

Individuazione e monitoraggio della contaminazione da solventi clorurati nel sottosuolo attraverso il campionamento e l'analisi dei tronchi di albero **-Phytoscreening-**

Lucina Luchetti* & Antonio Diligenti**

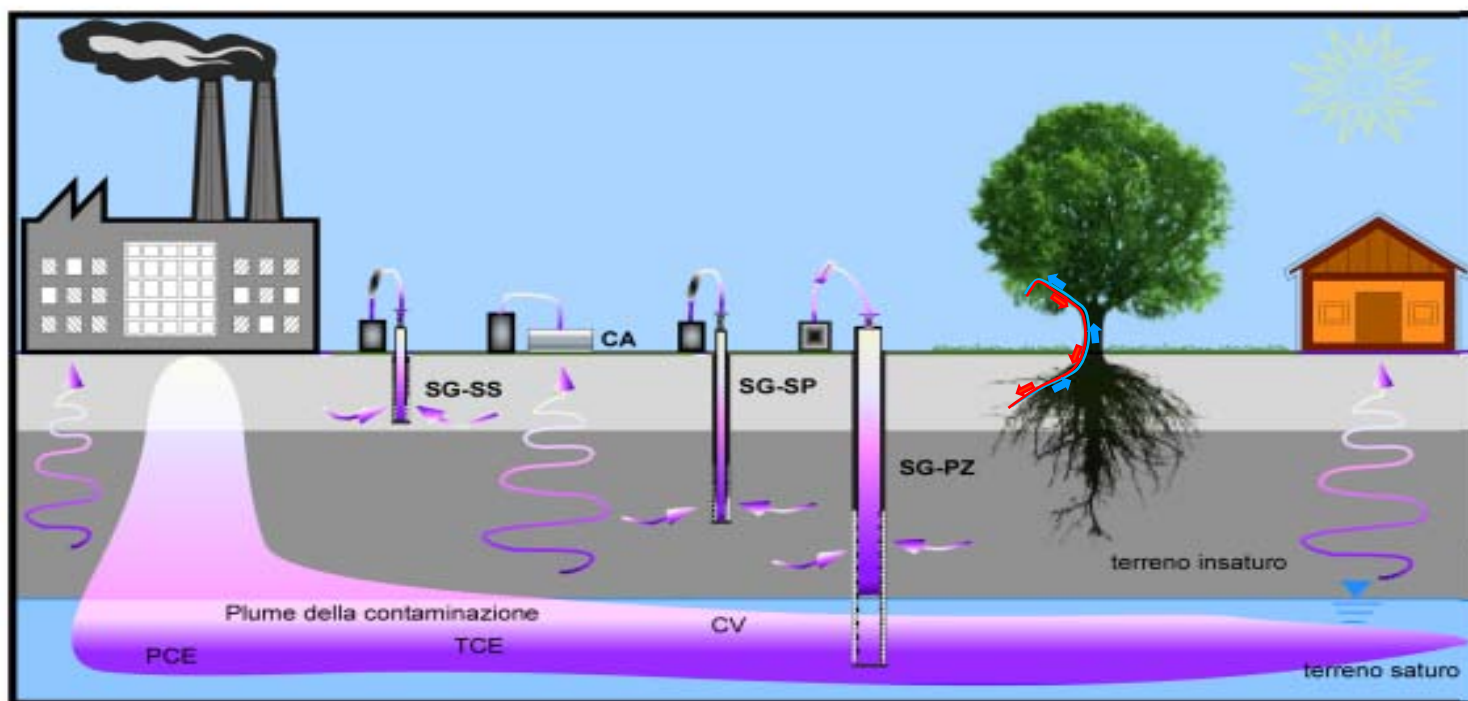
** ARTA Abruzzo Distretto Provinciale di Chieti*

Responsabile Ufficio Siti contaminati, Materiali da scavo e Discariche

*** ARTA Abruzzo Distretto Provinciale di Chieti*

Ufficio Siti contaminati, Materiali da scavo e Discariche

Le tecniche di phytoscreening si basano sulla capacità dell'apparato radicale degli alberi di assorbire i contaminanti disciolti e trasportati dall'acqua di infiltrazione, dalla falda o dal soil-gas. Le sostanze così assorbite sono trasferite, dal moto verticale della linfa, per tutta la lunghezza del tronco fino a raggiungere la chioma (rami e foglie).



Il ***Phytoscreenig*** è un metodo rapido, economico con un basso impatto ambientale applicato con successo in siti contaminati in Europa e in USA dalla fine degli anni '90 e prevede l'individuazione dei Composti Organici Volatili (COV), attraverso l'analisi dei tronchi di albero.

- **definire o completare il quadro d'indagine di un'area (Vroblesky et alii, 1999; Schumacher et alii, 2004; Sorek et alii, 2008; Trapp et alii, 2012, Luchetti et alii, 2014, Luchetti e Diligenti, 2014)**
- **monitorare l'andamento della bonifica (Vroblesky et alii, 1999; Schumacher et alii, 2004; Larsen et alii, 2008; Trapp et alii, 2012)**
- **definire la cronologia di eventi di contaminazione anche ai fini legali (Balouet, 2007; Burken, 2011; Balouet, 2012)**

Attività di Phytoscreening ARTA

Nell'ambito della caratterizzazione ambientale dei siti contaminati, l'U.O. "Siti contaminati, Materiali da scavo e Discariche" dell' ARTA Abruzzo, Distretto Provinciale di Chieti ha avviato le prime campagne di *phytoscreening* nel 2012 con la finalità di individuare metodiche supplementari e/o alternative a quelle classicamente utilizzate per la caratterizzazione e il monitoraggio sito-specifici.

- *Protocollo operativo per le attività di Phytoscreening*
- *Caso studio*

Protocollo operativo per le attività di *phytoscreening*



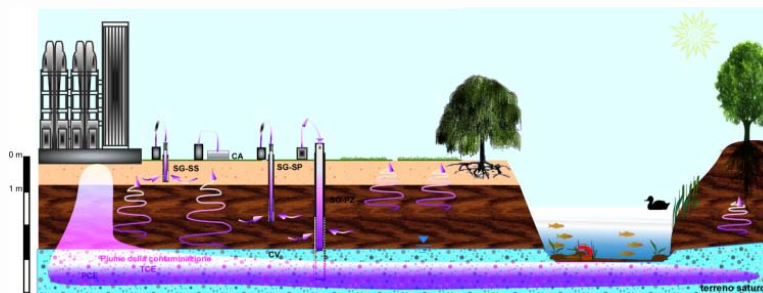
Autori

Luchetti Lucina & Diligenti Antonio

ARTA Abruzzo Distretto Provinciale di Chieti
Via Spezioli 52, 66100 Chieti, Italy

PdC delle aree pubbliche del SIN di Bussi sul Tirino (PE) Nei transetti fluviali:

Sondaggi, Tronchi di albero, Acque sup. e macroinvertebrati
Complessivamente si prevede di effettuare il controllo
eseguendo l'analisi chimica ed ecotossicologica dei sedimenti
e delle acque fluviali, il biomonitoraggio dei macroinvertebrati
lo screening ed il bioaccumulo nei tronchi di albero



OBIETTIVO

**STANDARDIZZARE LE MODALITA' OPERATIVE DI CAMPIONAMENTO ED
ANALISI DEI TRONCHI DI ALBERO E DEI GAS *in vivo***

Precauzioni per il campionamento selezionare:

- esemplari non affetti da danni fisici o patologie
- latifoglie (ad es. *Quercus pubescens*, *Populus alba*, *Platanus acerifolia*, *Tilia platyphyllos*, *Juglans regia* etc.) e non conifere ad alto contenuto di resina

Attività preliminari



VERBALE CAMPIONAMENTO MATERIALE E OGGETTI VARI (PHYTOSCREENING)

VERBALE N° _____ DEL _____

ALTRE INFORMAZIONI:
 02_SITI INQUINATI
 04_DISCARICHE
 06_AUT.INTER.AMB.
 altro _____

Ente richiedente "UFFICIO _____ del _____"
 Protocollo della richiesta n° _____

Tecnici ARTA del Dipartimento di Chieti, _____

LUOGO DI PRELIEVO:

Il responsabile, con conoscenza del motivo della visita, ha invitato la persona reperita al momento dell'accesso a presenziare al controllo.

