

# SOIL VENTING, AIR SPARGING E BIOVENTING: CENNI METODOLOGICI PER LA BONIFICA DEL MEZZO SATUROE INSATURO

*Michael Disabato, Global Technologies - Milwaukee, WI*

*Marco Carmine, Beta – S. Giuliano Milanese (MI)*

*Marco Cipolli, Cecam - Lucca*

## 1. SOIL VENTING

In seguito ad un rilascio di idrocarburi nel sottosuolo deve essere eseguita una caratterizzazione dello stesso per acquisire le informazioni necessarie alla progettazione di un sistema di bonifica mediante l'estrazione dei vapori dal mezzo insaturo e saturo. Questa caratterizzazione deve riguardare i seguenti elementi basilari:

### *La natura del contaminante*

Di particolare importanza è la determinazione della volatilità della sostanza contaminante in quanto ad esempio la benzina è una sostanza volatile che sarà bonificata diversamente dal gasolio che è un semi volatile, mentre la presenza di organoalogenati implicherà una scelta di un apposito impianto per il trattamento dei vapori. Per la determinazione della presenza di volatili possono essere usati test standard previsti dall'U.S. Environmental Protection Agency quali EPA 8240, 8020 e 8010 ed il test EPA 8270 per i semi-volatili.

Poichè in molti casi il campionamento del terreno e della falda può essere scarsamente rappresentativo della situazione presente nel sottosuolo, è più importante conoscere la tipologia del contaminante che la concentrazione presente nel terreno.

### *L'estensione della contaminazione*

Il risultato di questa fase di lavoro dovrebbe essere quello di delineare verticalmente e orizzontalmente la geometria della contaminazione nella zona insatura. Questo viene tipicamente ottenuto con dei sondaggi; completando i sondaggi con tubi piezometrici, è possibile determinare la presenza della fase di idrocarburi (NAPL) surnatanti e le concentrazioni degli idrocarburi disciolti in falda. La contaminazione presente lungo la frangia capillare è spesso la zona più difficile da bonificare; in questi casi è importante ubicare i tratti filtranti anche a quote superiori il livello di falda per permettere alla fase surnatante di fluire nel piezometro.

L'analisi dei gas interstiziali (soil gas surveys) può essere impiegata in modo efficace per delineare l'estensione della contaminazione.

### *Geologia del sito*

Un'adeguata conoscenza della conformazione geologica del sottosuolo è fondamentale per la realizzazione di un progetto ed una installazione appropriata di un sistema di soil venting. Negli USA vengono utilizzati sistemi di perforazione con trivella ad elica fornita di aste cave che consentono una estrema rapidità di esecuzione dei sondaggi ed il prelievo di campioni indisturbati di terreno per mezzo di uno "split spoon sample"; ove è possibile è economicamente molto vantaggioso già in questa fase completare i sondaggi come pozzi per l'estrazione dei vapori.

I campioni prelevati mediante i sondaggi possono essere analizzati per definire le caratteristiche granulometriche e la permeabilità all'aria del terreno. Queste informazioni saranno estremamente

utili, correlate con i dati geologici del sito, per definire il raggio di influenza (radius of influence-ROI) dei pozzi per l'estrazione dei vapori.

La correlazione di questi dati deve permettere la realizzazione di sezioni geologiche del sito che interessino anche i livelli contaminati ed estese almeno sino alla profondità della falda.

#### *Raggio di influenza di un pozzo per l'estrazione dei vapori (ROI)*

Il raggio di influenza di un pozzo per l'estrazione dei vapori è stato definito come la maggiore distanza dal pozzo di aspirazione alla quale può essere determinata una depressione nel sottosuolo. Il livello di depressione determinatosi è comunque solo una misura indiretta del flusso di aria nel sottosuolo, in quanto è il flusso di aria che si instaura che determina il trasferimento della massa di contaminante dal terreno all'aria .

A tal proposito Mohr D.H., Merz P.H.(1995) introducono il concetto di “effective radius of influence” ovvero la distanza dal pozzo dove la velocità di bonifica è sufficiente per raggiungere gli obiettivi di progetto. Usando questa definizione, l'interasse tra i pozzi di aspirazione dovrebbe essere determinato non solo sulla base della geologia del sito, ma anche della massa di contaminante che deve essere rimossa e dal tempo disponibile per rimuoverla.

