



Dove comincia e finisce una bonifica:
caratterizzazione dei siti, tecnologie di bonifica, analisi di rischio

SIMONETTA TUNESI

AMRA - Università' di Napoli

25 febbraio 2010

- ✓ Le bonifiche sono possibili, anche se non e' facile progettarle ed eseguirle
- ✓ Non le si affronta e risolve ne' con la logica dell'emergenza ne' come un problema impiantistico
- ✓ Il sito inquinato e' distinto dal territorio che ne subisce l'impatto
- ✓ La popolazione e' esposta sul territorio: analisi di rischio, stima esposizione
- ✓ Priorita': 1) conoscere limiti e capacita' delle tecnologie di bonifica; 2) studiare e descrivere il territorio

Evoluzione normativa

D.M.A. 5/ 89: Censimento; Piani Regionali; finanziamenti

D.Lgs. 22/97: Obbligo di bonifica; messa in sicurezza d'emergenza; Anagrafe; compiti per Regione, Provincia, Comune; siti di interesse nazionale

D. M. 471/99: limiti di concentrazione accettabile (caratterizzazione Allegato 2); bonifica con misure di sicurezza; Progetto di Bonifica (Allegato 4); Conferenza dei Servizi

D. Lgs. 152/06 - dal 29 Aprile 2006: siti contaminati; analisi di rischio; autocertificazione; Regione; controlli qualitativi; terre e rocce da scavo

Il discrimine per dichiarare un sito contaminato cambia da:
standard predefiniti di concentrazione a valori di concentrazione sito specifici - **analisi di rischio**

MA La normativa cancella l'aggettivo **INQUINATO** e compare l'**autocertificazione**

Disomogeneita' dei siti a cui la norma si rivolge



Sito di Mantova 400 ha
industriali e
900 ha perimetrati

Cosa erano i siti inquinati

Normativa originale **BONIFICA e RIPRISTINO**: aree di dimensioni definite su cui intervenire per garantire recupero territoriale e proseguimento attività industriali.

Discariche abusive
Sversamenti su suolo
Siti industriali
SIN: 15

Cosa sono diventati i siti contaminati nel decennio di applicazione normativa

Oltre 50 siti di interesse nazionale con 'perimetrazioni' vastissime che hanno comportato spese non sostenibili per caratterizzare aree residenziali, agricole, piccole industrie

L'approccio stereotipato applicato nei SIN ha condizionato i siti di piccole e medie dimensioni, e i siti industriali di rilevanza locale e regionale: caratterizzazione a **maglia** regolare (50m x 50m); analisi indiscriminata di tutti gli inquinanti in lista; **non** accettazione dell'analisi di rischio per le acque sotterranee.

Unico approccio dalle Alpi alle Piramidi: **particolarmente inadatto alla situazione CAMPANA**

Il successo degli interventi di bonifica dipende dall'integrazione di quattro elementi

Le caratteristiche della **matrice suolo** – elevata eterogeneità, potere tampone – e i rapporti di scambio con le **acque sotterranee** – la ripartizione dipende dalle proprietà chimico-fisiche delle sostanze; effetto rebound - richiedono un'approccio diverso da quello impiantistico (tipo depurazione scarichi idrici industriali).

- 1) **conoscenza del problema e definizione degli obiettivi di bonifica per il sito e per il territorio impattato: adeguatezza della caratterizzazione**
- 2) soluzione del problema: analisi tecnologie e selezione degli scenari alternativi applicabili al sito
- 3) **gestione del rischio residuo: che si avvale dell'analisi di rischio, misure di messa in sicurezza, limitazioni all'uso**
- 4) controllo della qualità ambientale e della validità delle stime nel tempo

La progettazione integrata di questi quattro elementi deve mirare al **reinserimento di un'area che è stata vulnerata in un territorio risanato** e non al raggiungimento di rigidi valori di concentrazione per suolo e acque definiti a priori

Approccio tabellare: concentrazioni Limite di validita' nazionale

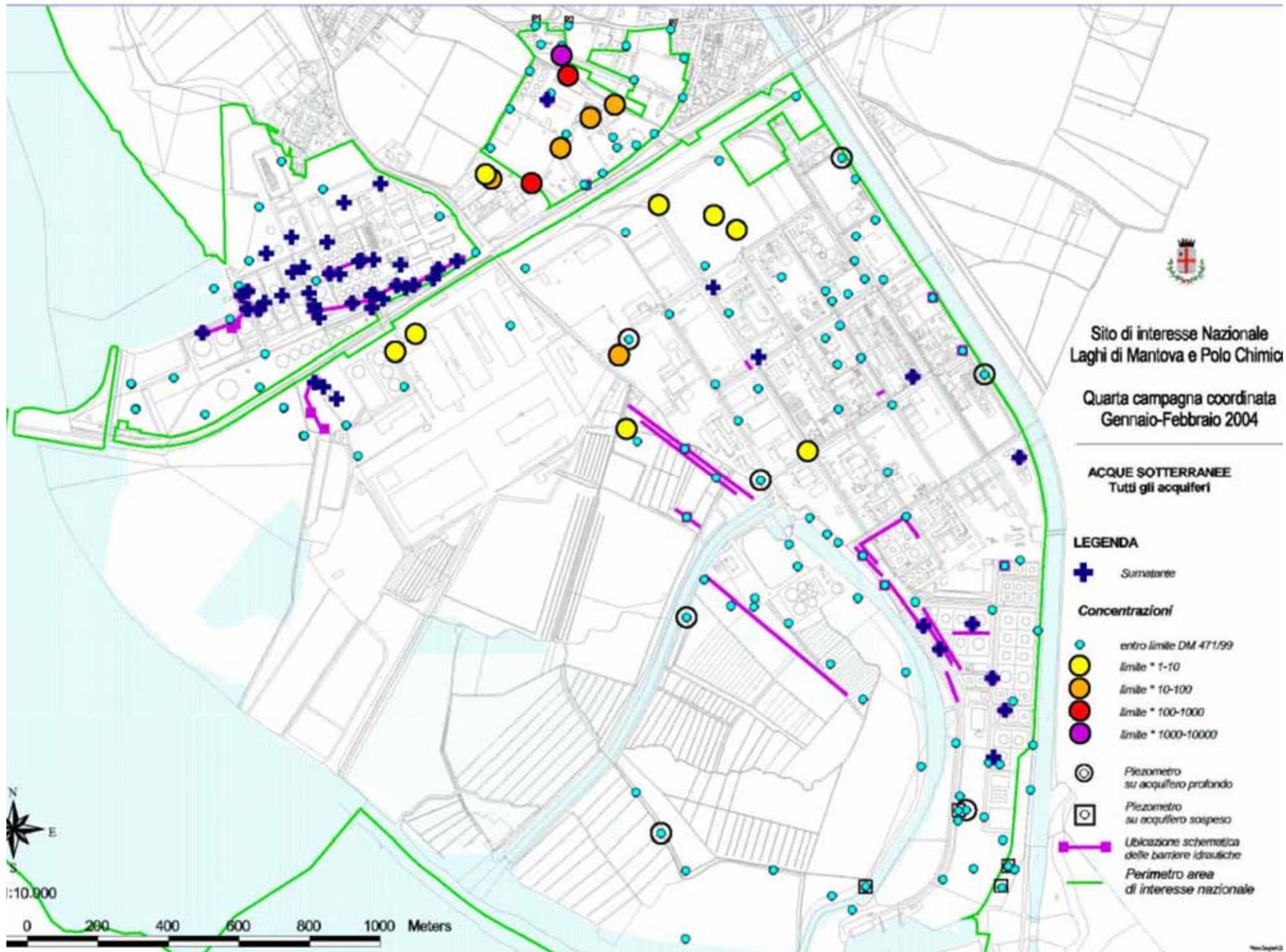
da D.M. 471/99 - CLA ora Concentrazioni Soglia di Contaminazione per il suolo/sottosuolo

LIMITI ALTAMENTE CAUTELATIVI per l'uso residenziale/verde (protezione multifunzionalità)

sostanza	Verde / RES mg /kg	COM / IND mg /kg
Arsenico	20	50

? Possono Questi numeri essere direttamente trasformati in obiettivi di bonifica???