Attività osservata

Regione sociale:
 Responsabile legale
 Cognome _____
 Nome _____ Nato _____
 residente a _____ Via _____
 Qualifica _____

Presente all'ispezione
 Cognome _____
 Nome _____ nato a _____
 Qualifica _____ residente a _____

CONDIZIONI METEO-AMBIENTALI:

Data	
Meteo	
Vento	
Pressione barometrica	
Data ultima pioggia	
Temp°C	

PH		
PH2		
PH3		
CH2%		
CH3%		
CH4%		

Note _____

I sottoscritti hanno effettuato il prelievo di M. campioni del tronco ognuno dei quali suddivisi in n. aliquoti. Note _____

I campioni prelevati sono successivamente riposti in contenitore refrigerato per il trasporto in laboratorio dove dovranno essere conservati in frigorifero a $\pm 4^\circ$ o -20° fino al momento dell'apertura.

Parametri da ricercare

- SITI ING ALIFATICI ALOGENATI CANCEROGENI
- SITI ING ALIFATICI CLORURATI
- SITI ING COMPOSTI ORGANICHI AROMATICI
- SITI ING IDROCARBURI C6-12
- SITI ING METALLI
- ALTRO _____

NOTE _____

I VERBALIZZANTI _____

Verbale n° _____ del _____ pag. _____ di _____

Le aliquote sono state sigillate e contraddistinte con un con cartellino sul quale sono riportate: sigla del punto di prelievo, data e n. verbale. Elenco dei campioni prelevati:

PUNTO DI PRELIEVO (Sigla campione)	Il campione è stato suddiviso in contenitori da:	Tipologia di albero Coordinate	Note:
	n. _____ 40 ml (solventi)		Altezza campionamento da p.e. (cm) _____ Diametro tronco (cm) _____ Lunghezza tronchetto (cm) _____
	n. _____ 40 ml (solventi)		Altezza campionamento da p.e. (cm) _____ Diametro tronco (cm) _____ Lunghezza tronchetto (cm) _____
	n. _____ 40 ml (solventi)		Altezza campionamento da p.e. (cm) _____ Diametro tronco (cm) _____ Lunghezza tronchetto (cm) _____

Fato, letto, confermo e sottoscritto alle ore _____ in casa e luogo di cui sopra. I VERBALIZZANTI _____
 LA DITTA _____



DIPARTIMENTO REGIONALE DI CHIETI - VIA SANGAIO 16 - 66100 CHIETI
 TEL. 0872/52111 FAX 0872/52112 E-MAIL: DUC@CIVICO.COMUNICAZIONE.IT
 C.A.P. 66100 - P. I.T.A. 016000006



RICERCA, SITI INQUINATI E SISTEMA NAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE

WORKSHOP • ROMA 29-30 gennaio 2015

Acquisizione dati Meto-ambientali:

- **Temperatura e Pressione atmosferica;**
- **Data dell'ultima pioggia;**

Selezione esemplari da campionare:

- **Specie;**
- **Coordinate;**
- **Lunghezza del tronco;**
- **Diametro del tronco nel punto di campionamento;**
- **Altezza del punto di campionamento**



Diretto: prelievo di «microcarote» estratte dal tronco ed analizzate in laboratorio



***In vivo*: prelievo dei gas all'interno di fori praticati nel tronco ed analizzati in campo (Luchetti e Diligenti, 2014)**

Campionatore incrementale “Succhiello di Pressler”



CONTENITORI VIALS da 40 mL



Paste antibiotiche

Materiali per il campionamento *in vivo*

Campionatore «Succhiello di Pressler»

Pompa elettrica

(Tubi e nastri in teflon)



Fiale colorimetriche

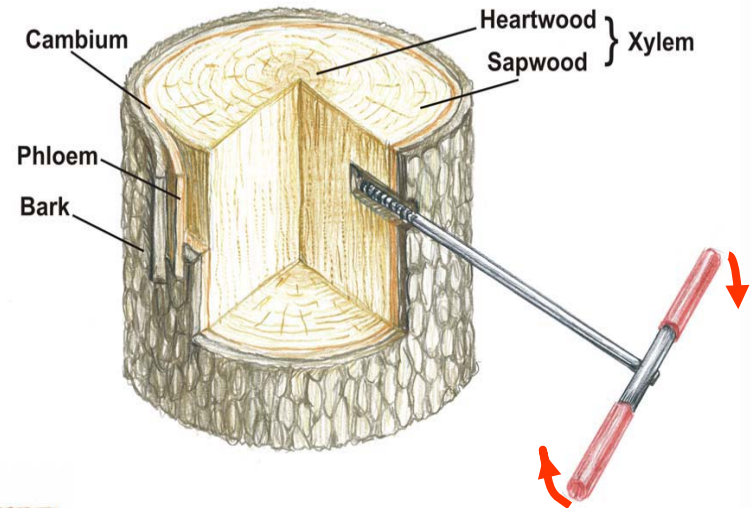


Analizzatore portatile per gas GA



Metodi di campionamento diretto

La punta del campionatore incrementale viene infissa nel tronco, a seguito della rimozione di una porzione di corteccia, e attraverso una rotazione in senso orario, viene prelevata la carota di tronco.



Il cilindretto di legno estratto (microcarota) ha diametro di 0,5cm e lunghezza variabile tra 5 e 10cm. La “microcarota” viene immediatamente suddivisa in frammenti e riposta all’interno di un vial per la conservazione-trasporto e analisi chimiche.

MODALITA' DI CONSERVAZIONE in laboratorio		TEMPI DI CONSERVAZIONE PER ANALISI
TEMPERATURA	CONSERVAZIONE - ESTRAZIONE	
< 4°	10 mL metanolo	<48 ore
< -20°	10 mL metanolo	<14 giorni

Le metodiche sono state mutuare da quelle utilizzate per la matrice suolo/sottosuolo:

EPA 5035 A 2002

EPA 8260B 1996

EPA 8260C 2006



La metodica prevede una preparativa iniziale del campione, che consiste nell'estrazione dei COV con Metanolo e successiva analisi attraverso l'utilizzo di strumentazione di tipo GC/MS (Gas chromatography/Mass spectrometry).

Metodologia di campionamento *in vivo*

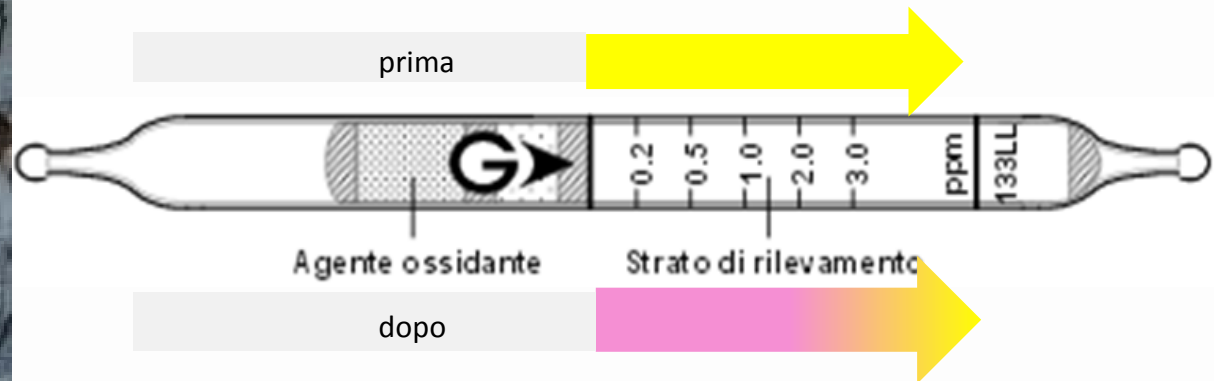
La fiala viene inserita per circa 2 cm, nel foro prodotto dall'estrazione della «microcarota», dopo averla avvolta con del nastro in teflon per limitare l'ingresso di aria ambiente. Quindi l'altra estremità viene collegata, tramite tubazione in teflon, alla pompa elettrica.



