

LE BONIFICHE DEI
SITI CONTAMINATI
E DEI
BENI CONTENENTI AMIANTO
ALLA LUCE DELLA NORMATIVA AMBIENTALE

Modulo 2 – tecniche di bonifica

Dott. Sergio Citran
Firenze, 4 marzo 2021



1^a Parte

Attività di caratterizzazione
Modello concettuale del sito
Analisi di Rischio

2^a Parte

Bonifica dei siti
Criteria di scelta degli interventi
Tipologia di interventi sui suoli sulle acque
Attività degli organi di controllo

CONCETTI BASE SULLA CONTAMINAZIONE DEL TERRENO

CONTAMINANTI NEL SOTTOSUOLO

Costituiti principalmente da:

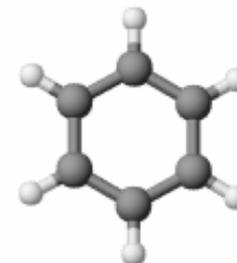
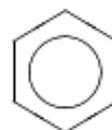
INORGANICI: METALLI PESANTI (Arsenico, Cadmio, Mercurio, Piombo, Zinco.....). Talvolta legati con altre sostanze (es. solfuri)

COMPOSTI ORGANICI: molecole complesse formate essenzialmente da carbonio (C) ossigeno (O) idrogeno (H) in alcuni casi da cloro (Cl). Si tratta in gran parte di derivati dalla distillazione del petrolio o carbone



CONCETTI BASE SULLA CONTAMINAZIONE DEL TERRENO

In larga parte i contaminanti organici dopo un tempo più o meno lungo di persistenza nell'ambiente, iniziano a degradarsi naturalmente, scindendosi in molecole più semplici.



Es. benzene (formula chimica C₆H₆)

dopo una serie di esperimenti condotti dall'EPA sia sul campo che in laboratorio, si è concluso che il benzene è una sostanza la cui biodegradazione è abbastanza rapida nella maggior parte delle condizioni ambientali in cui vi sia presenza di ossigeno.

Il tempo di dimezzamento ($t_{1/2}$) medio calcolabile del benzene alla temperatura di riferimento in un ambiente acquatico contaminato ricco di microrganismi, (ambiente lagunare) sarà pari a 7,22 giorni

CONCETTI BASE SULLA CONTAMINAZIONE DEL TERRENO

I solventi organici clorurati sono soggetti alla naturale degradazione microbica sia in condizioni aerobiche (falde libere) sia in condizioni anaerobiche (falde confinate).

Il principale meccanismo è la dealogenazione riduttiva (sostituzione degli atomi di Cl con atomi di idrogeno) e la trasformazione dei solventi con molecole complesse in composti più semplici fino ad arrivare come prodotto finale all'etilene

DEGRADAZIONE DEL PCE/TCE

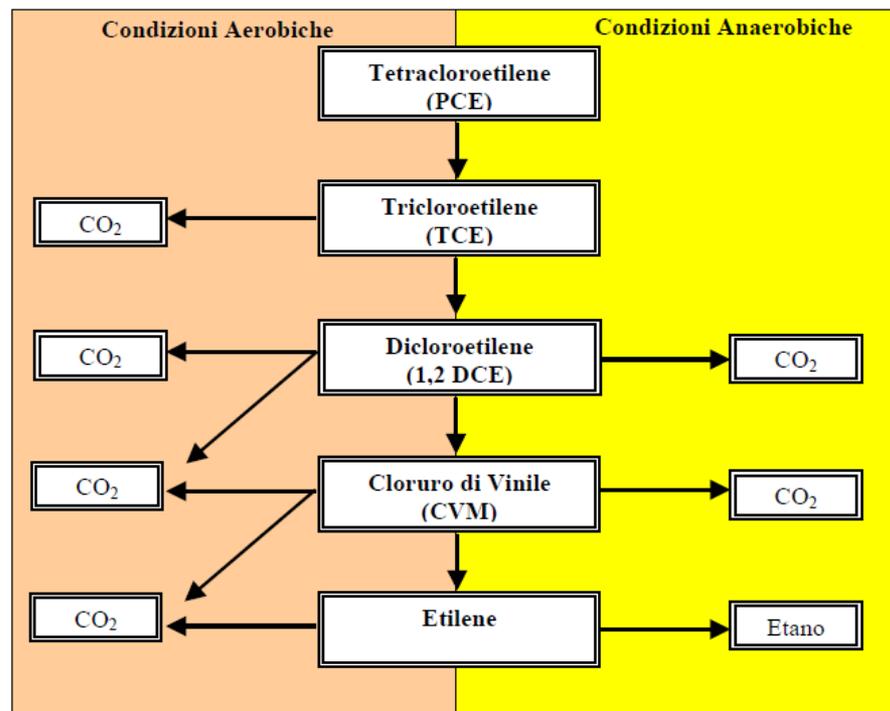


Fig. 2: catena di degradazione degli alcheni clorurati

CONCETTI BASE SULLA CONTAMINAZIONE DEL TERRENO

CONTAMINANTI NEL SOTTOSUOLO

Coesistenza di 3 fasi:

- Solido: particelle di inquinanti frammiste a terreno
- Liquido: frazione liquida o disciolta nell'acqua interstiziale (falda)
- Gassoso: vapori presenti nei pori della porzione insatura (soil gas)

CONCETTI BASE SULLA CONTAMINAZIONE DEL TERRENO

Il suolo rappresenta:

1. un supporto sul quale gli inquinanti si possono fissare (assorbimento/adsorbimento)
2. Un mezzo poroso attraverso il quale fluisce un fluido (acqua) contaminato

I metalli nei suoli si concentrano principalmente nella frazione fine (diam. < 4 mm) e soprattutto in quella argillosa, che contiene i nutrienti per la vegetazione.

L'analisi della frazione fine dei suoli è quella di maggiore utilità per prevedere se i metalli pesanti presenti nel suolo possono entrare a far parte dell'ecosistema.

Diversi fattori (pH, potenziale redox, temperatura) spesso associati a processi batterici influenzano la solubilità, mobilizzazione precipitazione/deposizione dei metalli.

La mobilità è anche influenzata dall'eterogeneità tessiturale dei suolo o sedimenti.



Particellato inquinante



Patina liquida



Inquinante adsorbito



Inquinante assorbito



Contaminante in fase liquida nei pori



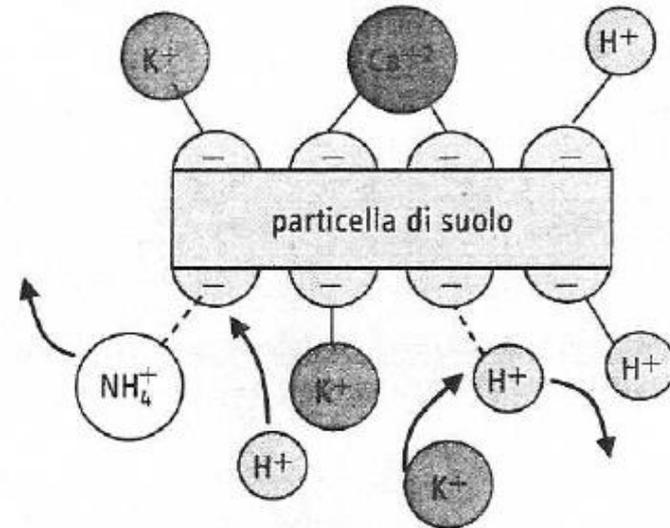
Contaminante in fase solida nei pori

CONCETTI BASE SULLA CONTAMINAZIONE DEL TERRENO

La forma, le dimensioni e il numero delle particelle solide determinano la superficie specifica, che è una grandezza molto importante per i problemi di decontaminazione:

Sabbie, limi, argille e sostanze umiche presentano sempre un ecceso di carica negativa permanente alla superficie che può essere saturata da cationi e molecole polari di sostanze esterne e quindi di notevole importanza per i fenomeni di trattenimento o rimozione dei contaminanti.

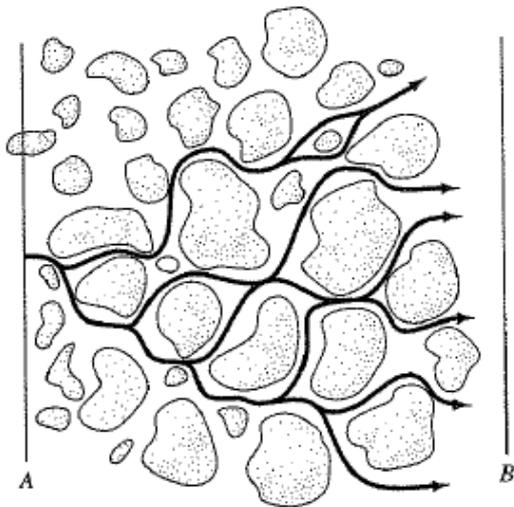
Questo fenomeno viene quantificato mediante la capacità di scambio cationico (CSC)



CONCETTI BASE SULLA CONTAMINAZIONE DEL TERRENO

Particella	Dimensioni (mm)	Area superficiale (m ² /g)
Argilla (montmorillonite)	<0.002	500-700
Limo	0.002-0.002	0.1-2
Sabbia	0.02-2	<0.1
Carbone attivo	-	1000-1500

