

La bonifica dei siti contaminati

Mauro Majone

Dipartimento di Chimica, "Sapienza" Università di Roma



Conferenza del Dipartimento Terra e Ambiente
nell'Anno Internazionale del Pianeta Terra

CNR, Aula Convegni, 22-23 Maggio 2008

I siti contaminati in Europa

Stime dalla Proposta di Direttiva quadro sul Suolo
COM(2006)232

- Siti potenzialmente contaminati: 3.5 milioni
- Siti effettivamente da bonificare: 500.000
- Costi derivanti dalla contaminazione: 2.4-17.3 miliardi €/anno

Censimento e caratterizzazione dei siti contaminati

- 50 milioni €/anno per i primi 5 anni
- 240 milioni €/anno per i successivi 25 anni

prevalentemente a carico dell'amministrazione pubblica

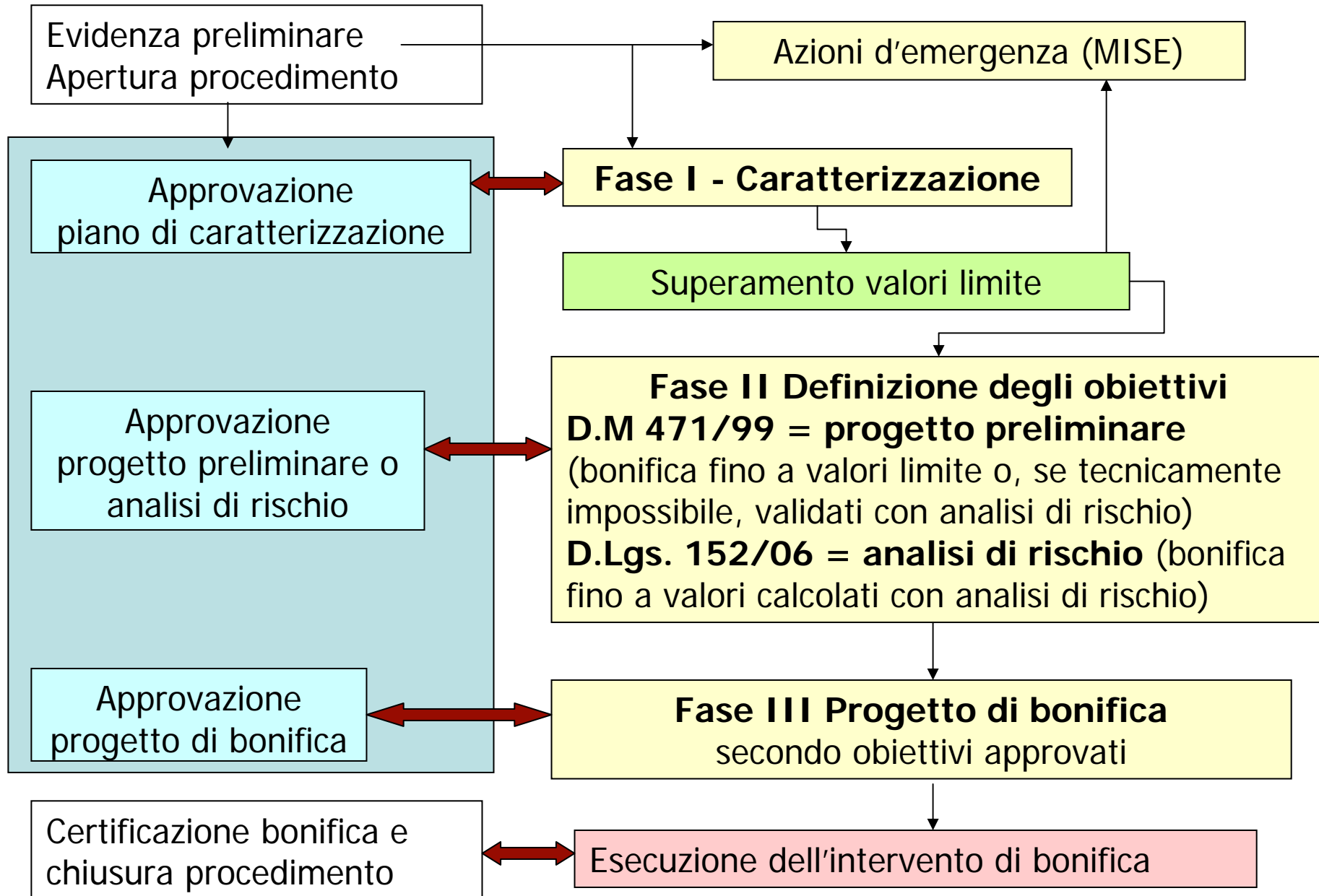


I siti contaminati in Italia

- Circa 15.000 siti da caratterizzare, bonificare e/o monitorare.
 - 25-30 miliardi € (Panno et al. 2001)
- Competenza amministrativa regionale o comunale.
- **I siti più importanti** direttamente condotti dal Ministero dell'Ambiente nell'ambito del Programma Nazionale delle Bonifiche (L 426/1998 e aggiornamenti)
 - più di 50 siti di **interesse nazionale**
 - tutti i settori industriali (ampio range di contaminanti)
 - circa 700.000 ha (>2% del territorio)
 - circa 3 MLD € per la bonifica (0.2% PIL nazionale)
 - circa 750 milioni € di supporto finanziario pubblico (fino al 50% dei costi), soprattutto per azioni preliminari (caratterizzazione del sito e messa in sicurezza di emergenza)



