

LA GEOLOGIA NEL MONDO DEL LAVORO

A PIERLUIGI FRIELLO: UN GEOLOGO PROFESSIONISTA, UN AMICO

Seminari di orientamento per gli studenti iscritti alla Laurea Triennale in Scienze Geologiche e alle Lauree Magistrali nel settore utile per la preparazione agli Esami di Stato e per l'aggiornamento professionale continuo dei Geologi professionisti

Aree contaminate: elementi di base per risanamento e normativa

ROBERTO CECCARINI

Agenzia Regionale Protezione Ambientale del Lazio

GEOLOGIA
IDROGEOLOGIA
GEOFISICA
GEOCHIMICA
MINERALOGIA
PETROGRAFIA
GEOMORFOLOGIA
GEOTECNICA
RILIEVO/INDAGINE DI CAMPO
MODELLIZZAZIONE
PIANIFICAZIONE/PROGETTAZIONE

**ESISTE UN CAMPO DI STUDI/LAVORO
CHE CONSENTE DI APPLICARE ED
APPROFONDIRE GLI INSEGNAMENTI
FONDAMENTALI DEL CORSO DI LAUREA
IN SCIENZE GEOLOGICHE?**





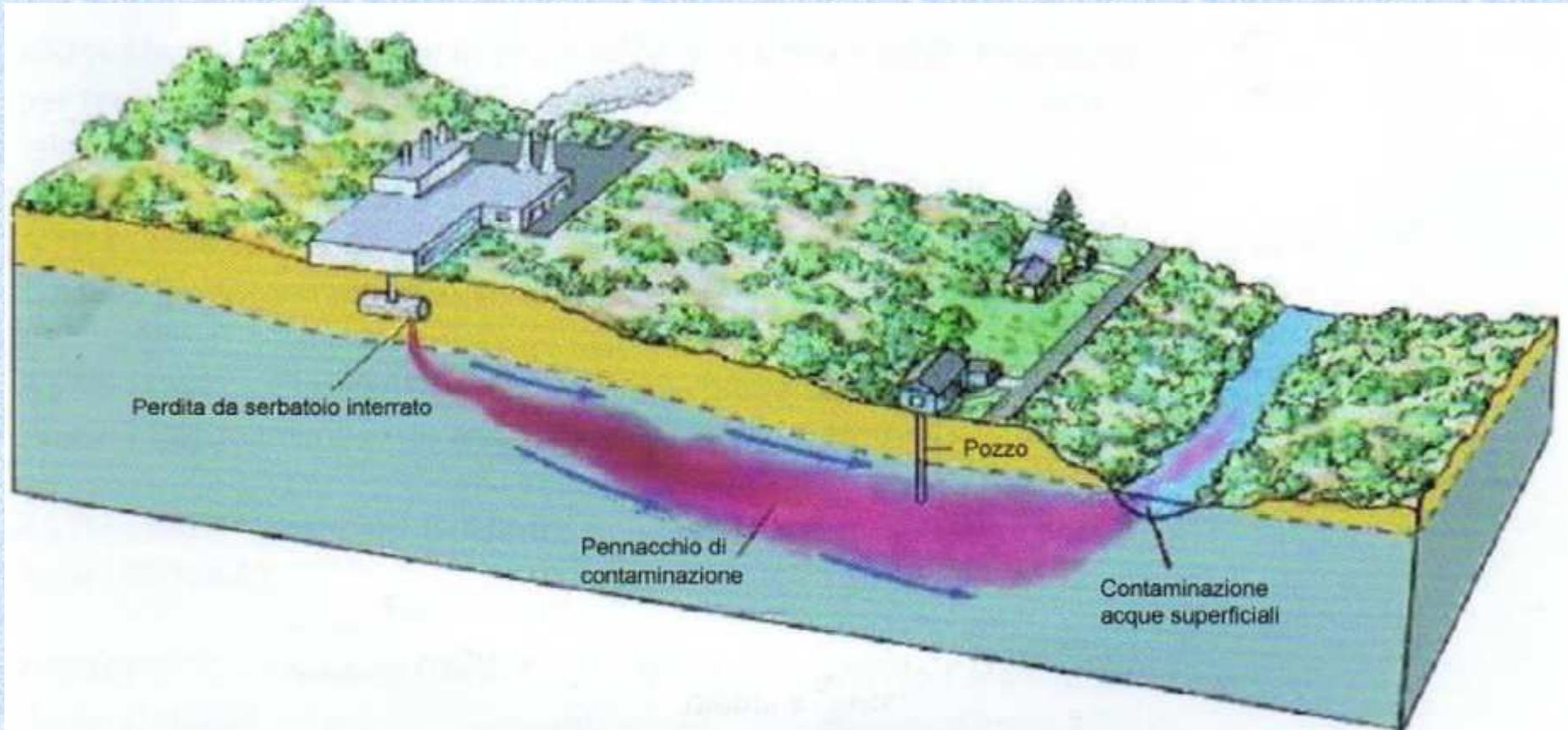
....Sì

**LO STUDIO E LA PIANIFICAZIONE PER IL
RECUPERO AMBIENTALE DI SUOLO E
SOTTOSUOLO (SATURO ED INSATURO)
IN AREE CONTAMINATE O
POTENZIALMENTE TALI**





Aree contaminate: elementi di base per risanamento e normativa



da manuale APAT 2006

COSA SI INDICA CON IL TERMINE "AREA CONTAMINATA"?

**UN SITO NEL QUALE UNO O PIÙ VALORI
DI CONCENTRAZIONE DELLE SOSTANZE
INQUINANTI RILEVATE NELLE MATRICI
AMBIENTALI (SUOLO, SOTTOSUOLO E
ACQUE SOTTERRANEE) RISULTANO
SUPERIORI AI VALORI NORMATIVI DI
RIFERIMENTO**

COME POSSO DEFINIRE LO STATO QUALITATIVO DI UN'AREA?

**I PASSI DA EFFETTUARE SONO NORMATI
ED ESPLICITATI NEL TITOLO V DELLA
PARTE QUARTA DEL D.Lgs. n. 152 del
2006 ("Testo Unico Ambientale") e
ss.mm.ii.**

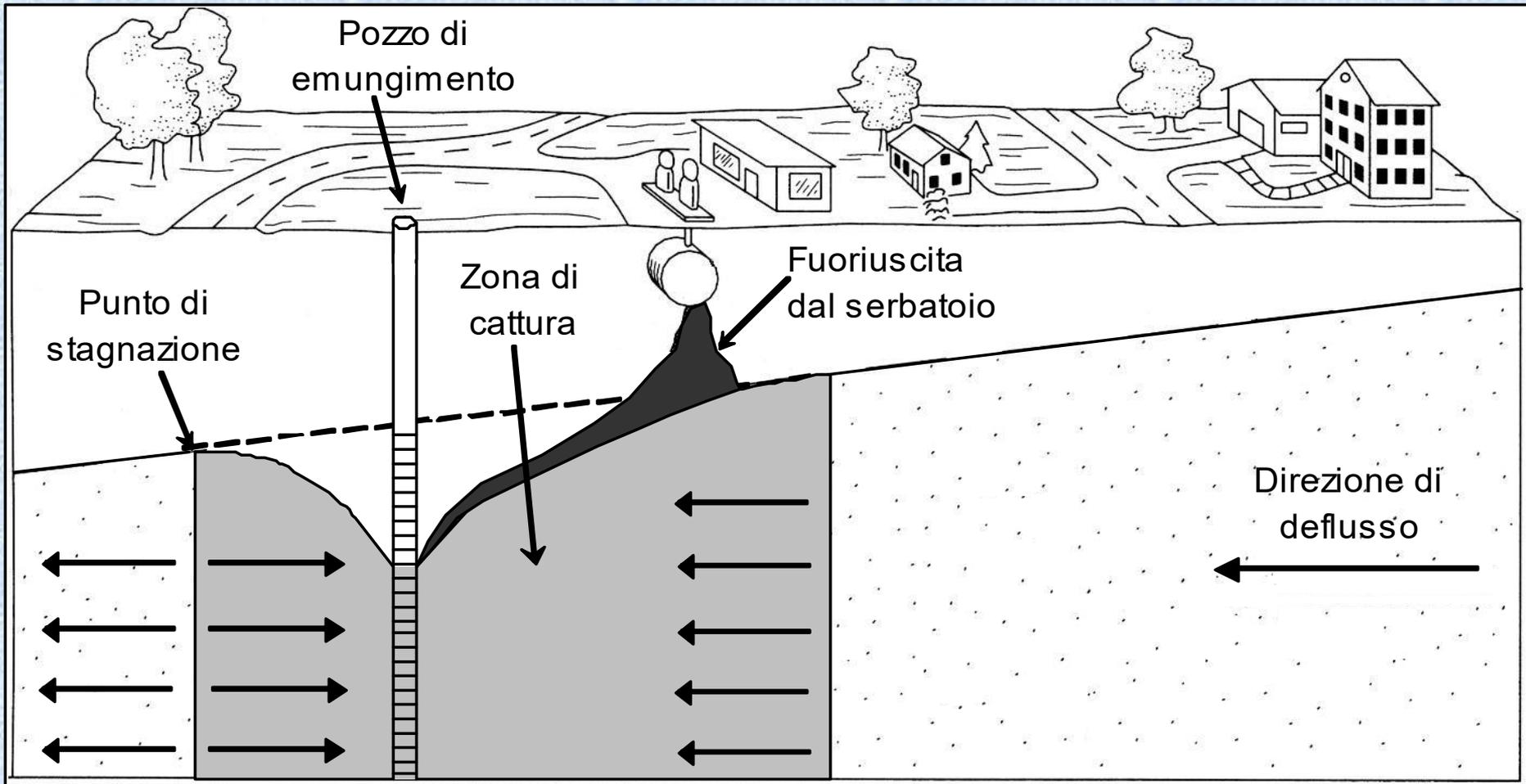
COME SI PROCEDE?

- 1. Messa in Sicurezza d'Emergenza – "MISE" (se necessaria)**
- 2. Piano della Caratterizzazione – "PdC":**
 - caratterizzazione del sottosuolo
 - caratterizzazione dei contaminanti
 - Modello concettuale della contaminazione
- 3. Analisi di rischio – "AdR"**
- 4. Progetto (preliminare e definitivo) di Bonifica o Messa in Sicurezza Permanente**
 - obiettivi di bonifica
 - metodologie e tecniche di bonifica

MISE, COME SI PROCEDE?

- 1) Rimozione della sorgente primaria della contaminazione:**
 - Aspirazione liquami; asportazione dei terreni visibilmente contaminati; rimozione prodotti sversati o abbancati, ecc.
- 2) Isolamento della sorgente primaria dalle matrici ambientali circostanti (evitare la veicolazione verso l'esterno), p.e.:**
 - allontanamento delle acque meteoriche;
 - copertura del corpo inquinante con teli di idonee caratteristiche (resistenza meccanica e ad agenti chimici);
 - attivazione di sistemi di recupero delle acque sotterranee;
 - cattura dei prodotti in libero galleggiamento.
- 3) Limitare l'accesso all'area (delimitazione, divieto di accesso e pericolo).**
- 4) Comunicazione agli enti di controllo illustrante l'accaduto e le operazioni di MISE attivate.**

MISE, ESEMPIO?



PdC, PRATICAMENTE?

