

Monitoraggio speditivo con tecniche ottiche

(Michele Ilacqua)

***Roma,
27 maggio 2022***

RIEPILOGO PRESENTAZIONE

- 1) Introduzione
 - 2) Principi generali di rilevazione gas (OGI) tramite metodi ottici
 - 3) Analisi comparativa OGI-EPA method 21
 - 4) Introduzione analisi quantitativa OGI
-

INTRODUZIONE

LDAR è utilizzato in Europa sia in modalità standard (EPA metodo 21 sia in modalità SMART con tecnica OGI (optical gas imaging).

Nel 2008 EPA ha stabilito che tali tecniche sono da ritenersi equivalenti sotto specifiche condizioni.

Occorre dapprima verificare che la termocamera IR sia in grado di rilevare il composto dell'area sottoposta a rilevamento.

Successivamente poiché la termocamera IR non è in grado di rilevare i piccoli emettitori , risulta necessario aumentare la frequenza delle ispezioni

INTRODUZIONE

Una telecamera IR è in grado di trovare usualmente solo i componenti grandi emettitori di COV mentre il metodo EPA 21 è in grado di intercettare sia i piccoli che i grandi emettitori (0-100.000 ppmv);

Le condizioni meteo possono ostacolare l'implementazione di ispezione con IR OGI. In particolare la distanza di monitoraggio ed il vento riducono la probabilità di rilevare emissione (la rilevabilità è inversamente proporzionale alla distanza e alla velocità del vento);

Altre condizioni meteorologiche che interferiscono sulla rilevabilità di COV con IR OGI sono la temperatura dell'aria, l'umidità, la copertura nuvolosa e la radiazione solare.

INTRODUZIONE

NTA 8399 del 2015 (Guidelines for detection of diffuse VOC emissions with optical gas imaging) è un documento europeo di riferimento che affronta le problematiche suddette fornendo indicazioni utili alla pianificazione del programma SMART LDAR;

IR OGI è una metodologia per rilevare in modo semplice, sicuro e in tempo reale :

- Fonti non raggiungibili o difficilmente raggiungibili;
 - Perdite provenienti da serbatoi a tetto fisso o galleggiante e da navi;
 - Emissioni provenienti da apparecchiature e linee isolate;
 - Perdite durante la messa in servizio dell'impianto.
-

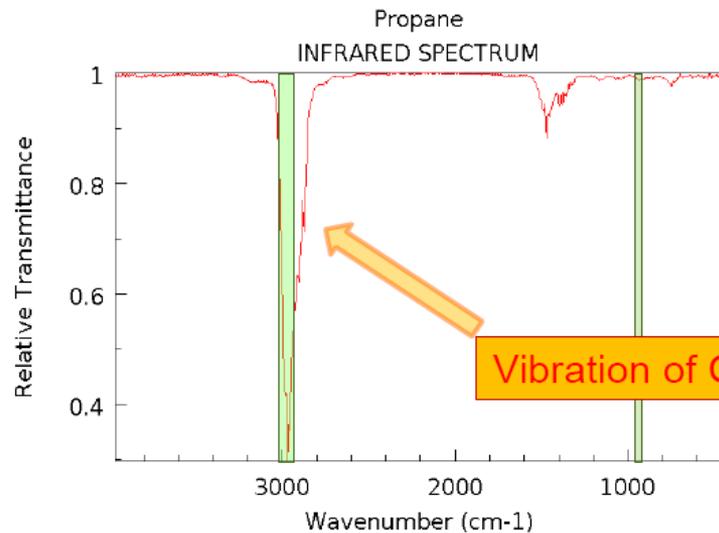
Visualizzazione pennacchi gassosi con OGI



