

Lucina Luchetti ARTA Abruzzo

Resp. U.O. Siti contaminati, materiali da scavo e discariche

Camere di flusso e la loro applicabilità nel monitoraggio dei siti contaminati

Linea Guida SNPA Appendice B

Il funzionamento delle camere di accumulo

5 settembre 2019

Sede generale ARPAM, via Ruggeri n.5, Ancona

«IL FUNZIONAMENTO DELLE CAMERE DI ACCUMULO»

APPENDICE B

MISURE DI FLUSSO (FLUX CHAMBERS) IN MODALITA' ATTIVA (Linea Guida SNPA)

PREMESSA

DESCRIZIONE DELLE CAMERE DI ACCUMULO

MODALITA' DI MISURA E CAMPIONAMENTO

CALCOLO DEL FLUSSO

VANTAGGI E SVANTAGGI

Obiettivi



Definire le modalità con cui effettuare il monitoraggio a piano campagna del flusso di COV emesso da una fonte di contaminazione (suolo/falda)



Fornire un protocollo tecnico consolidato che descriva

- le tipologie di camere disponibili,
- le configurazioni ottimali di camera,
- le modalità di acquisizione dei dati e la loro trattazione.



Disporre di una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale utile per la predisposizione di proposte di monitoraggio adeguate.

Quando utilizzare le camere di flusso



Il monitoraggio con camere di flusso è applicabile

- in fase di investigazione iniziale (in via minoritaria)
- in fase di caratterizzazione finalizzata all'implementazione o revisione dell'Analisi di Rischio
- ed in fase di bonifica per verificare, in corso d'opera, l'efficacia degli interventi.



Tale strumentazione permette di valutare il contributo degli inquinanti presenti in suolo superficiale, non rilevabile con le sonde di soil gas.



L'uso della CF è annoverato tra le linee di evidenza con cui è possibile valutare il percorso di volatilizzazione vapori come definito dal Ministero dell'Ambiente, nella propria linea guida (MATTM, 2014-2015).

CAMERA DI FLUSSO: definizione



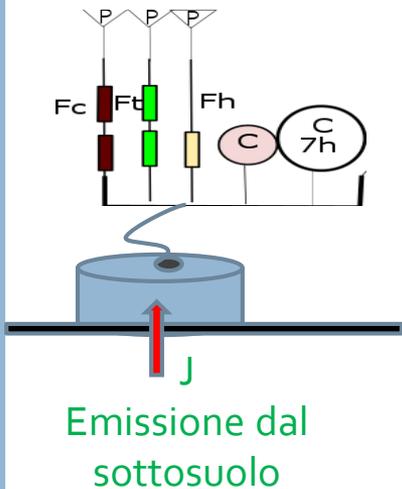
E' progettata per isolare un volume di aria al di sopra della superficie del terreno senza perturbare il flusso naturale di vapori proveniente dal sottosuolo.



CAMERA DI FLUSSO: definizione

L'emissione di vapori a p.c. viene:

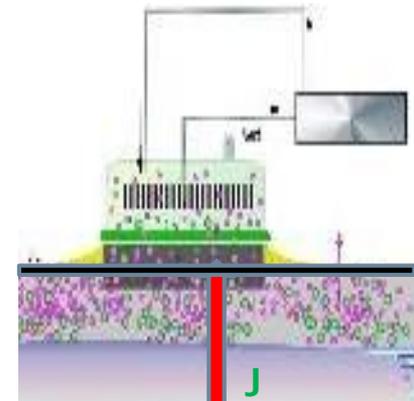
- ✓ in parte convogliata verso un sistema che permette la determinazione della concentrazione dei composti di interesse (C_i/COV)
- ✓ quantificata come flusso di inquinanti (J).



**CAMERA
DINAMICA**



**CAMERA
DI ACCUMULO**



**Emissione dal
sottosuolo**

CAMERA DI FLUSSO: definizione

Esistono diverse tipologie di CF che si differenziano per:

- ✓ geometria
 - ✓ materiali
- configurazione



Geometria	<p>E' idonea qualsiasi forma che garantisca la miscelazione all'interno della camera (assenza di zone di vuoto o di accumulo) per tale ragione l'altezza deve essere abbastanza ridotta.</p> <p>Geometrie comuni hanno sezione piana circolare o rettangolare con area mediamente variabile tra 0,3 e 0,6m².</p> <p>Le coperture delle CF possono essere planari o emisferiche.</p> <p>In genere le camere hanno volumi tra 5 e 100 l.</p>
Materiali	<p>Non permeabili, inerti, non reattivi, devono tener conto del tipo di contaminante oggetto di studio e non rilasciare sostanze che potrebbero dare luogo a misure non rappresentative.</p> <p>Sono idonei PTFE (polietrafluoroetilene), teflon, fluon, algoflon, hostaflon, vetro, acciaio inox o alluminio (questi due non suggeriti per la determinazione di mercurio).</p>

