

Implementazione di un modello Micromixing in un codice di dispersione a particelle

Gianni Tinarelli, D. Barbero, R. Sozzi

ARIANET Srl Milano

Slide finale - presentazione alla IX Giornata ARIANET maggio 2022

E' in fase finale di sviluppo un'ulteriore opzione per il calcolo del fattore Peak-To-Mean in SPRAY3 che implementa un modello di micromixing.

.....

Struttura della presentazione

- 1. Inquadramento della modellazione della dispersione di odori nell'ambiente**
- 2. L'approccio Micromixing**
- 3. Risultati: confronti con i dati sperimentali a disposizione**
- 4. Considerazioni finali**

1. Inquadramento della modellazione della dispersione di odori nell'ambiente

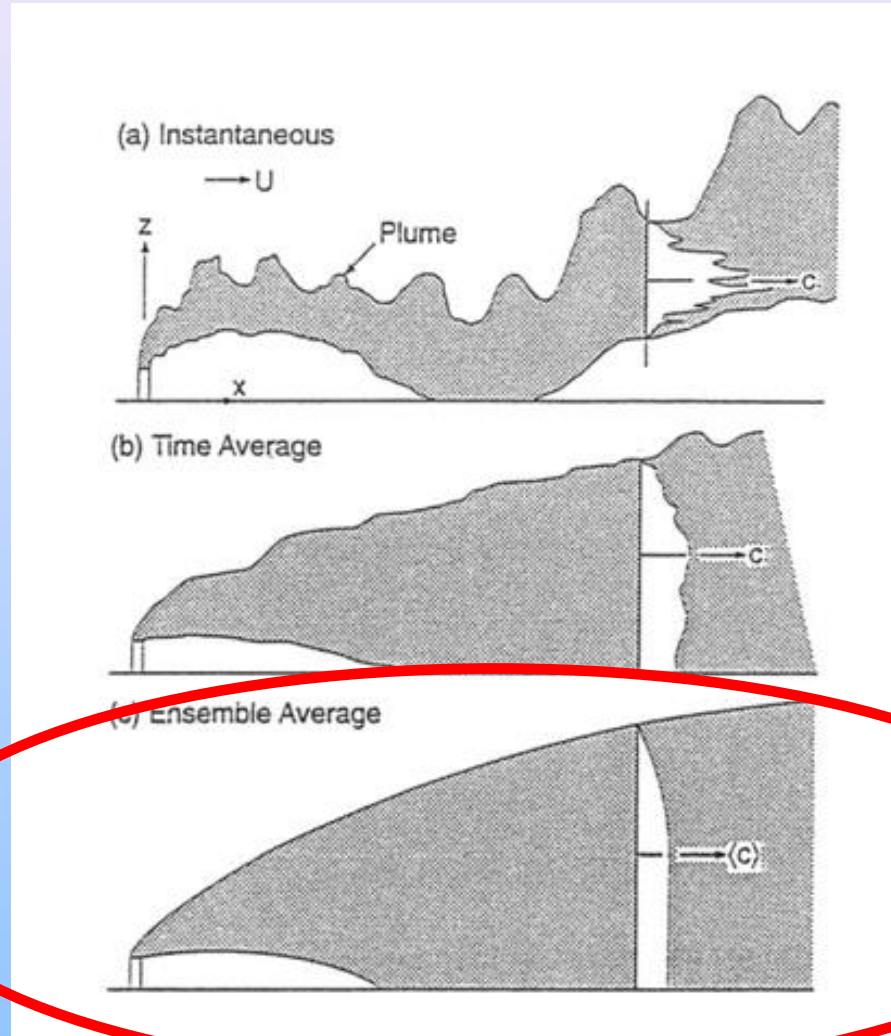
La molestia olfattiva è percepita da un individuo attraverso un **singolo atto respiratorio**, della durata di circa 5 secondi.

È quindi necessario **modellare i valori "istantanei" della concentrazione** (o almeno ad una frequenza dell'ordine di 5 secondi).

Questo tipo di quantità fisica non è direttamente simulata dai modelli comunemente utilizzati nel quadro di applicazioni nel campo degli odori.

1. Inquadramento della modellazione della dispersione di odori nell'ambiente

Vari modi di interpretare le concentrazioni



Questo è quanto tipicamente riproducono i modelli!!!

