

Barriere Permeabili Reattive

Laura D'Aprile

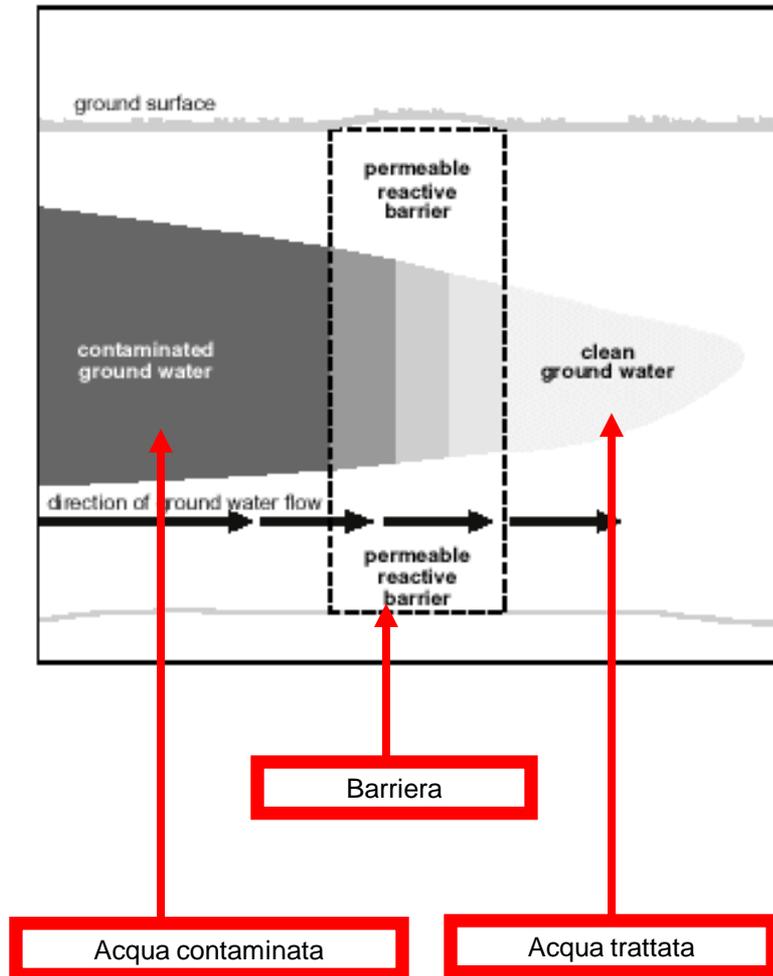
ISPRA



Argomenti Trattati

- **Decrizione del processo**
- **Modalita' esecutive**
- **Conclusioni (limiti e vantaggi)**

Che cosa è una barriera permeabile reattiva?



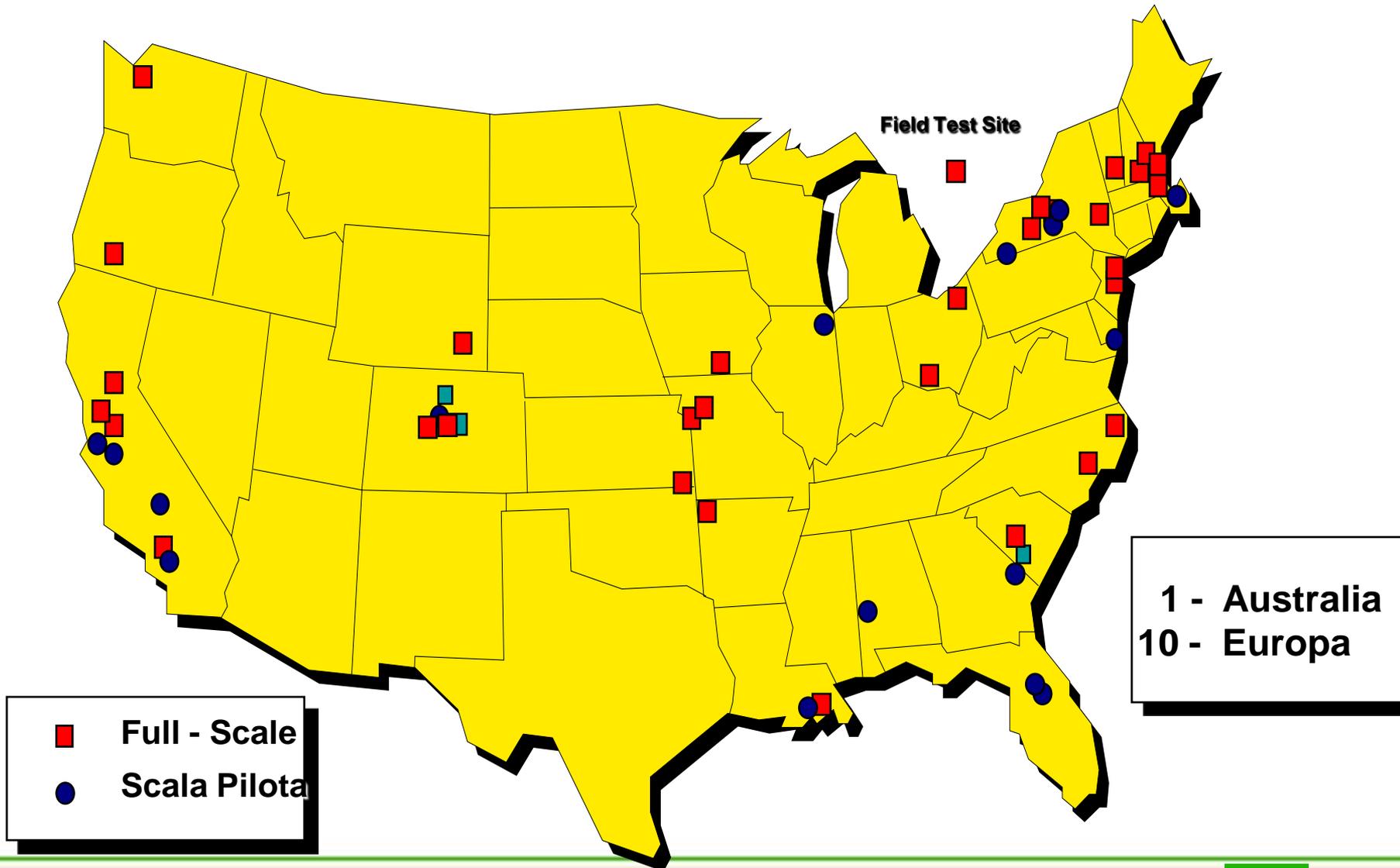
Il nome della tecnologia è esplicativo delle sue modalità di funzionamento

Barriera indica un ostacolo fisico alla diffusione degli inquinanti.

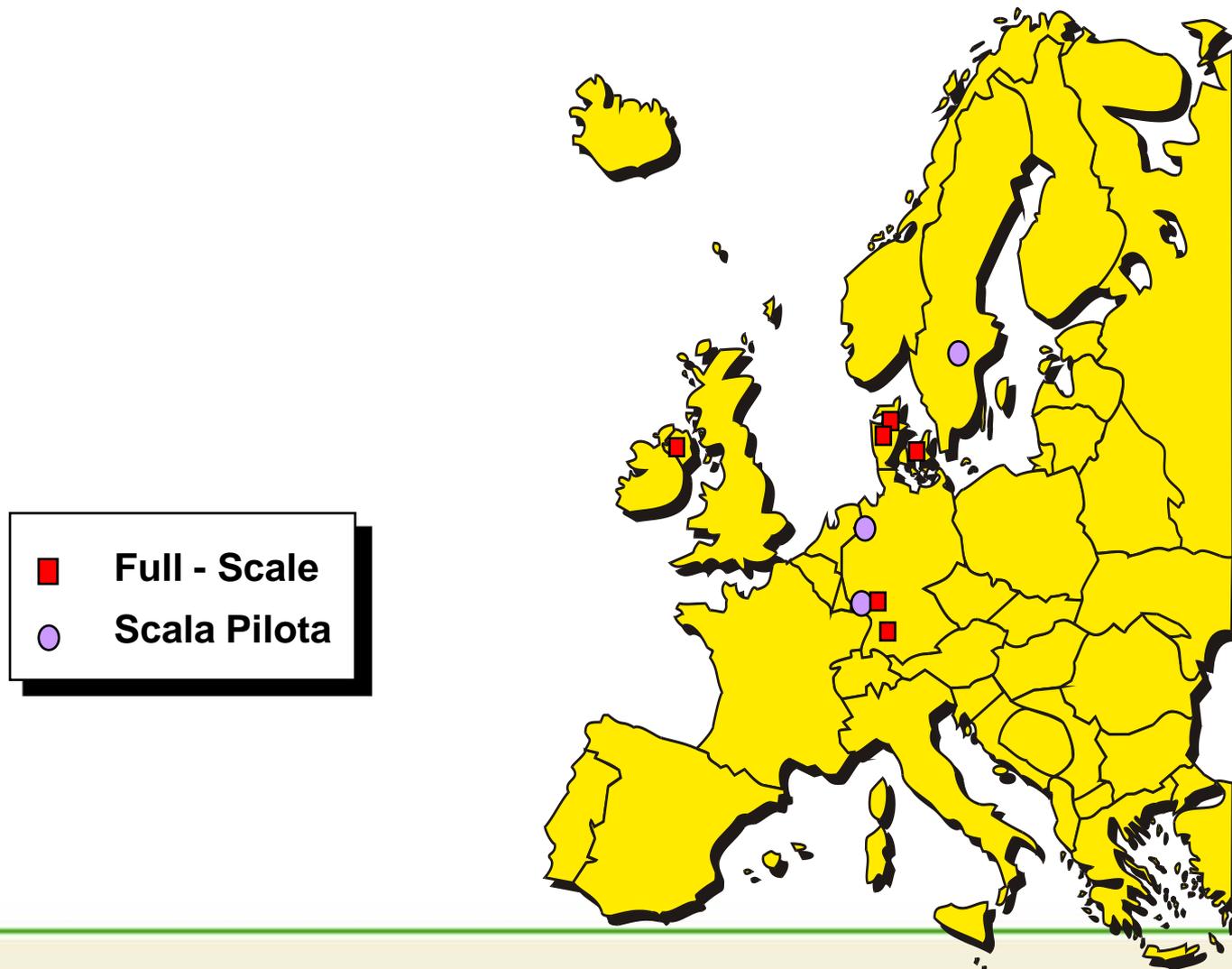
Permeabile indica la proprietà di lasciarsi attraversare dal plume.