CAMERE DI FLUSSO: caratteristiche

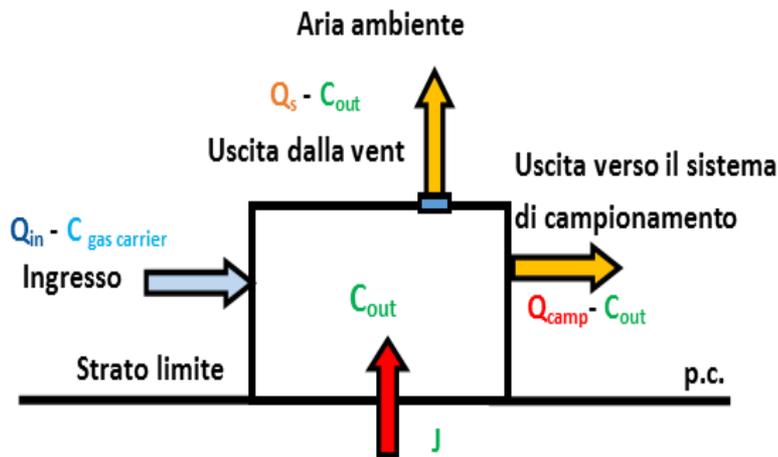
Le camere di flusso, nell'ipotesi di un flusso emissivo costante dal suolo, possono essere distinte in:

- ✓ stazionarie e non stazionarie
- ✓ dinamiche o statiche
- ✓ aperte o chiuse

Stazionaria	Nell'ipotesi di un flusso emissivo costante dal suolo, la concentrazione degli analiti presenti nella miscela di gas all'interno della camera rimane costante nel tempo in ciascun punto della camera.
Non stazionaria	Nell'ipotesi di un flusso emissivo costante dal suolo, la concentrazione degli analiti presenti nella miscela di gas all'interno della camera nel tempo non rimane costante in ciascun punto della camera, ma aumenta .
Dinamica	Viene attraversata in continuo da un gas inerte (ad esempio azoto, elio, aria purificata, ecc.) a portata prefissata. Il gas inerte ricircolato può essere anche costituito dal gas prelevato nella camera e reimpresso dopo essere stato depurato.
Statica	Non è attraversata da alcun gas inerte ; talvolta viene ricircolato , senza alcun trattamento, il gas spillato dalla camera ai fini della sua analisi in campo in linea.
Aperta	È presente un'apertura (vent) che mette in equilibrio la P_{interna} alla camera con la P_{esterna} atmosferica.
Chiusa	Non è presente alcuna apertura (vent) che mette in equilibrio la P_{interna} con la P_{esterna} .

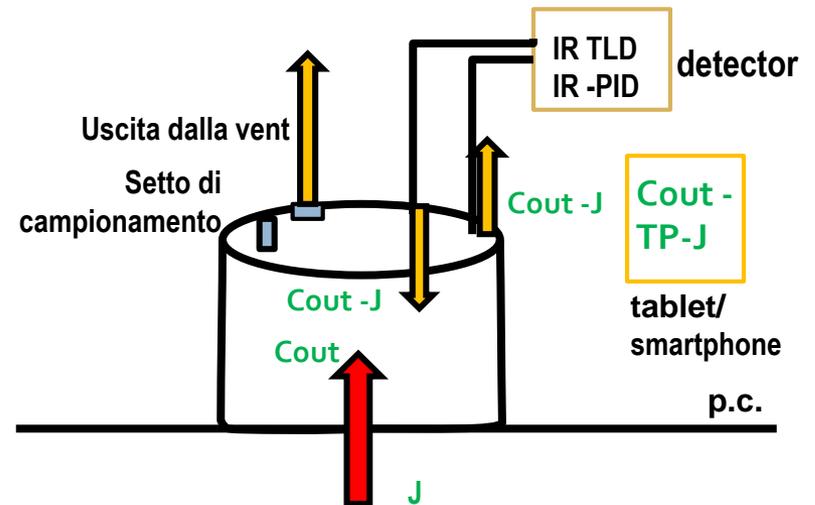
CAMERE DI FLUSSO: caratteristiche

		CHIUSE	APERTE
NON STAZIONARIE	STATICHE	sistema di campionamento passivo o prelievo a fine misura	Valvola di sfogo, Tubo di campionamento
	STAZIONARIE	Ricircolo aria prelevata per analisi in linea	Valvola di sfogo, CAMERA DI ACCUMULO, Ricircolo aria prelevata per analisi in linea
STAZIONARIE	DINAMICHE		Valvola di sfogo, Tubo di campionamento, Gas vettore



Emissione dal sottosuolo

**CAMERA
DINAMICA**

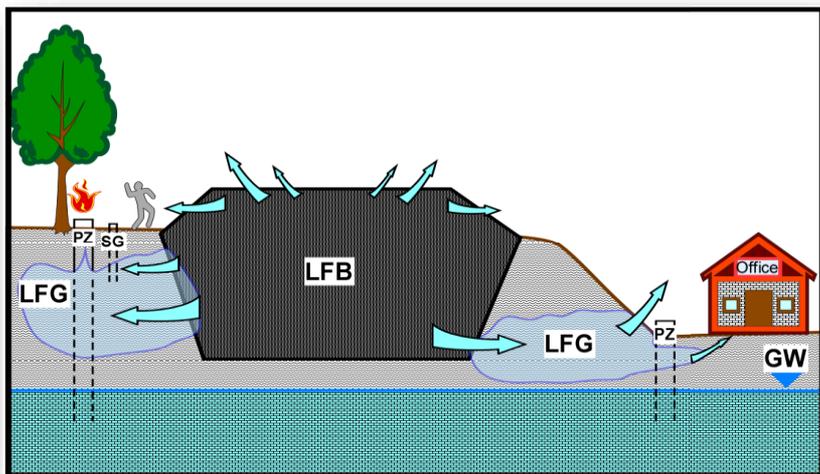


Emissione dal sottosuolo

**CAMERA
DI ACCUMULO**

SISTEMI STATICI NON STAZIONARI

La tecnica dei sistemi statici non stazionari è stata mutuata dalle prospezioni per la valutazione delle emissioni di anidride carbonica e dei gas ad effetto serra, valutazioni delle emissioni in aree vulcaniche e per il monitoraggio delle emissioni diffuse nelle discariche (Witkamp, 1969; Kucera and Kirkham, 1971; Kanemasu et al., 1974; Luo e Zhou, 2006 e Virgili et al., 2008).

