Associazione degli Ingegneri per l'Ambiente ed il Territorio della regione Sicilia

CONVEGNO SU: "BONIFICA DEI SITI INDUSTRIALI"

TECNOLOGIE DI BONIFICA DEL SUOLO E DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Ing. ***Giuseppe Mancini***
gmancini@dica.unict.it

CALTANISSETTA, Sabato 29 Novembre 2008

INTERVENTI DI BONIFICA

- **Il successo di un intervento di bonifica dipende da:**
  - **Conoscenza del problema: caratterizzazione del sito e dell'ambiente esterno**

↓

MODELLO CONCETTUALE

  - **Ricerca delle soluzioni**
  - **Gestione del rischio**
  - **Controllo sulla qualità delle stime effettuate**

CARATTERIZZAZIONE DI UN SITO

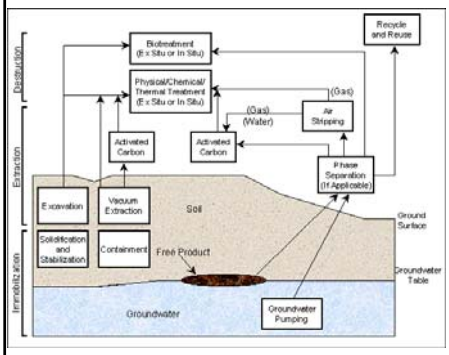
- **Caratterizzazione di un sito al fine di conoscere:**
  - **Natura, estensione e grado di contaminazione di ogni matrice ambientale** → individuazione delle tecnologie applicabili
  - **Condizioni ambientali, caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del sito e dell'area** → definizione dell'applicabilità al sito in esame delle tecnologie selezionate

POSSIBILI INTERVENTI

- **Tecnologie di messa in sicurezza** → Impedire la migrazione degli inquinanti dalla sorgente ai bersagli
- **Tecnologie di bonifica** → Eliminare o ridurre la concentrazione di inquinante nelle matrici ambientali

INTERVENTI DI BONIFICA

- **Classificazione delle tecnologie di bonifica sulla base di**
  - **Principio di trattamento**



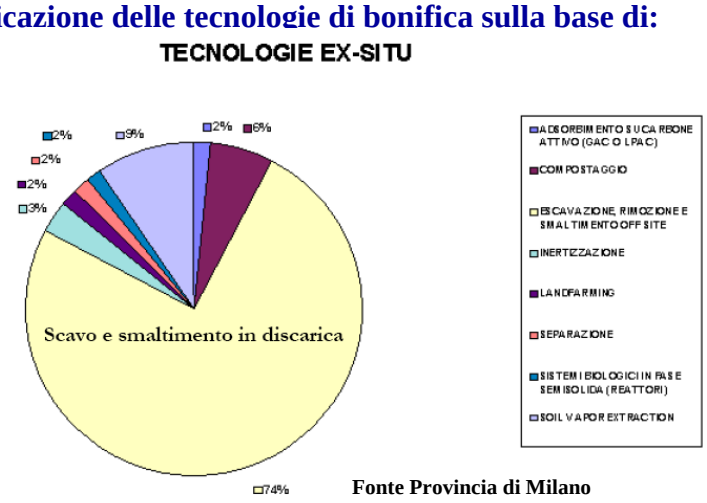
- Trattamenti per la distruzione delle molecole dei contaminanti
- Trattamenti di mobilizzazione
- Trattamenti di inertizzazione o contenimento
- Escavazione e smaltimento in sito adeguato

TECNOLOGIE DI BONIFICA

Tecnica	Matrice a cui è applicabile		
	sottosuolo	acque sotterranee	rifiuti
Estrazione di vapore	X		
Air sparging	X	X	
Ossidazione chimica	X	X	
Fitorisanamento	X		
Biorisanamento	X	X	
Barriere reattive		X	
Desorbimento termico	X		
Incenerimento	X		X
Messa in sicurezza permanente			
Diaframmi plastici	X	X	X
Stabilizzazione/solidifcazione	X		X
Misure di sicurezza			
Pump&treat		X	

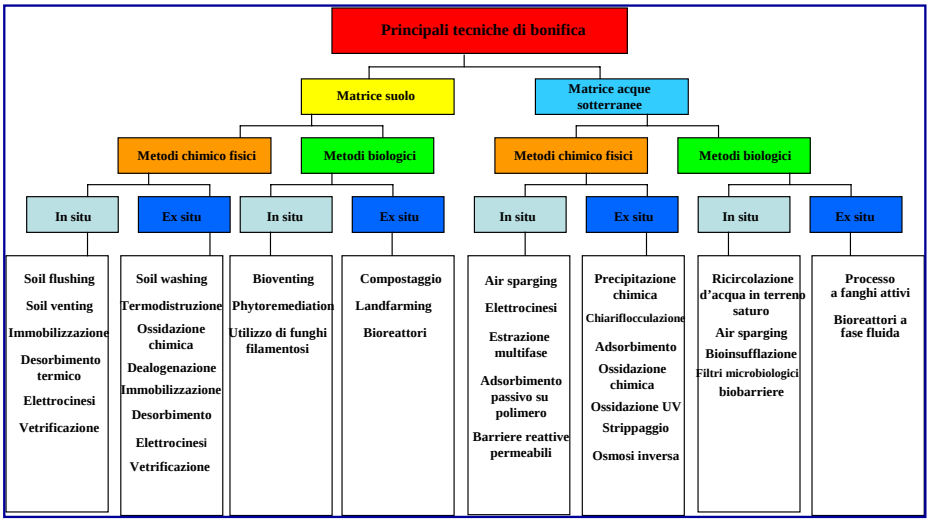
INTERVENTI DI BONIFICA

- **Classificazione delle tecnologie di bonifica sulla base di:**
  - **M**
    d
    c



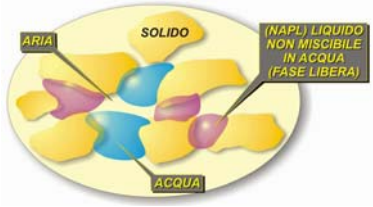
Fonte Provincia di Milano

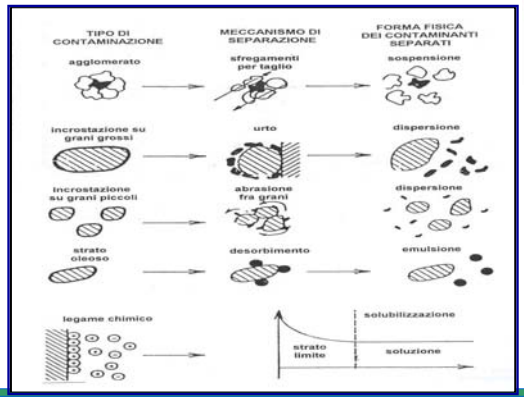
LE PRINCIPALI TECNOLOGIE DI BONIFICA



INTERAZIONE SUOLO-CONTAMINANTE

- **In un terreno inquinato possono essere presenti 4 fasi:**
  - **Fase gassosa;**
  - **Fase liquida acquosa;**
  - **Fase liquida non acquosa;**
  - **Fase solida.**





TECNICA DI BONIFICA

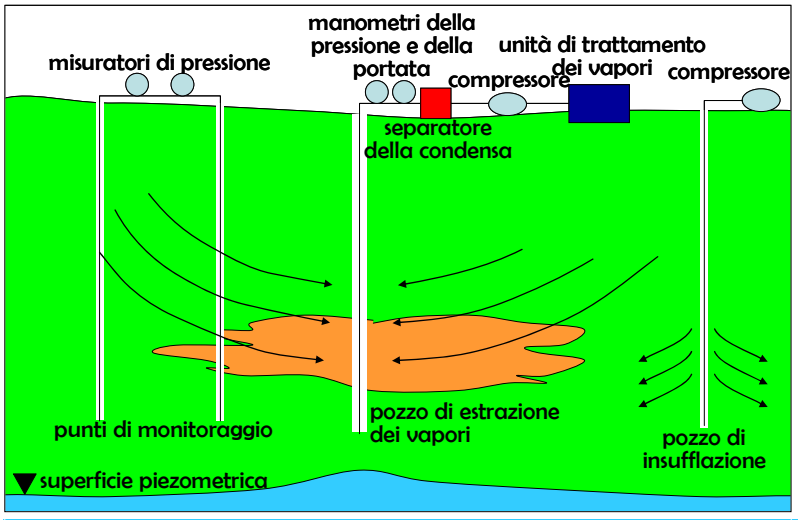
- **SUOLO**
- **In SITU**

Introduzione

Tecnologia	Stato	Tecnologia	Stato
EX SITU			
Scavo e smaltimento	XXX	Estrazione con solvente	XX
Landfarming	XXX	Soil washing	XX
Biopile	XXX	Desorbimento termico	XX
Compostaggio	XX	Fitorisanamento	XX
Solidificazione/stabilizzazione	XX	Pump and treat (P&T)	XXX
IN SITU			
Barriere fisiche o idrauliche	XXX	Biorisanamento aerobico (es. ORC)	XX
Soil vapor extraction (SVE)	XXX	Dealogenazione riduttiva (RD)	X
Bioventing	XXX	Fratturazione idraulica	X
Air sparging	XXX	Solidificazione/stabilizzazione	XX
Biosparging	XXX	Barriere permeabili reattive (PRB)	XX
In well stripping (GCW)	XX	Metodi elettrochimici (ECRT)	X
Multi-Phase Extraction (MPE)	XXX	Trattamenti termici	X
Soil flushing	XX	Attenuazione naturale	X
Ossidazione chimica	XX	Iniezione di vapore	XX

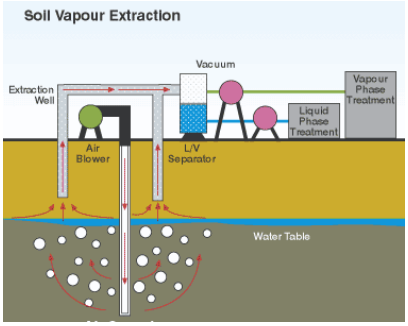
XXX uso frequente, XX uso meno frequente, X uso dimostrativo o pilota

ESTRAZIONE DI VAPORE (SOIL VAPOR EXTRACTION)



ESTRAZIONE DI VAPORE

- **Si ottiene un'ossigenazione** → **attivazione di processi biologici**
- **Applicata a VOC, composti alogenati (cloroetano, cloroformio, VC, clorobenzene, diclorometano, dicloroetano, dicloroetilene, diclorobenzene, TCE, tetracloroetano, TeCA, piombotetraetile) e non (BTEX, fenoli, benzina)**