Pianificazione ed esecuzione di un'indagine ambientale, ovvero, l'insieme di verifiche atte a valutare lo stato di qualità delle matrici ambientali: suolo, sottosuolo e, eventualmente, acque sotterranee

STRUTTURA DEL PdC

- 1. Raccolta e sistematizzazione dei dati esistenti**
- 2. Formulazione del Modello Concettuale Preliminare della contaminazione**
- 3. Piano di investigazione iniziale**

IL PdC

A. Definizione spaziale del Sito (contesto geografico, antropico e suo perimetro)

B. Definizione del contesto (da dati bibliografici o studi pregressi) per:

- **geologia (litologia, spessori, chimismo, assetto strutturale, ecc.)**
- **idrogeologia (numero e tipologia acquiferi, soggiacenza, spessori, deflusso, caratteristiche idrauliche)**
- **Geomorfologia (forme e fenomeni attivi).**

IL PdC

C. Descrizione dettagliata del sito e di tutte le attività che si sono svolte o che ancora si svolgono al suo interno e nelle aree circostanti (produzione, stoccaggi, monitoraggi delle matrici ambientali, indagini pregresse)

D. Descrizione delle principali caratteristiche dei contaminanti:

- **Stato fisico**
- **Condizioni chimico-fisiche**
- **Composizione chimica**

Principali caratteristiche dei contaminanti

- **viscosità**: capacità della sostanza di penetrare in un mezzo poroso e quindi di raggiungere la superficie freatica.
- **volatilità**: caratterizza l'equilibrio tra fase liquida e fase vapore della sostanza (dipende dalla cost. di Henry di ogni sostanza)
 - *Volatile Organic Compounds (VOCs)*: BTEX, MTBE e alifatici alogenati (p. es. cloroformio).
- **solubilità**: grado di miscibilità in acqua
 - scarsamente poco o per nulla miscibili e definibili come *Non Aqueous Phase Liquids (NAPLs)*.
- **densità**:
 - minore dell'acqua (**LNAPLs**): benzine, gasolio, kerosene, BTEX, MTBE;
 - maggiore dell'acqua (**DNAPLs**): IPA, solventi clorurati (tricloroetilene, cloroformio, tetracloroetilene, ecc).

Esempio, caratteristiche dei contaminanti

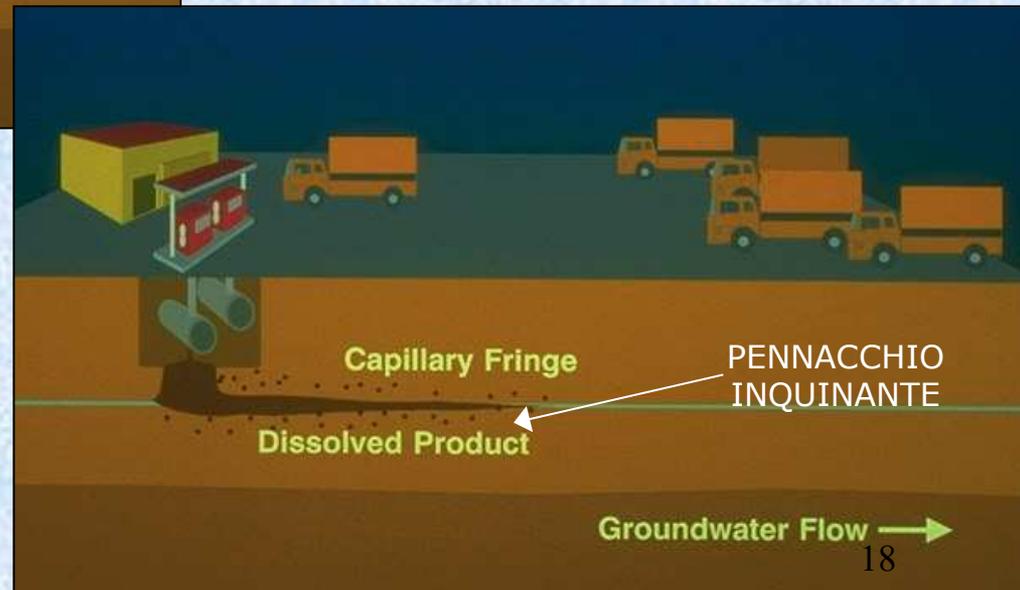
Prodotti più leggeri dell'acqua (**LNAPLs**), densità $< 1 \text{ g/cm}^3$



Fasi 1. e 2.

1. allargamento zona di contaminazione;
2. distribuzione sopra frangia capillare continua (prodotto surnatante).

ARGILLA

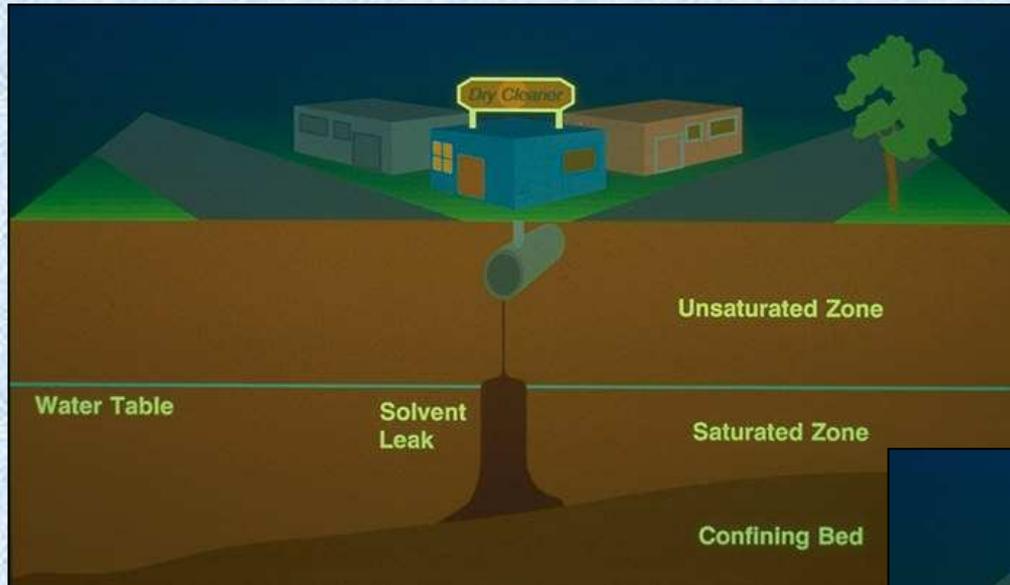


Fase 3.

3. presenza di alimentazione, aumento di spessore del surnatante, incurvatura della superficie piezometrica, trascinamento in direzione di deflusso della falda.

Esempio, caratteristiche dei contaminanti

Prodotti più pesanti dell'acqua (**DNAPLs**), densità $>1 \text{ g/cm}^3$



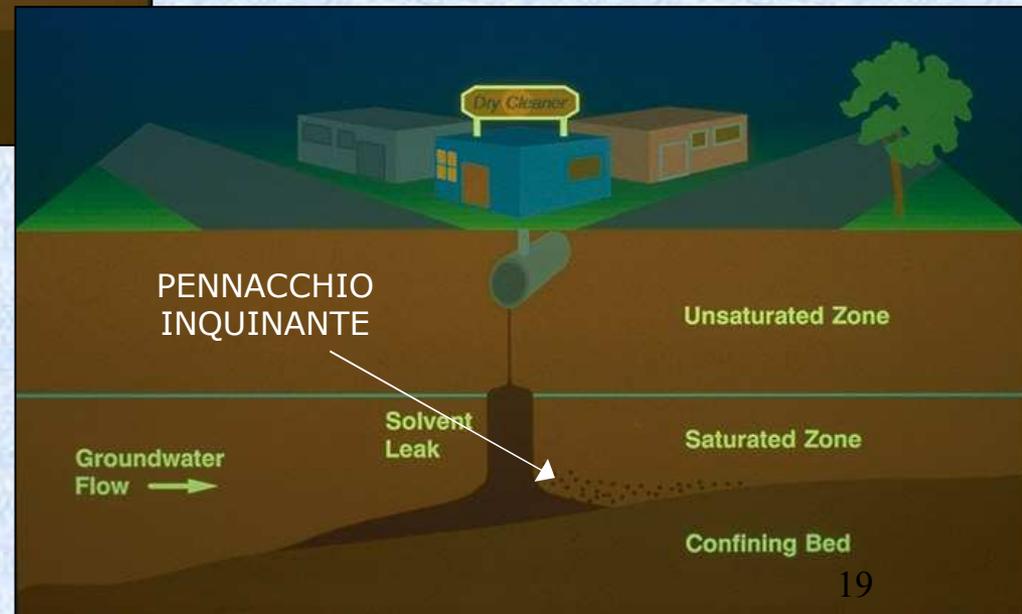
Fasi 1. e 2.

1. approfondimento del prodotto in falda;
2. il fluido affonda fino in prossimità di un livello a bassa permeabilità.



Fase 3.

3. movimento del fluido controllato dall'inclinazione del livello a bassa permeabilità; flusso possibile anche nel senso opposto alla pendenza.



Modello Concettuale preliminare descrive:

- **sorgenti**, possibilmente grado ed estensione della contaminazione del suolo, del sottosuolo, delle acque superficiali e sotterranee del sito;
- **percorsi di migrazione** dalle sorgenti di contaminazione ai bersagli ambientali e alla popolazione (acque sotterranee, superficiali, aria);
- le **vie di esposizione** (inalazione, ingestione, contatto dermico);
- i **bersagli** ambientali e la popolazione su cui possono manifestarsi gli effetti dell'inquinamento.

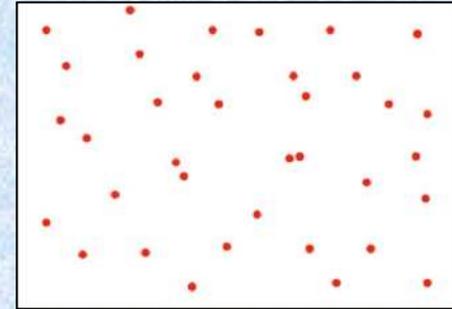
IL PdC, il Piano d'indagine

Criteria con cui procedere all'ubicazione dei punti di campionamento:

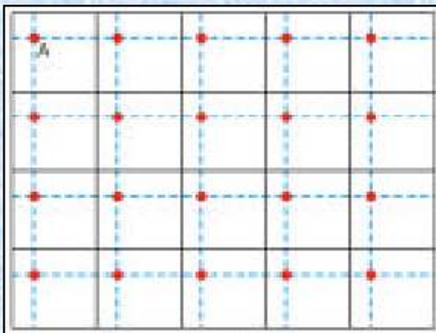
- **campionamento soggettivo, basato sul modello concettuale preliminare;**
- **campionamento casuale semplice;**
- **campionamento sistematico o su griglia regolare;**
- **campionamento a *cluster* adattativo;**
- **campionamento stratificato.**

