

XI Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico
Torino – PM24
31 Maggio 2024

La stima delle emissioni di nanoparticelle generate dagli aeromobili presso l'Aeroporto di Treviso

C. Pozzi, E. Specchia

Nell'ambito del **Progetto di Monitoraggio Ambientale** come strumento di pianificazione ed ottimizzazione al 2030, il gestore SAVE ha avviato una collaborazione con ARIANET per affrontare tematiche riguardanti la componente atmosfera rientrante nelle prescrizioni al Decreto di compatibilità ambientale relativo all'Aeroporto "Antonio Canova" di Treviso.



Come attività di **monitoraggio della qualità dell'aria**, ARPAV ha chiesto al gestore di predisporre **due centraline** destinate al monitoraggio in continuo di nanopolveri ($10\text{nm} < \text{PM ultrafine} < 1\mu\text{m}$), attività sperimentale per indagarne la produzione ad opera del processo di combustione che avviene per la propulsione degli aerei

L'attività è definita **sperimentale**:

- Assenza riferimenti normativi per le nanopolveri (Dlgs 155/2010)

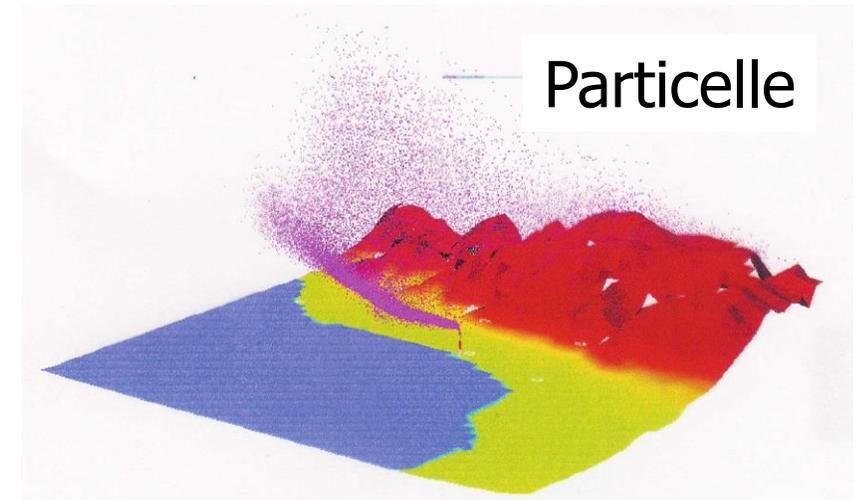
Obiettivo del progetto

ricostruzione del termine emissivo di nanopolveri dagli aeromobili, a partire dalle misure disponibili e dall'applicazione congiunta di un modello Lagrangiano che segua il fenomeno di dispersione con una risoluzione temporale di calcolo coerente con la frequenza di acquisizione dei dati e la durata reale di ciascun evento emissivo.



Il modello Lagrangiano a particelle SPRAY

- SPRAY è un modello tridimensionale che riproduce la dispersione di inquinanti in atmosfera.
- L'emissione di inquinanti da una sorgente è schematizzata attraverso l'immissione di «particelle computazionali» che idealmente trasportano una quantità di massa relativa a un inquinante
- Il movimento delle particelle, che consente di simulare la dispersione degli inquinanti in modo tridimensionale, è definito sia dal vento medio locale che da velocità casuali che riproducono le caratteristiche statistiche della turbolenza atmosferica.

