

Mega-efficacia della tecnologia soil vapor extraction nella bonifica da solventi clorurati di due mezzi insaturi sovrapposti presso l'area ex-Acna a Cesano Maderno (Milano)

Giovanni Pietro Beretta¹, Maurizio Nespoli²

¹Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio", Università degli Studi di Milano, via Mangiagalli 34, 20133 Milano, e-mail: giovanni.beretta@unimi.it

²Eg Engineering Geology, via Carpaccio 2, 20133 Milano, e-mail: eg-milano@eg-milano.it

Double overlapped unsaturated zones remediation of organochlorinated compounds spills in ex-Acna area at Cesano Maderno (Milan): soil vapor extraction mega-efficacy

ABSTRACT: In the paper we illustrate the results from a Soil Vapor Extraction (SVE) system application in the area, once Acna, in Cesano Maderno (Milan district) where a strong pollution of the ground-water from organochlorinated compounds (mainly Trichloroethylene and Tetrachloroethylene) was found. The presence of two overlapped unsaturated media (above and below a perched aquifer) allowed to build up a first kind of operating system in the 6-20 m of depth and a second one in the portion of the unsaturated soil in the 37-55 m of depth (between the perched aquifer and the underlying unconfined aquifer). The total daily recovered mass of organochlorinated compounds from the venting wells was initially of 40 kg/day (with maximum daily extraction of about 80 kg/day) up to the 5-10 kg/day presently recovered; the total recovery carried out up to now has been of about 46 t (1997-2005). The results achieved showed the mega-efficacy of the SVE plant in the recovery of the contaminants so that such similar performances are not likely to be found in similar reclamation systems, even at a world-wide level.

Key terms: soil vapor extraction, organohalogenated compounds, radius of influence, mega-efficacy
Termini chiave: soil vapor extraction, composti organoalogenati, raggio di influenza, mega-efficacia

Riassunto

Sono illustrati i risultati conseguenti all'implementazione di un impianto di bonifica con Soil Vapor Extraction (SVE) realizzato presso l'area ex Acna a Cesano Maderno (Provincia di Milano) laddove fu riscontrato un forte inquinamento della falda da solventi clorurati.

La presenza di due mezzi insaturi sovrapposti (al di sopra e al di sotto di una falda sospesa) ha permesso di implementare un prima tipologia di impianto operante nel tratto 6-20 m e una seconda mediante un pozzo fenestrato nella porzione di terreno non saturo posta tra 37 e 55 m di profondità (tra la falda sospesa e la prima falda).

La massa totale giornaliera recuperata di solventi clorurati dall'insieme dei pozzi è stata inizialmente di 40 kg/giorno (con punte massime di circa 80 kg/giorno) sino agli attuali 5-10 kg/giorno; il recupero complessivo realizzato è stato finora di circa 46 t (1997-2005).

I risultati ottenuti hanno dimostrato la mega-efficacia dall'impianto, impostato nei due mezzi insaturi presenti nel sottosuolo, nel recupero dei contaminanti tanto che difficilmente, anche a livello mondiale, si possono riscontrare prestazioni simili in analoghi impianti di bonifica.

1. Premessa

Un sistema di intervento molto utilizzato in presenza di una contaminazione dei suoli da composti organici volatili (VOC) e semivolatili (SVOC) è costituito dal Soil Vapor Extraction (SVE).

Tale sistema, che ha avuto una sua prima applicazione nel secolo scorso (Texas Research Institute, 1980), si presenta di facile progettazione e costruzione, nonché garantisce elevate prestazioni in relazione alla massa di contaminanti che è possibile sottrarre dal mezzo non saturo; si veda a tal proposito il manuale del U.S. Army Corps of Engineers, 1995

Un primo aspetto che condiziona l'applicazione è dovuto alla perdita delle frazioni volatili che si verifica durante il campionamento dei suoli, che può essere minimizzata mediante l'utilizzo di attrezzature speciali (tipo Geoprobe®), metodologie idonee di prelievo (ASTM, 1995 ed U.S. Environmental Protection Agency, 1997) o integrazione con soil gas survey (ASTM, 1993); ciò porta ad una generale sottostima del contenuto di VOC e SVOC nel sottosuolo di cui si deve tenere conto nel dimensionamento del sistema di bonifica.