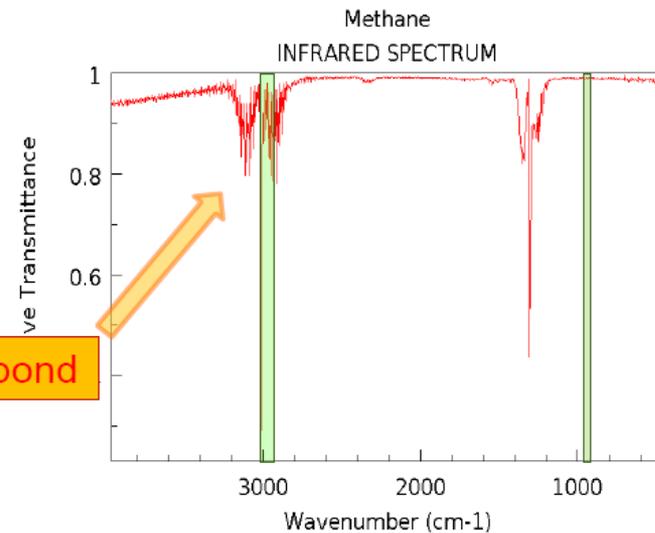
Pennacchio di assorbimento ed emissione dove la temperatura apparente dello sfondo è inferiore a quella del pennacchio

SPETTRI IR IDROCARBURI

Dettaglio di banda di assorbimento di idrocarburi nell'infrarosso



NIST Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry>)



NIST Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry>)

Vibration of C-H bond

PRINCIPIO FUNZIONAMENTO TERMOCAMERA - PENNACCHIO DI ASSORBIMENTO

$$\Delta I = I_B - I_G$$

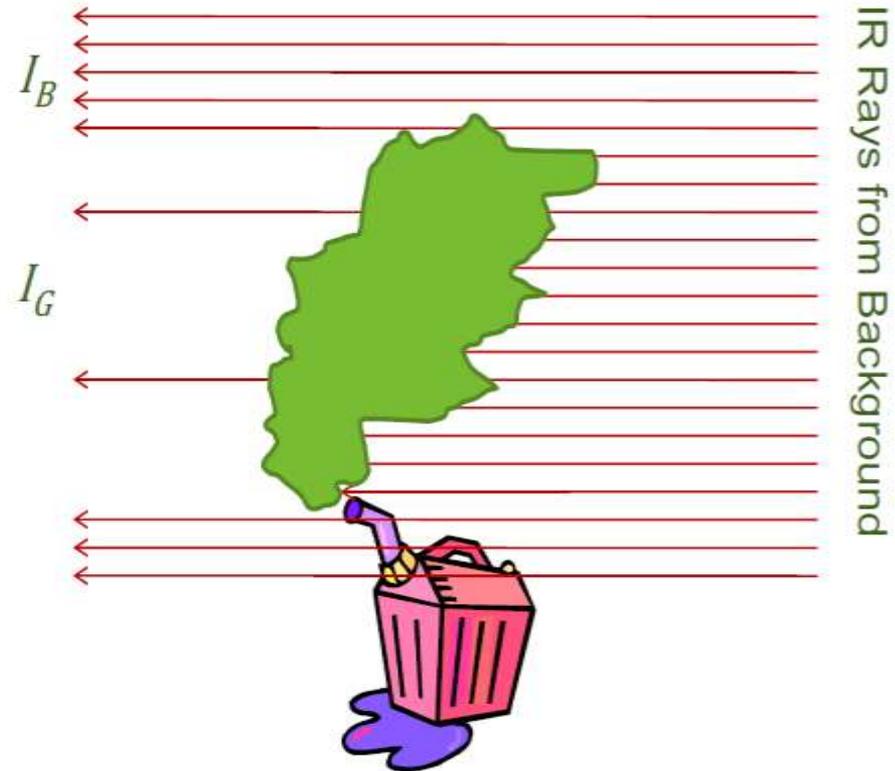
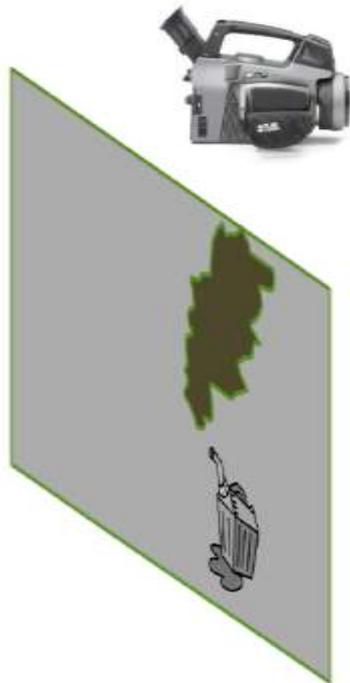


