

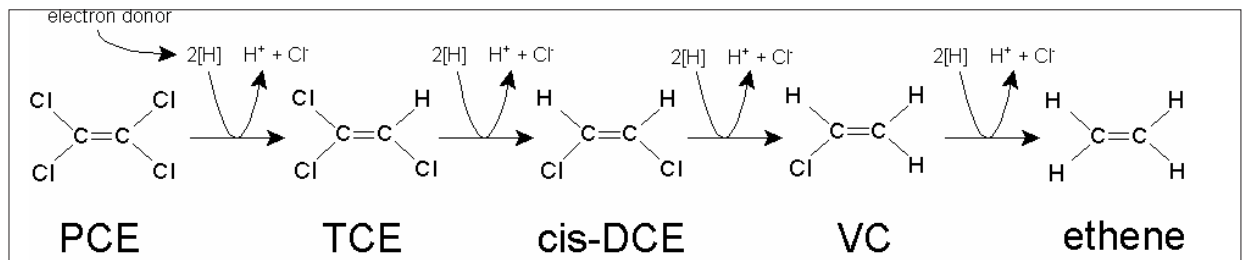
Bonifica acque sotterranee mediante degradazione biologica aerobica e anaerobica

1 Premessa

Molti contaminanti presenti nel suolo e nelle acque sotterranee (in particolare composti alifatici clorurati, clorobenzeni, idrocarburi alifatici, idrocarburi aromatici, ecc.) possono essere trattati in situ mediante tecniche di degradazione biologica, finalizzate a degradare o trasformare i

composti presenti nelle acque. In questo caso i microorganismi non acquistano energia dal processo di degradazione.

In entrambi i casi il processo si sviluppa secondo lo schema che segue.



contaminanti d'interesse in composti non tossici. L'attività biologica di degradazione può avvenire in ambiente sia aerobico sia anaerobico, in funzione essenzialmente dalla tipologia e delle caratteristiche dei contaminanti.

I processi possono essere di tipo metabolico (diretto) o cometabolico (indiretto: il processo avviene attraverso un enzima generato dalla degradazione di un altro composto). In entrambi i casi il processo è mediato attraverso l'azione di batteri.

In estrema sintesi, il processo anaerobico avviene in assenza di ossigeno e include diversi processi tra cui la fermentazione, la metanogenesi, ecc. Il processo è mediato da specifici gruppi di microrganismi (batteri), in particolare:

- *Dehalobacter restrictus* (in grado di degradare PCE e TCE a DCE)
- *Dehalococcoides ethenogenes* (in grado di consentire il passaggio da DCE a VC e a Etilene)

Nel processo diretto (metabolico), i batteri acquistano energia dalla degradazione di materia organica (substrato riducente), che si comporta da composto donatore di elettroni nei confronti dei contaminanti, i quali a loro volta si riducono fino ad etilene. Nel processo indiretto (cometabolico), il processo è determinato da enzimi (mono ossigenasi) che si generano attraverso la degradazione di altri

Il processo aerobico avviene in presenza di ossigeno, dove l'ossigeno si comporta da accettore di elettroni e i contaminanti da donatori di elettroni, ossidandosi quindi fino ad anidride carbonica e acqua.

Il processo aerobico determina altresì la precipitazione di alcuni metalli spesso presenti nelle acque (principalmente Ferro, Manganese e Arsenico), mentre il processo anaerobico ne determina la mobilizzazione, comunque controllabile e reversibile con il ripristino delle condizioni aerobiche.

Nella maggior parte dei casi in cui i processi di degradazione sono applicabili, gli stessi sono già in atto per cause naturali, come dimostrato dalla presenza di prodotti di degradazione (es. Cloruro di Vinile e 1,2 Dicloroetilene per la degradazione anaerobica di Tetracloroetilene e Tricloroetilene, ecc). In tal caso il processo necessita esclusivamente di stimolazione attraverso l'aggiunta di nutrienti e di condizioni di processo ideali. L'applicabilità della tecnica dipende inoltre dalle caratteristiche della matrice (suolo, acque sotterranee) in cui i contaminanti sono contenuti.

