



La sperimentazione nel Sin di Bussi sul Tirino (PE)

La sperimentazione nel Sito contaminato di interesse nazionale (Sin) di Bussi sul Tirino (PE) in Abruzzo, progettata da Arta Abruzzo, ha avuto l'obiettivo di valutare le variazioni spaziali e temporali dei dati degli aeriformi acquisiti con diverse tipologie di *flux chamber* e confrontare i dati ottenuti all'interfaccia suolo/aria e aria, in ambiente *indoor* e *outdoor*, con una varietà di campionatori e strumentazione portatile. Alla sperimentazione, che ha avuto una durata di tre giorni, dal 22 al 24 novembre 2016, hanno preso parte i tecnici delle Agenzie di Arpa Piemonte, Arpa Lombardia, Arpa Emilia-Romagna e Arta Abruzzo, che hanno condotto le attività di campo e analitiche, sotto la supervisione dei ricercatori di Ispra e con la collaborazione di Thearen srl, di West Systems srl e del Laboratorio di Geochimica e di Fisica dell'atmosfera dell'Università D'Annunzio di Chieti-Pescara (Ud'A-Disputer).

Inquadramento del sito

La sperimentazione è stata attuata in un'area dismessa entro uno stabilimento chimico attivo. L'area (figura 1) sede di un ex impianto di acetilene-trielina/Pce (attivo dal 1935 al 1963), che ha prodotto una rilevante contaminazione da solventi, idrocarburi e mercurio, ben si presta sia alla valutazione della *vapor intrusion*, in ragione della vicinanza di uffici, sia al monitoraggio del flusso/concentrazione all'interfaccia suolo/aria in quanto parzialmente pavimentata. Nell'area in studio affiorano sedimenti continentali attribuibili prevalentemente all'intervallo Pleistocene medio-Olocene. Si tratta di materiali detritici di versante e di conoide alluvionale interdigerati con depositi limosi di ambiente lacustre/palustre. I depositi continentali sono sede di una falda di subalveo del fiume Tirino, con soggiacenza nel settore in esame inferiore al metro e direzione di deflusso orientata da NW verso SE. Tali depositi passano verso l'alto a riporti di origine antropica con granulometria grossolana. La falda è monitorata nel settore in esame attraverso tre piezometri denominati: P47, P48 e P14. I contaminanti che caratterizzano il sito sono prevalentemente composti organici volatili e semivolatili quali: tricloroetilene (Tce), tetracloroetilene (Pce), cloruro di vinile, 1,1,1,2-tetracloroetano, tetracloruro di carbonio, idrocarburi C<12 e C>12, benzene e mercurio.

Obiettivi

Gli obiettivi prefissati dalla sperimentazione nel dettaglio sono riassumibili in:

- valutazione dei criteri di scelta dei "punti di campionamento" integrando il principio di prossimità geometrica e lo *screening* in tempo reale del flusso di Cov e CO₂ all'interfaccia aria/soilo con strumentazione portatile ad alta risoluzione
- valutazione della variabilità spaziale e temporale delle concentrazioni all'interfaccia aria/soilo determinate mediante campionatori attivi (fiale a carboni e hopcalite e canister) e passivi (Radiello) in camere di flusso dinamiche e di accumulo
- valutazione della variabilità spaziale e temporale delle concentrazioni e delle misure all'interfaccia aria/soilo effettuate in campo con strumenti portatili a diversa sensibilità (Pid, GA e Flussimetro).
- confronto fra le concentrazioni in aria, in ambiente *indoor* e *outdoor*, e all'interfaccia suolo/aria determinate con analisi di laboratorio (canister e Radiello).

Materiali e metodi

La sperimentazione è stata condotta utilizzando cinque diverse camere:

due dinamiche allestite e fornite dal laboratorio Thearen srl, due di accumulo con flusso statico non stazionario, gestite da West Systems srl, e una camera chiusa statica, allestita e messa a disposizione da Arta Abruzzo.

