



*Modelli di Dispersione
degli Inquinanti in Aria*

2011

Parte 4

**Modelli Lagrangiano
Puff**

*dott. Roberto Sozzi
dott. Andrea Bolignano*

La Filosofia di un Modello Lagrangiano Puff.

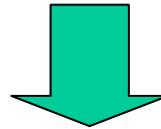
Ogni **emissione** (continua o discontinua) ad una quota z è **simulata** dall'emissione di una **sequenza di sbuffi (puff)**.

Ogni *puff*:

⇒ viene **trasportato dal campo di vento medio**, seguendo una **traiettoria $X(t)$** che dipende dal valore del vettore vento medio incontrato lungo il cammino;

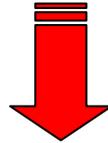
⇒ **incontra** nel movimento entro il PBL **vortici di dimensioni differenti**:

- i **più grandi** interagiscono col *puff* **perturbandone** la traiettoria,
- i **più piccoli** vengono **incorporati** dal *puff* che così **aumenta** progressivamente la propria dimensione e diminuisce la propria concentrazione.



Un Modello Lagrangiano *puff*
segue e studia il cammino di ciascun puff emesso
dalle differenti sorgenti attive nel dominio di
calcolo, calcolandone le relative traiettorie e gli
aumenti dimensionali.

Elemento caratteristico del modello



il *puff* (cioè una piccola nube di inquinante) che:

- possiede un *galleggiamento iniziale* dovuto alle condizioni di emissione, che il *puff* perde progressivamente nel tempo incorporando aria del PBL;
- possiede una *posizione caratteristica nello spazio*, data dal suo **baricentro**. La funzione che rappresenta la variazione nello spazio e nel tempo di tale punto è la *traiettoria* del *puff* che il modello ricostruisce sulla base del campo di vento medio.
- presenta una *struttura fisica caratteristica* che evolve nel tempo. Tale struttura si caratterizza per mezzo della *distribuzione della concentrazione di inquinante nel suo interno*

1. **All'emissione**: l'inquinante è concentrato completamente attorno al baricentro (idealmente in un punto) con concentrazione tendente all'infinito;

2. **Col tempo**: diminuisce la concentrazione nel baricentro e si trasferisce nello spazio vicino → si viene a generare un profilo di concentrazione con un massimo in corrispondenza del baricentro ed una diminuzione progressiva mano a mano che ci si allontana da esso;

3. **La variazione** del profilo spaziale della concentrazione di inquinante dipende dal tempo passato dal *puff* in aria e dal livello di turbolenza che incontra lungo la traiettoria.

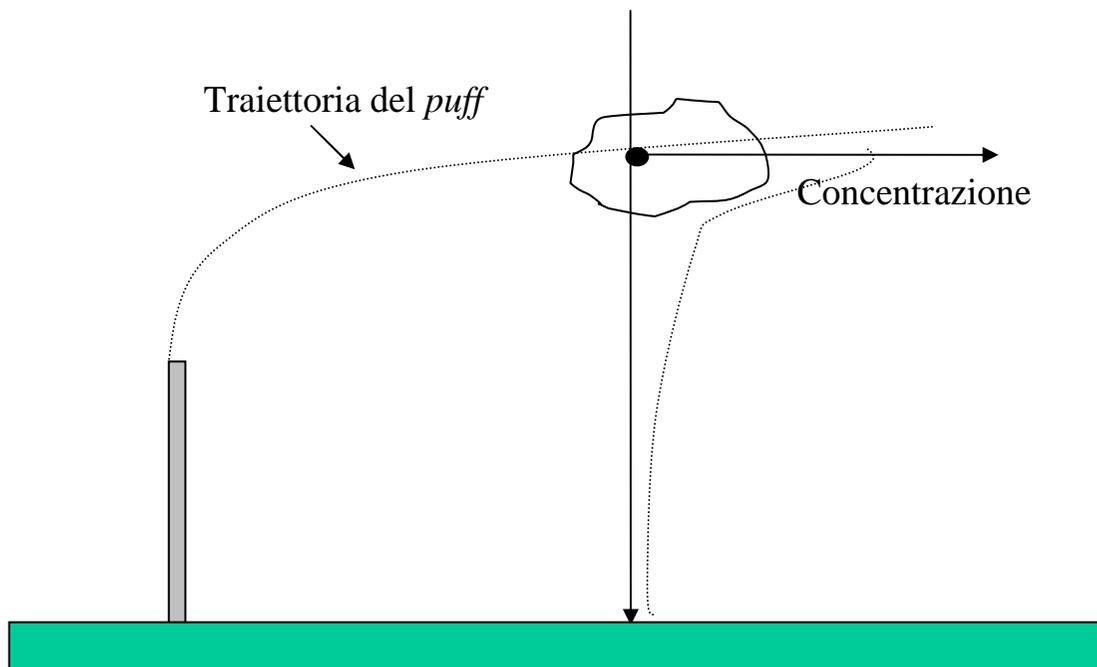
4. **Struttura fisica del puff** ⇒ **dimensione fisica infinita**



interazione del *puff* col suolo che **contribuisce** proporzionalmente alla:

- distanza tra baricentro e suolo
- quantità di inquinante contenuto nel singolo *puff*

alla concentrazione rilevata in un punto.