Metodologia di campionamento *in vivo*

Le fiale colorimetriche (UNI EN 1231-1999) consentono di discriminare molti composti chimici fornendo una stima della concentrazione del gas ricercato in tempo reale.

Le fiale, in vetro (chiusure alle estremità), contengono una matrice solida, che, per mezzo di un reagente (sostanza rilevatrice), dopo il passaggio dei gas e in presenza del composto da ricercare, varia di colore.



Campionamento ed analisi con fiale colorimetriche

Le fiale colorimetriche si utilizzano per l'aria ambiente con l'ausilio di pompe manuali. Queste consentono di prelevare una quantità di gas standard pari a:

50mL (1/2 pompata),

100mL (1 pompata);

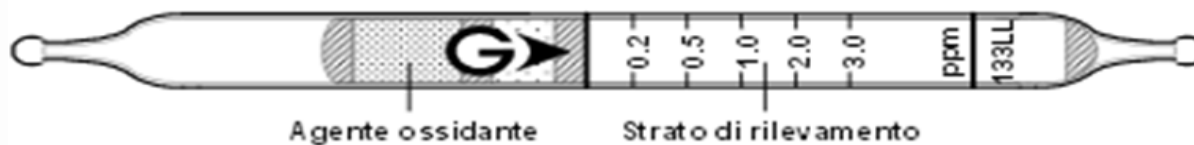
200mL (2 pompate) etc....

L'uso di pompe manuali per le indagini di Phytoscreening ha evidenziato problematiche che ci hanno spinto ad adottare pompe elettriche in analogia con quanto già applicato nei prelievi dei soil-gas.



Campionamento ed analisi con fiale colorimetriche

Impostando una portata a basso flusso (0,2L/min) della pompa è stato individuato il tempo di campionamento (Tempo di aspirazione + Tempo di reazione)



GASTEC range conc. 0,1-9 ppm	Volume di campionamento (mL)	Tempo di campionamento (sec)		Fc	conc. misurata sulla fiala (ppm)	C= Cf* Fc	
		Q 0,2 (L/min)				(ppm)	(mg/m3)
Contaminante PCE		T. Aspirazione	T. Reazione				
1°campionameto	50	15					
1 ^a lettura			45	3	1-3	3-9	20,02-60,06
2°campionameto	50	15					
2 ^a lettura			45	1	0,2-3	0,2-3	1,33-20,02
3°campionameto	100	30					
3 ^a lettura			90	1/2	0,1-0,4	0,1-0,2	0,66-1,33

dove: Concentrazione = Cf (lettura sulla fiala) * Fc (Fattore di correzione)

Campionamento ed analisi con fiale colorimetriche

Correzione di Cppm per t e P

$$mg/m^3 = C_{ppm} \times M/22.4 \times 273/(273 + t) \times P/1013$$

Campionamento ed analisi con fiale colorimetriche

Contaminante	Sigla fiala GASTEC	Range conc. (ppm)	Sostanze coesistenti
TCE	132LL	0,125-8,8	PCE
1.2 DCE	132LL	0,375-6	
TCE	132L	1-70	Tetracloruro di carbonio, Idroc. Alogenati
Benzyl chloride	132L	1,6-20	
PCE	133LL	0,1-9	1.2 DCE
PCE	133L	1-75	
Pentacloroe tano	133L	40-500	
PCE	133M	2-250	
PCE	133H	7-900	TCE
CV	131L	0,1-6,6	
Toluene	122	5-690	Xylene - Benzene
Toluene	122L	1-100	Etylene - Idroc. Aromatici
Xylene	122L	2-200	
Etylbenzene	122L	1-70	
vapor acqueo	6	0,5-32 mg/L	

Contaminante	Sigla fiala UNIPHOS	Range conc. (ppm)	Sostanze coesistenti
1.2 DCE	SDH - 4M	20 - 400	TCE
TCE	SCE - 2M	0,5 - 32	Idroc. alogenati
TCE	SCE - 4L	20 - 250	1.2 DCE
PCE	STE - 3	2,5 - 200	1.2 DCE
Ethyl Benzene	SEB - 4M	30-400	
Gasoline	SGA - 6L	300 - 6000	
BENZENE	SBE - 2	1,25 - 100	H2S
CV	SVC - 2M	0-20	TCE-PCE
TOLUENE	STO - 4M	10 - 300	H2S, CO, n - Hexane, Xylene
TOLUENE	STO - 2	1 - 100	Strirene, isobutilene, xilene
Xilene	SXY - 4	25-2000	Benzene, Toluene
Mercury Vapour	SHG- 1L	0.1 - 2 mg/m3	H2S

Contaminante	Sigla fiala Kitagawa	Range conc. (ppm)
TCE	134SA	5-300
TCE	134SB	0,2-36,8
PCE	135SA	5-300
PCE	135SB	0,2-10
PCE	135SG	40-500
CV	132SC	0,1-12
1,3-Dichloropropane	194S	10-500
CV	132SB	5-500
Toluene	124SB	2-100
Trichloromethane	152S	23-500
Xylene	143SA	5-1000
Etylbenzene		
Benzene	118SB	5-200
Benzene	118SE	1-80,0,2-1

Phytoscreening

STEP1

ARIA ambiente: CH₄, O₂, CO₂, P e TSpecie, Coordinate, Lunghezza del tronco;
Diametro del tronco nel punto di campionamento.

STEP2

- Rimozione corteccia;
- Posizionamento all'altezza definita (1m);
- Estrazione della microcarota dal tronco frammentazione e rapido inserimento nel vial;
- Trasporto in frigo box a 4°C per le analisi di Laboratorio;
- Conservazione a -20°C con metanolo ed analisi entro 14 g;
- Conservazione a 4°C «tal quale» ed analisi entro 48 ore.

STEP3

- Avvolgimento del nastro in teflon nella parte iniziale della fiala;
- Inserimento nel foro per circa 2 cm;
- Collegamento della fiala alla pompa a basso flusso (0,2L/min) e lettura della concentrazione secondo il tempo di campionamento.

Caso studio

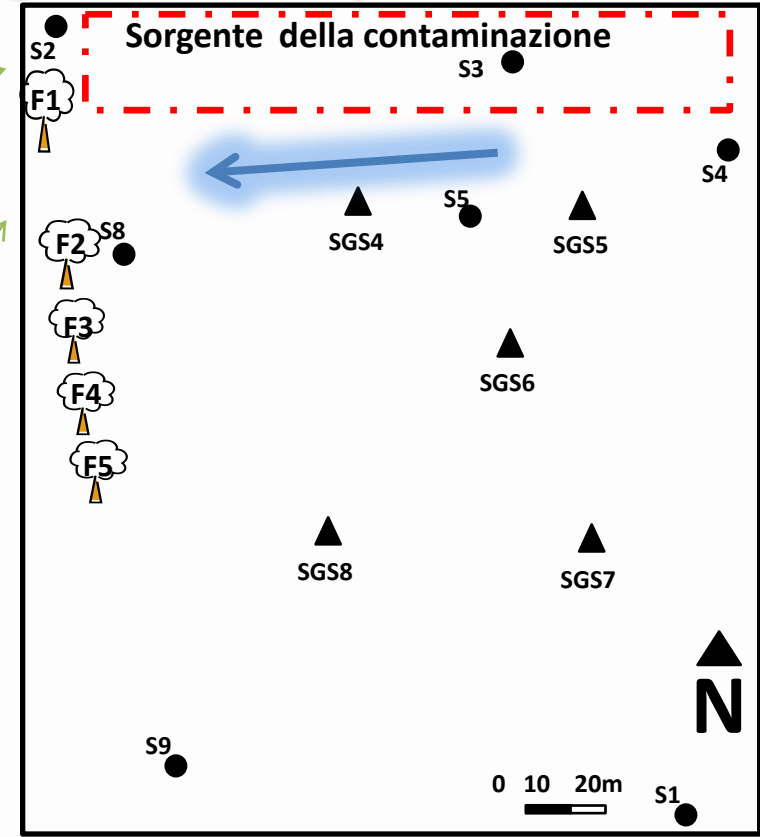
Un sito, inserito nel contesto industriale della Valle del F. Pescara, nel quale le analisi chimiche hanno evidenziato un forte impatto sulle matrici acque sotterranee, terreno e soil gas.