Procedura in tre fasi (previgente DM 471/99 e vigente D.Lgs 152/06)



Un sommario sull'applicazione italiana, dal DM 471/99

Bonifica suoli:

- uso nettamente prevalente di scavo e smaltimento,
- a volte, vagliatura e/o trattamenti on site (es. biopile)
- a volte, parziale riuso on site delle frazioni non contaminate

Bonifica acque sotterranee:

- interventi preliminari di messa in sicurezza d'emergenza (MISE)
- uso prevalente del "pump and treat" (P&T)
- buon know-how sviluppato su progetto idraulico delle barriere e su trattamenti "spinti" delle acque emunte
- spesso, problemi di ordine amministrativo (acqua come rifiuto, carenza di consenso sui limiti allo scarico e su obiettivi monitoraggio)
- a volte, interventi di lenta attivazione (anche in caso di P&T per MISE)

Tecnologie in situ:

- uso frequente di metodi fisici (es. soil vapour extraction, air sparging)
- esempi rari di metodi biologici, chimici e elettrochimici (carenza di consenso generale, difficile autorizzazione)

In generale, critiche da parte dei soggetti privati su:

- Rigidità "tabellare" (con DM 471/99, scarso uso dell'analisi di rischio)
- Valori limite troppo bassi (costi eccessivi, no tecnologie in situ)
- Eccessivo uso della MISE con sbarramenti idraulici o fisici (costi e tempi)

Margini di miglioramento su scavo/smaltimento

Evitare varianti a cantiere aperto per volumi di scavo sottostimati

- Usare più ampi margini di sicurezza su volumi scavo e stoccaggio
- Rendere più specifica la caratterizzazione e affinare l'interpretazione (metodi geostatistici)

Maggior affidabilità della vagliatura (riduzione volumi da smaltire)

- Effettuare prove di vagliatura su scala industriale
- Sviluppare conoscenze su associazione tra granulometria e contaminanti, in funzione di tipologie di suolo e contaminanti

Incrementare recupero della risorsa suolo, es. con soil washing, trattamento biologico o fitorisanamento

- Sviluppare conoscenze su lisciviabilità e/o biodisponibilità
- Sviluppare applicabilità per contaminazioni multiple
- Sviluppare test sperimentali, almeno in scala di laboratorio, per valutare più rapidamente eventuali limiti intrinseci dei processi



Sbarramento di emergenza di acqua di falda (MISE)

MISE **sempre richiesta** dalla pubblica autorità, spesso per **principio di precauzione** (scarsa conoscenza sul comportamento del pennacchio di contaminazione e sui suoi potenziali effetti sui recettori)

Usualmente sbarramento **attivo** (pozzi o barriere di emungimento) o **passivo** (diaframmi impermeabili e dreni)

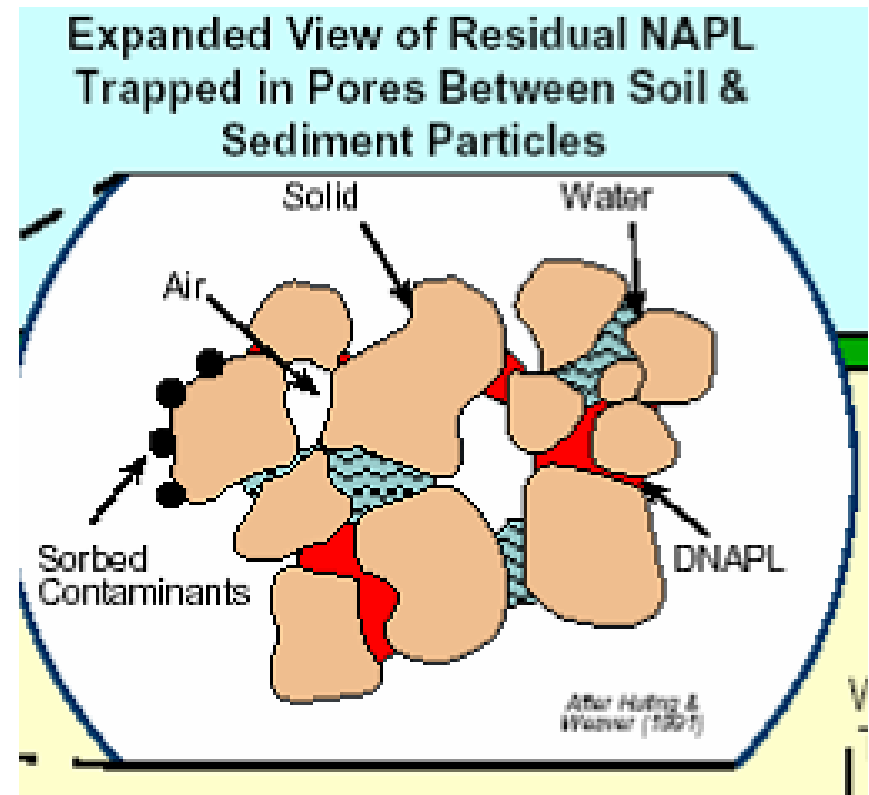
Possibili criticità

- **Idrodinamica complessa** (connessioni tra acquiferi, intrusione salina, presenza di fasi separate, interferenze con altre opere di sbarramento)
- **Progettazione solo idrodinamica** (carenza di valutazione per l'aspetto "chimico", in particolare su attenuazione attesa a valle della barriera; **monitoraggio a volte ridondante e poco valutabile**)
- **Trattamento delle acque** (fino a quali valori limite? Spesso, necessità di trattamento avanzato)
- **Necessità di permessi ad hoc** (es. l'acqua emunta diventa un rifiuto ! A volte ritardato l'uso di impianti già disponibili sul sito!): **lunghi tempi di attivazione**



