

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI
“FEDERICO II”



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI
BASE

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER
L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

TESI DI LAUREA TRIENNALE

Trattamento di acque sotterranee contaminate
mediante barriere adsorbenti permeabili e
pump&treat: analisi di confronto

Relatore:

Candidato:

Chiar.mo prof. Amedeo Lancia

Lea Renata AllegrettoN49/134

Correlatore

Ing. Alessandro Erto

ANNO ACCADEMICO 2013 / 2014

INTRODUZIONE

Il degrado qualitativo e quantitativo delle acque sotterranee costituisce una seria problematica ambientale. La forte pressione antropica legata alle attività produttive (scarico incontrollato di reflui di varia origine, apporto di sostanze chimiche per trattamenti antiparassitari e concimazioni, ecc) ha posto una crescente attenzione verso una corretta tutela e gestione delle risorse idriche sotterranee.

In Italia, attraverso il D.Lgs. 152/06, recante norme in materia ambientale sulla tutela delle acque, vengono definiti gli indici per la valutazione dello stato di qualità ambientale delle acque sotterranee, sulla base di parametri rappresentativi dello stato chimico e dello stato qualitativo. Nel caso in cui vengano superati i valori limite fissati dalla normativa, le acque sotterranee devono essere sottoposte a specifici trattamenti per il ripristino del loro stato naturale. Tra i numerosi trattamenti di bonifica utilizzati per le acque sotterranee, l'adsorbimento trova numerose applicazioni per effetto di una generale semplicità costruttiva, buona efficienza e costi di gestione ridotti. Tale tecnologia può essere applicata sia *in-situ*, attraverso l'utilizzo di barriere reattive adsorbenti che *ex-situ*, mediante processo di "pump & treat", principalmente utilizzando colonne a letto fisso.

In questo quadro, il presente lavoro si propone l'obiettivo di illustrare ed analizzare i principi di funzionamento, l'applicabilità e il dimensionamento di due delle tecnologie di bonifica più utilizzate per il trattamento di acque sotterranee contaminate: il *pump & treat* e le barriere permeabili adsorbenti. Successivamente, è presentato un caso studio relativo ad un sito contaminato nei pressi della discarica di rifiuti solidi urbani "Masseria del Pozzo", sita in Giugliano in Campania (Napoli). Infine, sono discussi brevemente i risultati ottenuti dal confronto dell'applicazione delle due trattamenti nel sito indicato, in particolare riguardo l'efficienza depurativa e i costi dell'intervento.

CAPITOLO 1: BARRIERE PERMEABILI ADSORBENTI

In linea generale, le barriere permeabili sono delle piastre porose con riempimento reattivo che vengono installate nel sottosuolo all'interno di un acquifero contaminato. Attraverso questa tecnica di trattamento *in-situ* si sfrutta il naturale gradiente idraulico che governa il flusso dell'acqua di falda e la differenza di permeabilità tra la barriera (maggiormente filtrante) e il terreno dell'acquifero. In questo modo l'inquinante viene convogliato verso la barriera ed attraverso processi chimico-fisici, che dipendono dalla natura del materiale filtrante, viene neutralizzato e/o bloccato.

Le configurazioni planimetriche delle barriere possono essere del tipo “*funnel-and-gate*” e barriera continua. Il “*funnel-and-gate*”, che a sua volta può essere a *single gate* oppure a *multiple gate*, prevede l'utilizzo di una serie di muri a bassa permeabilità (*funnel*) ed in genere ha una forma ad imbuto in modo tale da convogliare il flusso dell'acqua verso lo strato reattivo più permeabile (*gate*).

Nella barriera continua, invece, la progettazione risulta più semplice in quanto l'intervento interessa tutto il fronte della falda con un'unica struttura permeabile e in questo modo le condizioni idrauliche originarie non vengono significativamente alterate.