ESTRAZIONE DI VAPORE

Condizioni di applicabilità al sito	Elementi necessari alla progettazione
➢ Caratteristiche del sito: ➢ Permeabilità all'aria del suolo ➢ Permeabilità intrinseca ➢ Stratificazione ed omogeneità litologica ➢ Profondità del livello di falda ➢ Umidità del suolo ➢ Percentuale di sostanza organica naturale ➢ Caratteristiche dei contaminanti ➢ Pressione di vapore ➢ Punto di ebollizione ➢ Costante di Henry	➢ Concentrazione iniziale dei contaminanti nel suolo e nella fase vapore ➢ Volume di suolo da trattare ➢ Porosità efficace ➢ Presenza di strutture interrate ➢ Raggio di influenza di ogni pozzo ➢ Depressione da indurre alla testa del pozzo ➢ Portata di insufflazione ➢ Portata di estrazione ➢ Impianto di trattamento dei vapori estratti ➢ Limiti da rispettare per lo scarico in atmosfera

ESTRAZIONE DI VAPORE

Vantaggi	Svantaggi
✓ Riduce efficacemente i contaminanti nella zona insatura e, in minor misura, anche il prodotto libero in galleggiamento ✓ Brevi tempi di trattamento (da alcuni mesi a un paio di anni, in dipendenza della concentrazioni iniziali e delle caratteristiche del sito) ✓ Le attrezzature sono facilmente installabili; ✓ Si possono trattare vaste aree senza interrompere le normali attività svolte sul sito e può essere trattato anche il terreno al di sotto di edifici esistenti ✓ Sono eliminati i rischi e i costi relativi al trasporto di notevoli quantità di suolo contaminato ✓ I costi sono contenuti, in particolar modo quando vengono trattate ampie zone di terreno ✓ Può essere utilizzata in associazione ad altre tecnologie di trattamento, come il bioventing e l'air sparging	✓ Difficilmente si raggiungono abbattimenti delle concentrazioni di contaminate superiori al 90% ✓ È applicabile solo alla zona insatura del terreno ✓ Non è applicabile per il trattamento di terreni contaminati da composti a bassa volatilità ✓ È fortemente influenzata dalle caratteristiche del sottosuolo trattato. Zone a bassa permeabilità, ad elevato contenuto organico o ricche di canali referenziali o fratture possono ridurre sostanzialmente l'efficacia complessiva di estrazione ✓ Può richiedere alti costi per il trattamento dell'aria estratta

SOIL FLUSHING

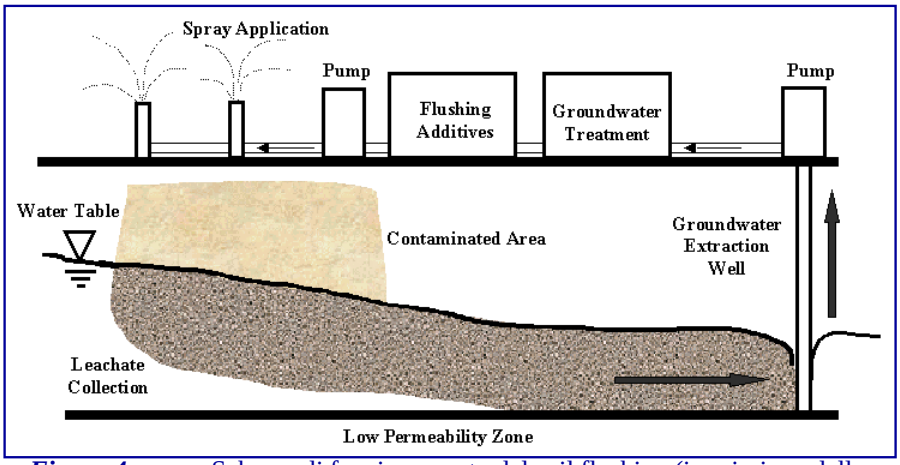
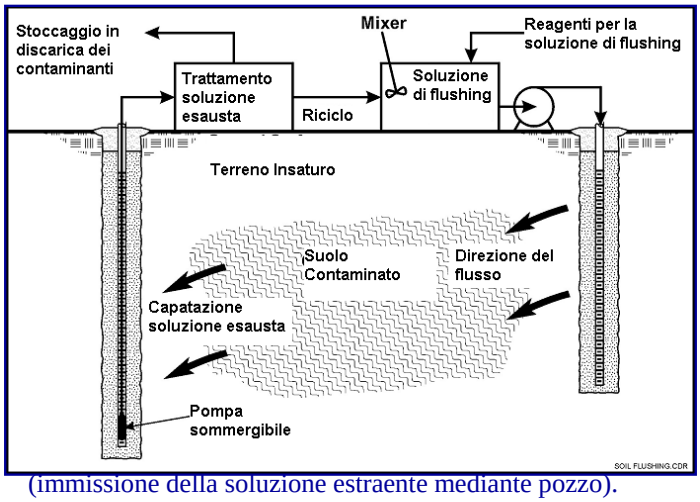


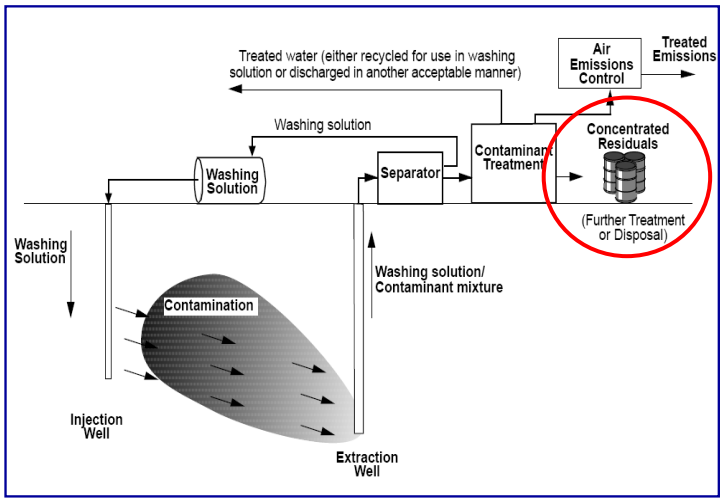
Figura 4 Schema di funzionamento del soil flushing (immissione della soluzione estraente mediante irrigazione superficiale).

SOIL FLUSHING



(immissione della soluzione estraente mediante pozzo).

SOIL FLUSHING



SOIL FLUSHING

Soluzione	Composti estraibili
Acqua	Composti organici ad elevata solubilità (alcols dal basso peso molecolare, fenoli, acidi carbossilici), Sali di metalli pesanti solubili
Acqua /tensioattivi	Composti organici di media solubilità (chetoni di medio peso molecolare, aldeidi, composti aromatici, idrocarburi alogenati di basso peso molecolare come il tricloroetilene)
Surfattanti	Sostanze organiche a bassa solubilità (pesticidi clorinati, PCBs, benzene, PAHs, prodotti petroliferi (benzina), solventi aromatici (BTEX), solventi clorinati)
Co-solventi	Contaminanti idrofobici
Acidi	Metalli e contaminanti organici basici. Per i metalli, potrebbe pure essere necessario l'uso di agenti complessanti (chelanti) o agenti riducenti.
Basi	Fenoli e Metalli

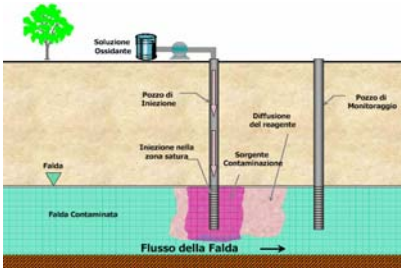
SOIL FLUSHING

Vantaggi	Svantaggi
✓ non richiede l'escavazione del suolo e, di conseguenza, presenta costi contenuti e permette la continuazione delle attività produttive presenti sull'area interessata dall'inquinamento; ✓ applicabilità della tecnica ad un ampio range di contaminanti; ✓ nel caso in cui si utilizzi solo acqua come agente estraente, non si ha nessun impatto sulle caratteristiche originali del suolo; ✓ rispetto al classico trattamento pump & treat, la tecnica presenta dei tempi di decontaminazione del sito più brevi.	✓ un'eccessiva infiltrazione, durante la operazioni, potrebbe causare la diluizione della soluzione estraente e la perdita del controllo idraulico; ✓ la soluzione estraente è funzione del contaminante specifico, dunque, la presenza contemporanea i surfattanti, usati come estraenti, possono aderire al suolo e ridurne la porosità; ✓ delicata la fase di selezione dell'agente estraente, in quanto occorre evitare che una quantità eccessiva di fluido o che l'errata previsione delle possibili reazioni con le sostanze contaminanti possa peggiorare le condizioni di contaminazione del terreno e delle acque sotterranee.

In Situ Chemical Oxidation (ISCO)

- ***Principio di funzionamento*:** Iniezione nel sottosuolo di miscele ossidanti, con l'eventuale aggiunta di appositi catalizzatori, allo scopo di ossidare i contaminanti organici presenti.

Si ottengono come prodotti finali acqua e anidride carbonica.



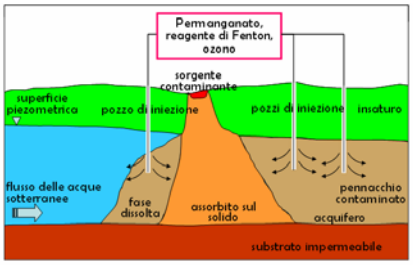
- ***Contaminanti trattati:*** TCE, MTBE, Idrocarburi Policiclici Aromatici, BTEX, Prodotti Petroliferi.
- ***Tempi di trattamento:*** Brevi (settimane o mesi).
- ***Costi:*** Da 30 € a 180 € per m³ di suolo contaminato trattato, e da 0,3 € a 0,5 € per l di falda contaminata trattata.

In Situ Chemical Oxidation (ISCO)
(Principi di Funzionamento) 2/2

I reagenti tipicamente impiegati per l'ossidazione chimica in situ dei contaminanti organici sono:

- Perossido di idrogeno;
- Permanganato di potassio;
- Ozono;
- Persolfato di sodio.

$$H_2O_2 + Fe^{++} \rightarrow Fe^{+++} + OH^{*} + OH^{-}$$



Per la scelta del tipo di ossidante si deve tener conto dei seguenti fattori:

- Tipo e livello di contaminazione;
- Permeabilità ed eterogeneità del sottosuolo;
- Tipo di ossidante e velocità di reazione;
- Dosaggi richiesti e rendimenti di rimozione;
- Costi.