Image of Gas Plume
 $I_B > I_G$: "Black Smoke"

PRINCIPIO FUNZIONAMENTO TERMOCAMERA - PENNACCHIO DI EMISSIONE

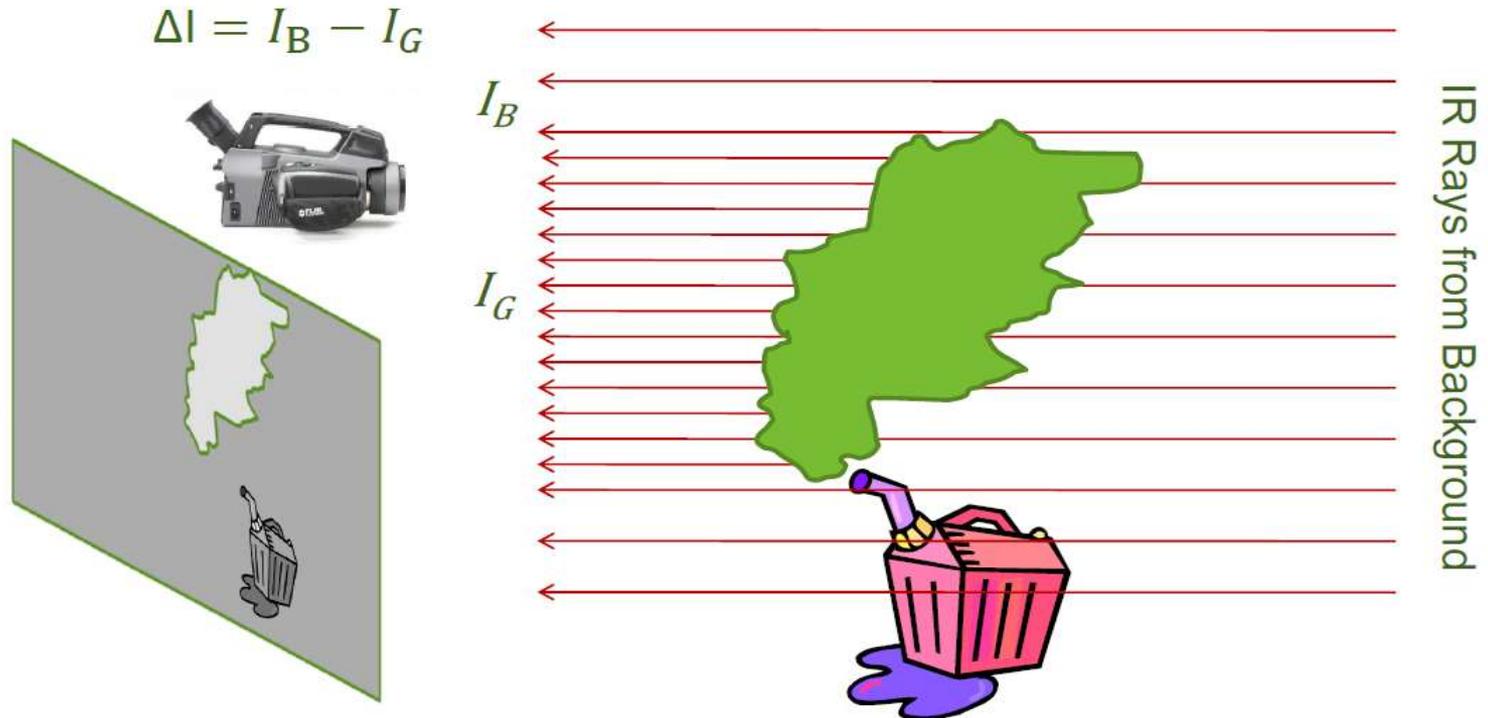
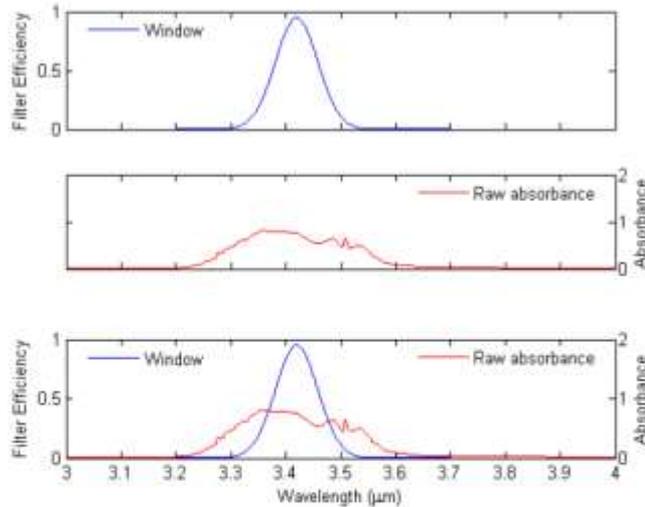
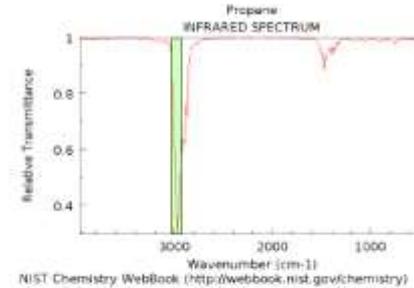