L'esecuzione di un test pilota è un utile metodo per acquisire i dati necessari per la determinazione del ROI di un pozzo per l'estrazione dei vapori. Inoltre, i dati raccolti durante tale test sono spesso utili per una migliore caratterizzazione del sito. Durante il test pilota, i vapori sono estratti da un pozzo in situ e il flusso di vapore e la concentrazione dei contaminanti vengono misurati applicando diversi valori di depressione sulla testa-pozzo; contemporaneamente viene anche misurata la depressione nel terreno a varie distanze dal pozzo di estrazione.

L'uso di modelli matematici di flusso dell'aria è un altro metodo efficace che può aiutare durante la progettazione di un sistema di estrazione di vapori, in questi casi risulta spesso difficile acquisire con certezza i dati di input quali ad esempio la distribuzione della permeabilità all'aria dei terreni.

## **2. PROGETTAZIONE, GESTIONE E MONITORAGGIO DI SISTEMI DI SOIL VENTING**

I sistemi di soil venting sono piuttosto semplici dal punto di vista teorico, ma abbastanza complessi in pratica quando applicati ad un sito che deve essere bonificato. Essenzialmente il processo consiste nell'indurre l'aria a passare attraverso il terreno per mezzo di una aspirazione applicata ad un pozzo di estrazione. Gli idrocarburi volatili presenti nel terreno vengono estratti per mezzo del flusso d'aria e la percentuale di contaminante che può essere rimosso dipende dalla volatilità del contaminante stesso, dalla costante della Legge di Henry e dalla velocità dell'aria.

Gli idrocarburi possono essere presenti nel terreno in tre forme: in fase liquida, contenuti nella struttura dei pori del terreno, disciolti nell'umidità del terreno e in fase vapore negli interstizi del terreno. Il processo di estrazione dei vapori può essere usato per estrarre tutti e tre i tipi di contaminanti. Uno dei migliori riferimenti in merito alla progettazione di sistemi per l'estrazione dei vapori è rintracciabile in Johnson P.C. et al., 1990.

### **2.1 Considerazioni progettuali**

Il tipico pozzo per l'estrazione dei vapori è costituito da una tubazione in PVC con diametro compreso fra 2 e 4 pollici, mentre il diametro di perforazione è normalmente di 6 o 8 pollici. Il completamento del pozzo deve avvenire con una cementazione alla sommità per evitare richiami di

aria dall'esterno lungo l'intercapedine tra pozzo e perforo, mentre la restante porzione è riempita con ghiaietto.

Nei siti dove la falda è profondo e la presenza del contaminante è limitata al mezzo insaturo, il progetto della struttura del pozzo è ovviamente determinato dalla stratigrafia del sito.

La perforazione deve essere eseguita con campionamento continuo in quanto variazioni stratigrafiche, che rappresentano zone con diversa permeabilità all'aria, devono prevedere tratti filtranti diversi separati dalla cementazione dell'intercapedine (fig. 1). In questo modo, intervenendo in situazioni con presenza di terreni a bassa permeabilità intercalati con livelli con maggiore permeabilità, si eviteranno fenomeni di "corto circuito" del flusso d'aria nei soli livelli a maggiore permeabilità.

La determinazione di alcuni parametri quali il ROI ed il flusso d'aria alla testa-pozzo possono essere dedotti in prima ipotesi anche dai dati di letteratura; nella tab. 1 vengono indicati alcuni valori medi ottenuti in siti diversi.

I terreni argillosi sono erroneamente considerati "difficili" per la bonifica mediante soil venting; invece utilizzando impianti di aspirazione ad elevata depressione è possibile intervenire anche in tali situazioni geologiche con risultati soddisfacenti.

Nel caso in cui vi siano limitate lenti argillose in una formazione più permeabile non è necessario usare tratti filtranti separati da cementazione in quanto le lenti argillose si bonificheranno lentamente per diffusione.