2. Il modello di Micromixing

Problema: calcolare $C = \langle C \rangle + c'$

- per fare questo occorre descrivere le interazioni che avvengono sia sulle scale della turbolenza (“macromixing”) che quelle delle interazioni molecolari (“micromixing”)
- le interazioni avvengono sia tra le parti di fluido che contengono inquinante che tra quelle che non lo contengono

2. Il modello di Micromixing

- Il metodo consiste principalmente nella stima dei valori di concentrazione di picco mediante il calcolo della varianza di concentrazione σ_c
- Una volta che la concentrazione media $\langle C \rangle$ e σ_c sono noti, supponendo che il comportamento statistico della concentrazione istantanea possa essere descritto da una distribuzione di due parametri, il valore di picco può essere stimato attraverso un percentile della distribuzione (tipicamente il 98°)
- Per calcolare σ_c (ed eventualmente momenti di ordine superiore per C) il «micromixing» non può essere trascurato

2. Il modello di Micromixing

In un LPDM standard «ensemble average», ogni particella computazionale è sottoposta alle seguenti equazioni, che coinvolgono la sua velocità U e la posizione X :

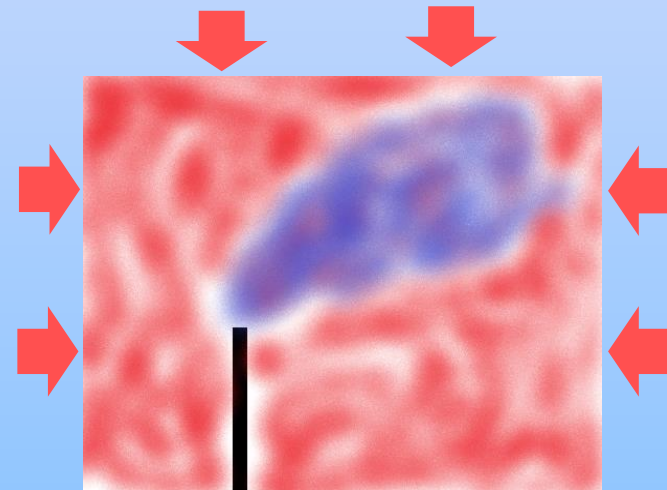
$$dU_i = a_i(\mathbf{X}, \mathbf{U}, t)dt + b_{ij}(\mathbf{X}, \mathbf{U}, t)d\zeta_j$$

$$dX_i = U_i dt$$

Con il metodo Micromixing (Cassiani M., 2013 Boundary-Layer Meteorology 146, 207-233) viene introdotta una terza equazione correlata alle particelle, che descrive la concentrazione c_p di ogni particella:

$$dc_p = \varphi(c_p, \mathbf{X}, \mathbf{U}, t)dt$$

Si suppone quindi che le «particelle» non conservino la loro concentrazione iniziale, come si suppone generalmente per una particella di un LPDM standard dove $dc_p/dt=0$.



2. Il modello di Micromixing

Si considera quindi un **modello semplificato**, che considera **solo le particelle emesse dalla sorgente**, denominato Volume Particle Approach, VPA (Cassiani M., Boundary-Layer Meteorology 146, 207-233).

→ Il processo di micromixing φ è simulato attraverso la **variazione nel tempo del volume** inizialmente assegnato a ciascuna particella emessa.

Durante una fase temporale dt , la concentrazione c_p si evolve in base a:

$$dc_p = \left(\frac{c_p - \langle C(\mathbf{X}_p, t) \rangle}{\tau_m} \right) dt$$

$$\tau_m = 0.75 k / \varepsilon$$

Dixon N.S., Tomlin A.S., 2007,
Atmospheric Environment,
41, 8114-8127

$$V_p(t + dt) = V_p(t) \left(\frac{c_p(t)}{c_p(t) + dc_p} \right)$$

2. Il modello di Micromixing

Una volta noti la concentrazione c_p e V_p è possibile calcolare la varianza:

$$\sigma_c = \sqrt{\langle c^2 \rangle - \langle c \rangle^2}$$

$$\langle c \rangle = \sum_{p=1}^N \frac{c_p V_p}{V}$$

$$\langle c^2 \rangle = \sum_{p=1}^N \frac{c_p^2 V_p}{V}$$

→ Il metodo è implementato in **SPRAY**, i picchi di concentrazione sono stimati come il **98° percentile** della **distribuzione gamma** definita dalla **concentrazione media $\langle C \rangle$** e dalla **varianza della concentrazione σ_c** calcolate dal modello

3. Risultati: confronti con dati sperimentali a disposizione

E' molto **difficile trovare esperimenti** relativi all'identificazione dei **valori di concentrazione massima per le applicazioni olfattive**.