Image of Gas Plume
 $I_B < I_G$: “White Smoke”

RILEVAZIONE IMMAGINE GAS IR

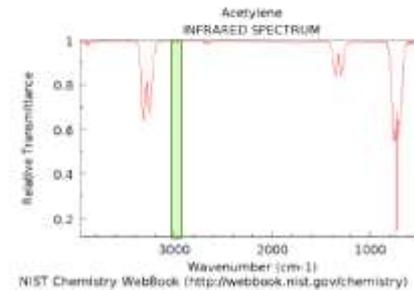


Compound IR absorption peak
must overlap with camera's
spectral window



NIST Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry>)

Detectable



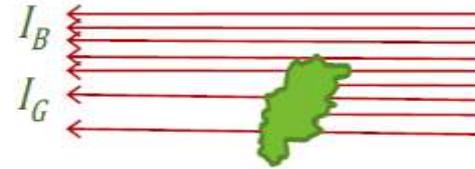
NIST Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry>)

Non-detectable

un dato gas e' rilevabile se il suo spettro di assorbimento nell'infrarosso si sovrappone con la banda di assorbimento della termocamera

RILEVAZIONE IMMAGINE GAS IR

Fundamental Equation for
Optical Gas Imaging (OGI):



$$\Delta I = I_B - I_G$$

$$= [B(T_B, \lambda) - B(T_G, \lambda)] \{1 - \exp[-\alpha(\lambda)CL]\}$$

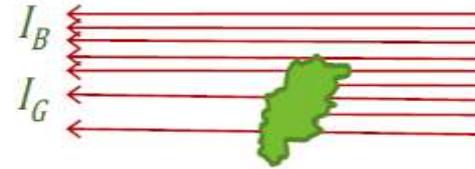
Funzione di Plank

- No ΔT [$B(T_B, \lambda) = B(T_G, \lambda)$], no gas image

- No IR peak [$\alpha(\lambda)=0$], no gas image
- No gas [$CL=0$], no gas image

RILEVAZIONE IMMAGINE GAS IR

Fundamental Equation for
Optical Gas Imaging (OGI):