I solventi clorurati formano il "DNAPL"

- Più densi dell'acqua, i solventi clorurati formano una fase separata non acquosa (DNAPL) che si sposta verso il basso (mobile DNAPL)
- Il DNAPL si infiltra e rimane intrappolato tra le particelle di suolo (residual DNAPL)
- Ciò rende difficile individuare e quantificare il DNAPL



- Il DNAPL agisce come una sorgente persistente e a lento rilascio (anche quando la sorgente primaria sia stata rimossa)
- La presenza di DNAPL influenza la strategia di intervento: **necessità di riduzione della sorgente oltre che sbarramento/risanamento del pennacchio**



Confronto di metodi di campionamento di acqua di falda

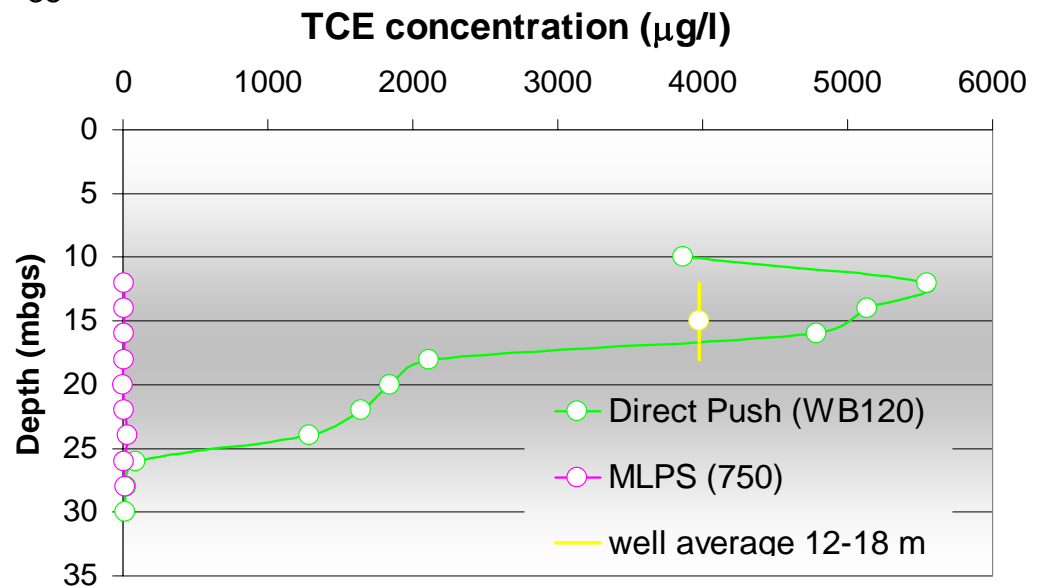
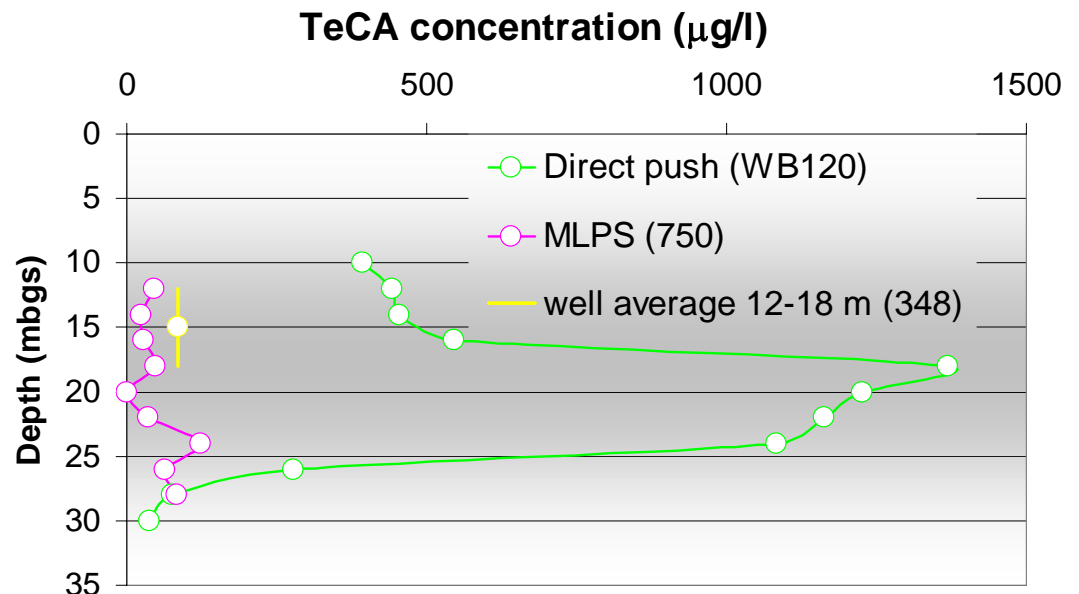
Profili verticali con prelievi a bassa portata

- Direct push
- Sistema multilivello packer system (MLPS)

Concentrazione media con campionamento dinamico

- Piezometro con finestrazione 12-18 m

- Effetto portata e presenza stratificazione verticale
- Possibile indicazione di presenza e mobilizzazione di fase separata (DNAPL)
- Influenza sulla progettazione della barriera idraulica