Il problema dell'individuazione delle fluttuazioni di concentrazione (base per il calcolo dei picchi), è stato invece affrontato per **altre applicazioni (materiale tossico, materiale esplosivo)** e sono disponibili alcuni **set di dati sperimentali**.

Questi set di dati sono spesso legati ad **esperimenti controllati** (in particolare in serbatoi d'acqua per condizioni instabili) e forniscono informazioni numeriche su σ_c o, più spesso, circa l'intensità di fluttuazione $\sigma_c / \langle C \rangle$

→ Abbiamo concentrato l'attenzione sui **risultati a livello del suolo**.

3. Risultati: confronti con dati sperimentali a disposizione

Sono stati considerati 3 dataset:

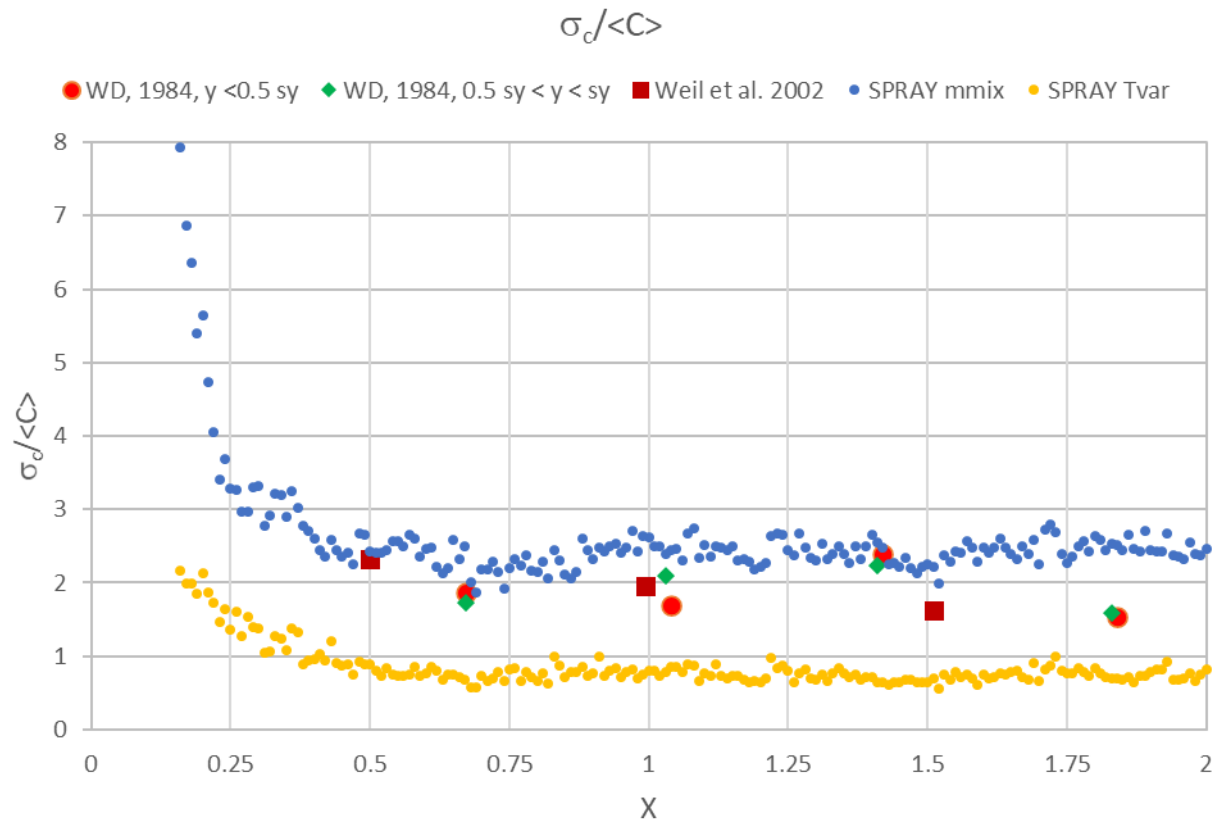
1. Willis and Deardorff and Weil **laboratory experiments** (Deardorff, J.W., Willis, G.E., 1984, Atmospheric Environment 18, 1297–1309, Weil, J.C.; Snyder, W.H., Lawson Jr., R.E., Shipman, M.S., 2002, Boundary Layer Meteorology, 102, 367–414)
2. Hibberd **laboratory experiment** (Hibberd, M.F., Sawford, B.L., 1994, Boundary-Layer Meteorology 67, 229–250, Hibberd, M.F., 2000, Preprints of 11th AMS Conference on the Applications of Air Pollution Meteorology, American Meteorological Society, Boston, pp. 18–23)
3. Lofstrom **real field experiment** (Lofstrom P., Jorgensen H., Lyck E., Mikkelsen T, 1994, Transactions on Ecology and the Environment vol 3, 571-579)

3. Risultati: confronti con dati sperimentali a disposizione

Willis and Dear

- Esperimento in lab
- Condizioni convettive (a livello del suolo)
- Sorgenti puntuali a
- Ampiamente utilizzati modelli di concentrazioni me
- Esteso anche a fluttuazioni di con

From Dear, J.W., Willis, G.F., 1984, Ground level



Sorgente puntuale a 0.22 Hmix.