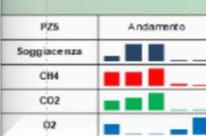


Risultati controllo Emissioni diffuse e Migrazioni Lateral del Biogas

MIGRAZIONI LATERALI

Grafici sparkline, andamento osservato nelle 5 campagne di monitoraggio, condotte per 62 giorni, dei parametri:

- Soggiacenza
- CH₄
- CO₂
- O₂



EMISSIONI DIFFUSE

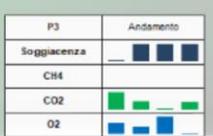
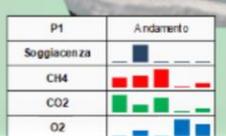
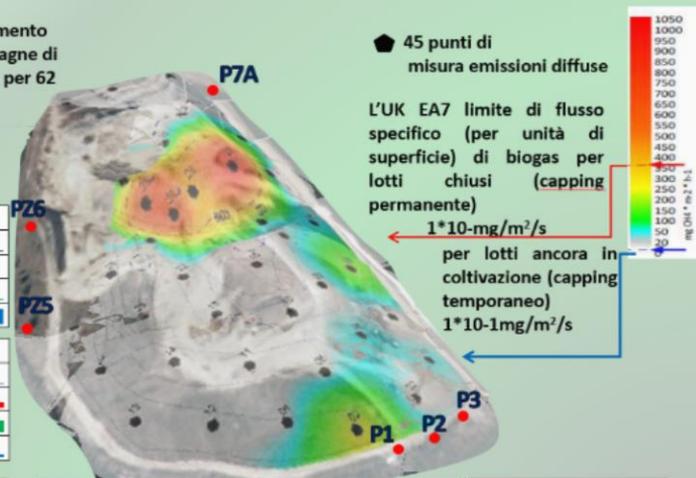
45 punti di misura emissioni diffuse

L'UK EA7 limite di flusso specifico (per unità di superficie) di biogas per lotti chiusi (capping permanente)

$1 \cdot 10^{-6} \text{ mg/m}^2/\text{s}$

per lotti ancora in coltivazione (capping temporaneo)

$1 \cdot 10^{-1} \text{ mg/m}^2/\text{s}$



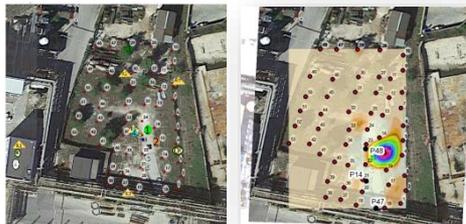
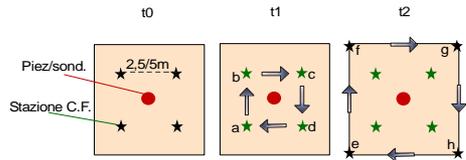
SISTEMI STATICI NON STAZIONARI

MISURE CON LE CAMERE DI ACCUMULO

La registrazione dei dati di CO₂ e COV in continuo permette di verificare in tempo reale l'andamento del flusso e delle concentrazioni, requisito particolarmente utile vista l'estrema variabilità spaziale e temporale delle emissioni di gas dal terreno.

Ciò consente di:

- individuare in campo i punti con flusso e concentrazioni significative (>dl)
- agevolare la selezione della tipologia dei sistemi di supporto e dei tempi di campionamento

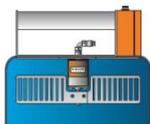


Le misure non necessitano di fasi di spurgo sono eseguite per progressive fasi di approfondimento prevedendo:

1. Individuazione preliminare dei punti di campionamento applicando il principio di prossimità geometrica alla sorgente.
2. Misure di flusso nell'intera area del sito, secondo una griglia comprensiva dei punti già indagati. Elaborazione di mappe di isoflusso e di isoconcentrazione di COV e CO₂ sulla base delle quali individuare, in modo definitivo, i punti di campionamento ritenuti significativi per la procedura di AdR.
3. Campionamenti istantanei o incrementali per analisi di laboratorio.

