

# Le tecnologie sostenibili di bonifica delle aree inquinate

*Marco Petrangeli Papini*

*Dipartimento di Chimica - Università di Roma «La Sapienza»*

DIPARTIMENTO DI CHIMICA



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA



**WEBINAR**  
**8 GIUGNO 2021**  
**ORE 10.30-12.30**

**Sostenibilità e recupero  
nella riqualificazione  
delle aree dismesse**



## La sostenibilità nella bonifica dei siti inquinati

Il processo di gestione e bonifica di un sito contaminato, finalizzato ad identificare la migliore soluzione che massimizzi i benefici della sua esecuzione dal punto di vista **ambientale, economico e sociale**, tramite un processo decisionale, condiviso con i portatori di interesse

## ALLEGATO 3 (Parte IV, Titolo V, D.Lgs. 152/2006)

CRITERI GENERALI PER LA SELEZIONE E L'ESECUZIONE DEGLI INTERVENTI DI BONIFICA E RIPRISTINO AMBIENTALE, DI MESSA IN SICUREZZA (D'URGENZA, OPERATIVA O PERMANENTE), NONCHE' PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE MIGLIORI TECNICHE D'INTERVENTO A COSTI SOPPORTABILI

### **Migliori tecniche disponibili (BAT)**

*Principi generali e strumenti per la selezione delle migliori tecniche disponibili (BAT)*

La scelta della migliore tra le possibili tipologie di intervento descritte nei paragrafi precedenti applicabile in un determinato caso di inquinamento di un sito comporta il bilanciamento di vari interessi in presenza di numerose variabili, sia di ordine generale che soprattutto sito-specifiche, quali in particolare:

- il livello di protezione dell'ambiente che sarebbe desiderabile conseguire;
- l'esistenza o meno di tecniche affidabili in grado di conseguire e mantenere nel tempo detti livelli di protezione;
- l'entità dei costi di progettazione, realizzazione, gestione monitoraggio, etc. da sostenere nelle varie fasi dell'intervento.

La formulazione più evoluta cui deve ispirarsi tale bilanciamento di interessi è data dalla **definizione di "migliori tecniche disponibili", contenuta nella Direttiva 96/61/CE**, recepita nel nostro ordinamento, che per la prevenzione ed il controllo integrati dell'inquinamento di talune categorie di impianti considera tale "la più efficiente ed avanzata fase di sviluppo di attività e relativi metodi di esercizio indicanti l'idoneità pratica di determinate tecniche a costituire, in linea di massima, la base dei valori limite di emissione intesi ad evitare oppure, ove ciò si riveli impossibile, a ridurre in modo generale le emissioni e l'impatto sull'ambiente nel suo complesso".

# Direttiva 96/61/CE del Consiglio del 24 settembre 1996 sulla prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento

## Finalità e campo di applicazione

La presente direttiva ha per oggetto la prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento proveniente dalle **attività di cui all'allegato I**. Essa prevede misure intese a evitare oppure, qualora non sia possibile, ridurre le emissioni delle suddette attività nell'aria, nell'acqua e nel terreno, comprese le misure relative ai rifiuti, per conseguire un livello elevato di protezione dell'ambiente nel suo complesso, lasciando impregiudicate le disposizioni della direttiva 85/337/CEE concernente la valutazione dell'impatto ambientale di determinati progetti pubblici e privati nonché altri requisiti comunitari.

11) «migliori tecniche disponibili», la più efficiente e avanzata fase di sviluppo di attività e relativi metodi di esercizio indicanti l'idoneità pratica di determinate tecniche a costituire, in linea di massima, la base dei valori limite di emissione intesi ad evitare oppure, ove ciò si riveli impossibile, a ridurre in modo generale le emissioni e l'impatto sull'ambiente nel suo complesso. Per:

- «**tecniche**», si intende sia le tecniche impiegate sia le modalità di progettazione, costruzione, manutenzione, esercizio e chiusura dell'impianto;
- «**disponibili**», qualifica le tecniche sviluppate su una scala che ne consenta l'applicazione in condizioni economicamente e tecnicamente valide nell'ambito del pertinente comparto industriale, prendendo in considerazione i costi e i vantaggi, indipendentemente dal fatto che siano o meno applicate o prodotte nello Stato membro di cui si tratta, purché il gestore possa avervi accesso a condizioni ragionevoli;
- «**migliori**», qualifica le tecniche più efficaci per ottenere un elevato livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso.

## **ALLEGATO I**

### **CATEGORIE DI ATTIVITÀ INDUSTRIALI DI CUI ALL'ARTICOLO 1**

1. Attività energetiche
2. Produzione e trasformazione dei metalli
3. Industria dei prodotti minerali
4. Industria chimica
5. Gestione dei rifiuti
6. Altre attività

.....