Anilina	0.05	5
Tricloroetilene	1	10
1,1 dicloroetilene	0.5	30
PCB	0.001	5
Monoclorobenzene	0.5	50



Sito di interesse Nazionale
Laghi di Mantova e Polo Chimico

Quarta campagna coordinata
Gennaio-Febbraio 2004

ACQUE SOTTERRANEE
Tutti gli acquiferi

LEGENDA

- + *Summante*
- Concentrazioni**
- *entro limite DM 471/99*
- *limite * 1-10*
- *limite * 10-100*
- *limite * 100-1000*
- *limite * 1000-10000*
- *Piezometro su acquifero profondo*
- *Piezometro su acquifero sospeso*
- *Ubicazione schematica delle barriere idrauliche*
- *Perimetro area di interesse nazionale*





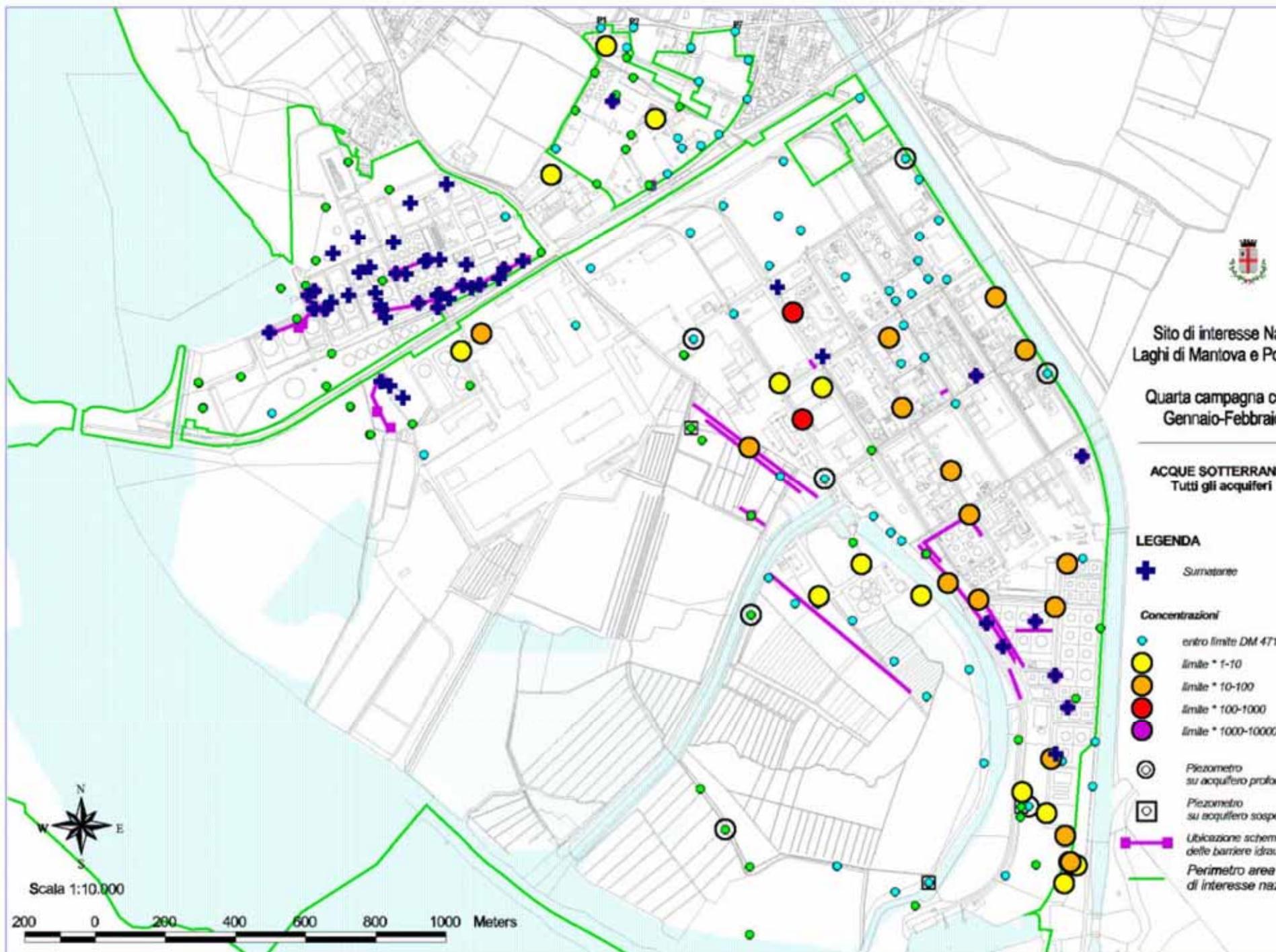
Sito di interesse Naz
Laghi di Mantova e Po

Quarta campagna cox
Gennaio-Febbraio

ACQUE SOTTERRANEE
Tutti gli acquiferi

LEGENDA

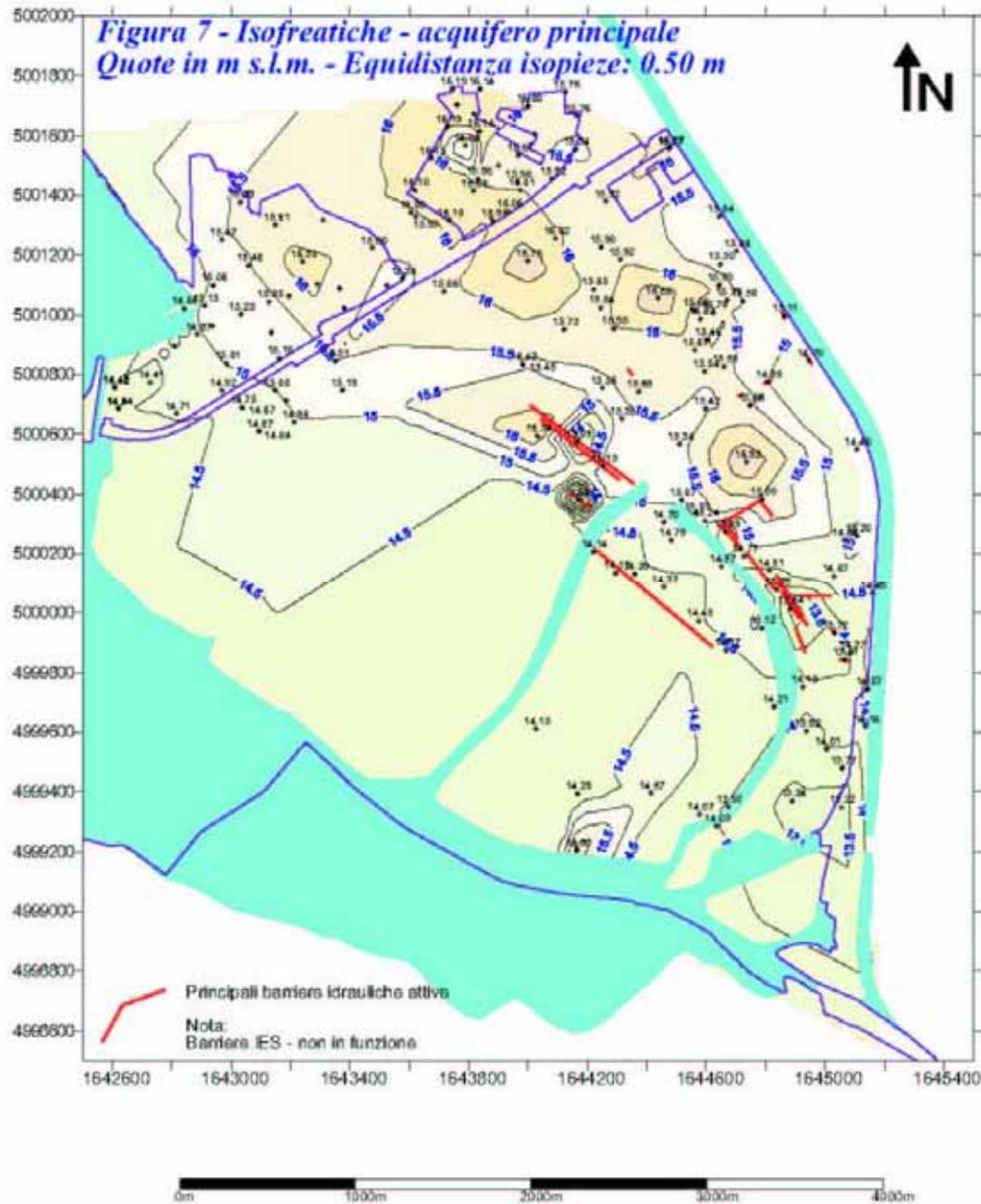
- Summatore
- Concentrazioni**
- entro limite DM 471/9
- limite * 1-10
- limite * 10-100
- limite * 100-1000
- limite * 1000-10000
- Piezometro su acquifero profondo
- Piezometro su acquifero sospeso
- Ubicazione schemati delle barriere idrauliche
- Perimetro area di interesse nazic



Scala 1:10.000

200 0 200 400 600 800 1000 Meters

Prima campagna coordinata
Gennaio 2003



Metodo di interpolazione: triangolazione - lineare

Nel progettare la
caratterizzazione si
deve sapere cosa si
vuole descrivere

Queste elaborazioni,
essenziali per
interpretare i fenomeni di
migrazione
dell'inquinamento
all'interno e all'esterno
del sito, sono possibili
unicamente perché sono
state condotte le
campagne di
monitoraggio coordinate
e sono disponibili dati
omogenei