Nei paragrafi che seguono sono riportati i risultati di un intervento di degradazione biologica anaerobica e aerobica di contaminanti presenti nelle acque eseguito da Tauw Italia presso un sito di un proprio cliente.



2 Descrizione del sito e dell'intervento previsto

Il sito oggetto dell'intervento è interessato da un importante inquinamento delle acque di falda. Il pennacchio di contaminazione è composto da Composti alifatici clorurati, Clorobenzeni, Idrocarburi alifatici e Idrocarburi aromatici, in concentrazioni molto elevate (PCE 9600 ug/l, TCE 63000 ug/l, 1,1,2 TCA 171000 ug/l, 1,2 DCE 49000 ug/l, 1,1 DCE 79000 ug/l, 1,1 DCA 62000 ug/l, 1,2 DCA 102000 ug/l, CV 129000 ug/l, Benzene 1000 ug/l, Idrocarburi come nesano 7800 ug/l, ecc.).

Tali contaminanti sono tutti degradabili biologicamente, seppure in condizioni diverse (aerobiche e anaerobiche). Si rileva che nel sito è già in atto un processo di degradazione biologica anaerobica per cause naturali, così come evidenziato dalla presenza di numerosi composti di degradazione (CV, 1,2 DCE, ecc) dei principali composti clorurati (PCE, TCE, ecc).

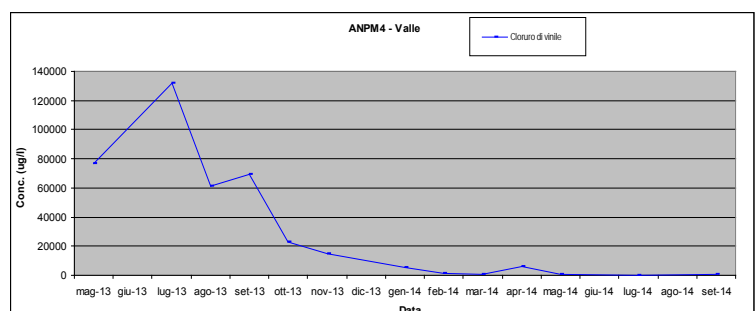
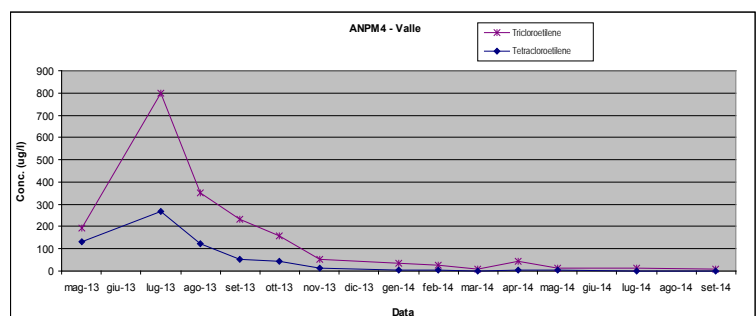
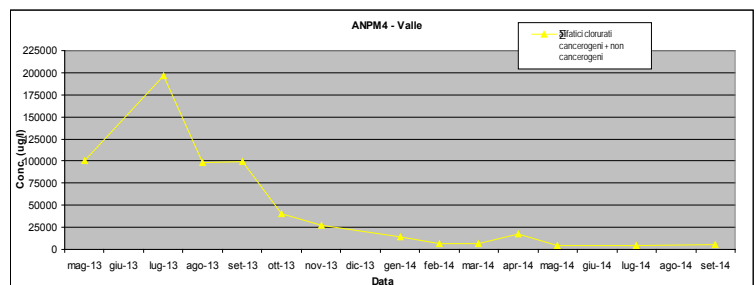
Un test di laboratorio eseguito per il caso specifico ha evidenziato la possibilità di degradare biologicamente i contaminanti presenti nel sito in fase anaerobica e aerobica. Il pennacchio si sviluppa su di una lunghezza di circa 350 m, per cui è stato previsto un intervento di degradazione biologica anaerobica nella porzione di monte del pennacchio per degradare i contaminanti degradabili in fase anaerobica e un intervento di degradazione biologica aerobica nella porzione di valle del pennacchio per degradare i contaminanti degradabili in fase anaerobica. Tale sequenza ha l'obiettivo di degradare biologicamente tutti i contaminanti presenti nel sito, fino a raggiungere la conformità con i limiti di legge in corrispondenza del confine.