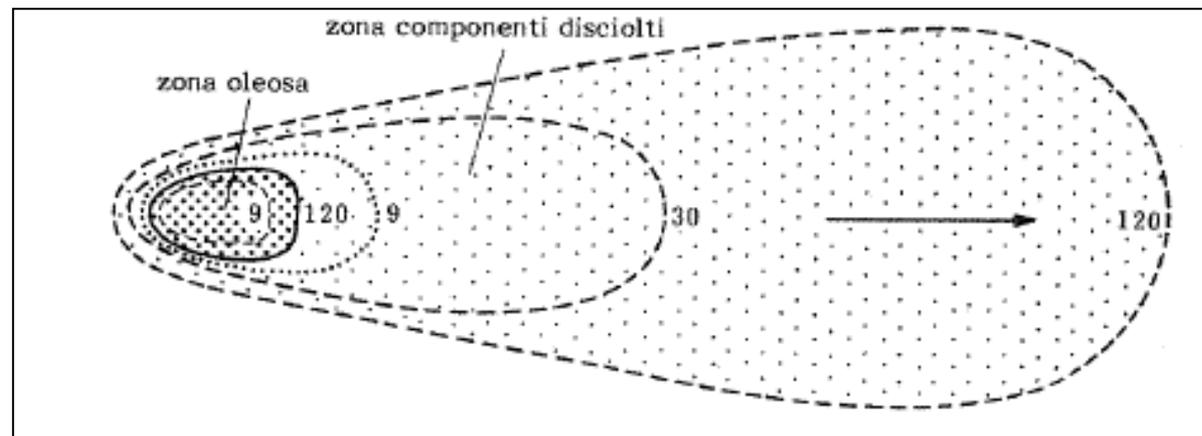
CONCETTI BASE SULLA CONTAMINAZIONE DEL TERRENO



In un mezzo poroso la contaminazione della falda tende a disperdersi lateralmente rispetto alla direzione di deflusso della falda in quanto, a scala microscopica, il flusso tende a divergere come illustrato nella figura accanto.

Il risultato di ciò è una miscelazione in direzione normale al flusso e viene definita come dispersione trasversale.

La dispersione trasversale è il fenomeno che va a generare il cosiddetto plume di contaminazione che si allunga e allarga in direzione del flusso di falda (con attenuazione della concentrazione)



CONCETTI BASE SULLA CONTAMINAZIONE DEL TERRENO

I composti organici, dal punto di vista dell'inquinamento possono essere divisi in quattro fasi:

- 1 - Volatile o gassosa (SOIL GAS)
- 2 - Soluzione acquosa (nell'acqua mobile tra pori interstiziali e nella pellicola che avvolge le particelle di terreno)
- 3 - Non solubile o liquida, a sua volta distinta in:
 - (LNAPL = light non aqueous phase liquid)
 - (DNAPL = dense non aqueous phase liquid)
- 4 - Fase adsorbita nelle particelle di terreno (nella zona insatura e satura)

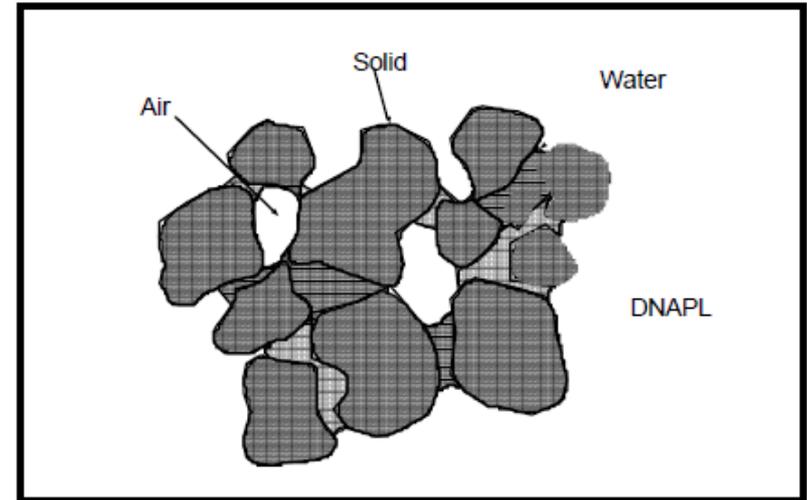


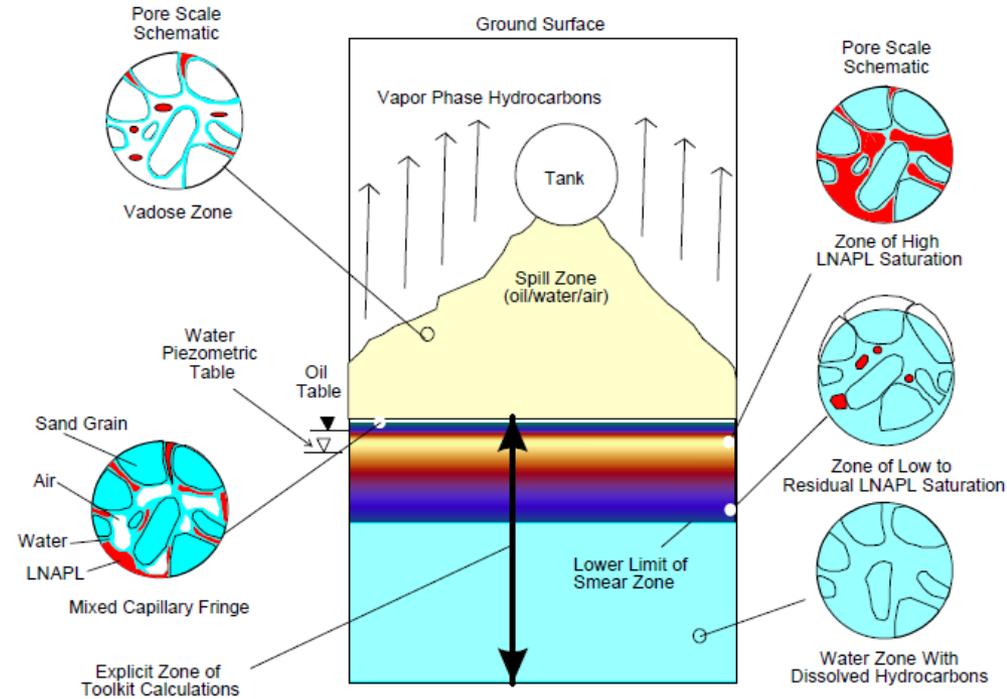
Figure 3. A DNAPL contaminated unsaturated zone has four physical states or phases (air, solid, water, immiscible). The contaminant may be present in any one, or all four phases.

CONCETTI BASE SULLA CONTAMINAZIONE DEL TERRENO

Un prodotto petrolifero in fase liquida che si infiltra nel sottosuolo tende a scendere per effetto della gravità. L'aria e l'acqua interstiziali tendono ad essere spiazzati dall'olio e si manifestano una serie di fenomeni concomitanti:

I componenti leggeri tendono ad evaporare e diffondersi negli interstizi (soil gas).

La frazione solubile tende a interagire con l'acqua interstiziale nella zona insatura diffondendosi e restando adsorbita nel terreno. In questa zona essa può subire l'attacco da parte dei microorganismi ed essere degradato.



Quando il prodotto raggiunge la falda, la parte più leggera (LNAPL) tende a galleggiare sopra di essa mentre la fase più pesante (DNAPL) tende a ristagnare sul fondo.

CONCETTI BASE SULLA CONTAMINAZIONE DEL TERRENO

DNAPL = dense non aqueous phase liquid
Fase pesante non solubile

LNAPL = light non aqueous phase liquid
Fase leggera non solubile

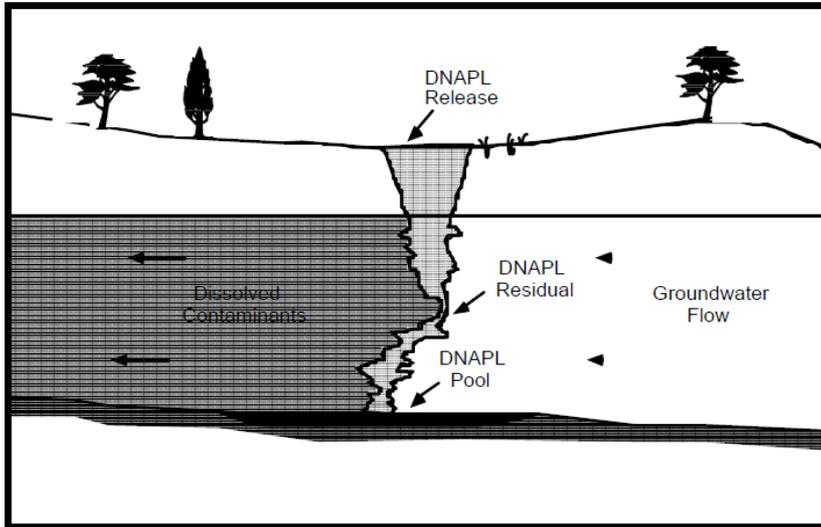


Figure 10. Migration of DNAPL through the vadose zone to an impermeable boundary.