Struttura di un Modello Lagrangiano puff.

Un modello lagrangiano puff, dato che studia il trasporto e la dispersione di una nube di fumo, è un modello non stazionario.

- ⇒ considera istanti temporali successivi $t_i = t_{i-1} + \Delta t$.
L'intervallo Δt può essere più o meno grande a seconda della precisione richiesta al modello.
- ⇒ ad ogni t_i deve essere noto il campo di vento medio in tutto il dominio di calcolo e **l'insieme dei parametri che caratterizzano la turbolenza del PBL** (u_* , H_0 , L , z_i e le varianze delle componenti del vento).

⇒ ad ogni istante t_i da ciascuna sorgente attiva viene emesso un **numero di puff proporzionale al tasso di emissione della sorgente:**

- ogni ***puff*** contiene una quantità di inquinante dQ
- ogni ***puff*** emesso è dotato di una velocità ascensionale dipendente dalle caratteristiche fisiche dell'emissione (temperatura e velocità dei fumi, ecc.).

⇒ ad ogni istante t_i il modello considera un *puff* emesso in precedenza; se le coordinate del baricentro sono $x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1}$ il modello calcola il **nuovo valore (x_i, y_i, z_i) delle coordinate** in funzione:

- del vettore vento caratteristico di questo punto dello spazio
- e della velocità ascensionale del puff in continua e progressiva diminuzione col passare del tempo.

⇒ per tener conto del galleggiamento posseduto dal *puff* all'emissione si possono usare le relazioni di plume rise definite in precedenza per i modelli stazionari.

⇒ Le relazioni per la **nuova posizione del baricentro** del *puff* (cioè il nuovo punto della sua **traiettoria**) sono date da:

$$X_i = X_{i-1} + \bar{u}(X_i)\Delta T$$

$$Y_i = Y_{i-1} + \bar{v}(X_i)\Delta T$$

$$Z_i = Z_{i-1} + \bar{w}(X_i)\Delta T$$

Queste relazioni sono semplificate e l'errore intrinseco diminuisce con il diminuire del passo temporale Δt .

⇒ **Ad ogni istante t_i** il modello calcola il **contributo** di ciascun *puff* alla **concentrazione totale** di un inquinante in un punto dello spazio (soprattutto al suolo)



Per fare ciò, spesso si usa una delle soluzioni analitiche dell'equazione euleriana della dispersione di un inquinante, in particolare la soluzione base puff.

Se si considera:

- un generico **puff k**
- che contiene una quantità **dQ** di inquinante,

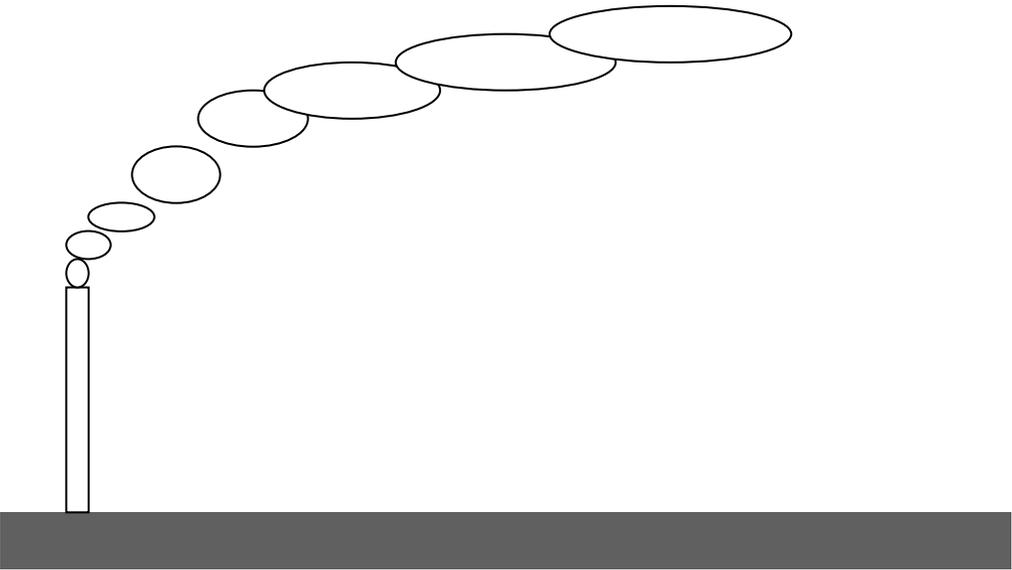
la concentrazione al suolo d'inquinante in un punto dello spazio e nel generico intervallo di tempo Δt è:

$$C_k(x, y, z) = \frac{dQ}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \cdot \exp\left[-\frac{d_a^2}{2\sigma_x^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{d_c^2}{2\sigma_y^2}\right] \cdot F_z$$
$$F_z = \frac{1}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z} \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+h_m}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-h_m}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

che, quando $\sigma_z > z_i$, si modifica come

$$C_k(x, y, z) = \frac{dQ}{2\pi\sigma_x\sigma_y z_i} \cdot \exp\left[-\frac{d_a^2}{2\sigma_x^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{d_c^2}{2\sigma_y^2}\right] \cdot$$