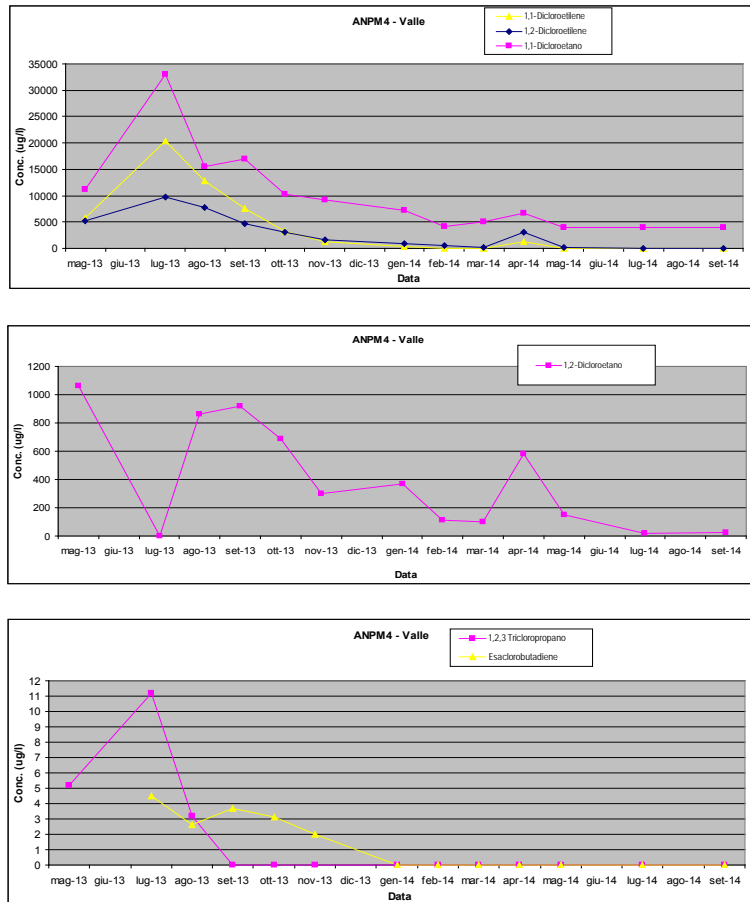
Per verificare la fattibilità dell'intervento previsto alla scale reale è stato eseguito un test pilota per un periodo di circa 16 mesi, con i risultati di seguito riportati.

3 Degradazione biologica anaerobica

Il test anaerobico è consistito nella realizzazione di un campo prova attraverso il quale è stato alimentato substrato riducente alle acque sotterranee, al fine di stimolare il processo di degradazione biologica anaerobica già in atto nel sito per cause naturali. Quale substrato riducente è stato utilizzato un prodotto di origine alimentare derivante da processi di fermentazione di zuccheri per la produzione di alcool, denominato Percol e fornito dalla società olandese Biosoil. L'alimentazione del substrato è avvenuta attraverso pozzi di ricircolo.

Per un periodo di circa 16 mesi sono state monitorate con cadenza mensile le acque sotterranee nel campo prova, con i risultati riportati nei grafici che seguono (risultati nel piezometro ANPM4 posto a valle della linea di iniezione del substrato).





Nella tabella che segue è riportata in termini percentuali la riduzione dei diversi contaminanti nel piezometro ANPM 4 dall'inizio alla fine del test.