<i>Tipo di terreno</i>	<i>ROI</i> ( <i>m</i> )	<i>Portata</i> ( <i>m</i> <sup>3</sup> / <i>h</i> )	<i>Depressione</i> ( <i>atm</i> )
Argilla	3-6	17-35	0.4-0.6
Limo	6-9	40-70	0.25-0.35
Sabbia	12-18	70-100	0.01-0.15

Le tubazioni che collegano i pozzi al ventilatore di estrazione sono generalmente in PVC e possono essere installate sia in superficie che interrate. E' molto importante dare una corretta inclinazione al collettore di collegamento per permettere alla condensa di rifluire verso il pozzo.

Un separatore di condensa deve essere localizzato nel sistema, prima del ventilatore di estrazione, al fine di impedire all'acqua di falda di essere trascinata nell'impianto di trattamento finale (fig. 2). Ogni testa pozzo deve essere inoltre equipaggiata con una valvola, un punto di campionamento e un flussimetro.

## **2.2 Gestione e monitoraggio**

Nel corso della prima fase di avviamento l'impianto deve essere controllato accuratamente, analizzando singolarmente i rendimenti di ciascun pozzo di estrazione.

Tale verifica deve comprendere la determinazione della portata d'aria, della depressione alla testa del pozzo e la concentrazione di idrocarburi, che deve essere registrata ad intervalli temporali ravvicinati.

Nel corso di queste verifiche sui singoli pozzi si dovrà controllare anche la depressione indotta negli altri pozzi di aspirazione. I dati raccolti durante questa fase devono essere valutati e confrontati con i dati raccolti durante la caratterizzazione del sito.

E' importante verificare in situ quale pozzo ha la più alta concentrazione di vapori, qual'e la percentuale di massa estratta da ogni pozzo e come si modifica durante le operazioni.

Quando il sistema si stabilizza la frequenza dei monitoraggi può essere diminuita, così come può essere ridotta la portata dei pozzi con minore concentrazione aumentando quella dei pozzi con maggior presenza di idrocarburi in modo tale da aumentare la massa estratta dai pozzi che presentano concentrazioni più alte. Così facendo, la massa dei contaminanti estratti dal terreno è continuamente massimizzata.

### **3. BONIFICA DELLA FRANGIA CAPILLARE MEDIANTE LA TECNICA DI “DUAL EXTRACTION”.**

Quando la contaminazione da idrocarburi in fase liquida si estende sulla superficie della falda, il sistema di estrazione dei vapori deve essere progettato per bonificare anche la frangia capillare. Poichè la frangia capillare è saturata da acqua e idrocarburi, non è possibile estrarre aria attraverso il terreno. In questa situazione i pozzi possono essere completati fino a raggiungere la zona satura in modo tale che l'acqua di falda e i vapori vengano estratti dallo stesso pozzo mediante la tecnica “Dual Extraction” (fig.3).

L'estrazione dell'acqua di falda abbassa ed in conseguenza il livello piezometrico evidenziando la "smear zone" ovvero la porzione di terreno in cui le escursioni del livello piezometrico, con la presenza di idrocarburi surnatanti, hanno provocato una maggiore contaminazione. Quando la "smear zone" si presenta al di sopra del livello piezometrico il grado di saturazione si riduce e l'aria potrà quindi passare attraverso il terreno bonificandolo.

Nei casi in cui l'estrazione di vapori avvenga in prossimità del livello piezometrico, c'è il rischio che il pozzo di aspirazione sia inondato dalla falda, in quanto il vuoto indotto nel sottosuolo provoca un "upwelling " della falda. Una volta che l'acqua è entrata nel pozzo, può risalire verso la sommità di circa 35 cm ogni 30mbar di depressione applicati alla testa del pozzo.

### **4. BONIFICA DI UNA FALDA INQUINATA MEDIANTE LA TECNICA DI “AIR SPARGING”**

Una recente tecnica sviluppata per la bonifica dei terreni e delle acque di falda contaminate è la cosiddetta “Air Sparging”.

In questo processo viene iniettata aria pulita in pozzi trivellati nella zona satura provocando lo strappaggio degli idrocarburi dal terreno e dalla falda; in prossimità dei pozzi in cui viene iniettata l'aria deve essere realizzato un pozzo per l'estrazione degli idrocarburi volatilizzati nella zona insatura.