Processo Fenton:
- Reazione in fase acquosa
- $[H_2O_2]$ bassa (< 10^{-2}M)
- pH acido (2-3)
- Catalizzatore (Fe^{2+}, Fe^{3+})

Processi Fenton modificati:
- Suolo + acqua
- $[H_2O_2]$ elevata (> 10^{-2} M)
- pH "naturale" (6-8)
- Catalizzatore (Fe^{2+}, Fe^{3+})
- Agenti chelanti del H_2O_2

Processo Fenton-Like:
- Reazione in fase acquosa
- $[H_2O_2]$ bassa (> 10^{-2}M)
- pH acido (2 – 3)
- Usa ferro presente nel suolo
- Agenti chelanti del H_2O_2

In Situ Chemical Oxidation (ISCO)
(Vantaggi/Svantaggi)

VANTAGGI:

- La massa di contaminante può essere distrutta in-situ;
- Rapida distruzione/degradazione dei contaminanti (settimane o mesi);
- Non produce rifiuti significativi (produzione minima di VOCs);
- Favorisce la biodegradazione aerobica ed anaerobica dei residui di idrocarburi;

SVANTAGGI:

- Costi iniziali elevati rispetto alle altre tecnologie di bonifica;
- Si possono alterare significativamente le caratteristiche geochimiche della falda;
- Si possono verificare perdite significative di ossidanti chimici quando essi reagiscono con il suolo;
- La ISCO può causare l'ostruzione della falda attraverso la precipitazione dei minerali tra i pori;
- Determinati ossidanti potrebbero arrecare danni alla salute dell'uomo.

In Situ Chemical Oxidation (ISCO)
(Caso Studio "Ex Carbochimica, Trento Nord; Andreottola et al., 2006)

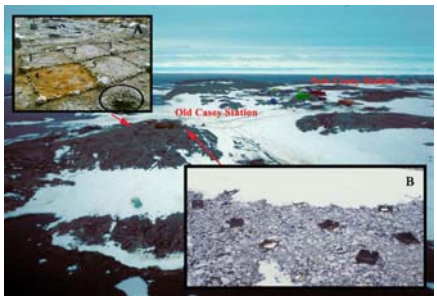
- *Località*: "Ex Carbochimica", Trento Nord;
- *Scala di applicazione*: Scala Pilota;
- *Tipologia di suolo*: Limo-argilloso;
- *Contaminazione:* Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA);
- *Tecnica utilizzata:* In Situ Chemical Oxidation, Hydraulic Fracturing;
- *Durata:* 48 ore;
- *Risultati ottenuti:* Riduzioni elevate delle concentrazioni dei contaminanti, superiori al 99% sulle acque di falda e intorno al 90% sui terreni dopo 24 ore di trattamento;

Reagente utilizzato:
Ozono

- *Considerazioni finali:* La combinazione Hydraulic Fracturing-ozonizzazzione ha consentito di superare il problema dovuto alla bassa permeabilità dei limi. Si è avuta la possibilità di iniettare la soluzione ossidante fino a un raggio massimo di 8 metri, garantendo buona dispersione del flusso.

In Situ Chemical Oxidation (ISCO)
(Caso Studio "Old Casey Station, Antartide; Woinarski et al., 2004)

- *Località*: "Old Casey Station", Antartide;
- *Scala di applicazione*: Piena Scala;
- *Tipologia di suolo*: Depositi glaciali fluviali;
- *Contaminazione:* Idrocarburi petroliferi;
- *Tecnica utilizzata:* In Situ Chemical Oxidation;
- *Durata:* 36 giorni;
- *Risultati ottenuti:* Riduzione del 69% dei contaminanti volatili, ottenuta grazie all'aggiunta dell'agente chelante NaHOCl;
- *Considerazioni finali:* Dove la contaminazione è presente da più di un decennio, tale tecnica non ha portato a significativi risultati di decontaminazione e dunque rimozione, e addirittura è stata di ostacolo alla bioremediation in quanto ha comportato la distruzione dei microorganismi del sottosuolo.



Reagenti utilizzati:
Fenton
Perossido di idrogeno

In Situ Chemical Oxidation (ISCO)
(Caso Studio Tallin, Estonia; Goi et al., 2005)

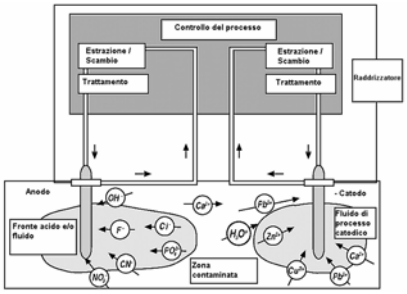
- *Località*: Tallin, Estonia;
- *Scala di applicazione*: Scala di laboratorio;
- *Tipologia di suolo*: Sabbia, torba;
- *Contaminazione:* Olio di scisto;
- *Tecnica utilizzata:* In Situ Chemical Oxidation, Bioremediation;
- *Durata:* 48 ore;
- *Risultati ottenuti:* Buona riduzione della concentrazione di olio di scisto nelle matrici considerate :
  5,6 g/Kg → 2,4 g/Kg (Sabbia)
  5,5 g/Kg → 1,1 g/Kg (Torba)
- *Considerazioni finali:* L'efficienza del trattamento è fortemente connessa alla matrice del suolo.
  Nella torba si ha una rimozione minore e dunque una maggiore addizione di ossidanti chimici. Nel complesso la combinazione dei due trattamenti è risultata efficace.

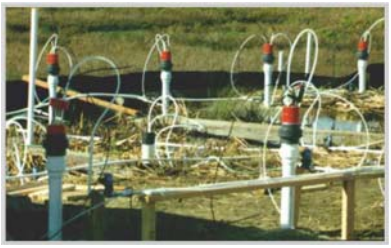
Reagenti utilizzati:
Fenton
Ozono
Perossido di idrogeno

Electrochemical Remediation Technology (ECRT)

(Principi di funzionamento) 1/2

- ***Principio di funzionamento*:** Applicazione di una corrente continua, dell'ordine di 0,5-3 mA/cm^2 o 1-2 V/cm, ad un mezzo conduttore (suolo). Particolarmente indicata per mezzi porosi a bassa permeabilità.
- ***Contaminanti trattati:*** Metalli pesanti, Idrocarburi Policiclici Aromatici, BTEX, Prodotti petroliferi.
- ***Tempi di trattamento:*** Medio-brevi (funzione della velocità di trasporto del contaminante e dalla spaziatura degli elettrodi).
- ***Costi:*** Da 50 € a 220 € per tonnellata di terreno contaminato trattato.





FATTORI LIMITANTI

Umidità ➡ Efficienza ridotta per U < 10%

Corrosione degli elettrodi ➡ Elettrodi inerti in platino

Electrochemical Remediation Technology (ECRT)

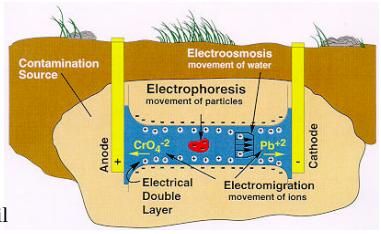
(Principi di funzionamento) 2/2

FENOMENI CHIMICI

Elettrolisi dell'acqua: Reazioni di ossidazione e riduzione dell'acqua.

Anodo: $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

Catodo: $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$



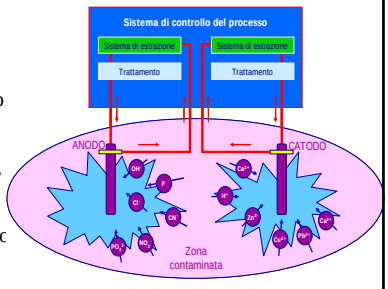
Variazione del pH: Fronte acido in movimento verso il catodo e fronte basico in movimento verso l'anodo.

FENOMENI FISICI

Elettromigrazione: Movimento di particelle apolari indotto campo elettrico.

Elettro-osmosi: Flusso di acqua indotto dal campo elettrico, solitamente verso il catodo.

Elettroforesi: Trasporto di particelle cariche verso l'elettrodo polarità opposta.



Electrochemical Remediation Technology (ECRT)

(Vantaggi/Svantaggi)

VANTAGGI:

- Elevati range di concentrazioni trattabili (da pochi ppm a decine di migliaia);
- Non necessita della rimozione del sedimento trattato;
- Efficienze di rimozione elevate per terreni argillosi contaminati da metalli pesanti;
- Può essere combinata in maniera efficiente con altre tecnologie di rimozione (Pump & Treat);
- Il passaggio della corrente elettrica può favorire la crescita della popolazione batterica.

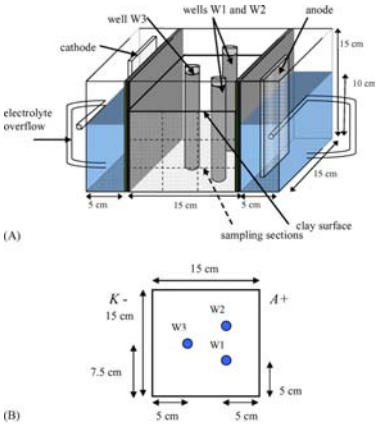
SVANTAGGI:

- Formazione di prodotti indesiderati;
- Copertura del terreno in aree particolarmente piovose;
- Acidificazione e riscaldamento del terreno trattato;
- Corrosione degli elettrodi;
- Ancora poco applicativa sul campo (solo a scala di laboratorio);
- Difficoltà a bonificare in profondità, in aree costruite, ed in terreni a bassa permeabilità.

Electrochemical Remediation Technology (ECRT)

(Caso studio Turku, Finlandia; Piskonen et al., 2006)

- *Località*: Turku, Finlandia;
- *Scala di applicazione*: Scala pilota;
- *Tipologia di suolo*: Argilla;
- *Contaminazione:* Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), creosoto (miscuglio di fenoli);
- *Tecnica utilizzata:* Electrochemical Remediation Technology, In Situ Chemical Oxidation;
- *Durata:* 8 settimane;
- *Risultati ottenuti:* Rimozione del 19% di idrocarburi applicando solo l'ECRT. Rimozione del 35% degli idrocarburi applicando congiuntamente ECRT ed ISCO;

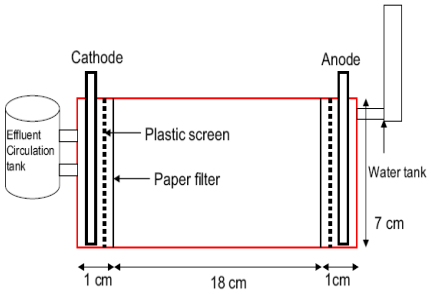


- *Considerazioni finali:* Sono stati raggiunti ottimi risultati utilizzando corrente elettrica e persolafato di sodio, mentre scarsi risultati applicando corrente elettrica e reagente di Fenton.

Electrochemical Remediation Technology (ECRT)

(Caso studio Pagham Harbor, West Sussex; Smith et al., 2007)

- *Località*: "Pagham Harbor Local Natural Reserve", West Sussex, U.K.
- *Scala di applicazione*: Scala di laboratorio;
- *Tipologia di suolo*: Sedimenti marini sabbiosi;
- *Contaminazione:* Metalli pesanti (Rame);
- *Tecnica utilizzata:* Electrochemical Remediation Technology;
- *Durata:* 18 giorni;
- *Risultati ottenuti:* Rimozione molto limitata del rame, pari al 21% della concentrazione complessiva;



- *Considerazioni finali:* La rimozione è stata limitata a causa del basso flusso elettroosmotico presente nei sedimenti marini presi in esame, e a causa delle elevate concentrazioni di sostanza organica, che rallentano il fronte acido e dunque la rimozione del rame.