Le strumentazioni da campo utilizzate per la verifica delle fasi di spurgo e di campionamento nelle camere dinamiche sono: un *gas analyzer* (GA) con sensori IR per la misura di CH₄, CO₂, CO e celle elettrolitiche per la misura di O₂ e H₂S e NH₃; due fotoionizzatori (Pid), per le misure di Cov, messi a disposizione da Arpa Emilia Romagna e Arta Abruzzo, pompe a basso flusso per il campionamento delle fiale, messe a disposizione da Arpa Piemonte. Inoltre a corredo delle camere dinamiche, Thearen srl ha fornito manometri e flussimetri per la regolazione e il controllo del gas vettore, un manometro differenziale a elevata sensibilità, un termometro e un igrometro per misure sia dentro che fuori camera. La strumentazione da campo utilizzata nella camera di accumulo è un flussimetro allestito con sensori ad alta risoluzione IR, IR/TId, Pid e cella elettrochimica, per le misure del flusso di Cov, CO₂, CH₄ e H₂S, messo a disposizione da West Systems srl. I dati meteo ambientali sono stati acquisiti tramite una stazione mobile e le

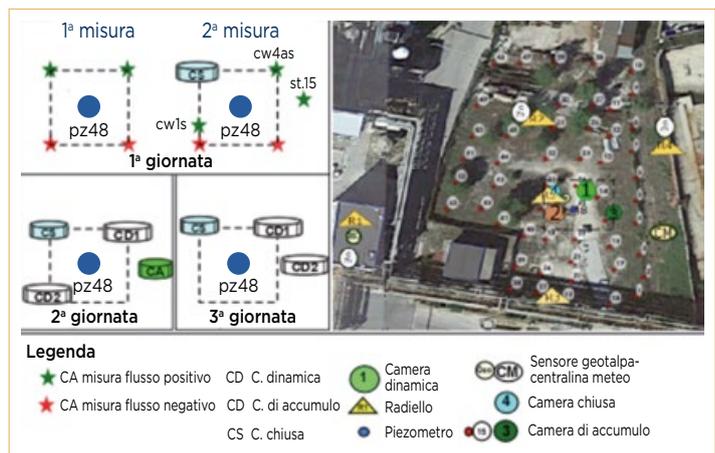
FIG. 1 AREA DI INDAGINE

Perimetrazione dell'area di indagine entro la quale ricade l'edificio (bersaglio), il piezometro di riferimento P48 (sigla P), gli alberi indagati con phytoscreening (sigla A). Con la freccia è definita la direzione del flusso della falda.



FIG. 2 CAMPIONAMENTO

Progettazione delle linee di campionamento delle camere dinamiche e aria indoor/outdoor. Disposizione delle camere di flusso rispetto al piezometro significativo (Pz48) e all'intera area d'indagine nella prima giornata (1ª) e nelle successive giornate (2ª e 3ª) del monitoraggio.



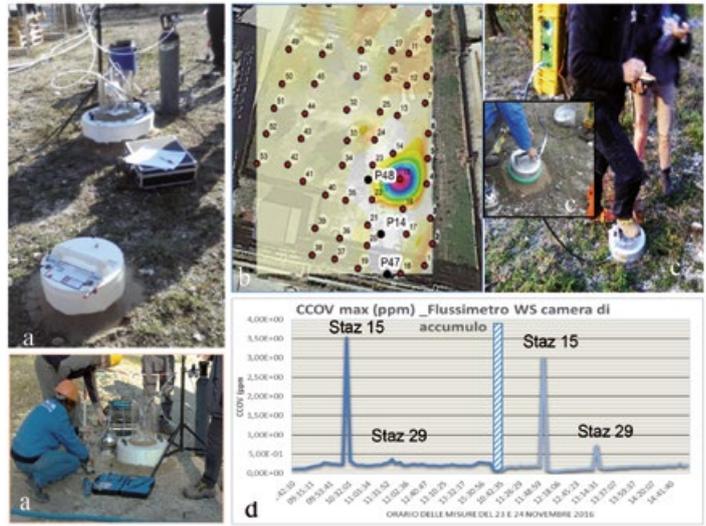
misure in continuo nel terreno e in aria di CO₂ e Cov sono state acquisite tramite sensori fissi denominati “Geotalpa” e, messi a disposizione da Ud’A-Disputer. I campionatori (oltre 50), forniti da Arpa Piemonte, Arpa Lombardia, Arpa Emilia-Romagna e Arpa Abruzzo, sono stati utilizzati per la ricerca di solventi e idrocarburi sono: fiale a carbone per desorbimento con solvente chimico (Fdc) e desorbimento termico (Fdt), canister e Radiello, mentre per la ricerca del mercurio sono state utilizzate fiale a hopcalite. La variabilità spaziale e temporale nelle diverse giornate è stata verificata secondo gli schemi di figura 2. Per l’individuazione preliminare dei punti in cui collocare le camere ai fini del campionamento, è stato applicato il principio di prossimità geometrica alla sorgente e ai bersagli (sondaggi/piezometri ed edifici con contaminazione più significativa), integrato con lo screening, in tempo reale