Dati non pubblicati, in cooperazione con C. Leven et al., UFZ

Il passaggio dallo sbarramento d'emergenza alla bonifica

- Di solito il sistema di MISE diventa sistema di bonifica della falda
- Da sistema di contenimento verso a valle a sistema di risanamento a monte, **ma efficacia e tempi di bonifica non dipendono dall'efficacia dello sbarramento**
- Per contaminanti in fase separata, velocità di risanamento controllata dalla lenta dissoluzione: **tempi molto lunghi**
- Lunghi tempi di gestione spesso trascurati nella progettazione e nell'analisi dei costi (**necessità di tecnologie ad hoc**)

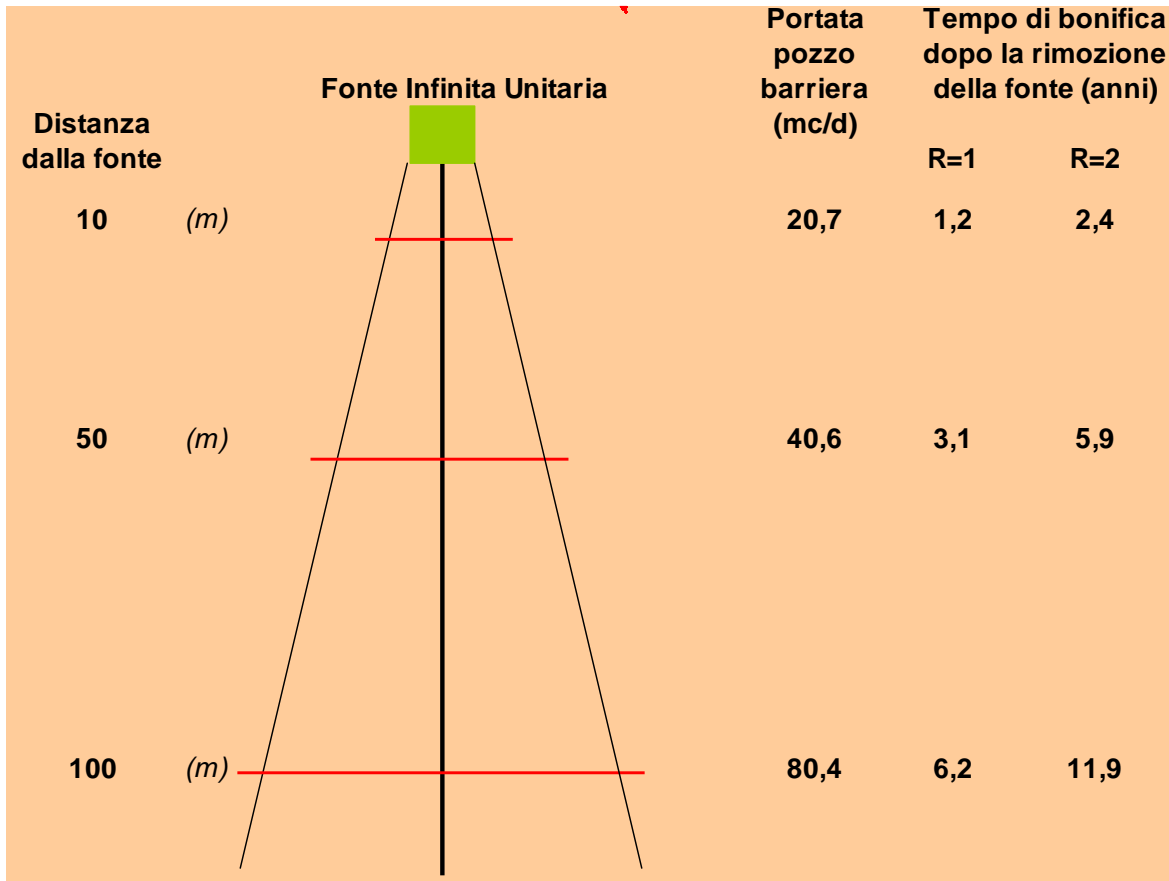
Destino finale dell'acqua trattata

- **Raramente: reiniezione**, per costi elevati e soprattutto difficoltà di autorizzazione = **risorsa non preservata dal punto di vista quantitativo**.
- **A volte, riutilizzo** come acqua di processo = da preferire, **risparmio di acqua di miglior qualità**
- **Spesso: scarico** in fognatura o corpi idrici superficiali. Mancanza di consenso sui limiti allo scarico (con 152/06, limiti come acque di scarico industriali = a volte, nessun trattamento).

Opzioni: interventi concentrati per diminuire volumi emunti, limiti allo scarico più articolati, sviluppo trattamenti avanzati a basso costo di gestione e/o per reiniezione

Posizionamento di una barriera idraulica rispetto alla sorgente

Fonte	1	<i>mc</i>	Porosità	0,20	(-)
Concentrazione alla fonte	1000	(<i>mg/l</i>)	Velocità effettiva	0,000002	(<i>m/sec</i>)
Spessore acquifero	15	(<i>m</i>)	Dispersione Longitudinale	9,6	(<i>m</i>)
Conducibilità idraulica	1,0E-04	(<i>m/sec</i>)	Dispersione Trasversale	1,0	(<i>m</i>)
Gradiente idraulico	0,003	(-)	Dispersione Verticale	0,70	(<i>m</i>)



All'allontanarsi dalla fonte, per intercettare il fronte

- aumenta la portata da emungere e trattare (ma si diluisce il contaminante)
- Caso limite: portata massima, nessun trattamento (con 152/06)

Dalla rimozione della fonte:

- Aumenta il tempo di risposta alla barriera
- L'effetto è più evidente se il contaminante è ritardato ($R > 1$) rispetto alla falda

Verso tecnologie più avanzate e sostenibili

Per alcune tecnologie di bonifica **in situ** sembra esistere un **"ritardo italiano"** rispetto alle applicazioni internazionali

Barriere reattive permeabili (PRB):

Apparentemente, senza ragioni specifiche. Potenziale elevato.