Recentemente MARLEY M.C. & BRUELL C.J., 1995 hanno pubblicato sotto l'egida dell'American Petroleum Institute una guida per l'applicazione di questa tecnologia che si è rilevata efficace nella maggior parte dei terreni porosi, ma che deve essere applicata con molta attenzione in modo tale da impedire che l'aria iniettata nel sottosuolo non trasporti le sostanze contaminanti anche verso aree non inquinate.

Questo fenomeno può accadere specialmente in aree con presenza di idrocarburi a basso peso specifico (LNAPL) surnatanti sulla falda o con degli orizzonti confinanti che possono provocare il trasferimento laterale dell'aria immessa verso zone non contaminate.

Se c'è presenza di fase surnatante si dovrà quindi utilizzare il soil venting sino alla completa rimozione di questa, successivamente l'Air Sparging permetterà di bonificare gli idrocarburi

residui, che comunque dovrà essere sempre adottato congiuntamente con un efficace sistema di soil venting per impedire la migrazione dell'inquinante.

#### **4.1 Considerazioni progettuali**

Un tipico pozzo per l'Air Sparging è realizzato in PVC con diametri da 2 a 4 pollici, con fessurazioni da 0.25 oppure 0.5 mm posizionate da 1,5 a 3 mm al di sotto del livello piezometrico. Il ROI di un pozzo per l'Air Sparging può essere determinato in diversi modi: il metodo più comune è la misurazione del livello dell'ossigeno disciolto in pozzi adiacenti. Dati sperimentali mostrano che un ROI tipico per un pozzo per Air Sparging è variabile tra 3 e 7,5 mm e che tale valore non aumenta significativamente con l'aumentare della portata d'aria; la pressione dell'aria necessaria per l'air sparging è normalmente di 0,35 bar con una portata di 8,5 m<sup>3</sup>/h.

#### **4.2 Gestione e monitoraggio**

Prima dell'avviamento di un sistema di Air Sparging, devono essere raccolti dati di base dai punti di monitoraggio sul sito; di particolare importanza è il livello dell'ossigeno disciolto nella falda e la concentrazione di idrocarburi nei pozzi per l'estrazione dei vapori.

Inizialmente la portata d'aria immessa in ciascun pozzo deve essere aumentata lentamente, registrando per ciascun pozzo il flusso dell'aria e la pressione.

E' altresì importante verificare ogni possibile presenza di contaminati in fase di vapore alla superficie specialmente in prossimità degli edifici e qualora le letture risultino positive bisogna sospendere l'immissione di aria e ricalcolare i parametri del sistema.

L'aria dovrebbe essere iniettata in modo pulsante in quanto ciò fornisce una migliore miscela di acqua e aria, queste operazioni possono essere automatizzate per mezzo dell'uso di temporizzatori e valvole a solenoide.

Un ulteriore vantaggio di operare in discontinuo è la possibilità di impiegare un ventilatore più piccolo rispetto a quello necessario per le operazioni in continuo.

Durante l'operazione di Sparging la velocità di estrazione degli idrocarburi dai pozzi dovrebbe aumentare e l'incremento dell'ossigeno disciolto nella falda favorirà un aumento di attività biologica.

### **5. TRATTAMENTO DEI VAPORI ESTRATTI DAL TERRENO MEDIANTE SOIL VENTING**

Una volta estratti i vapori mediante il soil venting non possono essere immessi direttamente in atmosfera, ma è necessario procedere al loro trattamento con le seguenti metodologie:

Composti semi-volatili come il Gasolio e l'olio combustibile hanno una bassa pressione di vapore che risulta insufficiente per la bonifica mediante estrazione del vapore. Comunque, può essere usato ugualmente questo processo per favorire bonifiche biologiche di questi composti. Normalmente i nutrienti necessari sono disponibili nel terreno. L'idrocarburo è il cibo per i batteri, l'ossigeno accelererà l'attività batterica.

- Ossidazione termica che utilizza tempo, temperatura e turbolenza per ossidare o bruciare gli idrocarburi presenti in una corrente d'aria. Normalmente le temperature necessarie vanno da 650° a 750°C, con tempo di permanenza che va da 0.5 a 1 secondo.