CASO STUDIO	
LOCALIZZAZIONE	Fondovalle del F. Pescara
LITOLOGIA	All. Terr. (SINTEMA AV.M.-PLEIST. SUP.)
ACQUIFERO (m)	10
SOGGIACENZA MEDIA (m)	6
USO	INDUSTRIALE/COMMERCIALE
MATRICI CONTAMINATE	ACQUA SOTT./TERRENO
CONTAMINANTI	PCE,TCE, 1,2 DCP, 1,2 DCE
SPECIE ARBOREE	<i>Tilia platyphillos</i> , <i>Platanus acerifolia</i> , <i>Aesculus hippocastanum</i> ...

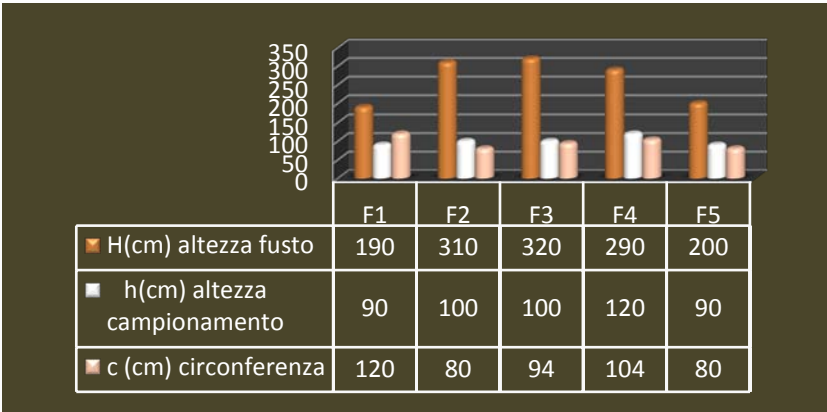


Caso studio

Ubicazione delle indagini dirette e degli alberi campionati



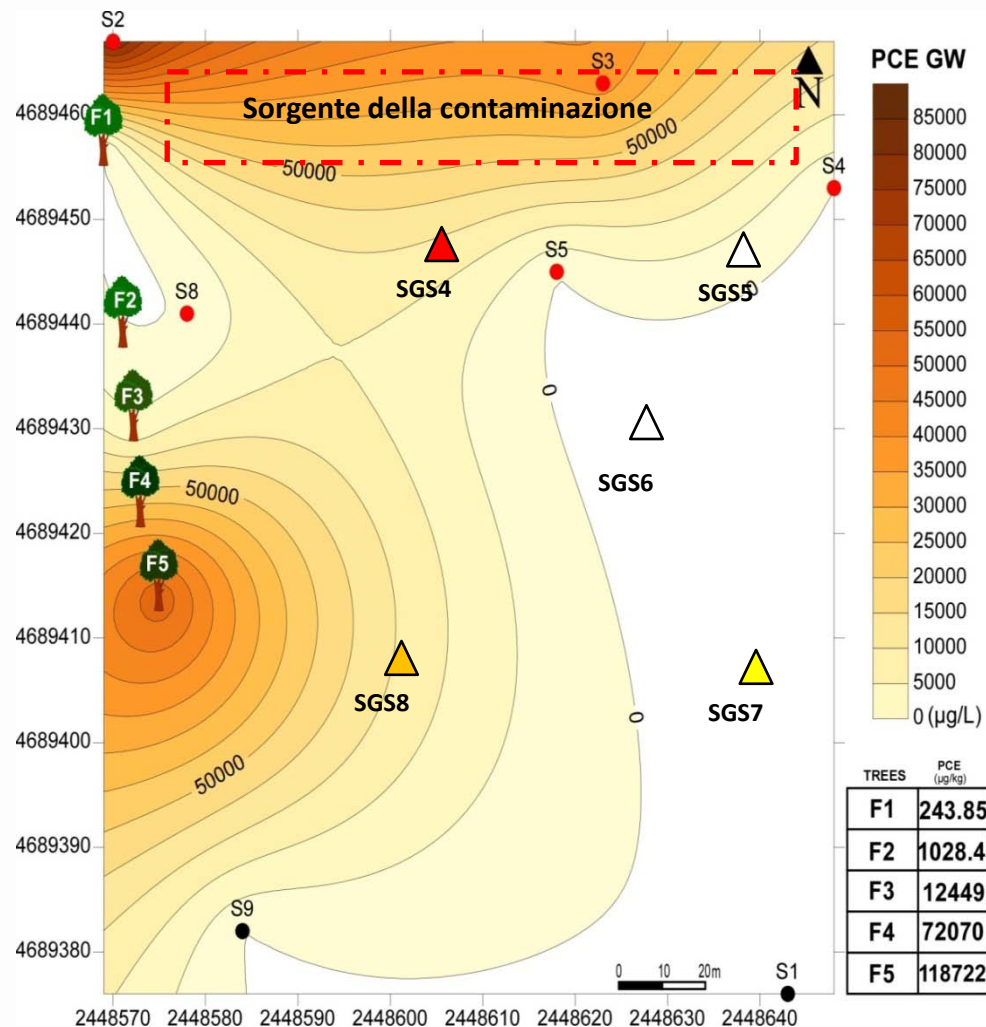
- Sorgente della contaminazione (serbatoi interrati di 1.2 DCP e PCE)
- S1 PIEZOMETRI
- SGS7 SISTEMA SOIL GAS
- F1 Alberi Campionati
- ← Direzione deflusso falda



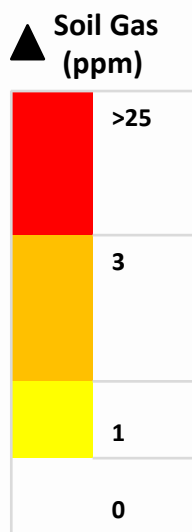
Caso studio

Distribuzione della contaminazione in falda e negli alberi

Correlazione tra le curve di isoconcentrazione nelle acque di falda (piezometri S1-S9) di Tetracloroetilene nel soil gas (SGS4-8) e l'andamento della concentrazione della stessa sostanza negli alberi.



Well	(csc 1,1 µg/L)
S2	174230,00
S3	85556,00
S4	0,17
S8	1469,00
S5	12,30
S1	0,10
S9	0,10