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

Installazioni in USA

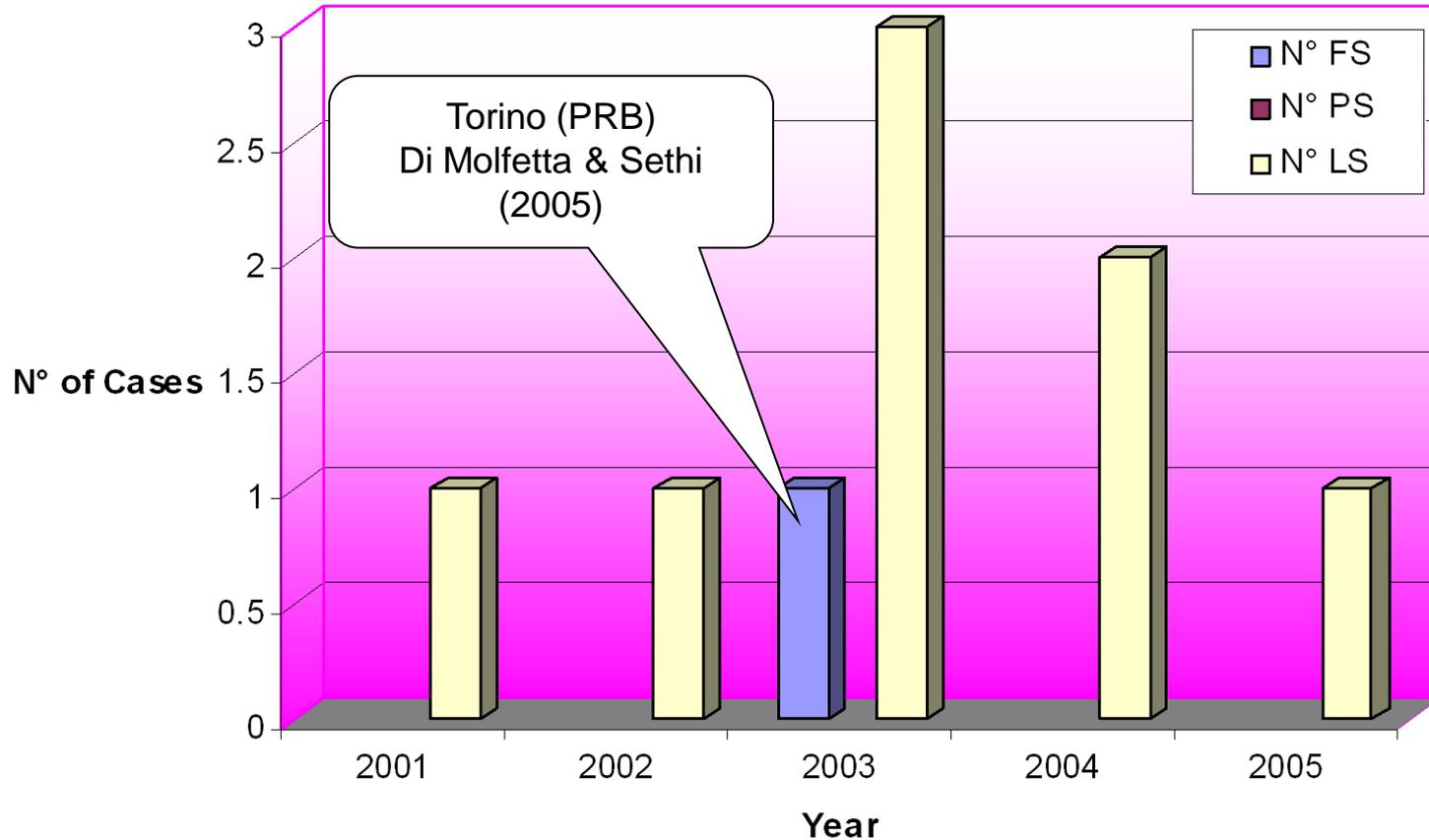


Installazioni in Europa





Installazioni in Italia



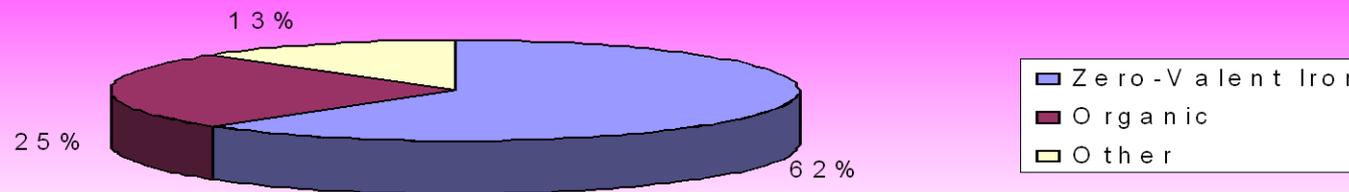
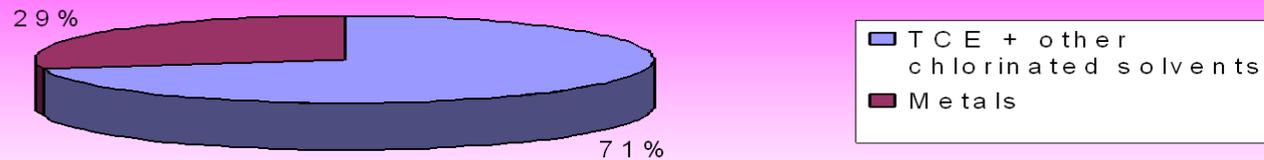
N° FS = numero applicazioni Full-Scale

N° PS = numero applicazioni Pilot-Scale

N° LS = numero applicazioni Lab-Scale

✓ Fonti bibliografiche

Contaminanti trattati/Tipologia: Italia





Vantaggi delle PRBs

- ★ Il trattamento avviene nel sottosuolo
- ★ E' una tecnologia di trattamento che agisce passivamente
- ★ I costi di installazione e monitoraggio sono potenzialmente bassi
- ★ Consente lo svolgimento di attività sul sito trattato
- ★ Non sono richieste strutture sotterranee
- ★ Le azioni di monitoraggio possono essere ben focalizzate



Meccanismi di Trattamento

- ★ Controllo del pH
- ★ Precipitazione chimica
- ★ Reazioni di Ossido-Riduzione
- ★ Dealogenazione indotta dai metalli zero-valenti
- ★ Reazioni di degradazione biologica
- ★ Reazioni di adsorbimento



Terminologia

- ★ **Matrice / Mezzo reattivo-**
 - materiale che consente il trattamento

- ★ **Sistema di controllo idraulico-**
 - convoglia le acque sotterranee contaminate attraverso la zona di trattamento
 - previene l'aggiramento della zona di trattamento
consente alle acque contaminate di rimanere per un tempo di residenza sufficiente nella zona di trattamento

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

PRBs costituite da Fe(0)





Contaminanti Trattati dal Fe⁰

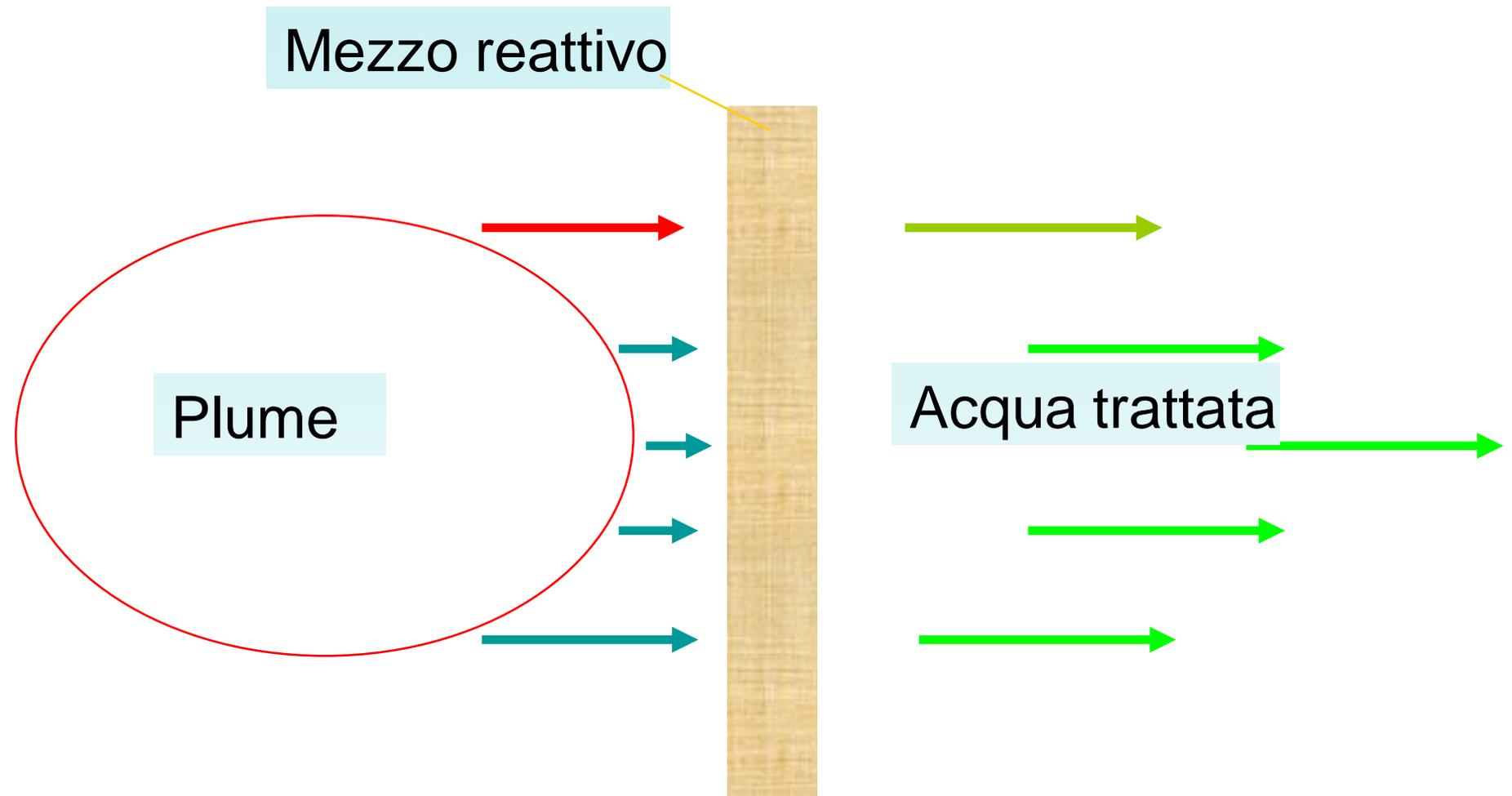
- **Inorganici:**
 - Cr, As, Hg, Cd, U,
Nitrati Solfati
- **Organici:**
 - Idrocarburi Clorurati
Solventi clorurati
Nitroaromatici (TNT, RDX)