$$\Delta I = I_B - I_G$$

$$= [B(T_B, \lambda) - B(T_G, \lambda)] \{1 - \exp[-\alpha(\lambda)CL]\}$$



- No ΔT [$B(T_B, \lambda) = B(T_G, \lambda)$], no gas image

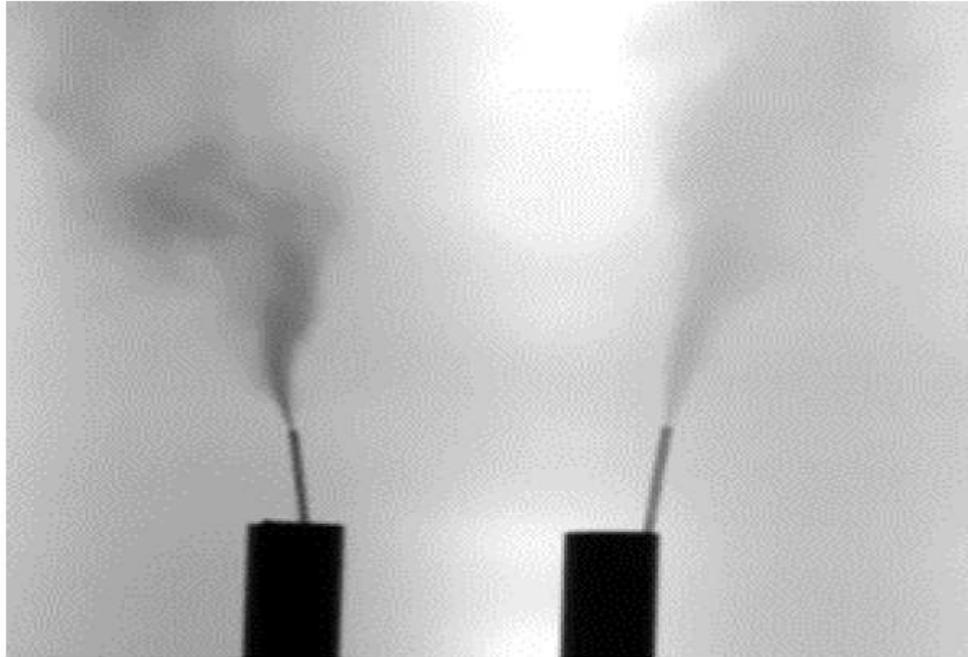
- No IR peak [$\alpha(\lambda)=0$], no gas image
- No gas [$CL=0$], no gas image



RILEVAZIONE IMMAGINE GAS IR

Termocamere OGI a singolo spettro non sono in grado di distinguere tra differenti composti : infatti misurano la risposta di differenti composti nella stessa regione spettrale del medio infrarosso ($3,3 \mu\text{m} - 3,4 \mu\text{m}$) . Di norma la termocamera viene calibrata rispetto al propano , e se l'operatore conosce il composto da analizzare può far riferimento ad una banca dati di fattori di risposta per correggere il risultato dell'analisi IR.

RILEVAZIONE IMMAGINE GAS IR



Propane

Methane

(RF = 0.297) 

RF Propano = 1
60 g/h

OGI Camera come strumento a supporto dell'ispettore

- Rileva perdite di VOC non precedentemente identificate/monitorate
 - Rileva grandi pennacchi di VOC in condizioni di sicurezza
 - Rileva sorgenti emissive che non possono essere facilmente raggiunte o rilevabili con metodi tradizionali
-

Analisi comparativa OGI- EPA method 21

- EPA method 21 utilizza un rilevatore a ionizzazione di fiamma (FID) connesso ad una sonda per campionare emissioni di VOC;
 - OGI è stato ampiamente utilizzato per rilevare perdite di idrocarburi da apparecchiature di processo;
 - Esiste una tendenza a comparare il limite di rilevabilità di OGI con quello del FID di EPA method 21, e comparare i risultati del monitoraggio OGI alla definizione di perdita stabilita nel programma LDAR (10000 ppm, 2000 ppm, 500 ppm etc..)
-