Comune di Mantova

Sistema Informativo Bonifiche

Analisi dei terreni
(livello superficiale)

DIOSSINE

LEGENDA

-  Perimetro area interesse nazionale
-  Valori entro i limiti DMA 47/199, Colonna A
-  Valori entro i limiti DMA 47/199, Colonna B
-  Valori superiori ai limiti DMA 47/199

Raggio 2000 metri



500 0 500 1000 Meters





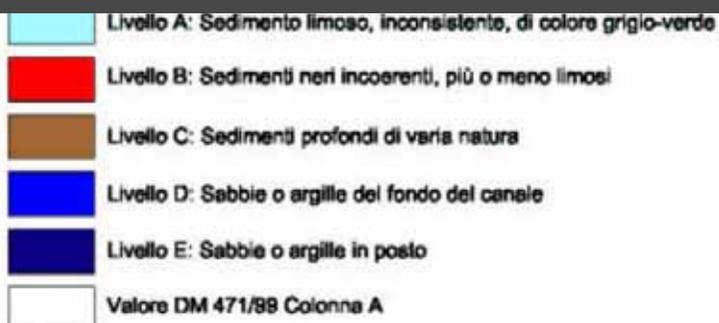
Comune di Mantova

Sistema Informativo Bonifiche

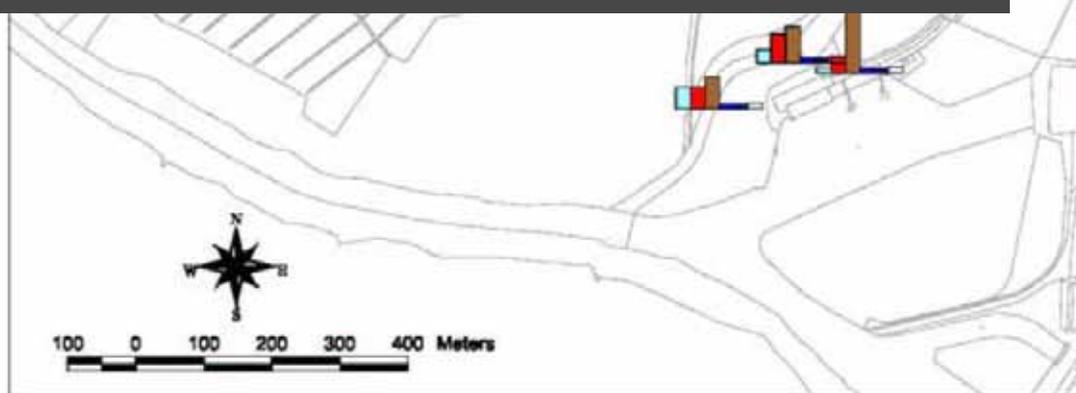


Come definire quali sono i dati mancanti che è necessario ottenere per stimare il rischio per la popolazione prima e dopo l'applicazione delle tecnologie di bonifica o di messa in sicurezza?

Come organizzare le conoscenze disponibili sul sito e sul territorio per quantificare l'impatto del sito inquinato e stabilire gli obiettivi della bonifica del sito e del risanamento territoriale?



Fonte dei dati: Becci, 2004 per Polimeri Europa



Distinguere tra il sito inquinato e il territorio che ha subito l'impatto

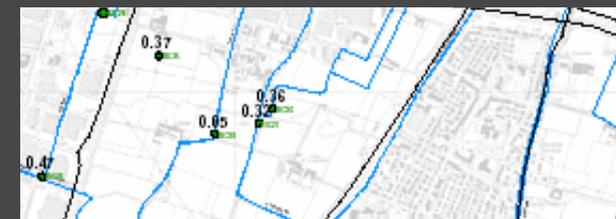
I DATI DI QUESTE MAPPE DEVONO ESSERE ORGANIZZATI ED ELABORATI PER OTTENERE UNA STIMA DEL RISCHIO PER LA POPOLAZIONE

L'uso di valori di concentrazione rigidi ha portato – in Italia ed esperienze internazionali - a costi inaffrontabili e - in Italia – alla paralisi o alla creazione di emergenze: tutte le falde che inquinano tutto e tutti.

Le concentrazioni tabellari sono unicamente una indicazione (molto) preliminare di come arrivare al risanamento: la sorgente, **sito inquinato**, e il bersaglio, il **territorio**, non possono essere trattati allo stesso modo.

Poiché i risultati della stima – analisi di rischio - sono affetti da **incertezza**, si devono attivare strategie di **riduzione dell'incertezza** che non possono essere unicamente interne al procedimento di calcolo (migliorare la modellistica) ma sono costituite dall'integrazione con l'applicazione di **tecnologie di bonifica** e **controlli post-operam**.

Ben più importante è la progettazione e il finanziamento degli interventi di **ripristino (?) e risanamento territoriale**.



L'analisi di rischio si basa sul Modello concettuale:
quantificare le connessioni qualitative e quantitative tra

SORGENTI primarie /secondarie

- discariche
- rifiuti, bidoni interrati
- fognature perdenti



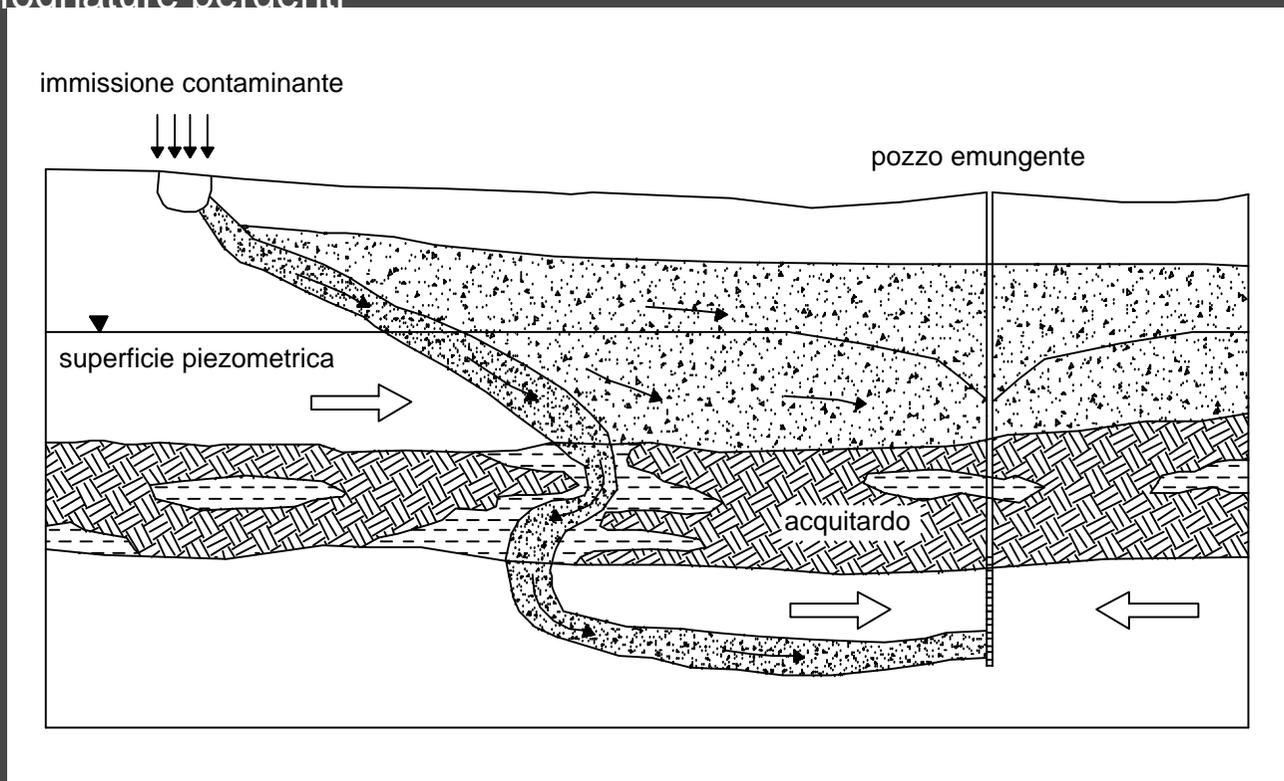
PERCORSI DI MIGRAZIONE

- acque sotterranee
- polveri da suolo superficiale



BERSAGLI

- popolazione
- pozzi
- ecosistemi



Se e' difficile
rimuovere una
sostanza **ne**
consegue che il
rischio di diffusione
nell'ambiente e di
esposizione e'
basso:

l'ADR considera
queste
caratteristiche

VIE DI ESPOSIZIONE PER LA POPOLAZIONE (e gli ecosistemi ?)