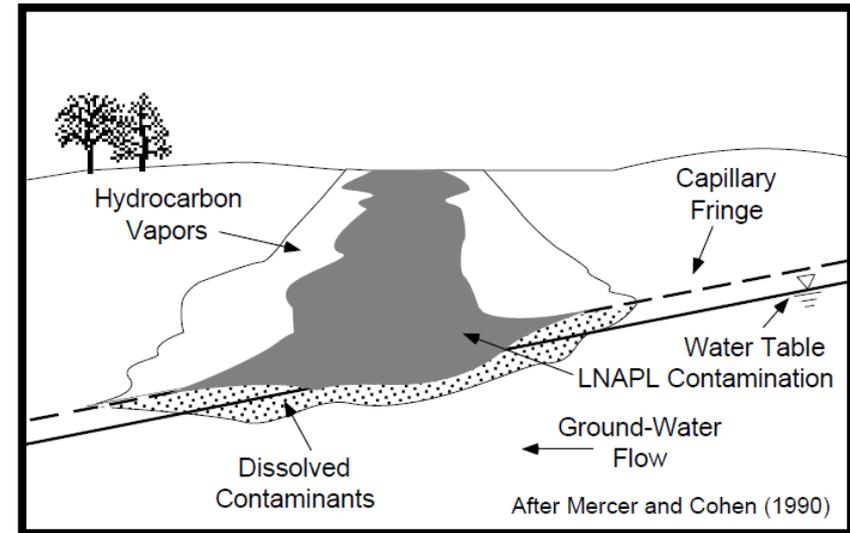


Figure 1. Simplified conceptual model for LNAPL release and migration.

CONCETTI BASE SULLA CONTAMINAZIONE DEL TERRENO

TABELLA I
Principali composti indicatori e parametri chiave nell'inquinamento da petrolio

Composto	Solubilità in acqua (mg/L) (25 °C)	Coefficiente di ripartizione ottanolo/acqua, (log K_{OW})	Coefficiente di adsorbimento nella sostanza organica (log K_{OC})	Costante di Henry H (m ³ -atm/mol)
Benzene	1750	2,13	1,58	5,5 E-03
Toluene	535	2,73	2,48 (stimato)	6,6 E-03
Etilbenzene	152	3,13	3,04 (stimato)	8,7 E-03
Xileni	146-198	3,26	2,38-2,79	<i>o</i> -xilene:5,1 E-03
<i>n</i> -Esano	13	...	...
MTBE	48.000	1,06-1,30	1,08	1 E-03
Metil etil chetone	268.000	0,26	0,65	
Metil <i>iso</i> -butil chetone	...	...	...
Metanolo	...	...	...
Etanolo	1.000.000	-0,032	0,34	
<i>terz</i> -Butil alcol	...	...	...
Piombo (tetraetile)	0,8	...	3,69	7,98 E-02
Etilene dicloruro	8.520	1,48	1,15	
Etilene dibromuro	4.300	1,76	1,64	

Principali composti organici e parametri chiave nell'inquinamento da prodotti petroliferi.

(siti contaminati da idrocarburi problematiche e approccio metodologico – stazione sperimentale sui combustibili)

CONCETTI BASE SULLA CONTAMINAZIONE DEL TERRENO

TABELLA I

Principali composti indicatori e parametri chiave nell'inquinamento da petrolio

Composto	Solubilità in acqua (mg/L) (25 °C)	Coefficiente di ripartizione ottanolo/acqua, (log K_{OW})	Coefficiente di adsorbimento nella sostanza organica (log K_{OC})	Costante di Henry H (m ³ -atm/mol)
Idrocarburi aromatici policiclici:				
Pirene	0,132	4,88	4,58	
Benzo(a)pirene	0,00120	5,98	5,59	1 E-04
Antracene	0,0450	4,45	4,15	
Fenantrene	1,00	4,46	4,15	
Naftalene	31,0	3,28	3,11	1,15 E-03
Crisene	0,00180	5,61	5,30	
Benzo(k)fluorantene	0,430	6,06	5,74	
Fluorene	1,69	4,20	3,86	
Fluorantene	0,206	4,90	4,58	
Benzo(g,h,i)perilene	0,000700	6,51	6,20	
Benzo(b)fluorantene	0,0140	6,06	5,74	
Benzo(a)antracene	0,00670	5,60	6,14	

(Elaborazione da ASTM E1739 e rif. citati)

Principali composti organici e parametri chiave nell'inquinamento da prodotti petroliferi.

(siti contaminati da idrocarburi problematiche e approccio metodologico – stazione sperimentale sui combustibili)

PROGETTAZIONE INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA/BONIFICA

Definizioni da D. Lgs. 152/06 Parte quarta allegato 3

BONIFICA: finalizzata ad eliminare la contaminazione del sottosuolo riportando le concentrazioni nelle matrici ambientali interessate (terreno-falda) entro i valori delle CSC o CSR

INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA: isolamento delle fonti inquinanti per impedirne la diffusione e contatto con esseri umani e recettori ambientali
(in sostanza viene realizzata una interruzione del percorso di migrazione)

Si dividono in:

- messa in sicurezza d'urgenza
- messa in sicurezza operativa (MISO)
- messa in sicurezza permanente (MISP)



BONIFICA/MESSA IN SICUREZZA

Il percorso di bonifica/messa in sicurezza si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. Caratterizzazione e analisi di rischio
2. Progettazione dell'intervento di bonifica
3. Emissione provvedimento di approvazione
4. Esecuzione dell'intervento di bonifica
5. Collaudo dell'intervento
6. Emissione della certificazione di avvenuta bonifica

PROGETTAZIONE INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA/BONIFICA

Il progetto degli interventi deve contenere una dettagliata analisi comparativa delle diverse tecnologie di intervento applicabili al sito in esame in termini di:

- efficacia nel raggiungere gli obiettivi finali,
- concentrazioni residue (CSC o CSR),
- tempi di esecuzione,
- impatto degli interventi sull'ambiente circostante;
- analisi dei costi delle diverse tecnologie.

Art. 242bis, comma 2bis: nella selezione della strategia di intervento dovranno essere privilegiate modalità tecniche che permettano il trattamento e riutilizzo in sito del suolo minimizzando o evitando il conferimento in discarica dei rifiuti prodotti durante le operazioni di bonifica.



PROGETTAZIONE INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA/BONIFICA

L'analisi dei costi di un intervento di bonifica deve contemplare anche una valutazione dei benefici diretti e indiretti collegati alle diverse scelte.

Esempio: a volte è preferibile una scelta più costosa di bonifica al posto della messa in sicurezza, per i vantaggi che possono derivare dall'assenza di vincoli permanenti sul sito e necessità di monitoraggi, a beneficio di una maggiore valorizzazione commerciale del sito

ESECUZIONE DEI LAVORI DI BONIFICA

Varianti in corso d'opera

Durante l'esecuzione dei lavori si può manifestare l'esigenza di dover apportare delle modifiche al progetto

(es. rinvenimento situazioni nel sottosuolo non preventivate durante la caratterizzazione, modifiche alla perimetrazione del sito.....)

- Non sostanziali: comunicazione agli enti di controllo (da condividere e comunicare agli enti)
- Sostanziali: progetto di variante da sottoporre ad approvazione

Non esiste una regola precisa che stabilisce se la variante costituisce una variante sostanziale/non sostanziale – concordare sempre con enti



APPROVAZIONE INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA/BONIFICA

AUTORIZZAZIONE ALL'ESECUZIONE DELLA BONIFICA

Avviene con l'emissione di un Decreto di approvazione del progetto generalmente emesso da:

- Ministero Ambiente (SIN)
- Regione
- Comune (tutti gli altri casi)

L'approvazione del progetto sostituisce, laddove previsto, anche le autorizzazioni, le concessioni ecc. previsti dalla vigente normativa con particolare riferimento a:

- Valutazione impatto ambientale
- Gestione terre e rocce da scavo all'interno del cantiere
- Scarico delle acque emunte dalle falde

COLLAUDO DELLA BONIFICA

Il collaudo deve verificare la rispondenza tra il progetto e quanto realizzato. Deve essere eseguito da un soggetto terzo rispetto a progettista e direttore lavori.

Bonifica

- Efficienza di sistemi, tecnologie, strumenti utilizzati sia durante che al termine delle attività
- Raggiungimento CSC o CSR mediante analisi di fondo scavo e pareti, validate da ARPA

Messa in sicurezza permanente

- Efficienza di sistemi, tecnologie, strumenti utilizzati sia durante che al termine delle attività
- Efficacia delle misure di sicurezza adottate

CERTIFICAZIONE DI BONIFICA

Viene accertata dalla Provincia (Città metropolitana) mediante apposita certificazione rilasciata dall' ARPA competente per territorio.

Rilascio della certificazione di avvenuta bonifica*

* *vale solo per l'intervento per il quale è stata eseguita la bonifica*
non è universale né eterno



PROGETTAZIONE INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA/BONIFICA

ISPRA - Matrice di screening delle tecnologie di bonifica

www.isprambiente.gov.it/files/temi/matrice-tecnologie-ispra-rev050908.pdf

è uno strumento di supporto alle decisioni nella selezione delle tecnologie di bonifica potenzialmente applicabili, in fase di elaborazione di un progetto di bonifica.

Per la realizzazione della matrice è stato utilizzato il **modello della matrice di screening delle tecnologie** sviluppato dalla Federal Remediation Technologies Roundtable al quale sono stati aggiunti alcuni contaminanti significativi ai sensi della normativa italiana vigente in tema di siti contaminati.

PROGETTAZIONE INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA/BONIFICA

Prende in considerazione 25 tecnologie in situ ed ex situ per la bonifica del suolo e 16 tecnologie in situ ed ex situ per la bonifica delle acque sotterranee. Le variabili utilizzate includono tempi, necessità di monitoraggi a lungo termine, limiti ed applicabilità e, ove disponibili, casi studio.



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

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

TECNICHE DI BONIFICA

Le tecnologie di bonifica possono coinvolgere una combinazione di metodologie fisico-chimiche e biologiche che hanno lo scopo di:

- **Immobilizzare**
- **Isolare**
- **Estrarre**
- **Degradare**

Le sostanze inquinanti.