Analisi comparativa OGI- EPA method 21

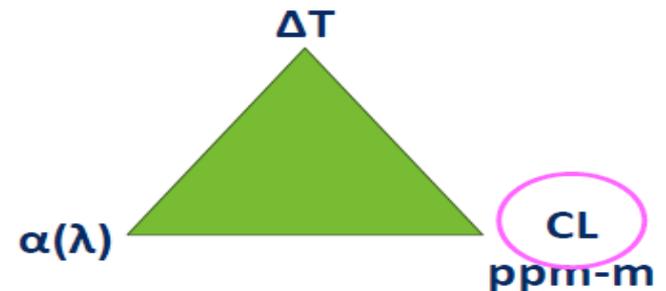
- Il limite di rilevabilità di OGI è fortemente dipendente dalla differenza di temperatura tra gas e background

Plume Depth (inch)	Equivalent LDAR Leak Definition (ppm) for Propane at Specified ΔT			
	$\Delta T=2\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T=10\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\Delta T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$
1	31,496	7,008	4,370	512
6	5,249	1,168	728	85
12	2,625	584	364	43

Analisi comparativa OGI- EPA method 21

- Una perdita di gas da una apparecchiatura è rilevabile con OGI, se i pixels del display della termocamera hanno sufficiente contrasto rispetto al background, $\text{contrasto} > 1\%$;
- I pixels di contrasto possono essere predetti da un modello basato sulla teoria del trasferimento radiativo;
- Per un dato gas caratterizzato da $\alpha(\lambda)$ e un $\Delta(T)$ il modello può predire la relazione tra contrasto e concentrazione (ppm-m)

$$\text{Contrast} = f \{ \alpha(\lambda), \Delta T, \text{ppm-m} \}$$



Analisi comparativa OGI- EPA method 21

Fugitive Monitoring

Method 21

- 45 components per hour
- 500 ppm
- Labor intensive
- Intrinsically safe
- Daily calibration (45 min to 1 hour)
- Can put monitoring personal in dangerous situations

Smart LDAR

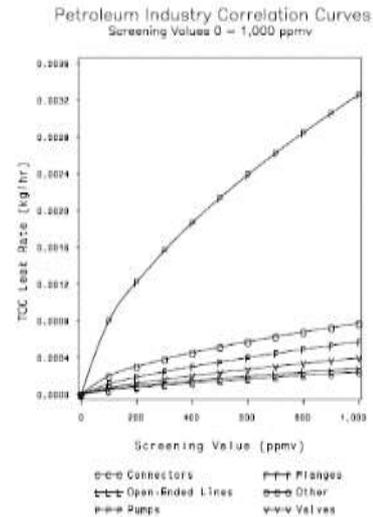
- 3,000 components per hour
 - 30,000 ppm
 - Fewer personal needed
 - Not intrinsically safe
 - Daily calibration & recordkeeping
 - Image affected by background & conditions
 - Image can be manipulated
-

Programmi LDAR con EPA Method 21

Processo LDAR :



Si rilevano i valori di Screening (SV) in ppmv



ER
(kg/hr)

Si applicano i fattori di correlazione per stimare “emission rates” (ER)

Report ER.

Incertezza dei valori di screening EPA Method 21

- Il metodo 21 misura direttamente solo valori di concentrazione
 - L'entità della perdita non viene considerata
 - Differenti ratei di emissione possono avere la stessa concentrazione, e viceversa
- Vengono applicati fattori di risposta (RFs) per tenere conto del gas di calibrazione e gas misurato che dipendono
 - Tipo di strumento
 - Tipo di gas

FATTORE DI RISPOSTA

- Il (FID) usato in EPA Method 21 viene calibrato usando un gas di calibrazione (ad esempio, metano);
- Il valore di concentrazione rilevato dal FID può differire in maniera significativa per altri gas;
- RF è costituito dal rapporto tra la lettura del FID del gas di calibrazione e quella del gas in questione;
- Il protocollo EPA 1995 leak detection protocol, App. D comprende RF di ~200 composti;
 - Esempio :