e tramite camera di accumulo, del flusso presente nei singoli punti individuati con il principio di prossimità e dell’intera area in studio comprensiva dei punti già indagati.

Le stazioni di misura del flusso con camera di accumulo sono state individuate suddividendo l’area in una griglia regolare (passo di circa 9 m x 9 m). In particolare

FIG. 3 MISURA DEL FLUSSO

- Fasi di misura del flusso di COV con camera dinamica e di accumulo con flussimetro.
- a) Allestimento delle camere
- b) Mappa di isoflussio dei Cov realizzata in ambiente Gis
- c) Fasi di misura con camera di accumulo
- d) Andamento delle concentrazioni entro la camera durante il monitoraggio.



Composto	Flusso Cov=1.01E-04 mol/m ² /giorno							FlussoCov=1.01E-02 mol/m ² /giorno							aria outdoor		aria indoor	
	Camera di flusso 1						Camera stat. 4	Camera di flusso 2						Camera acc. 3	out_C	out_Rad	ind_Rad	ind_C
	C1_FH 7h	C1_FDC 3h	C1_FDC 7h	C1_FDT 7h	C1_C 1h	C1_C 7h	C4_Rad 48 h	C2_FH 7h	C2_FDC 3h	C2_FDC 7h	C2_FDT 7h	C2_C 1h	C2_C 7h	C3_C2 ist	out_C 7h	out_Rad 48h	ind_Rad 48h	ind_C 7h
	mg/m ³																	
Mercurio elementare [b]	3,00E-07	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	4,95E-07	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Idrocarburi C<12	n.d.	9,38E-02	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	9,38E-02	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	1,40E-02	1,08E-02	<d.l.
Idrocarburi C>12	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	1,04E-02	2,52E-02	<d.l.
Benzene	n.d.	1,60E-03	4,20E-03	3,80E-03	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	1,60E-03	<d.l.	>>	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	2,20E-03	1,70E-03	<d.l.
Etilbenzene	n.d.	<d.l.	3,10E-03	1,90E-03	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	<d.l.	<d.l.	1,90E-03	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.
Toluene	n.d.	3,17E-02	<d.l.	5,00E-04	2,30E-03	<d.l.	<d.l.	n.d.	3,17E-02	1,47E-02	<d.l.	<d.l.	<d.l.	1,09E-02	<d.l.	1,80E-03	1,60E-03	<d.l.
m-Xilene	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	1,70E-03	<d.l.
o-Xilene	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	1,90E-03	4,40E-03	<d.l.
Xileni	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.
1,1,2-Tricloroetano	n.d.	<d.l.	<d.l.	7,00E-04	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.
Clorometano	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	1,38E-03	1,10E-03	1,38E-03	1,22E-03
Triclorometano	n.d.	<d.l.	3,80E-03	<d.l.	<d.l.	<d.l.	1,10E-03	n.d.	<d.l.	3,80E-03	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.
Tetracloroetilene (PCE)	n.d.	4,20E-03	3,80E-03	>>	<d.l.	<d.l.	3,40E-03	n.d.	2,26E+00	1,21E+00	>>	1,01E+00	7,18E-01	2,60E+00	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.
Tricloroetilene (TCE)	n.d.	3,10E-03	1,90E-03	>>	<d.l.	<d.l.	8,70E-03	n.d.	1,96E+00	9,25E-01	>>	1,02E-01	8,50E-02	3,12E-01	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.
Esaclo-1,3-butadiene	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	9,28E-01	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.
Diclorometano	n.d.	4,00E-03	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	4,00E-03	8,80E-03	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	2,99E-03	4,80E-03	2,00E-03	3,44E-03
1,2-Dicloroetilene cis	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	1,00E-02	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.
1,2-Dicloroetilene trans	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	1,00E-02	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.
1,1,2,2-Tetracloroetano	n.d.	<d.l.	<d.l.	>>	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	2,47E+00	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.
Tetracloruro di carbonio	n.d.	<d.l.	<d.l.	5,00E-04	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	<d.l.	6,17E-02	<d.l.	<d.l.	<d.l.	2,08E-01	<d.l.	1,10E-03	<d.l.	<d.l.
1,2-diclorobenzene	n.d.	<d.l.	8,00E-04	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.
1,4-diclorobenzene	n.d.	<d.l.	2,60E-04	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	1,40E-03	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.
Clorobenzene	n.d.	<d.l.	5,80E-03	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.
Diclorodifluorometano	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	n.d.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	<d.l.	2,47E-03	2,47E-03	2,47E-03	<d.l.