SISTEMI STATICI NON STAZIONARI

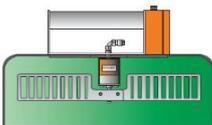
La camera di accumulo può presentare diverse dimensioni



Type A



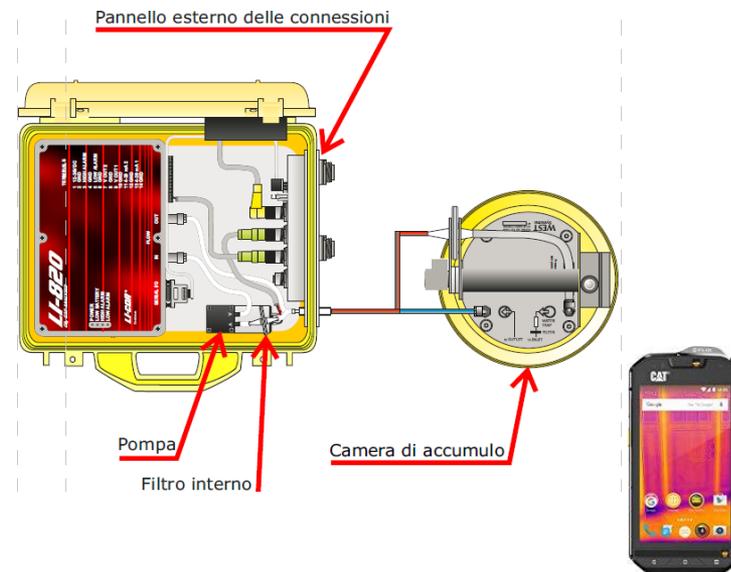
Type B



Type C

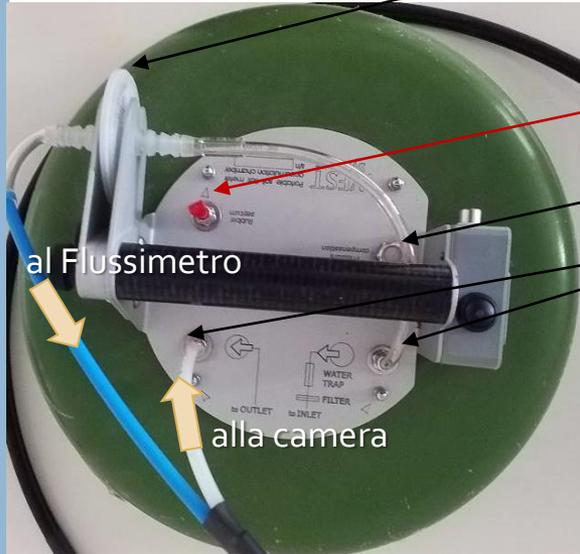
Camera A	Camera B	Camera C	Camera C con anello
Volume $2.756 \cdot 10^{-3} \text{ m}_3$	Volume $6.186 \cdot 10^{-3} \text{ m}_3$	Volume: $6.878 \cdot 10^{-3} \text{ m}_3$	Volume $11.231 \cdot 10^{-3} \text{ m}_3$
Area: $3.140 \cdot 10^{-2} \text{ m}_2$	Area: $3.140 \cdot 10^{-2} \text{ m}_2$	Area: $7.116 \cdot 10^{-2} \text{ m}_2$	Area: $6.697 \cdot 10^{-2} \text{ m}_2$

La camera di accumulo si utilizza unitamente a strumentazione da campo con **Detector** che analizzano il gas senza modificarne la composizione e lo ricircola nella camera e **Tablet/smartphone** per la lettura in tempo reale dei dati.

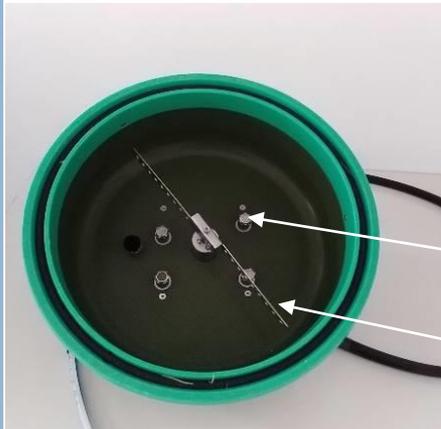


SISTEMI STATICI NON STAZIONARI

La camera di accumulo può essere dotata di :



- **Filtro** permeabile ai gas ma in grado di bloccare polvere e condense di acqua
- **Setto** per il campionamento
- **Vent** per equilibrare Pin con Pamb
- **Tubi di connessione** tra camera e flussimetro
- **Collare metallico** per migliorare la tenuta della camera



- **Sensori** per pressione, umidità e temperatura
- **Dispositivo di miscelazione**



SISTEMI STATICI NON STAZIONARI

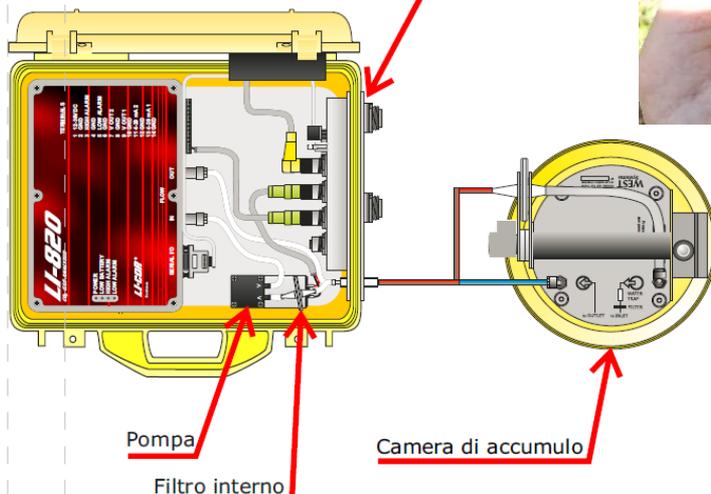
La camera di accumulo si utilizza unitamente a strumentazione da campo (IRTLD+PID) che analizza il gas senza modificarne la composizione e lo ricircola nella camera ed un tablet/smartphone per la lettura in tempo reale dei dati.