Un secondo aspetto è costituito dalla relativa facilità di

progettazione, che determina però una insufficiente qualità delle prove da eseguire per i dimensionamenti, limitate generalmente alla misura delle depressioni a diverse distanze dal pozzo di aspirazione per differenti portate di esercizio; ciò porta a definire, mediante il calcolo del raggio di influenza, il numero dei pozzi e le portate da garantire per coprire un'area contaminata.

Di seguito viene considerato un caso di applicazione del SVE in cui l'elevato spessore del mezzo insaturo consente la disponibilità di un notevole serbatoio di accumulo dei VOC e quindi la potenziale disponibilità di una massa di composti da sottoporre a trattamento.

Una delle principali fonti puntuali di contaminazione che hanno provocato l'inquinamento della falda presso l'area ex Acna a Cesano Maderno (Provincia di Milano) e a valle di essa sino ai pozzi di Limbiate, fu riscontrata presso il fabbricato noto come C107, dove sino alla fine degli anni 50 erano ubicati gli impianti di produzione della trielina (Fig. 1).

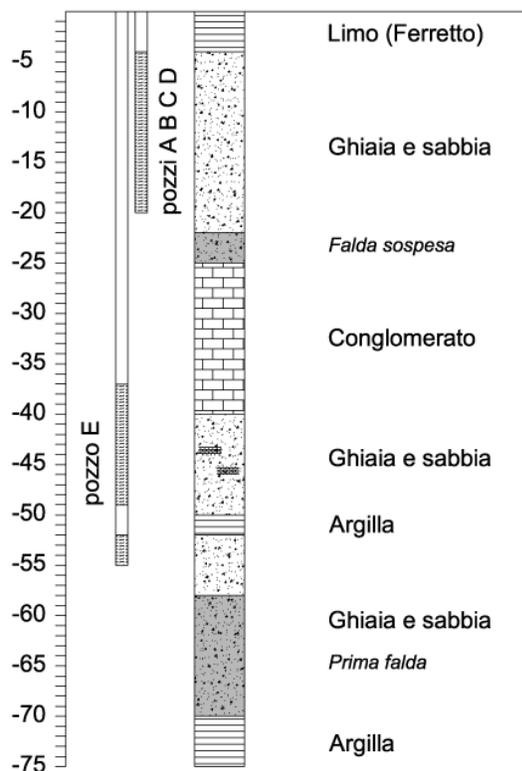


Fig. 1 – Caratteristiche litologiche e idrogeologiche del sottosuolo presso il settore C107 (profondità in m)
Subsoil lithological and hydrogeological features of the C107 sector (depth in m)

La produzione di composti organo-alogenati fu una delle principali attività effettuate fino a circa la metà del secolo scorso presso l'Acna di Cesano Maderno, con produzioni che per la sola somma di tricloroetilene (TCE) e tetracloroetilene (PCE) potevano raggiungere quantitativi di

2.3 milioni di m³/anno.

Presso il sito è attiva una barriera idraulica impostata su due falde (prima e seconda) le cui caratteristiche sono riassunte in Avanzini M. et al., 1999.

Internamente al fabbricato C107 e nelle sue immediate vicinanze furono rilevati punti con concentrazioni di gas interstiziali, principalmente TCE e PCE, estremamente elevate. I valori massimi furono rilevati in un settore di forma allungata, dove la concentrazione totale di organoclorurati risultò variabile tra circa 8700 e 12000 ppm (ovvero anche superiore a 60000 mg/m³).

Il ritrovamento di estesi settori significativamente contaminati da gas interstiziali indusse a progettare sistemi di estrazione con la metodologia del Soil Vapor Extraction (SVE), con la finalità di ridurre le sorgenti di contaminazione presenti nel mezzo non saturo.

2. Caratteristiche del sottosuolo nell'area di intervento

Per la progettazione dell'intervento di aspirazione dei gas interstiziali è stato necessario caratterizzare in dettaglio la litologia del sottosuolo presso l'area del C107.

Sotto l'aspetto geologico il sottosuolo dell'area è caratterizzato dalla presenza di depositi continentali, prevalentemente fluviali, del Pleistocene medio, che formano uno spessore di circa 100 m sovrapposto a terreni in prevalenza argillosi di età Pleistocene inferiore.

I dati stratigrafici derivanti dalle numerose perforazioni effettuate nell'area zona hanno consentito di identificare le principali caratteristiche litologiche e idrogeologiche del sottosuolo dell'area C107 (Fig. 1).