Composto	Maggio 2013 (µg/l)	Settembre 2014 (µg/l)	Degradazione mag13/set14 (%)
Triclorometano	41	0,54	98,7
Cloruro di vinile	77000	990	98,7
1,2-Dicloroetano	1060	23,4	97,8
1,1-Dicloroetilene	5800	16,1	99,7
1,2-Dicloropropano	1,77	< 0,05	97,2
1,1,2-Tricloroetano	10	3,9	61,0
Tricloroetilene	194	9,2	95,3
1,2,3-Tricloropropano	5,2	<0,05	99,0
Tetracloroetilene	131	1,34	98,9
Esaclorobutadiene	4,5	< 0,05	98,9
Σ alifatici clorurati cancerogeni	84242,97	1040,58	98,8
1,1-Dicloroetano	11200	3900	65,2
1,2-Dicloroetilene	5260	45,7	99,1
Σ alifatici clorurati	100702,97	4990,18	95,0

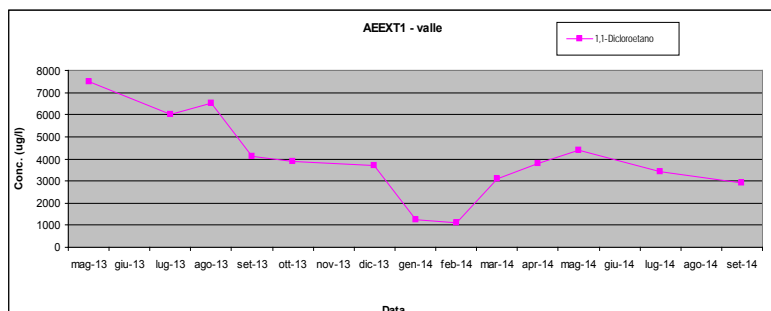
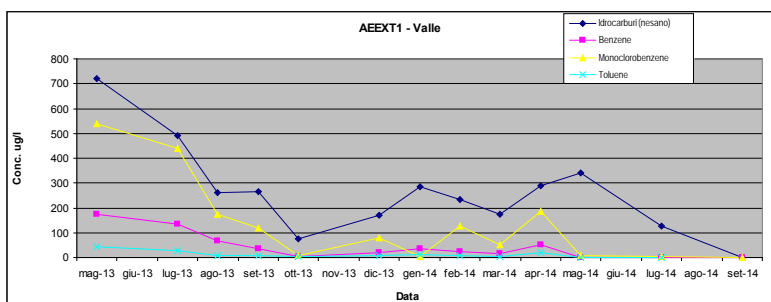
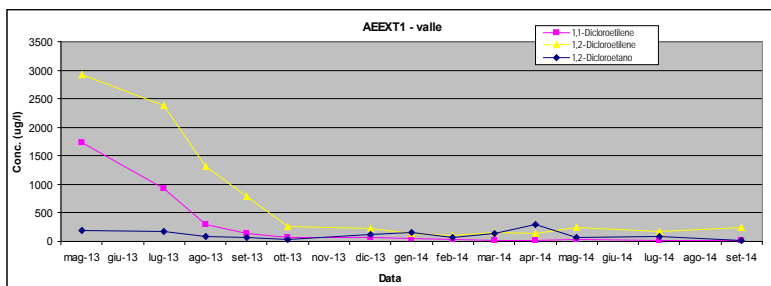
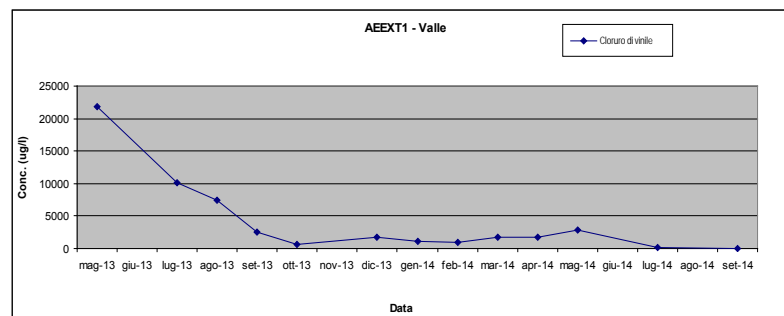
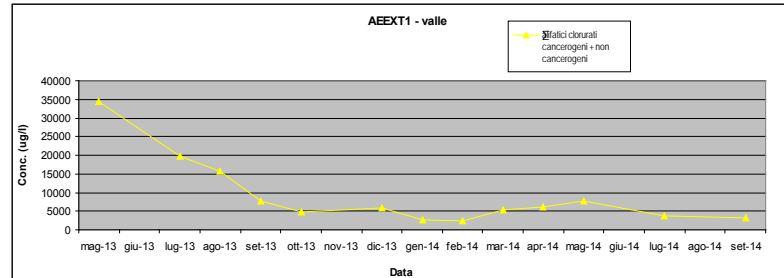
I risultati evidenziano l'efficacia del processo di degradazione anaerobica su diversi contaminanti presenti nel sito. In particolare si è osservata la riduzione significativa delle concentrazioni di tutti i contaminanti degradabili anaerobicamente presenti in ingresso al campo.