Pannello esterno delle connessioni



	Metodologia
CH₄	Spettrometria IR basata su Tunable Laser Diode con cella multipasso (TLD)
CO₂	LI-COR
VOC	PID - Photo Ionization detector
H₂S	Cella elettrochimica



Pompa

Filtro interno

Camera di accumulo

Detection limit strumentale (dl)

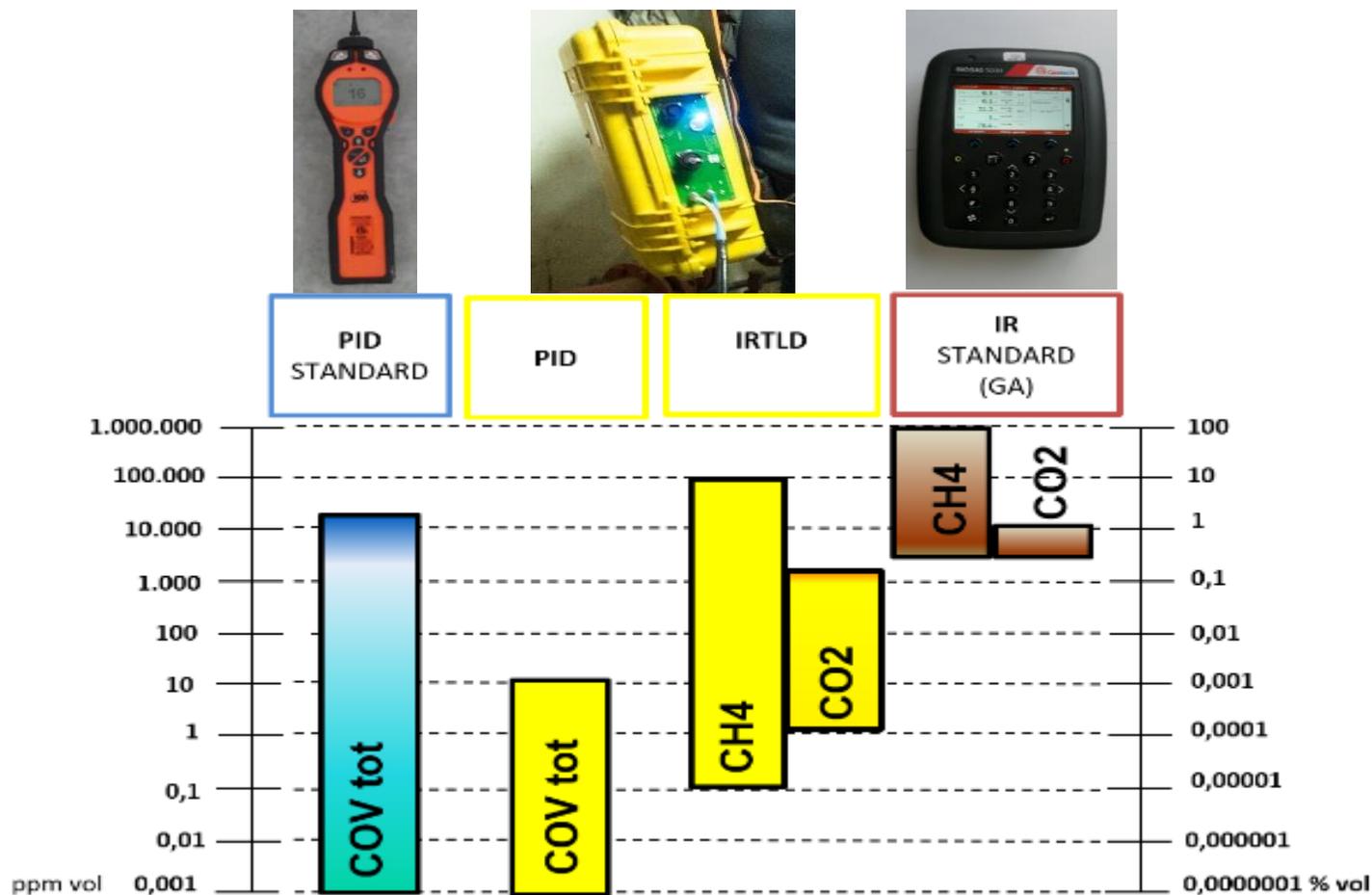
$dlCOV = 1E-05 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} / \text{giorno}$

$dlCO_2 = 2E-03 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} / \text{giorno}$

$dlCH_4 = 5E-04 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} / \text{giorno}$

SISTEMI STATICI NON STAZIONARI

Confronto della strumentazione da campo (IRTLD+PID) con gas analyzer e PID standard