Intensità di fluttuazione.

Dati al suolo, lungo la direzione trasversale del pennacchio.

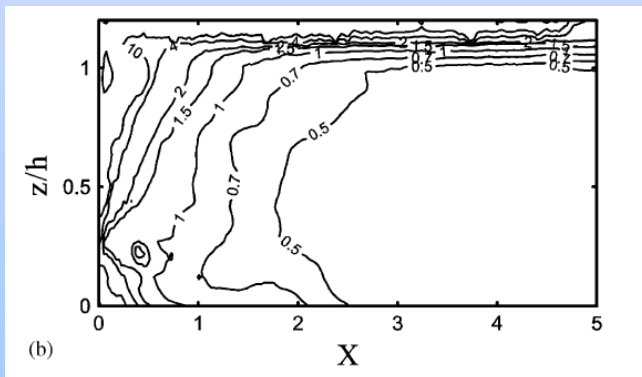


3. Risultati: confronti con dati sperimentali a disposizione

Hibberd

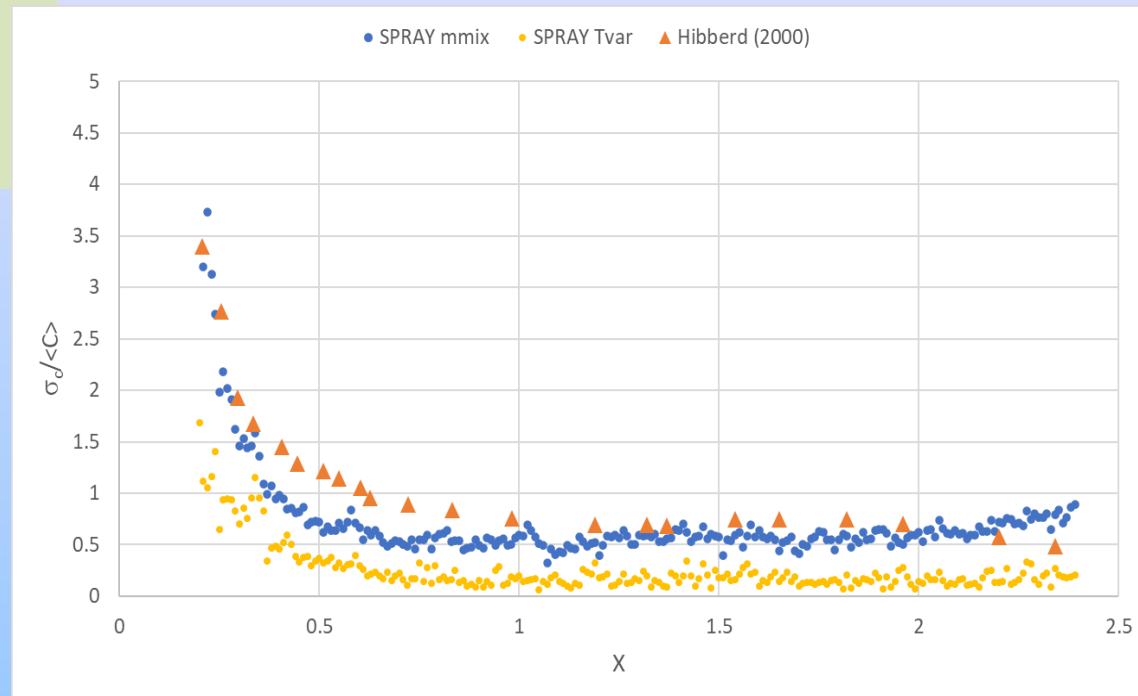
- Esperimento in laboratorio, vasca
- Condizioni convettive (salinità)
- Sorgente puntuale trasversale al vento ad altezza $0,24 H_{mix}$

Sorgente lineare a $0.24 H_{mix}$.
Intensità di fluttuazione.
Dati al suolo, lungo la centerline del pennacchio.