TECNICHE DI BONIFICA

Le tecnologie di bonifica si basano su

- **Processi Chimico-fisici:** i metodi chimico-fisici sfruttano le proprietà fisiche del contaminante o della matrice contaminata per **modificare, separare o contenere** la contaminazione
- **Processi biologici:** le tecniche sono distruttive e mirano a stimolare la crescita microbica attraverso l'uso dei **contaminanti come cibo e fonte di energia**, creando le condizioni per un ambiente favorevole per i microrganismi stessi. In genere questo significa fornirgli la giusta combinazione di nutrienti, O₂ e tenere entro un intervallo ottimale, la temperatura ed il pH. Talvolta i microrganismi specifici per determinati contaminanti possono essere aggiunti al suolo. Hanno bassi costi ma anche minor efficienza e tempi lunghi.
- **Processi termici:** sono tecniche distruttive che **utilizzano il calore** per aumentare la volatilità (*separazione*), bruciare, decomporre o fondere (*immobilizzare*) i contaminanti. I trattamenti termici impiegano tempi brevi ma alti costi (energia ed equipaggiamento).



TECNICHE DI BONIFICA

Le principali **tipologie di intervento** sono:

- 1. Interventi in situ:** effettuati senza movimentazione o rimozione del suolo, con distruzione dei contaminanti oppure trasformazione in maniera che la loro mobilità e/o tossicità siano significativamente ridotte.
- 2. Interventi ex situ on site:** con movimentazione e rimozione dei materiali e suolo inquinato, ma con trattamento nell'area del sito stesso e possibile riutilizzo.
- 3. Interventi ex situ off-site:** con movimentazione e rimozione dei materiali e suolo inquinato fuori dal sito stesso, per avviare i materiali negli impianti di trattamento autorizzati o in discarica.

Sono fortemente condizionate dalla situazione geologica sito specifica

Le caratteristiche geologiche sito specifiche sono meno condizionanti

Nessun/minore condizionamento da parte della geologia

TECNICHE DI BONIFICA – interventi in situ

1. Tecnologie che provvedono ad estrarre i contaminanti direttamente dal sottosuolo oppure ne favoriscono la degradazione.
2. Avvengono senza movimentazione o rimozione del suolo.
3. Ottemperano ai principi generali della progettazione (*allegato3 - no discarica*)

Prevedono quindi una installazione impiantistica di superficie per il trattamento e/o recupero degli effluenti ed impianti nel sottosuolo che variano in base alla tecnica impiegata.

Le tecniche disponibili sono:

- a. -Estrazione fase liquida: Pompaggio e trattamento delle acque
- b. -Lavaggio con estrazione/estrazione multifase
- c. -Biodegradazione assistita
- d. -Ossidazione chimica
- e. -Inertizzazione-stabilizzazione
- f. -Elettrocinesi
- g. -Fitodepurazione
- h. -Soil venting-air sparging-bioventing-biosparging (composti organici volatili)
- i. -Trattamenti termici

TECNICHE DI BONIFICA

Pompaggio e trattamento:

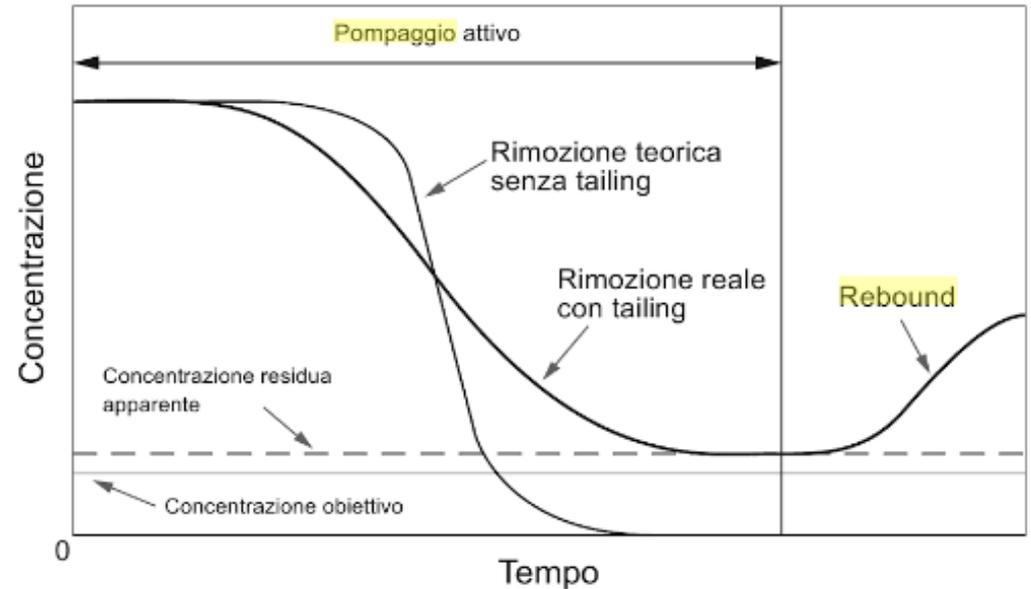
Prevede l'estrazione di acqua contaminata e l'invio ad impianto di trattamento.

Potenziali limitazioni:

Parzialmente efficace in quanto si riesce ad estrarre solo la parte di acqua gravifica (presente nei pori maggiori)
Progressivo rallentamento dell'efficacia del metodo man mano che si prosegue con il pompaggio ("tailing")

Incremento della contaminazione (talvolta abbastanza rapido) dopo l'interruzione del pompaggio ("rebound").

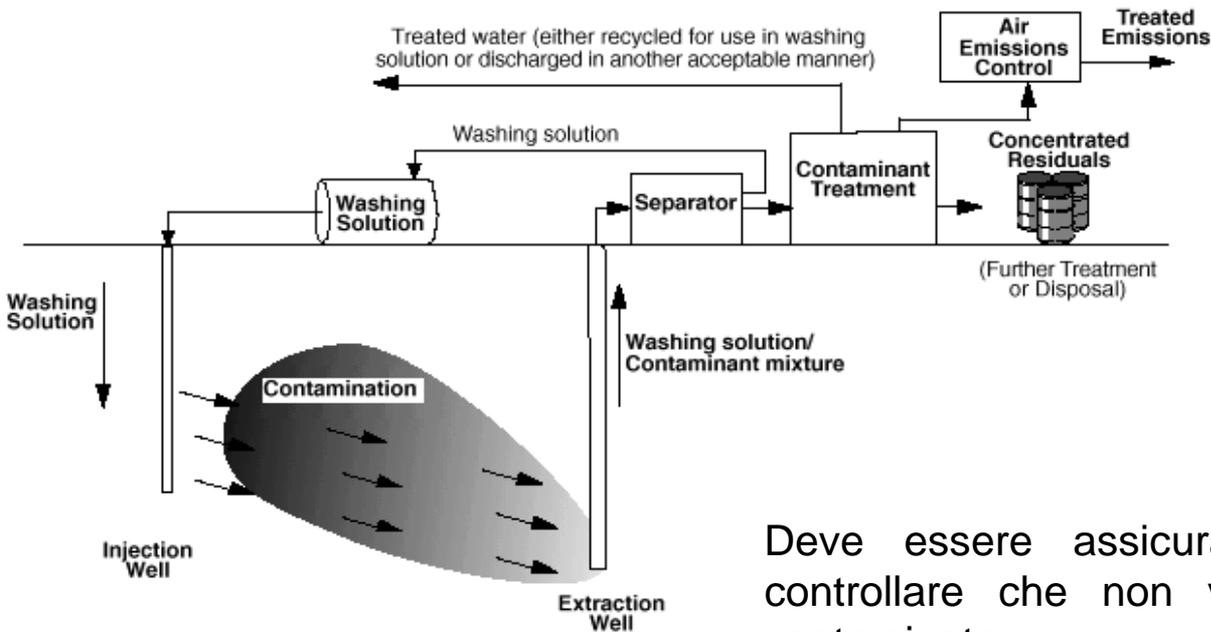
Si può limitare o annullare l'effetto del "rebound" con trattamento di desorbimento della frazione adsorbita al terreno per mobilizzarla e recuperare durante il pompaggio



TECNICHE DI BONIFICA

Lavaggio ed estrazione:

Prevede l'immissione di acqua con fluidi di lavaggio (detergenti-emulsionanti-ossidanti-solventi) che facilitano la rimozione dei contaminanti.



L'acqua viene recuperata a valle con l'ausilio di pozzi di emungimento, trincee drenanti o sistemi wellpoint.

Deve essere assicurato un attento controllo per controllare che non vi siano dispersioni di acque contaminate

TECNICHE DI BONIFICA – Biodegradazione e ossidazione chimica

Efficaci per contaminazione di terreno e falde da composti organici (idrocarburi e idrocarburi aromatici)

L'implementazione di queste tecnologie deriva dalla constatazione che i sistemi di pump & treat risultano inefficaci nel raggiungere gli obiettivi di bonifica richiesti in tempi e costi ragionevoli, particolarmente in presenza di fase libera, di adsorbimento dei contaminanti sulla matrice solida o di eterogeneità dell'acquifero.

La strategia di intervento deve/può prevedere l'integrazione delle diverse tecnologie disponibili per superare i problemi legati all'eterogeneità della matrice da trattare e concentrazioni di inquinanti da rimuovere



TECNICHE DI BONIFICA – Biodegradazione e ossidazione chimica

Ossidazione chimica: consiste nell'iniettare nel sottosuolo e/o nelle acque sotterranee alcune sostanze dalle proprietà ossidanti o riducenti, che reagendo con i contaminanti presenti, formano prodotti innocui per l'ambiente e la salute umana, quali l'anidride carbonica e l'acqua.