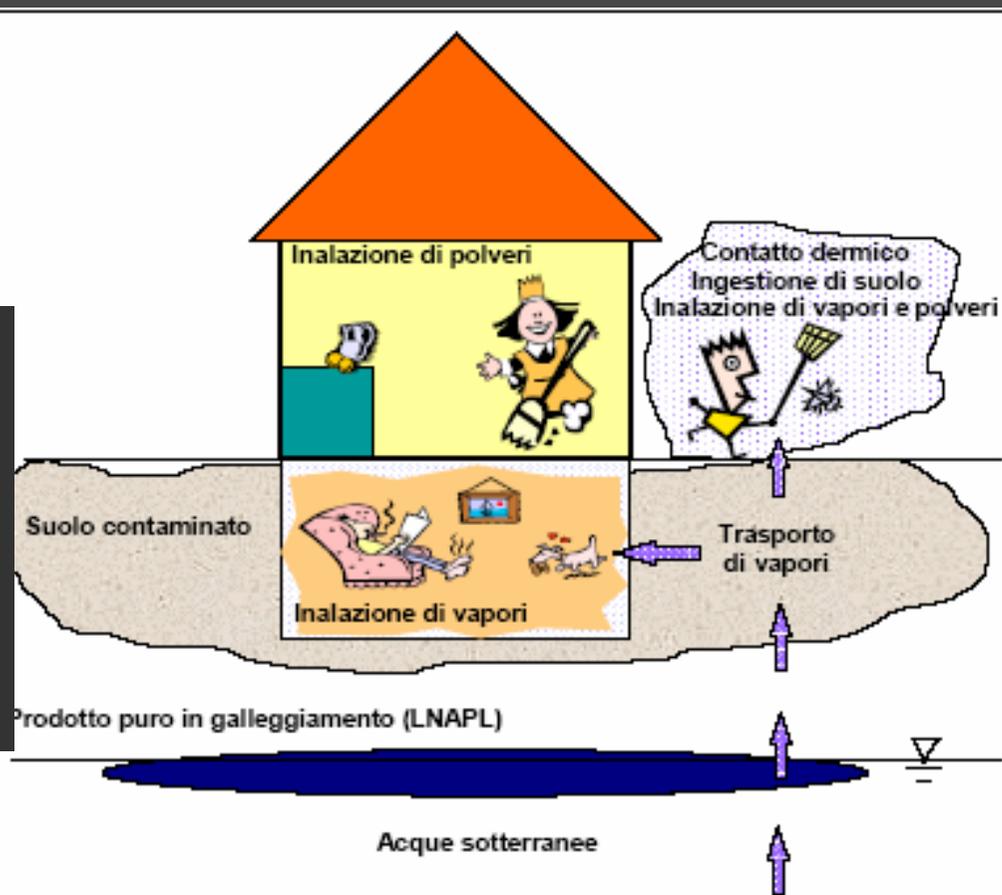
Obiettivo: stima della DOSE di esposizione per ogni via:

INGESTIONE

INALAZIONE

CONTATTO DIRETTO

Necessarie campagne di analisi della dieta e dei prodotti coltivati in loco, dell'atmosfera e del particolato: molto piu' importanti dell'accanimento analitico sui suoli - costoso e di difficile elaborazione



Modello concettuale preliminare **sito** nazionale di Gela

Con i modelli di analisi di rischio, a ritroso si calcolano le concentrazioni residue per il SUOLO che garantiscono un rischio accettabile 10^{-6} o 10^{-5} e queste diventano gli obiettivi di bonifica da raggiungere con l'applicazione delle tecnologie di bonifica.



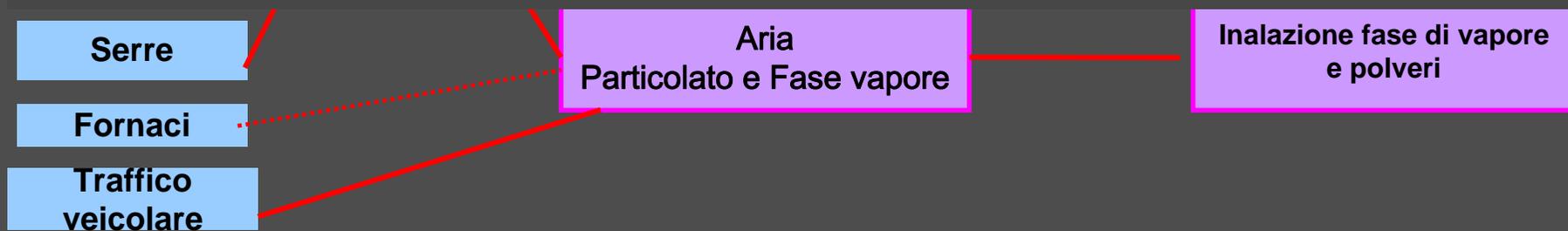
Modello concettuale preliminare **AREA VASTA** di Gela



Per l'area vasta i modelli semplificati di analisi di rischio non sono sufficienti.

Servono studi ad altra dimensione, con monitoraggi specifici (aria, cibo,..) che sostituiscano l'intertezza dei modelli di diffusione.

Per calcolare l'esposizione alle sostanze tossiche.



*Le aree in azzurro corrispondono a sorgenti non attribuibili al sito industriale

TIPOLOGIE DI INTERVENTO PREVISTE NEL DLgs 152/96

- **MISURE di PREVENZIONE**: entro 24 ore per contrastare un evento, atto, omissione, che ha creato una minaccia imminente
- **MESSA in SICUREZZA d'EMERGENZA** per esplosività vapori, surnatante, contaminazione pozzi ad uso potabile, pericolo incendi o esplosioni: contenere la diffusione delle sorgenti primarie; impedire contatto con altre matrici; rimozione
- **MESSA in SICUREZZA OPERATIVA** se il sito ha attività in esercizio: intervento immediato o contenimento della contaminazione
- **BONIFICA**: **eliminare** le fonti di inquinamento e le sostanze inquinanti
- **MESSA in SICUREZZA PERMANENTE**: **isolare** le fonti inquinanti rispetto alle matrici ambientali circostanti
- **MISURE di RIPARAZIONE** (da Direttiva sul Danno): di attenuazione/ riparazione dirette a riparare, risanare o sostituire risorse / servizi naturali danneggiati o fornire equivalente

Tecnologie di bonifica

Ogni trattamento che **riduce la concentrazione** delle sostanze inquinanti nelle matrici ambientali o **altera il comportamento delle sorgenti** dell'inquinamento attraverso processi chimici, biologici, fisici così da **ridurre:**

Tossicità

Volume

del materiale contaminato trattato o il rilascio delle sostanze inquinanti dalla sorgente

Gli interventi nei SIN hanno diffuso la pratica di NON applicare tecnologie di bonifica **MA** di scavare diaframmi plastici di **MESSA IN SICUREZZA D'EMERGENZA**

Il DM 471/99 stabiliva una **gerarchia di criteri** per la selezione delle tecniche di bonifica

- ▶ eliminare o ridurre la concentrazione degli inquinanti nelle matrici ambientali fino ai valori limite
- ▶ privilegiare il ricorso a tecniche che favoriscano la riduzione della movimentazione, il trattamento nel sito ed il riutilizzo del suolo, del sottosuolo e dei materiali di riporto
- ▶ privilegiare le tecniche di bonifica che riducono permanentemente e significativamente la concentrazione nelle diverse matrici ambientali, gli effetti tossici e la mobilità degli inquinanti