TAB. 1 CAMERE DI FLUSSO/ARIA

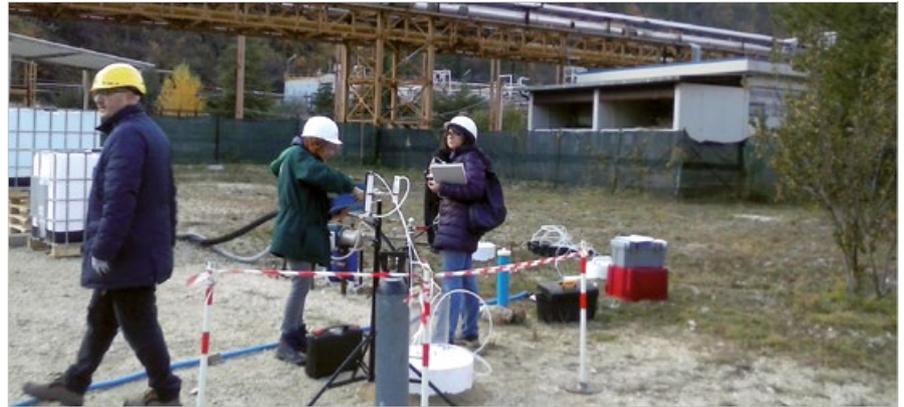
Confronto tra i risultati analitici ottenuti nelle flux chamber e aria indoor e outdoor.

Legenda. F: fiala, H: hopcalite, DC: des. solvente chimico, DT: des. Termico, C: canister, Rad: Radiello, dl: limite di quantificazione, >> superiore alla conc. di saturazione, n.d: non determinato.

durante tutta la sperimentazione una camera dinamica (Cd1) è stata mantenuta nella stessa posizione avente flusso medio/basso, mentre l'altra (Cd2) nella terza giornata è stata spostata dalla stazione con flusso medio/basso a quella con valore di picco (terza giornata) determinato tramite camera di accumulo (Ca). In corrispondenza delle stazioni con valore di picco, al fine di valutare le concentrazioni istantanee, la camera di accumulo, integrata con un anello metallico è stata sigillata e allestita con una linea di campionamento collegata con canister (seconda giornata). La camera statica chiusa (Cs), allestita solo con Radiello (R5), è stata mantenuta nella stessa posizione e con un tempo di monitoraggio pari a quello dei radielli collocati in ambiente outdoor (R2-R3 e R4) e indoor (R1). Inoltre sono state adottate tre durate di campionamento, definite di breve (durata 1h), media (durata 3,5 h) e lunga durata (durata 7h).