Di particolare rilievo, per la progettazione dell'impianto di SVE, risultò la presenza di una falda sospesa, alimentata dalle infiltrazioni di subalveo del limitrofo T. Lombra e sostenuta da banchi di conglomerato compatto presenti a partire da profondità di circa 25 m.

Nel primo acquifero la falda libera presenta invece un livello piezometrico alla profondità di circa 58-60 m ed è sostenuta da uno strato limoso argilloso che la separa dal sottostante secondo acquifero semiconfinato.

Le condizioni litologiche e idrogeologiche del sito hanno guidato la progettazione dell'impianto pilota; come evidenziato dallo schema in Fig. 1 lo strato non saturo nel quale operare con l'impianto di SVE si estende dal piano campagna fino a circa 60 m.

La presenza della falda sospesa ha suggerito di limitare, in una prima fase, la profondità del pozzo-pilota alla porzione ghiaioso-sabbiosa insatura rilevata fino a circa 20 m.

Contemporaneamente la presenza di una copertura impermeabile sia artificiale (edifici e aree asfaltate) sia naturale (copertura di "ferretto" a litologie limoso-argillose nei primi 5 m di sottosuolo) ha rappresentato una condizione di maggiore efficienza del sistema di estrazione, limitando il richiamo di aria atmosferica.

3. Le prove sperimentali a supporto della progettazione dell'impianto di SVE

Come è noto il Soil Vapor Extraction è uno dei più efficienti metodi di rimozione di composti organici dal mezzo non saturo. Il sistema consiste in uno o più punti di prelievo (pozzi o trincee) fenestrati nella zona non satura e collegati in superficie a una pompa a vuoto per l'estrazione dei gas presenti negli interstizi del terreno. I gas estratti vengono infine recapitati a un impianto di trattamento, generalmente a carboni attivi, prima di essere liberati in atmosfera.

Per la determinazione di alcuni parametri caratteristici del non saturo è stato realizzato un primo impianto dove sono state eseguite delle prove sperimentali.

Sulla scorta delle indicazioni di dettaglio ricavate mediante l'analisi delle stratigrafie dei carotaggi realizzati nell'area il pozzo pilota (pozzo A) è stato ubicato all'interno del fabbricato C107 (Fig. 2).

Il pozzo fu realizzato installando un tubo in HDPE del diametro di 3" fino alla profondità di 20 m, con tratto filtrante microfessurato posto tra 6 e 20 m di profondità, al fine di mantenere un franco di sicurezza al di sopra della falda sospesa.

L'intercapedine tra tubazione e perforo è stato sviluppato con ghiaietto siliceo tra 5 a 20 m di profondità, con sabbia tra 4.5 e 5 m di profondità e con una miscela di bentonite, acqua e cemento dal piano fabbrica sino a 4.5 m di profondità, al fine di garantire la tenuta e l'efficienza del sistema di aspirazione.

I tubi di monitoraggio necessari alla valutazione del raggio di influenza del pozzetto di aspirazione, sono stati realizzati a distanza di circa 12 e 22 m dal pozzo pilota; al fine di valutare la componente verticale del flusso d'aria in ognuno dei due punti si è proceduto alla messa in opera di una coppia di tubi, del diametro di circa 1", rispettivamente filtrati a profondità di circa 5-8 e 12-15 m.

Sulla testa dei tubi di controllo, idoneamente separati tra loro e sigillati in superficie con miscela bentonitica, sono stati installati strumenti di misura in continuo della depressione.

Le prove condotte sul pozzo pilota hanno permesso di determinare il valore della permeabilità all'aria dei terreni ghiaioso-sabbiosi presenti tra 5 e 20 m di profondità e il raggio di influenza della depressione indotta dal prelievo.

La permeabilità all'aria è stata determinata, utilizzando il grafico in Fig. 3 nel quale sono rappresentate le depressioni misurate al punto di controllo TM1 rispetto al tempo, mediante la relazione (Massman J.W., 1989, Johnson P.C. et al., 1990) valida per regime transitorio.

Si è ottenuto un valore di permeabilità all'aria $K_a = 5.4 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2 = 54000 \text{ Darcies}$, tipico di ghiaie con sabbia, mentre la porosità efficace è stata ricavata in $n_a = 0.13$.