ORDINE di PRIORITA' nella VALUTAZIONE delle TECNOLOGIE

trattamenti in-situ: SVE, bioventing, ossidazione chimica

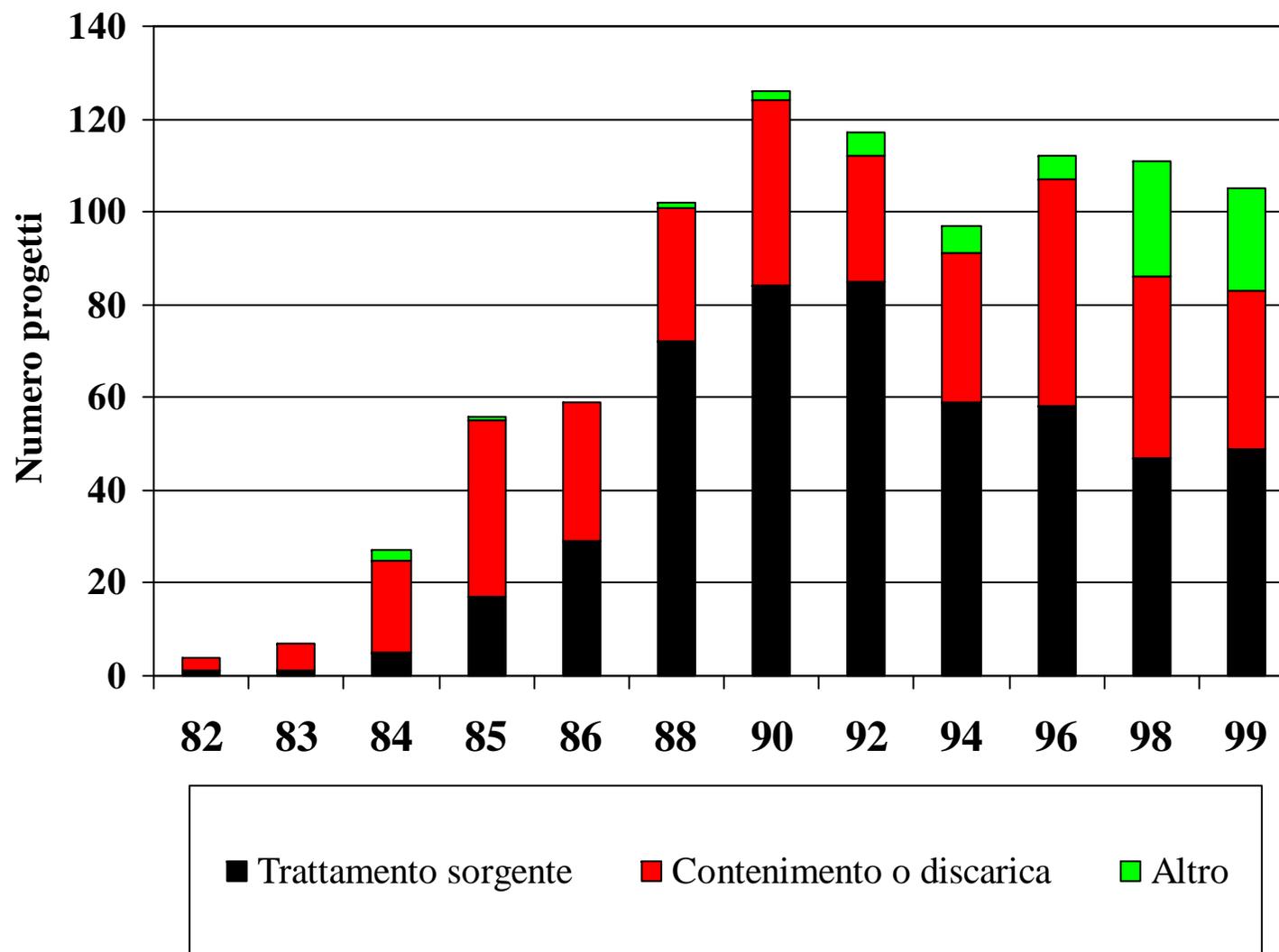
on-site: biopile, lavaggio

off-site: trattamenti in impianti esterni

per i trattamenti on-site e off-site: riutilizzo dei materiali

il conferimento in discarica diviene la soluzione gerarchicamente finale

Tipologia dei progetti di bonifica USA 82-99



L'affascinante chimica-fisica dal suolo governa l'efficacia delle tecnologie di bonifica

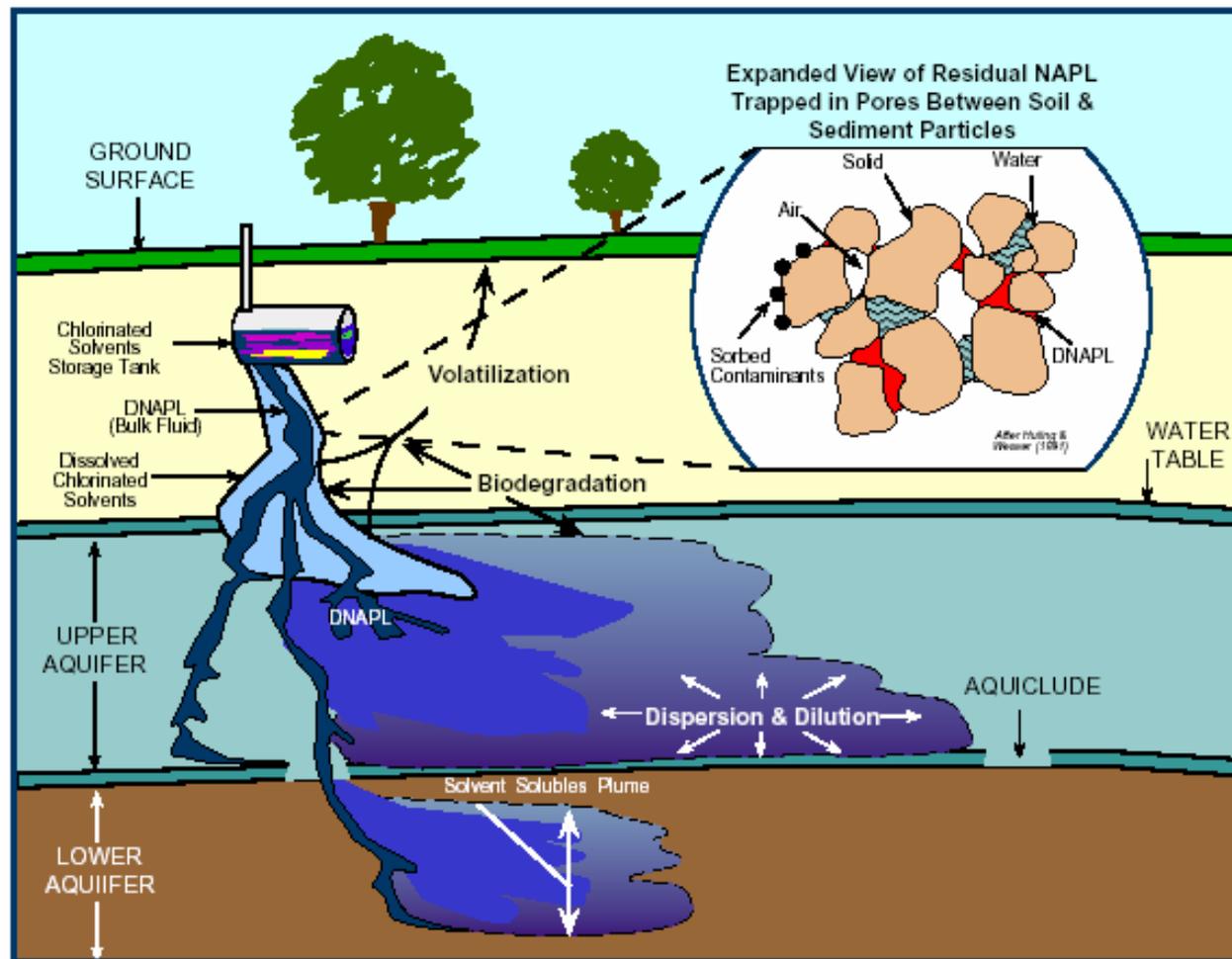


Figure 2. As the bulk chlorinated solvent moves through the subsurface, some of the liquid may be trapped in the soil or sediment pores (residual saturation); some may evaporate (volatilization); some may become sorbed to the surface of the soil particles (sorption) and some may dissolve in the ground water (dissolved plume). Since bulk chlorinated solvents are more dense than water, the liquid tends to move down below the water table. As the dissolved plume moves, the concentration of the dissolved solvents is lowered by dispersion and dilution effects. Microorganisms may degrade hydrocarbons that are dissolved, volatilized or sorbed.

Applicabilita' delle tecnologie di BONIFICA

TECNOLOGIE DI BONIFICA			
Nome	Matrice a cui è applicabile		
	Sottosuolo	Acque sotterranee	Rifiuti
Estrazione di vapore nel suolo	X		
Air Sparging	X	X	
Ossidazione Chimica	X	X	
Fitorisanamento	X		
Biorisanamento	X		
Barriere reattive		X	
Desorbimento termico	X		
Incenerimento	X		X

MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE	
Diaframmi plastici	X
Stabilizzazione / solidificazione	X