*6.5. Impianti per l'eliminazione o il ricupero di carcasse e di residui di animali con una capacità di trattamento di oltre 10 tonnellate al giorno*

.....

## COME IL CONCETTO DI SOSTENIBILTA' SI APPLICA NELLA SELEZIONE DI UN INTERVENTO DI BONIFICA (alcune considerazioni)

- Procedura (percorso amministrativo)
- Qualità della caratterizzazione
- Modelli concettuali a supporto della bonifica vs Modelli concettuali come base per l'Analisi di Rischio
- Conoscenza/consapevolezza degli strumenti tecnologici disponibili
- Consapevolezza della capacità di raggiungimento degli obiettivi di bonifica

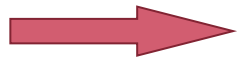
## Art. 242 – D.Lgs. 152/2006

### Procedure operative ed amministrative

.....

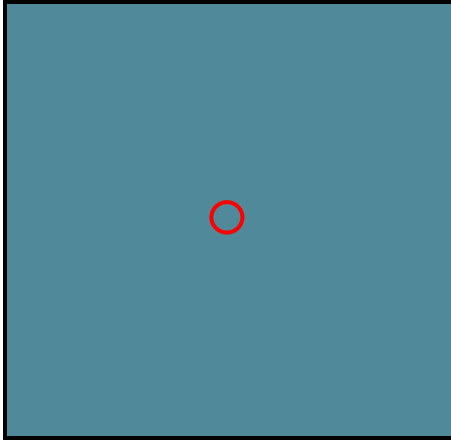
4. Sulla base delle risultanze della caratterizzazione, al sito è applicata la procedura di analisi del rischio sito specifica per la determinazione delle concentrazioni soglia di rischio (CSR). *I criteri per l'applicazione della procedura di analisi di rischio sono stabiliti con decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, di concerto con i Ministri dello sviluppo economico e della salute entro il 30 giugno 2008.* Nelle more dell'emanazione del predetto decreto, i criteri per l'applicazione della procedura di analisi di rischio sono riportati nell'Allegato 1 alla parte quarta del presente decreto.

.....