Per quanto attiene il raggio di influenza è stato valutato in circa 20-30 m.

La fase pilota è stata prolungata per un periodo di circa 5

mesi durante il quale sono stati valutati anche gli effetti delle variazioni delle condizioni atmosferiche sull'efficienza dell'impianto, in termini di estensione della depressione e quantitativi di contaminanti estratti.

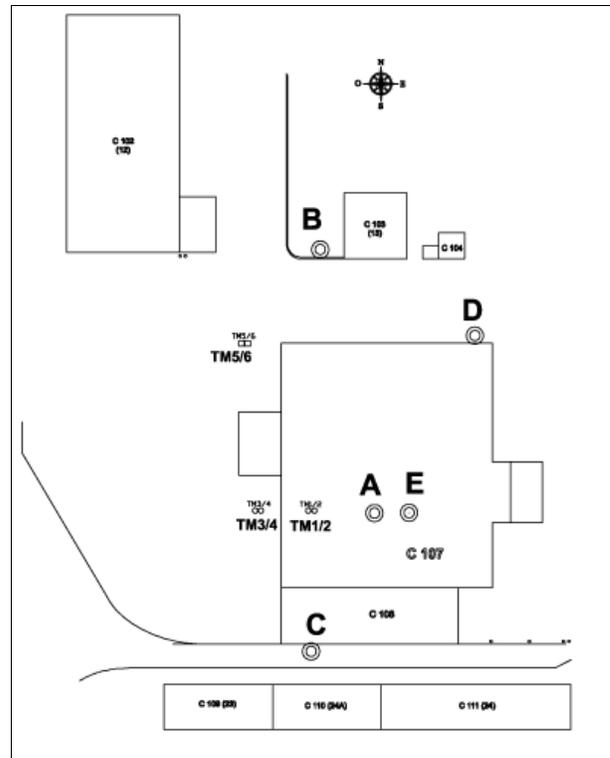


Fig. 2 – Ubicazione dei pozzi SVE e dei punti di monitoraggio
Location of SVE wells and monitoring points

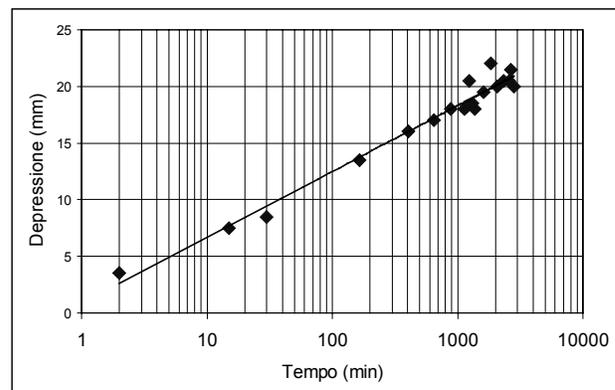


Fig. 3 – Variazioni nel tempo delle depressioni misurate nel punto di monitoraggio TM1 durante la prova di pompaggio sul pozzo A (portata 129 m³/h)

Depression measures versus time in monitoring point TM1 during the pumping test in the A well (flow rate of 129 m³/h)

Le elaborazioni sono state effettuate analizzando i dati pluviometrici, termometrici e barometrici, derivanti dalla stazione meteorologica installata in sito.

4. Predisposizione dell'impianto di SVE nei mezzi insaturi

Dopo la fase sperimentale, nel periodo marzo-aprile 1998 fu predisposto l'impianto definitivo di SVE mediante la perforazione e l'attivazione di 3 ulteriori pozzi di aspirazione superficiali (pozzi B, C e D), aventi caratteristiche di profondità e captazione del tutto analoghe a quelle del pozzo superficiale A.

Come evidenziato nello schema in Fig. 1 nell'area il livello piezometrico della falda principale è posto a una profondità di circa 58 m e, nell'ipotesi che anche la porzione di terreno non saturo a profondità superiore di 30 m (al di sotto della falda sospesa) potesse contenere nei propri interstizi contaminanti in forma gassosa, in un secondo tempo fu realizzato un pozzo profondo (pozzo E)

spinto sino a una profondità di circa 55 m.

Durante i primi periodi di funzionamento dei nuovi pozzi nella nuova configurazione, sono state effettuate nuove misure finalizzate alla verifica delle depressione indotte dall'estrazione del gas.