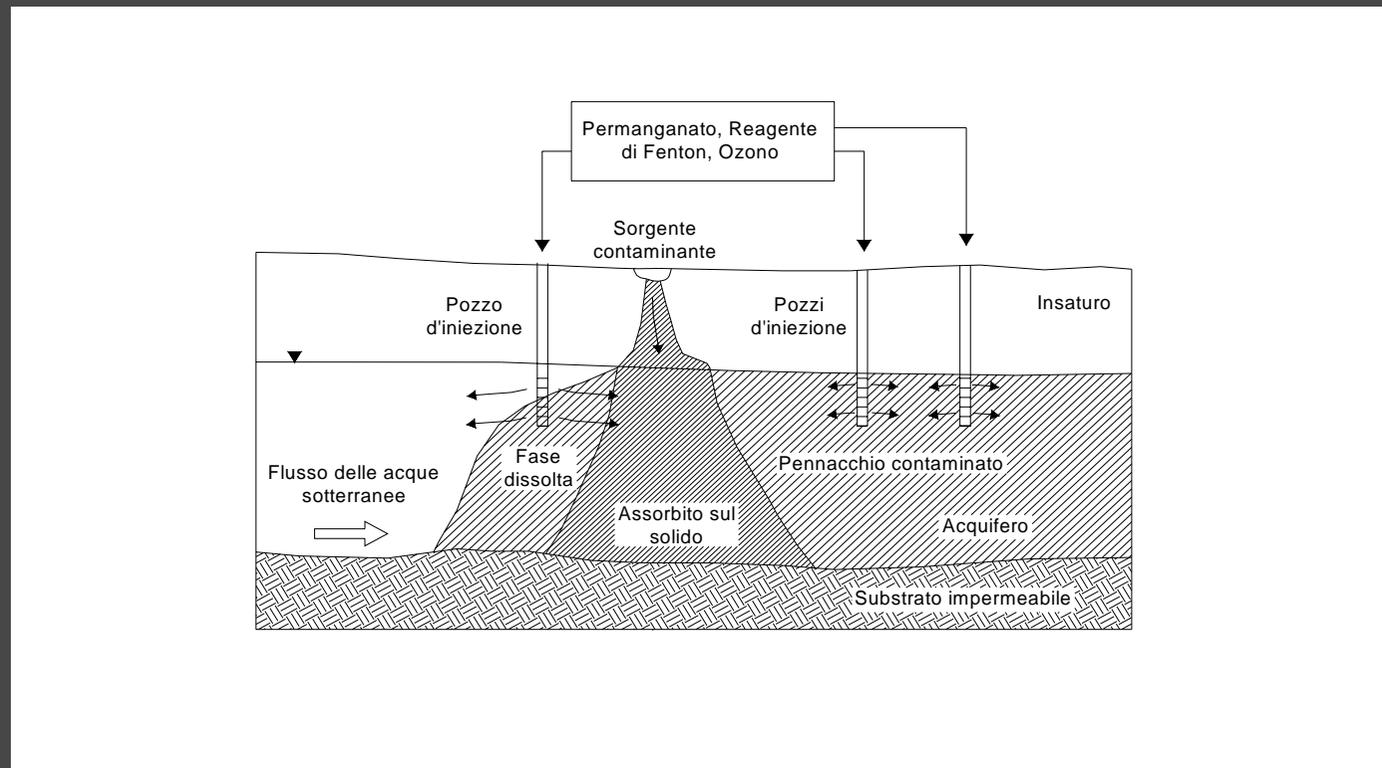
MISURE DI SICUREZZA	
Estrazione e trattamento delle acque sotterranee	

	TECNOLOGIE DI BONIFICA					
	Solventi aromatici	Solventi clorurati	Idrocarburi	IPA	PCB, diossine	Metalli
Estrazione di vapore nel suolo	E	E	E			
Ossidazione Chimica	M			M	M	
Fitorisanamento	M	M	M			E
Desorbimento termico	E	E	E	E	E	
Air Sparging	E	M	E			
Biorisanamento	E	E	E	M	M	
Barriere reattive	E	E	M			M
Incenerimento	E	E	E	E	E	

MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE						
Diaframmi plastici	E	E	E	E	E	E
Stabilizzazione / solidificazione		M				E

Bonifica con iniezione di reagenti in pozzi: biologica e chimica

Si degrada l'inquinante presente in acque sotterranee (e suolo)



Ossidazione chimica in-situ: bonifica di acque sotterranee e sottosuolo

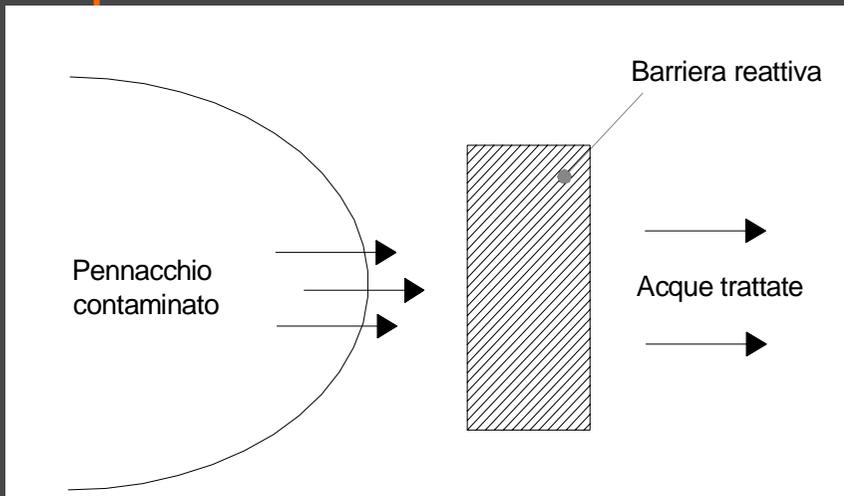
Si inietta nel suolo una miscela reagente: l'agente ossidante trasforma la sostanza contaminante in composti a minore tossicità o conduce la reazione fino alla mineralizzazione

Acqua ossigenata: $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}\cdot + \text{OH}\cdot$ reazione di Fenton;
Permanganato di potassio; Ozono

Si applica a composti organici: solventi clorurati; idrocarburi; policlorofenoli; MTBE

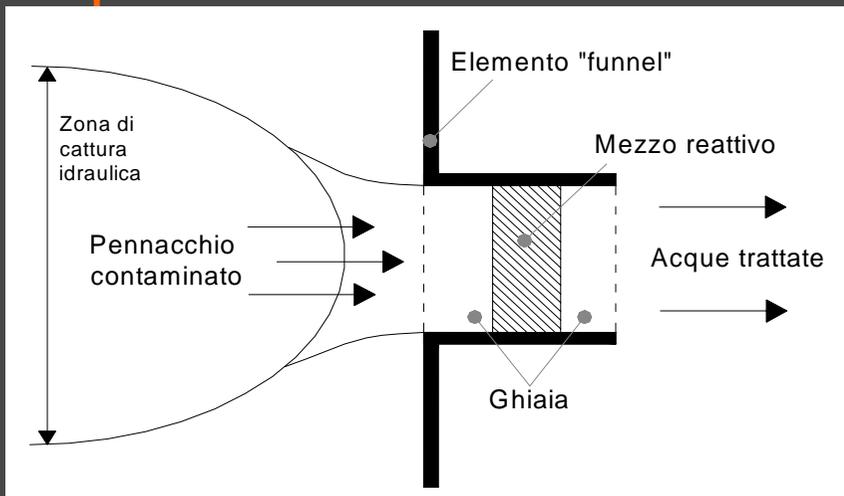


BONIFICA Acque sotterranee mediante BARRIERE REATTIVE



Le barriere reattive (ferro granulare, ...) possono essere impiegate negli interventi di:

- bonifica (per le acque sotterranee)
- messa in sicurezza operativa
- contenimento
- messa in sicurezza permanente



Se non si localizza la fonte o se non è concentrata

Elementi da valutare per definire l'applicabilità delle barriere reattive

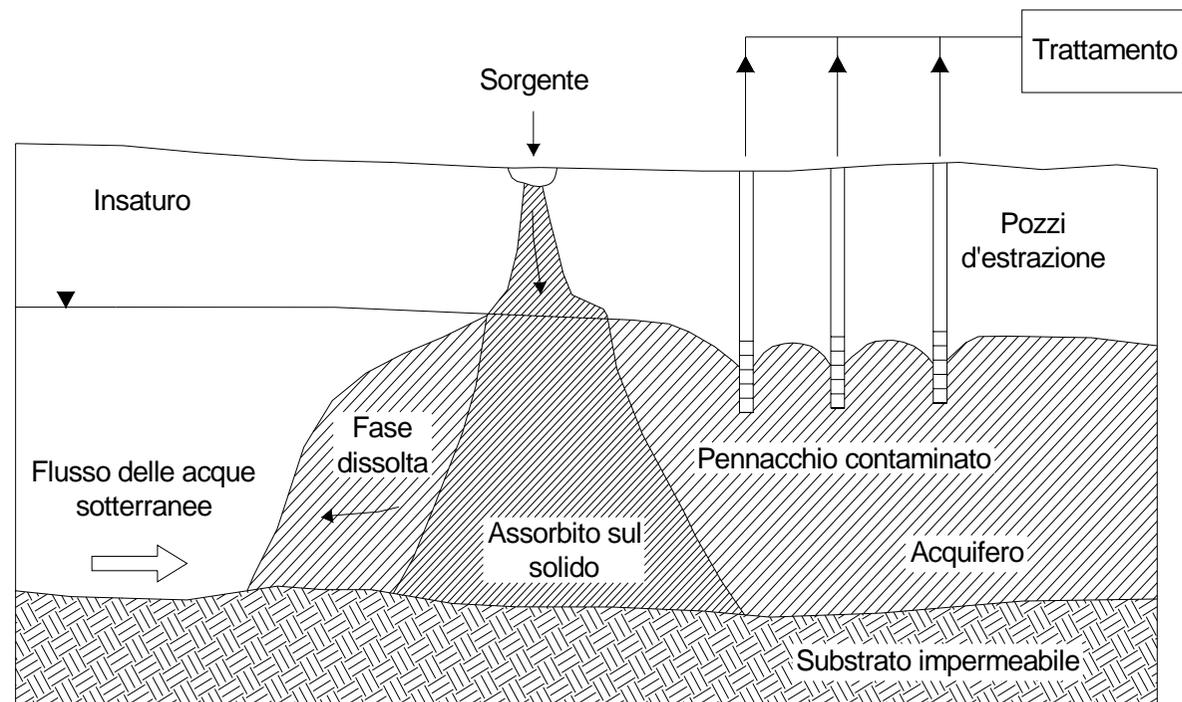
Applicabilità al sito	Elementi necessari alla progettazione
<ul style="list-style-type: none">• scavabilità del terreno• natura e tipologia della contaminazione• estensione, profondità, direzione e velocità di flusso del pennacchio contaminato• presenza, profondità e caratteristiche dello strato a bassa permeabilità• possibilità di smaltimento del terreno di risulta delle operazioni di scavo e dei materiali reattivi esausti	<ul style="list-style-type: none">• 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 delle acque• profondità di installazione• immersione della barriera in un substrato a bassa permeabilità