I materiali adsorbenti che possono essere utilizzati sono di diverso tipo: nel caso di inquinanti organici sono utilizzati principalmente i carboni attivi, in quanto hanno maggiori capacità di adsorbimento a minor costo; mentre nel caso siano presenti inquinanti inorganici vengono adoperate le zeoliti.

L'efficienza di rimozione di una barriera adsorbente, diversamente dalle altre, dipende esclusivamente dal materiale di cui è composta, funzione della sua porosità e della sua capacità di adsorbimento. Quindi la valutazione dell'efficienza risulta imprescindibile dalla conoscenza di questi due parametri.

CAPITOLO 2: PUMP & TREAT

Il sistema “*Pump&Treat*” (P&T) è il metodo classico di trattamento degli acquiferi contaminati ed è ancora oggi quello più utilizzato. Tale tecnica prevede in un primo momento l’individuazione del pennacchio contaminato che verrà poi opportunamente sbarrato, in modo da poter prelevare l’acqua inquinata e prevedere il trattamento in appositi impianti.

Il sistema consta di due fasi: pompaggio dell’acqua in superficie (*pump*) e successivo trattamento in impianto dedicato (*treat*).

Questa tecnica di trattamento risulta ottimale in presenza di inquinanti idrosolubili e acquiferi molto permeabili. Pertanto, se il terreno è caratterizzato da bassa permeabilità, i tempi di emungimento aumentano notevolmente condizionando la durata dell’intervento e quindi i costi; inoltre, durante il pompaggio dell’acqua, si possono sviluppare fenomeni di adsorbimento degli inquinanti sulla matrice solida, compromettendo così il loro processo di estrazione.

Per poter definire la portata d’acqua da prelevare, il numero e il posizionamento del sistema di captazione, si effettua uno studio preliminare, attraverso prove di pompaggio, allo scopo di individuare le caratteristiche geologiche del sito e degli inquinanti e le proprietà idrauliche dell’acquifero.

L’acqua prelevata e portata in superficie viene successivamente raccolta in serbatoi e inviata agli impianti di trattamento. Come già detto, tra i processi di rimozione degli inquinanti utilizzati nei comuni impianti di depurazione, l’utilizzo di colonne di adsorbimento a carboni attivi rappresenta uno dei sistemi maggiormente diffusi.

L’impianto è tipicamente costituito da due o più colonne a letto fisso al cui interno è presente il materiale adsorbente, supportato da una piastra forata. L’acqua da depurare è pompata all’interno della colonna dall’alto verso il basso, in modo tale da evitare fenomeni di trascinamento/fluidizzazione del solido adsorbente

CAPITOLO 3: DIMENSIONAMENTO DEI TRATTAMENTI

I sistemi di trattamento per le acque sotterranee fin qui analizzati si basano entrambi su processi di adsorbimento per la rimozione degli inquinanti e quindi sull'impiego di materiali adsorbenti.

Per il dimensionamento di tali sistemi, si utilizzano dei codici commerciali in 3D, fondamentali per poter simulare il flusso delle acque sotterranee, la dinamica degli inquinanti all'interno del corpo di falda e, in generale, il comportamento dinamico delle PAB e delle colonne di adsorbimento poste a valle di un trattamento mediante *pump & treat*. Tale procedura prevede la risoluzione di equazioni di bilancio di materia e di trasferimento degli inquinanti sul solido, mediante processi di calcolo iterativi. L'obiettivo finale è quello di verificare se le dimensioni ipotizzate dell'intervento (PAB o impianto) risultino tali da assicurare il raggiungimento dei valori prefissati di qualità delle acque.

CAPITOLO 4: CASO STUDIO

Al fine di operare un confronto diretto tra i due processi di trattamento, di seguito viene riportato un caso studio rappresentato dalla bonifica di un sito del Comune di Giugliano in Campania (Napoli). Lo studio è focalizzato su un'area di circa 2,25 km² presso la località di Masseria del Pozzo-Schiavi. Quest'area è stata sede, per diversi decenni, di impianti di trattamento di rifiuti urbani ed industriali, di discariche di rifiuti urbani e speciali e di stoccaggio di materiali di diversa origine. Oltre a tali funzioni si sono affiancate attività illegali di smaltimento di rifiuti di diversa natura (Di Nardo et al., 2010).