Grazie alle particolari condizioni del sito (elevata permeabilità del mezzo insaturo e presenza di orizzonti poco permeabili a tetto e a letto) si sono misurati valori rilevanti se rapportati con quelli normalmente forniti dalla letteratura scientifica.,

I valori ricavati, mostrati nel grafico in Fig. 4, sono risultati variabili da minimi di circa 20-30 m per portate di circa 50 m³/h fino a massimi di circa 100 m per portate tra 250 e 300 m³/h.

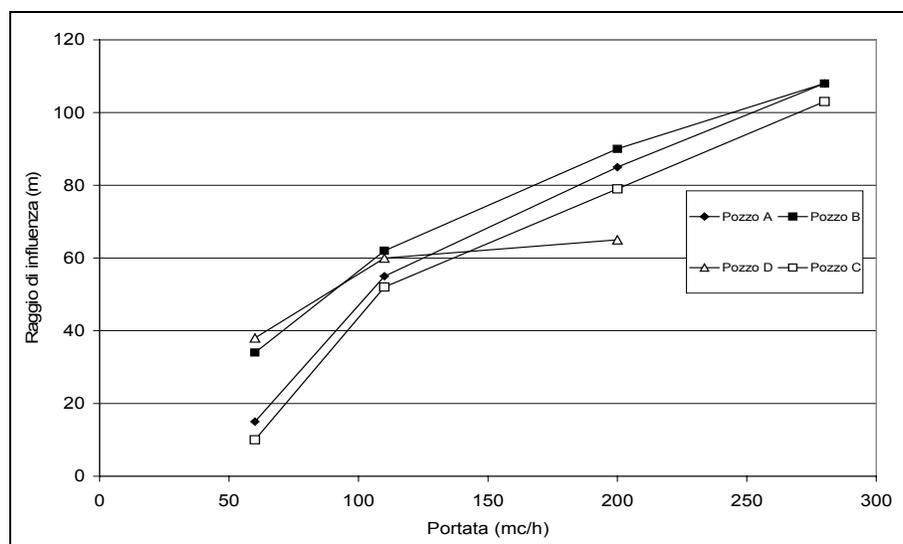


Fig. 4 – Raggi di influenza dei pozzi di SVE a differenti portate di esercizio
Influence radius of SVE wells versus flow rate

Per quanto attiene gli aspetti impiantistici e di trattamento dei gas estratti, il sistema è costituito da un separatore di umidità, un filtro delle polveri, una valvola rompivuoto, una pompa di aspirazione dell'aria e un filtro a carboni attivi.

5. L'elevata efficacia del sistema

Il monitoraggio dei gas prelevati dai punti di prelievo attivi ha consentito di verificare l'andamento nel tempo delle concentrazioni e della massa dei solventi clorurati estratti dall'impianto di bonifica.

Dopo il primo anno di funzionamento in cui il valore medio delle concentrazioni estratte è risultato di circa 15.000 mg/m³ (con punte fino a oltre 30.000 mg/m³) si è registrato un periodo contraddistinto da concentrazioni medie alquanto più ridotte (circa 2.000 mg/m³) e quindi un periodo di nuova risalita a valori medi di circa 8.000 mg/m³; a partire dal 2003 le concentrazioni sono ritornate su valori

medi di circa 4.000-5.000 mg/m³.

Tra i punti di prelievo le concentrazioni più elevate sono state raggiunte dal pozzo A soprattutto durante i primi mesi di funzionamento. Per quanto attiene i restanti pozzi fenestrati nella porzione più superficiale del non saturo (pozzi B e D) le concentrazioni hanno manifestato un andamento pressoché analogo con valori massimi di poco inferiori a 8.000 mg/m³ e valori medi di circa 2.000 mg/m³ fino alla fine del 2002 e tra 500 e 2.000 mg/m³ nel biennio successivo.

Anche il pozzo E, captante il volume insaturo più profondo, compreso tra la falda sospesa e la prima falda, ha mostrato concentrazioni significative, con medie di circa 6.000 mg/m³ nel primo periodo di funzionamento e di circa 1.500-2.000 mg/m³ in quello successivo.

Per quanto attiene la caratterizzazione dei singoli contaminanti, nei primi anni di funzionamento il principale composto organoalogenato era rappresentato dalla

tricloroetilene, ovvero dal composto più volatile tra quelli presenti.