Trattamenti "in situ" chimici o biologici:

Rispetto a PRB, maggiori cautele circa l'iniezione di sostanze chimiche nell'acquifero e possibile contaminazione secondaria

Attenuazione naturale monitorata (MNA):

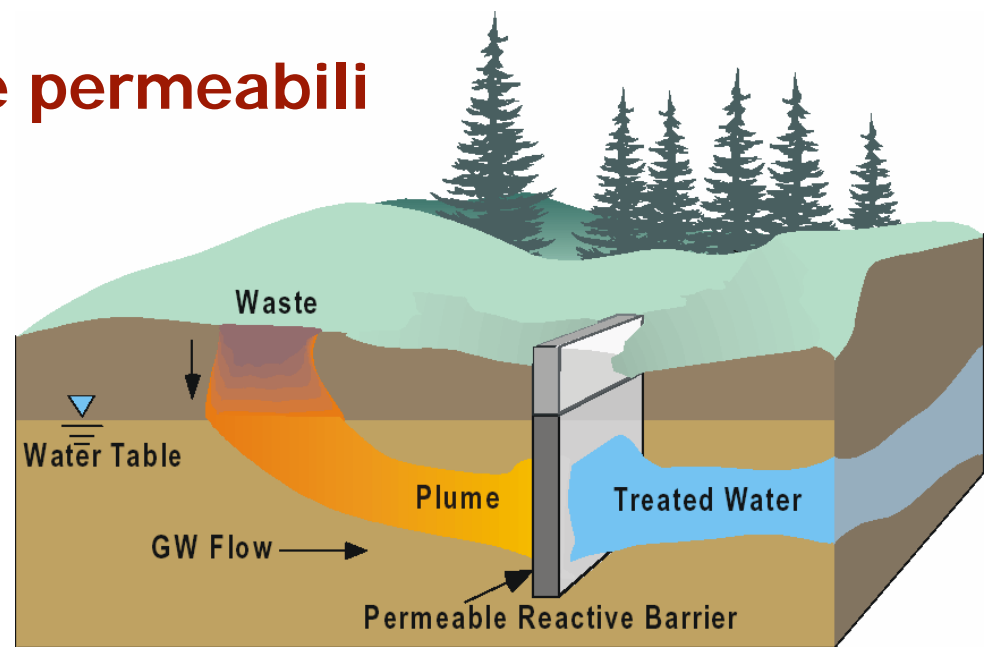
Di fatto, non è considerata un "intervento" attivo di bonifica



Barriere reattive permeabili

Più di 100 in US/Canada
Più di 30 in Europa

**Applicazione consolidata
con ferro zerovalente per
solventi clorurati
(contaminazione più
frequente anche in Italia)**



- Nessuna estrazione di acqua (**protezione quantitativa**)
- No energia: flusso passivo, dovuto al gradiente idraulico naturale
- A lungo termine, minori costi di gestione
- **Progetto idraulico simile a sbarramenti** + test di laboratorio
- **Possibile integrazione o riconversione di barriere fisiche**

Possibili limitazioni e criticità

- Problemi realizzativi (profondità elevata, sottoservizi)
- Possibile perdita di prestazione a lungo termine (es. cammini preferenziali)
- Difficoltà se valori limite molto bassi e flussi elevati

Risanamento in situ per via chimica o biologica

Vantaggi

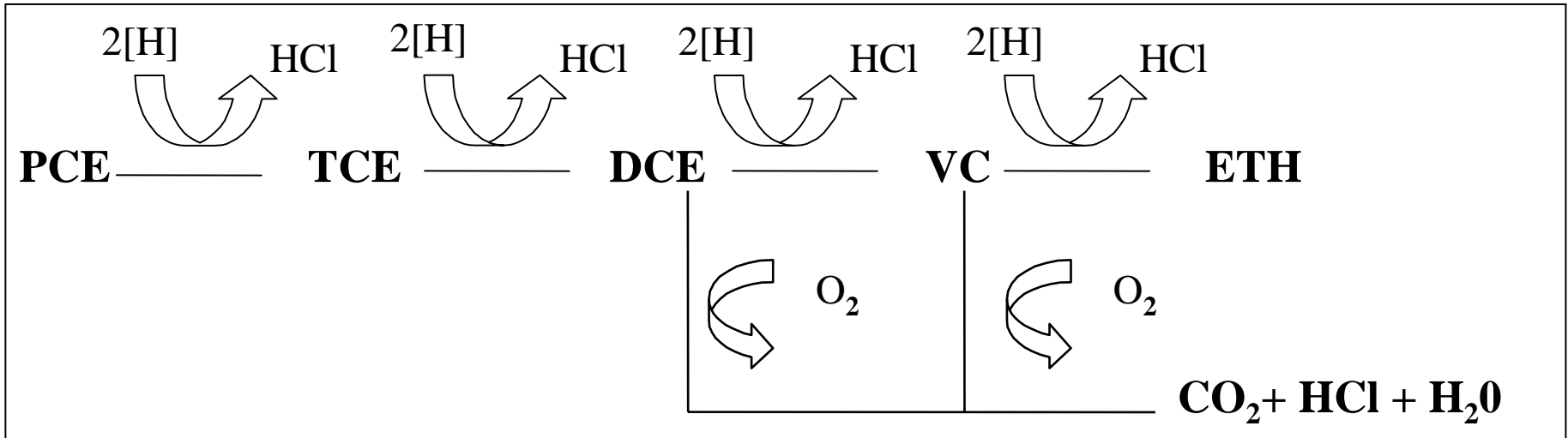
- Assenza di trattamento esterno e scarico di acqua
- Nessuna o trascurabile energia di pompaggio
- Minimo disturbo dell'uso del sito
- Degradazione effettiva dei contaminanti
- Possibile concentrare azione sulla sorgente più che sul pennacchio
- Spesso, anche efficaci su fasi separate (es. DNAPL)