- Ossidazione Catalitica attraverso l'impiego di metalli nobili, quali il platino, ottiene l'ossidazione degli idrocarburi a temperature molto più basse, circa 300-370°C, con conseguente risparmio energetico.
- Adsorbimento con carboni attivi, che sono in grado di avere rese medie di assorbimento di idrocarburi pari a circa il 10% del loro peso; in questo caso si deve ricordare che dopo l'uso il carbone saturato deve essere o rigenerato o dislocato fra i rifiuti speciali.

Ciascuna di queste tecnologie presenta vantaggi e svantaggi.

L'adsorbimento con carboni attivi viene praticato, per ragioni di economicità, esclusivamente per concentrazioni di contaminati molto basse in quanto sono necessari 5 Kg. di carboni attivi per ogni 0,5 Kg. di idrocarburo estratto. L'adsorbimento con carboni è un processo semplice che non richiede collegamenti o equipaggiamenti costosi e può essere economicamente conveniente nelle fasi finali di un intervento di bonifica, ove le concentrazioni di contaminati estratti si livellano su valori molto bassi.

L'ossidazione catalitica è probabilmente la più comune forma di trattamento dei vapori per la bonifica dei terreni attualmente impiegata negli U.S.A. in quanto ha il vantaggio di costi di gestione più bassi rispetto all'ossidazione termica, e gli impianti sono di dimensioni più piccole. La concentrazione massima di idrocarburi che l'ossidatore catalitico può trattare, in completa sicurezza nel caso di miscele esplosive, è approssimativamente di 2500 ppm.

Pertanto nella fase iniziale di bonifica è spesso necessario diluire l'aria estratta dai pozzi di aspirazione con aria "pulita" per diminuire le concentrazioni all'ingresso. Questa operazione è automatizzata con dei sistemi di controllo che regolano in parallelo delle valvole in modo tale da ottimizzare le concentrazioni di inquinante in ingresso. Le rese di abbattimento medie per questi impianti sono del 99%, ma con l'aggiunta di un ulteriore catalizzatore raggiungono il 99,9%.

Nei casi in cui si trattino composti organo-alogenati, il risultato del processo di ossidazione catalitica è la formazione di acido cloridrico e spesso con concentrazioni tali da non poter essere emesso in atmosfera. In questi casi viene previsto un trattamento mediante uno scrubber dove i valori di HCl vengono "lavati" in una torre e neutralizzati usando idrossido di sodio; questo impianto, anch'esso di piccole dimensioni, viene generalmente accoppiato ad un ossidatore catalitico.

Per quanto attiene all'ossidazione termica questa presenta, come già indicato, il limite di avere impianti di maggiori dimensioni rispetto a quelli di ossidazione catalitica, quindi maggiori costi e problemi di installazione e soprattutto quella di dover lavorare necessariamente a più alte temperature e quindi richiedere maggiori oneri di gestione per il fabbisogno energetico in fase di bonifica.

## **6. POSSIBILITÀ DI BONIFICA DEI COMPOSTI SEMI-VOLATILI MEDIANTE LA TECNICA DEL "BIOVENTING".**

Composti semi-volatili come il gasolio e l'olio combustibile hanno una bassa tensione di vapore, tale da non poter essere estratti in modo significativo mediante soil venting. Questa metodologia può essere però usata ugualmente per favorire la bonifica biologica di questi composti.

Il bioventing viene inteso come processo di adduzione d'aria nel sottosuolo per stimolare l'attività batterica.

Infatti in molti siti dove è presente una contaminazione da idrocarburi esistono batteri indigeni presenti nel terreno che possono metabolizzare l'idrocarburo, ma la loro attività è limitata dalla

mancanza di ossigeno. Indagini sperimentali hanno evidenziato che una significativa porzione degli idrocarburi rimossi durante l'estrazione dei vapori, è dovuta all'attività batterica, che può essere monitorata registrando i livelli di biossido di carbonio e ossigeno dai pozzi per l'estrazione del vapore.

I pozzi per il bioventing sono simili a quelli che sono stati descritti per il Soil Venting, in questo caso però anziché monitorare le concentrazioni di idrocarburi si devono analizzare i livelli di ossigeno e biossido di carbonio nell'aria estratta.