IL PdC, il Piano d'indagine

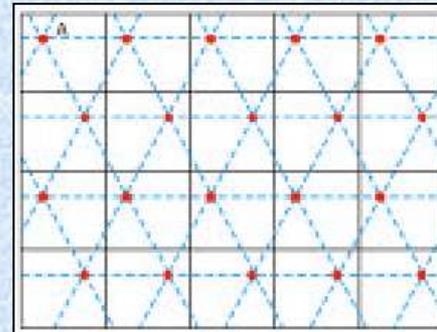
Campionamento casuale semplice



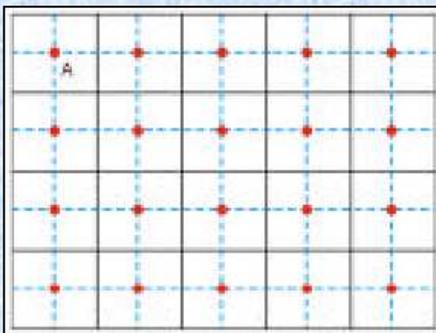
Campionamento sistematico



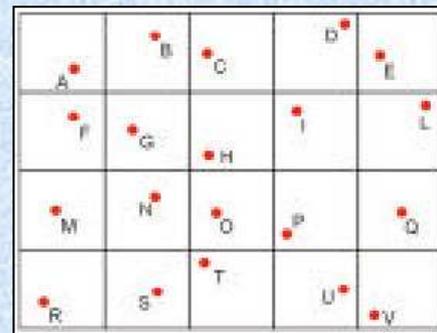
**griglia
quadrata
allineata**



**griglia
triangolare**

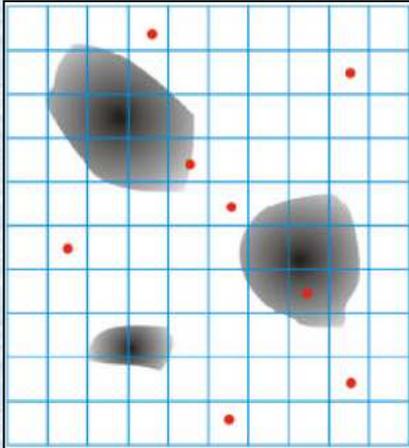


**griglia
quadrata
centrata**

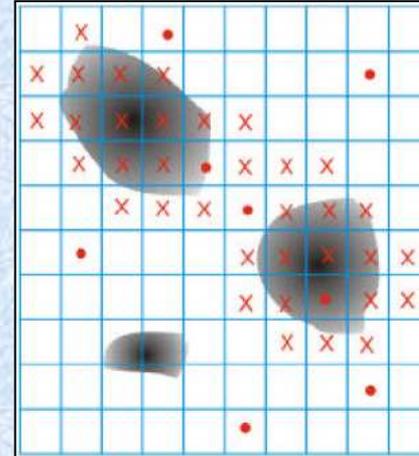


IL PdC, il Piano d'indagine

Campionamento a cluster adattativo

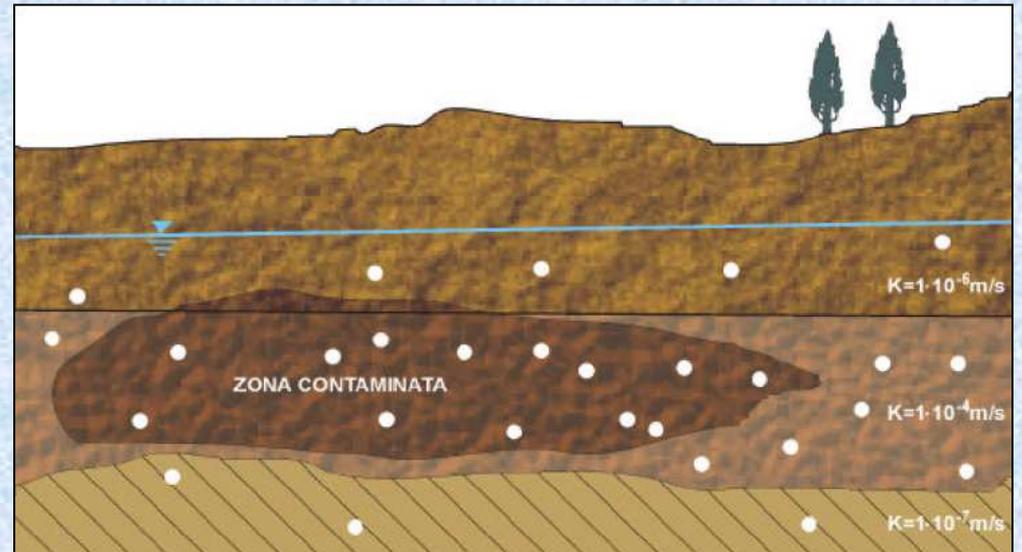


Campionamento iniziale



Distribuzione finale

Campionamento stratificato



IL PdC, l'Investigazione

SONDAGGI

- Carotaggio continuo a secco, a rotazione o rotoperussione e bassa velocità
- Estrusione delle carote a secco e successiva decontaminazione del carotiere
- Approfondimento dei sondaggi con rivestimento a seguire fino al raggiungimento del tetto dello strato a bassa permeabilità che costituisce la base dell'acquifero superficiale da indagare



PIEZOMETRI (tubo aperto)

- Alesaggio del foro di sondaggio fino al diametro di progettato (p.e. 178mm)
- Completamento realizzato mediante tubi ciechi e tubi filtranti in PVC per uso alimentare (p.e. ϕ 4")
- Realizzazione, nell'intercapedine foro/tubo, di un manto drenante con ghiaino (p.e. ϕ 2÷6mm) nel tratto filtrato e tappo bentonitico nel tratto cieco



IL PdC, l'Investigazione

Campionamento TERRENI



Formazione del campione per **analisi composti organici volatili**

- Prelievo immediato basato sull'infissione di un campionatore a siringa
- Inserimento in un vial stabilizzato con metanolo

Formazione del campione per **analisi composti non volatili**

- Prelievo del terreno attraverso una paletta di acciaio decontaminata e trasferimento su di un telo in polietilene
- Omogeneizzazione del campione
- Quartatura del campione e inserimento dello stesso all'interno di barattoli in vetro



IL PdC, l'Investigazione

Campionamento ACQUE DI FALDA

- Misura del livello statico e della effettiva profondità del piezometro
- Rilievo dell'eventuale presenza di sostanze non miscibili con l'acqua (surnatante e/o sottonatante)
- Inserimento della pompa e avvio delle operazioni di spurgo e campionamento con tecnica a basso flusso (low-flow) (<math>< 5\text{l/m}</math>)
- Misurazione in continuo dei parametri chimico-fisici e prelievo dei campioni



Sonda interfaccia acqua/olio

Pompa basso flusso



IL PdC, l'Investigazione

Ausili per definire i punti d'indagine

Campionamento di gas interstiziali (VOCs e SVOCs)

Campionamento attivo:

viene condotto mediante l'introduzione di punte o di sistemi di monitoraggio (analoghi ai piezometri) all'interno del mezzo non saturo e la successiva estrazione dei gas interstiziali con pompe.

Le punte per il prelievo dei gas possono essere infisse nel terreno manualmente o per mezzo di sistemi a percussione *direct push*.

Campionamento passivo: basato sul flusso naturale del contaminante nel suolo verso il campionatore, costituito da materiale adsorbente (p.e. carbone attivo o resine).

IL PdC, l'Investigazione **Ausili per definire i punti d'indagine**

**Attrezzatura
direct push
manuale**



Martello a
percussione
(elettrico o a
scoppio) tipo
Wacker®

Tubazione in
PVC

Batteria
di aste

IL PdC, l'Investigazione **Ausili per definire i punti d'indagine**

**Attrezzatura
direct push
Geoprobe®**

carotiere



IL PdC, l'Investigazione

Ausili per definire i punti d'indagine

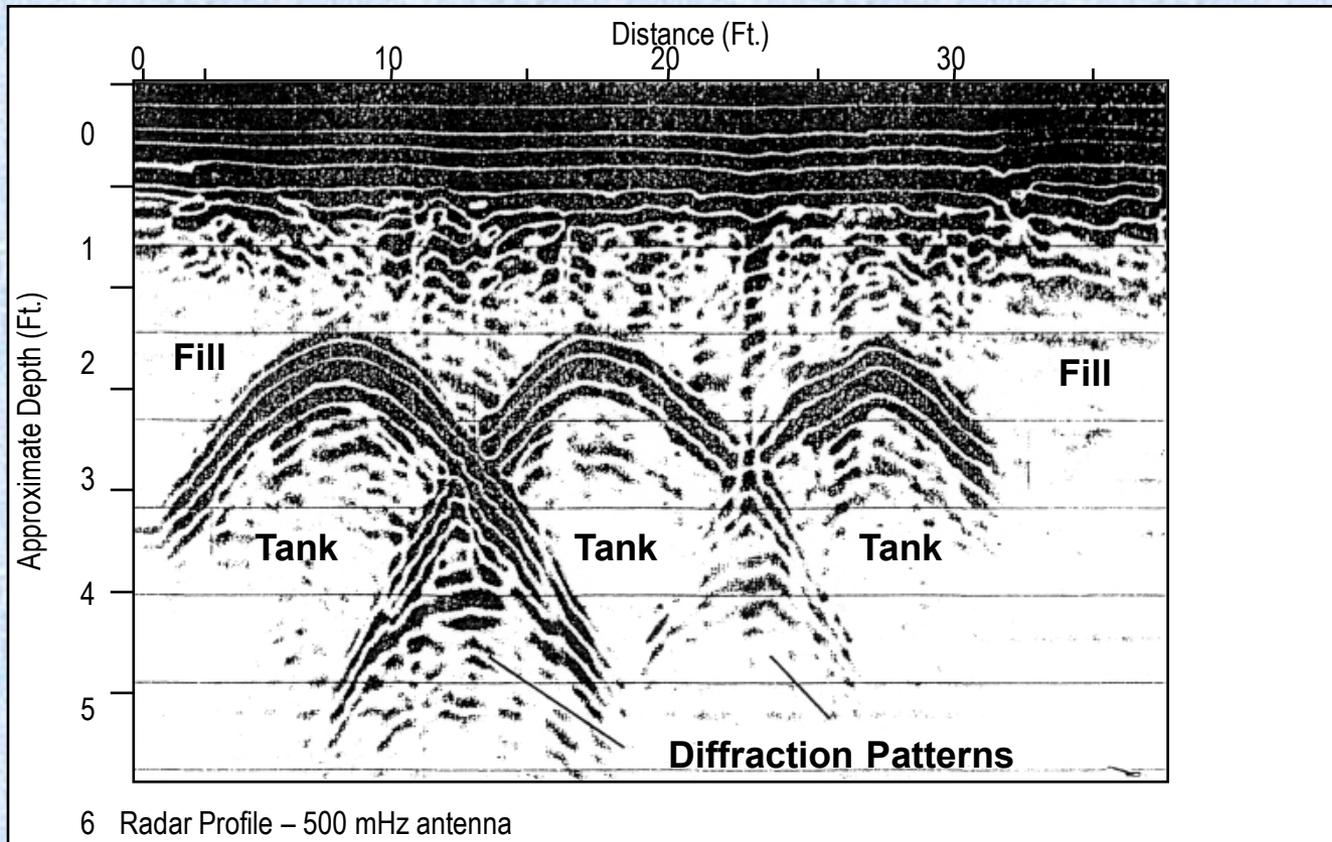
Campionamento di gas interstiziali (VOCs e SVOCs)

I risultati ottenuti con il rilievo dei gas interstiziali non sono correlabili alle CSC relative alla matrice ambientale indagata.

Tale metodo costituisce però una interessante tecnica di *screening* per valutare la presenza e l'estensione di una eventuale contaminazione da composti volatili nel sottosuolo.

IL PdC, l'Investigazione **Ausili per definire i punti d'indagine**

Georadar GPR: profilo di cisterne sepolte



Risultati della caratterizzazione

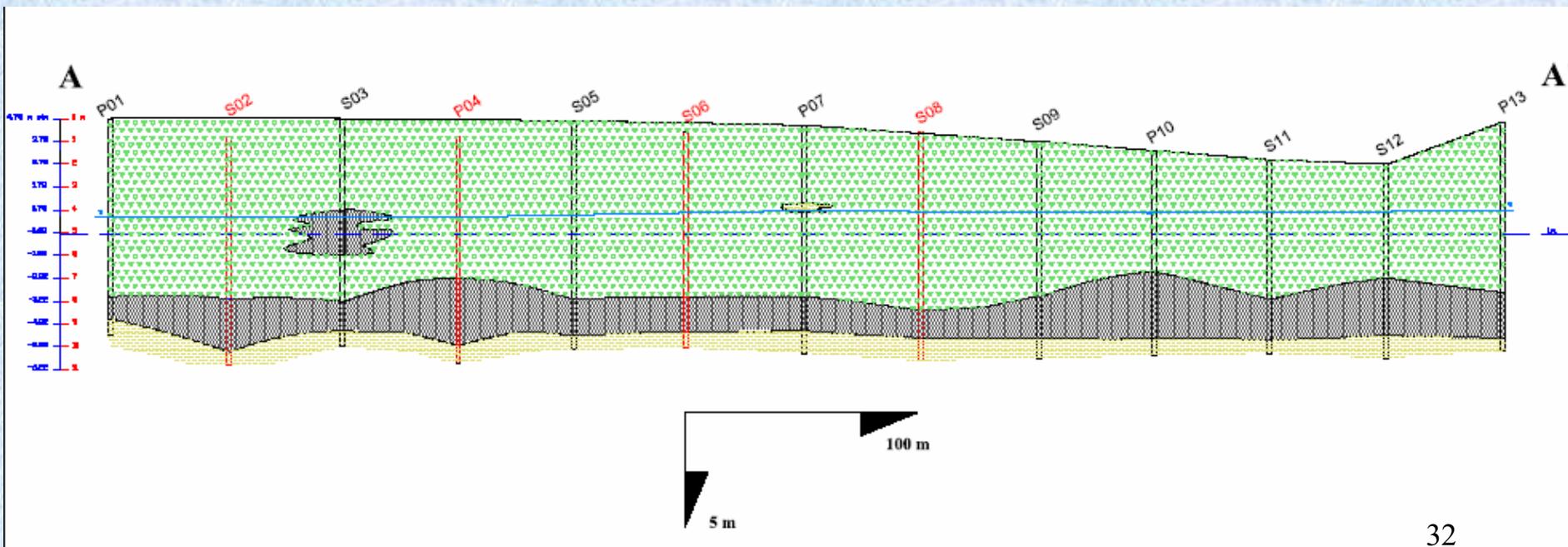
- Assetto stratigrafico locale

- Ghiaie da debolmente sabbiose a sabbiose sciolte
- Sabbie monometriche, sciolte e sature
- Argilla color grigio scuro, contenente gusci di gasteropodi, compatta e mediamente plastica