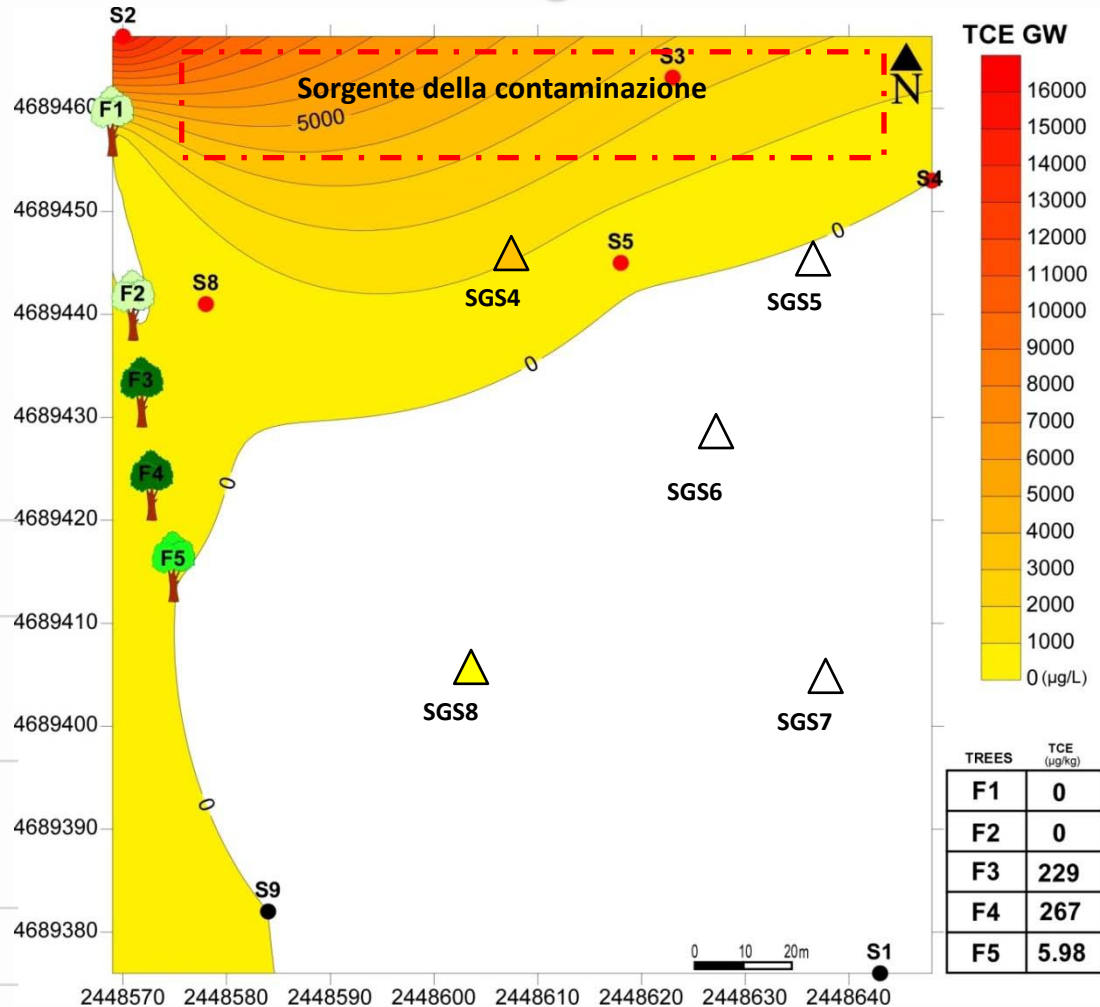


TREES	PCE (µg/g)
F1	243.85
F2	1028.4
F3	12449
F4	72070
F5	118722

Caso studio

Distribuzione della contaminazione in falda e negli alberi

Correlazione tra le curve di isoconcentrazione nelle acque di falda (piezometri S1-S9) di Tricloroetilene nel soil gas (SGS4-8) e l'andamento della concentrazione della stessa sostanza negli alberi.



Well	TCE (CSC1,5µg/L)
S2	15148,00
S3	2355,00
S4	0,01
S8	243,00
S5	8,84
S1	0,10
S9	0,10

Soil Gas (ppm)
>25
3
1
0

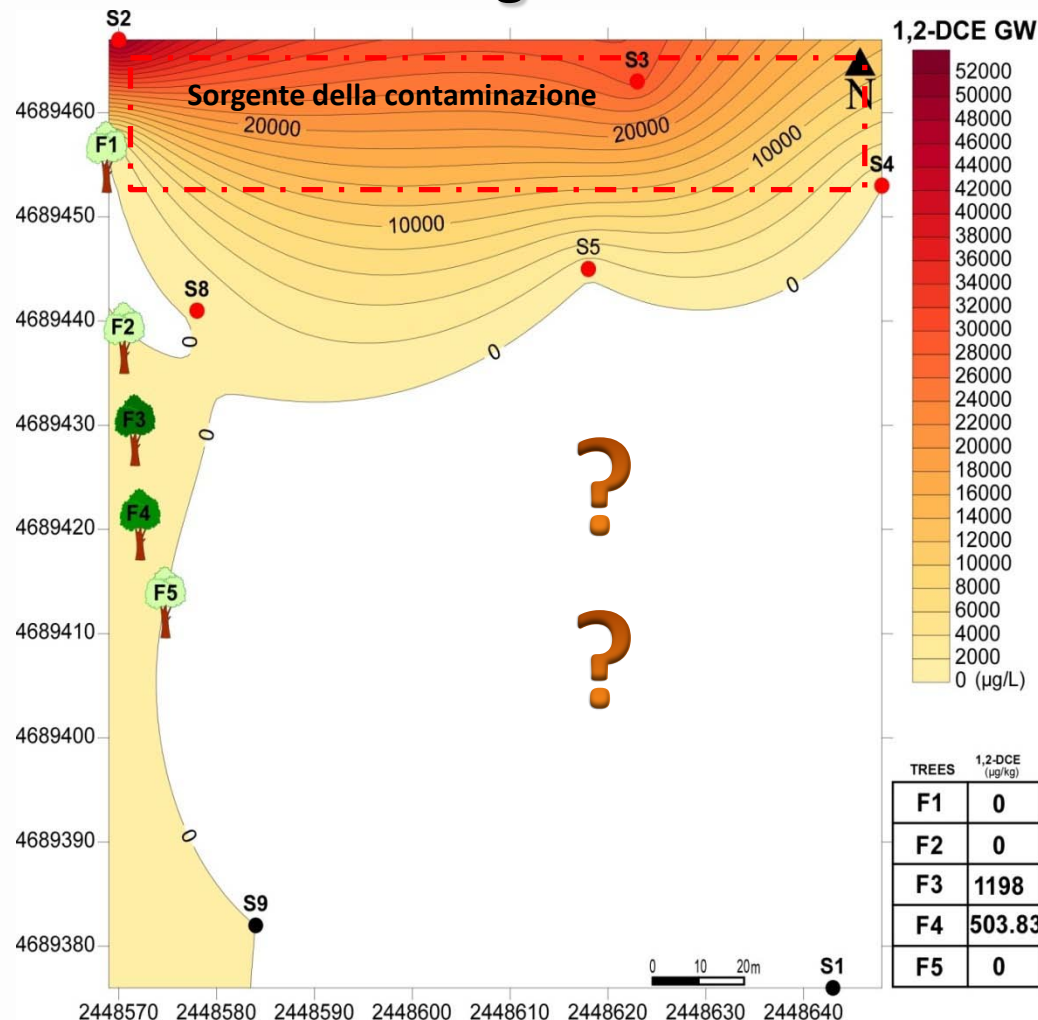
TREES	TCE (µg/kg)
F1	0
F2	0
F3	229
F4	267
F5	5.98

Caso studio

Distribuzione della contaminazione in falda e negli alberi

Correlazione tra le curve di isoconcentrazione nelle acque di falda (piezometri S1-S9) di 1,2 Dicloroetilene e la distribuzione della concentrazione negli alberi della stessa sostanza.

Well	1,2 Dicloroetilene (CSC 60 µg/L)
S2	50641,00
S3	28795,00
S4	0,10
S8	182,00
S5	18,01
S1	0,10
S9	0,10