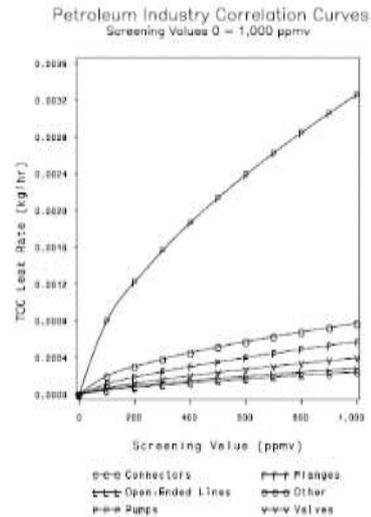
Propano	RF 0.63 - 0.88
Etilene	RF: 0.52-4.49
Methanol	RF: 1.88-21.73

Incertezza EPA Method 21

Processo LDAR :



Incertezza fino al 200 % dei valori di screening rilevati, dovuta ad esempio alla mancata applicazione dei fattori di correzione.



ER
(kg/hr)

Incertezza
-80% to +300% sulla base
del protocollo EPA 1995
App. C

Errore combinato

Superamento delle incertezze EPA method 21 determinando il rateo emissivo COV mediante la quantificazione OGI (QOGI)

Termocamera
ad infrarossi



Dispositivo che quantifica
e restituisce i valori di ratei
emissivi in kg/h

QOGI: Principio di funzionamento

- Le immagini IR delle perdite sono analizzate in relazione all'intensità sulla base dei pixel;
- Ciascun pixel rappresenta una colonna di vapori idrocarburici posti tra la termocamera e il background
 - L'intensità del contrasto dei pixel è funzione di (ΔT) tra background e gas;
 - Per una data ΔT , l'intensità è proporzionale alla quantità di molecole presenti nella Colonna di vapori di idrocarburici;
- L'entità del rateo emissivo determina sia l'intensità dei pixel che il loro numero;

QOGI: come si lavora in campo ?



- Con uso di termocamera si rilevano le perdite di VOC;
- Quando viene rilevata una perdita si collega il dispositivo di quantificazione alla camera (USB or wireless).
- L'utente introduce la temperatura dell'aria ambiente e stima la distanza dal "plume" alla termocamera;
- Il dispositivo di quantificazione
 - Registra le immagini per circa 30 sec, utilizza algoritmi di proprietà per calcolare automaticamente il rateo emissivo in kg/h;
 - Fornisce i risultati in tempo reale direttamente in campo;

QOGL: E' efficace per differenti composti ?

La maggior parte dei test è stata effettuata utilizzando perdite note di propano, mentre è limitato il numero dei test effettuato per metano ed etilene. Sono stati sviluppati fattori di risposta (RF) per misurare differenti composti in maniera accurata mantenendo la semplicità del metodo, riferendosi al propano per sviluppare RF.

Compound	Range of Leak Rates (lb/hr)	Number of Tests	Average Error %	Standard Deviation of Error %
Methane	0.12 to 0.24	25	24%	39%
Ethylene	0.03 to 0.11	20	19%	34%

QOGI: Come si tiene conto nel dispositivo di quantificazione del fattore di risposta RF?

- L'utilizzatore può selezionare un composto o una miscela di composti;
- Il dispositivo di quantificazione applica automaticamente l'appropriato fattore di risposta per correggere il risultato quantitativo;
- I fattori di risposta IR sono stati sviluppati utilizzando risposte spettrali per ciascun composto;
- Differenze RF tra EPA Method 21 ed OGI :
 - Le risposte spettrali IR ed RF sono meno dipendenti dallo strumento se comparati allo strumento utilizzato per applicazione metodo EPA 21;
 - I fattori di risposta IR sono direttamente incorporate nel software a differenza di EPA 21 dove spesso non sono applicati rigorosamente

Conclusioni

- La quantificazione delle emissioni di VOC attraverso OGI è tecnicamente realizzabile;
- EPA Method 21 stima i ratei emissivi; QOGI li misura direttamente;
- Sono in corso test di campo per qualificare ulteriormente tale tecnologia in alternativa al metodo EPA Method 21;
- QOGI non è limitato soltanto ad applicazioni LDAR. Può essere utilizzato per applicazioni come perdita di prodotti , emission di metano, rilievo a distanza di rilasci di sostanze tossiche

Grazie per l'attenzione

Per info

michele.ilacqua@isprambiente.it