- Assetto idrogeologico

L'acquifero, permeabile per porosità, è costituito dalle ghiaie sabbiose e dalle sabbie monometriche

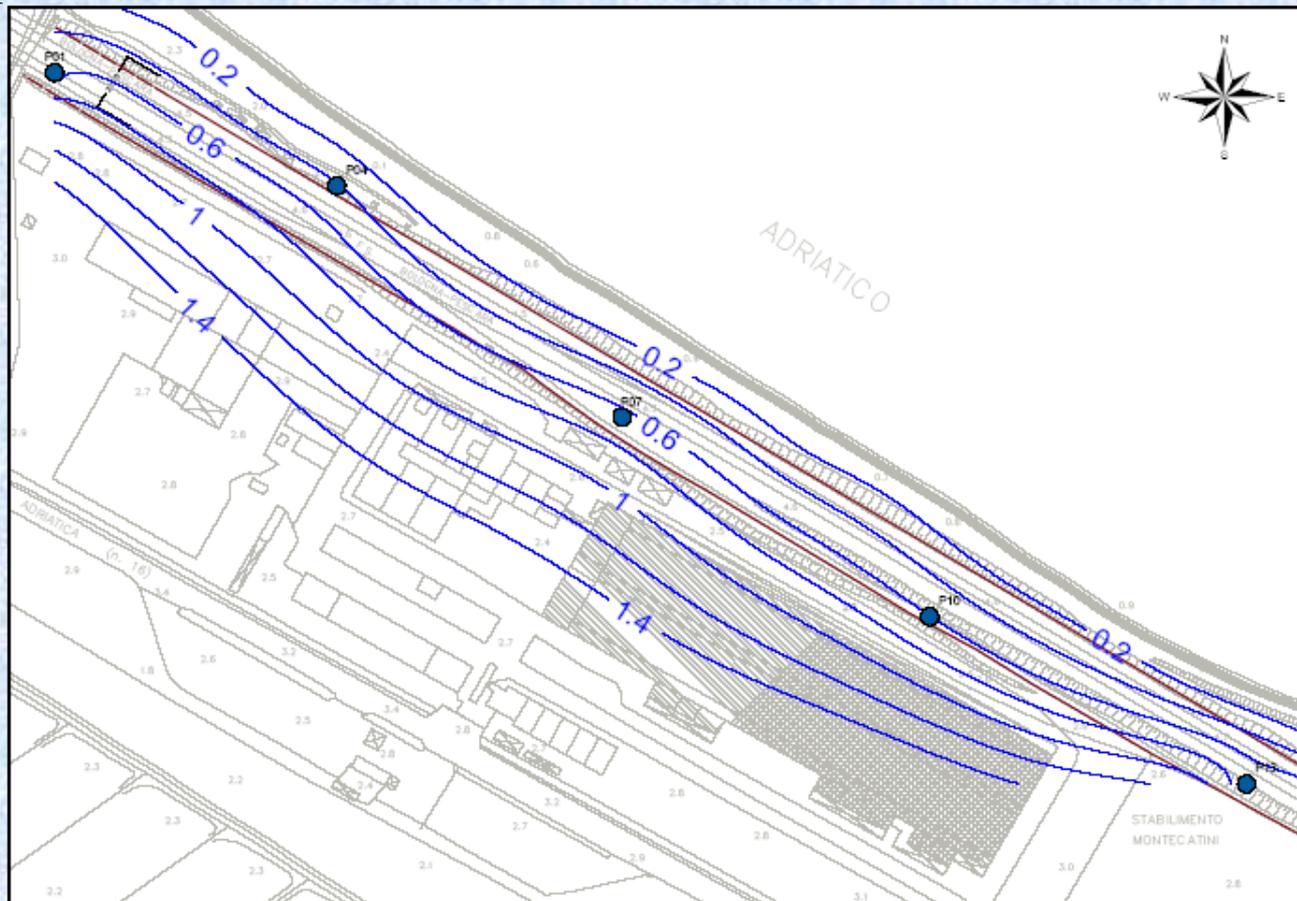
L'acquifero è sostenuto da un litotipo a bassa permeabilità rappresentato dalle argille grigio scure plioceniche



Risultati della caratterizzazione

Morfologia e deflusso della falda

L'acquifero descritto ospita una falda freatica, con un gradiente pari a 0,01 (10‰), che si distribuisce parallelamente alla linea di costa



Risultati della caratterizzazione

CONFRONTO DEI DATI ANALITICI CON LE Concentrazione di soglia di contaminazione (CSC)

Le CSC per le sostanze inquinanti presenti nel suolo, nel sottosuolo e nelle acque sotterranee, in relazione alla specifica destinazione d'uso del sito, nonché i criteri per la valutazione della qualità delle acque superficiali sono indicati nelle **tabelle 1** (terreni) e **2** (acque di falda) dell'Allegato 5 al Titolo V della Parta Quarta.

RIFERITI ALLA SPECIFICA DESTINAZIONE D'USO DEI SITI DA BONIFICARE			ACQUE SOTTERRANEE			
		A	B	Nº. ord	SOSTANZE	Valore limite (μ l)
		Siti ad uso Verde pubblico, privato e residenziale (mg kg^{-1} espressi come ss)	Siti ad uso Commerciale e Industriale (mg kg^{-1} espressi come ss)	METALLI		
	<i>Composti inorganici</i>			1	Alluminio	200
1	Antimonio	10	30	2	Antimonio	5
2	Arsenico	20	50	3	Argento	10
3	Berillio	2	10	4	Arsenico	10
4	Cadmio	2	15	5	Berillio	4
5	Cobalto	20	250	6	Cadmio	5
6	Cromo totale	150	800	7	Cobalto	50
				8	Cromo totale	50
				9	Cromo (VI)	5
				10	Ferro	200

Risultati della caratterizzazione

Qualità dei terreni: Riscontrate n.4 eccedenze per l'**Arsenico** in aree ad uso industriale nei campioni P01 (4.3÷4.5m); S03 (4.2÷4.4m); S05 (0.6÷0.8m); S05 (4.2÷4.4m)

PARAMETRO	Metodologia	U.M.	D.Lgs 152/06 all.5, tab.1	P01 (4,3-4,5)	S03 (4,2-4,4)	S05 (0,6-0,8)	S05 (4,2-4,4)
DATA PRELIEVO:	-	-	-	24/04/2007	26/04/2007	27/04/2007	27/04/2007
PROFONDITA' DI CAMPIONAMENTO	-	m	-	4,3 - 4,5	4,2 - 4,4	0,6 - 0,8	4,2 - 4,4
SCHELETRO	DM 13/09/99 GU N° 248 21/10/99 ALL II PARTE 1	% p/p	-	60,8	54,3	49,6	41,0
UMIDITA'	DM 13/09/1999 GU N° 248 21/10/1999 ALL II PARTE 2	% p/p	-	8,0	11,5	3,7	10,1
FLUORURI	EPA 300.0 1993	mg/kg(su s.s.)	2000	195	190	< 10	160
ARSENICO	EPA 7062 1994	mg/kg(su s.s.)	50	410,0	630,0	55,0	84,0
CADMIO	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	15	0,5	0,4	2,6	0,3
COBALTO	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	250	3,7	7,5	17,0	3,1
CROMO ESAVALENTE	CNR IRSA 16 Q 64 VOL 3 1986	mg/kg(su s.s.)	15	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
CROMO TOTALE	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	800	8,4	29,0	29,0	14,3
FERRO	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	-	6.500	16.300	69.000	6.500
MANGANESE	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	-	400,0	1.310	420,0	410,0
MERCURIO	EPA 3050 B 1996 + EPA 7471 B 1998	mg/kg(su s.s.)	5	0,60	1,30	< 0,1	1,7
NICHEL	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	500	7,5	23,0	10,2	9,5
PIOMBO	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	1000	4,7	17,0	220,0	5,7
ZINCO	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	1500	116,0	171,0	270,0	30,0
RAME	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	600	38,0	48,0	220,0	14,2
COMPOSTI ORGANOCALOGENATI	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	-(-)	-	-	-	-	-
COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	-(-)	-	-	-	-	-
CLOROMETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DICLOROMETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
CLOROFORMIO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
CLORURO DI VINILE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2-DICLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1-DICLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2-DICLOROPROPANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1,2-TRICLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	15	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
TRICLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2,3-TRICLOROPROPANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1,2,2-TETRACLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
TETRACLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	20	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
ESAACLOROBUTADIENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	-(-)	-	-	-	-	-
1,1-DICLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	30	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2-DICLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	15	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1,1-TRICLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	50	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
IDROCARBURI < C12	EPA 5021 1996 + EPA 8015 D 2003	mg/kg(su s.s.)	250	< 5	< 5	< 5	< 5
IDROCARBURI > C12	ISO TR 11046:1994 MET B	mg/kg(su s.s.)	750	< 5	< 5	< 5	< 5

Risultati della caratterizzazione

Qualità delle acque di falda

Parametri chimico-fisici:

Piezometro	Profondità	Livello statico iniziale	Livello statico finale	pH	Temperatura	Conducibilità elettrica	Ossigeno disciolto	Potenziale redox
	<i>m</i>	<i>m (da b.p.)</i>	<i>m (da b.p.)</i>	-	<i>°C</i>	<i>mS/cm</i>	<i>mg/l</i>	<i>mV</i>
P01	9,0	4,29	4,29	7,30	15,0	2,210	0,11	28
P04	10,0	3,52	3,54	7,33	14,2	1,012	0,08	148
P07	9,0	3,74	3,74	7,28	14,7	1,243	0,10	11
P10	9,0	2,74	2,75	7,42	14,9	1,021	1,44	-27
P13	9,5	3,84	3,84	7,25	15,3	0,979	0,36	120