I reagenti operano attraverso la modifica della mobilità dei composti – sia in aumento, per rendere i contaminanti disponibili per la successiva rimozione o distruzione, sia in diminuzione, per ridurre le concentrazioni in fase disciolta – e nella distruzione degli stessi attraverso processi chimici, ossia non mediati da organismi biologici.

Biodegradazione assistita: prevede l'immissione di sostanze a lento rilascio di ossigeno (es. perossido di calcio o magnesio) per facilitare l'azione dei batteri naturalmente presenti nel sottosuolo per tempi prolungati al fine di attivare i processi di biodegradazione degli inquinanti.

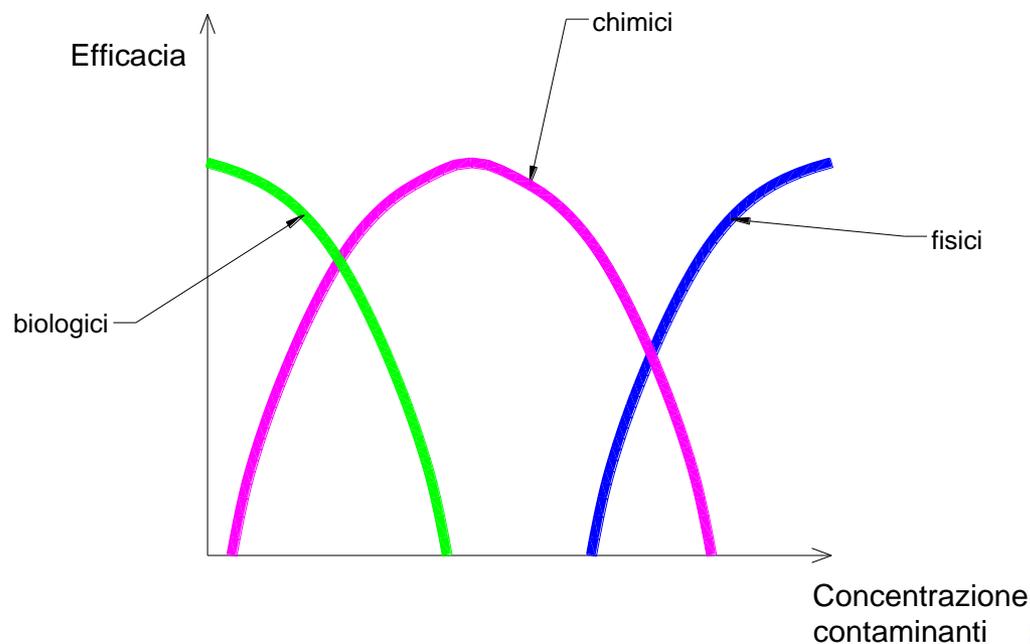


TECNICHE DI BONIFICA – Biodegradazione e ossidazione chimica

Nell'ipotesi di un sito con presenza di idrocarburi in fase libera la sequenza degli interventi potrebbe prevedere le fasi di seguito elencate:

- 1 – rimozione della fase libera → POMPAGGIO
- 2 – riduzione della massa residua assorbita/in soluzione → DESORBIMENTO
- 3 – riduzione della fase disciolta → FINITURA

Si opera con una combinazione di più tecnologie ognuna delle quali presenta una efficacia maggiore per specifiche concentrazioni.



TECNICHE DI BONIFICA – Biodegradazione e ossidazione chimica

Ogni sostanza ossidante risulta efficace per contaminanti diversi. In generale la lista dei contaminanti trattati con successo comprende solventi aromatici (BTEX), tricloroetilene, tetracloroetilene, dicloroetilene, cloruro di vinile, MtBE, IPA e prodotti petroliferi.

I reagenti tipicamente impiegati per l'ossidazione chimica in situ dei contaminanti organici sono:

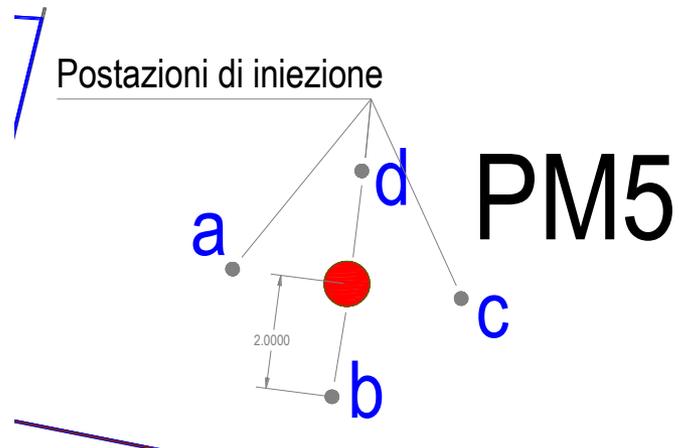
- perossido di idrogeno
- reagente fenton (perossido di idrogeno con aggiunta di ferro)
- permanganato di potassio
- percarbonato di sodio
- ozono
- persolfato di sodio

TECNICHE DI BONIFICA – Biodegradazione e ossidazione chimica

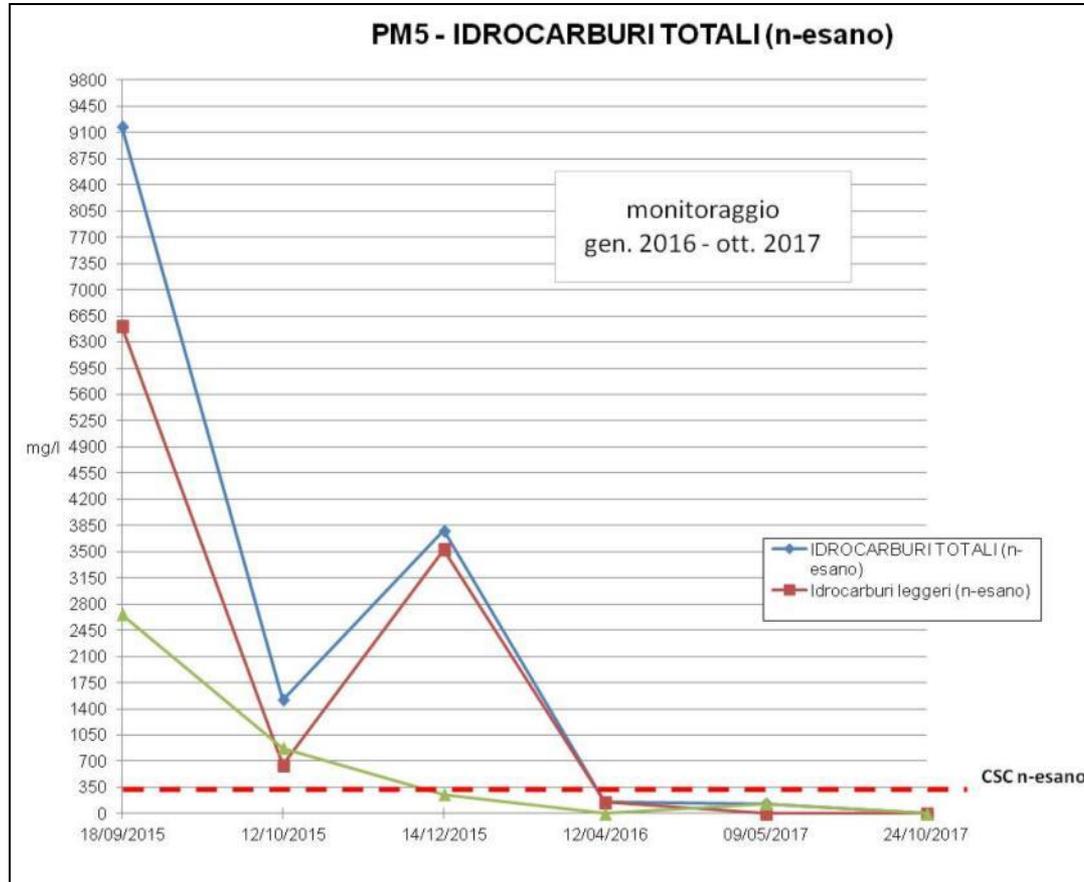
Per l'immissione delle sostanze si utilizzano punti di immissione realizzati mediante perforazione secondo una griglia regolare definita di volta in volta sulla base dell'estensione dell'area da trattare e delle caratteristiche del sottosuolo.