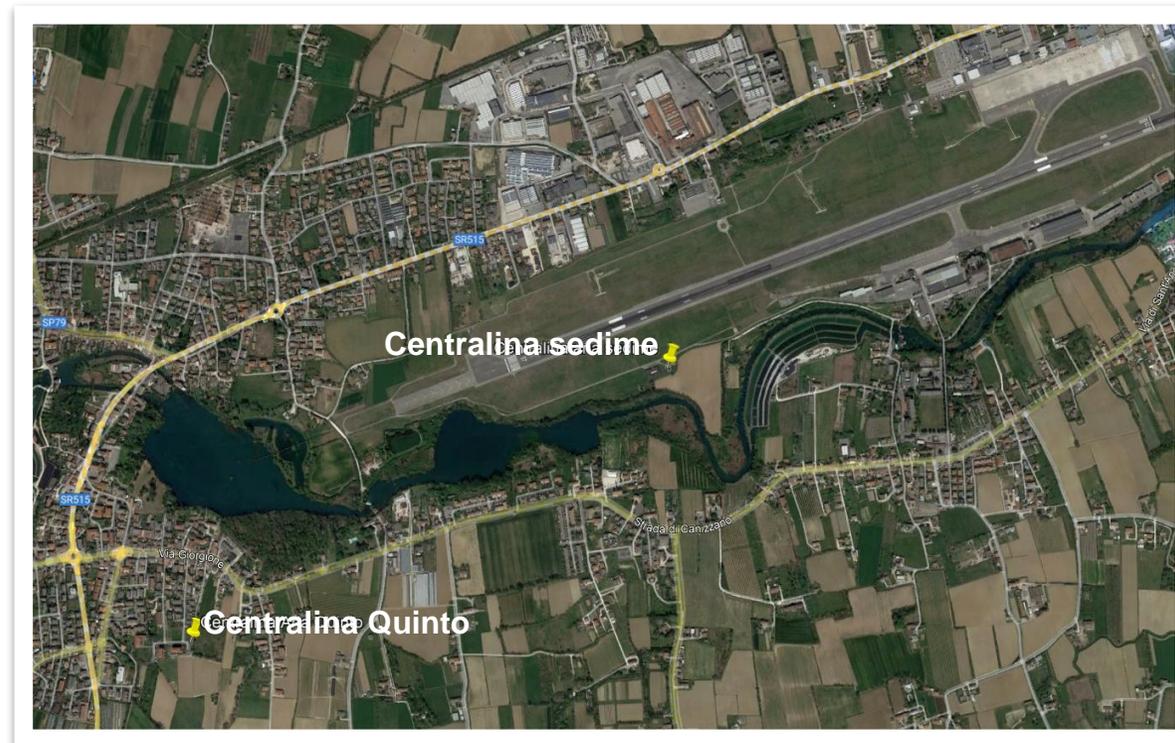


A settembre 2022 sono state installate due centraline:



- **Stazione A:**
sedime aeroportuale presso
Aeroporto di Treviso
- **Stazione B:**
località Quinto di Treviso

- Analizzatori di particolato ultrafine (numero di **particelle/cm³** - da 4 nm a 1 μm suddivisi in 77 classi dimensionali) - frequenza acquisizione **5 minuti**.
- Stazione **meteo** VV, DV, T, P, H%, pluv, rad solare (determinano la dispersione delle polveri in atmosfera) - frequenza acquisizione **1 minuto**.



Sono stati resi disponibili anche dati sull'**attività aeroportuale**

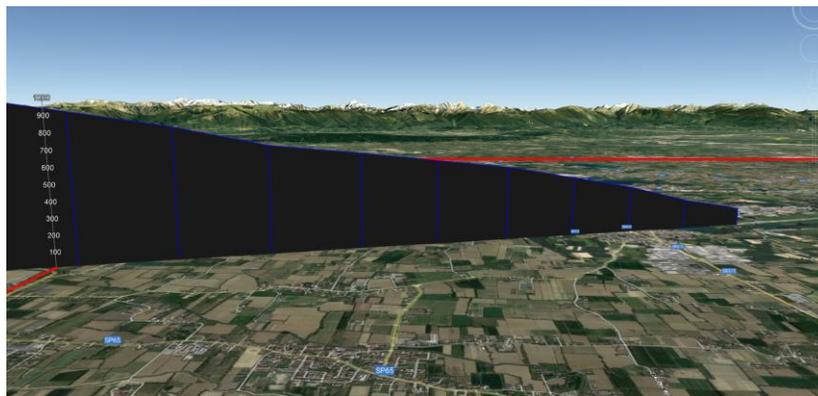
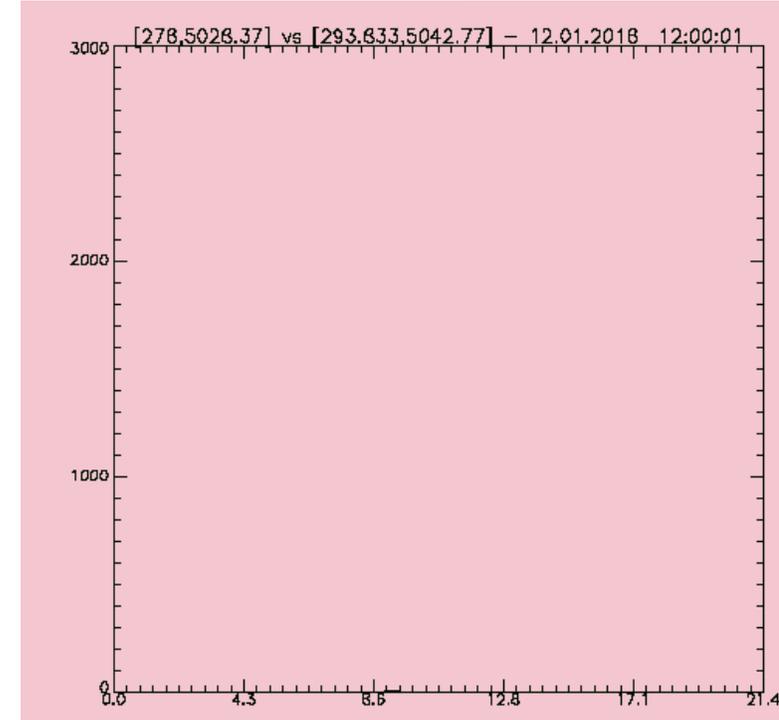
- **REGISTRO VOLI:**

Database di tutti i movimenti aerei che hanno interessato l'aeroporto di Treviso, che ha permesso di conoscere l'istante effettivo di decolli e atterraggi (giorno-ora-minuto).