Risultati della caratterizzazione

Qualità delle acque di falda

Tabella 4 - Risultati analitici campioni di acqua

Parametro	Metodologia	U.M.	D.M.471/99: TABELLA ACQUE SOTTERRANEE	P01	P04	P07	P10	P13
				31/05/2007	31/05/2007	31/05/2007	31/05/2007	31/05/2007
Data prelievo	-	-	-	31/05/2007	31/05/2007	31/05/2007	31/05/2007	31/05/2007
Profondità di campionamento	-	-	-	5,5 m				
-	-	-	-	sul campione tal quale				
<i>ANIONI</i>								
FLUORURI	EPA 300.1 1997	µg/l	1500	1.000	400	4.700	1.100	200
NITRITI	APAT CNR IRSA 4050 MAN 29 2003	µg/l (come NO ₂)	500	140	100	120	40	30
SOLFATI	EPA 300.1 1997	mg/l (come SO ₄)	250	340	101	270	195	115
<i>METALLI</i>								
ANTIMONIO	EPA 200.8 1994	µg/l (come Sb)	5	0,9	0,40	0,7	0,30	< 0,2
ARSENICO	EPA 200.8 1994	µg/l (come As)	10	3,4	1,5	3,1	2,4	< 0,1
CADMIO	EPA 200.8 1994	µg/l (come Cd)	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
CROMO	EPA 200.8 1994	µg/l (come Cr)	50	7,7	5,4	1,7	6,1	0,20
CROMO ESAVALENTE	APAT CNR IRSA 3150 B2 MAN 29 2003	µg/l (come Cr)	5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
FERRO	EPA 6010 C 2000	µg/l (come Fe)	200	3.100	2.800	1.210	2.200	340
MANGANESE	EPA 200.8 1994	µg/l (come Mn)	50	490	260	410	240	300
MERCURIO	EPA 200.8 1994	µg/l (come Hg)	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NIOBEL	EPA 200.8 1994	µg/l (come Ni)	20	21	12,4	16,7	7,7	4,5
PIOMBO	EPA 200.8 1994	µg/l (come Pb)	10	25	51	33	51	5,8
SELENIO	EPA 200.8 1994	µg/l (come Se)	10	8,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
ZINCO	EPA 200.8 1994	µg/l (come Zn)	3000	65	12,0	2,0	68	5,5
RAME	EPA 200.8 1994	µg/l (come Cu)	1000	6,3	7,2	1,5	3,6	1,10
<i>COMPOSTI AROMATICI</i>	EPA 5030 B 1996 + EPA 8260 B 1996	(-)	-	-	-	-	-	-
BENZENE	EPA 5030 B 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	1	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
ETILBENZENE	EPA 5030 B 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	50	0,30	0,33	0,29	< 0,03	< 0,03
STIRENE	EPA 5030 B 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	25	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
TOLUENE	EPA 5030 B 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	15	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08
p-XILENE	EPA 5030 B 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	10	0,10	0,10	0,09	< 0,06	< 0,06
<i>IDROCARBURI TOTALI (come n-esano)</i>	EPA 5021 1996 + EPA 3510 C 1996 + EPA 8015 D 2003	µg/l	350	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
<i>COMPOSTI ORGANOCLOGENATI</i>	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	(-)	-	-	-	-	-	-
<i>COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI CANC.</i>	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	(-)	-	-	-	-	-	-
CLOROMETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	1,5	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
CLOROFORMIO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,15	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
CLORURO DI VINILE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,5	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
1,2-DICLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	3	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
1,1-DICLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,05	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
1,2-DICLOROPROPANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,15	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
1,1,2-TRICLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,2	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08
TRICLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	1,5	0,18	0,26	0,13	< 0,02	0,10
1,2,3-TRICLOROPROPANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
1,1,2,2-TETRACLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,05	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
TETRACLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	1,1	0,98	2,26	< 0,05	< 0,05	1,44
ESACLOROBUTADIENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
<i>COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI CANC. TOT.</i>	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	10	1,16	2,52	< 1	< 1	< 1
<i>COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI NON CANC.</i>	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	(-)	-	-	-	-	-	-
1,1-DICLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	810	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2-DICLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	60	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06

Modello Concettuale Definitivo

**RIPRENDE IL MODELLO CONCETTUALE PRELIMINARE
CONFERMANDO O MODIFICANDO I PARAMETRI CHE
LO CARATTERIZZANO, ASSOCIANDO VALORI.**

- **sorgenti**, grado ed estensione della contaminazione del suolo, del sottosuolo, delle acque superficiali e sotterranee del sito;
- **percorsi di migrazione** dalle sorgenti di contaminazione ai bersagli ambientali e alla popolazione (acque sotterranee, superficiali, aria);
- **vie di esposizione** (inalazione, ingestione, contatto dermico);
- **bersagli** ambientali e la popolazione su cui possono manifestarsi gli effetti dell'inquinamento.

Analisi di Rischio - AdR

Se con la caratterizzazione sono state rilevate nelle matrici indagate sostanze con concentrazioni superiori alle CSC il sito è definito “*potenzialmente contaminato*” → eseguo AdR per valutare lo stato qualitativo effettivo e il livello di rischio dei potenziali recettori

L'AdR è eseguita sulla base dei seguenti documenti:

- Allegato I al titolo V della Parte Quarta D.Lgs. 152/06;**
- Decreto correttivo (D.Lgs. 4/08) (diminuzione valori di rischio),**
- *Criteri ISPRA (ex APAT), marzo 2008.***

Analisi di Rischio - AdR

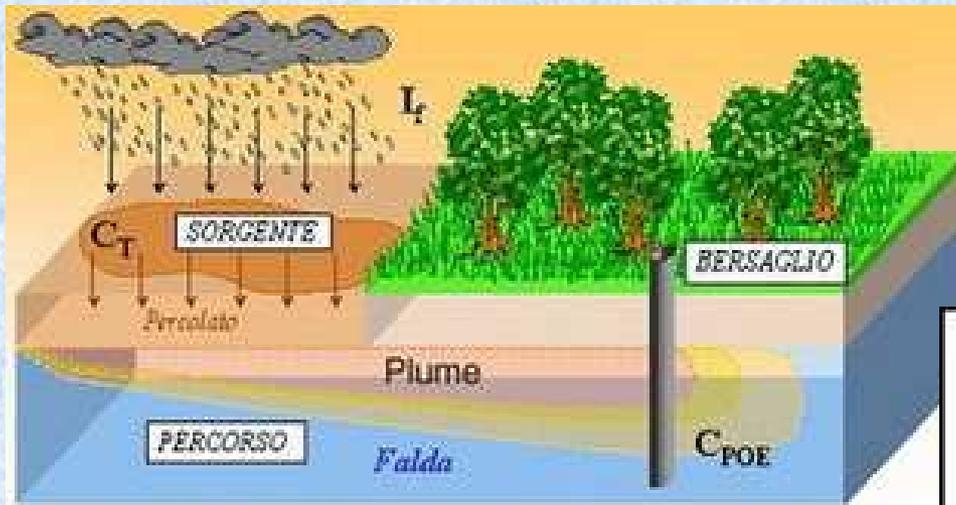
"L'AdR può essere applicata prima, durante e dopo le operazioni di bonifica o messa in sicurezza."

"Consente di definire le Concentrazioni di Soglia di Rischio (CSR), che identificano i livelli di contaminazione residua accettabili sui quali impostare gli interventi di messa in sicurezza e/o bonifica."

La grandezza rischio ha al suo interno componenti probabilistiche, non legate all'evento contaminazione (è avvenuta) ma agli effetti nocivi che essa (l'esposizione di un certo contaminate) può avere sui recettori finali.

Bisogna porre particolare cura alla scelta dei parametri da utilizzare → dati sito specifici e principio della cautela.

Analisi di Rischio - AdR



Esempio di modello concettuale.

E = Assunzione cronica giornaliera di un contaminante

T = Tossicità del contaminante



Analisi di Rischio - AdR

- **Selezione dei contaminanti indice (COC)**: oltre le CSC
- **Sorgenti**: geometria
- **Vie di esposizione**: suolo superficiale, suolo profondo, aria outdoor, aria indoor.
- **Modalità di esposizione**: ingestione, contatto dermico, inalazione.
- **Recettori o bersagli della contaminazione**: persone on-site o off-site; residenti o lavoratori.
- **Punto di conformità**: limite della proprietà.

Analisi di Rischio - AdR

C'è rischio solamente se sussistono tre condizioni: una sorgente di contaminazione, un percorso di esposizione ed un recettore. Se viene a mancare una di queste non esiste il rischio  **bisogna eliminare la sorgente o interrompere il percorso di esposizione!**

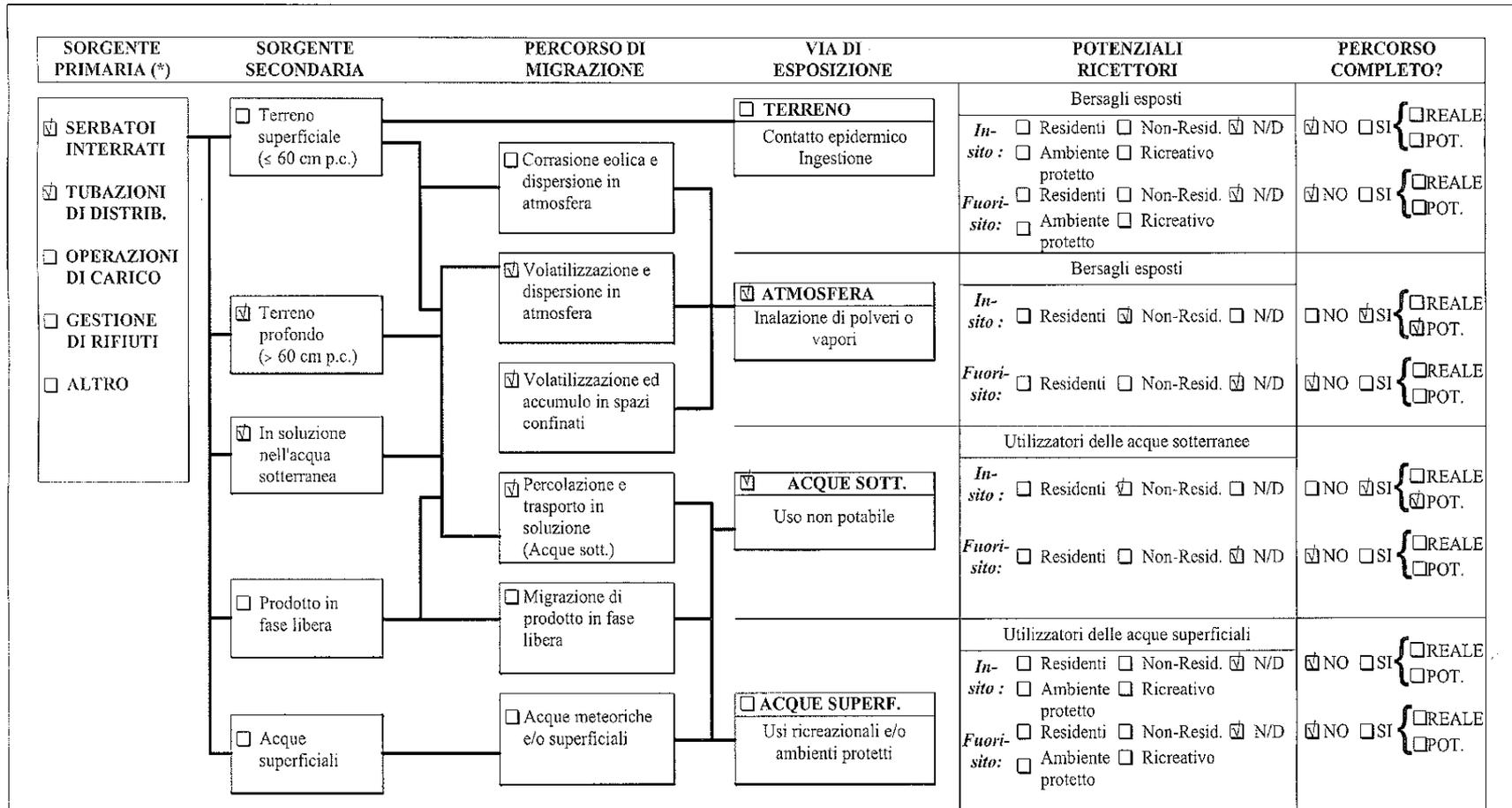
Le concentrazioni rilevate eccedono le CSR?:

NO  **il sito non è contaminato, eseguo il monitoraggio;**

Sì  **il sito è contaminato, bonifico o metto in sicurezza.**

Analisi di Rischio - AdR

Schema di flusso sorgente → recettore



N/D = NON DISPONIBILE; (☑) CASELLA SELEZIONATA
 N.B.: I PERCORSI COMPLETI SONO SUDDIVISI TRA POTENZIALI (POT.) E REALI

Progetto Preliminare di Bonifica

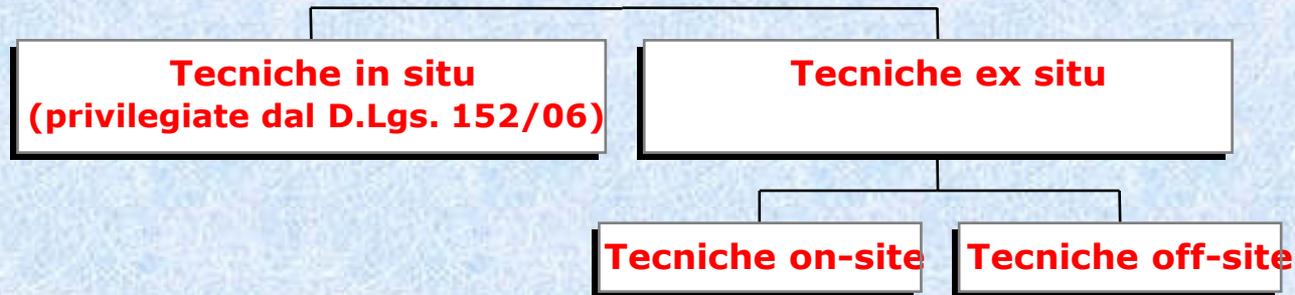
Struttura tipo

1. **Analisi dei livelli di inquinamento.**
2. **Eventuale investigazione di dettaglio** (p.es. esatta identificazione, perimetrazione, della sorgente).
3. **Adozione delle CSR (obiettivo) definite con l'analisi di rischio.**
4. **Analisi delle possibili tecnologie adottabili per la bonifica o la messa in sicurezza del sito.**
5. **Descrizione** delle tecnologie di bonifica scelte.
6. **Eventuale test pilota on-site** per la verifica tecnologie scelte.
7. **Compatibilità ambientale** degli interventi.
8. **Piano di monitoraggio** attivo anche *post operam*.
9. **Confronto dei costi** di realizzazione delle diverse tipologie.