TECNICHE DI BONIFICA – Biodegradazione e ossidazione chimica



TECNICHE DI BONIFICA – Biodegradazione e ossidazione chimica



TECNICHE DI BONIFICA – Selezione granulometrica per riduzione volumi da smaltire e recupero in sito dei materiali

Come perseguire questi obiettivi: operazioni meccaniche con selezione granulometrica dei materiali con benna vagliatrice rotante

Sottovaglio
Smaltimento in discarica



Sopravaglio
recuperato in sito



TECNICHE DI BONIFICA – Requisiti dei materiali da recuperare nel sito

Circolare del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n. 5205 del 2005 "Indicazioni per l'operatività nel settore edile, stradale e ambientale, ai sensi del decreto ministeriale 8 maggio 2003, n. 203"

Prevede la conformità ai criteri stabiliti dall'allegato C caratteristiche prestazionali degli aggregati riciclati, suddiviso in:

- All. C1 – corpo dei rilevati
- All. C2 – sottofondi stradali
- All. C3 – strati di fondazione
- All. C4 – recuperi ambientali riempimenti e colmate



TECNICHE DI BONIFICA – Requisiti dei materiali da recuperare nel sito

PARAMETRO	MODALITÀ DI PROVA	LIMITE	
Materiali litici di qualunque provenienza, pietrisco tolto d'opera, calcestruzzi, laterizi, refrattari, prodotti ceramici, malte idrauliche ed aeree, intonaci, scorie spente e loppe di fonderia di metalli ferrosi (caratterizzate secondo EN13242)	Separazione visiva sul trattenuto al setaccio 8 mm (rif. UNI EN 13285:2004)	>80% in massa	
Vetro e scorie vetrose		≤ 10% in massa	
Conglomerati bituminosi		≤ 15% in massa	
Altri rifiuti minerali dei quali sia ammesso il recupero in sottofondi o fondazioni stradali ai sensi della legislazione vigente		≤ 15% in massa e ≤ 5% per ciascuna tipologia	
Materiali deperibili: carta, legno fibre tessili, cellulosa, residui alimentari, sostanze organiche eccetto bitume; Materiali plastici cavi: corrugati, tubi o parti di bottiglie in plastica etc.		≤ 0.1% in massa	
Alti materiali (metalli, gesso*, guaine, gomme, lana di roccia o di vetro ecc.)		≤ 0.4% in massa	
Equivalente in sabbia		UNI EN 933-8	>30%
Perdita in peso per abrasione con apparecchio "Los Angeles"		UNI EN 1097-2	≤30
Passante al setaccio da 63 mm		UNI EN 933-1**	100%
Passante al setaccio da 4 mm			≤ 60%
Rapporto tra il passante al setaccio da 0.5 mm ed il passante al setaccio da 0.063 mm	>3/2		
Passante al setaccio 0.063 mm	≤ 15%		
Indice di forma (frazione >4 mm)	UNI EN 933-4	≤40	
Indice di appiattimento (frazione >4 mm)	UNI EN 933-3	≤35	
Ecocompatibilità	Test di cessione ai sensi D.M. 186/06	Il materiale dovrà risultare conforme ai test di cessione previsto dal DM 186/06.	

Circolare del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n. 5205 del 2005 "Indicazioni per l'operatività nel settore edile, stradale e ambientale, ai sensi del decreto ministeriale 8 maggio 2003, n. 203"

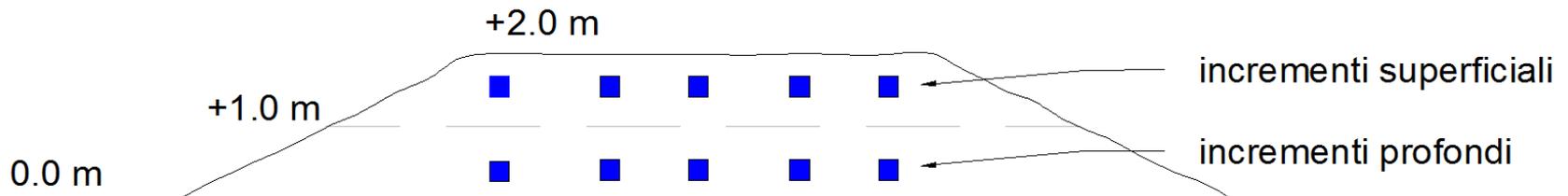
All. C2 – sottofondi stradali

TECNICHE DI BONIFICA – interventi di scavo e smaltimento

CARATTERIZZAZIONE DEL RIFIUTO, UNI 10802

CAMPIONAMENTO IN CUMULO: lotti non superiori a 1000 m³

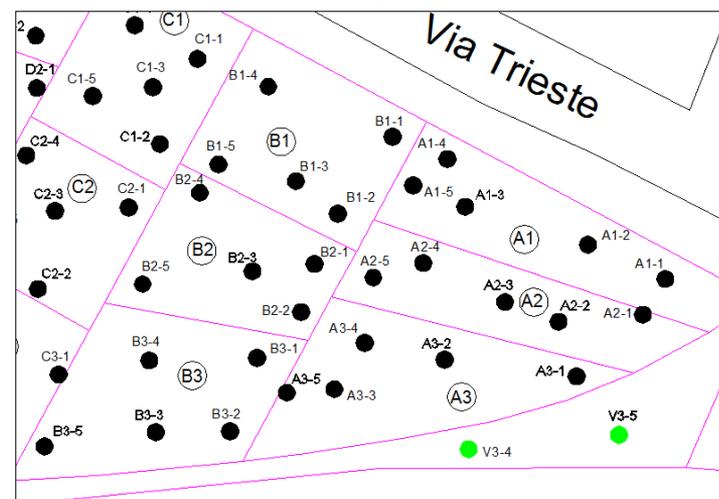
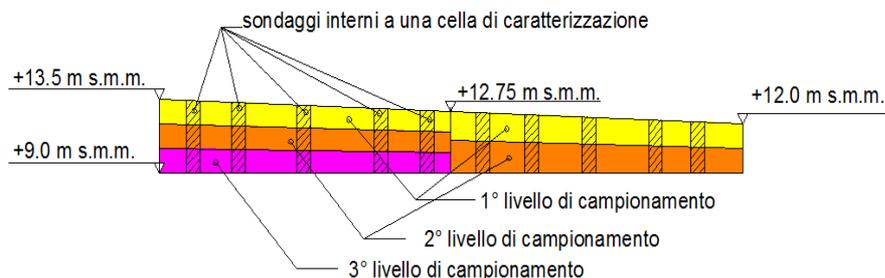
- Per ciascun lotto un unico campione composito, ottenuto dall'unione di un certo numero di incrementi miscelati fra loro, che, per quartatura, darà il campione da analizzare.
Es. per lotti di 1000 m³ prelievo di almeno 20 incrementi costituiti da 10 prelievi profondi e 10 superficiali (es. per cumuli di altezza fino a 2 m, 10 incrementi fra 0-1 m di profondità e 10 incrementi fra 1-2 m di profondità).
- In ogni caso per ogni lotto almeno 6 incrementi a creare il campione composito.



TECNICHE DI BONIFICA – interventi di scavo e smaltimento

CARATTERIZZAZIONE DEL RIFIUTO, UNI 10802 - DGRV 2922/03 CAMPIONAMENTO IN CUMULO ROVESCIO : lotti non sup. a 1000 m³

- secondo gli stessi criteri sopraindicati,
- avviene sul terreno in sito prima degli scavi,
mediante campioni prelevati da sondaggio



Lotto	Cella	Sup (m ²)	quota media (m s.m.m.)	quota fondo scavo (m s.m.m.)	prof. rifiuto (m)	livelli n°	sp. Livelli (m)	vol. livelli (m ³)	Livelli di campionamento			
									profondità media (m da p.c.)			
									1° livello	2° livello	3° livello	calcestruzzo
A'	A'1	436	11,81	11	0,81	1	0,81	355,19	0.0 - 1.0	NO	NO	
	A'2	288	12,08	11	1,08	1	1,08	310,75	0.0 - 1.1	NO	NO	
	A'3	224	12,61	11	1,61	1	1,61	360,42	0.0 - 1.6	NO	NO	
A	A1	310	11,89	9	2,89	2	1,45	448,64	0.0 - 1.5	1.5 - 3.0	NO	
	A2	260	12,04	9	3,04	2	1,52	395,45	0.0 - 1.4	1.5 - 3.0	NO	SI
	A3	338	12,33	9	3,33	3	1,11	374,90	0.0 - 1.3	1.3 - 2.5	2.5 - 3.5	SI

TECNICHE DI BONIFICA MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE (MISP)

MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE

Sono interventi definitivi da realizzare su siti non interessati da attività produttive per renderli fruibili per gli utilizzi previsti dagli strumenti urbanistici.

Obiettivo: isolare in modo definitivo le fonti inquinanti rispetto alle matrici ambientali circostanti e garantire così un elevato e definitivo livello di sicurezza per le persone e per l'ambiente.

E' considerata una soluzione alternativa alla bonifica applicabile in qualunque contesto indipendentemente dalla presenza o meno di rifiuti.

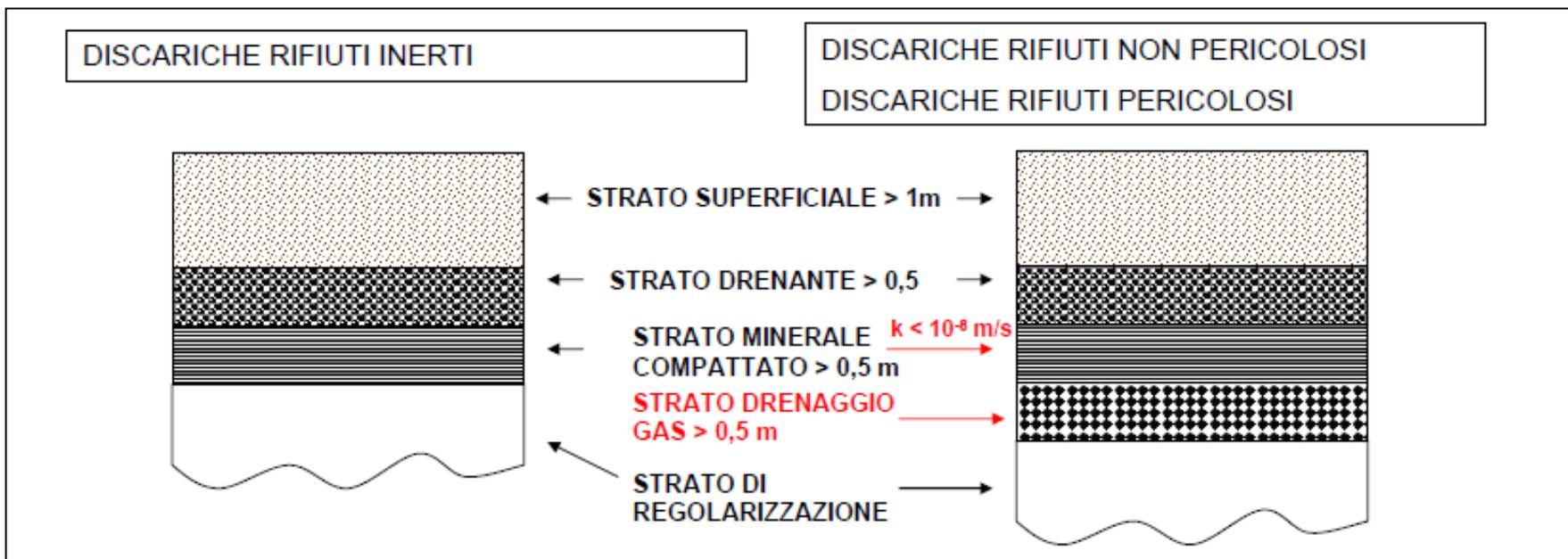
Prevede piani di monitoraggio per verificarne l'efficacia e possibili limitazioni d'uso rispetto alle previsioni degli strumenti urbanistici.