Electrochemical Remediation Technology (ECRT)

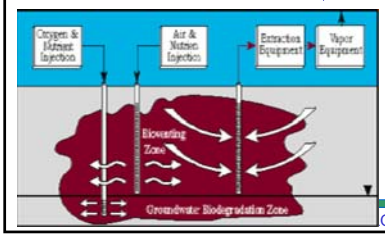
(Caso studio Portovesme, Sardegna; De Gioannis et al., 2007)

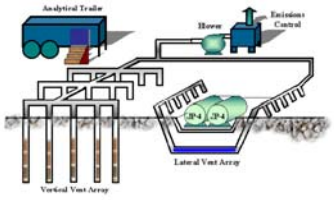
- *Località*: "Portovesme", Sardegna;
- *Scala di applicazione*: Scala di laboratorio;
- *Tipologia di suolo*: Sedimenti marini;
- *Contaminazione:* Metalli pesanti (Principalmente Piombo e Zinco);
- *Tecnica utilizzata:* Electrochemical Remediation Technology;
- *Durata:* 30 giorni;
- *Risultati ottenuti:* Modeste riduzioni di Piombo (circa 300 mg) e Zinco (circa 1000 mg);

- *Considerazioni finali:* La rimozione è stata modesta a causa della scarsa propagazione del fronte acido, dovuta alla elevata capacità tampone del sedimento marino. Modesta mobilitazione dei metalli utilizzando un agente chelante (EDTA).

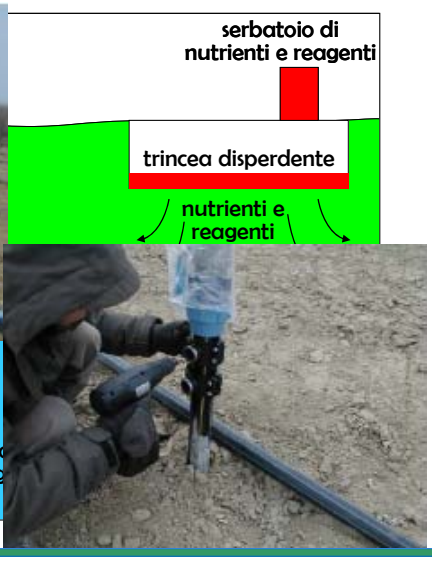
BIOVENTING

- Stimola ed ottimizza i processi spontanei di biodegradazione aerobica, apportando aria e ossigeno ai microrganismi autoctoni nella zona vadosa (biosparging se l'insufflazione avviene nella zona satura)
- Il parametro significativo per l'applicazione del trattamento è la pressione di vapore dell'inquinante:
  - $< 10^{-3}$ atm → **Rimossi facilmente per biodegradazione**
  - > 1 atm → **Volatilizzano troppo rapidamente**
  - $10^{-3} \div 1$ atm → **Rimossi per biodegradazione e volatilizzazione**





BIOVENTING

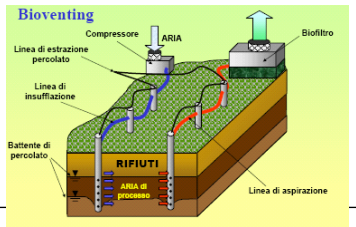


BIOVENTING

- Applicabile a:
  - Composti petroliferi e idrocarburi (benzina, oli combustibili, oli lubrificanti, gasolio, IPA)
  - Composti organici alogenati (PCB, cloruro di metilene, cloruro di vinile, tricloroetilene)
  - Altri composti organici (fenoli, pentaclorofenoli, chetoni, alcoli)
- Necessità di ottimizzare la fornitura di ossigeno, minimizzando i rischi di volatilizzazione:
  - Aria scambiata ogni 1-2 giorni
  - Basse portate (2-14 m^3/h)

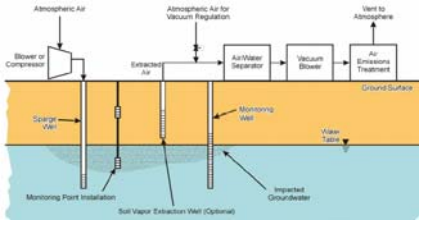
BIOVENTING

Condizioni di applicabilità al sito	Elementi necessari alla progettazione
➢ Caratteristiche del sito: ➢ permeabilità del suolo e geomorfologia ➢ profondità e fluttuazione della falda	➢ Raggio di influenza ➢ Pressione alla testata del pozzo ➢ Portata di aria ➢ Volume di suolo ➢ Concentrazione di contaminanti in fase di vapore ➢ Concentrazione finale dei contaminanti ➢ Limiti da manufatti, impianti, edifici ➢ Porosità efficace ➢ Portata di estrazione
➢ Caratteristiche dei contaminanti: ➢ struttura chimica e biodegradabilità ➢ concentrazione e tossicità ➢ pressione di vapore ➢ punto di ebollizione ➢ costante di Henry ➢ ripartizione dei contaminanti	
➢ Microflora: ➢ presenza sufficiente di microflora ➢ donatori di elettroni ➢ pH ➢ potenziale redox ➢ temperatura ➢ nutrienti ➢ biodisponibilità	



BIOVENTING

Vantaggi	Svantaggi
✓ Non richiede escavazione del terreno ✓ È semplice da realizzare, non richiedendo apparecchiature particolarmente specializzate ✓ Crea un disturbo minimo al sito ✓ Può essere applicata anche in presenza di edifici ✓ Può essere abbinata ad altre tecnologie, quali soil vapor extraction e air sparging	✓ Potrebbe non essere applicabile a terreni con concentrazioni elevate di inquinanti ✓ Non è applicabile in terreni a bassa permeabilità ✓ Può portare alla formazione di intermedi di reazione sconosciuti o non biodegradabili



TRATTAMENTI BIOLOGICI

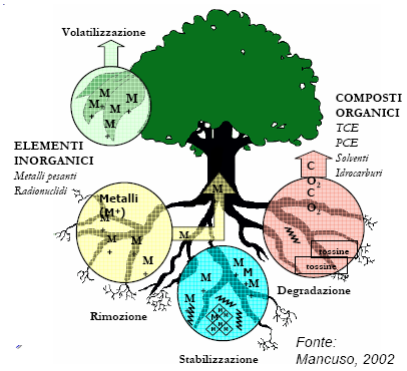
- **Biorisanamento**:
  - applicazione dei trattamenti biologici alla bonifica del suolo, sottosuolo e acque sotterranee inquinate
  - Basato sull'accelerazione o l'attivazione dell'attività microbica mediante controllo della concentrazione di nutrienti (N, P) e l'aggiunta di altri reagenti per ottenere la mineralizzazione del composto organico o la sua trasformazione in composti organici diversi meno nocivi
  - Creazione delle condizioni ambientali ottimali per la biodegradazione

PHYTOREMEDIATION

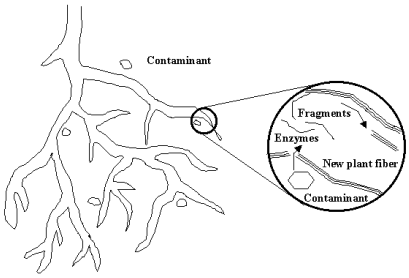
- Sfrutta la capacità delle piante di rimuovere, immobilizzare o trasformare composti inorganici ed organici
- Le specie vegetali possono essere selezionate per la loro capacità di:
  - Estrarre dal suolo e accumulare metalli pesanti nei tessuti
  - Modificare le caratteristiche del suolo o dei metalli riducendo la mobilità degli inquinanti
  - Estrarre dal suolo e decomporre chimicamente selezionati composti
  - Creare nel terreno un ambiente favorevole alla degradazione dei contaminanti con processi biochimici naturali

PHYTOREMEDIAITON

- La rimozione dei contaminanti organici avviene per:
  - Prelievo diretto, trasformazione e accumulo dei metaboliti nei tessuti delle piante
  - Modifica delle proprietà chimico-fisiche del suolo e rilascio radicale di fattori enzimatici che stimolano l'attività dei microrganismi autoctoni

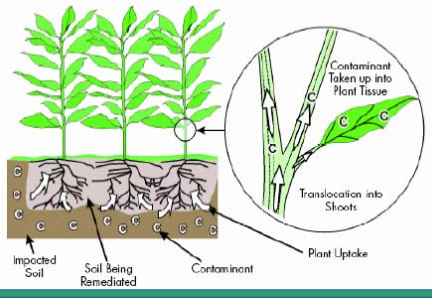


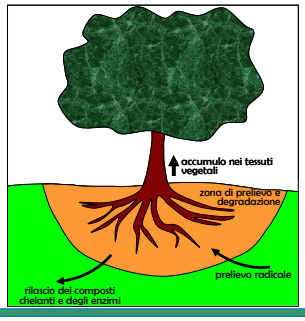
Fonte: Mancuso, 2002



PHYTOREMEDIAITON

- La rimozione dei contaminanti inorganici (metalli pesanti) avviene per:
  - Stabilizzazione: immobilizzazione dei metalli pesanti mediante legami chimici con sostanze prodotte dalle radici, al fine di rallentarne o inibirne la migrazione verticale verso la falda
  - Estrazione (o accumulo): accumulo nei tessuti vegetali (soprattutto nelle parti aeree) di alte concentrazioni. Al termine del trattamento la biomassa vegetale deve essere raccolta e smaltita





PHYTOREMEDIAITON

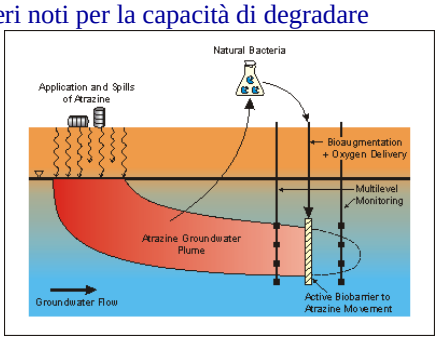
Condizioni di applicabilità al sito	Elementi necessari alla progettazione
➢Metalli pesanti: ➢Forme solubili e disponibilità ➢Profondità della contaminazione ➢Concentrazione dei metalli assorbiti alle fasi solide ➢Tossicità ➢Contaminanti organici: ➢Concentrazione delle forme assorbite alle fasi solide e K_{ow} ➢Tossicità ➢Profondità della contaminazione	➢ Scelta e selezione della specie vegetale ➢ Velocità di prelievo dei contaminanti ➢ Produttività vegetale ➢ Disposizione della specie vegetale ➢ Densità della specie vegetale ➢ Sistema d irrigazione ➢ Sistema agronomico ➢ Sistema di monitoraggio ➢ Tasso di traspirazione