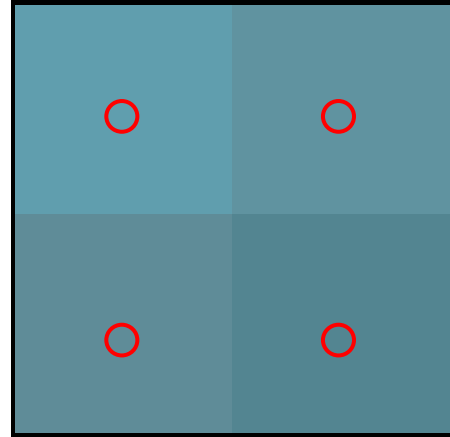


# Risoluzione nella caratterizzazione di un sito inquinato

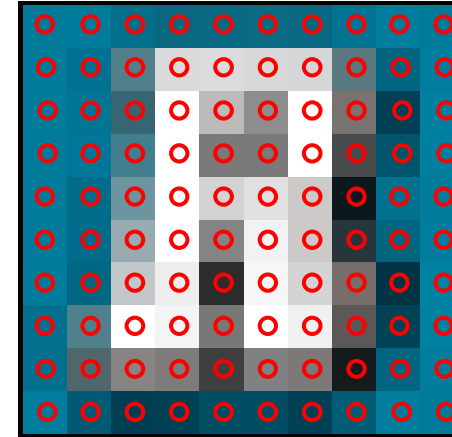
**1 x 1**



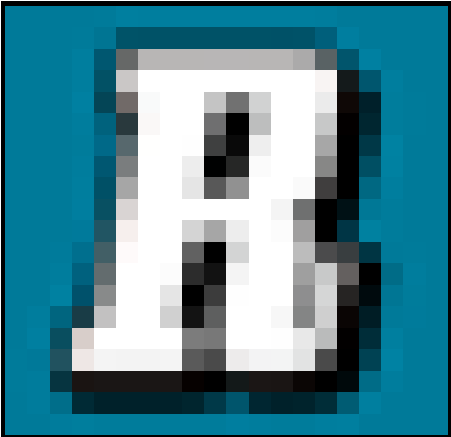
**2 x 2**



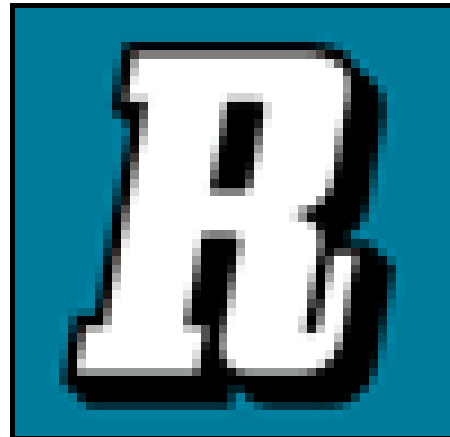