Possibili problemi

- Possibile difficoltà nel raggiungere valori limite molto bassi
- Richiedono "iniezione" di sostanze chimiche in acqua di falda, con limitazioni specifiche (**Direttiva 2000/60/EC**)
- Possibilità di contaminazione secondaria
- Procedura più sito-specifica, carenza di metodologie di progetto standardizzate, generalmente necessari test pilota su campo
- Complessivamente, carenza di consenso generale e più difficile autorizzazione

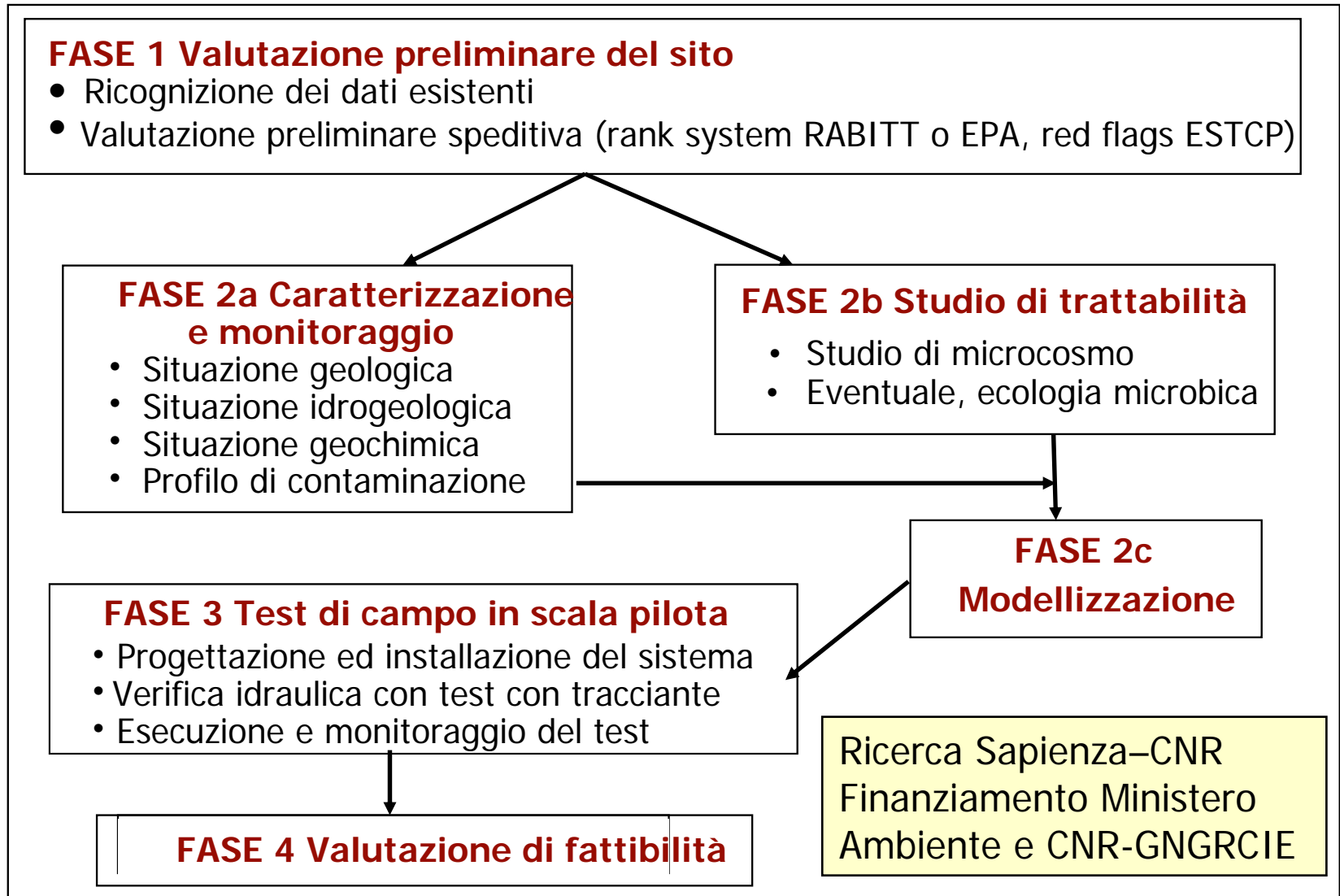


Biorisanamento in situ di solventi clorurati



- Stimolazione della **declorazione riduttiva (RD)** da parte di consorzi anaerobici indigeni (per aggiunta di ammendanti) o eventuale "bioaugmentation" (aggiunta di inoculi specializzati)
- Come donatore di elettroni, molti batteri decloranti (es. *Dehalococcoides* spp) usano solo H_2 , prodotto dalla fermentazione di substrati organici.
- Vari gruppi microbici competono sia per il substrato organico che per i suoi prodotti di fermentazione (H_2 , acetato, etc.).
- Occorre valutare come stabilire condizioni ottimali, in funzione delle caratteristiche idrodinamiche, geochimiche e microbiologiche del sito (es. per evitare **possibile accumulo di cloruro di vinile**).
- Occorre una scelta accurata dei substrati ammendanti e del sistema di aggiunta, effettuando sia studi di microcosmo in laboratorio che test pilota sul campo.