PHYTOREMEDIAITON

Vantaggi	Svantaggi
✓Migliora e lascia inalterata l'attività biologica ed ecologica del suolo e delle piante rispetto ai trattamenti chimici ✓Non vi è impatto paesagistico , la rimozione dei contaminanti avviene attraverso meccanismi naturali ✓Risparmio in termini di costi, energia e materiali; ✓costi minori rispetto a trattamenti chimici di rimozione dei metalli	Lunghi tempi di risanamento È applicabile solo alla contaminazione superficiale I dati di letteratura sono scarsi in applicazioni in scala reale Il trattamento dei metalli necessita di post-trattamento o smaltimento della biomassa vegetale I meccanismi chimico-fisici e biologici che regolano i processi non sono conosciuti pienamente Infestazioni di parassiti possono distruggere le colture vegetali e bloccare il processo

TRATTAMENTI BIOLOGICI

- Per stimolare l'attività dei microrganismi è possibile:
  - Biostimolazione: aggiunta di nutrienti (N, P), accettori di elettroni (ossigeno), donatori di elettroni (metano, lattato)
  - Bioaugmentation: aggiunta di microrganismi esogeni all'ambiente del sito contaminato; tali microrganismi possono essere selezionati da popolazioni già presenti sul sito oppure possono essere ottenuti da varietà isolate in laboratorio da batteri noti per la capacità di degradare specifici composti



TRATTAMENTI BIOLOGICI

CLASSE DI COMPOSTI	FACILITÀ DI BIODEGRADAZIONE
Composti monocromatici (BTEX, alcoli, fenoli, ammine)	Molto facile
Idrocarburi alifatici fino a C15	Molto facile
Idrocarburi alifatici C12-C20	Moderatamente facile
Idrocarburi alifatici > C20	Moderatamente facile
Idrocarburi monoclorurati	Moderatamente facile
Idrocarburi policlorurati	Moderatamente facile
Idrocarburi policromatici (IPA)	Difficile
PCB	Difficile
Pesticidi	Difficile

TRATTAMENTI BIOLOGICI

- **La possibilità di applicare un trattamento biologico dipende**:
  - Struttura molecolare dell'inquinante
  - Caratteristiche chimico-fisiche dell'inquinante: struttura chimica, distribuzione dei contaminanti tra le varie fasi, concentrazione, tossicità, solubilità, pressione di vapore, costante di Henry, punto di ebollizione
  - Caratteristiche ambientali: nutrienti, ORP, ossigeno, accettori di elettroni, umidità, pH, temperatura

TRATTAMENTI BIOLOGICI

- **Necessità di effettuare test in scala di laboratorio, che consentono di**:
  - Verificare la presenza di microrganismi autoctoni in grado di degradare i contaminanti di interesse
  - Definire le migliori condizioni operative con cui progettare l'intervento

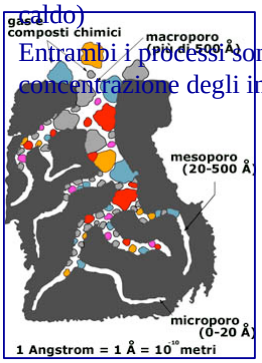
TECNICA DI BONIFICA

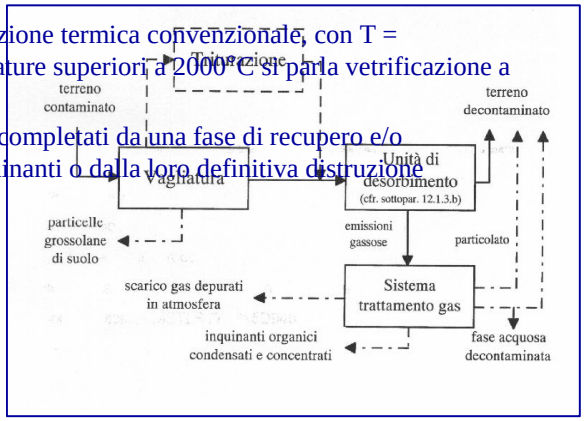
- **SUOLO**

- **EX SITU**

TRATTAMENTI TERMICI

- Desorbimento termico: si ha vaporizzazione/pirolisi dei composti volatili con T = 90÷650°C
- Termodistruzione: ossidazione termica convenzionale, con T = 850÷1600°C (per temperature superiori a 2000°C si parla vetrificazione a caldo)
- Entrambi i processi sono completati da una fase di recupero e/o concentrazione degli inquinanti o dalla loro definitiva distruzione





TRATTAMENTI TERMICI

- Il suolo si comporta in modo diverso in funzione della temperatura:

→ Parziale deterioramento in seguito alla mineralizzazione della frazione organica. Non è pregiudicato il riutilizzo agronomico

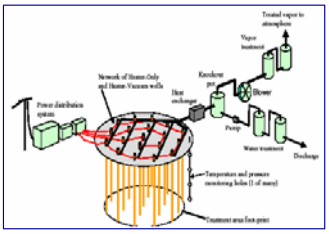
→ Danni irreversibili alla struttura minerale ed alle caratteristiche chimiche e nutrizionali. Non è idoneo all'uso agronomico, ma può essere utilizzato come materiale da riporto o riempimento

– T > 900°C → Si ottiene un prodotto vetrificato, che perde le caratteristiche iniziale. Può essere utilizzato come sottofondo stradale e in edilizia

TRATTAMENTI TERMICI

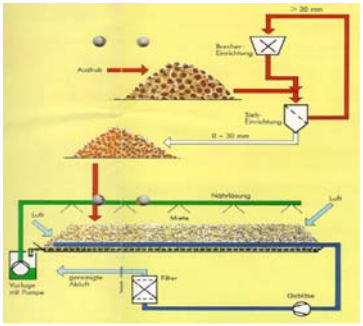
Condizioni di applicabilità al sito	Elementi necessari alla progettazione
➢Presenza di sostanze organiche o contaminanti inorganici ➢Poco indicato per suoli contaminati da sole sostanze inorganiche ➢Ridotte concentrazioni dei composti organici del fosforo (qualche mg/kg) ➢Modeste concentrazioni di metalli alcalini (centinaia di mg/kg) 	➢Caratterizzazione dei terreni: granulometria, analisi elementale, umidità e perdita al fuoco per ciascuna delle classi granulometriche ➢Caratterizzazione ed analisi merceologica di eventuali rifiuti presenti nei suoli contaminati ➢Determinazione del potere calorifico dei suoli contaminati e dell'eventuale rifiuto in essi presente ➢Eventuali prove di laboratorio o su scala pilota finalizzata alla individuazione delle condizioni operative ottimali e alla determinazione dell'entità degli inquinanti rilasciati in fase gassosa

TRATTAMENTI TERMICI

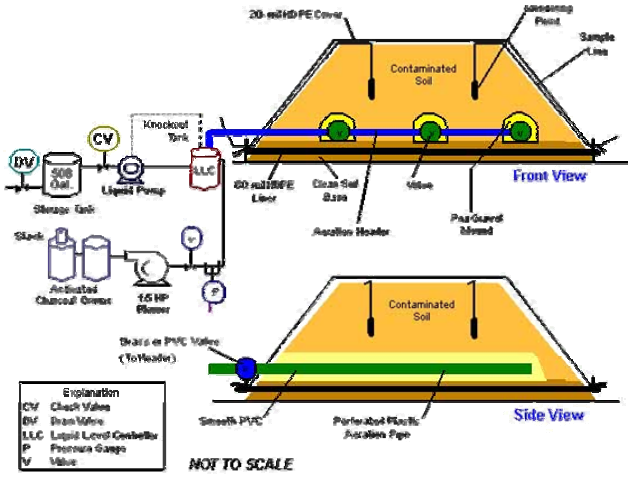
Vantaggi	Svantaggi
✓ Efficace ed efficiente per la rimozione e distruzione dei contaminanti organici ✓ Tecnologie consolidate ed affidabili ✓ Idoneo al trattamento anche di considerevoli quantitativi giornalieri (da 15 a 300 m3/d) ✓ Costi di trattamento ridotti se confrontati con altre tecnologie (0.15-0.4 €/kg) 	✓ Poco idoneo per la rimozione di inquinanti inorganici, con conseguente ricorso ad eventuali ulteriori operazioni di trattamento ✓ Produzione di residui di processo (solidi e liquidi) anche pericolosi, da avviare a successivi trattamenti e/o smaltimento finale ✓ Emissione di inquinanti in atmosfera, seppure a valori di concentrazione limitati e controllati ✓ Problemi di gestione del consenso per l'installazione di nuovi impianti fissi e di impianti mobili che possono significativamente influire sui tempi di intervento ✓ Elevata competenza e professionalità del personale tecnico-operativo impiegato nella gestione dell'impianto

BIOPILE

- Il suolo inquinato viene escavato e disposto in cumuli in aree predisposte al trattamento
- Per stimolare la degradazione aerobica sono aggiunti nutrienti, minerali e altri reagenti
- Altezza del cumulo 1÷4 m
- La costruzione di una biopila prevede:
  - Pretrattamento del terreno
  - Messa in opera del sistema di aerazione
  - Predisposizione di sistema di distribuzione dei nutrienti e dell'acqua

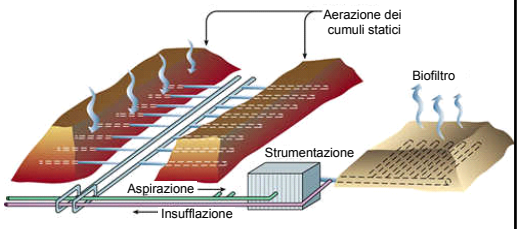


BIOPILE



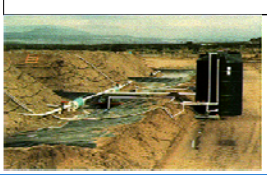
BIOPILE

- Le condizioni di applicabilità riguardano:
  - Caratteristiche chimico-fisiche dei contaminanti (sono trattabili gli oli combustibili, I lubrificanti e gli idrocarburi alifatici, IPA, alcoli e fenoli)
  - Caratteristiche e proprietà chimico-fisiche del suolo (permeabilità, umidità, pH)
  - Contenuto di metalli
  - Caratteristiche e quantità della biomassa



BIOPILE

Vantaggi	Svantaggi
✓È di semplice implementazione ✓I tempi di trattamento sono relativamente brevi (da 6 mesi a 2 anni) ✓Efficace per i contaminanti organici con bassa velocità di biodegradazione ✓Richiede meno spazi per l'allestimento rispetto al landfarming	✓Non sempre è efficace su suoli ad alti livelli di contaminazione ✓Difficilmente si raggiungono abbattimenti superiori al 95% ✓La presenza nel suolo contaminato di alte concentrazioni di metalli pesanti può inibire la crescita microbica

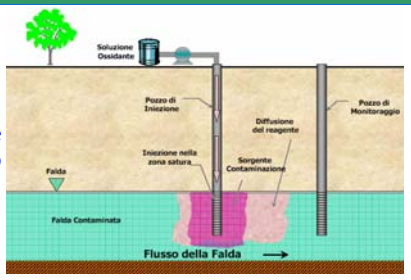


TECNICA DI BONIFICA

- **ACQUE**
- **IN SITU**

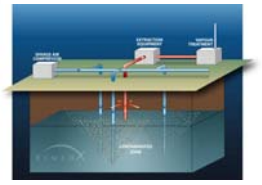
AIR SPARGING
(Principi di Funzionamento)

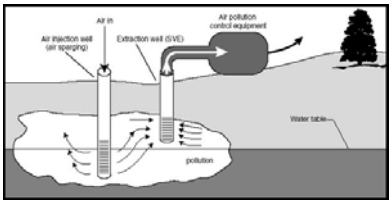
- ***Principio di funzionamento*:** Immissione nel sottosuolo di aria in pressione sui pozzi trivellati nella zona contaminata, la quale causa un gorgogliamento d'aria che penetra orizzontalmente e verticalmente nel terreno e nella falda provocando lo **strippaggio** (processo fisico di separazione) dei composti organici presenti nel liquido (acqua) e la volatilizzazione di quelli presenti negli interstizi del solido (terreno).
- ***Contaminanti trattati:*** Prodotti Petroliferi, distillati del petrolio, oli minerali, Idrocarburi alifatici e aromatici semplici.
- ***Tempi di trattamento:*** Medio-Brevi (da 6 a 24 mesi).
- ***Costi:*** Da 30 € a 180 € per m³ di suolo contaminato trattato, e da 0,3 € a 0,5 € per l di falda contaminata trattata.