Con il passare del tempo l'andamento in percentuale delle sostanze estratte ha mostrato un progressivo incremento di composti meno volatili quali il tetracloroetilene, il tetracloroetano e i policlorobutadieni, a testimoniare un processo di recupero tipico di uno stadio più

avanzato.

In Fig. 5 viene rappresentata la curva cumulativa della massa di composti organo-clorurati estratta dai singoli pozzi SVE.

Il recupero complessivo realizzato dai pozzi, al giugno 2004, è di circa 45 t.

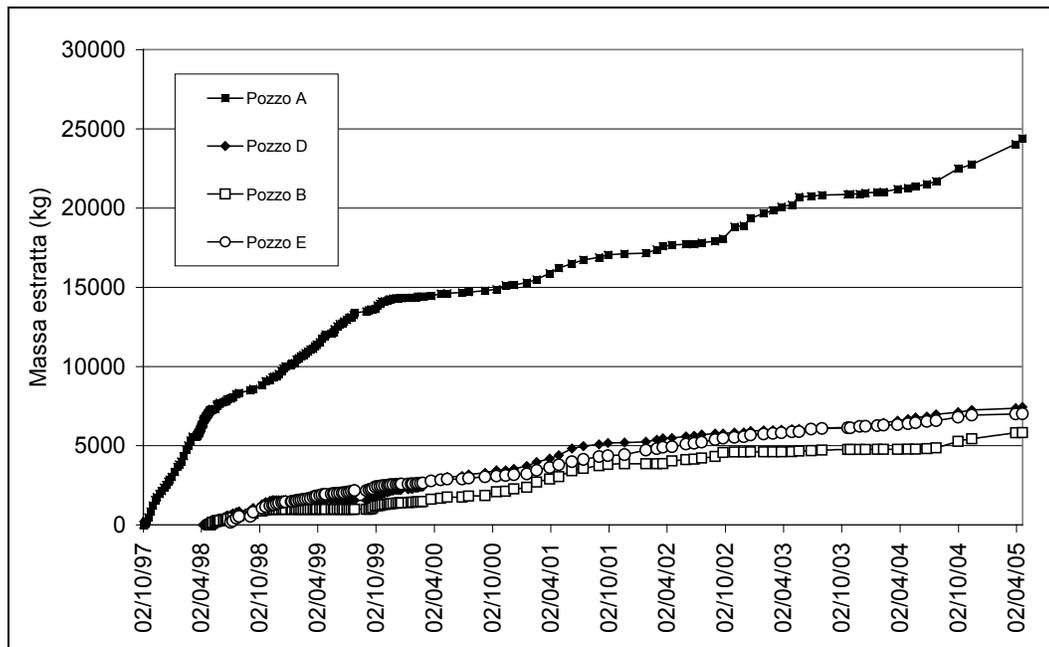


Fig. 5 – Curve cumulative della massa estratta di composti organoalogenati dai pozzi SVE
Cumulative mass rate of organohalogenated compounds extracting by SVE wells

6. Conclusioni

Sono stati illustrati i risultati ricavati a seguito dell'implementazione di un impianto di bonifica con SVE realizzato presso l'area ex Acna in Comune di Cesano Maderno laddove fu riscontrato un forte inquinamento della falda da composto organo-alogenati, principalmente TCE e PCE, che si è propagato a valle sino a interessare alcuni pozzi acquedottistici del Comune di Limbiate.

L'inquinamento in oggetto ha avuto origine presso l'area nota come C107 dove sino alla fine degli anni 50, erano ubicati gli impianti Acna di produzione della trielina.

Presso questo fabbricato il ritrovamento di estesi settori significativamente contaminati da gas interstiziali (principalmente TCE e PCE), con concentrazioni fino a 12000 ppm_v (circa 60000 mg/m³), indusse a progettare un sistema di estrazione con la metodologia del Soil Vapor Extraction (SVE).

Per l'implementazione dell'impianto di bonifica furono dapprima effettuate indagini di caratterizzazione di dettaglio del sottosuolo che portarono alla predisposizione di un impianto pilota (pozzo A).