4. Degradazione biologica aerobica

Il test aerobico è consistito nella realizzazione di un campo prova attraverso il quale sono stati alimentati ossigeno e nutrienti (composti a base di fosforo e azoto) alle acque sotterranee, al fine di generare nelle acque un ambiente aerobico e stimolare la degradazione dei contaminanti degradabili in tale fase. L'alimentazione dei nutrienti è avvenuta attraverso pozzi di ricircolo.

Per un periodo di circa 16 mesi sono state monitorate con cadenza mensile le acque sotterranee nel campo prova, con i risultati riportati nei grafici che seguono (risultati nel pozzo di ricircolo AEEXT1 posto a valle della linea di iniezione ossigeno e nutrienti).





Nella tabella che segue è riportata in termini percentuali la riduzione dei diversi contaminanti nel piezometro AEEXT1 dall'inizio alla fine del test.

Composto	Maggio 2013 (µg/l)	Settembre 2014 (µg/l)	Degradazione mag13/set14 (%)
Idrocarburi (n-esano)	720	< 30	95,8
Benzene	173	< 0,05	99,97
Etilbenzene	17,3	< 0,05	99,71
Toluene	43	< 0,05	99,88
pXylene	7,8	< 0,10	98,7
Monoclorobenzene	540	1,08	99,8
1,2 Diclorobenzene	3,7	< 0,05	98,65
1,4 Diclorobenzene	4,6	< 0,05	98,91
Cloruro di vinile	21900	19,5	99,9
1,2-Dicloroetano	196	23,6	88,0
1,1-Dicloroetilene	1740	12,8	99,3
1,2-Dicloropropano	0,57	< 0,05	91,23
1,1,2-Tricloroetano	7,9	1,63	79,4
Σ alifatici clorurati cancerogeni	24065,47	62,22	99,7
1,1-Dicloroetano	7500	2900	61,3
1,2-Dicloroetilene	2930	252,35	91,4
Σ alifatici clorurati	34495,47	3216,2	90,7

I dati rilevati mostrano l'efficacia del processo di degradazione aerobica su diversi contaminanti presenti nel sito. In particolare si è osservata la significativa riduzione delle concentrazioni di tutti i composti degradabili in condizioni aerobiche presenti nei punti di valle del pennacchio. Le concentrazioni finali hanno evidenziato valori di conformità per alcuni contaminanti (Idrocarburi nesano, BTEX e Clorobenzeni) e prossime al limite di conformità per gli altri.

