

Area Politiche Economiche, Capitale Umano e Programmazione Comunitaria  
Direzione Ricerca Innovazione ed Energia

Piano Sviluppo e Coesione Veneto  
FSC 2021-2027 Stralcio  
Attuazione degli interventi previsti con Delibera CIPESS n. 79/2021

**“Bando per il sostegno a progetti di ricerca e sviluppo nelle tematiche della salute e del benessere”  
Progetto: AiR Monitoring Drone: Sistema di Monitoraggio di Parametri Ambientali mediante  
l’utilizzo di DRoni-Laboratorio**

DGR n. 1570 del 6 dicembre 2022

**TECNOLOGIA E DEFINIZIONE PROTOCOLLI OPERATIVI**

**1. Premessa**

L’applicazione del drone laboratorio come sistema di monitoraggio in siti di raccolta e gestione dei rifiuti è un’azione di carattere sperimentale che necessita di una fase di valutazione di fattibilità. Pertanto, si è reso necessario lo studio della validità di tale strumentazione, seguendo un protocollo che prevede l’utilizzo di un metodo matematico di dispersione per la comparazione dei valori rilevati a terra e quelli in volo.

Le condizioni necessarie per la verifica del metodo, vedono la presenza di una fonte di composti volatili inquinanti il cui monitoraggio può essere effettuato a terra e in volo contemporaneamente. Tra i vari siti di raccolta e trattamento rifiuti disponibili presso Elite Ambiente, il sito in cui è presente il pirogassificatore si è rivelato una fonte di potenziali inquinanti affidabile e monitorabile.

Come prima azione, è stata condotta una ricognizione per verificare che l’assetto del drone laboratorio risultasse ottimale. I test di volo sono stati eseguiti nei dintorni del pirogassificatore per verificare eventuali impedimenti o accortezze da adottare al fine di ottimizzare la raccolta dati della fase successiva.

Il test non ha evidenziato alcuna criticità confermando perciò il MUVE C360 come drone-laboratorio per i monitoraggi.



Figura 1 test di collaudo del drone di laboratorio: drone in volo presso la colonna di scarico del pirogassificatore.

La valutazione di fattibilità di monitoraggio è stata poi programmata per inizio dicembre in condizioni meteorologiche stabili, con tempo soleggiato e temperature miti. Il monitoraggio è stato condotto in contemporanea a terra (con stazione fissa) e in aria (con drone) monitorando i seguenti composti:

Tabella 1 sensori adottati per il rilevamento mediante stazione fissa a terra e in aria con drone

Composto	Stazione fissa a terra	Drone
Ossigeno (O <sub>2</sub> )	x	x
Anidride Carbonica (CO <sub>2</sub> )	x	
Monossido di Carbonio (CO)	x	x
Ossidi di azoto (mediamente NO <sub>2</sub> )	x	x
Ossido di zolfo (SO <sub>2</sub> )	x	x
LEL		x
PID		x
Cloro (Cl <sub>2</sub> )		x
Acido Solfidrico (H <sub>2</sub> S)		x

### 1.1. Rilevamento a terra:

Il monitoraggio a terra è stato effettuato utilizzando un analizzatore di gas portatile Horiba PG-350.

Il PG-350 è un analizzatore di gas compatto e leggero, progettato per misurare contemporaneamente fino a cinque diversi componenti gassosi. La sua capacità di fornire misure precise è stata dimostrata sia in applicazioni sul campo che in laboratorio. Lo strumento è in grado di misurare gas serra il protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), facilitando il monitoraggio delle emissioni. PG-350 è un analizzatore robusto adatto all'uso sul campo. Per le applicazioni di monitoraggio più impegnative, come turbine a gas, caldaie e inceneritori, sono disponibili servizi opzionali di pre-condizionamento come il raffreddatore elettronico, il separatore di drenaggio e il vaso di drenaggio per le misure a lungo termine. La versatilità rende questi analizzatori adatti a indagare su questioni ambientali, testare le emissioni al camino, valutare le prestazioni dei catalizzatori e controllare i flussi di gas

di processo.



