10^{-6} m/s. Date queste basse velocità delle falde acquifere e considerando la scarsa solubilità dei solventi clorurati, si può giustificare quella grande persistenza dimostrata da questi solventi nel sottosuolo, sversati decine di anni prima e che si ritrovano praticamente immobili nella matrice più argillosa e lentamente in migrazione nella parte acquifera.

Dall'applicazione del modello nella fase di post-operam si può concludere che i sistemi di by-pass siano efficaci a ristabilire un equilibrio idraulico paragonabile a quello ante-operam. Questa affermazione deriva dal fatto che, non solo la superficie piezometrica ma anche il campo di velocità, inteso sia come intensità sia come direzione del flusso, rimangono praticamente inalterati fra le simulazioni in condizioni ante e post-operam.

Dal punto di vista operativo la simulazione della dispersione del plume di inquinante, già solubilizzato in acqua, avrebbe richiesto un'ulteriore fase di calibrazione per il modello di trasporto: oltre a numerosi parametri a cui sono stati assegnati valori di letteratura, sarebbe stato necessario calibrare la dispersività nel suolo. L'analisi di sensitività del modello applicata a questo parametro, invece, ha decretato la trascurabile influenza di questo nel modello implementato (in virtù delle velocità estremamente basse), così che si è potuto considerare un valore medio senza che il valore assegnato influenzi fortemente i risultati della simulazione.

Per entrambe le contaminazioni, è stato interessante in questo contributo paragonare la Tavola dell'analisi storica delle attività esercitate sul posto, con le posizioni dei plume di inquinanti; la conclusione è che sembra molto probabile la corrispondenza fra le zone adibite a lavaggio carrozze e le massime concentrazioni di solventi clorurati nelle falde acquifere.

Infine, si è valutata l'ipotesi d'intervento di Bio-enhancement tramite l'apporto di ammendanti nel sottosuolo, immesso in continuo con concentrazione di 100 mg/l direttamente nei due impianti di by-pass.

Innanzitutto si individua, in questo lavoro, la correttezza dell'idea dal punto di vista idraulico perché, attraverso i by-pass, circola praticamente tutta la volumetria di acqua delle falde sotterranee: quindi, dovrebbe essere il modo più efficace ed economico per potenziare il biorisanamento a valle del Camerone sulla maggior parte del volume di acqua. Si deve sottolineare, però, come quest'intervento interessi efficacemente solo la parte con buona conducibilità idraulica, mentre sembra inadeguato per disperdere ammendante nella matrice argillosa, come quella che caratterizza l'area orientale di entrambi gli acquiferi.

Pertanto, il presente lavoro suggerisce da un lato che è possibile supporre la buona riuscita dell'intervento per quanto riguarda la parte di contaminazione di TCE, localizzata nella parte centro-orientale del dominio nell'acquifero intermedio; d'altro canto, si suggerisce però di limitare a qualche mese, se non proprio di evitare, l'apporto di ammendante nell'acquifero superficiale, perché il flusso di falda simulato fornisce come risultato la dispersione prevalentemente su un'area dove le concentrazioni medie dei solventi clorurati non superano i limiti normativi.