**10 x 10**



**20 x 20**



**50 x 50**

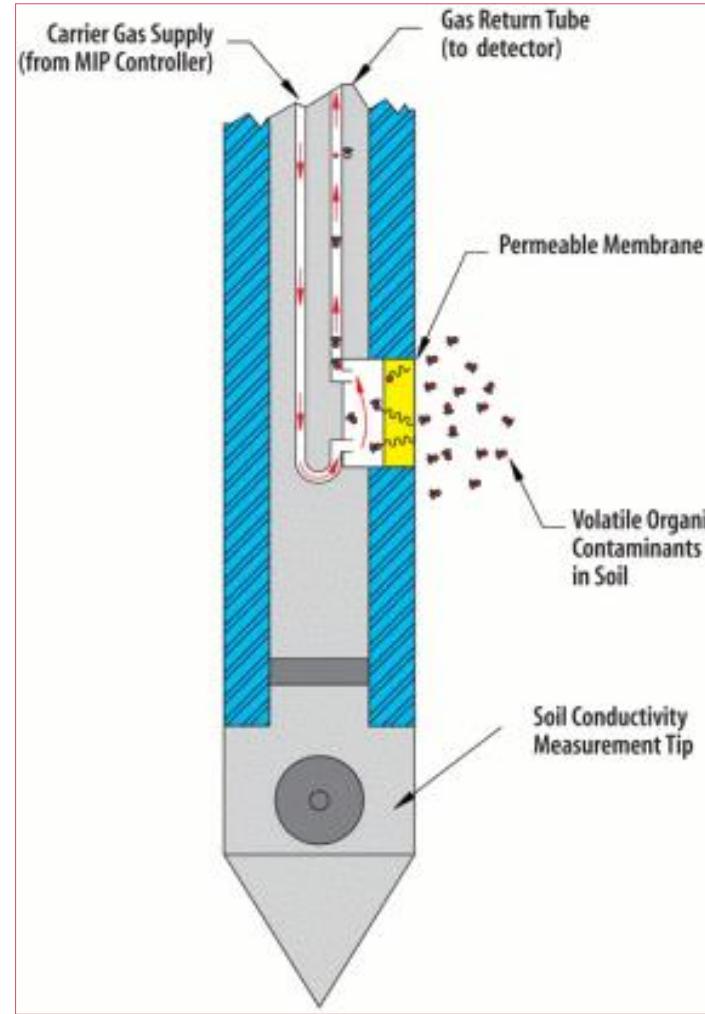


**100 x 100**



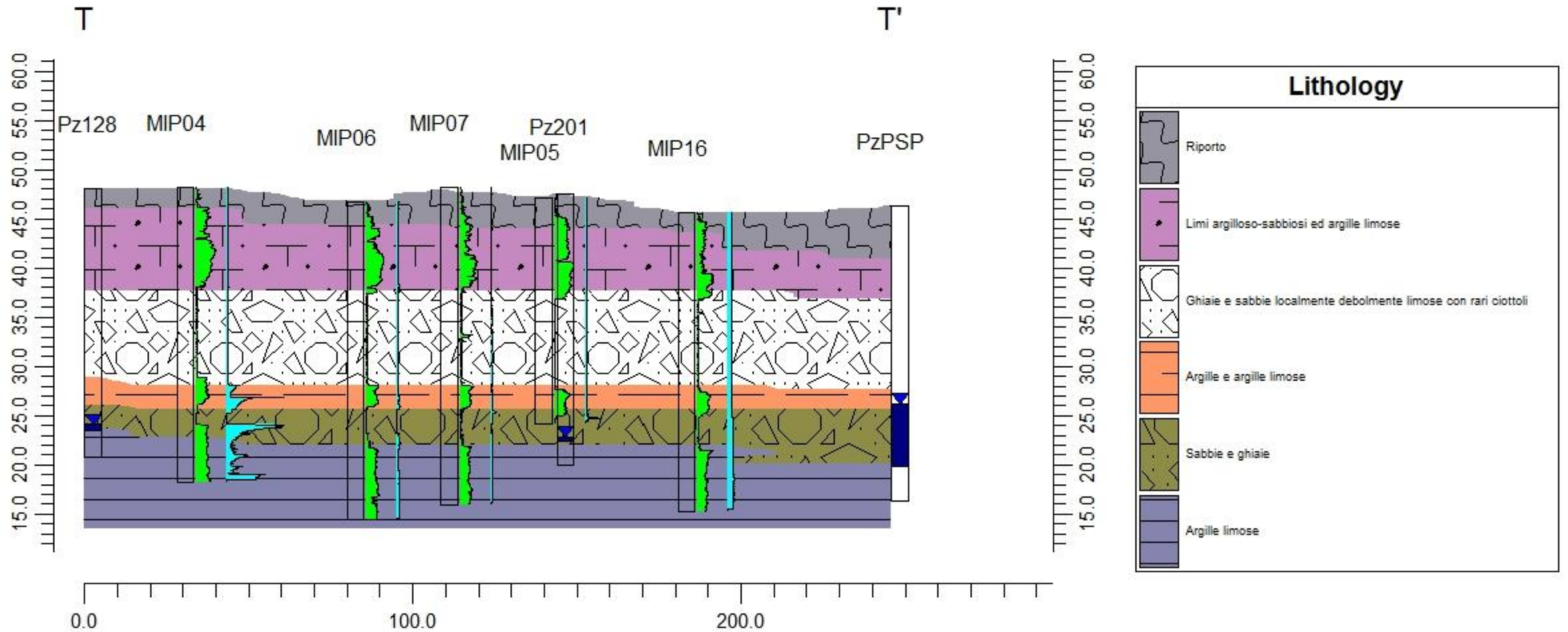


# HRSC → MIP (Membrane Interface Probe)



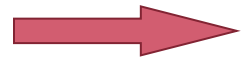
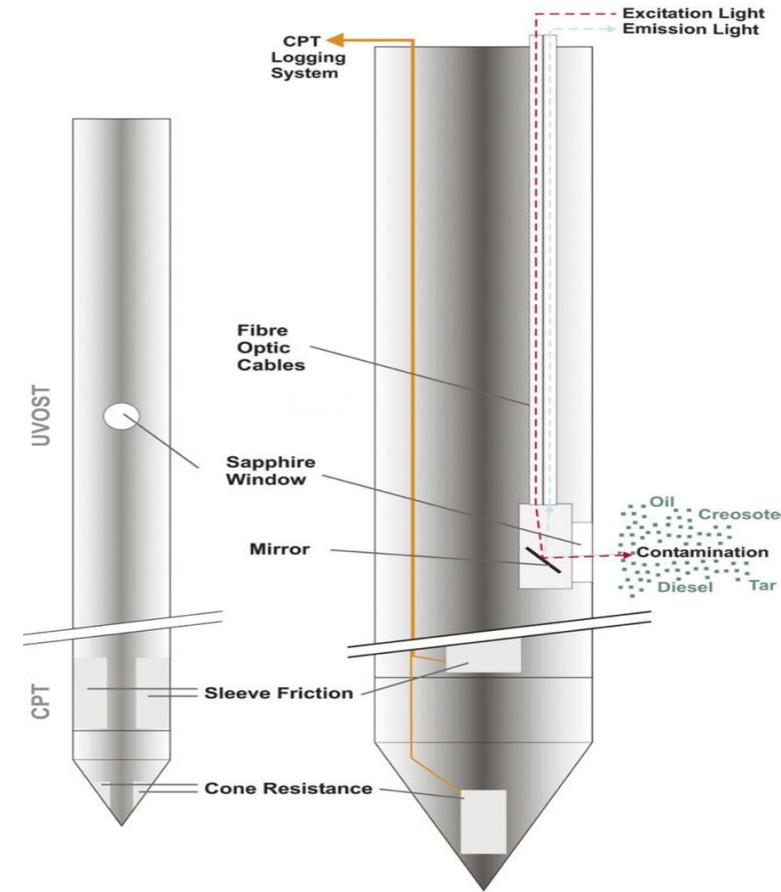
# HRSC → MIP (Membrane Interface Probe)

Cross-Section T-T'