Configurazioni di PRBs barriera continua

Mezzo reattivo

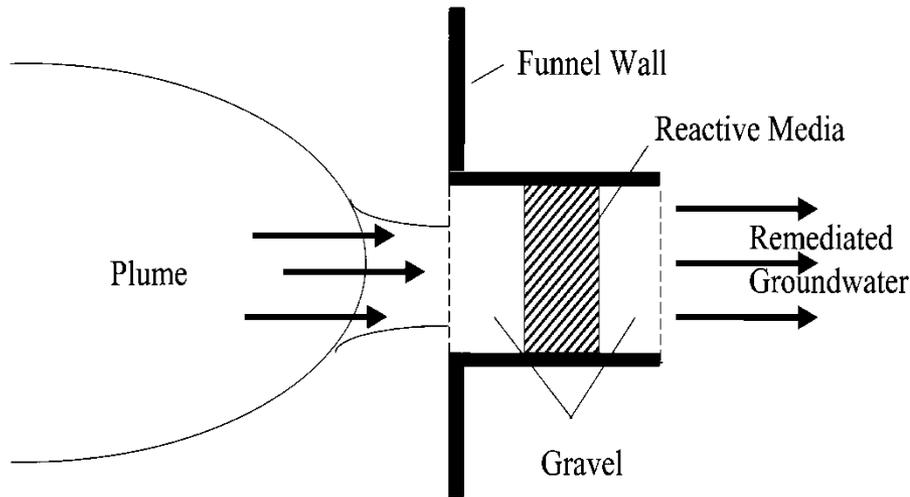
Plume

Acqua trattata



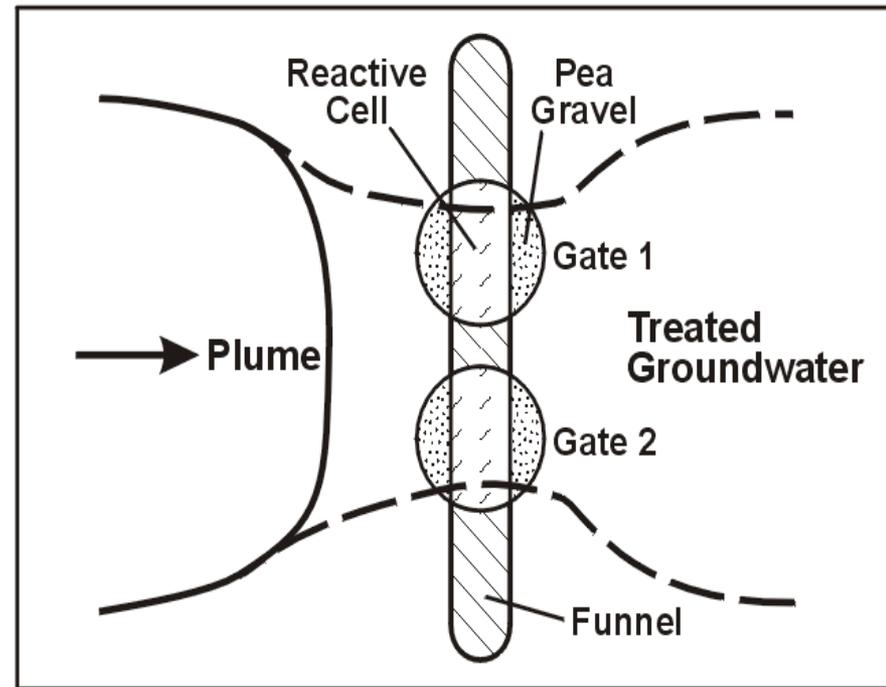
Configurazioni di PRBs

Funnel & Gate(s)



A. Funnel and Gate

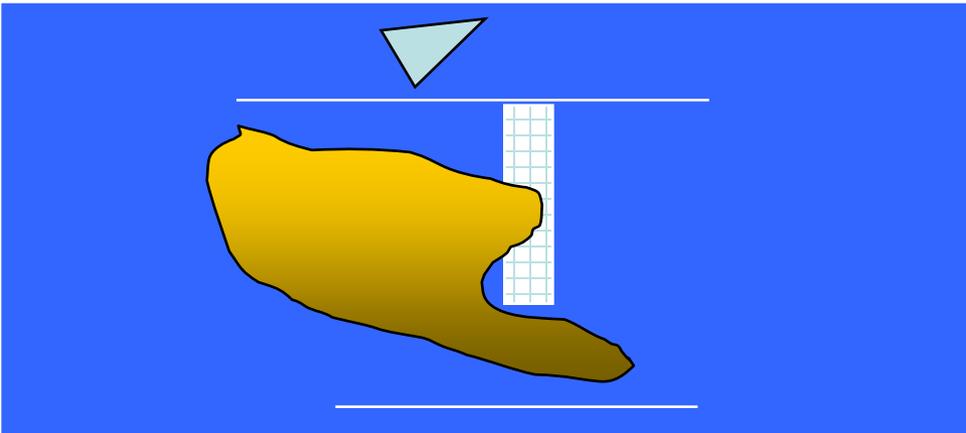
Cella reattiva singola



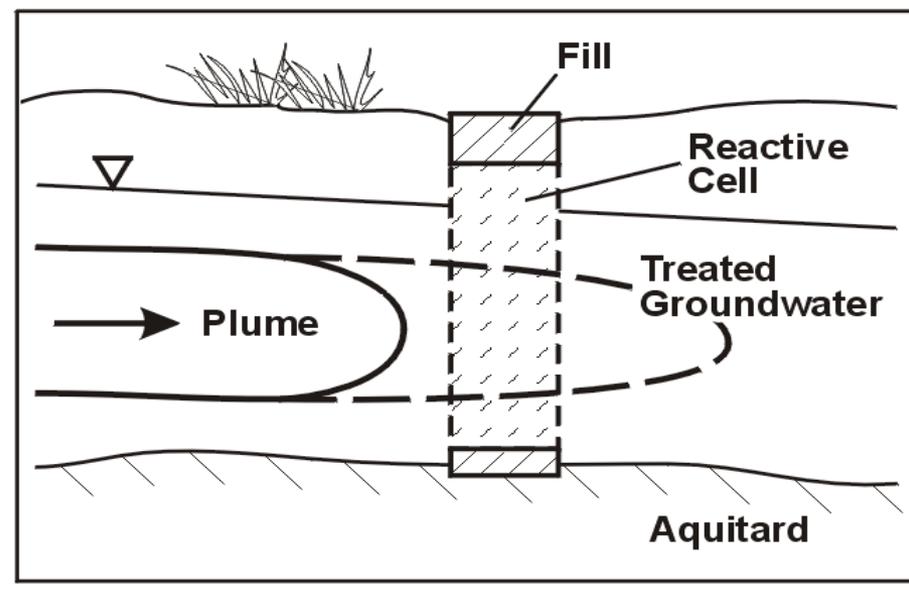
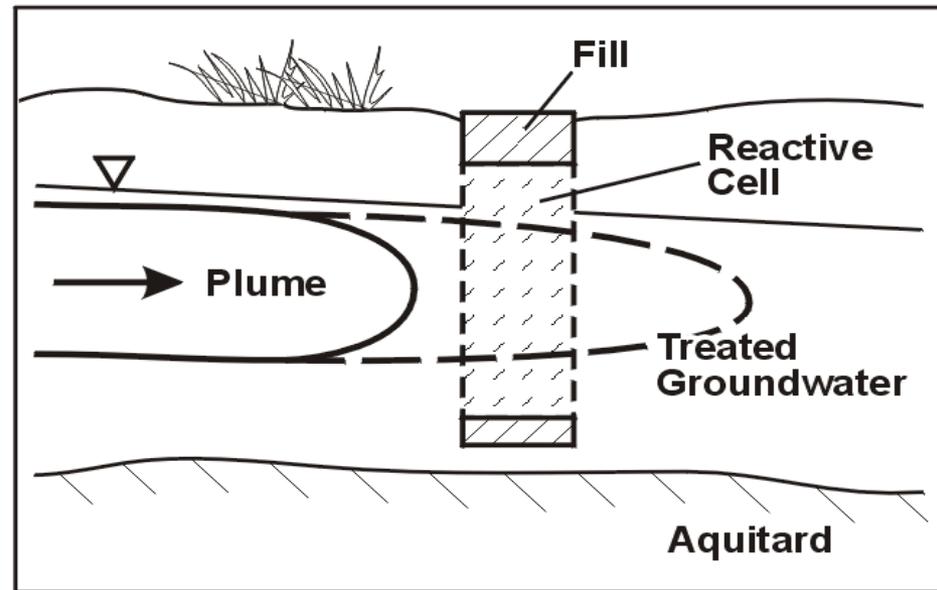
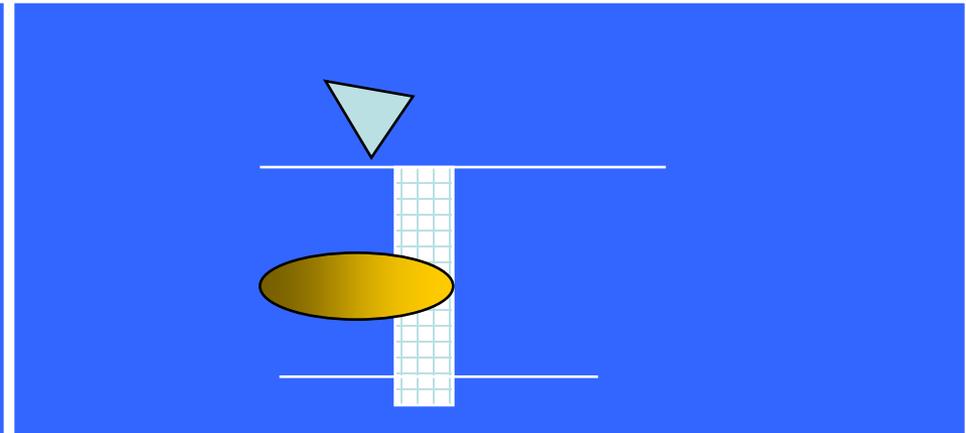
ENI GATE 18 CDD