Progetto Preliminare di Bonifica

Metodologie e tecniche di bonifica

Classificazione in base all'ubicazione del trattamento



Tecniche in situ: terreni e acque vengono trattati direttamente sul posto, senza escavazioni o pompaggi.

Tecniche ex situ: terreni e acque vengono rimossi; le matrici ambientali possono essere trattate con impianti mobili in loco (**trattamenti on-site**) oppure in impianti fissi ubicati esternamente alla zona contaminata (**trattamenti off-site**). Il terreno trattato può essere riposto nel luogo di provenienza.

Progetto Preliminare di Bonifica



Rimozione e smaltimento

Non è un vero intervento di bonifica perché è un metodo "dig & dump"



Progetto Preliminare di Bonifica

Metodologie e tecniche di bonifica

Classificazione in base sulle proprietà dei contaminanti

- **Tecnologie basate sulla distruzione o sull'alterazione dei composti inquinanti:** trattamenti biologici o fisici basati sulla modifica della struttura chimica degli inquinanti (applicabili *in situ* o *ex situ*).
- **Tecnologie basate sull'estrazione dei composti inquinanti dall'ambiente:** trattamenti che sfruttano alcune proprietà fisico-chimiche degli inquinanti, realizzando processi di trasporto che ne permettono la separazione dalle matrici ambientali contaminate (applicabili *in situ* o *ex situ*).
- **Tecnologie basate sul contenimento o l'immobilizzazione degli inquinanti nell'ambiente** (applicabili *in situ*).
- **Mix di tra più tecnologie** per trattamenti misti.

Progetto Preliminare di Bonifica

Trattamenti biologici nei terreni

Sfruttano i microorganismi presenti nei terreni:

batteri, funghi, attinomiceti, alghe o protozoi.

- Aerobici
- Anaerobici
- anaerobici facoltativi

Parametri utilizzati per la valutazione dell'applicabilità di una tecnica di risanamento biologica.

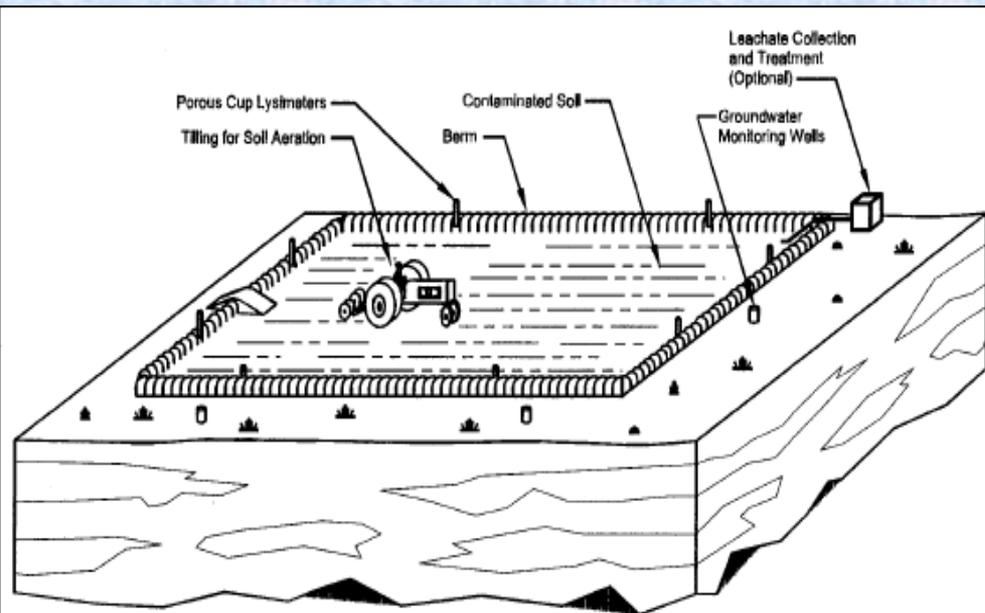
Caratteristiche del terreno	Caratteristiche dei contaminanti	Condizioni climatiche
Densità della popolazione microbica	Volatilità	Temperatura ambiente
pH del terreno	Struttura chimica	Piovosità
Contenuto idrico	Concentrazione e tossicità	Vento
Temperatura del terreno		
Concentrazione dei nutrienti		
Tessitura del terreno		

Biodegradabilità	Composti campione	Prodotti in cui si trovano i composti
Più degradabile  Meno degradabile	n-butano, l-pentano	Benzina
	n-ottano	
	Nonano	Gasolio
	Metil butano	Benzina
	Dimetilpentene	
	Metilottano	
	BTEX	Benzina
	Propilbenzene	Gasolio, cherosene
	Decani	Gasolio
	Dodecani	Cherosene
	Tridecani	Combustibili per il riscaldamento
	Tatradecani	Oli lubrificanti
	Naftaline	Gasolio
	Fluoranteni	Cherosene
	Pireni	Oli per riscaldamento
Acenafteni	Oli lubrificanti	

Progetto Preliminare di Bonifica

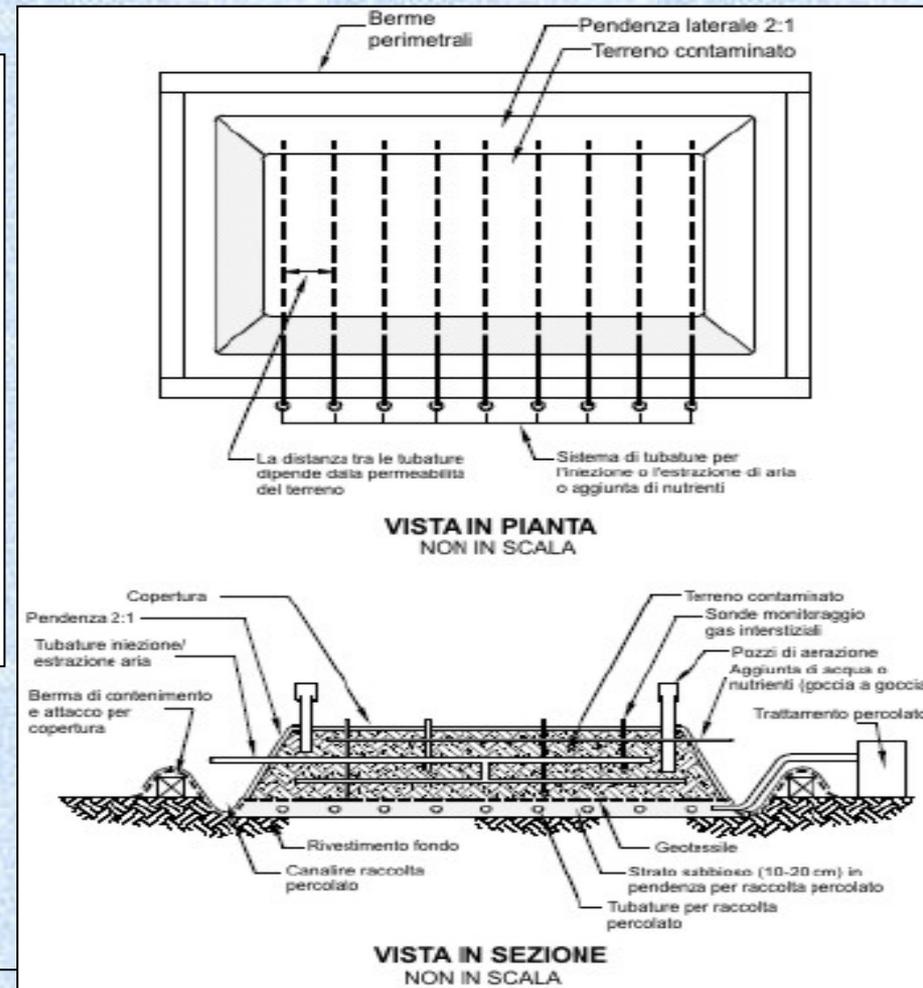
Trattamenti biologici nei terreni

Landfarming



Principale differenza:
metodo di ossigenazione

Biopila



Progetto Preliminare Messa in Sicurezza Permanente

Contenimento fisico falda

Ottenuto realizzando barriere impermeabili (slurry walls), $K \approx 10^{-11}$ m/s:

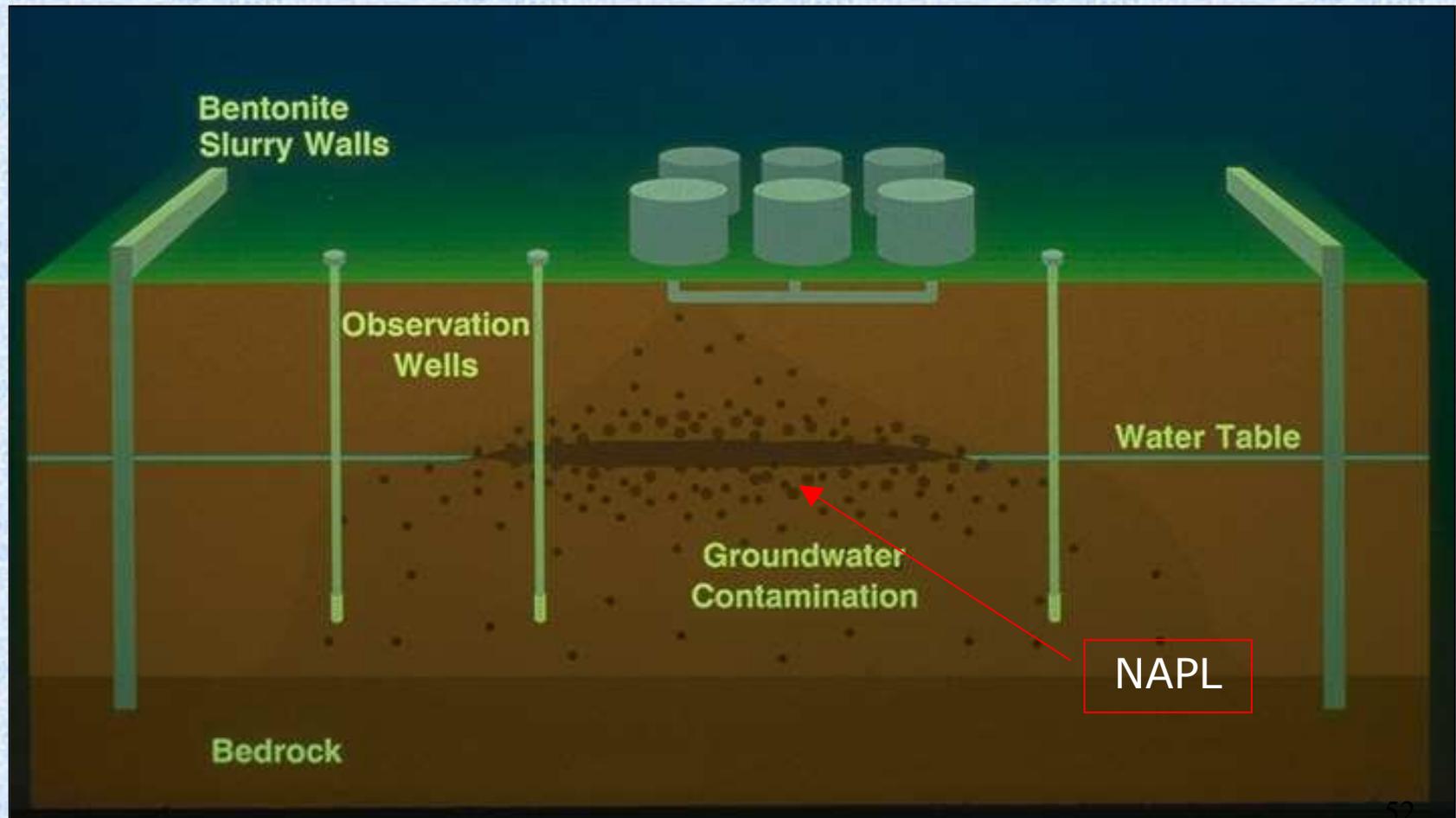
- diaframmi cemento-bentonite, con eventuale aggiunta di membrane impermeabili (HDPE);
- diaframmi con jet-grouting.