#### BIBLIOGRAFIA

JOHNSON C.C. STANLEY, KEMBLOWSKI M.W., BYERS D.L. & COLTHART J.D. (1990) - *A Practical Approach to the Design, Operation, and Monitoring of In Situ Soil Venting Systems*. Springs, GWMR, Spring.

MALOT J.J. (1991) - *Soil Remediation and Free Product Removal Using In Situ Vacuum Extraction with Catalytic Oxidation*. Terra Vac.

MARLEY M.C. & BRUELL C.J. (1995)-*InSituAirSparging: Evaluation of Petroleum Industry Sites and Considerations for Applicability, Design and Operation*. American Petroleum Institute, publication n. 4609.

MOHR D.H., MERZ P.H. (1995) - *Application of a 2D Air Flow Model to Soil Vapor Extraction and bioventing Case Studies*. Ground Water, Vol. 33, n. 3.

NOFZIGER D.L., JIN SONG CHEN & HAAN C.T. (1994) *Evaluation of Unsaturated/Vadose Zone Models for Superfund Sites*. U.S. Environmental Protection Agency, EPA/600/SR-93/184.

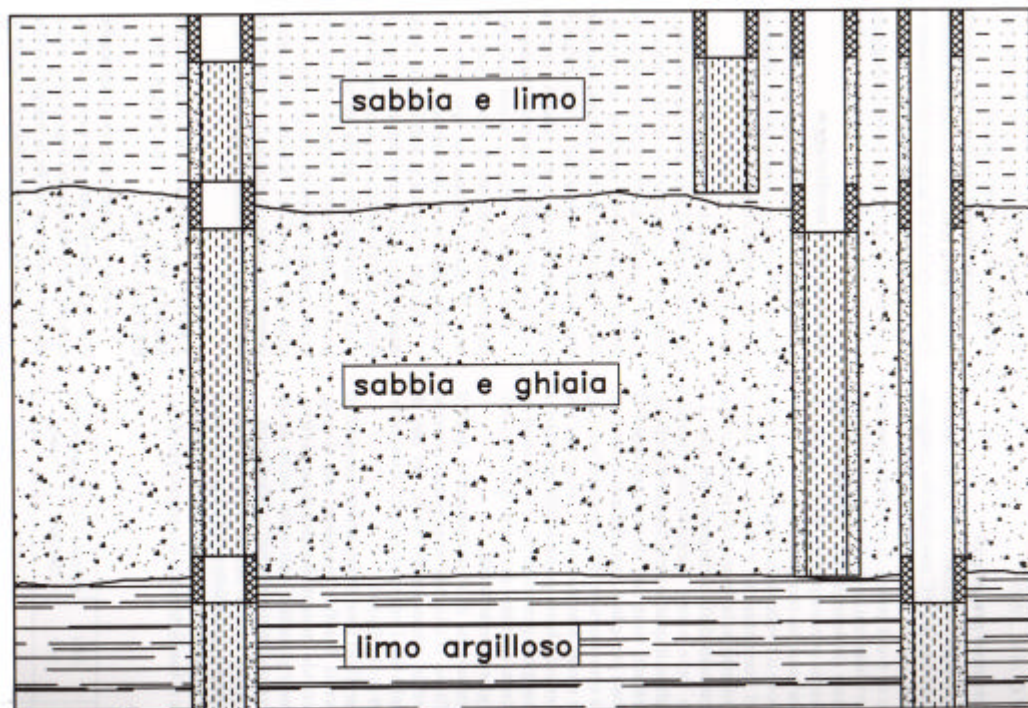


Figura 1. Schema di completamento dei pozzi di aspirazione in corrispondenza di variazioni stratigrafiche.