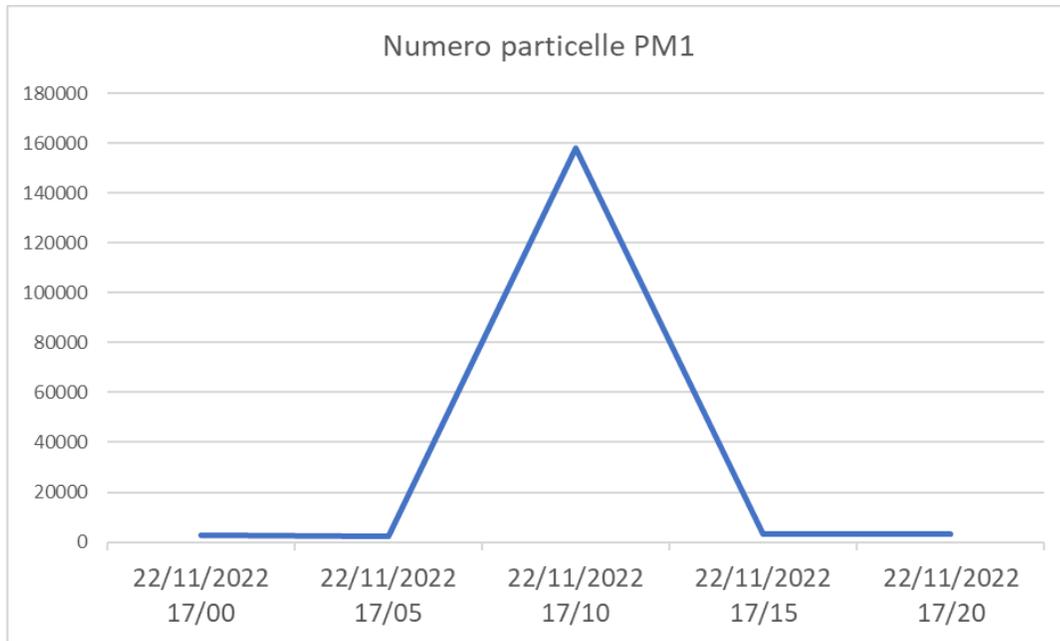
Un aeromobile è rappresentato come una successione di sorgenti puntuali. La durata dell'evento emissivo all'interno del dominio di studio è 46" per i decolli e 33" per gli atterraggi.

- **TRACCE RADAR:**

Informazione sulla direzione dei decolli/atterraggi (da o verso TV) in funzione della pista utilizzata (07/25)



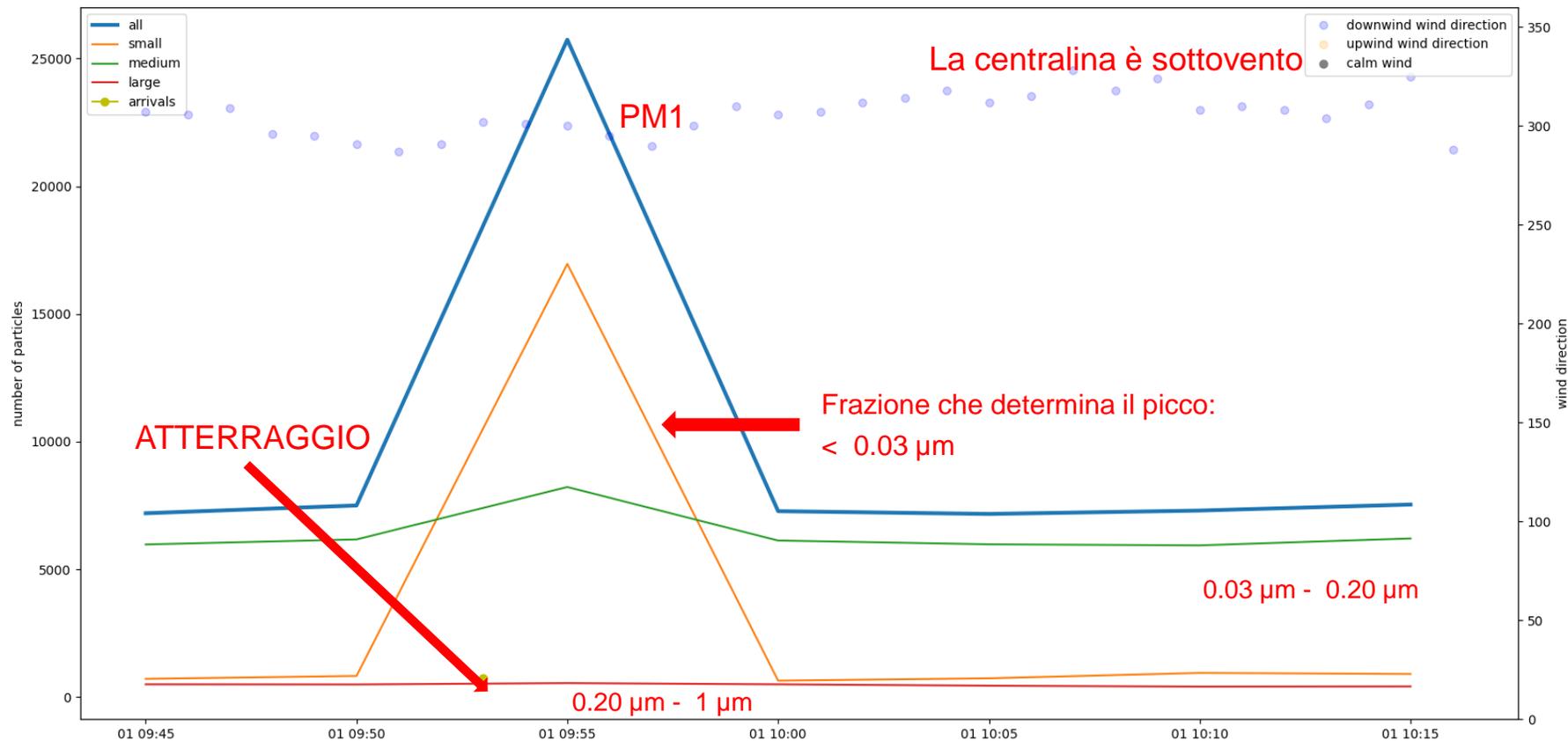
- Le misure della centralina posta in prossimità della pista (frequenza 5 minuti) evidenziano eventi di impatto molto rapidi, con picchi di concentrazioni di nanoparticelle in seguito ad atterraggi o decolli degli aeromobili.
- In genere, un evento (background-picco-background) non supera i 30 minuti.
- **L'idea è stata quella di isolare un certo numero di eventi di questo tipo, cercando per ogni evento di riprodurre il picco causato dal passaggio di un singolo aereo attraverso simulazioni modellistiche di dispersione.**