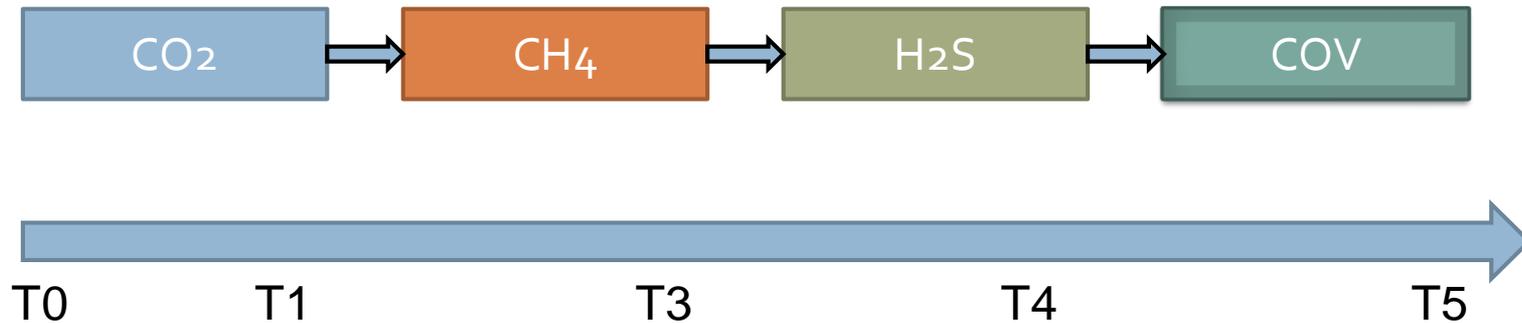


SISTEMI STATICI NON STAZIONARI: misure

La misura della concentrazione viene eseguita una volta al secondo, in parti per milione *ppm* (moli su moli), delle varie specie gassose di interesse in modo da ottenere, per ogni specie gassosa una curva di concentrazione verso il tempo.

Per ogni curva viene individuato il gradiente di concentrazione a $t(0)$, ovvero nella prima parte della curva di concentrazione Vs. tempo.

L'ordine con cui effettuare le misure dei composti è il seguente



Il tempo minimo (minuti) di attesa per la definizione dell'intervallo della misura significativa

SISTEMI STATICI NON STAZIONARI: misure

Sulla base dell'andamento nel tempo delle concentrazioni misurate nella camera non stazionaria è possibile stimare il flusso emissivo dal suolo.

La retta che "interpola" meglio la nuvola di punti è definita dalla distribuzione congiunta delle due variabili tempo (t) e concentrazione (C), avente equazione:

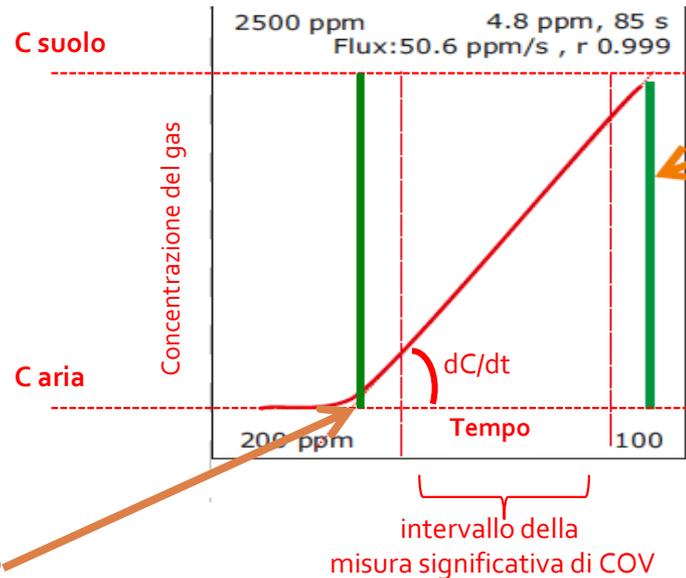
$$C = \alpha \cdot t + \beta$$

dove:

- β : intercetta, ovvero il punto in cui la retta incrocia l'asse delle ordinate (altezza della linea e corrisponde al valore atteso di C quando $t = 0$);
- α : inclinazione della retta di regressione che indica di quante unità cambia C per una variazione unitaria che si verifica nel tempo t, corrisponde al tasso di variazione della concentrazione del gas nel tempo (dC/dt).

$R^2 > 0,8$ correlazione positiva e significativa

CO₂ ARIA mg/m³
700 (390 ppmv)



La camera è sollevata dal suolo

Fase di interruzione del campionamento
zona in cui la concentrazione in camera di accumulo tende ad avvicinarsi alla concentrazione al suolo

Fase iniziale del campionamento
zona di miscelazione dei gas provenienti dalla camera di accumulo con quelli già presenti nei tubi e nei volumi "morti" dei detectors.