Spesso ancorati ad un acquiclude di base e/o ad una copertura superficiale (**capping**) con pozzi di estrazione.

Non rimuove la sorgente di contaminazione. Da realizzarsi preferibilmente in casi estremi (impossibilità di rimuovere la sorgente di contaminazione) o in caso di tutela della salute pubblica, comunque dopo un'accurata valutazione costi/benefici.

Progetto Preliminare Messa in Sicurezza Permanente

Contenimento fisico falda



Progetto Preliminare di Bonifica

Tecnologie di bonifica per acque superficiali ed acque sotterranee	
Trattamenti biologici (<i>in-situ</i>)	Trattamenti biologici (<i>off-site</i>)
Processi cometabolici Arricchimento di nutrienti Bio-sparging Arricchimento di ossigeno tramite ORC Attenuazione naturale	Reattori biologici
Trattamenti fisico-chimici (<i>in-situ</i>)	Trattamenti fisico-chimici (<i>on-site / off-site</i>)
Air Sparging In Situ Chemical Oxidation (ISCO) Steam flushing Barriere impermeabili o filtranti Dual Phase extraction Recupero fasi libere	Air Stripping Filtrazione su membrane Scambio ionico Adsorbimento su carboni attivi Precipitazione Ossidazione con raggi ultravioletti

Progetto Preliminare di Bonifica

Pump & Treat

Bonifica o messa in sicurezza con Pompaggio e Trattamento delle acque di falda

- 1. messa in sicurezza:** realizzazione di pozzi per il pompaggio di acqua contaminata per il contenimento di contaminate e **sorgente difficili da rimuovere;**
- 2. bonifica:** realizzazione di pozzi per il pompaggio di acqua contaminata fino a **totale rimozione dell'inquinante.**

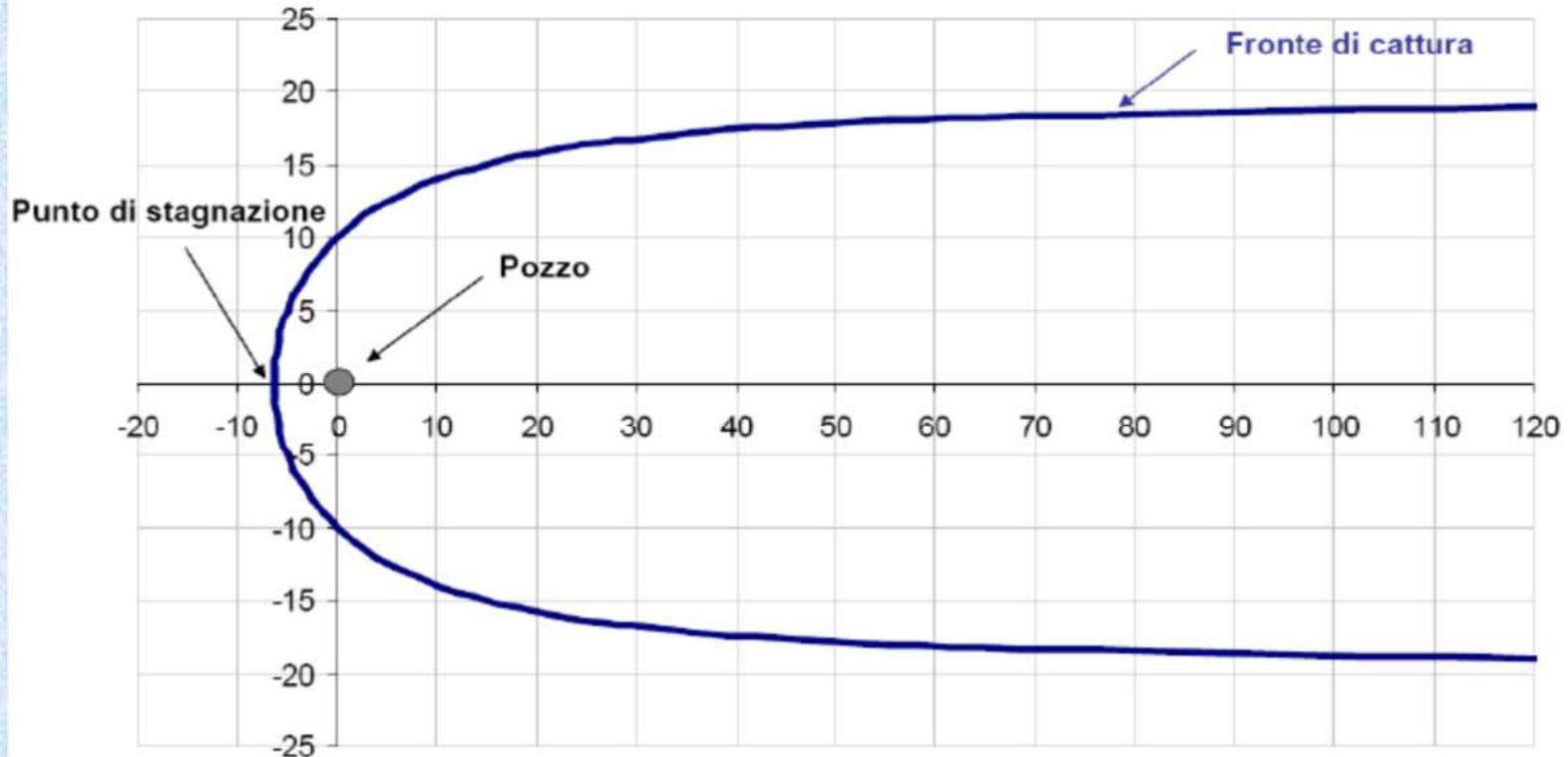
Occorre definire:

- Caratteristiche idrogeologiche di dettaglio
- Estensione dell'area contaminata oggetto del barrieramento
- Ubicazione eventuali recettori da preservare
- Raggio e area d'influenza, punto di stagnazione.

Progetto Preliminare di Bonifica

Pump & Treat

Andamento del fronte di cattura di un pozzo



$Q = 20000 \text{ m}^3/\text{giorno}$

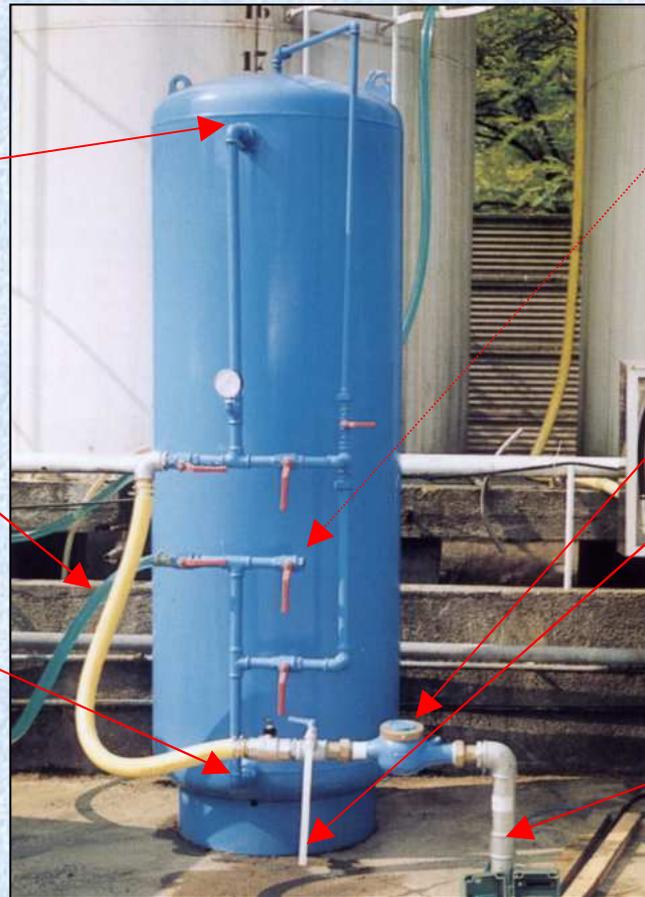
$b = 100 \text{ m}$

$K = 1000 \text{ m}/\text{giorno}$

$i = 0.005$

Progetto Preliminare di Bonifica

Pump & Treat



Ingresso
filtro

Scarico

Uscita filtro

Rubinetto di
prelievo acque
in uscita

Contatore

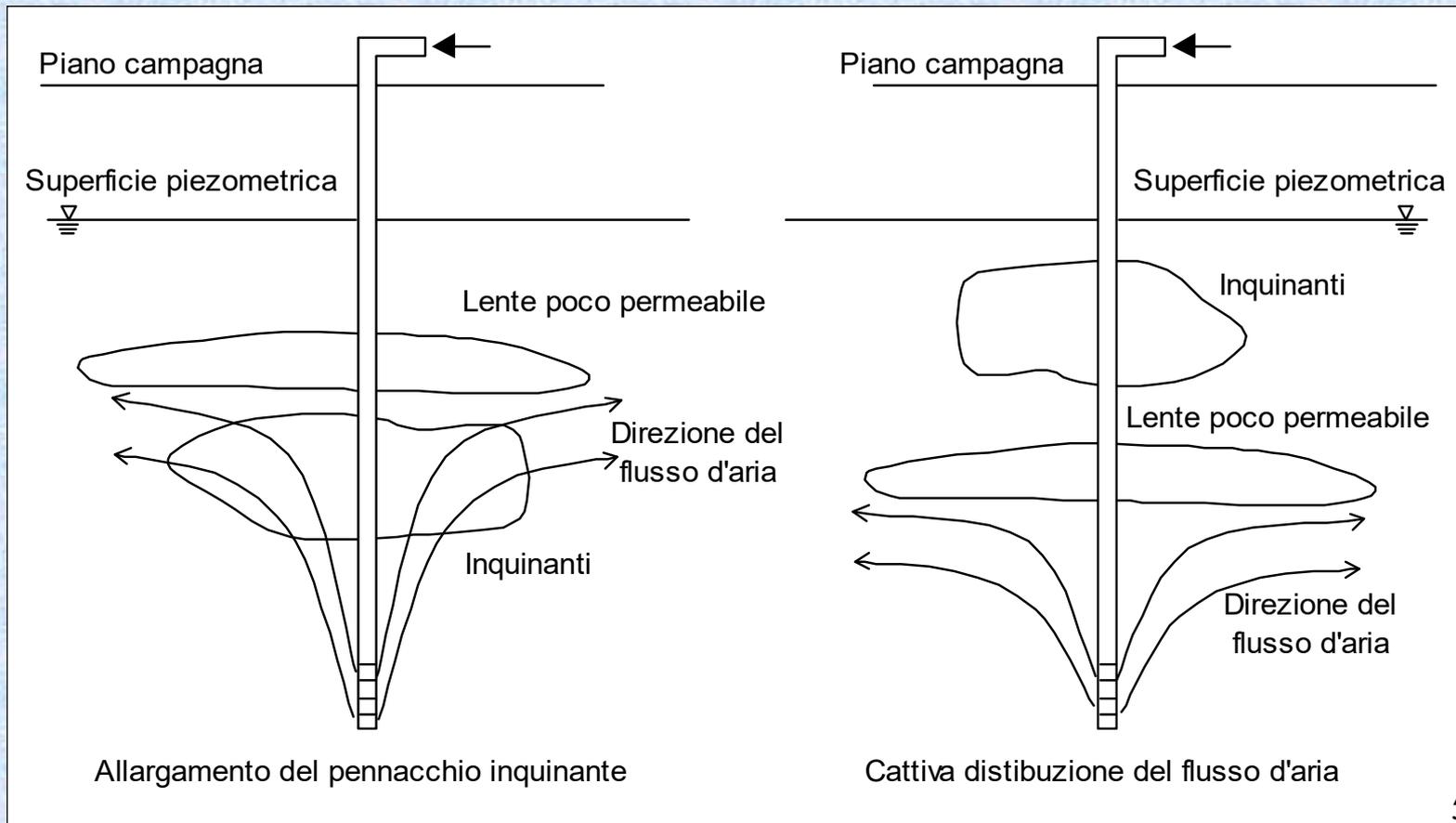
Rubinetto di
prelievo acque
in ingresso

Tubazione di
mandata

Progetto Preliminare di Bonifica

Air sparging

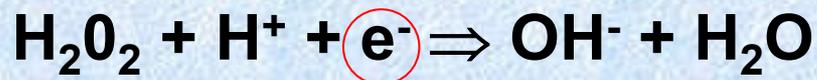
Sono determinanti le caratteristiche geologiche del mezzo