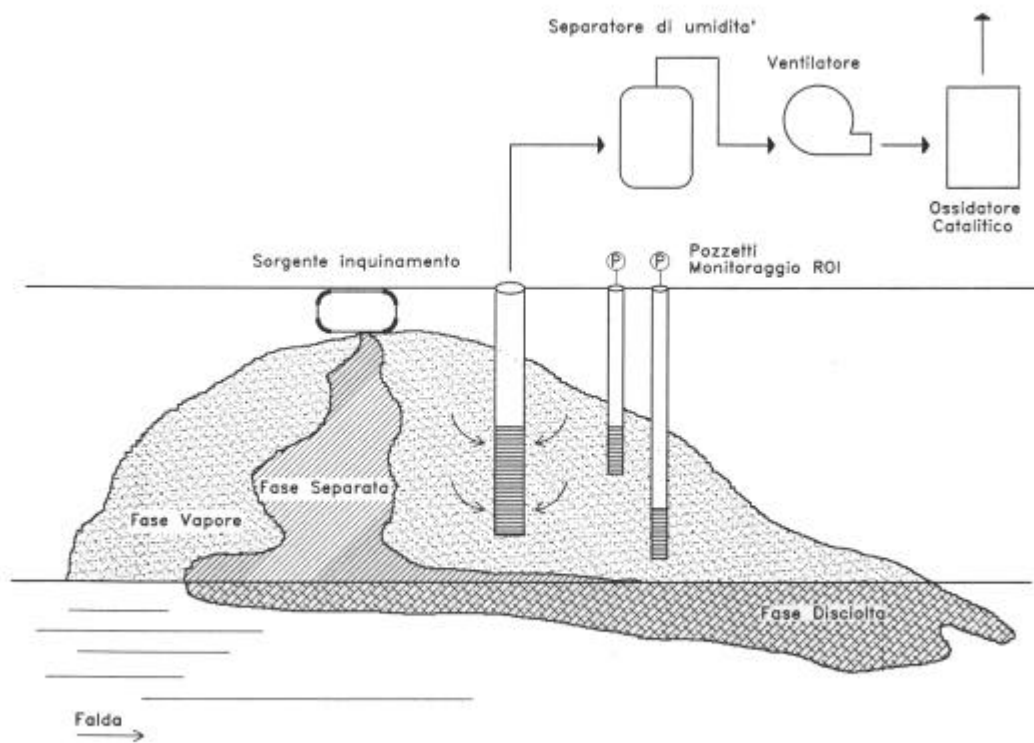


Figura 2. Schema di impianto di soil venting.

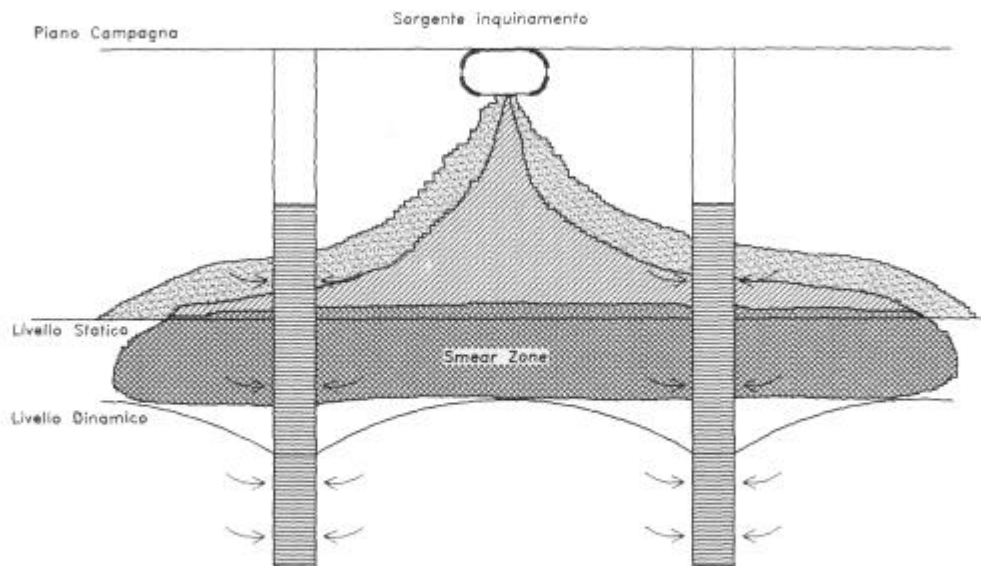


Figura 3. Sistema «Dual Extraction» per la bonifica della «smear zone».