Contours of intensity of concentration fluctuations $\sigma_c / \langle C \rangle$ for a crosswind line source

From: Cassiani M., Franzese, P., Giostra U., 2003.,
Atmospheric environment, Volume 39, Issue 8,
March 2005, Pages 1471-1479

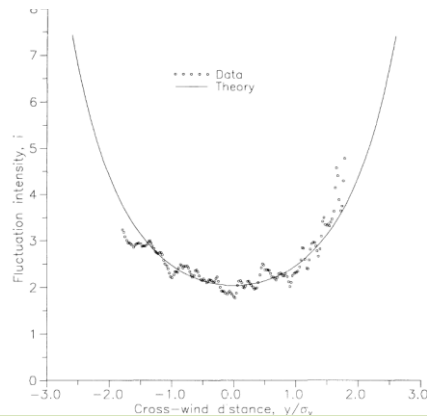


3. Risultati: confronti con dati sperimentali a disposizione

Lofstrom et al.

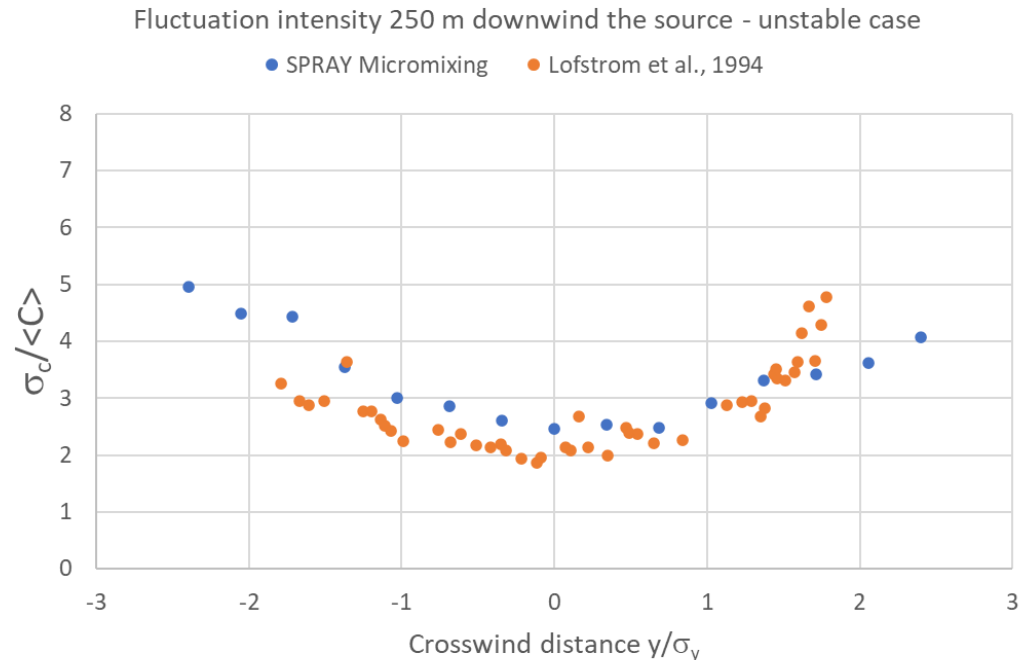
- Esperimento in campo, rilascio di SF6 in cima ad un palo di 21 m.
- Sistema mini-LIDAR backscatter misura profili di concentrazione trasversali al vento e intensità di concentrazione

Figure 2: An example of the cross-wind distribution of concentration intensity from surface 250 m down wind in unstable conditions.



Lofstrom P., Jorgensen H., Lyck E., Mikkelsen T, 1994, a concentration fluctuation model for decision-makers based on joint tracer and lidar measurements from a non-buoyant elevated plume, Transactions on Ecology and the Environment vol 3, 571-579.

Sorgente puntuale a 21 metri.
Intensità di fluttuazione.
Dati al suolo, lungo la direzione trasversale del pennacchio a 250 metri dalla sorgente.



4. Considerazioni finali

- con il metodo Micromixing si ottengono **risultati piuttosto incoraggianti**, rispetto ai dataset sperimentali considerati
- il metodo Micromixing mostra tuttavia una **forte sensibilità alle condizioni iniziali** (concentrazioni di particelle e volumi): errori sui valori iniziali possono propagare rapidamente portando a notevoli errori

Sviluppi futuri:

- sono necessari dati sperimentali specifici per gli odori
- sono previste ulteriori validazioni rispetto a dati sperimentali multi-sorgente (interferenze sulle statistiche di concentrazione)