Cella reattiva multipla

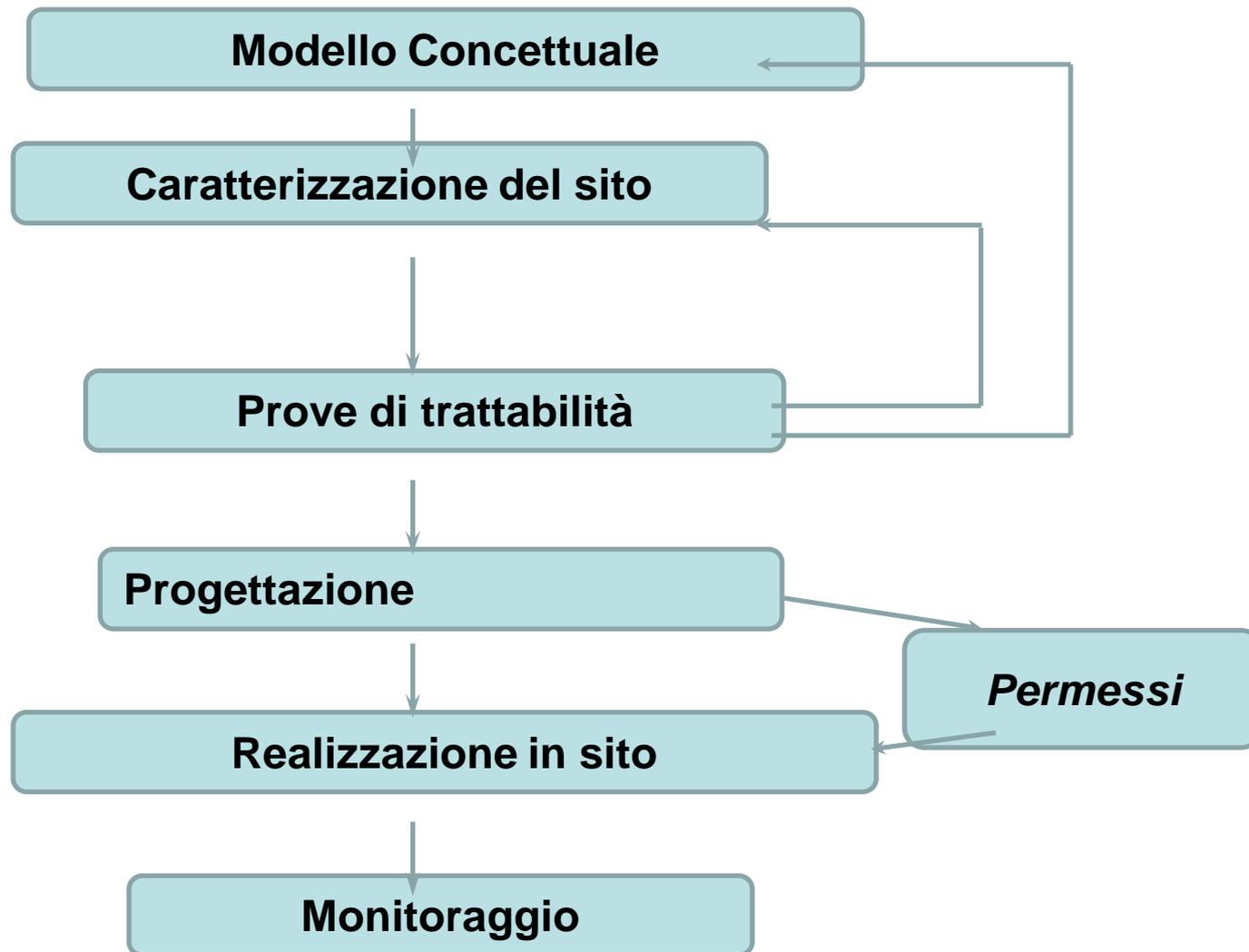
Barriera sospesa



Barriera immorsata



Fasi Progettuali





Applicabilità

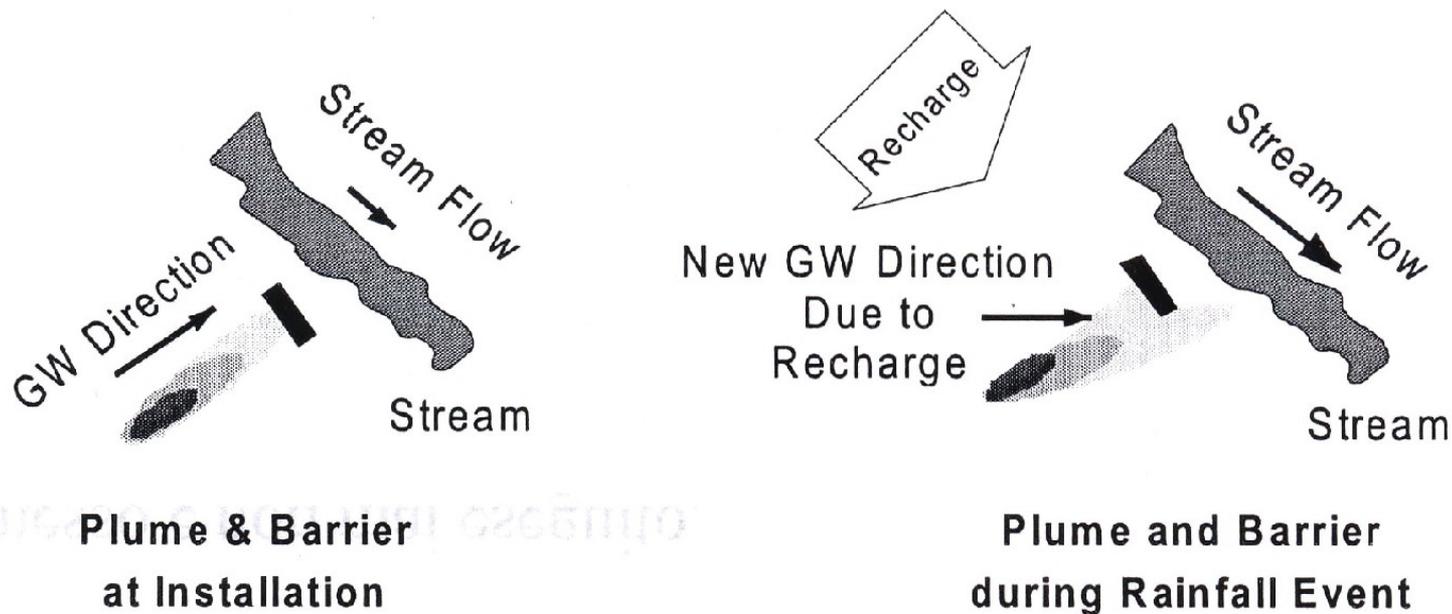
- L'applicabilità delle PRBs ad un determinato sito dipende da alcuni fattori:
 - Tipologia dei contaminanti
 - Dimensioni e distribuzione tridimensionale del plume
 - Profondità dello strato a bassa permeabilità
 - Considerazioni geotecniche
 - Considerazioni costruttive
 - Caratteristiche del flusso di falda
 - Caratteristiche geochimiche delle acque sotterranee

Caratterizzazione del Sito

- **Occorre Conoscere**
 - **Composizione delle acque sotterranee**
 - Tipologia e concentrazione dei contaminanti
 - Distribuzione del plume
 - Caratteristiche geochimiche delle acque di falda (pH, DO, Ca, etc.)
 - **Caratteristiche idrogeologiche**
 - Stratigrafia
 - Direzione e velocità delle acque di falda
- **Finalità:**
 - **Selezionare il mezzo reattivo appropriato,**
 - **Condurre test di trattabilità**
 - **Progettare lo spessore della barriera**

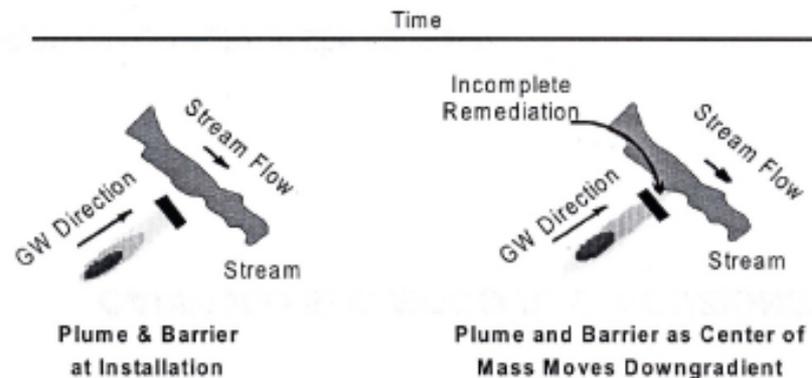
Influenza delle caratteristiche idrogeologiche

✓ Parametri idrogeologici oggetto di indagine includono la conducibilità idraulica, sia in direzione orizzontale che verticale, la porosità del terreno, le componenti laterale e verticale del gradiente idraulico, la direzione e velocità delle acque sotterranee. Occorre inoltre investigare i cambiamenti stagionali di portata e di direzione del flusso dovuti a processi di ricarica della falda e gli effetti di eventuali attività di pompaggio presenti sul sito, come pozzi per approvvigionamento idrico o sistemi P&T. Cambiamenti nel flusso delle acque sotterranee possano ridurre l'efficienza di una barriera reattiva a causa della incompleta cattura del plume (EPA, 1998).



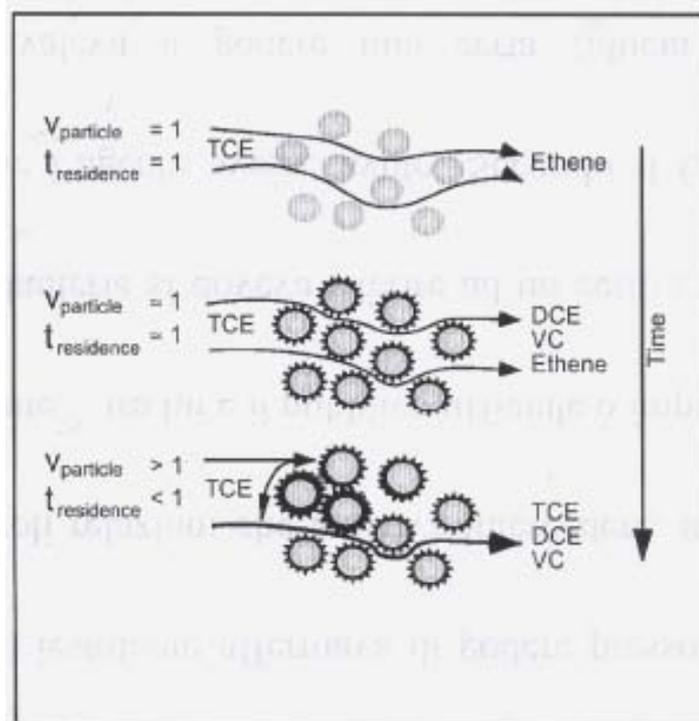
Influenza di tipologia e distribuzione della contaminazione

✓ È necessario disporre di informazioni relative alla distribuzione spaziale dei contaminanti e alle loro concentrazioni. Occorre anche caratterizzare i processi che incidono sulla diffusione del contaminante nel sottosuolo, vale a dire, effetti di adsorbimento, dispersione, reazioni chimiche e movimento verticale del plume dovuto alla densità del fluido. La conoscenza dell'estensione del plume nelle tre direzioni dello spazio è essenziale onde evitare che fronti del plume di contaminante oltrepassino la barriera senza attraversarla o per evitare un dispendio di denaro in caso di sovradimensionamento della stessa. È opportuno sapere inoltre se il centro di massa migri nel tempo o se sia in atto un processo di attenuazione naturale del contaminante.