'Pump and Treat': Non e' bonifica ma CONTENIMENTO

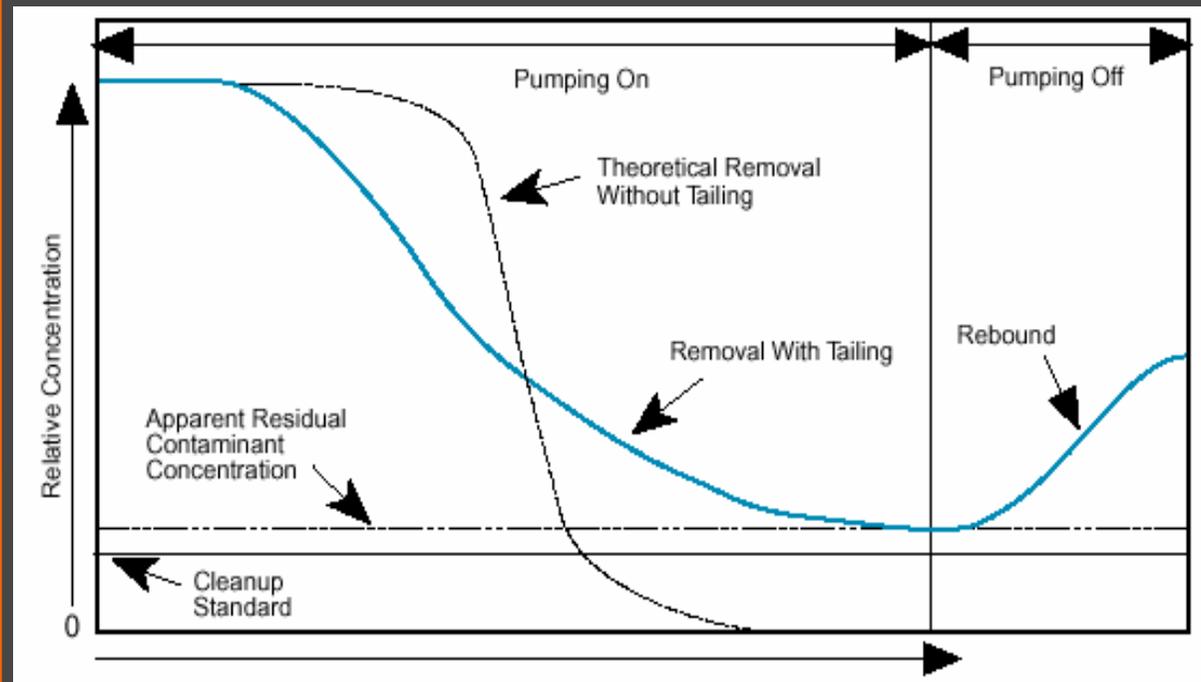
Una barriera di prelievo idraulico interrompe il flusso delle acque sotterranee contaminate. Non agisce sulla sorgente di contaminazione ma contiene il pennacchio inquinato.

L'acqua inquinata è estratta e inviata a impianto di trattamento

Basato sul passaggio degli inquinanti dalle fasi solide all'acqua: efficace solo per composti molto solubili – MtBE, alcuni clorurati, fenoli



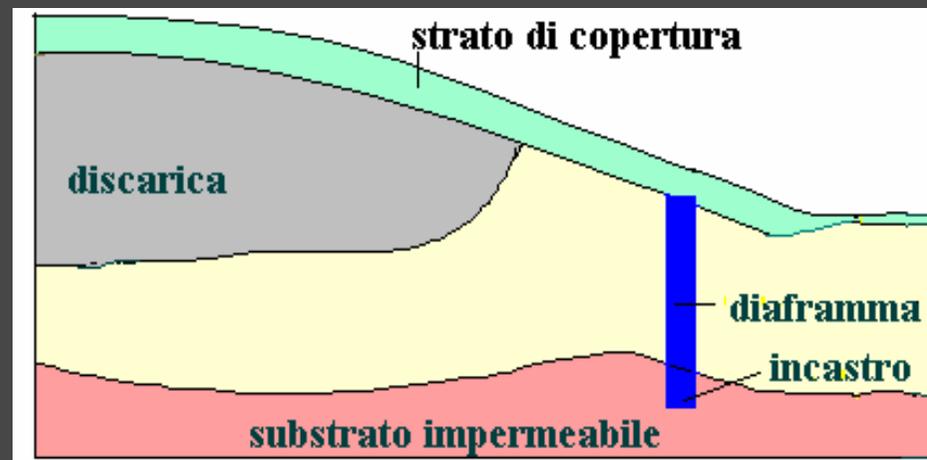
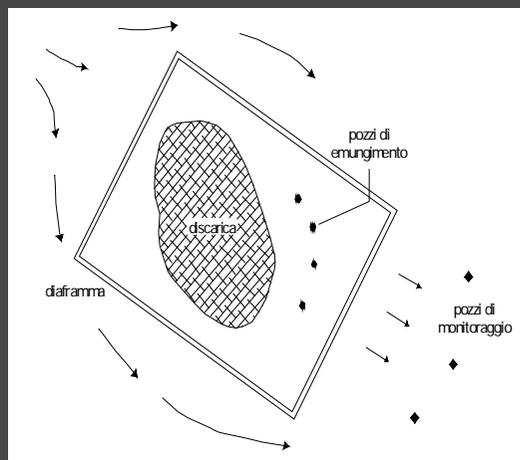
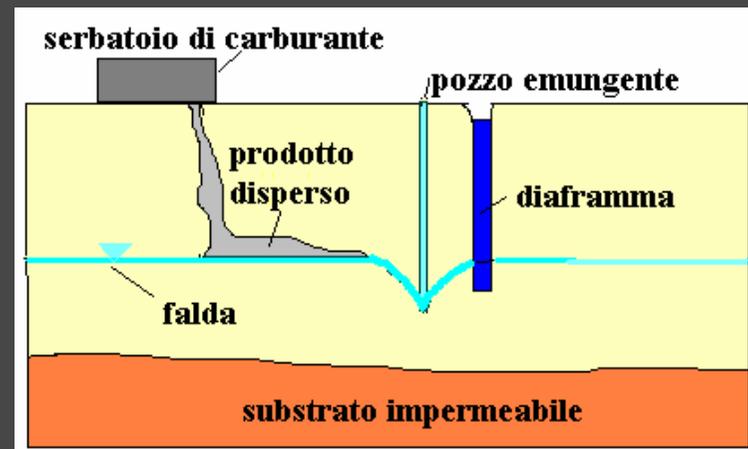
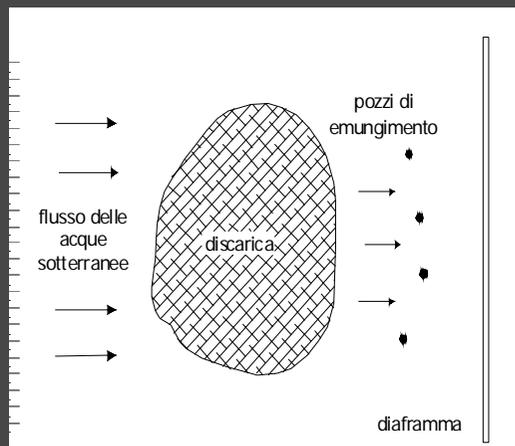
Effetti “coda” e “rimbalzo” (“tailing and rebound”): in USA gli interventi durano da decenni



1. **Ripartizione**: solo la frazione disciolta viene pompata, la concentrazione in acqua dipende dal fattore di ripartizione suolo/acqua del contaminante
2. **Permeabilità del suolo**: difficoltà dell'acqua a penetrare in frazioni di suolo a bassa permeabilità zone con acqua stagnante
3. **Eterogeneità del suolo**: contaminazione maggiore negli strati argillosi ma flusso preferenziale in quelli sabbiosi

BARRIERE FISICHE e contenimento perimetrale: MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE

Le barriere verticali sono realizzate per controllare e limitare il movimento delle acque sotterranee e interrompere la migrazione degli inquinanti dalla fonte alle matrici ambientali.