Risultati

L'uso integrato di camere dinamiche e di accumulo ha consentito di verificare la variabilità spaziale e temporale nelle diverse giornate, rimodulare, in tempo reale, il piano di campionamento e monitorare le emissioni dei contaminanti volatili derivanti da terreno e falda contaminati escludendo le stazioni prive di flusso, per privilegiare quelle caratterizzate da un flusso significativo e con intensità variabile da bassa a media (st.cws1s: 1.01E-04 e st.cws4as: 1.30E-04 moli · m⁻²/giorno, e di picco (st.15: 51.01E-02 e st.29: 3,37E-04 moli · m⁻²/giorno, figura 3). Il flusso determinato con camera di accumulo è stato definito non significativo quando inferiore al *detection limit* strumentale (dl), posto per i Cov pari a 1E-05 moli · m⁻²/giorno e per la CO₂ pari a 2E-03 moli · m⁻²/giorno. I valori di picco del flusso sono stati determinati grazie alla mappatura del



flusso di CO₂ e Cov dell'intera area indagata, ripetuta nella seconda e terza giornata, eseguita in 53 stazioni, e comprensiva dei punti già indagati nella prima. I risultati del monitoraggio hanno fornito in entrambe le giornate dati confrontabili di flusso di CO₂, variabile tra 448 e 480 moli · m⁻²/giorno, e di Cov pari a 1,6E-01 moli · m⁻²/giorno (figura 3). Inoltre, l'85% delle misure di CO₂ è risultato minore di 3E-01 moli · m⁻²/giorno e nessun valore è risultato inferiore al dl, mentre il 98% delle misure di Cov è risultato inferiore a 1E-03 moli · m⁻²/giorno e il 73% delle misure inferiori a 5E-04 moli · m⁻²/giorno. Le determinazioni delle concentrazioni analitiche, con camere di flusso e di accumulo, nei punti selezionati tramite *screening* del flusso di Cov e CO₂ e/o mappe di isoflusso, hanno consentito di identificare, in modo definitivo, quelle rilevanti per il monitoraggio e utili per la procedura di Analisi di rischio.

Conclusioni

I composti riscontrati all'interfaccia terreno/aria e in aria sono molteplici e le loro concentrazioni nei punti con flusso significativo sono in molti casi confrontabili (tabella 1). I composti più frequentemente rinvenuti sono Tce, Pce, toluene, diclorometano, benzene, triclorometano e mercurio. I range più

indicativi sono compresi tra 1,90E-03 e 1,96E+00 mg/m³ (Tce) e tra 3,40E-03 e 12,26+00 mg/m³ (Pce).

Le camere rinvengono negli aeriformi i composti che caratterizzano la contaminazione delle acque sotterranee, e del terreno. Le fiale a desorbimento con solvente chimico, nei punti a medio-bassa concentrazione (Pid 0,04 < C < 0,5 ppm), hanno fornito i risultati più utili nel campionamento della mattina quando lasciate campionare per tempi di media durata (3,5 h). Le fiale a desorbimento termico hanno evidenziato spesso una sovrasaturazione e la necessità di ridurre il tempo di campionamento ad un intervallo da breve (1 h) a medio (3,5 h), da valutare in base ai risultati ottenuti con camera di accumulo e strumentazione portatile. I canister sono stati particolarmente utili nei campionamenti istantanei in associazione a camera di accumulo e nella camera dinamica in presenza delle concentrazioni più elevate (Pid 2,2 < C < 2,9 ppm). Le misure entro le camere dinamiche eseguite con strumentazione portatile mostrano un trend positivo tra i dati di Cov (Pid) e T, con un picco nelle ore centrali della giornata, ed un trend negativo tra Cov (Pid) e P (figura 4).

Lucina Luchetti

Arta Abruzzo

FIG. 4
CONCENTRAZIONI

Diagrammi delle concentrazioni misurate nella due giornate entro la camera dinamica CD1 di Cov e loro confronto con i dati di pressione e temperatura misurate con Pid, GA e termometro.