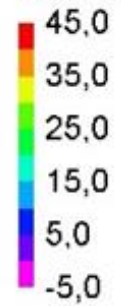




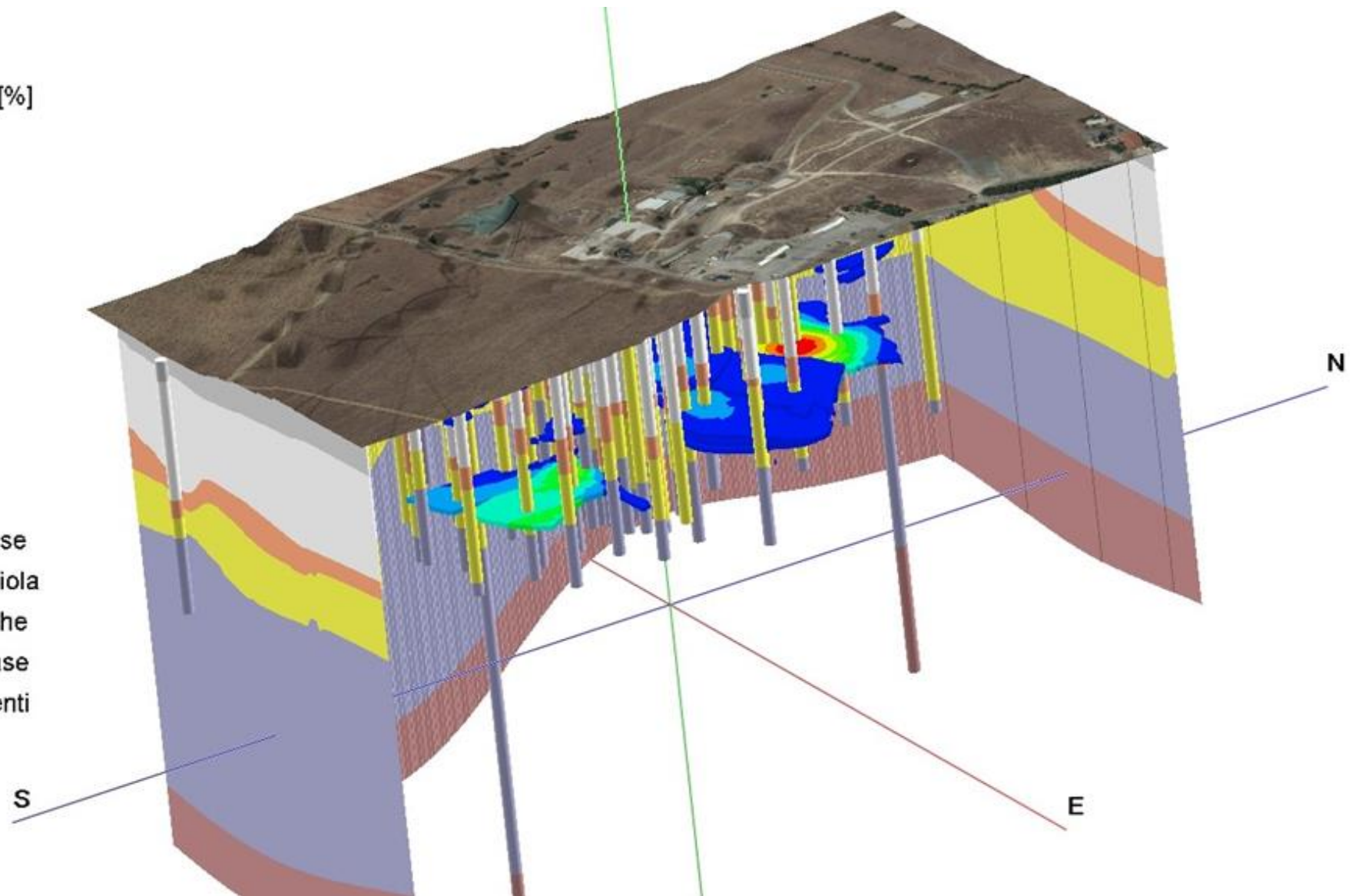
# HRSC → LIF (Laser Induced Fluorescence)



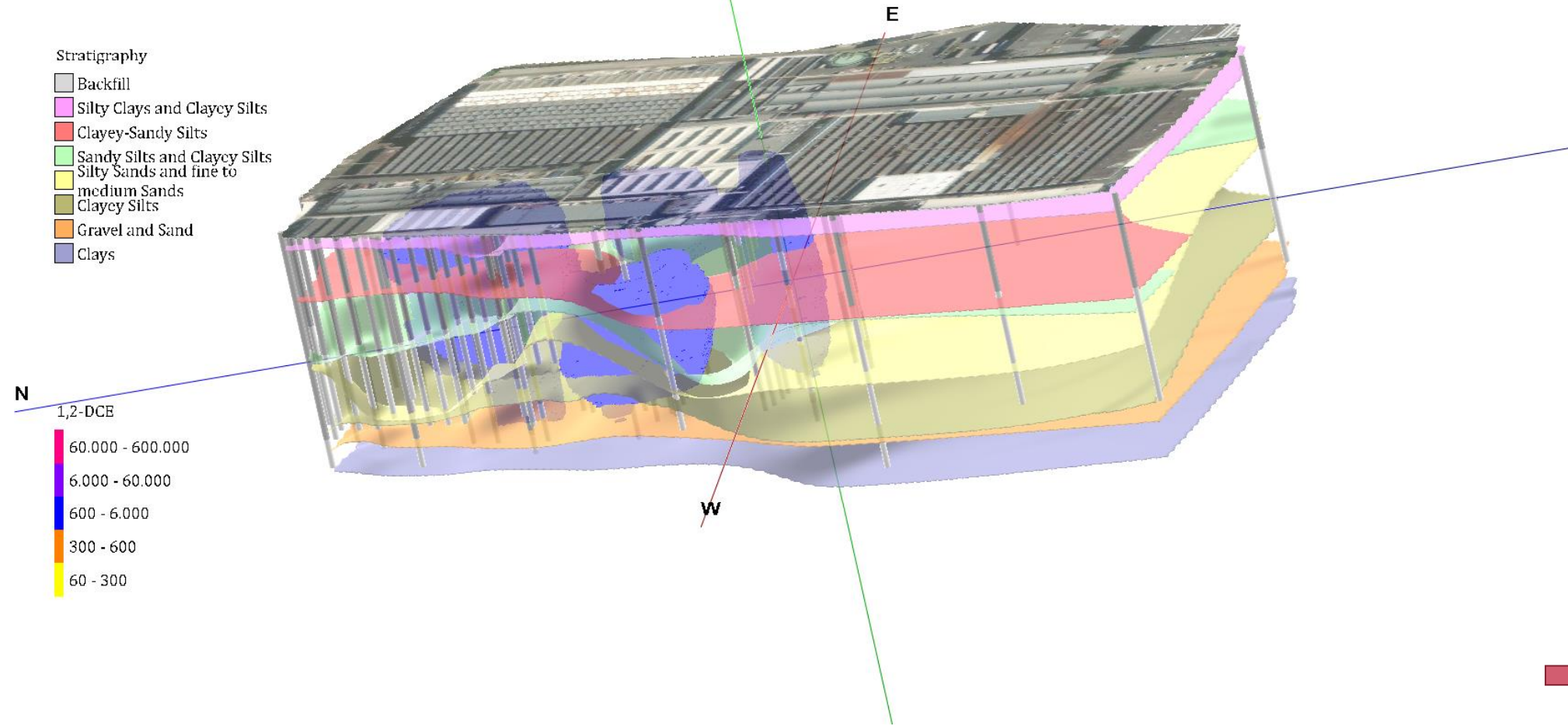
Fluorescence [%]