BARRIERE FISICHE e contenimento perimetrale: tipologie di realizzazione

Barriere ad infissione: palizzata in pannelli d'acciaio

*Barriere ad escavazione - **Diaframmi plastici** opere con finalità di tenuta idraulica e dotate di notevole deformabilità:*

- diaframmi cemento-bentonite
- diaframmi terreno bentonite
- diaframmi in calcestruzzo plastico
- diaframmi compositi

Barriere realizzate mediante gettiniezione

Barriere a miscelazione in-situ

Certamente non sono azioni di emergenza !!!

Gli interventi nei siti di interesse nazionali sono stati basati su questa tipologia!!

Non sono rimovibili

Opere che richiedono dettagliata caratterizzazione

Modellizzazione del flusso idrogeologico

Progettazione di dettaglio: spessore, immorsamento

permeabilità in sito, prelievo di acqua

Richiedono monitoraggio permanente

Distinzione tra le tipologie di intervento

- Obiettivi **Esplicitare gli obiettivi di bonifica:** l'applicazione di ogni tecnica deve essere motivata unicamente dagli obiettivi da raggiungere: quali bersagli proteggere; uso del sito presente e futuro; finanziamenti e recupero territoriale,...
 - Tempi
 - costi
-
- ✓ La **bonifica** riduce, in tempi certi e limitati, il volume di matrice contaminata o la massa del contaminante
 - ✓ La **messa in sicurezza permanente** – definita per discariche abusive, cave .. - se non accoppiata ad interventi sul corpo rifiuti, mantiene inalterata la fonte e richiede controlli prolungati nel tempo
 - ✓ La **messa in sicurezza operativa**, applicata ad aziende in attività, al termine delle attività, richiederà interventi di bonifica
 - ✓ **Interventi di dimensioni limitate:** contenimento, ricoprimento, in specifiche aree

Come e' stata vanificata la normativa

- **Diaframmi plastici**: applicazione in OGNI SIN. Opere/'impianti' di **messa in sicurezza permanente** impropriamente denominate 'messa in sicurezza d'emergenza'
- **Barriere idrauliche**: sono misure di **messa in sicurezza d'emergenza** sono invece state denominate 'interventi di bonifica'
- **Ossidazione chimica in-situ**: **bonifica** mai applicata
- **Analisi di rischio** poco applicata: accettati modellini semplificati per i SIN

Impostazione nazionale della caratterizzazione e dei pochissimi interventi che hanno trascurato le specificita' del territorio – verbali tecnici di centinaia di pagine:

- ✓ Costi esorbitanti di caratterizzazione
- ✓ Nessuna esperienza di qualita' per analisi di rischio. Stima esposizione a Brescia
- ✓ Mancata elaborazione dei dati per suolo e acque sotterranee (campagne non confrontabili)
- ✓ Tempi infiniti, con ricorrenti ulteriori campagne
- ✓ Diaframmi plastici / palancole della lunghezza di decine di km: Mantova, Venezia, Gela, Bagnoli,....

Come procedere per la Campania: l'approccio nazionale non ha accumulato esperienze utili

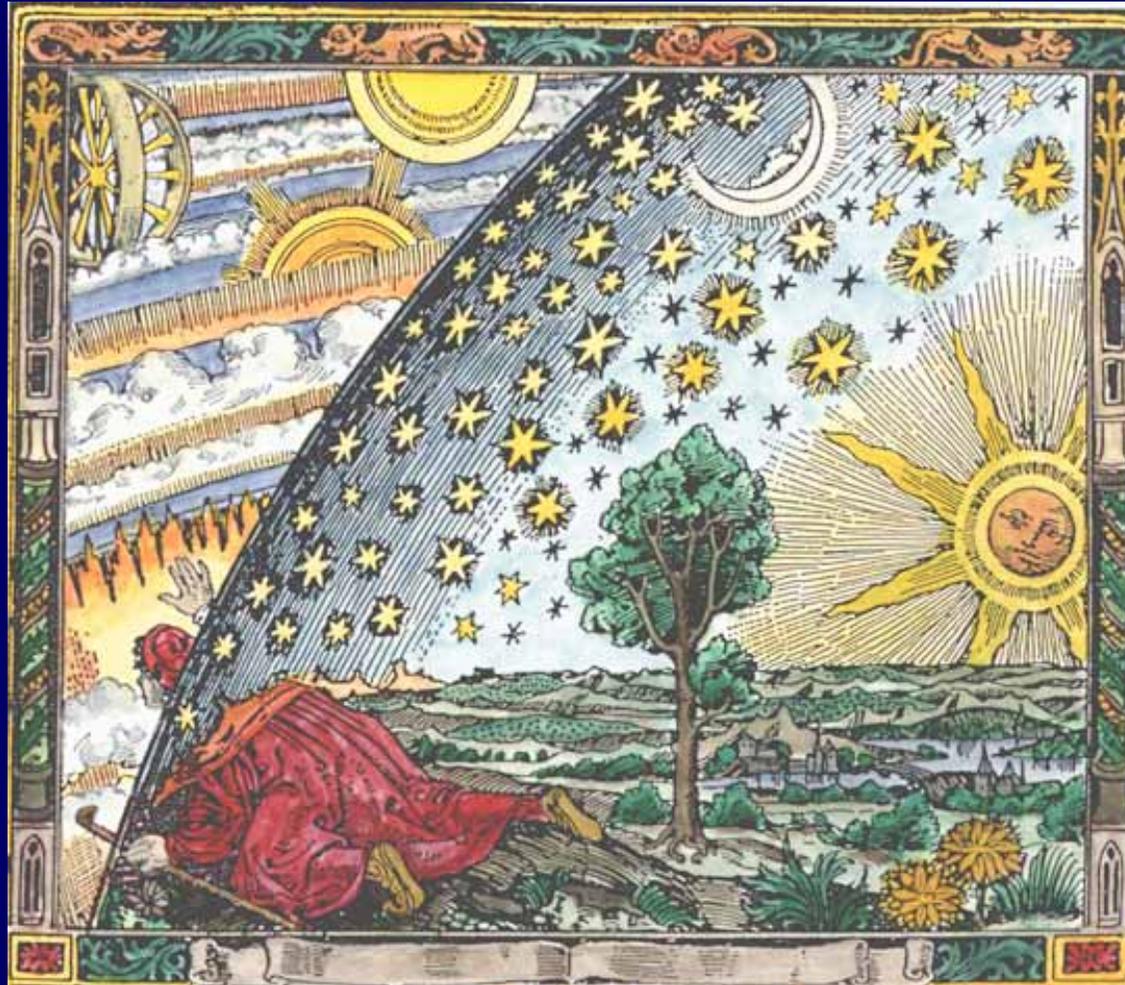
Tipologie dei siti inquinati:

- discarica abusiva
 - abbandono illegale di rifiuti industriali in cava
 - sversamento su suoli agricoli
 - siti industriali nei SIN
 - riporto di sedimenti fluviali contaminati
 - effetto degli incendi di rifiuti abbandonati
-
- ✓ Fondamentale diviene lo studio delle **aree esterne** ai siti per distinguere tra le proprietà del corpo rifiuti/sorgente e il rischio complessivamente generato per la popolazione: distinguendo tra interventi sulle **sorgenti puntuali** ed effetti dell'**inquinamento diffuso**
 - ✓ **Sistema Informativo Territoriale** per la qualità di suoli e acque sotterranee, base per studi di esposizione

Come procedere per la Campania: l'approccio nazionale e' inutile

- ✓ Definire obiettivi di recupero territoriale e produttivo: il risanamento delle **aree agricole** e dei **corsi d'acqua**
- ✓ Definire una precisa interfaccia programmatica con il **Piano dei Rifiuti Regionale – Piano Rifiuti Speciali** (già previsto nel PRB di ARPA): servono infrastrutture per il trattamento di discariche e depositi abusivi
- ✓ **Ricerca** nei settori del trattamento rifiuti speciali: trattamenti termici di piccola scala, inertizzazione...
- ✓ Necessità di **rifinanziamento nazionale e regionale** per gli interventi

Grazie per l'attenzione



s.tunesi@ucl.ac.uk