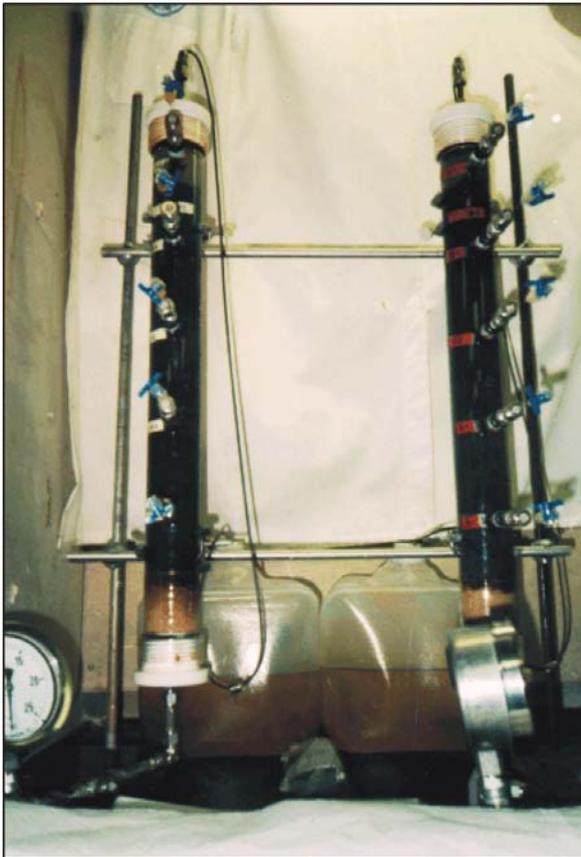


Influenza delle caratteristiche geochimiche

I parametri chimici dell'acquifero che maggiormente influenzano il trattamento sono il pH, il potenziale redox (Eh), l'ossigeno disciolto (DO), la temperatura (T), l'alcalinità ($[\text{HCO}_3^-]$) e la conduttanza specifica in S/cm. La determinazione inoltre della torbidità costituisce un indicatore di colloidali e comunità microbiche. La presenza di colloidali può risultare problematica qualora i contaminanti vengano da questi assorbiti e trasportati intatti a valle della barriera (EPA, 1998 A; Gavaskar et Al., 1998).



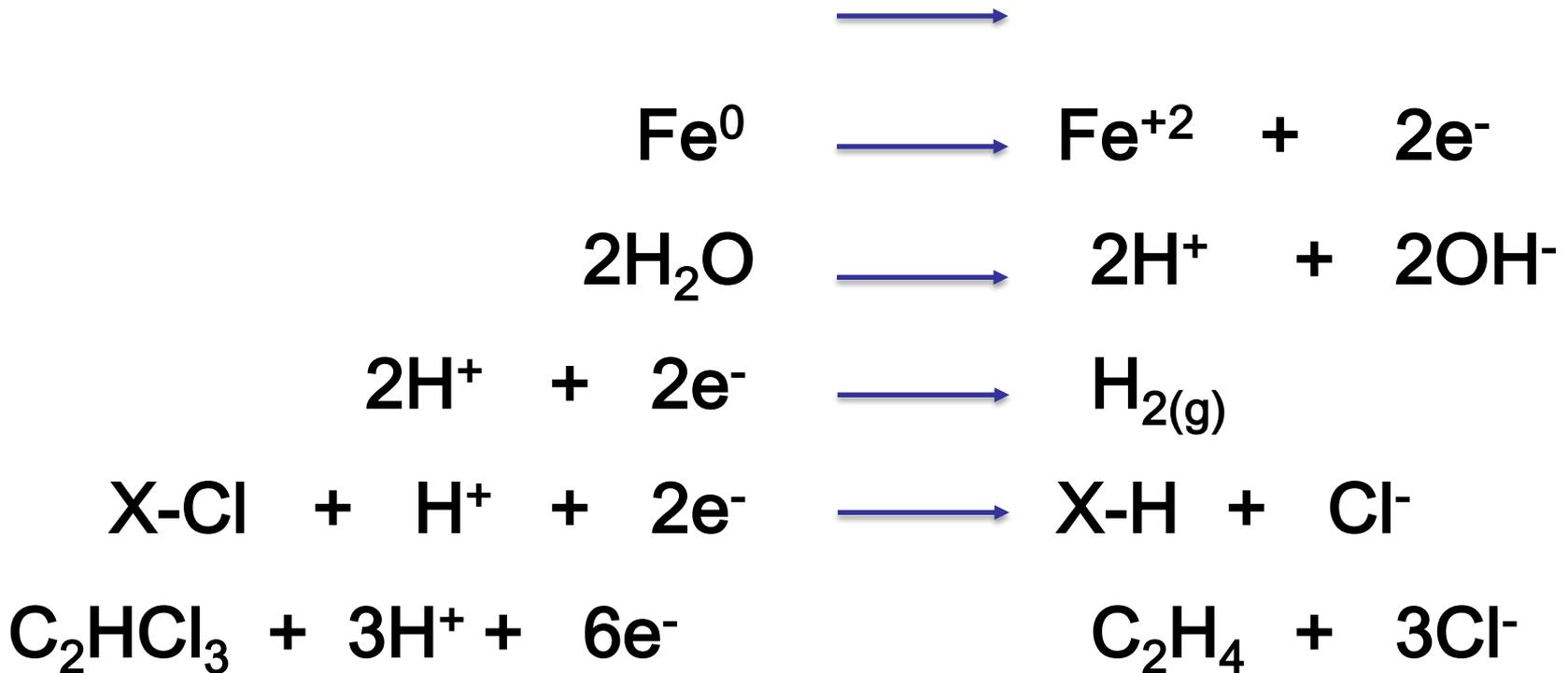
Test di Trattabilità per il mezzo reattivo



- **Batch tests**
 - Selezione veloce di più mezzi reattivi
- **Test in Colonna**
 - Selezione finale del mezzo reattivo
 - Informazioni progettuali (vita media dei contaminanti e velocità di reazione)

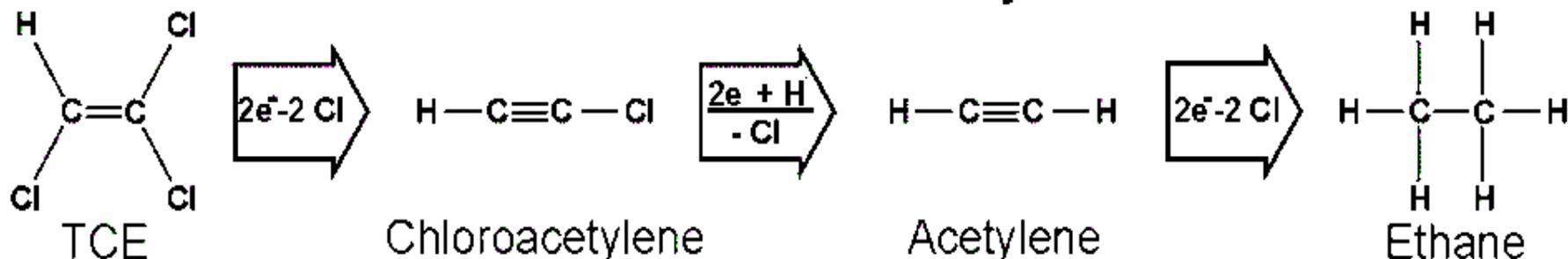


Degradazione dei composti organici clorurati con il Fe⁰

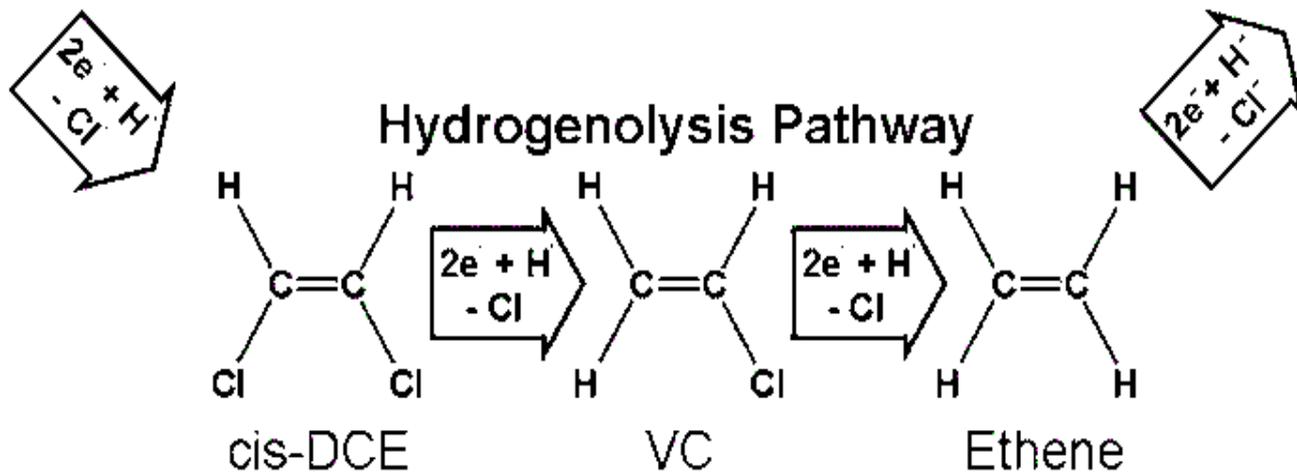


Degradazione dei composti clorurati con il Fe^0 - Beta-elimination (percorso principale) e Idrogenolisi