Figura 2 immagine dell'analizzatore portatile di gas Horiba PG-350

La sonda dell'analizzatore è stata inserita e fissata nella colonna di scarico del pirogassificatore e la raccolta dati è stata portata avanti per 30 minuti.



Figura 3 assetto della stazione di rilevamento a terra per il rilevamento al Pirogassificatore



Figura 4 assetto della stazione di rilevamento a terra per il rilevamento al sito di Brendola

Per il monitoraggio sul sito secondo sito, a Brendola (vedi figura soprastante), è stata individuato come fonte per raccolta dei composti in uscita un camino di scarico collegato ad un impianto di aspirazione a filtro a maniche in asservimento alla linea triturazione imballaggi in ferro e parzialmente alla linea macinazione imballaggi in plastica interni al capannone. La raccolta dei composti è stata effettuata con un rilevatore Gil Air Plus, in grado di rilevare i composti riportati nella seguente tabella:

Tabella 2: sensori adottati per il rilevamento mediante stazione fissa Gil Air Plus

Composto	Unità di misura
Diclorometano	mg/Nm <sup>3</sup>
Tetracloroetilene	mg/Nm <sup>3</sup>
Tricloroetilene	mg/Nm <sup>3</sup>
1,2,4 Trimetilbenzene	mg/Nm <sup>3</sup>
1,3,5 Trimetilbenzene	mg/Nm <sup>3</sup>
1-Metossi-2-propanolo	mg/Nm <sup>3</sup>
1-Metossi-2-propilacetato	mg/Nm <sup>3</sup>
2-Butossietanolo	mg/Nm <sup>3</sup>
4-idrossi-4-metil pentanone	mg/Nm <sup>3</sup>
Altri COV come n-Esano	mg/Nm <sup>3</sup>
Cicloesanone	mg/Nm <sup>3</sup>
Etilbenzene	mg/Nm <sup>3</sup>
Isobutanolo	mg/Nm <sup>3</sup>
Isopropilbenzene	mg/Nm <sup>3</sup>

Metanolo	mg/Nm <sup>3</sup>
Metilisobutilchetone (MIBK)	mg/Nm <sup>3</sup>
n-Butanolo	mg/Nm <sup>3</sup>
n-Propilbenzene	mg/Nm <sup>3</sup>
Stirene	mg/Nm <sup>3</sup>
Acetato metile	mg/Nm <sup>3</sup>
Isobutilacetato	mg/Nm <sup>3</sup>
Isopropanolo	mg/Nm <sup>3</sup>
Metiletilchetone (MEK)	mg/Nm <sup>3</sup>
n-Butilacetato	mg/Nm <sup>3</sup>
n-Propanolo	mg/Nm <sup>3</sup>
Toluene	mg/Nm <sup>3</sup>
Xileni	mg/Nm <sup>3</sup>
Acetone	mg/Nm <sup>3</sup>
Cicloesano	mg/Nm <sup>3</sup>
Etanolo	mg/Nm <sup>3</sup>
Etilacetato	mg/Nm <sup>3</sup>
n-Eptano	mg/Nm <sup>3</sup>
n-Pentano	mg/Nm <sup>3</sup>
3-Butossi-2-propanolo	mg/Nm <sup>3</sup>
Composti Organici Volatili totali	mg/Nm <sup>3</sup>
Composti Organici Volatili totali (come C)	mg/Nm <sup>3</sup>

Il sensore raccoglie i dati e fornisce in output un valore di media di quanto raccolto, espresso in mg/Nm<sup>3</sup>.

### 1.2. Analisi in aria

Il monitoraggio in aria mediante MUVE-C360 è stato eseguito in due tempi:

- ricognizione
- monitoraggio

La prima fase è servita a studiare la posizione migliore per l'intercettazione dei gas in uscita dalla colonna in base alle condizioni meteo e in particolare del vento.

In contemporanea al monitoraggio con stazione fissa a terra, è stato eseguito il monitoraggio in aria.