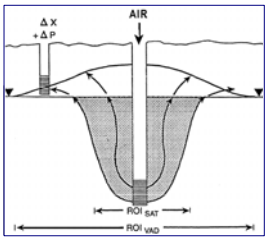


AIR SPARGING

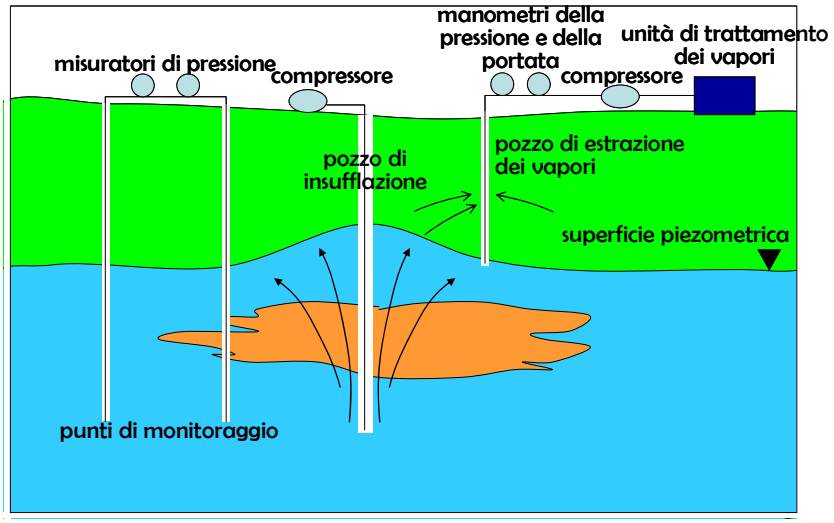
- Iniezione di aria atmosferica in pressione nell'acquifero con passaggio degli inquinanti dalla fase liquida e solida alla fase vapore
- Meccanismi coinvolti:
  - Trasferimento in fase aeriforme per stripping dei VOC disciolti in acqua
  - Volatilizzazione dei contaminanti disciolti in acqua o assorbiti alla matrice solida
  - Volatilizzazione di liquidi organici nell'acquifero o in fase separata







AIR SPARGING



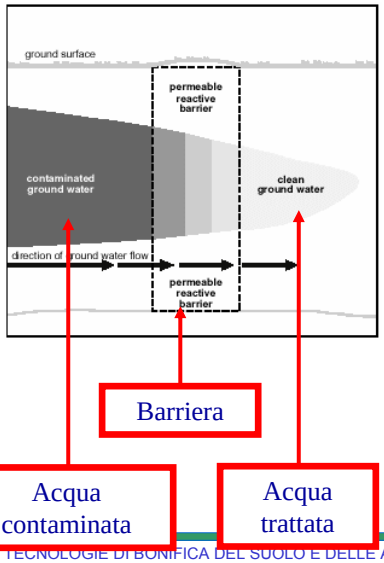
AIR SPARGING

Condizioni di applicabilità al sito	Elementi necessari alla progettazione
Caratteristiche del sottosuolo: Condizioni di porosità e permeabilità all'aria, sia della zona satura che dello spessore insaturo Struttura del suolo e stratificazione Tipo do acquifero Caratteristiche dei contaminanti Pressione di vapore Punto di ebollizione Costante di Henry Solubilità Concentrazione dei contaminanti	Presenza di surnatante Raggio di influenza di ogni pozzo Portata di aria insufflata Pressione di iniezione dell'aria Volume della zona da trattare Profondità di iniezione dell'aria Limiti dei manufatti, impianti ed edifici Limiti di concentrazione per lo scarico in atmosfera Obiettivo di bonifica

AIR SPARGING

Vantaggi	Svantaggi
✓ Utilizza apparecchiature di semplice installazione ✓ Consente il trattamento in situ della falda ✓ non comporta problematiche di trattamento, stoccaggio o scarico di acque sotterranee ✓ Apportando ossigeno, promuove i processi di biodegradazione naturale aerobici ✓ Consente un'implementazione con minimo disturbo per le operazioni in sito ✓ È di breve durata (da 1 a 5 anni in condizioni ottimali) ✓ Consente l'utilizzo contemporaneo di altre tecnologie ✓ La sua efficacia può aumentare in associazione con altre tecnologie come l'estrazione di vapore dal suolo	✓ Non può essere applicata in terreni con permeabilità inferiore a 10-3 cm/s ✓ Non può essere impiegata, in prima approssimazione, se esiste prodotto in fase libera sulla falda (in tal caso tale prodotto deve essere prima rimosso) ✓ Non può essere usata in falde confinate ✓ In presenza di stratificazione e forte eterogeneità del sottosuolo saturo può essere inefficace o generare l'allargamento del pennacchio ✓ Richiede l'esecuzione di accurate prove pilota per valutare il controllo dei vapori generati e gli effetti della loro migrazione ✓ Le infrastrutture presenti nel sito possono essere danneggiate dalla presenza di vapori provenienti dall'impianto di insufflazione: è necessario considerare le azioni di messa in sicurezza

BARRIERE PERMEABILI REATTIVE (PRB)



Il nome è esplicativo delle modalità di funzionamento:

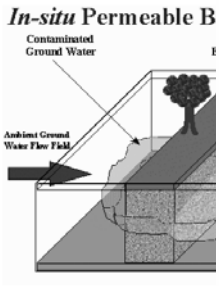
BARRIERA indica un ostacolo fisico alla diffusione degli inquinanti.

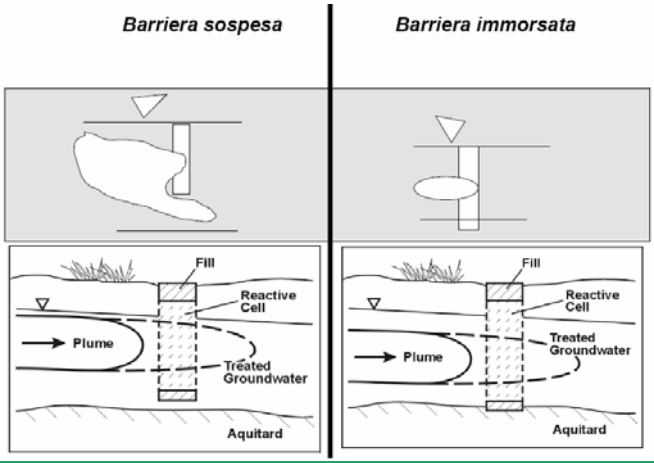
PERMEABILE indica la proprietà di lasciarsi attraversare dal plume.

REATTIVA indica la capacità, propria del materiale di riempimento, di reagire con i contaminanti

BARRIERE PERMEABILI REATTIVE (PRB)

- Zona di trattamento, costituita da materiale reattivo, installata nel sottosuolo in modo da intercettare il pennacchio contaminato





BARRIERE PERMEABILI REATTIVE (PRB)

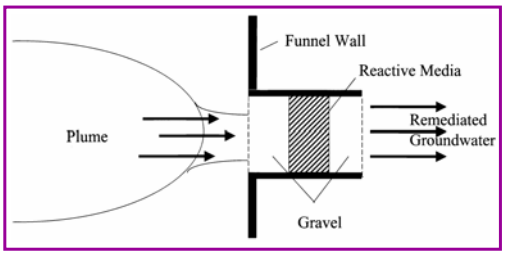
- È un sistema relativamente semplice da un punto di vista concettuale e realizzativo
- E' un sistema passivo (gli inquinanti vengono trasportati verso la zona reattiva solo per effetto del gradiente idraulico) che non richiede energia per il suo funzionamento

Si riducono i costi e le operazioni

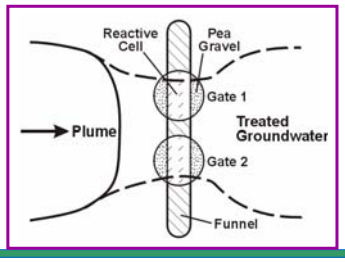
- Conducibilità idraulica del materiale reattivo maggiore o uguale a quella dell'acquifero

BARRIERE PERMEABILI REATTIVE (PRB)

- Configurazioni realizzative:
  - Barriera continua

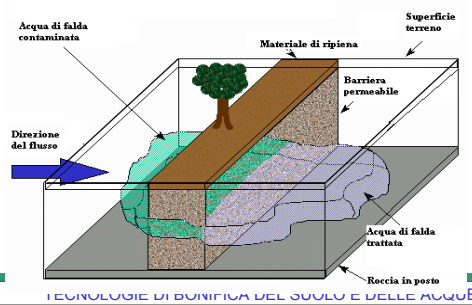


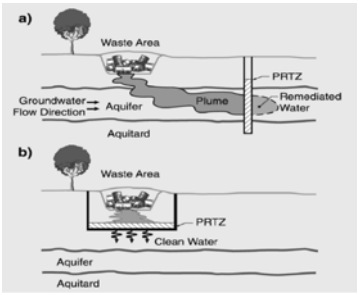
  - Sistema funnel&gate



BARRIERE PERMEABILI REATTIVE (PRB)

- **Elementi per procedere all'implementazione**:
  - Idrologia: conducibilità idraulica, porosità del terreno, gradiente idraulico, direzione e velocità delle acque sotterranee, cambiamenti stagionali, stratigrafia, litologia, presenza di fratture
  - Concentrazione e distribuzione spaziale dei contaminanti
  - Parametri chimici dell'acquifero: pH, Eh, ossigeno disciolto, temperatura, alcalinità, conduttanza specifica, presenza di colloidi
  - Caratteristiche microbiologiche