La camera è posta sul suolo

SISTEMI STATICI NON STAZIONARI: misure

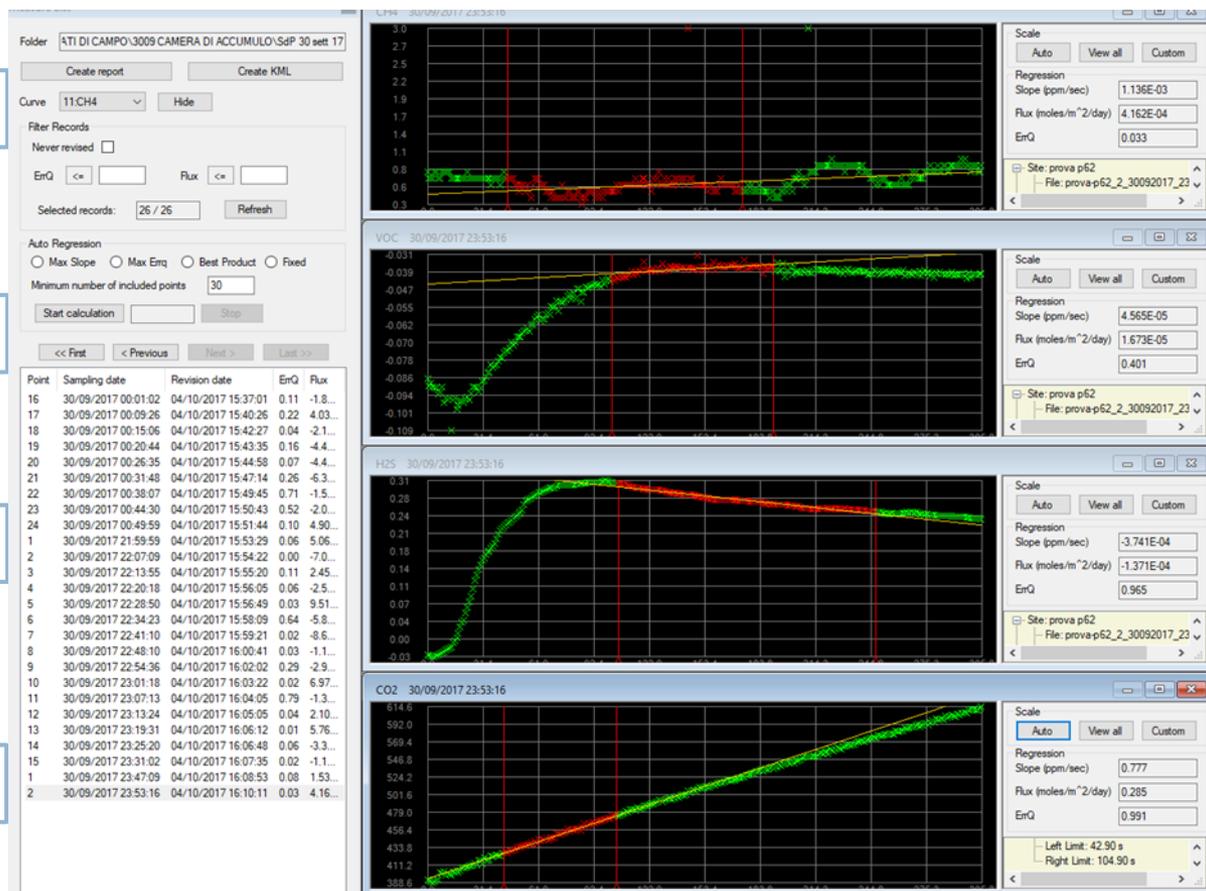
Esempio di elaborazione, tramite SW dedicato, delle curve di regressione derivanti da misure con camera di accumulo e flussimetro, in rosso i tratti ritenuti significativi ed utilizzabili per il calcolo del flusso.

Curva di regressione CH₄

Curva di regressione CO₂

Curva di regressione H₂S

Curva di regressione COV



SISTEMI STATICI NON STAZIONARI: calcolo flusso emissivo

Conoscendo le caratteristiche della camera utilizzata nonché i dati di pressione e temperatura è possibile poi ricavare i valori del flusso come definito dall'equazione:

$$J = \left(\frac{dC}{dt} \right) \cdot H_c$$

Con altezza della camera H_c (m), il gradiente, dC/dt (espresso in ppm/s), viene convertito in flusso di massa espresso in moli per metro quadrato al giorno ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$) utilizzando il fattore A_{cK} . A_{cK} è un parametro relativo alle proprietà fisiche della camera di accumulo ed ai parametri ambientali di campionamento,

$$J = a \cdot A_{cK} \quad \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$$

con

- 86400 è numero dei secondi in un giorno;
- 10^6 è il fattore di conversione da $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ in $\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$;
- P_a [mbar] è la pressione barometrica (1/100 è il fattore per convertire hPa in Pa);
- V [m^3] è il volume netto della camera;
- A_{FC} [m^2] è l'area di base della camera;
- T è la temperatura dell'aria in $^{\circ}\text{C}$ (convertita in K sommando 273,15);
- $R = 8,314472$ è la costante universale dei gas in $\text{m}^3 \cdot \text{Pa} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

$$A_{cK} = \frac{86400 \cdot (P_a \cdot 100) \cdot V_c}{10^6 \cdot R \cdot (T_a + 273.15) \cdot A_c}$$

SISTEMI STATICI NON STAZIONARI: campionamento

Il campionamento all'interfaccia suolo /aria con camere di accumulo è condizionato ai fattori meteoroclimatici.

Durante le fasi di campionamento dovranno essere registrati i seguenti parametri meteorologici e idrologici al fine di una successiva valutazione dei risultati analitici:

- data dell'ultimo evento meteorico occorso ed intensità;
- umidità dell'aria ambiente;
- pressione atmosferica;
- temperatura aria ambiente;
- velocità del vento e direzione;
- temperatura nella camera di flusso;
- temperatura del suolo (5cm);
- livello piezometrico/soggiacenza nei piezometri significativi;
- temperatura delle acque sotterranee nei piezometri significativi.