β - Elimination Pathway



Hydrogenolysis Pathway

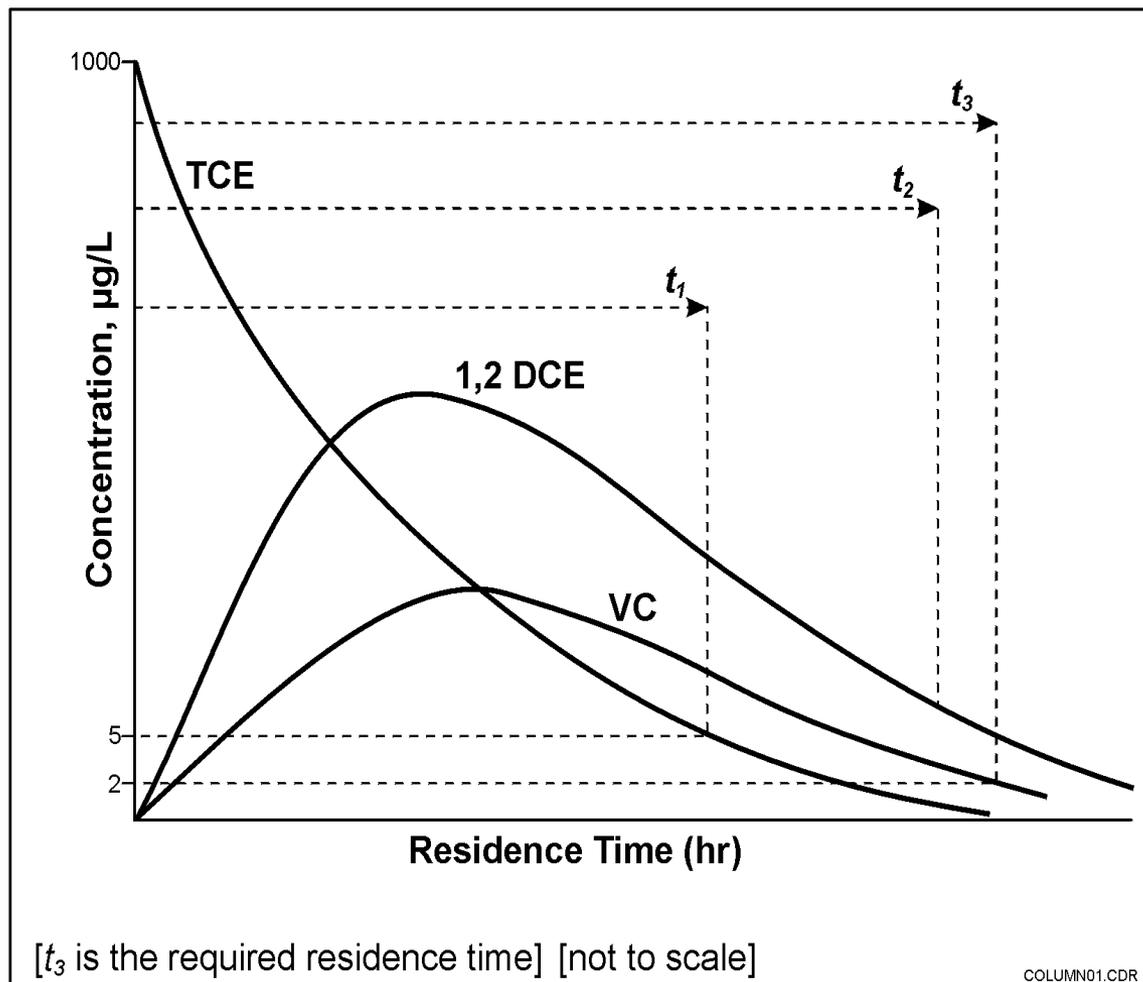


TCEPROD.CTICAL.COM

Impiego dei risultati dei test in colonna e dei dati di caratterizzazione per determinare lo spessore della PRB

- Tempo di vita media (o costanti cinetiche) dei contaminanti per un dato mezzo reattivo:
 - In base ai test in colonna
 - Impiegato per determinare il tempo di residenza nel mezzo reattivo
- Spessore della cella reattiva
 - Determinato attraverso il tempo di residenza e la velocità di flusso delle acque sotterranee attraverso la cella reattiva
 - Vengono apportati fattori correttivi dovuti alla temperatura dell'acqua di falda e alla densità del mezzo reattivo

Determinazione dei prodotti intermedi

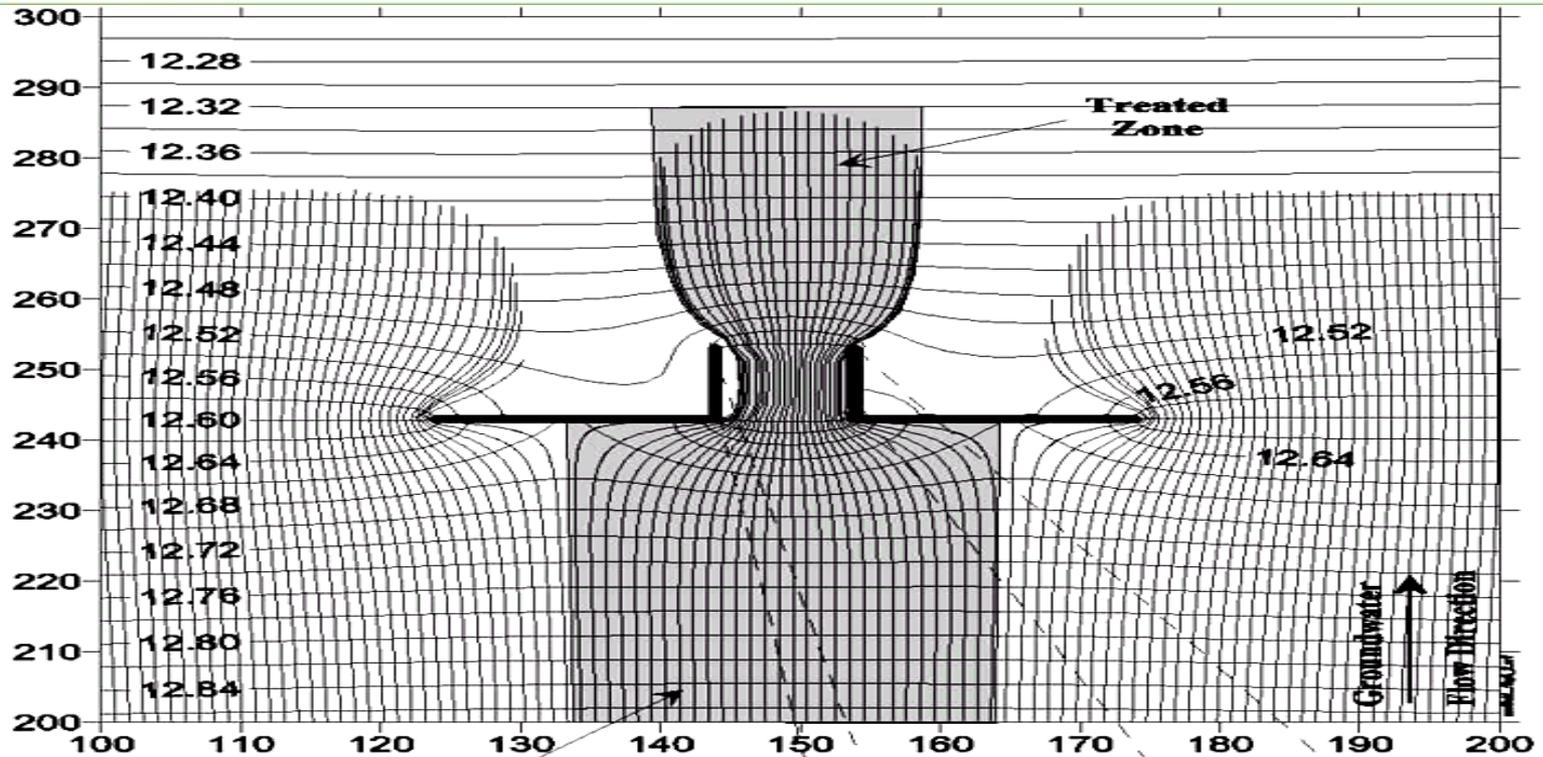


- Eeguire test di fattibilità in colonna.
- Confrontare i risultati con le concentrazioni obiettivo.
- Selezionare un tempo di residenza adeguato affinché anche l'ultimo dei prodotti intermedi di reazione raggiunga la concentrazione obiettivo

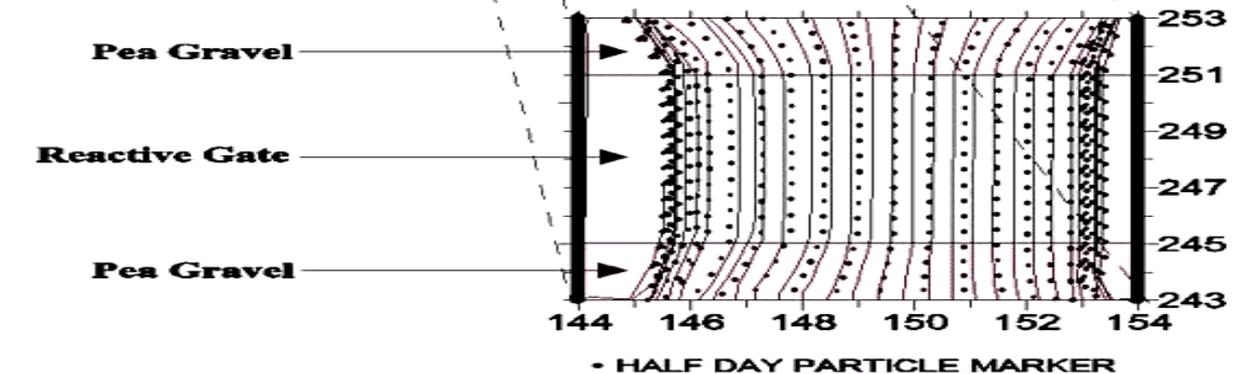


Obiettivi di Progetto e Ruolo dei Modelli di Flusso

- Determinare la posizione, l'orientazione e la configurazione della barriera reattiva
- Determinare lo spessore della barriera reattiva (per uno specifico tempo di residenza)
- Determinare l'estensione della barriera reattiva (per una specifica zona di cattura)
- Pianificare le azioni di monitoraggio (posizione e distanza dei pozzi)