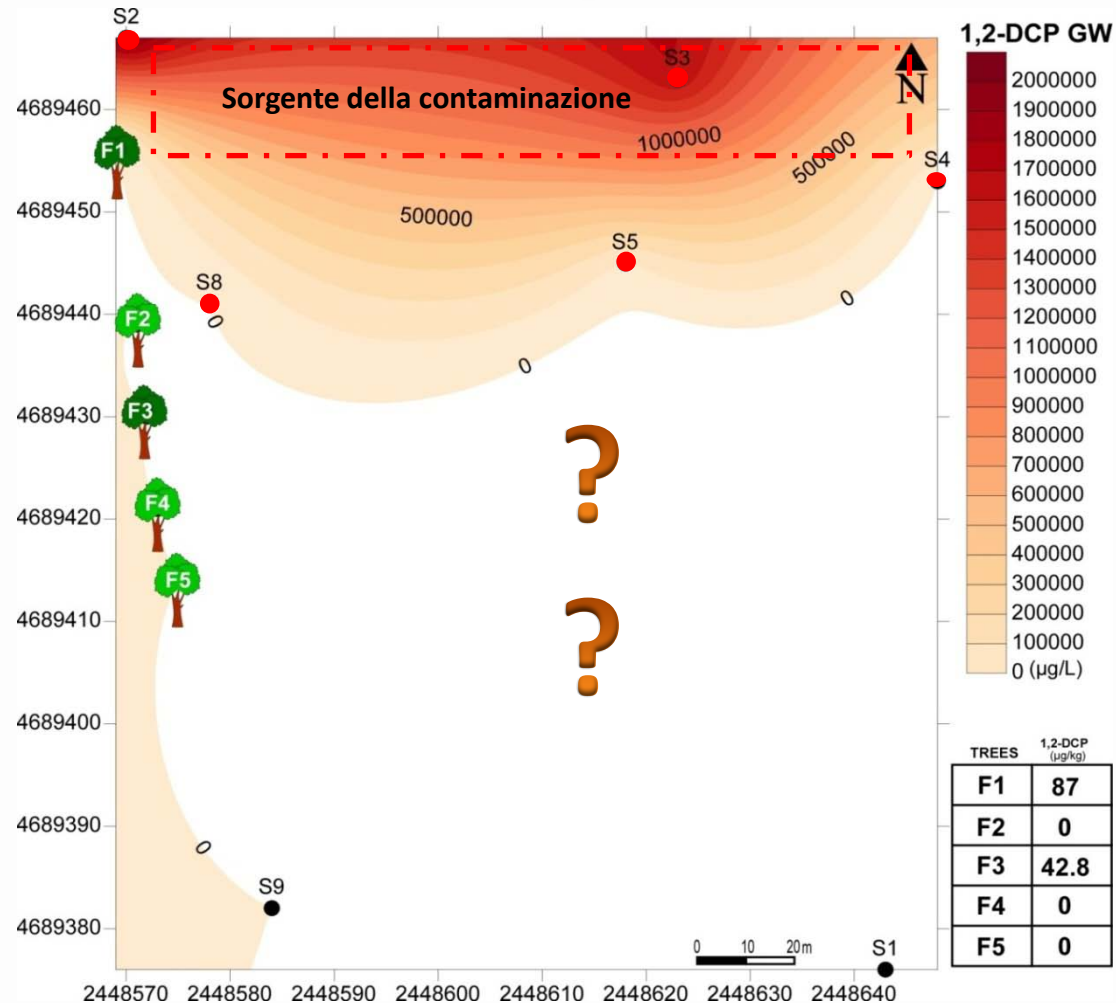


Caso studio

Distribuzione della contaminazione in falda e negli alberi

Correlazione tra le curve di isoconcentrazione nelle acque di falda (S1-S9 piezometri) di 1,2 Dicloropropano e la distribuzione della concentrazione negli alberi della stessa sostanza.

Well ●	1,2 Dicloropropano (CSC 0,15 µg/L)
S2	1900000,00
S3	1600000,00
S4	0,25
S8	2347,00
S5	81000,00
S1	0,05
S9	0,05



Caso studio

- Come si distribuisce la contaminazione lungo il tronco?
- Qual'è l'altezza più idonea per il campionamento?
- Qual'è il metodo di conservazione ottimale della «microcarota»?



1,5m

1,0m

0,5m

Caso studio

Campagne di monitoraggio condotte nell'esemplare F3 tra dicembre 2013 e aprile 2014, con:

- **Campionamenti a tre quote: 0,5m, 1m e 1,5m;**
- **Due metodi di conservazione della «microcarota» a <-20°C con metanolo e «tal quale» ed analisi entro 14 giorni;**
- **Analisi dei gas nel foro di estrazione *in vivo* con fiale colorimetriche**

Confronto dei risultati ottenuti con il monitoraggio eseguito a luglio 2013

(«microcarote» prelevate ad 1m e conservate «tal quale» a <4°C con analisi entro le 48 ore)

Caso studio

Dati meteo climatici

Luglio 2013

Periodo pre-campionamento caratterizzato da scarse piogge

Dicembre 2013

Periodo pre-campionamento caratterizzato da intense piogge

Aprile 2014

Periodo pre-campionamento caratterizzato da intense piogge

Caso studio

Dicembre 2013



1,5 m



PCE >3ppm

1 m



PCE 2,2ppm

0,5 m

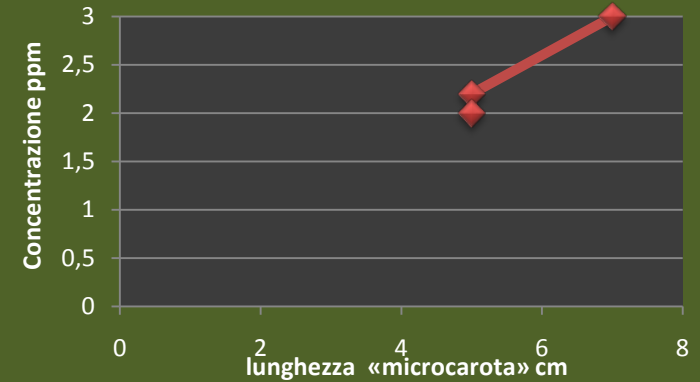
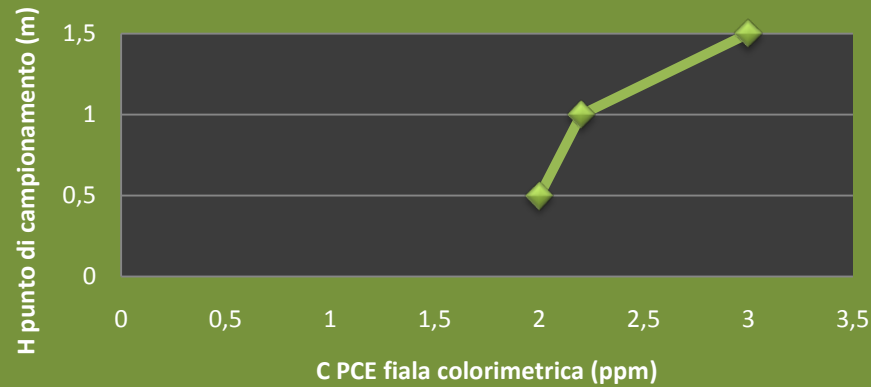


PCE 2 ppm

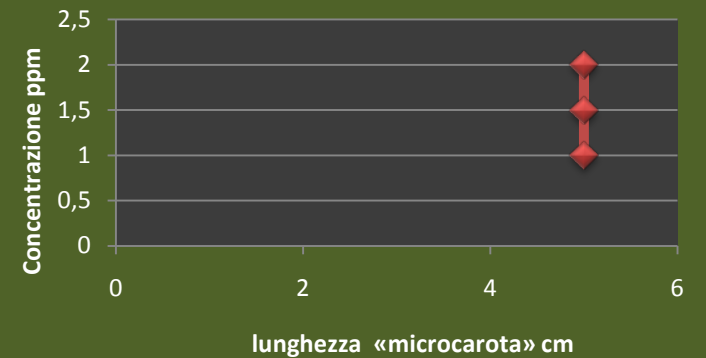
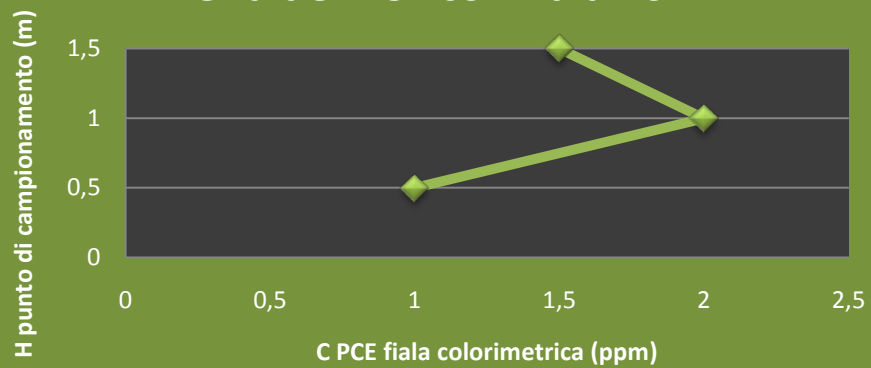