Attraverso analisi preliminari è stata riscontrata una significativa presenza di inquinanti nella falda, tra cui arsenico, piombo, nichel, benzene, tricloroetilene, tetracloroetilene, ecc. Tra gli inquinanti riscontrati si è deciso di focalizzare

l'attenzione su un contaminante in particolare: il tetracloroetilene (PCE), composto organico clorurato ad elevata tossicità, la cui concentrazione risulta superiore al limite fissato dalla normativa (1,1 µg/l).

Utilizzando dati di campagne sperimentali disponibili (Di Nardo et al., 2010) e attraverso l'ausilio di AmbSIT, un sistema di rappresentazione ed analisi spaziotemporale dei dati ambientali realizzato dal Centro Interdipartimentale di Ricerca Ingegneria Ambientale (C.I.R.I.A.M.), è stato possibile definire lo scenario della contaminazione attuale dell'acquifero in esame.

Nella figura 1 vengono riportate le iso-concentrazioni di tetracloroetilene presenti nella zona in esame.

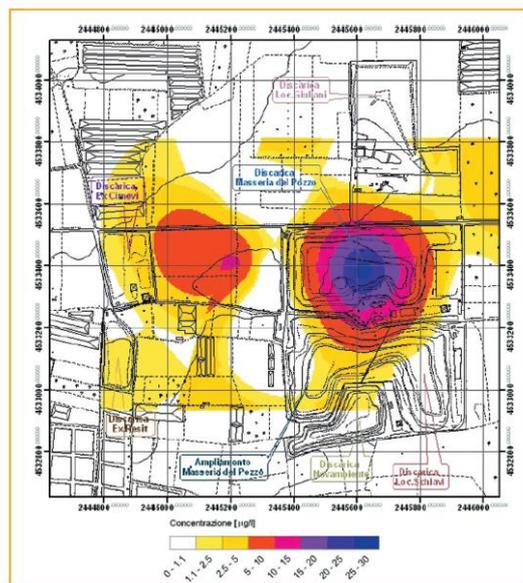


Figura 1- Livelli di concentrazione di tetracloroetilene riscontrati nella località Masseria del Pozzo-Schiavi in Giugliano in Campania (Napoli)

La massima concentrazione si ha in corrispondenza della discarica di Masseria del Pozzo-Schiavi, dove i valori di PCE superano di circa 30 volte il valore limite ammissibile

4.1- Barriere permeabili adsorbenti

In base alle caratteristiche del pennacchio inquinante e del sito di bonifica si è optato di utilizzare una PAB continua e intestata alla base impermeabile, di lunghezza 900 m e spessore di 3 m.

Le immagini in figura 2 mostrano la riduzione di concentrazione del tetracloroetilene dopo 30 e 60 anni dall'installazione della PAB. La rimozione, quasi completa, del contaminante si ha per un funzionamento a regime di 60 anni.