SISTEMI STATICI NON STAZIONARI: campionamento

Nel report di rendicontazione sul monitoraggio effettuato con camera di accumulo devono essere trasmesse agli Enti le seguenti informazioni:

- coordinate del punto;
- giorno ed orario del monitoraggio;
- concentrazioni minime e massime dell'intervallo di misurazione di CO₂ e VOC;
- registrazioni di campo di tutti i punti monitorati su supporto informatico corredate da mappe di isoflusso e isoconcentrazione;
- flusso di ogni gas specificando la retta con cui è stato definito ed il coefficiente di correlazione R₂ ;
- pressione, temperatura e (se possibile) umidità dentro la camera;
- pressione e temperatura ambiente;
- se possibile, umidità e temperatura del terreno (a profondità di 5 cm da piano campagna).

SISTEMI STATICI NON STAZIONARI: campionamento

La camera viene posta sul suolo, curando la perfetta adesione del bordo, così da ridurre al minimo gli scambi con l'atmosfera esterna che provocherebbero errori nella misura.

Può essere dotata di collare in metallo, eventualmente sigillabile con sabbia umida, per migliorarne l'isolamento.

I tempi di campionamento (istantanei o incrementali) sono variabili tra pochi minuti e 8 ore.



CAMERE DI FLUSSO: campionamento

SCELTA DEI SUPPORTI

- natura chimico-fisica dell'inquinante
- entità della contaminazione



Analita/Classe analita	Supporto di campionamento	Specifiche supporto di campionamento
VOCs/HC	Fiale a DS	Carbone Attivo
	Tubi a DT	Tubi multisorbent (TENAX TA 35/60, Carbograph 1TD 40/60, Carboxen 1003 40/60)/adsorbente specifico
	Canister, Vacuum Bottle	-
IPA	Fiale a DS	Resina XAD-2
PbTetraetile (TEL)	Fiale a DS	Resina XAD-2
Hg	Fiale ad attacco acido	Hopcalite

UTILIZZO DI SISTEMI CON RIDOTTO VOLUME E BASSE PORTATE



CAMPIONATORI VOCs/HC	
DIRETTI	INDIRETTI
CANISTER	TUBI A DESORBIMENTO TERMICO
Volumi 3-6 l	Volume >1-4 l
Portata 0.019 l/min	Portata 0,1 l/min



SISTEMI STATICI NON STAZIONARI: vantaggi e svantaggi

Vantaggi

Assenza di possibili interferenze da sorgenti esterne di contaminazione (presenti in atmosfera), con conseguente quantificazione del solo contributo emissivo del sistema terreno/falda

Misura diretta del flusso emissivo, riducendo quindi le incertezze modellistiche legate al trasporto sino a p.c.

Possibile utilizzo in aree produttive o cantieri attivi senza necessità di scavi o di interrompere le attività in corso, né vincoli sui punti di monitoraggio per le successive campagne

Applicabile anche nel caso di falda con soggiacenza modesta

Idonea anche in caso di contaminazione in suolo superficiale

Permette di quantificare vapori di sostanze difficilmente determinabili con le tecniche tradizionali (es. solventi clorurati in terreno)

Potenzialmente applicabile anche per terreni omogenei fini (sabbia limosa/argillosa) perché restituisce il flusso reale di vapori migrati a p.c.

La concentrazione all'interno della camera non cresce significativamente a causa del continuo fluire del gas vettore in entrata e in uscita, e pertanto non si ha accumulo di vapori al di sotto della stessa, ma una concentrazione bassa e costante che non perturba il flusso emissivo;

Può essere riutilizzata più volte, in siti diversi, procedendo esclusivamente alla pulizia della camera

L'utilizzo è immediato dopo il posizionamento

Svantaggi

E' una tecnica ancora non consolidata, soprattutto nel panorama nazionale, sia come realizzazione della camera che come esecuzione delle misure

Forte influenza delle condizioni al contorno (stato del terreno, pressione e temperatura ambiente sul flusso emissivo, vento)

Necessità di un'attrezzatura aggiuntiva (bombole di gas vettore nel caso in cui non si utilizzi aria ambiente, regolatore di flusso, connessioni) articolata e costosa

Necessità di un elevato controllo della configurazione della camera (gestione e controllo del gas vettore) e dei parametri operativi mediante dispositivi talvolta complessi/dedicati

Occorre una particolare attenzione nell'installazione (infissione e sigillatura) per evitare sottostime dell'emissione

Necessità di garantire un flusso del gas vettore sufficientemente costante (ad esempio attraverso uso di flussimetro calibrato e misura del delta di pressione)

Il calcolo della $C_{\text{aria ambiente}}$ richiede comunque l'applicazione di modelli di dispersione atmosferica/intrusione indoor

AUTORI

COORDINAMENTO

LUCINA LUCHETTI (ARTA ABRUZZO)

ADELE LO MONACO, RENATA EMILIANI (ARPAE EMILIA-
ROMAGNA)

MADELA TORRETTA, SARA PURICELLI (ARPA LOMBARDIA)

GRUPPO DI LAVORO 9 BIS – SOTTOGRUPPO 1 “CAMPIONAMENTO”

ANTONELLA VECCHIO (ISPRA)

PAOLO FORNETTI, CRISTINA, BERTELLO, MAURIZIO DI
TONNO (ARPA PIEMONTE)

FEDERICO FUIN (ARPA VENETO)



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Dott.ssa Lucina Luchetti

l.luchetti@artaabruzzo.it