Stratigraphy



# Integrated Conceptual Site Model (3D)





# Matrice di screening delle tecnologie di bonifica

Giudizio		😊 = Buono	😐 = Medio	😞 = Basso
Contaminanti trattati		Efficienza dimostrata	Limitata efficienza	Efficienza non dimostrata
Tempi	suolo in situ	Meno di 1 anno	Da 1 a 3 anni	Oltre 3 anni
	suolo ex situ	Meno di 0,5 anno	Da 0,5 a 1 anno	Oltre 1 anno
	acque	Meno di 3 anni	Da 3 a 10 anni	Oltre 10 anni
Necessità di manutenzione/ monitoraggio a lungo termine		Necessità di un basso grado di manutenzione	Necessità di un medio grado di manutenzione	Necessità di un alto grado di manutenzione
Impatti a breve e lungo termine sulle risorse naturali		Bassi impatti sulle risorse naturali/Alta sostenibilità	Medi impatti sulle risorse naturali/Medi sostenibilità	Alti impatti sulle risorse naturali/Bassa sostenibilità

⬡ = Il livello di efficienza dipende dallo specifico contaminante, dalle condizioni sito specifiche e dalla progettazione

	Composti Inorganici						Composti Organici														Tempi	Necessità di manutenzione/ monitoraggio a lungo termine	Impatti a breve e lungo termine sulle risorse naturali	Applicabilità e limiti	Costi Studio
	Arsenico	Cadmio	Cromo	Piombo	Mercurio	Zinco	Altri metalli e composti inorganici	Idrocarburi Aromatici	Idrocarburi Policiclici Aromatici	Idrocarburi Alifatici clorurati cancerogeni	Idrocarburi Alifatici clorurati non cancer.	Idrocarburi Alifatici alogenati cancer.	Nitrobenzoli	Clorobenzeni	Fenoli non clorurati	Fenoli clorurati	Ammine aromatiche	Ftaliati	Dossine e furani						
Suolo, sedimenti																									
- trattamento biologico in situ																									
- Bioventing	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Bioremediation	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Phytoremediation	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- trattamento chimico-fisico in situ																									
- Ossidazione chimica	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Ossidazione elettrochimica	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Separazione elettrocinetica	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Soil Flushing	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Soil Vapour Extraction	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Solidificazione/Stabilizzazione	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- trattamento termico in situ																									
- Trattamento termico	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- trattamento biologico ex situ (con escavazione)																									
- Biopile	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Compostaggio	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Landfarming	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Bioreattori	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- trattamento chimico-fisico ex situ (con escavazione)																									
- Estrazione chimica	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Ossidazione/riduzione chimica	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Soil Washing	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Solidificazione/Stabilizzazione	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- trattamento termico ex situ (con escavazione)																									
- Incenerimento/Piroisi	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Desorbimento termico	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- altro																									
- Copertura superficiale (Capping)	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Scavo e smaltimento in discarica	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
Acque sotterranee, acque superficiali																									
- trattamento biologico in situ																									
- Bioremediation	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Attenuazione naturale monitorata	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Phytoremediation	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- trattamento chimico-fisico in situ																									
- Air Sparging	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Ossidazione chimica	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Ossidazione elettrochimica	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- In-Well Air Stripping	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Dual/Multi Phase Extraction	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Barriere permeabili reattive	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- trattamento biologico ex situ																									
- Bioreattori	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Lagunaggi	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- trattamento chimico-fisico ex situ (con estrazione delle acque e conferimento in idoneo impianto)																									
- Processi di ossidazione avanzata	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Air Stripping	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Carboni attivi	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Pump and treat	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			
- Scambio ionico	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊			