BARRIERE PERMEABILI REATTIVE (PRB)

- **Tecniche di indagine**:
  - Dirette: sondaggi, prelievi e analisi di campioni, misure strumentali in situ
  - Indirette: applicazione di tecniche geofisiche

BARRIERE PERMEABILI REATTIVE (PRB)

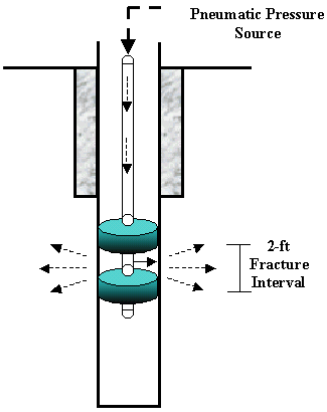
- **Le tecnologie di installazione devono:**
  - Non alterare le dimensioni della barriera
  - Evitare l'estrazione delle acque contaminate
  - Contenere la produzione di materiale di risulta
  - Assicurare fasi esecutive semplici e rapide
- **Le tecnologie di installazione sono**:
  - Convenzionali: prevedono lo scavo di trincee
  - Innovative: non richiedono lo scavo, consentono di raggiungere profondità maggiori, evitando inoltre i rischi per i lavoratori

BARRIERE PERMEABILI REATTIVE (PRB)

- Tecnologie di installazione convenzionali
  - Escavatore a braccio rovescio
  - Benna mordente
  - Cassoni
  - Mandrino
  - Escavatore a braccio continuo

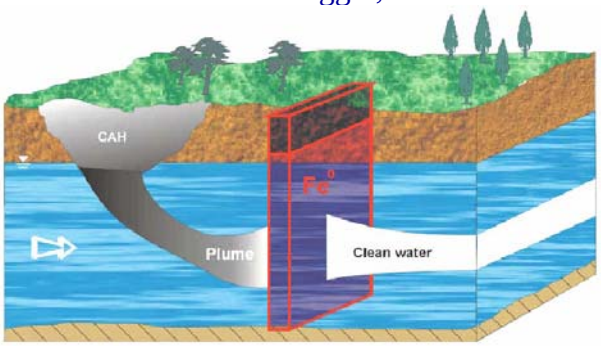
BARRIERE PERMEABILI REATTIVE (PRB)

- **Tecnologie di installazione innovative**
  - Jetting
  - Hydraulic fracturing
  - Deep soil mixing

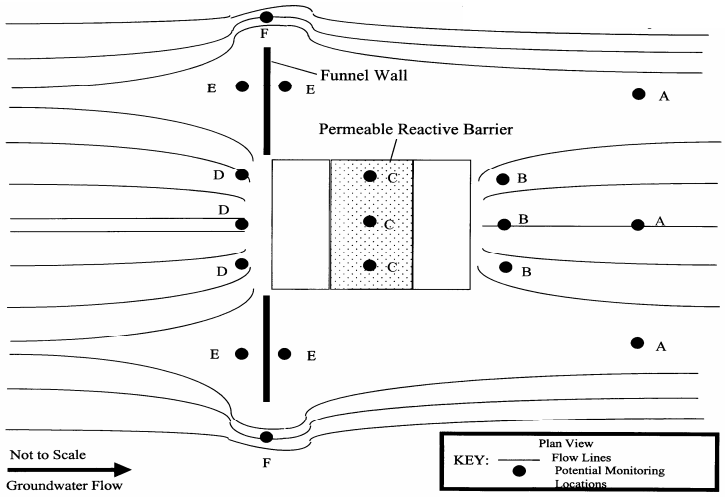


BARRIERE PERMEABILI REATTIVE (PRB)

- **I costi di installazione sono**:
  - Costi di investimento: materiale reattivo, installazione, licenze dei brevetti, trattamento e/o smaltimento dei materiali di risulta, ripristino ambientale del sito
  - Costi di esercizio e manutenzione: monitoraggio, manutenzione periodica



POSIZIONAMENTO DEI POZZI DI MONITORAGGIO



SELEZIONE DEI MEZZI REATTIVI

Materiali Reattivi e Contaminanti Trattabili

Materiali Reattivi	Contaminanti Trattabili	Stato dell'applicazione
Ferro Zero-Valente	Idrocarburi alogenati, metalli riducibili	Avanzato
Metalli Ridotti	Idrocarburi alogenati, metalli riducibili	Dimostrativo
Complessi bimetallici	Idrocarburi alogenati	Dimostrativo
Calcare	Metalli, percolati acidi	Avanzato
Sostanze adsorbenti	Metalli, organici	Dimostrativo, Avanzato
Sostanze riducenti	Metalli riducibili, organici	Dimostrativo, Avanzato
Accettori di elettroni	Idrocarburi del petrolio	Avanzato, Dimostrativo

BARRIERE PERMEABILI REATTIVE (PRB)

Condizioni di applicabilità al sito	Elementi necessari alla progettazione
✓ Scavabilità del terreno ✓ Natura e tipologia della contaminazione ✓ Estensione, profondità, direzione e velocità di flusso del pennacchio contaminato ✓ Presenza, profondità e caratteristiche dello strato a bassa permeabilità ✓ Possibilità di smaltimento del terreno di risulta della operazioni di scavo e dei materiali reattivi esausti	✓ Scelta della configurazione ✓ Scelta del mezzo reattivo e caratteristiche di efficienza nel tempo ✓ Modellazione del flusso sotterraneo senza e con l'elemento permeabile ✓ Permeabilità e spessore della zona reattiva: tempo di residenza ✓ Profondità di installazione ✓ Immorsamento della barriera in un substrato a bassa permeabilità

BIOBARRIERE REATTIVE (BARRIERE BIOLOGICHE)

- Una biobarriera è costituita da una zona di trattamento formata nel sottosuolo mediante aggiunta di microrganismi, di nutrienti e/o di reattivi, che favoriscono lo sviluppo in situ dei batteri in grado di degradare i composti organici
- Il riempimento è costituito da materiale a superficie specifica tale da consentire l'adesione della biomassa
- Questa tecnologia può utilizzare anche i principi della bioaugmentation

BIOBARRIERE REATTIVE (BARRIERE BIOLOGICHE)

- E’ stata usata per idrocarburi di origine petrolifera (BTEX) e solventi aromatici, MtBE, TBA; in condizioni riducenti si può applicare anche per la declorurazione riduttiva di PCE, TCE, DCE
- L’efficienza dipende da:
  - Capacità di adattamento dei microrganismi
  - Omogeneità di distribuzione dell’ossigeno e degli altri reattivi
  - Capacità del sistema di intercettare il pennacchio
  - Concentrazione iniziale dei contaminanti e condizioni ambientali

BIOBARRIERE REATTIVE (BARRIERE BIOLOGICHE)

Condizioni di applicabilità al sito	Elementi necessari alla progettazione
➢Tipo e concentrazione delle sostanze inquinanti ➢Profondità della contaminazione ➢Caratteristiche chimiche delle acque sotterranee ➢Buona permeabilità del sottosuolo all’acqua e all’aria ➢Profondità della falda ➢Velocità delle acque di falda ➢Condizioni di omogeneità stratigrafica	➢Cinetiche di degradazione dei contaminanti per definire il tempo di residenza nell’elemento reattivo ➢Larghezza, profondità e spessore della biobarriera o localizzazione dei punti di immissione ➢Punti di immissione dell’ossigeno e dei nutrienti ➢Localizzazione dei punti di monitoraggio delle acque sotterranee

BIOBARRIERE REATTIVE (BARRIERE BIOLOGICHE)

Vantaggi	Svantaggi
✓ Ridotti costi di installazione, operazione e manutenzione ✓ Potenzialmente applicabile ad un ampio spettro di contaminanti, in base alla coltura batterica selezionata e alla possibilità di influenzare le condizioni di degradazione ✓ Consente di trattare le acque sotterranee contaminate in situ ✓ Si tratta di una tecnologia operativamente semplice ✓ I processi biologici alla base delle reazioni sono abbastanza conosciuti	✓ Verificare che nel sottosuolo i batteri immessi o autoctoni trovino adeguate condizioni di sviluppo ✓ Controllare l'eventuale formazione e permanenza di sottoprodotti di degradazione tossici

PUMP & TREAT (P&T)

- L'acqua viene emunta, trattata ed eventualmente reimmessa nel sottosuolo
- Può essere inteso come:
  - Misura di sicurezza → Barriera idraulica in caso di contaminazione della matrice solida
  - Trattamento delle acque sotterranee → Se accoppiata ad un sistema di trattamento chimico o biologico
- Non agisce sulla sorgente di contaminazione

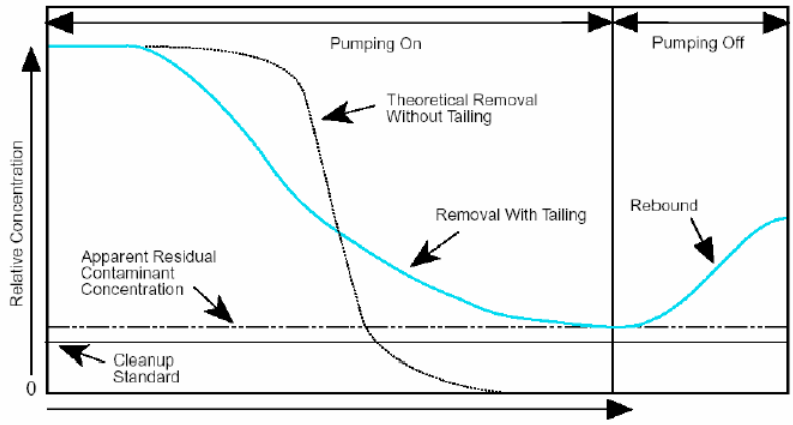
PUMP & TREAT (P&T)

- L'intervento può risultare inefficace a causa di:
  - Tailing: la velocità di diminuzione delle concentrazioni si riduce nel tempo, a causa degli equilibri di adsorbimento-deadsorbimento

I tempi di trattamento si allungano

  - Rebound: a seguito dell'interruzione dell'estrazione dell'acqua si osserva, alla ripresa delle operazioni, un aumento della concentrazione dell'inquinante in soluzione