Nel test aerobico è stata verificata anche la riduzione di composti alifatici clorurati che si degradano per via cometabolica (TCE, PCE, TCM). Analisi

di laboratorio eseguite presso il laboratorio di microbiologia dell'Università dell'Insubria di Varese hanno confermato la presenza di enzimi (toluene monossigenasi) che possono essere alla base del processo. Altre analisi microbiologiche eseguite presso il medesimo laboratorio hanno verificato la crescita esponenziale della carica batterica degradatrice presente nel suolo saturo e nella acque a seguito degli interventi di stimolazione eseguiti.

Il test ha evidenziato anche la riduzione delle concentrazioni dei metalli presenti (Fe, Mn e As) fino a valori conformi con i limiti normativi. Tale riduzione è dovuta alla precipitazione dei metalli, per effetto delle condizioni aerobiche create nell'acquifero.



5. Valutazione degli esiti del test

I risultati ottenuti a seguito del test eseguito consentono le seguenti valutazioni:

- tutti i contaminanti presenti nelle acque sotterranee del sito possono essere degradati mediante processi di biologici aerobici e anaerobici, come mostrato dalla tabella che segue:

Contaminanti Presenti	Degradazione aerobica	Degradazione anaerobica
Idrocarburi (nesano)	+	-
Benzene	+	-
Etilbenzene	+	-
Toluene	+	-
pXylene	+	-
Monoclorobenzene	+	-
1,2 Diclorobenzene	+	-
1,4 Diclorobenzene	+	-
Triclorometano	+ (1)	+
Cloruro di vinile	+	+
1,2-Dicloroetano	+	+
1,1-Dicloroetilene	+	+
1,2-Dicloropropano	+	+
1,1,3-Tricloropropano	-	+
1,1,2-Tricloroetano	+	+
Esaclorobutadiene	-	+
Tricloroetilene	+ (1)	+
Tetracloroetilene	+ (1)	+
1,1-Dicloroetano	+	+
1,2-Dicloroetilene	+ (1)	+

+ degradabile

- non degradabile

(1) degradazione cometabolica

- le prestazioni di degradazione sono risultate elevate per molti contaminanti (con riduzioni della concentrazione fino a 2-3 ordini di grandezza per alcuni) e percentuali di riduzioni elevate in entrambi i campi prova, con punte oltre il 99% per alcuni contaminanti;
- i reagenti utilizzati si sono dimostrati adeguati ed efficaci per i processi di degradazione;
- le modalità applicative adottate (iniezione di aria e iniezione di nutrienti/substrato riducente) si sono dimostrate adeguate ed efficaci per i processi di degradazione;
- si ritiene pertanto che le tecniche di degradazione biologica aerobica e anaerobica siano adeguate per la bonifica delle acque del sito e che quindi si possa procedere alla progettazione fullscale degli interventi.



6. Conclusioni

Le ormai numerose esperienze applicative eseguite consentono di poter affermare che le tecniche di degradazione biologica possono essere applicate con successo per la bonifica di acque sotterranee contaminate da diverse tipologie di composti, in particolare Composti alifatici clorurati, Idrocarburi alifatici e aromatici e Clorobenzeni.

La fattibilità e il tipo di applicazione dipendono dalle caratteristiche sito-specifiche e devono essere oggetto di studi e valutazioni specialistiche (acquisizione e valutazione dati, test di laboratorio e test di campo), comunque attuabili a costi sostenibili.

Ove applicabili, le tecniche di degradazione biologica possono essere particolarmente convenienti, in quanto:

- non sono particolarmente onerose dal punto di vista economico
- sono compatibili dal punto di vista dell'impatto ambientale
- sono efficienti e in grado di essere applicate nei confronti di un'elevata varietà di contaminanti.

Tauw Italia ha acquisito specifiche esperienze per l'applicazioni di tali tecniche ed è disponibile a metterle a disposizione dei propri clienti per la soluzione di casi specifici.



Giovanni Buscone

Responsabile Bonifiche

M: +39 0226626138

Email: g.buscone@tauw.it

www.tauw.it

Laura Ledda

Project Consultant

M: +39 0226626141

Email: l.ledda@tauw.it

www.tauw.it