Ala termine della fase pilota, prolungata per un tempo di

circa 5 mesi, nel periodo marzo-giugno 1998 fu predisposto l'impianto definitivo di SVE mediante la perforazione e l'attivazione di 4 ulteriori pozzi di aspirazione, tre dei quali (pozzi B, C, e D) con caratteristiche di profondità e captazione analoghe a quelle del pozzo A, e uno (pozzo E) fenestrato nella porzione di terreno non saturo posta tra 37 e 55 m di profondità, ovvero tra la falda sospesa e la prima falda.

Sulla base di nuove prove sui pozzi finalizzate alla verifica delle depressione indotte dal pompaggio d'aria furono ricavati valori del raggi di influenza variabili da minimi di circa 20-30 m per portate di circa 50 m³/h fino a massimi di circa 100 m per portate tra 250 e 300 m³/h.

In base ai risultati di campo il sistema di prelievo fu tarato su portate complessive di circa 400-500 m³/h (da 100 a 150 m³/h per pozzo) e collegato a un impianto di trattamento a carboni attivi rigenerabili mediante desorbimento per strippaggio con vapore d'acqua.

In termini di massa totale giornaliera recuperata dall'insieme dei pozzi di venting i valori sono andati progressivamente riducendosi dagli iniziali 40 kg/giorno (con punte massime di circa 80 kg/giorno) sino agli attuali 5-10 kg/giorno, che, a circa 7 anni dall'attivazione,

rappresentano ancora quantitativi estremamente significativi di organo-clorurati estratti dal sottosuolo.

In riferimento ai singoli composti, la massa estratta è risultata principalmente costituita da tricloroetilene sebbene, con il passare del tempo si sia evidenziato un progressivo incremento percentuale di composti meno volatili quali tetracloroetilene, tetracloroetano e policlorobutadieni.

In termini di quantitativi totali estratti, il recupero complessivo realizzato dai pozzi, nel periodo ottobre 1997 - aprile 2005, è di circa 45 t; tra i punti di prelievo tuttora attivi il pozzo A è risultato il più performante avendo

realizzato un recupero di circa 24 ton di composti organo-alogenati e a seguire i pozzi D, E (circa 7 t cadauno) e B (circa 5.5 t).

I risultati ottenuti consentono di affermare che l'impianto di SVE realizzato presso l'ex Acna di Cesano Maderno ha manifestato, nel corso del periodo di funzionamento, una straordinaria efficienza nel recupero di composti organoclorurati dal sottosuolo, tanto che difficilmente, anche a livello mondiale, si possono riscontrare performance similari in analoghi impianti di bonifica.

Bibliografia

ASTM, 1993, Guide for soil gas monitoring in the vadose zone. ASTM Committee D-18, D-5314, Philadelphia, Pennsylvania

ASTM, 1995, Standard practice for sampling waste and soils for volatile organics. ASTM Committee D-18, D4547-91, Philadelphia, Pennsylvania

Avanzini M., Beretta G.P., Nespoli M., 1999, Messa in sicurezza di un acquifero multifalda in un polo industriale: area ex-Acna di Cesano Maderno-Ceriano Laghetto (Milano). 3° Convegno Nazionale sulla protezione e gestione delle acque sotterranee per il III Millennio, Parma 13-15 ottobre, Quaderni di Geologia Applicata, N.2, Vol. 1, Pitagora Editrice, Bologna

Johnson P.C., Kemplowski M.W., Clothart J.D., 1990, Quantitative Analysis for the Cleanup of Hydrocarbon Contaminated Soils by in-Situ Soil Venting. *Groundwater*, 28 (3)

Massman J.W., 1989, Applying Groundwater Flow models in Vapour Extraction System Design. *Journal of Environmental engineering*, 115(1)

Texas Research Institute, 1980, Examination of Venting for Removal of Gasoline Vapors from Contaminated Soil. American Petroleum Institute, Washington D.C.

U.S. Army Corps of Engineers, 1995, Soil Vapor Extraction and Bioventing. *Engineering*

and Design. Engineer Manual (EM 1110-1-4001).

U.S. Environmental Protection Agency, 1993, Engineering Forum Issue: Considerations in Deciding to Treat Contaminated Unsaturated Soils in Situ. EPA/540/S-94/500, Technology Innovation Office, Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington D.C.

U.S. Environmental Protection Agency, 1997, Test Methods Evaluating Solid Waste, Physical-Chemical Methods". Update III of SW-846-Method 5035: Closed-System Purge-and-Trap and Extraction for Volatile Organics in Soil and Waste Sample, Federal Register, June.