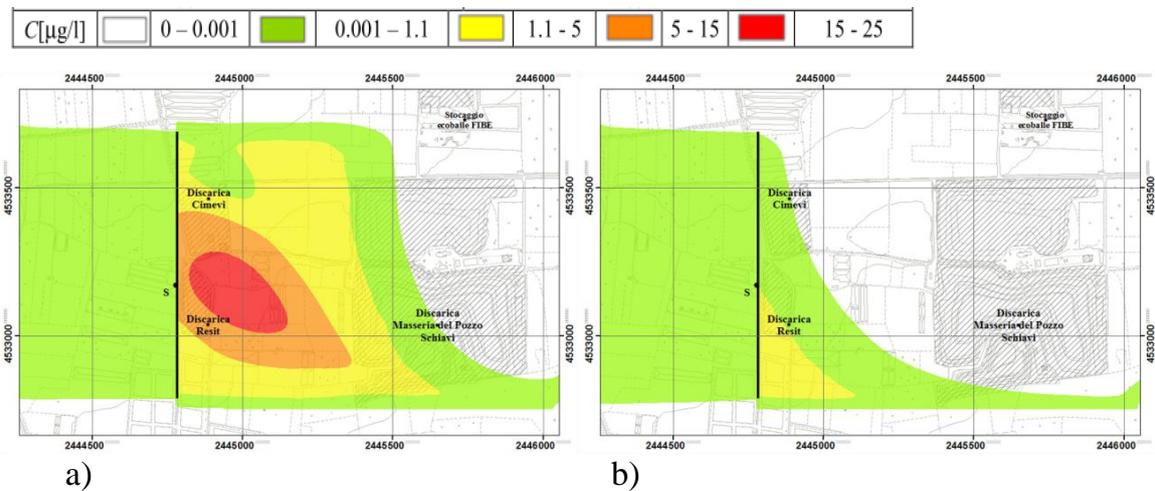


Figura 2: a) Concentrazione tetracloroetilene dopo 30 anni di funzionamento della PAB; b) concentrazione tetracloroetilene dopo 60 anni di funzionamento della PAB.

4.2- Pump&Treat

In base alla distribuzione delle concentrazioni di PCE nell'area in esame, è stata prevista un'installazione di 27 pozzi per il prelievo dell'acqua contaminata e 12 pozzetti di ricarica messi a valle del sito, con lo scopo di assicurare la depressione necessaria a prelevare anche gli inquinanti più lontani (Bortone et al., 2013).

A seguito dei dati ottenuti, inserendo i valori di concentrazione del contaminante e di portata da trattare in un simulatore CFD (Computational Fluid Dynamics), si è scelto di adottare un sistema a due colonne di adsorbimento su carboni attivi: entrambe di altezza 2,5 m, e diametro di 0,2 m e tempo di

funzionamento di 15 giorni, dopodiché si deve prevedere la sostituzione del materiale reattivo.

Le immagini di figura 3, ottenute dalle simulazioni utilizzando il software AmbSIT, riportano la diminuzione delle concentrazioni di PCE dopo un'operatività di 15 e 35 anni.