Protocollo di valutazione per biorisanamento in situ con dechlorazione riduttiva anaerobica di solventi clorurati

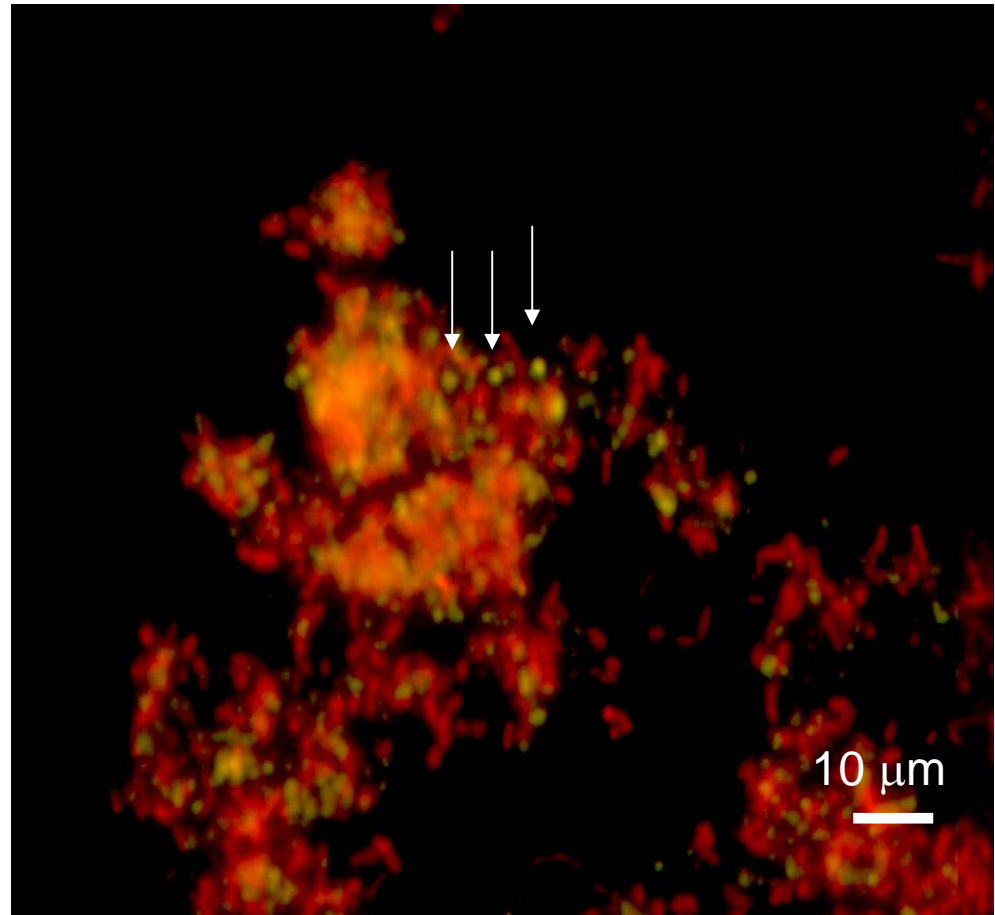


**Identificazione speditiva di *Dehalococcoides spp.*,
unico microrganismo in grado di effettuare la declorazione
completa fino ad etilene**

**Sviluppo e
applicazione di
sonde specifiche di
Fluorescent In Situ
Hybridisation
(FISH)**

Cortesia di S. Rossetti e V.
Tandoi, IRSA-CNR

Aulenta et al., Applied
Microbiology and
Biotechnology, 64, 206-
212, 2004.



Un esempio di test pilota su campo

Sistema di estrazione-reiniezione di acqua di falda, a portata variabile, per:

- creare un volume di reazione idraulicamente controllato nell'acquifero
- controllare il tempo di residenza nel volume di reazione
- ottenere una buona miscelazione dell'acqua di falda contaminata con gli ammendanti aggiunti



Progettazione mediante modellazione avanzata delle variazioni indotte in varie condizioni (numero, profondità e collocazione dei pozzi, portate)

Per maggior sicurezza, l'impianto pilota è stato comunque realizzato all'interno di un più ampio contenimento preesistente

Le tecnologie in situ richiedono una progettazione di qualità

- Know-how specifico sulla tecnologia proposta
 - Approccio maggiormente sito-specifico
 - caratterizzazione dedicata
 - sperimentazione su campo in scala pilota
 - progettazione dei controlli e monitoraggi
- ogni sito è un caso di studio**

Anche per scenari potenzialmente favorevoli

- Fase di valutazione e progettazione più costosa e lunga
- Necessità di permessi specifici per le attività di studio su campo
- Riluttanza ad affrontare sperimentazione in assenza di un consenso preliminare (anzi, possibile diffidenza reciproca)

Altri fattori

- Riluttanza progettisti a fornire informazioni di dettaglio?
- Barriere brevettuali?
- Limitata flessibilità su opzioni alternative?
- Più in generale piccole dimensioni e/o scarsa propensione delle imprese alla ricerca e sviluppo?