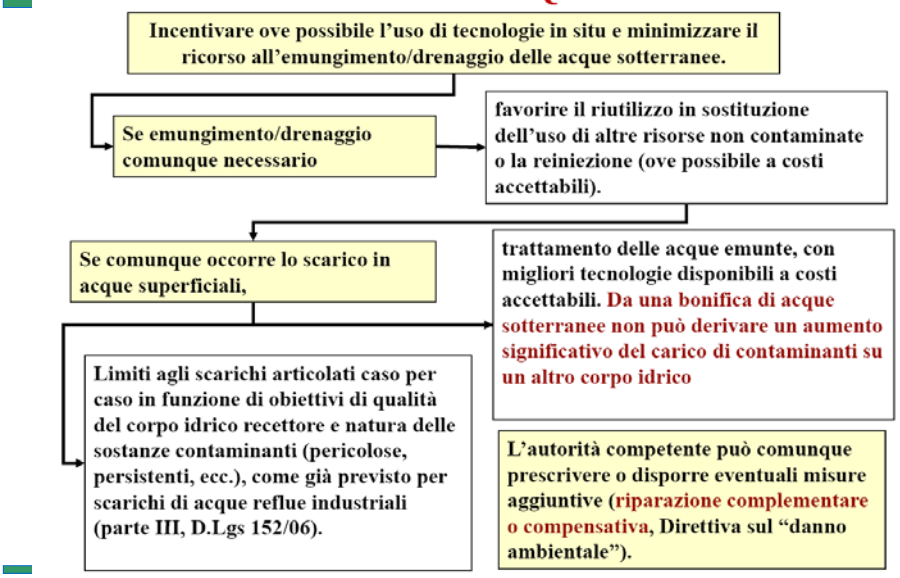
PUMP & TREAT (P&T)



PUMP & TREAT (P&T)

Vantaggi	Svantaggi
✓ La relativa semplicità di esecuzione e la facilità di progettazione di un sistema di pozzi-barriera possono garantire la realizzazione di un intervento di messa in sicurezza a breve termine ✓ Durante le attività di bonifica condotte con altre tecniche si possono realizzare barriere di pozzi per controllare le attività svolte sul sito di intervento	✓ Questa tecnica non riduce la concentrazione della sorgente quando questa è costituita da sottosuolo inquinato ✓ Gli svantaggi principali riscontrabili sono relativi agli effetti di tailing (con aumento dei tempi di funzionamento richiesti) e rebound (con un aumento della concentrazione all'interruzione della fase di pompaggio) ✓ Il raggiungimento degli obiettivi di bonifica può richiedere anni

CONSIDERAZIONI GENERALI



MISE CON BARRIERE VERTICALI

- Isolare le fonti primarie della contaminazione mediante setti a bassa permeabilità
- Controllare e limitare il movimento delle acque sotterranee
- Possono essere:
  - Ad infissione
  - Ad escavazione
  - Realizzate mediante jet-grouting
  - Ad iniezione (rock-grouting)
  - A miscelazione in situ (soil mixing)

MISE CON BARRIERE VERTICALI

- E' volta all'immobilizzazione degli inquinanti, modificando la cinetica e la modalità di cessione
- Obiettivi:
  - Ridurre la superficie del materiale esposta al contatto con acque di percolazione o meteoriche
  - Ridurre la permeabilità del materiale
  - Ridurre la solubilità dei contaminanti
  - Promuovere la formazione di legami chimici tra i contaminanti e i reagenti utilizzati per il trattamento

↓

Formazione di una struttura cristallina, vetrosa o polimerica che ingloba le particelle di suolo contaminato

MISE CON BARRIERE VERTICALI

- Solidificazione: conferisce al materiale caratteristiche di stabilità dal punto di vista fisico e dimensionale
- Stabilizzazione: trasformazione dei contaminanti in una forma più stabile dal punto di vista chimico
- Per conseguire tali obiettivi si utilizzano:
  - Leganti inorganici: cemento, calce, argilla, pozzolana
  - Leganti organici: asfalto, bitume, resine termoplastiche e termoindurenti

MISE CON BARRIERE VERTICALI

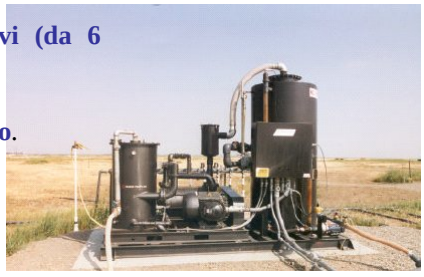
Condizioni di applicabilità al sito	Elementi necessari alla progettazione
➢ Caratteristiche del sito ➢ Permeabilità e geomorfologia ➢ Distribuzione granulometrica ➢ Presenza di strati compatti ➢ Indici di plasticità ➢ Profondità della contaminazione ➢ Caratteristiche degli acquiferi ➢ Caratteristiche dei contaminanti ➢ Struttura chimica ➢ Concentrazione ➢ Pressione di vapore ➢ Punto di ebollizione ➢ Costante di Henry ➢ Compresenza di diversi contaminanti ➢ Presenza di specie interferenti	➢ Volume di terreno da trattare ➢ Profondità degli strati contaminati ➢ Estensione superficiale della contaminazione ➢ Quantitativo di reagenti e di additivi

TECNICA DI BONIFICA

- **ACQUE**
- **EX SITU**

MULTI PHASE EXTRACTION (MPE)

- ***Principio di funzionamento*: Estrazione simultanea ma separata delle fasi fluide (gas, liquido), trattate in superficie dopo l'estrazione, e reiniettate nel sottosuolo una volta decontaminate.**
- ***Contaminanti trattati:* Idrocarburi Policiclici Aromatici, BTEX.**
- ***Tempi di trattamento:* Medio-brevi (da 6 mesi a a 2 anni).**
- ***Costi:* 0,3 € per litro di LNAPL trattato.**

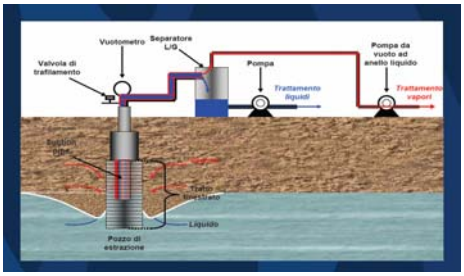


MULTI PHASE EXTRACTION (MPE)

(Principi di funzionamento) 2/2

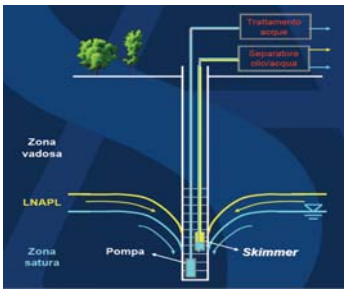
- I trattamenti MPE possono essere divisi in 2 categorie generali:

Two Phase Extraction (TPE)



Principio di funzionamento: Estrazione di acque e/o vapore e/o NAPL attraverso un tubo unico di aspirazione, sospeso nel punto di estrazione e messo in depressione dalla superficie. Il flusso polifasico passa attraverso un separatore gas/liquido.

Dual Phase Extraction (DPE)



Principio di funzionamento: Estrazione di acque e/o vapore e/o NAPL attraverso tubi di aspirazione separati. Prevede il funzionamento simultaneo di una pompa sommersa per il sollevamento dell'acqua e/o dei NAPL, e di una pompa da vuoto che metta in depressione il pozzo innescando il flusso di vapore.

Multi Phase Extraction (MPE)

(Vantaggi/Svantaggi)

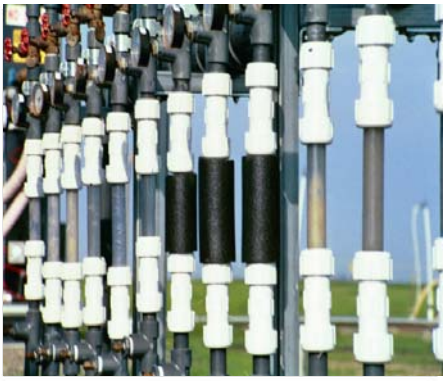
VANTAGGI:

- Facile installazione;
- Applicabile in suoli a bassa permeabilità;
- Minimo disturbo ad altre attività;
- Tempi di risanamento medio-brevi;
- Possibile utilizzo di pozzi preesistenti (TPE);
- Tecnica più consolidata sul campo.

SVANTAGGI:

- Non compatibile con presenza di prodotti in fase libera;
- Non si può usare in acquiferi confinati;
- La portata presenta elevate perdite di carico nel pozzo di estrazione (TPE);
- Richiesti TEST pilota e monitoraggio continuativo.
- Profondità limitate di contaminazione.

Multi Phase Extraction (MPE)
(Caso Studio Vancouver, British Columbia; Wong et al., 2003)



- *Località*: Vancouver, British Columbia;
- *Scala di applicazione*: Piena Scala;
- *Tipologia di suolo*: Limo-argilloso;
- *Contaminazione:* Idrocarburi petroliferi (PHC);
- *Tecnica utilizzata:* Dual Phase Extraction;
- *Durata:* 664 giorni;
- *Risultati ottenuti:* Rimozione elevata di LNAPL, con punte massime registrate nei primi 2 mesi di operazioni (538 l/g), che sono andate decrescendo con il passare del tempo (20 l/g dopo 9 mesi, 10 l/g dopo 11 mesi);
- *Considerazioni finali:* Elevata rimozione dei contaminanti (circa 12000 l di LNAPL), costi troppo elevati, possibilità di applicare congiuntamente la DPE e la bioremediation.

Multi Phase Extraction (MPE)
(Caso Studio Banff, Alberta; Cushman et al., 2005)

- *Località*: Banff, Alberta;
- *Scala di applicazione*: Piena Scala;
- *Tipologia di suolo*: Sedimenti glaciali di tipo limo-argilloso, a bassa permeabilità;
- *Contaminazione:* LNAPL;
- *Tecnica utilizzata:* Dual Phase Extraction, Pneumatic Air Lift, Pneumatic Fracturing;
- *Durata:* 8 mesi;
- *Risultati ottenuti:* Recupero di circa 16.720 l di LNAPL e 608.000 l di acqua;
- *Considerazioni finali:* Bisogna minimizzare l'estrazione di acqua e massimizzare l'estrazione di LNAPL. L'applicazione della MPE, senza l'utilizzo dei pozzi PAL comporta un eccesso di accumulo di limo nei pozzi.

Multi Phase Extraction (MPE)
(Caso Studio Anderson, Indiana)

- *Località*: Anderson, Indiana;
- *Scala di applicazione*: Piena Scala;
- *Tipologia di suolo*: Sabbia, argilla;
- *Contaminazione:* Idrocarburi petroliferi (PHC);
- *Tecnica utilizzata:* Dual Phase Extraction;
- *Durata:* 360 giorni;
- *Risultati ottenuti:* Estrazione di circa 152 l di prodotto libero e di circa 1700 l di acqua. Estrazione di 127 Kg di idrocarburi in fase vapore.

Associazione degli Ingegneri per l'Ambiente ed il Territorio della regione Sicilia

CONVEGNO SU: "BONIFICA DEI SITI INDUSTRIALI"

TECNOLOGIE DI BONIFICA DEL SUOLO E DELLE ACQUE SOTTERRANEE

"GRAZIE, HO CONCLUSO"

Ing. ***Giuseppe Mancini***
gmancini@dica.unict.it

CALTANISSETTA, Sabato 29 Novembre 2008