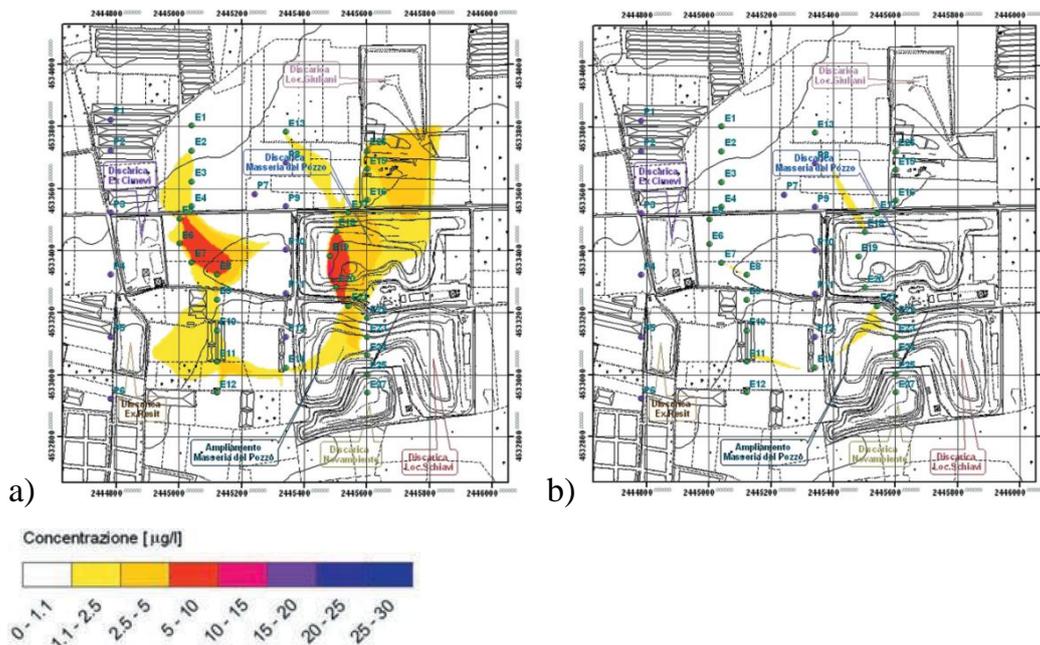


Figura 3: a) Concentrazione di tetracloroetilene dopo 15 anni di funzionamento del P&T; b) concentrazione di tetracloroetilene dopo 35 anni di funzionamento del P&T

4.3- Analisi preliminare dei costi

Ai fini di un possibile confronto tra l'applicazione alternativa delle due tecniche di bonifica, è stata effettuata una valutazione preliminare dei costi per entrambe le tipologie di trattamento dimensionate. Nelle Tabelle 1 e 2 vengono riportati: il costo unitario per le singole variabili e il costo totale per la realizzazione e il funzionamento a regime dell'impianto.

Variabili di costo	Costo unitario	Quantità	Costo totale [€]
Costruzione	50-100 [€/m ³]	27.000 [m ³]	1.350.000-2.700.000
Materiale adsorbente	100-500 [€/m ³]	27.000 [m ³]	2.700.000-13.500.000
Monitoraggio	-	-	100.000-250.000
Totale:			4.150.000-16.450.000

Tabella 1: costi preliminari di una PAB

Variabili di costo	Costo unitario	Quantità	Costo totale [€]
Costruzione	0,2-0,4 [€/m ³]	1.500.000 [m ³]	300.000-600.000
Energia	0,1-0,2 [€/KWh]	280.000 [KWh]	28.000-56.000
Operai	20.000-30.000 [€/anno]	6	4.200.000-6.300.000
Trattamento	1-5 [€/m ³]	1.500.000 [m ³]	1.500.000-7.500.000
Monitoraggio	-	-	100.000-250.000
Totale:			6.128.000-14.706.000

Tabella 2: costi preliminare di un sistema P&T

CONCLUSIONI

Nel presente lavoro sono stati analizzati due metodi di trattamento di acque sotterranee contaminate, rispettivamente *pump & treat* e barriere permeabili adsorbenti, basati sull'adsorbimento su carboni attivi.

Al fine di operare un confronto tra le due tecniche, sia in termini prestazionali che economici, è stato presentato un caso studio rappresentato dalla discarica del Comune di Giugliano in Campania (Napoli) in località di Masseria del Pozzo-Schiavi.

Dopo una preliminare analisi delle caratteristiche idrauliche, geologiche e di contaminazione del sito, è stato individuato il tetracloroetilene come inquinante-target. Quindi, sono stati progettati i due interventi di bonifica e valutate le condizioni di esercizio che permettono la completa restaurazione dell'acquifero.

I dati numerici ottenuti mostrano come sia la PAB che il P&T risultino essere dei sistemi validi per la rimozione di PCE dall'acquifero, riducendo il livello di concentrazione al di sotto dei limiti fissati dalla normativa.

Le valutazioni effettuate e le incertezze relative alle varie voci di costo non permettono di determinare univocamente quale delle due tecniche risulti più economica. In ogni caso, è possibile osservare che l'utilizzo di un solido adsorbente a basso costo può potenzialmente orientare la preferenza verso le PAB, sebbene siano necessari tempi maggiori per completare la depurazione dell'acquifero.

In conclusione, dallo studio effettuato è possibile desumere che le PAB rappresentano una tecnica valida per il trattamento di acque sotterranee contaminate, alternativa ai tradizionali sistemi di bonifica (e.g. pump & treat). Questa tecnica permette di realizzare un'opera di decontaminazione *in-situ* con interventi poco invasivi e di evitare la costruzione e gestione di impianti *ex-situ*.