Altri strumenti per la diffusione di tecnologie avanzate

Sistemi di certificazione di qualità

Sistema europeo di Environmental Technology Verification, EETV (progetti pilota FP6)

Ausilio di modelli, software, banche dati e sistemi esperti

per la valutazione della sostenibilità della bonifica e per la scelta delle opzioni di bonifica ottimali (ancora FP6)

Soprattutto, più ricerca di base, applicata e prenormativa

- Coordinare le ricerche e accrescerne le dimensioni, trasferire i risultati e sviluppare linee-guida.
- **Agganciare un progetto di ricerca ad ogni sito importante**
- **Essenziale** per ricerca su campo: inserire autorità locali nei progetti, inserire i progetti nel percorso amministrativo.
- Attraverso il sistema di ricerca europeo, scambiare ricerca tra siti italiani e di altri paesi
- *Il sistema della ricerca pubblica come garante scientifico e cerniera del rapporto tra autorità pubblica e soggetti obbligati?*

Ricerca e sviluppo di metodi e tecnologie per la bonifica "sostenibile" dei siti contaminati

- conservazione, qualitativa e quantitativa, degli usi potenziali delle risorse ambientali;
- minimizzazione della produzione di rifiuti e dell'estrazione di acqua di falda;
- piena compatibilità con le attività in essere sulle aree e con i programmi di sviluppo.
- sostenibilità economica degli interventi

"Driving forces" dalla normativa

- Recepimento Direttiva 118/2006/CE sulla protezione delle acque sotterranee = **bonifica nel quadro della protezione quantitativa e qualitativa della risorsa idrica sotterranea**
- Futura Direttiva Quadro sulla Protezione del Suolo = **censimento e protezione integrata delle diverse funzioni del suolo**
- **Siti di preminente interesse pubblico per la riqualificazione economica** (art. 252bis, modifiche a D.Lgs 152/2006)

Alcune idee per la ricerca verso "bonifiche sostenibili"

- **Sviluppare metodi di caratterizzazione,**
 - **fortemente** finalizzati alla bonifica
 - **tecniche combinate** (chimiche, fisiche, geofisiche, botaniche, microbiologiche e di biologia molecolare)
 - **modellazione avanzata** (eterogeneità degli acquiferi, sorgenti secondarie, interazione tra idrodinamica e comportamento geochimico e chimico).
- **Sviluppare approcci e tecnologie:**
 - **"knowledge-intensive"**, ovvero basati sullo studio dei fenomeni naturali ed indotti dalle tecnologie nelle condizioni ambientali al contorno. Ove possibile, privilegiare approcci **"in situ"**
 - **"source-oriented"**, concentrati nello spazio e ad elevata selettività per la rimozione delle sorgenti (es. DNAPL). Tener conto dell'**attenuazione naturale**
 - **"multitask"**, per i casi di **contaminazione multipla** (anche per interventi **on site** a fini di riutilizzo risorsa).
- **Sviluppare metodi di valutazione degli effetti:**
 - modifiche indotte dalle tecnologie sulle matrici ambientali (tessitura e componente organica dei suoli, attività biologica),
 - impatti secondari di tipo tossicologico ed ecotossicologico
 - monitoraggio (es. migrazione di componenti biologiche),
 - **effetti di lungo periodo e interazione con aspetti igienico-sanitari**

Buona presenza a livello internazionale

- partecipazione a progetti europei, pubblicazioni e convegni scientifici...

A livello nazionale

- Molte iniziative di ricerca bottom-up, con canali di finanziamento “tradizionali”
- Finanziamento privato di solito limitato e a breve termine, su problemi specifici
- Grandi difficoltà ad operare su campo
- E' mancata finora una committenza pubblica per un progetto specifico e articolato, a livello nazionale

Possibili strumenti di coordinamento e supporto finanziario

D.Lgs 152/2006 e s.m.i., Titolo V Bonifica di siti contaminati, art. 265, comma 4

I Ministeri dell'Ambiente, dell'Università e dello Sviluppo Economico individuano con decreto forme di promozione e di incentivazione per la ricerca e per lo sviluppo di nuove tecnologie di bonifica....

art. 252bis Siti di preminente interesse pubblico per la riconversione industriale
Progetti di bonifica assieme ad interventi mirati allo sviluppo economico produttivo.
Appositi accordi di programma assicurano il coordinamento delle azioni e disciplinano tra l'altro.....l'eventuale finanziamento di attività di ricerca e di sperimentazione di tecniche e metodologie finalizzate al trattamento delle matrici ambientali contaminate nonché ai sistemi di misurazione e analisi delle sostanze contaminanti e di monitoraggio della qualità ecologica del sito

Ringrazio

**i componenti della Segreteria Tecnica ed esperti presso il
Ministero dell'Ambiente:**

**L. Musmeci, G.P. Beretta, P. Gianforte, G. Mininni, L. Raffaelli, E.
Rolle**

i colleghi del gruppo di ricerca:

**M.Beccari, M. Petrangeli Papini, F. Aulenta, P.Viotti, M.Leccese, F.
Bozzano, M. Petitta, E. Rolle, Sapienza Università di Roma
V.Tandoi, S. Rossetti, CNR-IRSA**

Grazie dell'attenzione

Mauro Majone, Dipartimento di Chimica, "Sapienza" Università di Roma

E-mail: mauro.majone@uniroma1.it