Caso studio

Trend del PCE con fiala 2013

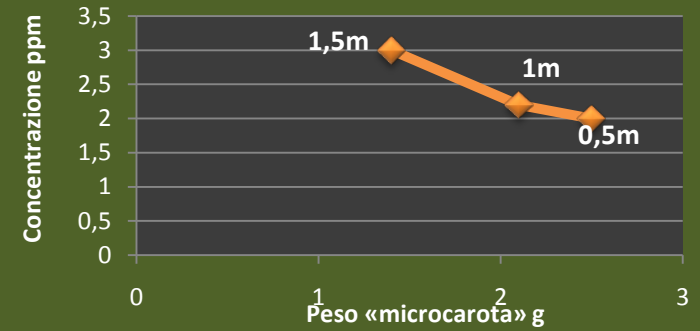
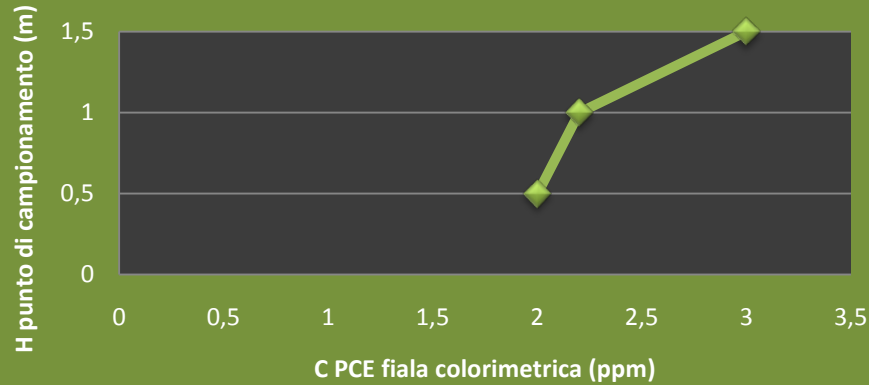


Trend del PCE con fiala 2014

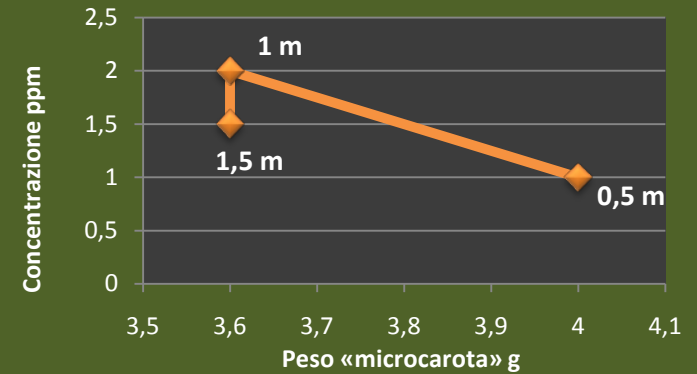
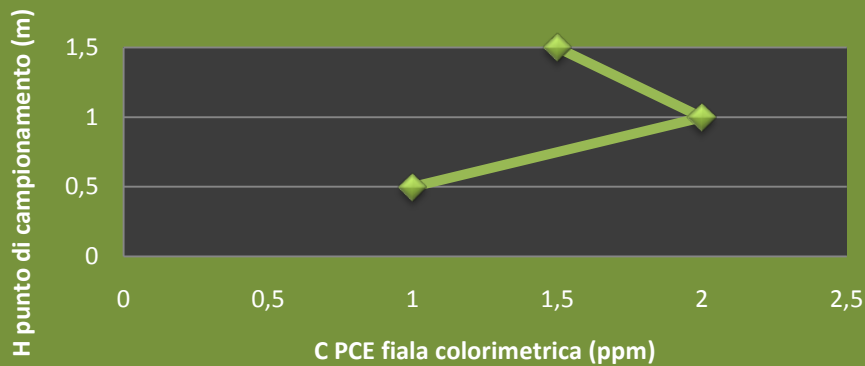


Caso studio

Trend del PCE con fiala 2013



Trend del PCE con fiala 2014



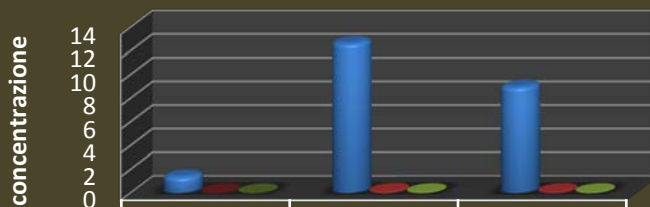
RISULTATI ANALISI FIALE COLORIMETRICHE

1. L'altezza più indicativa per il campionamento è 1m
2. La lunghezza del foro può influenzare la misura è opportuno definire lunghezze costanti del foro >5cm
3. Il trend della concentrazione dei contaminanti cresce verso l'alto presumibilmente a causa della diluizione prodotta dall'acqua d'infiltrazione nella parte inferiore del tronco

Caso studio

Conservazione <-20°C e analisi 14 giorni

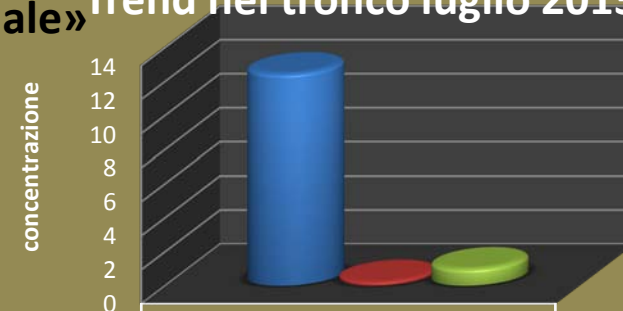
metanolo Trend nel tronco dicembre 2013



	F3 (0,5m)	F3 (1m)	F3 (1,5 m)
■ Tetracloroetilene (PCE) mg/kg	1,381	12,609	8,954
■ Tricloroetilene (TCE)mg/kg	0,005	0,109	0,083
■ 1,2-Dicloroetilene mg/kg	0,005	0,061	0,068

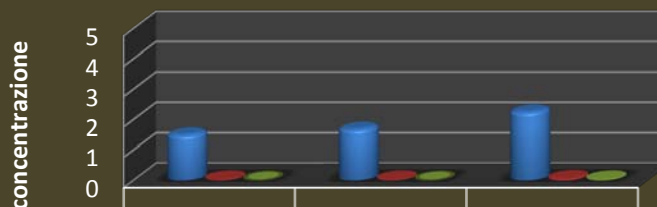
Conservazione <4°C e analisi 48 ore

«tal quale» Trend nel tronco luglio 2013



	F3 (1m)
■ Tetracloroetilene (PCE) mg/kg	12,449
■ Tricloroetilene (TCE)mg/kg	0,229
■ 1,2-Dicloroetilene mg/kg	1

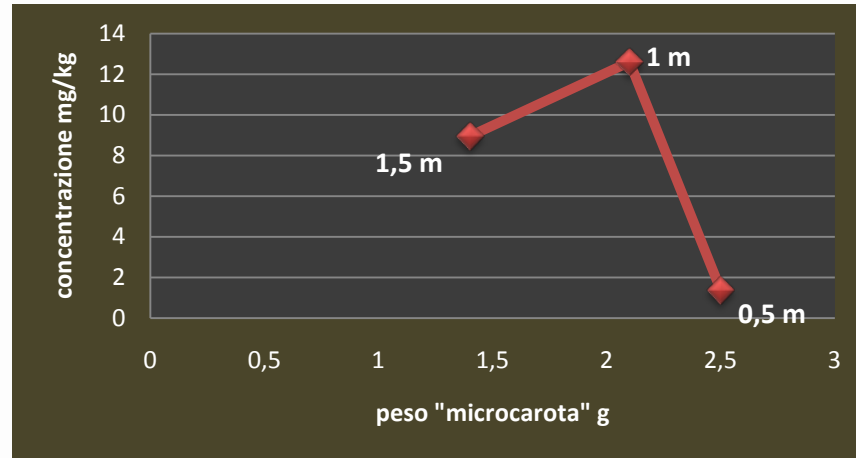
«tal quale» Trend nel tronco aprile 2014