- Non conoscendo a priori il fattore di emissione degli aeromobili, tutte le simulazioni sono state alimentate con un **flusso emissivo costante normalizzato** (10^9 particelle/secondo).
- Per ogni simulazione, è stato definito il rapporto tra il picco delle concentrazioni simulate in corrispondenza del sedime e il picco delle concentrazioni misurate nello stesso punto in seguito al passaggio dell'aereo.
- La media dei rapporti tra concentrazioni misurate e modellate ha consentito la 'denormalizzazione' dell'emissione in input al modello: in questo modo è stata ricavata una stima dell'emissione effettiva.

Gli episodi simulati sono episodi caratterizzati da:

- Passaggio di un singolo aereo + picco di concentrazioni di particelle
- Centralina di misura del sedime sottovento rispetto alla pista



Ogni simulazione copre un intervallo di tempo che dura tra 20 e 40 minuti

Setup delle simulazioni modellistiche: dominio di calcolo

- area di $3.6 \times 1.9 \text{ km}^2$ centrata sulla pista dell'aeroporto
- risoluzione orizzontale 25 metri



Poiché l'obiettivo delle simulazioni è calcolare le concentrazioni generate dagli aeromobili **sulla centralina**, si è utilizzato il terreno piatto e landuse uniforme (prato).

- I dati misurati alla frequenza di 1 minuto (vento-temperatura-radiazione solare) hanno fornito l'input meteorologico, necessario per pilotare la dispersione degli inquinanti con la stessa frequenza temporale.
- L'input fornito dal dato misurato in prossimità della pista è stato considerato uniforme su tutto il dominio di calcolo.

Partendo da questi dati, sono stati ricostruiti anche i profili verticali di potenza del vento dipendenti dalla stabilità atmosferica, quest'ultima determinata sulla base di radiazione solare e vento:

$$U(z) = U_0 (z/z_0)^\alpha$$

Dove:

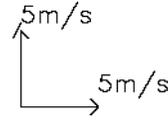
- U_0 è il dato misurato alla quota z_0 di 10 m,
- α è l'esponente che definisce la variazione con la quota, in funzione della stabilità e del tipo di terreno.

La direzione del vento viene invece mantenuta costante con la quota.