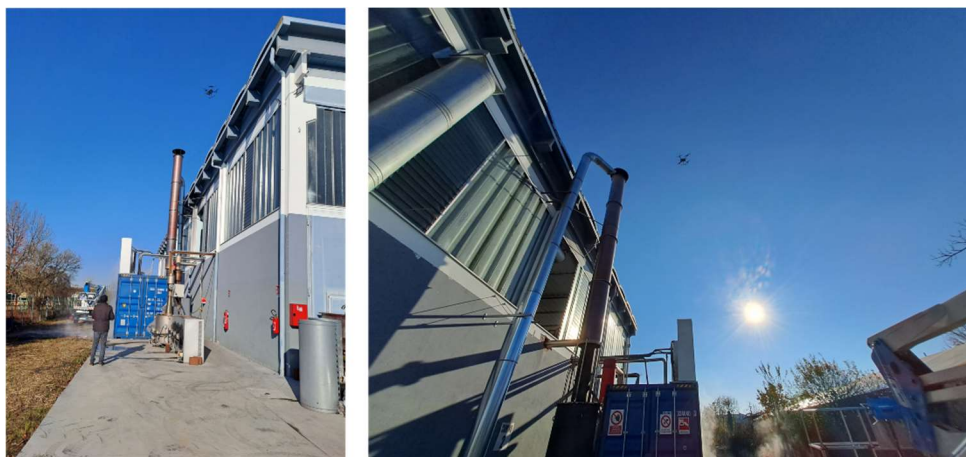


Figura 5 immagini del drone durante il monitoraggio

I dati raccolti dalla stazione fissa sono stati poi elaborati da LOD con modello di dispersione (vedi sezione 2.3) e confrontati con i dati rilevati dal drone.

Al rilevamento effettuato a Dicembre presso il sito di Grisignano, ne è seguito un altro con temperature più alte presso il sito di Brendola, seguendo la stessa metodologia.

Poiché i sensori del MUVE 360 non rilevano gli stessi composti del rilevatore a terra, è stato eseguito un test di raccolta dati in aria agganciando il sensore Gil Air Plus.



Figura 6: immagini del drone durante il monitoraggio con sensore Gil Air Plus.

Il sensore è stato agganciato al drone e dotato di una prolunga per la raccolta dei gas per evitare che le turbolenze delle pale del drone inficiassero la concentrazione dei gas nei punti di raccolta.

Si è poi proseguito con un test di misurazione sorvolando sull'impianto di raccolta rifiuti di Grisignano, e in particolare servendosi del drone con laboratorio per verificare le esalazioni dei carichi dei camion in entrata. La metodologia utilizzata non prevede un contro-rilevamento con stazioni a terra poiché l'obiettivo prefissato prevede di testare la risposta della tecnologia in movimento e per discriminare i contributi delle diverse sorgenti su aree in cui non sono posizionate stazioni fisse.

### 1.3. Valutazione numerica della dispersione

I dati raccolti con stazione fissa, sono serviti come input per la valutazione numerica della dispersione, a cui vanno confrontati i dati rilevati con Drone poiché lo studio di dispersione simula l'emissione degli inquinanti in uscita dal camino durante la fascia oraria in cui sono ricadute le misure.

Il modello utilizzato per tutte le simulazioni è CALPUFF.

Nei dati di input sono stati inserite le sorgenti puntuali, rilevati da Chimicambiente nelle diverse campagne, i dati meteorologici, i dati tecnici del camino (tabella 3 e 4):

Tabella 3 sorgenti puntuali simulate presso il pirogassificatore di Grisignano e il sito di Brendola

campagna	Emissione	Coordinate	H (m)	Diametro (m <sup>2</sup> )	T emissione (°K)	Velocità di emissione (m/s)
Grisignano	E2	711,192 km E 5041,015 km N	9,5	0,4	322,15	1,6
Brendola	E2	689,300 km E 5037,137 km N	9,3	0,4	289,9	15,6

I dati raccolti dalle stazioni a terra sono poi stati elaborati con modello di dispersione CALPUFF.