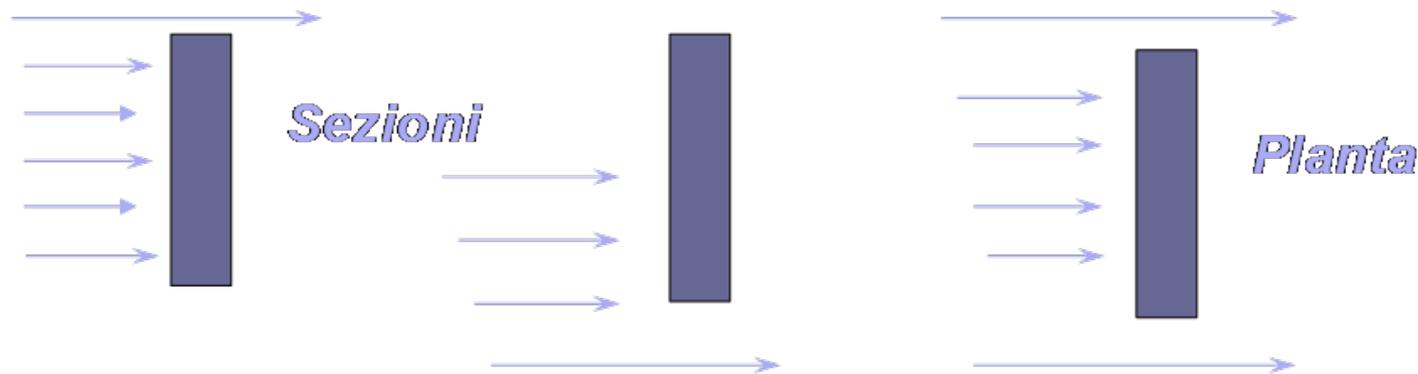


Capture Zone

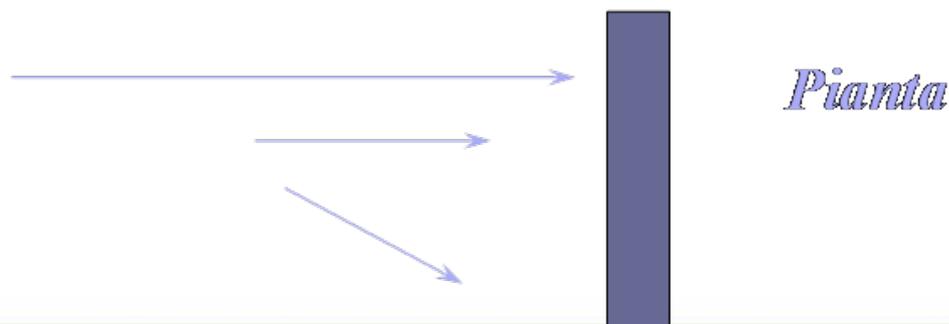


Determinazione delle incertezze attraverso i modelli

- Il flusso potrebbe aggirare la barriera



Il flusso potrebbe non essere uniforme, creando condizioni di velocità variabile e provocando variazioni della direzione di flusso dovuta al gradiente idraulico





Comportamento a lungo termine

-- Caratteristiche geochimiche che possono limitare la vita del mezzo reattivo (Fe^0) per passivazione e/o intasamento

- Concentrazione di Ossigeno
 - Elevate concentrazioni di O_2 provocano un aumento della precipitazione di $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (ruggine)
 - $\text{Fe}^0 + 1.5\text{O}_2 + 6\text{H}^+ > \text{Fe}(\text{OH})_3 + 1.5\text{H}_2$
- Alcalinità
 - Precipitazione di carbonati di Fe, Ca, and Mg
- Concentrazione di solfati
 - Formazione di solfuri di Fe



Tecniche di Installazione di PRBs

- ★ **Scavo convenzionale (escavatore a braccio rovescio)**
- ★ **Continuous Trencher**
- ★ **Cassoni**
- ★ **Mandrino**
- ★ **Deep Soil Mixing**
- ★ **High Pressure Grouting (Jetting)**
- ★ **Fratturazione Idraulica Verticale**
- ★ **Manipolazione Geochimica**

Scavo Convenzionale (Escavatore a braccio rovescio)



★ Intersil Site,
Sunnyvale, Ca., 1995

★ Profondità di 9 m

★ Trincea per la zona
reattiva e diaframma
plastico per il funnel



Installazione a cassoni



T-4PHOTOS CDR

BATTELLE

(a)



C ENVIRONMENTAL

(b)

★ Dover Air Force Base, Dover, De., 1997

★ Immorsato nello strato a bassa permeabilità (12 m di profondità)

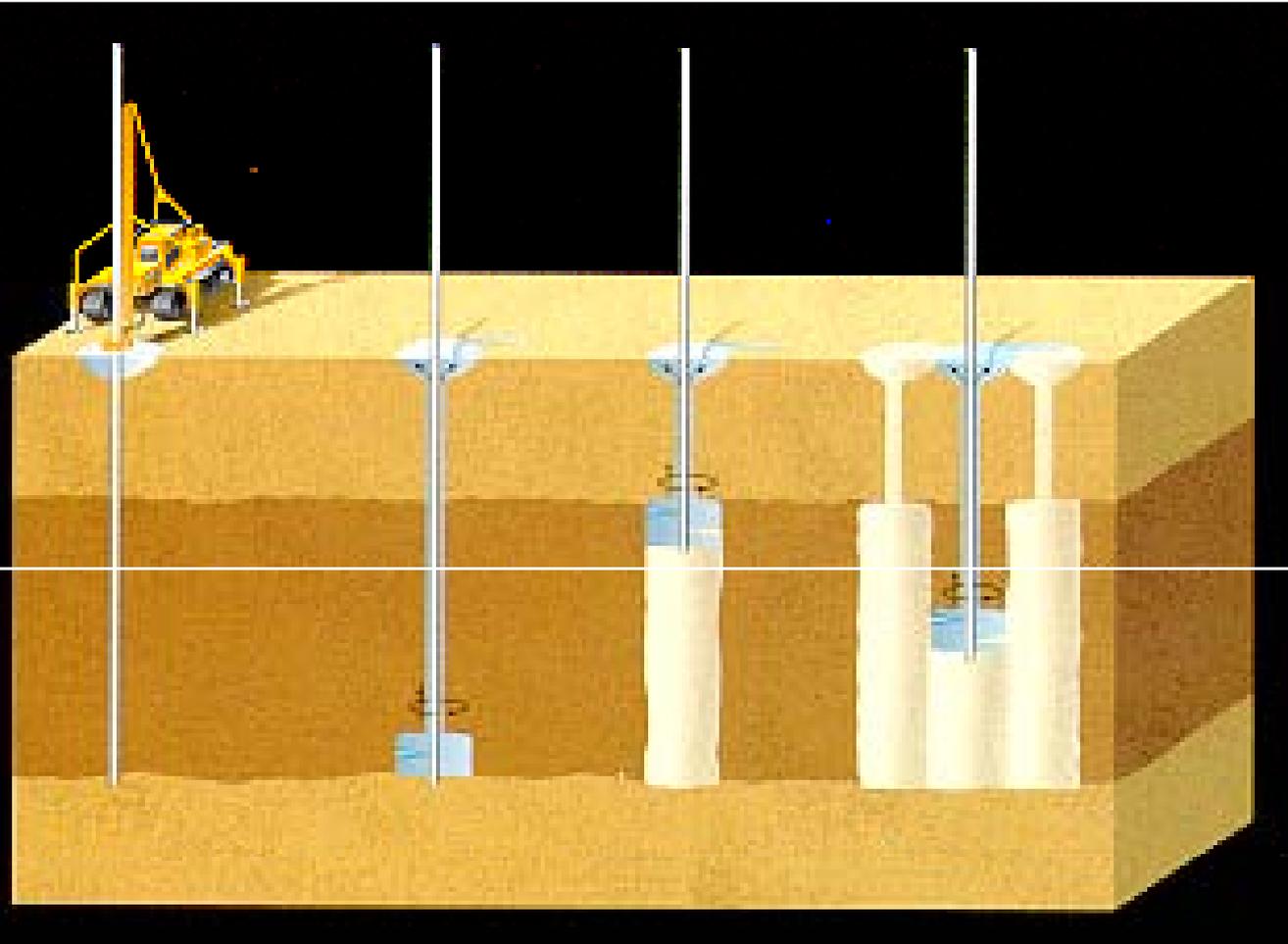
★ Elemento di funnel a plancolate infisse e zone reattive costituite da 2 cassoni di 2,4 m di diametro

Escavatore a braccio continuo -Continuous Trencher (Elizabeth City)



- ★ Coast Guard site, Elizabeth City, NC 1996
- ★ Barriera sospesa (7,5 m di profondità)
- ★ Barriera continua realizzata usando l'escavatore a braccio continuo

Processo Jetting (Schema)



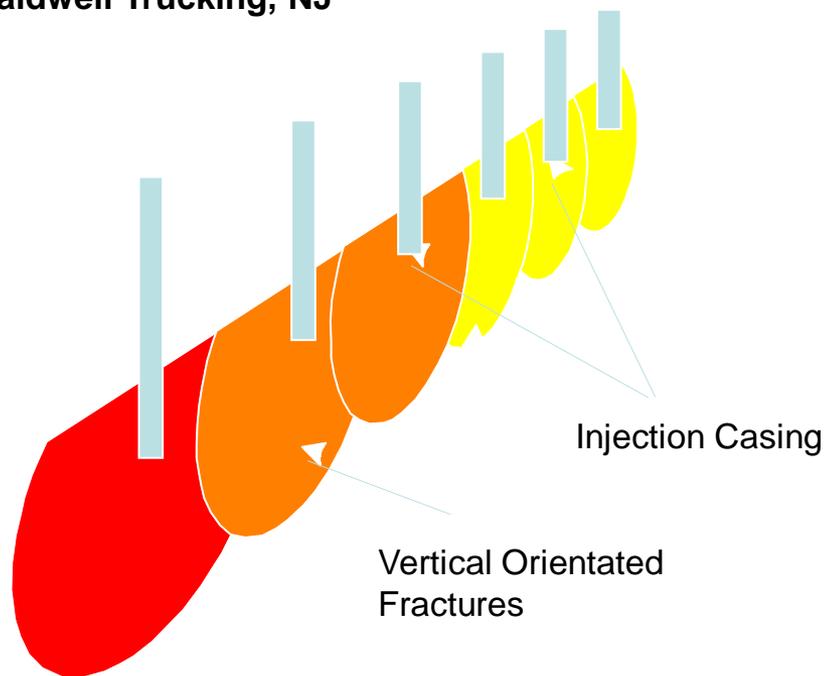
★ Travis Air Force Base, Ca. 1999

★ 15 m di profondità; iniezioni sovrapposte

★ Miscela contenente Fe^0 iniettata ad alta pressione

Fratturazione Idraulica

u Caldwell Trucking, NJ



Source: Dupont Company

- ★ Caldwell Trucking site, NJ
- ★ Verticale (sovrapposizione); creazione di fratture idrauliche;
- ★ Fratture riempite con miscela contenente ferro