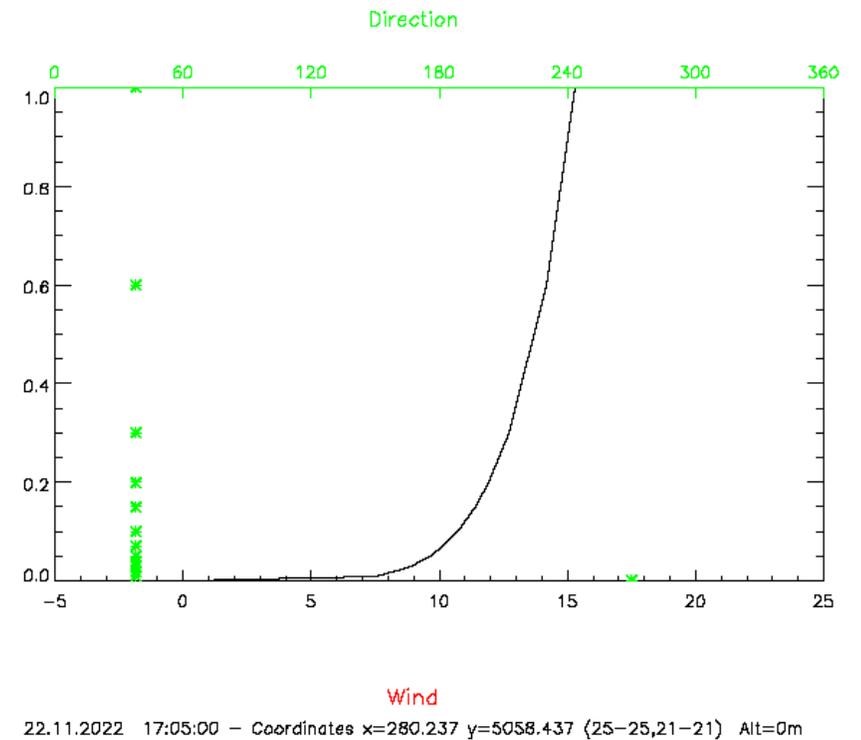
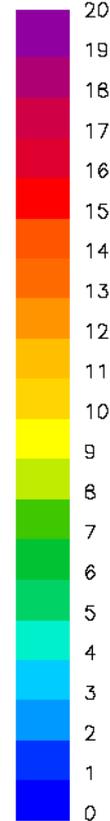
È fondamentale descrivere la variazione del vento con la quota, per garantire una descrizione realistica di come avviene la dispersione degli inquinanti in modo tridimensionale.

I **parametri di turbolenza** (anch'essi necessari per pilotare le dinamiche di dispersione) sono stati stimati sulla base della stabilità e del tipo di terreno.

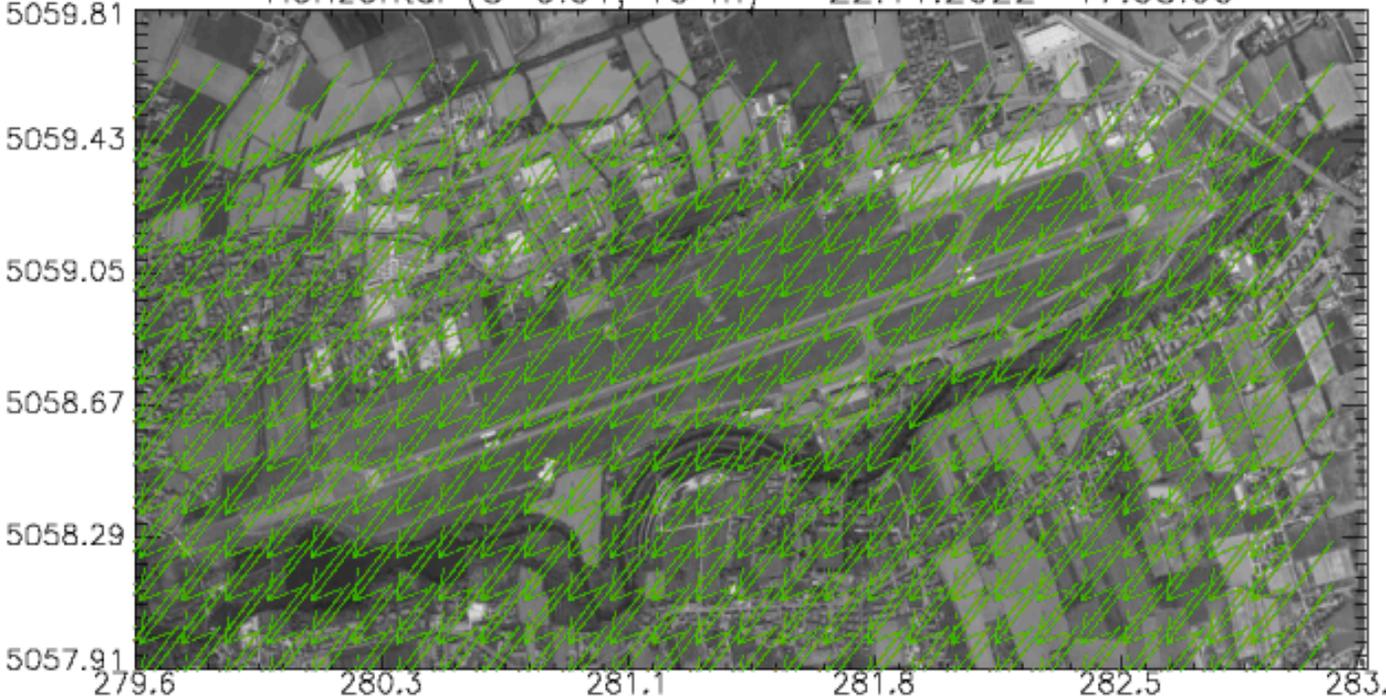
Esempio di un campo di vento uniforme su tutto il dominio di calcolo