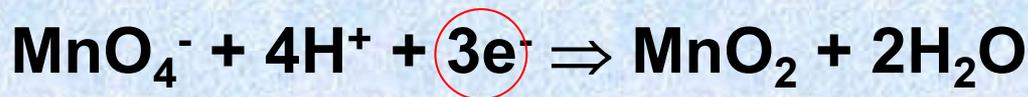
Progetto Preliminare di Bonifica **In Situ Chemical Oxidation (ISCO)**

Iniezione nel saturo di:

- **Perossido di idrogeno** H_2O_2 (in soluzione)



- **Permanganato di potassio** KMnO_4 (in soluzione) **o**
di sodio NaMnO_4 (sale)



- **Persolfato di sodio** $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ (in soluzione)



IV sezione IL PROGETTO PRELIMINARE DI BONIFICA

Metodologie e tecniche di bonifica tecniche innovative

Barriera permeabile reattiva (PRB)

Diaframma chimicamente reattivo posto all'interno dell'acquifero, **ortogonale alla direzione di deflusso**. Il materiale reattivo viene posto all'interno di trincee e produce la degradazione, la trasformazione, la precipitazione o l'adsorbimento del contaminante.

Le due **configurazioni** più utilizzate sono:

- a **trincea continua**;
- sistema **Funnel & Gate™**, costituito da una barriera impermeabile a forma di imbuto (Funnel) e una zona di trattamento permeabile (Gate).

IV sezione IL PROGETTO PRELIMINARE DI BONIFICA

Metodologie e tecniche di bonifica tecniche innovative

Barriera permeabile reattiva (PRB)

INQUINANTI TRATTABILI

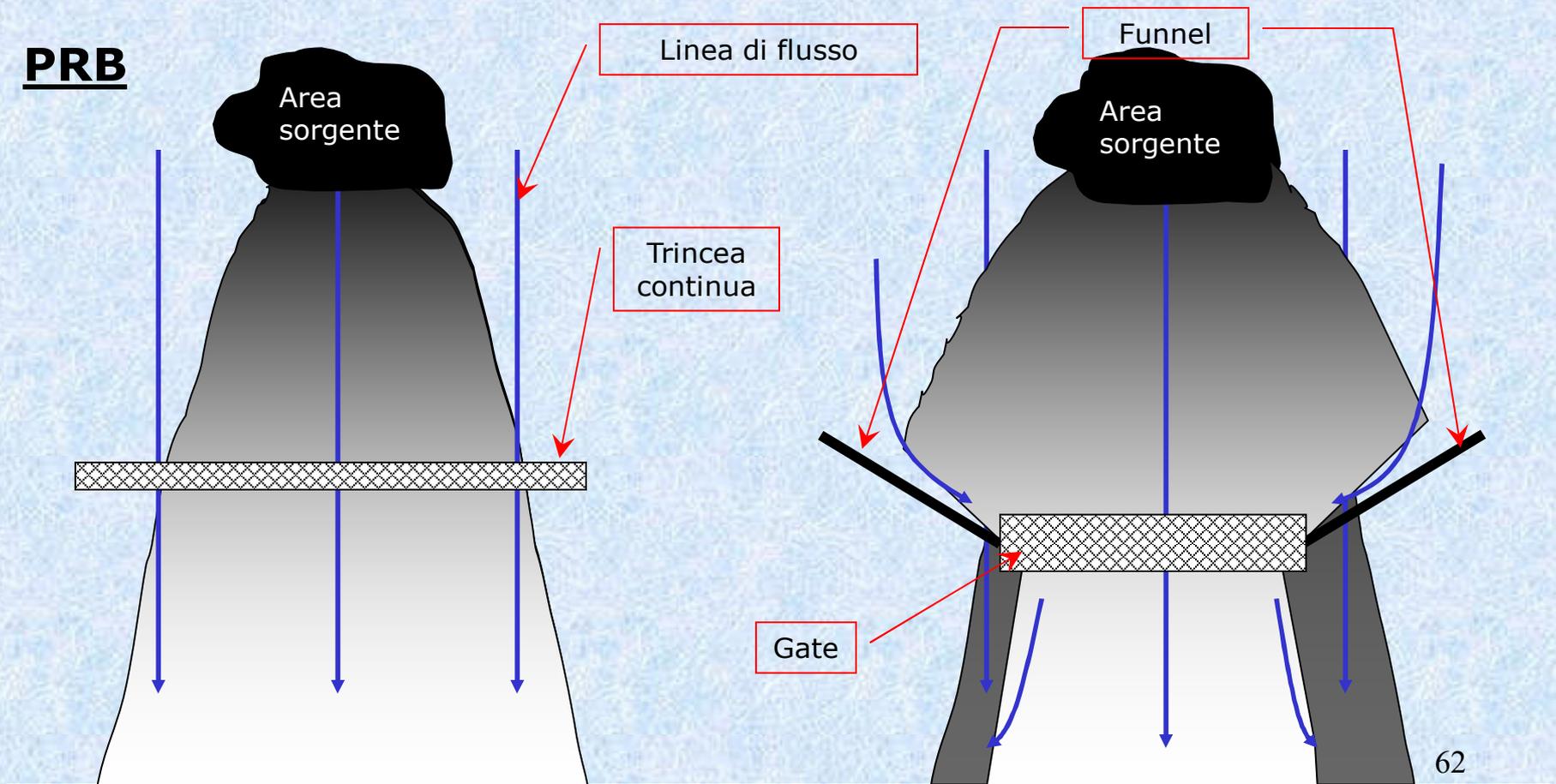
- ✓ **Contaminanti organici**
- ✓ **Contaminanti inorganici (metalli pesanti)**
- ✓ **Contaminanti radioattivi**

I **reagenti** più spesso **impiegati** nella realizzazione delle *Barriere reattive* sono, in funzione del loro principio di funzionamento:

- ***Adsorbimento***: carboni attivi, resine e zeoliti
- ***Precipitazione***: sali ferrosi, PO_4^{3-} , limo, ceneri, BaCl_2 , CaCl_2 e CaSO_4

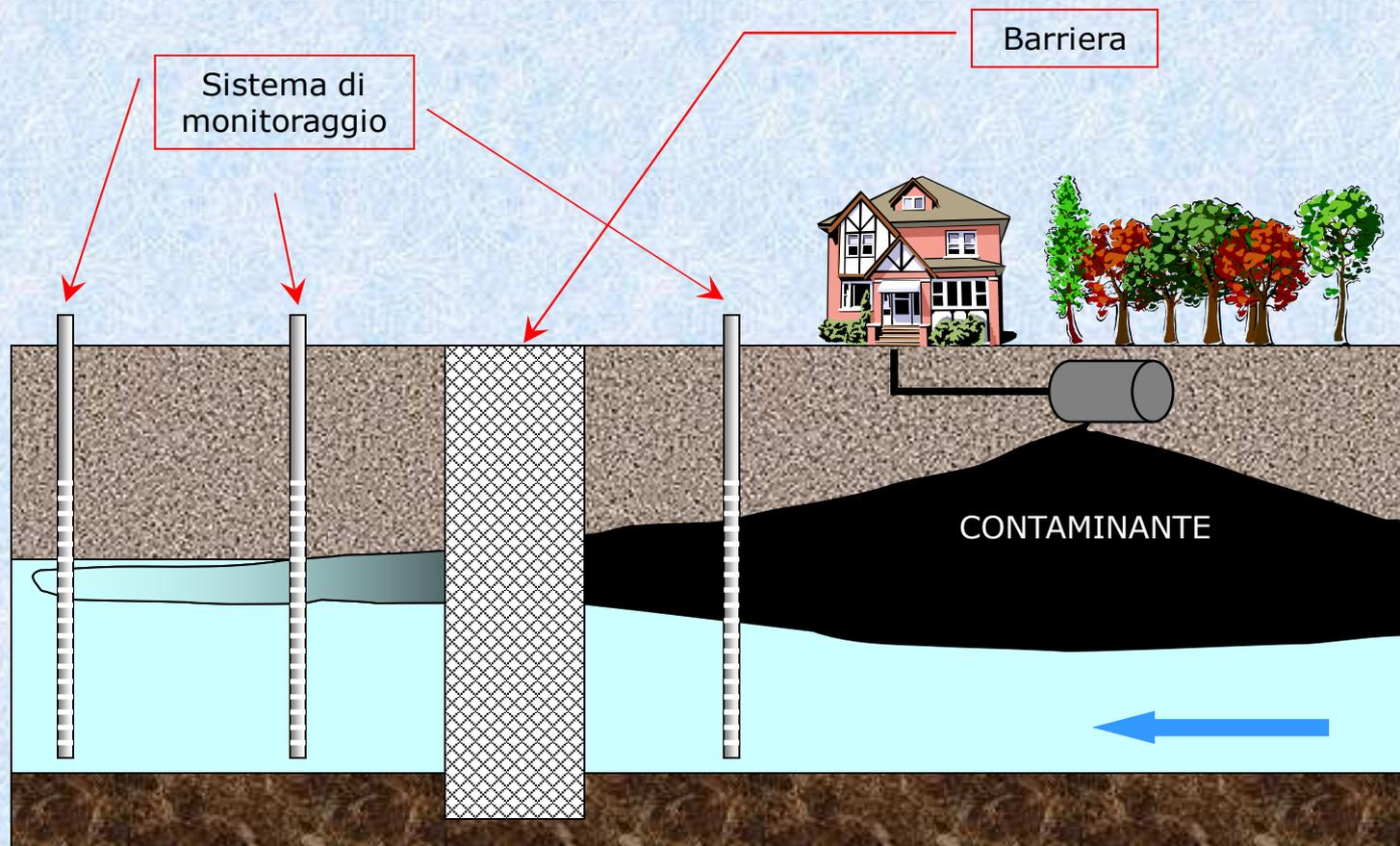
Progetto Preliminare di Bonifica Barriere Permeabili Reattive (PRB)

Diaframma chimicamente reattivo ortogonale alla direzione di deflusso



Progetto Preliminare di Bonifica Barriere Permeabili Reattive (PRB)

Reagenti o filtri più utilizzati: carboni attivi, resine, zeoliti, sali ferrosi, PO_4^{3-} , limo, ceneri, BaCl_2 , CaCl_2 e CaSO_4



Progetto Preliminare di Bonifica **Barriere Permeabili Reattive (PRB)**

FASE 1: scavo del *funnel*

**Trinceratrice a
riempimento continuo**



Benna mordente



Progetto Preliminare di Bonifica **Barriere Permeabili Reattive (PRB)**

FASE 2: costruzione del *gate*



Aree contaminate: elementi di base per risanamento e normativa



GRAZIE PER LA CORTESE ATTENZIONE!!!