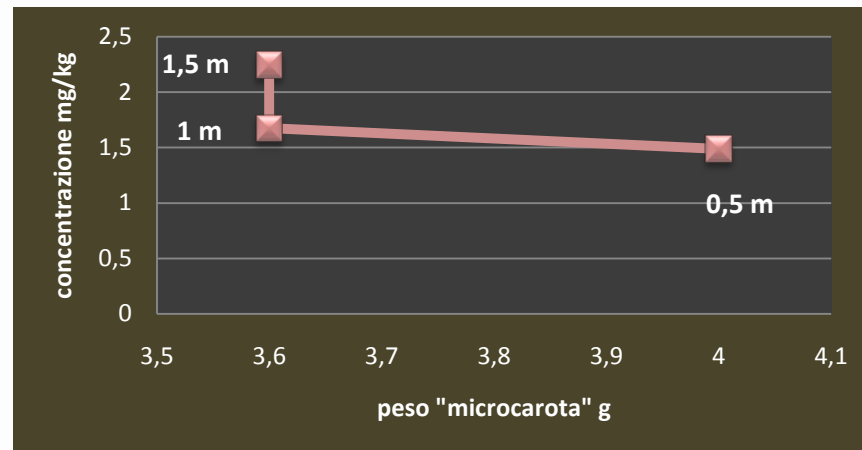
	F3 (0,5m)	F3 (1m)	F3 (1,5 m)
■ Tetracloroetilene (PCE) mg/kg	1,488	1,675	2,246
■ Tricloroetilene (TCE)mg/kg	0,024	0,022	0,049
■ 1,2-Dicloroetilene mg/kg	0,005	0,005	0,022

Caso studio

Trend del PCE nel tronco a dicembre 2013



Trend del PCE nel tronco ad aprile 2014



RISULTATI ANALISI DI LABORATORIO

1. Il trend della concentrazione dei contaminanti cresce verso l'alto ed è inversamente proporzionale al peso dei campioni presumibilmente a causa della diluizione prodotta dall'acqua d'infiltrazione nella parte inferiore del tronco
2. L'altezza più indicativa per il campionamento è 1m
3. I metodi di conservazione in laboratorio della «microcarota» più idonei sono:
 - a) con metanolo a $<-20^{\circ}\text{C}$ (esecuzione delle analisi entro 14 giorni)
 - b) «tal quale» a $<4^{\circ}\text{C}$ (esecuzione delle analisi entro le 48 ore)

Il Phytoscreening ci ha consentito di:

- Confermare l'effettiva correlazione tra la presenza di un contaminante nei tronchi d'albero e nel sottosuolo
- Confermare la correlazione positiva tra analisi *in vivo* e di laboratorio
- Ipotizzare nuove vie di diffusione della contaminazione in falda e/o sorgenti nel terreno in settori in cui non sono presenti punti di controllo delle matrici ambientali
- Verificare una diversa capacità di assorbimento nei tessuti vegetali dei contaminanti alifatici clorurati
- Confermare la possibilità di un suo utilizzo ai fini del monitoraggio dell'andamento delle bonifiche (fitotecnologie) e dell'Attenuazione naturale
- Ritenerne questa metodologia utile anche nell'applicazione dell'Analisi di Rischio Ecologico (ARE)

Riferimenti bibliografici essenziali

- Balouet, J-C, Oudijk, G., Smith, K. T., Petrisor, I., Grudd, H., Stocklassa, B., (2007) - *Applied Dendroecology and Environmental Forensics. Characterizing and Age Dating Environmental Releases: Fundamentals and Case Studies*. Environmental Forensics, 8,1-17.
- Balouet, J-C, Burken, J. G., Karg, F., Vroblesky, D.A., Smith, K. T., Grudd, H., Rindby, A., Beaujard, F., Chalot, M., (2012) - *Dendrochemistry of Multiple Releases of Chlorinated Solvents at a Former Industrial Site*. Environ. Sci. Technol. 46, 9541-9547.
- Burken, J. G., Vroblesky, D. A., Balouet, J. G., (2011) - *Phytoforensics, Dendrochemistry, and Phytoscreening: New Green Tools for Delineating Contaminants from Past and Present*. Environ. Sci. Technol. 45, 6218-6226.
- ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council), (2009) - *Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, Revised*. PHYTO-3. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, Phytotechnologies Team, Tech Reg Update.
- Landmeyer, J. E., Miller, S., Campbell, B. G., Vroblesky, D. A., Gill, A. C. & Clark, A. P., (2011) - *Investigation of the potential source area, contamination pathway and probable release history of chlorinated-solvent-contaminated groundwater at the Capital City Plume Site, Montgomery, Alabama, 2008-2011*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report, 2011-5148, 53 pp.
- Larsen, M., Burken, J., Machackova, J., Karlson, U. G. & Trapp, S., (2008) - *Using Tree Core Samples to Monitor Natural Attenuation and Plume Distribution After a PCE Spill*. Environ. Sci. Technol., 42, 1711-1717.
- Schumacher, J. G., Struckhoff, G. C. & Burken, J. G., (2004) - *Assessment of subsurface chlorinated solvent contamination using tree cores at the Front Street site and a former dry cleaning facility at the Riverfront Superfund Site, New Haven, Missouri, 1999-2003*. U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2004-5049, 35pp.
- Sorek, A., Atzmon, N., Dahan, O., Gerstl, Z., Kushisin, L., Laor, Y., Mingelgrin, U., Nasser, A., Ronen, D., Tsehansky, L., Weisbrod, N., Graber, E. R., (2008) - *"Phytoscreening": the use of trees for discovering subsurface contamination by VOCs*. Environ. Sci. Technol. 15, 42 (2), 536-42.
- Trapp, S., Algreen M., Rein, A., Karlson, U., Holm, O., (2012) - *Phytoscreening with tree cores*. In: Kästner, M., Brackvelt, M., Döberl, G., Cassiani, G., Petrangeli Papini, M., Leven-Pfister, C. & van Ree, D. (eds) *Model-Driven Soil Probing, Site Assessment and Evaluation - Guidance Technologies*, 133-148. Sapienza Università Editrice.
- Vroblesky, D. A., Nietch, C. T. & Morris, J. T., (1999) - *Chlorinated Ethenes from Groundwater in Tree Trunks*. Environ. Sci. Technol., 33, 510-515.
- Vroblesky, D. A., Clinton, B. D., Vose, J. M., Casey, C. C., Harvey, G. J., and Bradley, P. M., (2004) - *Ground Water Chlorinated Ethenes in Tree Trunks: Case Studies, Influence of Recharge, and Potential Degradation Mechanism*. Ground Water Monitoring & Remediation 24 (3), 124-138.
- Vroblesky, D.A., (2008) - *User's guide to the collection and analysis of tree cores to assess the distribution of subsurface volatile organic compounds*: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2008-5088, 59 p. (available online at <http://pubs.water.usgs.gov/sir2008-5088>).
- Luchetti L., Diligenti A. & Crescenzi E., *Phytoscreening. Individuazione e monitoraggio della contaminazione da solventi clorurati nel sottosuolo attraverso il campionamento e l'analisi dei tronchi di albero*. Atti del "Secondo Workshop Nazionale Bonifica, Recupero Ambientale e Sviluppo del Territorio: Esperienze a Confronto sul Fitorimediaio". Terni, Italy, November 28-29, 2013. Suppl. Micron 29, 37-49 (2014).
- Luchetti Lucina & Diligenti Antonio (2014) *Individuazione in tempo reale della contaminazione da solventi clorurati nel sottosuolo attraverso l'utilizzo in vivo di fiale colorimetriche negli alberi*. BEA II Bollettino degli esperti Ambientali (4) 51-62.

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!

l.luchetti@artaabruzzo.it

a.diligenti@artaabruzzo.it