CALPUFF è un modello di dispersione di tipo lagrangiano a puff, nel quale le equazioni di conservazione di massa vengono scritte e risolte in riferimento a rilasci emissivi sferici detti puff, con i quali viene approssimata l'emissione continua.

Le equazioni per ogni puff sono determinate a partire dal campo di moto del vento. Tale campo di moto è calcolato tramite un pre-processore meteorologico (CALMET) che utilizza, come dati di input, i dati provenienti dall'archivio meteorologico e dalla cartografia riferiti al sito in esame e relativi al periodo di cui si vuole ottenere la simulazione. Il file di output di CALMET viene processato, mediante CALPUFF, assieme ai dati relativi alle emissioni, per ottenere i campi di concentrazione desiderati.

*CALMET: Pre-processore meteorologico*

Il preprocessore *CALMET* è in grado di elaborare i dati meteorologici e orografici, per determinare il campo di vento tridimensionale ed altri parametri meteorologici fondamentali per la simulazione della dispersione. A tal fine, *CALMET* necessita, come dati di *input*, i valori medi orari relativi ai seguenti dati meteorologici osservati al suolo:

- direzione ed intensità del vento;
- temperatura e umidità relativa dell'aria;
- pressione atmosferica;
- copertura del cielo;
- precipitazioni;
- dei valori dei profili verticali, ottenuti tramite radiosondaggi, di:

- direzione ed intensità del vento;
- temperatura e pressione;

ed inoltre dei dati relativi al terreno, in particolare

- altimetria;
- uso del suolo.

Attraverso l'elaborazione di questi dati, *CALMET* è in grado di determinare il valore nel tempo e nello spazio di:

- componenti tridimensionali del vento;
- altezza di rimescolamento;
- lunghezza di Monin-Obukhov;
- classe di stabilità atmosferica, secondo Pasquille-Gifford.

#### *Caratteristiche del puff e concentrazioni al suolo*

Ogni *puff* emesso dalle sorgenti in esame può essere descritto mediante:

- una *massa della sostanza simulata*  $Q_k$ , contenuta al suo interno;
- un *baricentro* (o centroide) che individua la sua posizione nello spazio;
- una *condizione iniziale di moto*, funzione della temperatura e della velocità allo sbocco dell'emissione;
- una dimensione spaziale che varierà durante il moto del *puff* a causa dei fenomeni diffusivi e di turbolenza

Dopo il suo rilascio in atmosfera, ogni *puff* subisce l'azione del campo di vento tridimensionale che ne fa variare la posizione e ne determina il *trasporto*: il suo percorso sarà dunque regolato da direzione ed intensità dei venti locali. Durante tale percorso, ogni *puff* è inoltre soggetto a fenomeni diffusivi e turbolenti che ne faranno variare la dimensione. In particolare, i vortici di media e piccola dimensione, generati a livello dello strato limite planetario, vengono inglobati all'interno del *puff* facendone aumentare la dimensione e, nel contempo, diminuendone la concentrazione di odore.

La ricaduta dell'odore al suolo viene calcolata in *CALPUFF* sommando il contributo di ogni singolo *puff* su alcuni generici punti dello spazio denominati *recettori*. Fissando un sistema di riferimento cartesiano centrato nel pacchetto emesso, la posizione del generico recettore è identificata dalle due coordinate, che rappresentano rispettivamente la distanza trasversale e longitudinale rispetto alla direzione del vento. La concentrazione  $C$  della specie simulata in un generico recettore viene calcolata.

Nel corso del tempo, la massa della specie simulata  $Q_k$  del generico *puff* può variare a causa di alcuni fenomeni che ne determinano l'impovertimento. Con la *deposizione umida* le sostanze simulate possono venire inglobate all'interno delle particelle aerodisperse nelle nubi, nella pioggia e nella neve con successivo trasferimento al suolo mediante precipitazione. La *deposizione secca* si verifica invece in assenza di umidità ed il trasferimento al suolo avviene per sedimentazione o per impatto. Infine, alcune specie possono andare incontro in atmosfera a *reazioni chimiche* con conseguente trasformazione della sostanza in uno o più composti diversi.