Un esempio classico di sito oggetto di messa in sicurezza permanente sono le discariche incontrollate (discariche vecchie ed esaurite, o abusive).

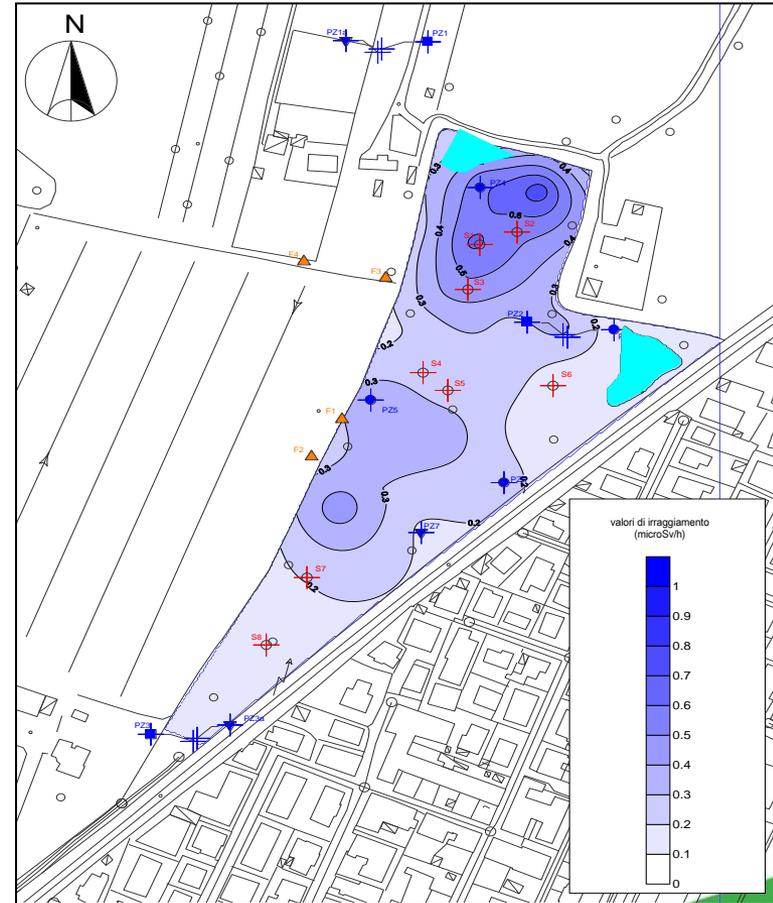
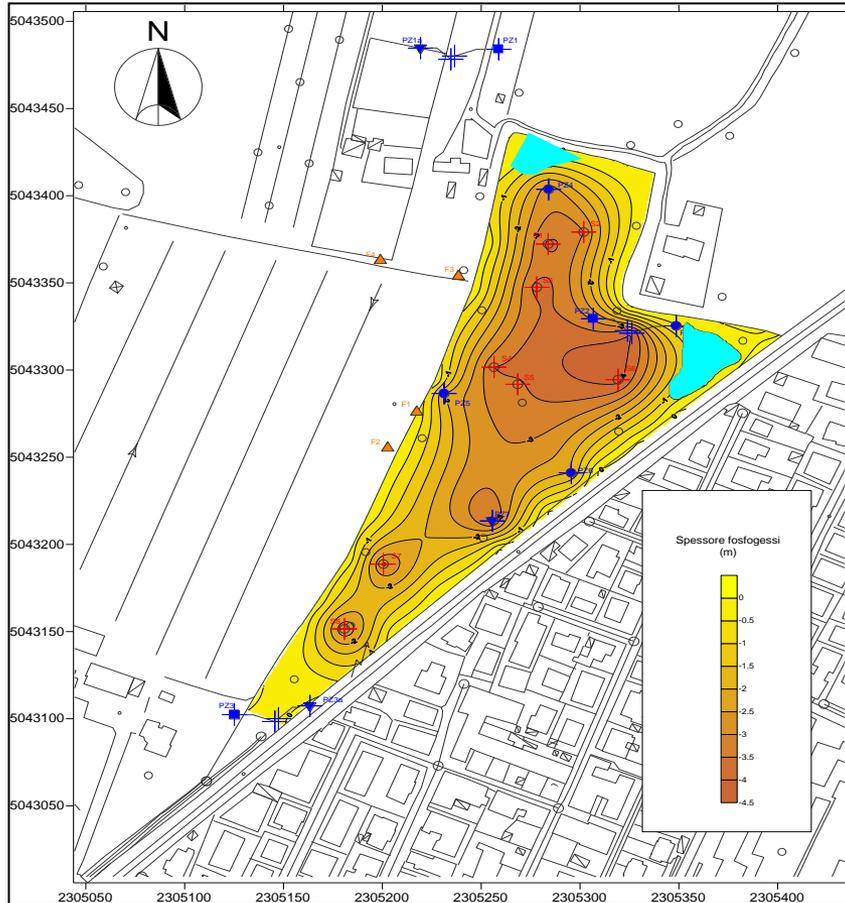


TECNICHE DI BONIFICA MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE (MISP)

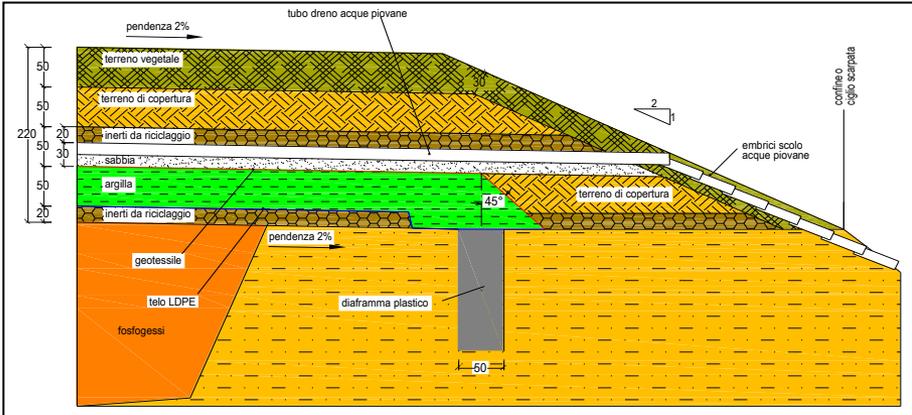
Criteria progettuali derivati dal D.L. 13 gennaio 2003, n.36, attuazione della direttiva europea 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti



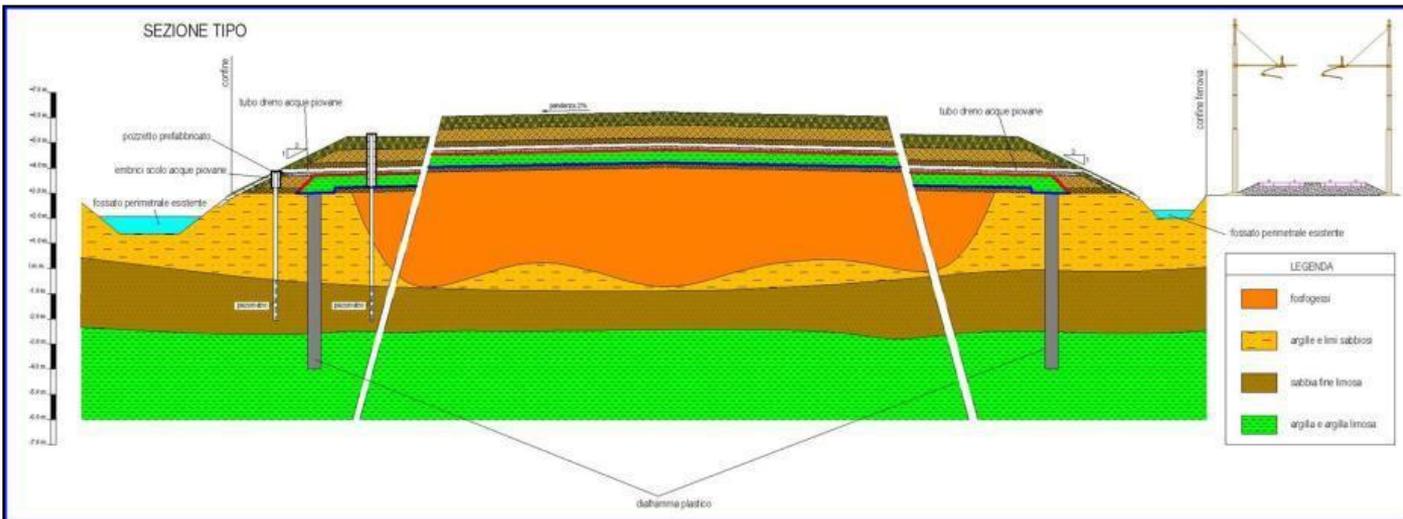
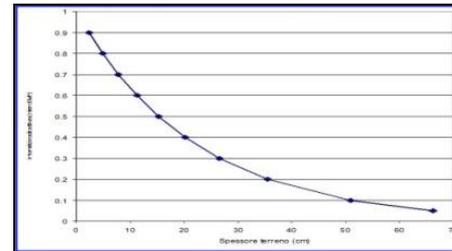
TECNICHE DI BONIFICA MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE (MISP)



TECNICHE DI BONIFICA MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE (MISP)



Schema di Messa in sicurezza permanente di un deposito di Fosfogessi radiocontaminati



TECNICHE DI BONIFICA MESSA IN SICUREZZA OPERATIVA (MISO)

Riguarda siti contaminati in cui siano presenti attività produttive in corso.