Variazione della velocità del vento con la quota



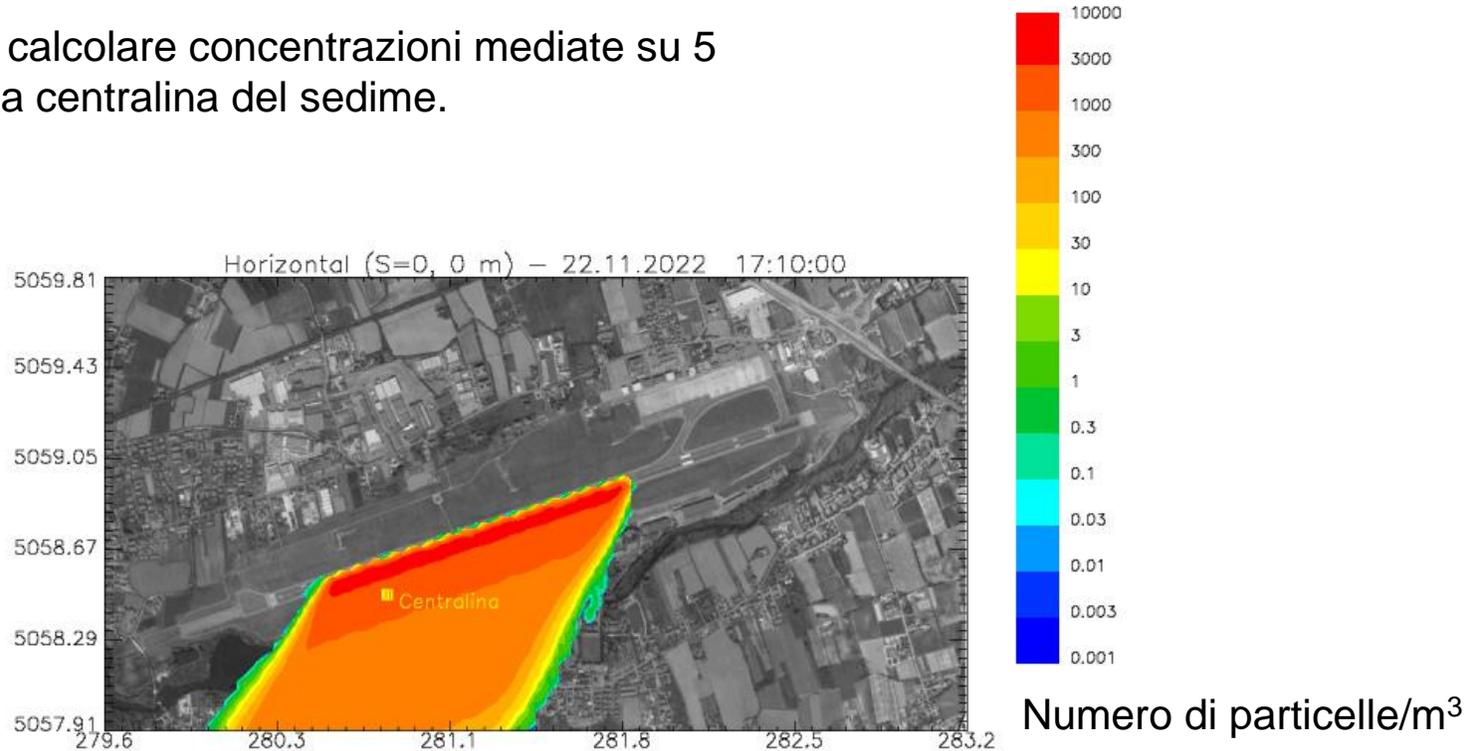
Horizontal (S=0.01, 10 m) – 22.11.2022 17:05:00



Il modello di dispersione SPRAY, anche nelle condizioni di omogeneità orizzontale ipotizzate, ha il vantaggio di:

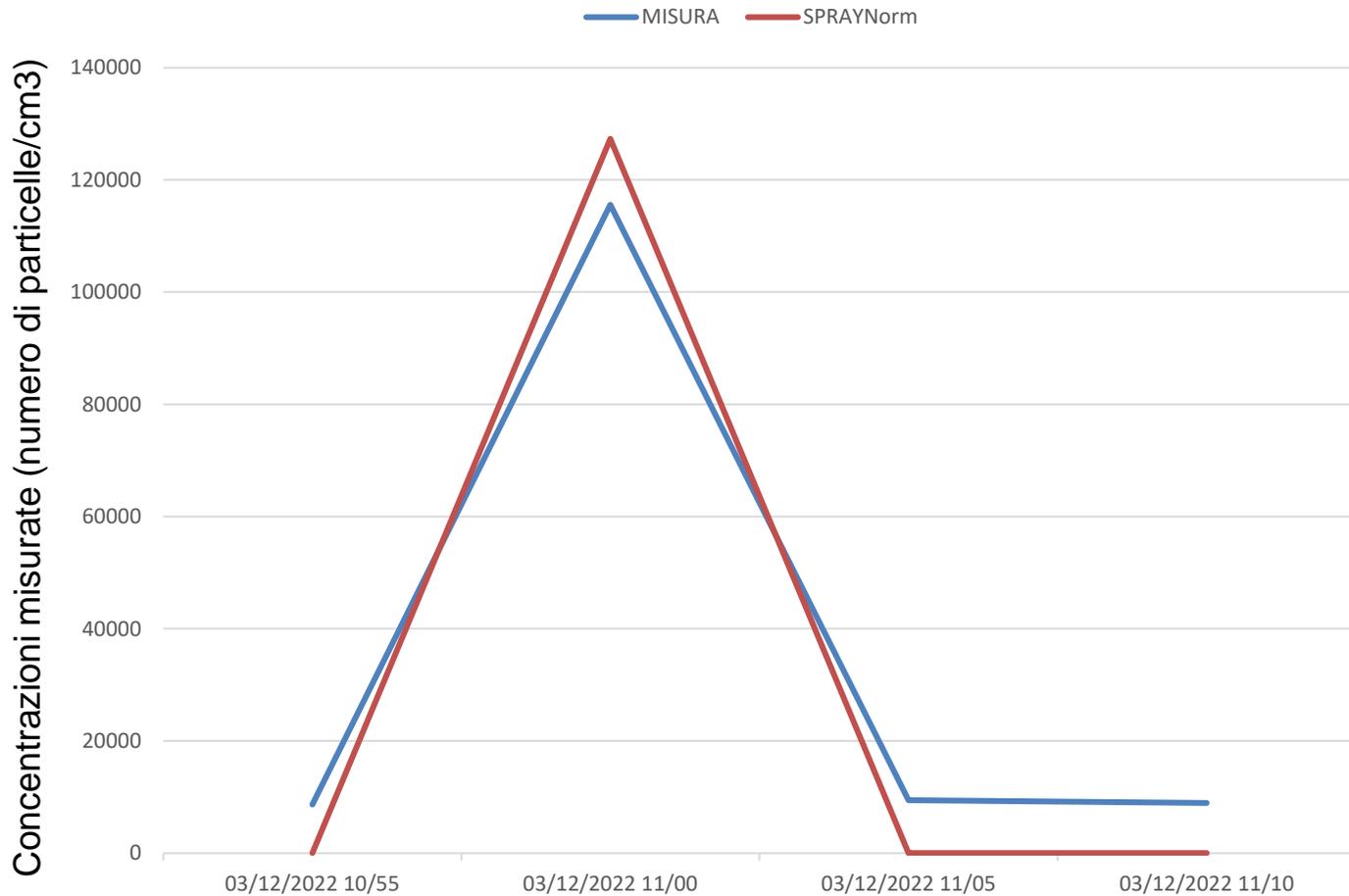
- considerare comunque la presenza di variazioni verticali nella descrizione del vento medio e della turbolenza,
- considerare emissioni che seguono il moto degli aeromobili sia in orizzontale che in verticale ad alta frequenza (1s).

Le simulazioni consentono di calcolare concentrazioni mediate su 5 minuti, in corrispondenza dalla centralina del sedime.



- Sono stati complessivamente isolati, utilizzando i criteri precedenti, 42 eventi:
 - 22 decolli (4 verso Treviso, 18 da Treviso)
 - 20 atterraggi (sempre da destra verso sinistra)
- Le elaborazioni sono state separate tra decolli e atterraggi: l'ipotesi iniziale è che i motori siano sollecitati in maniera sostanzialmente diversa nelle due situazioni, determinando flussi emissivi a loro volta differenti.
- Per ogni simulazione, le concentrazioni di picco misurate presso il sedime sono state confrontate con le concentrazioni calcolate nello stesso punto: la media dei rapporti tra concentrazioni simulate e misurate determina una stima del fattore moltiplicativo da apportare al flusso emissivo «normalizzato» (10^9 particelle/secondo), per calcolare il flusso effettivo capace di determinare le concentrazioni misurate.

Confronto Misura-SPRAY



Per ogni evento simulato avviene il calcolo di un coefficiente:

$$\text{coefficiente} = \frac{C_{\text{spray}}}{C_{\text{misura}}}$$

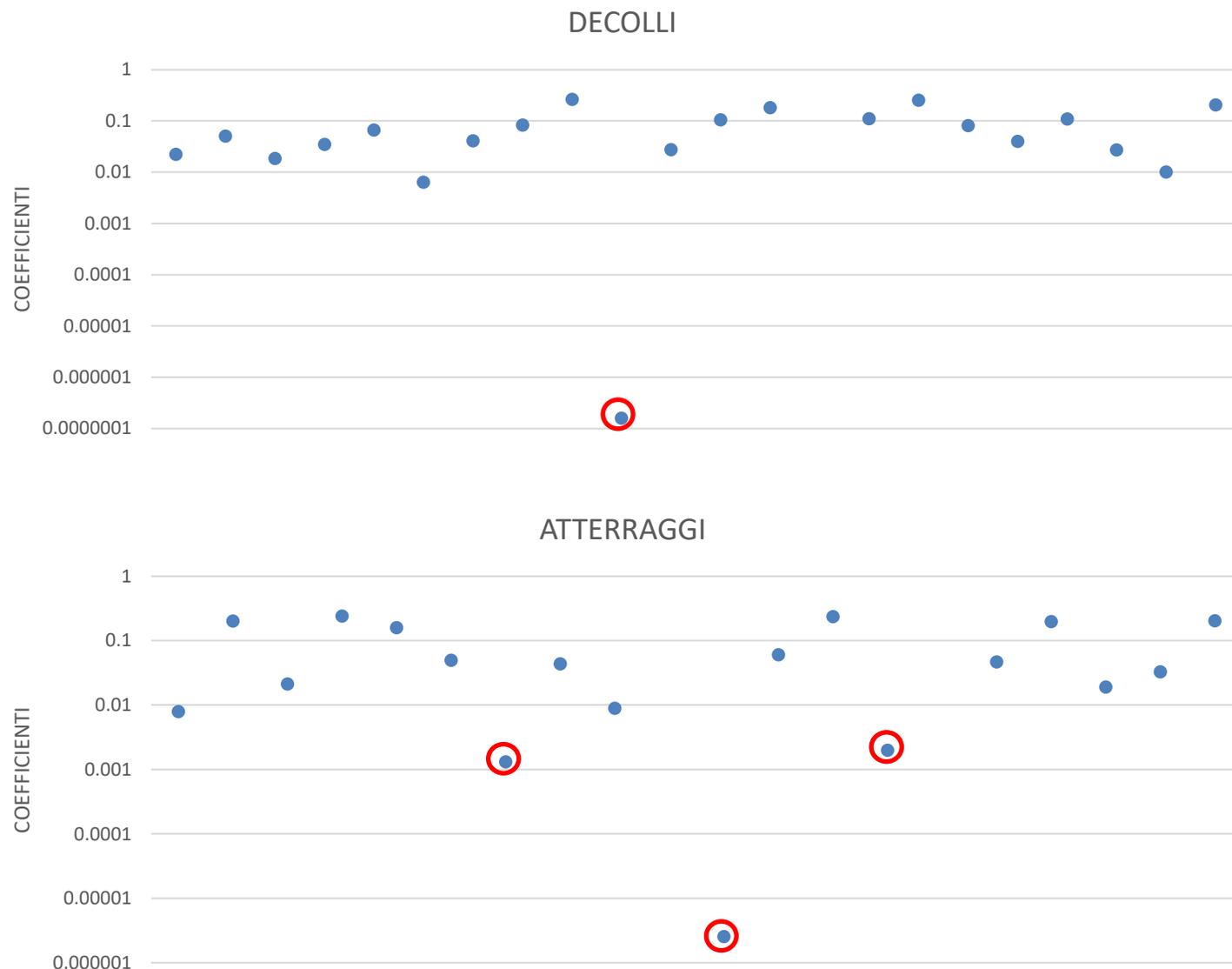
C_{spray} : picco di concentrazioni modellate

C_{misura} : picco di concentrazioni misurate

$$C_{\text{misura}} = C_{\text{picco}} - C_{\text{fondo}}$$

Si rimuove il contributo del fondo ambientale dalle concentrazioni di picco misurate

Simulazione di un atterraggio delle ore 10:58



I coefficienti determinati simulando la fase di decollo variano nel range di un ordine di grandezza, escludendo gli **outliers** e i **casi in assenza di impatto da parte del modello**.

I coefficienti determinati simulando la fase di atterraggio variano in un range più ampio.

Il campione si riduce in questo modo a 20 casi per i decolli e 15 casi per gli atterraggi.

Sono stati calcolati valori medi e deviazioni standard dei coefficienti, separati per decolli e atterraggi

	Valore medio	Deviazione standard
atterraggi	0.102	0.091
decolli	0.091	0.080

Partendo dall'emissione normalizzata in input al modello, il fattore moltiplicativo calcolato porta ad un fattore di emissione medio per aeromobile in decollo/atterraggio pari a:

$$EF=1.04 \cdot 10^{16} \text{ particelle/secondo}$$

Il valore risulta abbastanza centrato rispetto a valori di letteratura, che indicano EF per aeromobili compresi in un range tra 10^{14} e 10^{17} p/(kg fuel), tenendo conto che un aeromobile consuma circa 1 (kg fuel)/s

Si veda ad esempio:

Shirmohammadi, F.; Sowlat, M. H.; Hasheminassab, S.; Saffari, A.; Ban-Weiss, G.; Sioutas, C. Emission rates of particle number, mass and black carbon by the Los Angeles International Airport (LAX) and its impact on air quality in Los Angeles. Atmos. Environ. 2017, 151, 82–93.

- Si considera che presso la stazione del sedime aeroportuale gli aeromobili siano l'unica sorgente responsabile delle concentrazioni di nanopolveri monitorate.
- Con il modello SPRAY è stato condotto uno studio ad elevata risoluzione spazio-temporale (25 metri – 1 minuto) per seguire la rapida evoluzione delle sorgenti indagate.
- In questo studio è stato stimato un **fattore emissivo medio degli aeromobili** ($EF=1.04 \cdot 10^{16}$ particelle/secondo), che rientra nei range riportati in letteratura. Questa attività è stata condotta accoppiando misure e modello considerando una dinamica emissiva molto dettagliata in un contesto circoscritto.