**ESTCP Project ER-201120: *Development of an Expanded, High-Reliability Cost and Performance Database for In-Situ Remediation Technologies***

**Valutazione della performance di tecnologie *in situ* in siti contaminati da solvent clorurati**

- **Database by the Numbers**

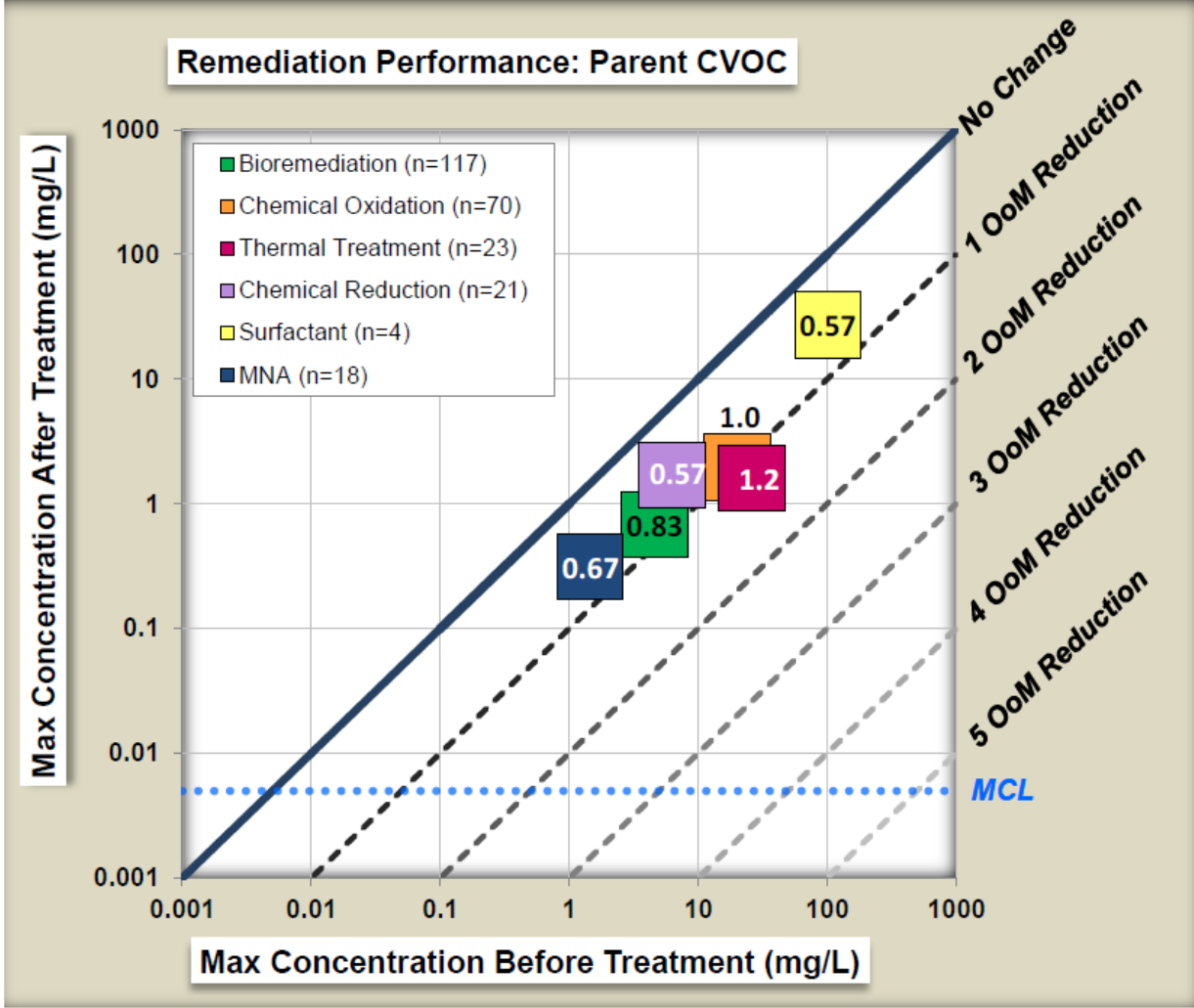
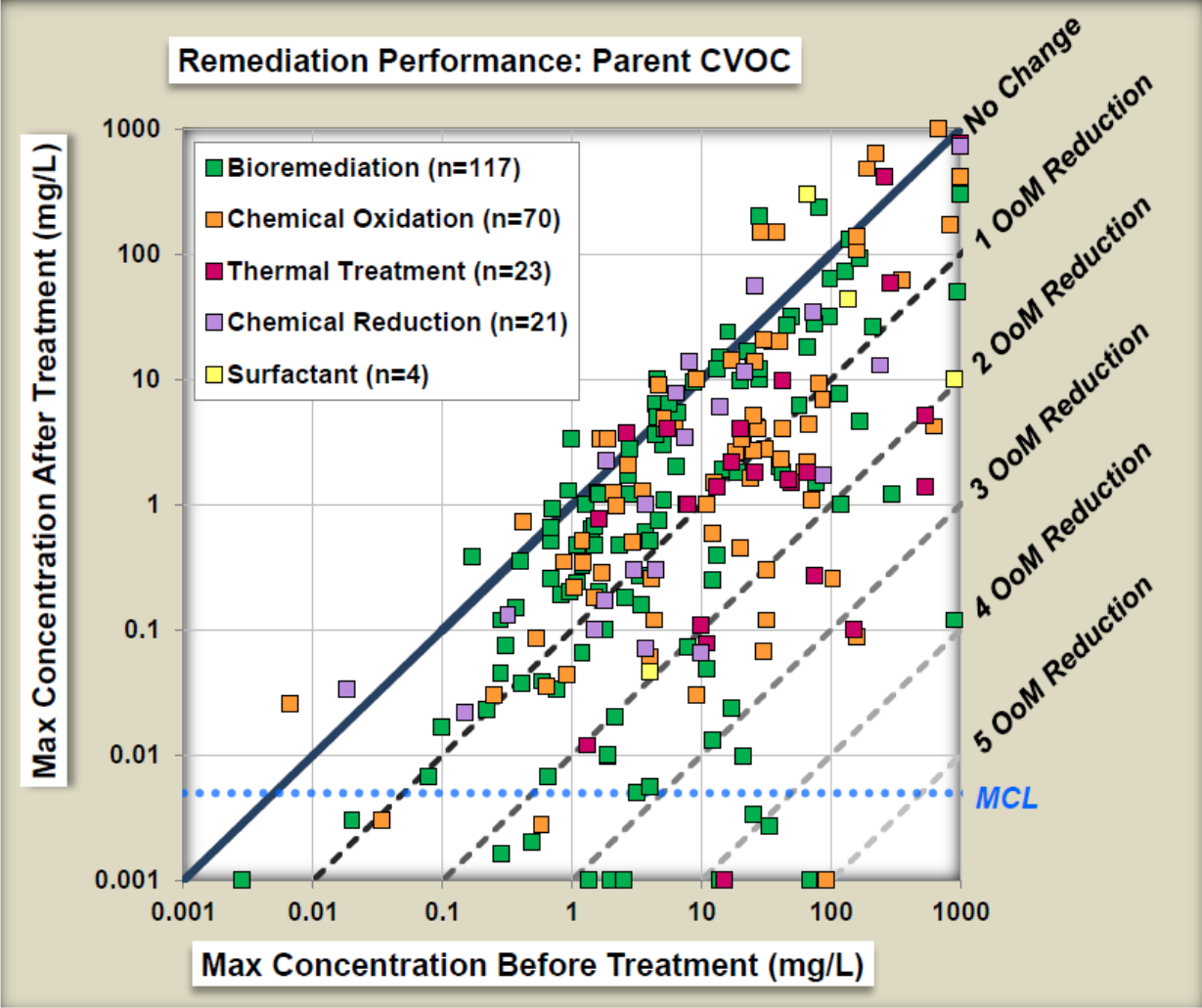
- ⇒ 280 Chlorinated Solvent Groundwater Sites
  - ⇒ 235 In-Situ Remediation Sites
  - ⇒ 45 Untreated (MNA) Sites
- ⇒ 796 Wells
- ⇒ 11,965 Sampling Events
- ⇒ 48,594 Chlorinated Compound Concentrations
- ⇒ ~ \$120,000,000 at \$10,000 per event

**IN SITU REMEDIATION  
PERFORMANCE AND  
COST:  
What Happened at 235  
Sites?**

**Charles Newell**

*10<sup>th</sup> International Conference  
on Remediation of  
Chlorinated  
and Recalcitrant Compounds*

**Palm Springs 2016**





# Superfund Remedy Report – 16° Edition – Luglio 2020

**Figure 13: Selection Trends for Decision Documents with Groundwater Remedies (FY 1982-2017)**