Tramoggia / Mandrino



★ **Test Pilota a Cape Canaveral, FI. 1997**

★ **Profondità di 12 m, mandrino infisso nel terreno**

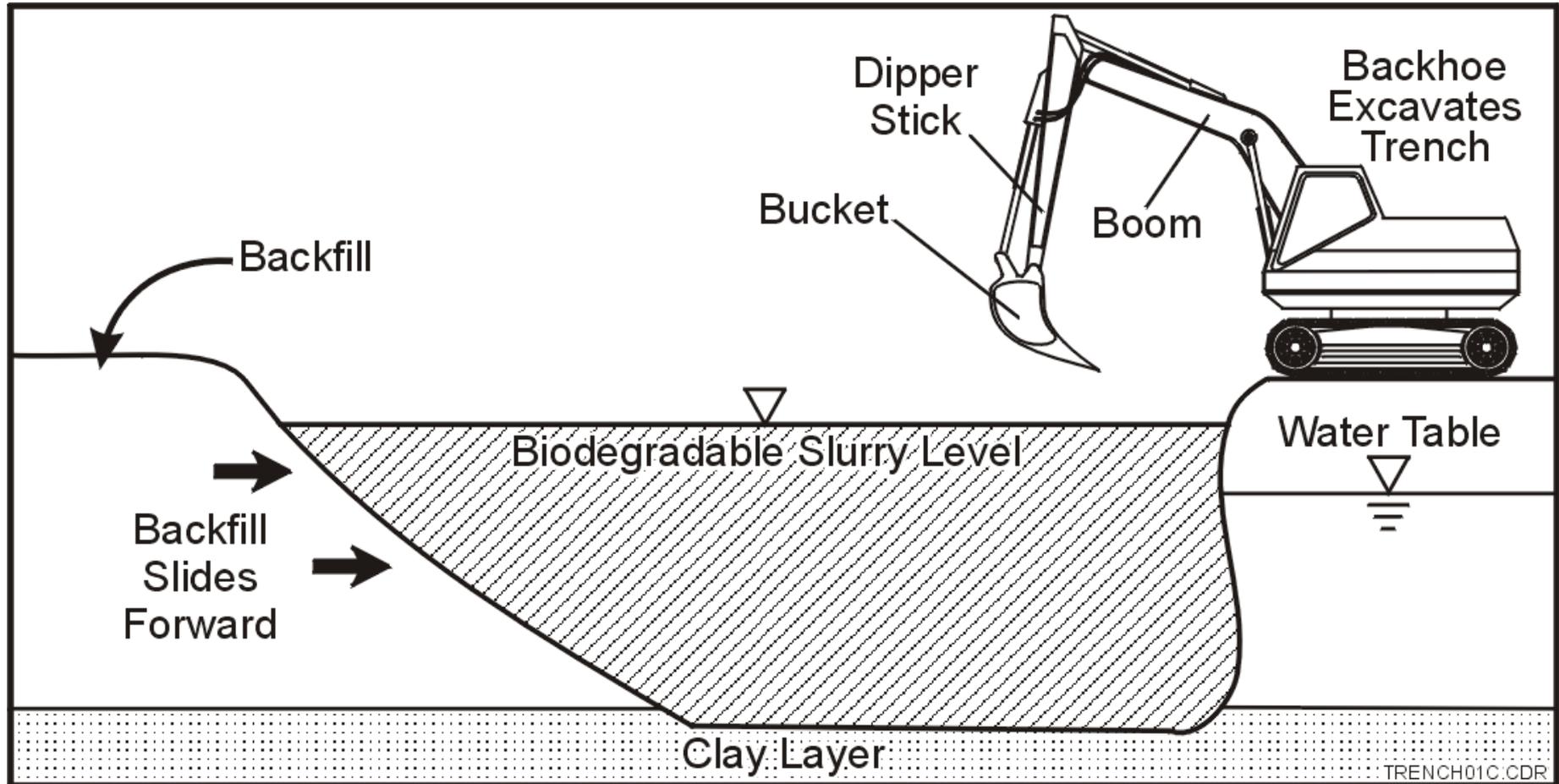
★ **Ferro granulare introdotto tramite una tramoggia**

Deep Soil Mixing



- ★ La miscela contenente ferro è introdotta attraverso un sistema di miscelazione
- ★ Viene realizzata una miscela ferro-suolo
- ★ Colonne sovrapposte

Bioslurry Pease Airforce Base, NH, 1999



Aspetti Economici

- Investimenti Capitali
 - **Caratterizzazione del sito/Prove di trattabilità/Progetto**
 - **Mezzo reattivo e Installazione**
- Costi Annui e costi di gestione e manutenzione
 - **Monitoraggio**
- Costi di manutenzione del mezzo reattivo (sostituzione o rigenerazione del mezzo reattivo)
 - **La frequenza dipende dalla longevità del mezzo reattivo**
 - **Il Fe° è attivo per diversi anni**

Aspetti Economici

Analisi Costi-Benefici

- Analisi del valore attuale (PV)
 - **Stima dei costi a lungo termine**
- Diversi scenari di costi per varie attese di vita media dell'opera
- Confronto del valore attuale della PRB con il valore attuale di altre opzioni of other options
- Valutazione dei costi/benefici della barriera reattiva
 - **Non sono richieste strutture**
 - **Non sono necessarie manutenzioni annuali**

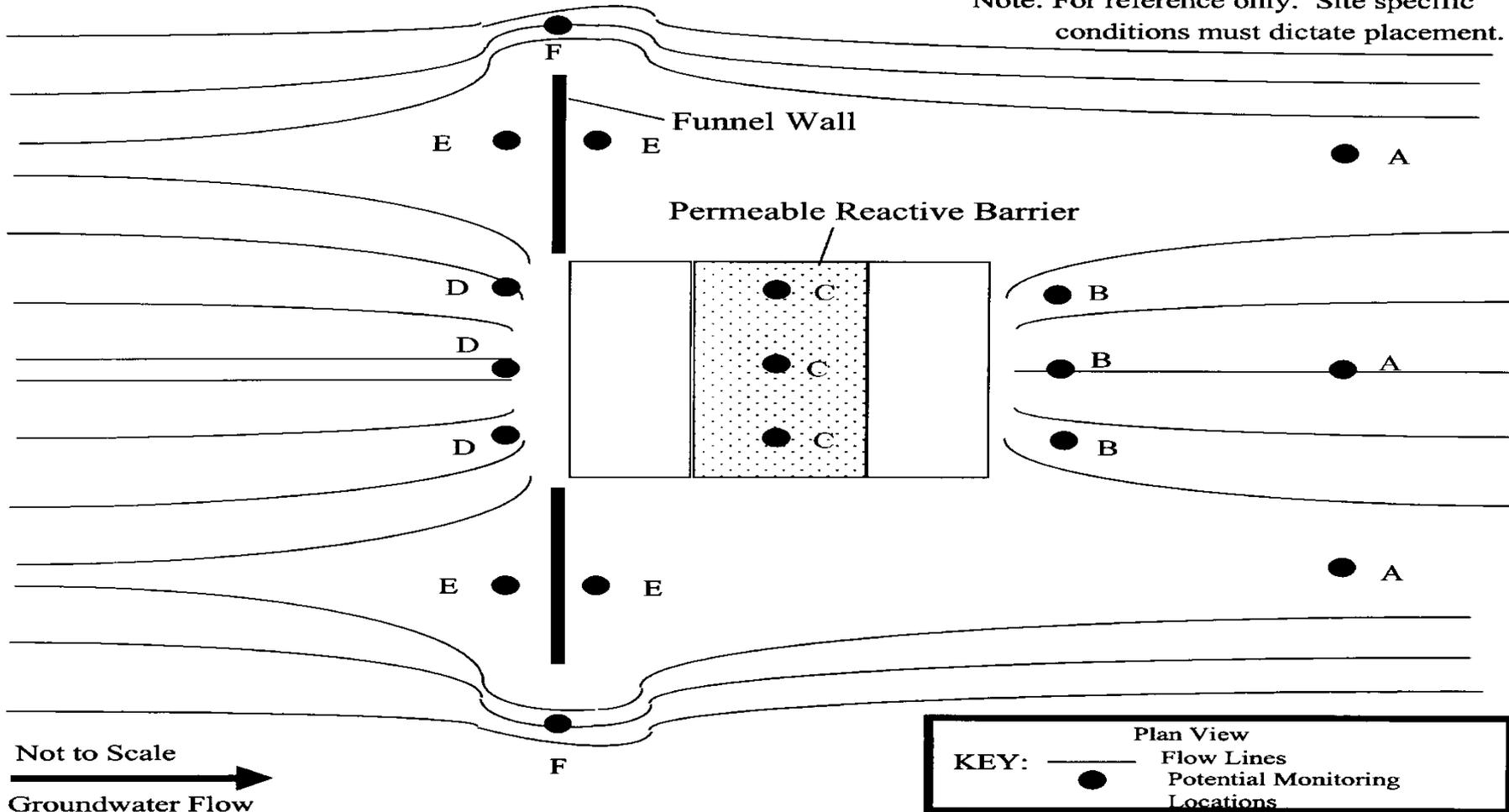
Monitoraggio

- Il monitoraggio comprende due obiettivi
 - Monitoraggio dell'efficacia- monitoraggio del raggiungimento delle CLA di legge e degli obiettivi di progetto
 - Monitoraggio dell'efficienza- funzionamento ottimale della barriera reattiva
- Procedure di campionamento
 - Campionamento a basso flusso per la raccolta di campioni delle acque di falda
 - Raccolta di campioni rappresentativi laddove il tempo di residenza nel mezzo reattivo non è alterato.

Posizionamento dei pozzi di monitoraggio

Figure 2 Funnel and Gate

Note: For reference only. Site specific conditions must dictate placement.



Not to Scale
 → Groundwater Flow

KEY: — Flow Lines
 ● Potential Monitoring Locations



Frequenza di monitoraggio

- Fino a 4 mesi dall'installazione - **Mensile**
- 1-2 anni dopo l'installazione - **Trimestrale**
- A lungo termine - **Trimestrale (può essere modificata in base ai dati raccolti)**
- Post Chiusura – **dipende dalla metodologia di chiusura e dai dati raccolti**

Gestione e Chiusura

- Piano di gestione e manutenzione
 - **Piano di campionamento contingente (necessario nel caso di rottura della barriera reattiva)**
 - **Rigenerazione o sostituzione della barriera reattiva**
- Piano di chiusura
 - **Stabilisce se la barriera deve rimanere in posto o deve essere rimossa dopo il raggiungimento degli obiettivi di bonifica**



Eventuali Problemi

- Lunghi periodi di trattamento
- Performance ed efficacia della barriera
- Smaltimento del materiale reattivo esausto
- Restrizioni all'uso dell'area
- Concentrazioni residue



Osservazioni Conclusive

- Una barriera reattiva è un'alternativa economicamente e tecnicamente valida per il trattamento in situ di metalli e composti organici volatili nelle acque sotterranee
- Alcuni meccanismi di reazione (ad es: tra il Fe^0 e i composti organici volatili) sono ben noti
- Le barriere permeabili reattive sono state installate fino a profondità di 36 m
- Eventuali “fallimenti” documentati del sistema sono dovuti a: incompleta cattura del flusso contaminato, variazioni del tempo di residenza, inadeguata caratterizzazione del sito