Finalità: minimizzare rischio per la salute pubblica/ambiente attraverso il contenimento degli inquinanti all'interno dei confini del sito.

Interventi compatibili con il proseguimento delle attività produttive svolte nel sito.

Progettazione degli interventi sulla base di una analisi di rischio sito specifica.

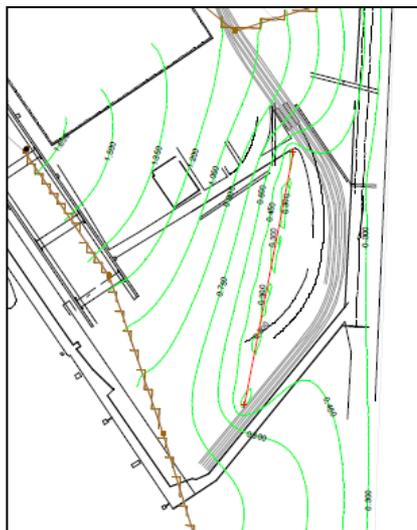
Idonei sistemi di monitoraggio e controllo atti a verificare l'efficacia delle misure adottate e mantenimento delle condizioni di accettabilità del rischio (CSR).



TECNICHE DI BONIFICA MESSA IN SICUREZZA OPERATIVA (MISO)

Esempi di misure passive
TRINCEA DRENANTE

Obiettivo: intercettare falda superficiale (contaminata da composti organici) evitando il contatto con le acque superficiali prospicienti.
Raccolta e smaltimento in impianto delle acque come rifiuto

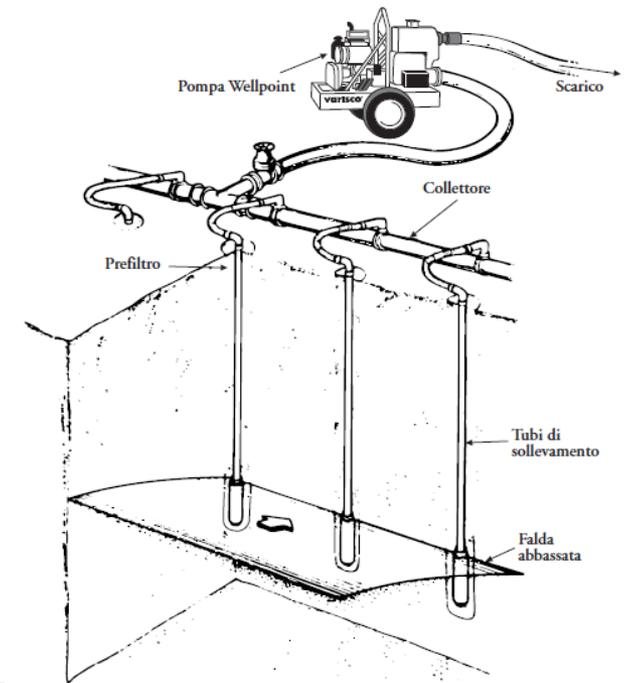


TECNICHE DI BONIFICA MESSA IN SICUREZZA OPERATIVA (MISO)

Impianto wellpoint: costituito da una serie di micropozzi (diametro da 1.5-2" con i quali si va ad intercettare il flusso di falda. Le acque emunte vengono quindi sottoposte a trattamento prima dello scarico. Efficace per profondità fino a -5 m circa.



Batteria di wellpoint per intercettazione acqua di falda contaminata.



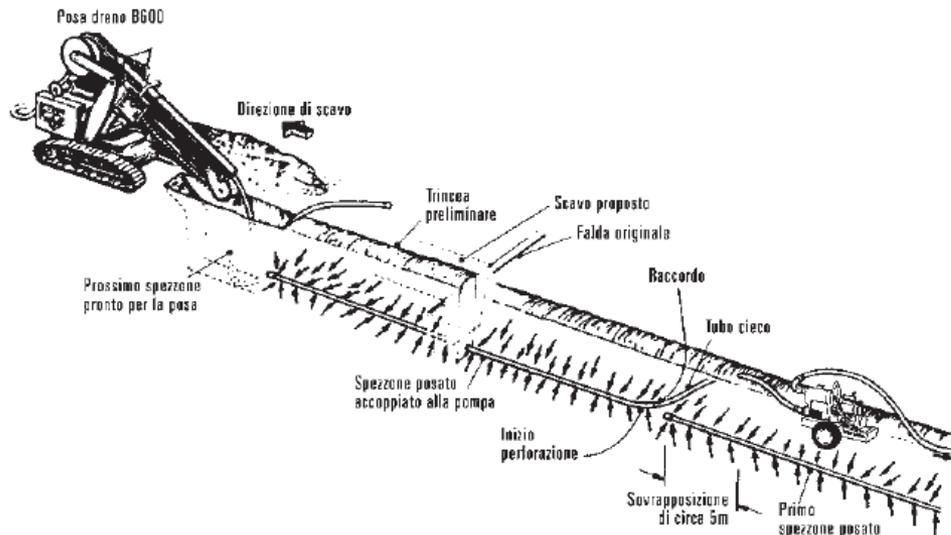
TECNICHE DI BONIFICA MESSA IN SICUREZZA OPERATIVA (MISO)

Drenaggio con posa di tubazione orizzontale con trench machine.

Larghezza trincea: 0.25 m

Diametro tubazione drenante: 125 mm

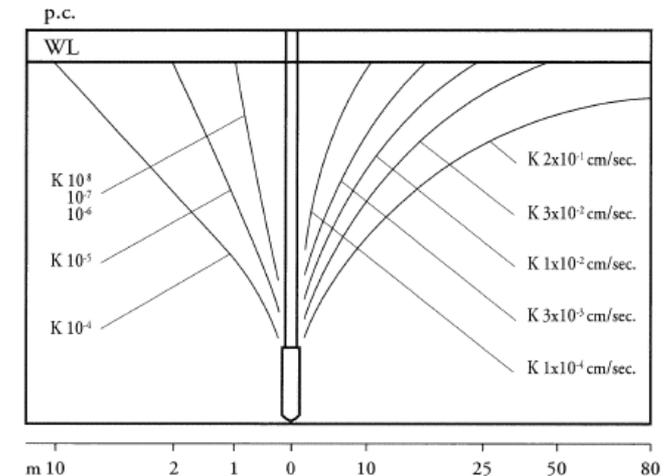
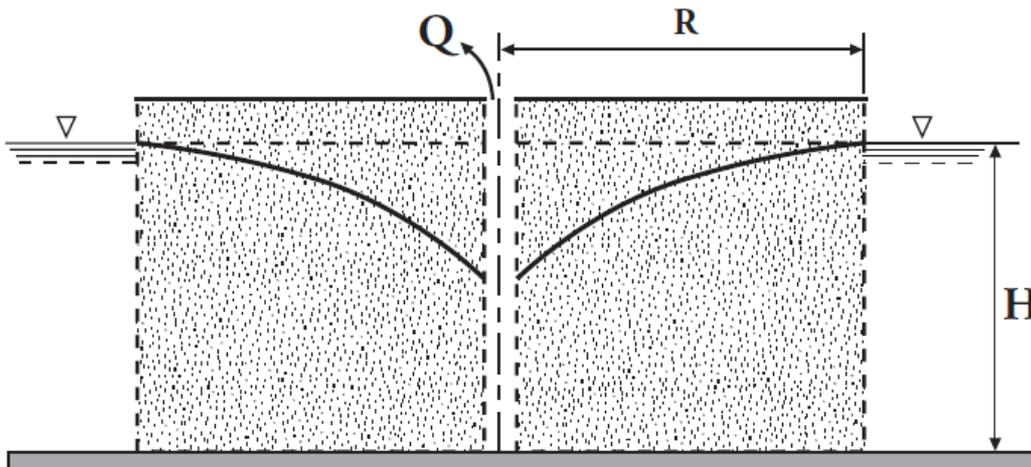
Profondità massima di posa: 5 m circa



Tratto di tubazione cieca fatta emergere dal terreno per il collegamento alla pompa.

TECNICHE DI BONIFICA MESSA IN SICUREZZA OPERATIVA (MISO)

Durante il pompaggio si genera un abbassamento della falda nell'intorno del punto di emungimento che si estende fino ad una distanza chiamata "raggio di influenza" R.



Radius of influence.

Trend of the cone of depression as a function of the hydraulic conductivity of soils.

TECNICHE DI BONIFICA MESSA IN SICUREZZA OPERATIVA (MISO)

Durante il pompaggio si determina una perturbazione del flusso idrico sotterraneo che porta a convogliare le particelle d'acqua verso i punti di captazione.