- σ_x = **deviazione standard della distribuzione gaussiana in direzione sottovento**
- σ_y = **deviazione standard della distribuzione gaussiana in direzione trasversale**
- σ_z = **deviazione standard verticale della distribuzione gaussiana**



In queste relazioni:

- d_a = distanza sottovento tra il baricentro del puff ed il punto dello spazio

d_c = distanza tra il baricentro del puff ed il punto dello spazio nella direzione trasversale

- h_m = quota rispetto al suolo del baricentro.

La **concentrazione totale al suolo** in un punto ed istante generico sarà quindi alla **somma dei contributi di ciascun puff** presente nel dominio di calcolo nell'intervallo temporale Δt , cioè:

$$C_{tot} = \sum_{k=1}^M dC_k$$

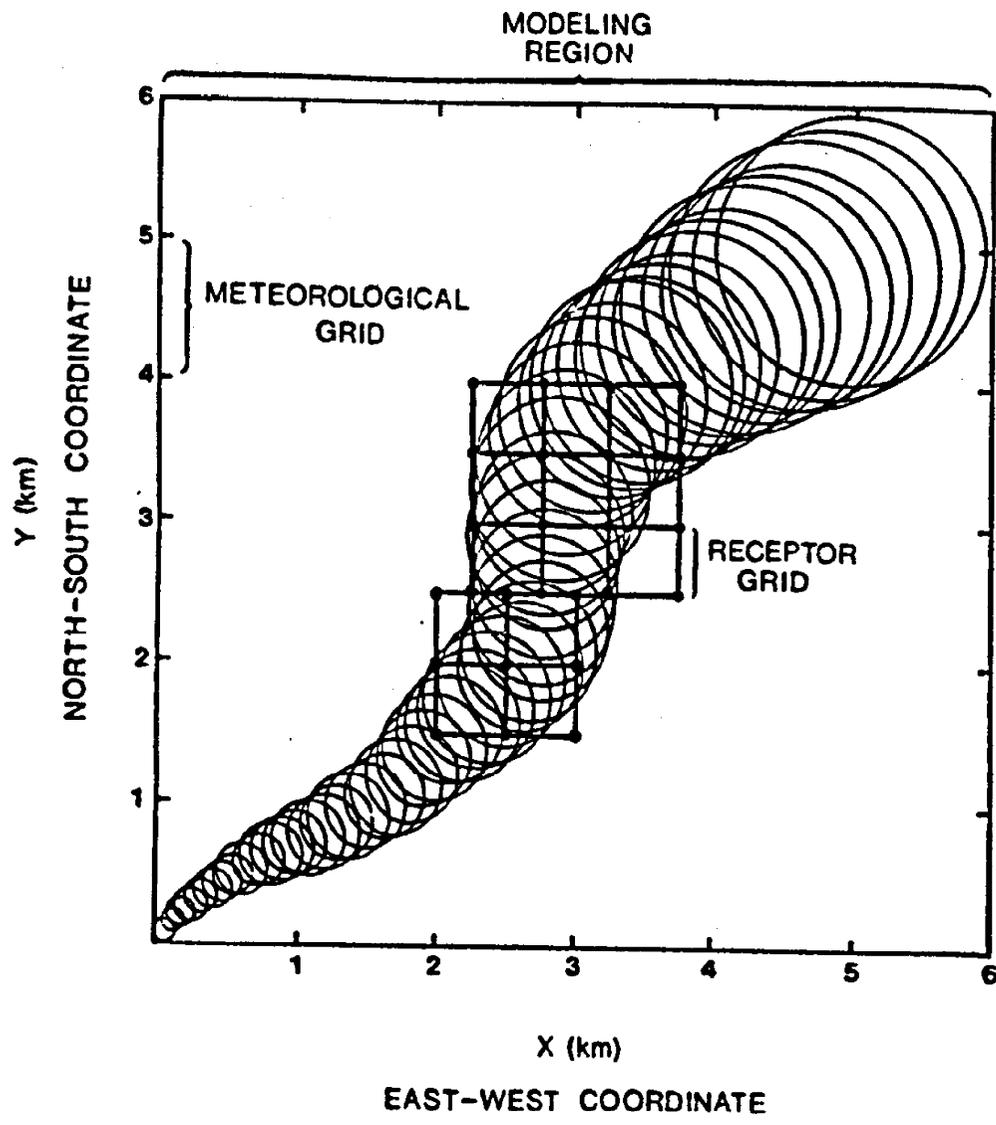
Le deviazioni standard presenti possono essere determinate in modi differenti. Una metodologia molto usata è:

- normalmente si pone $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_r$
- se t è l'**età** del *puff*, per la stima di σ_r si può usare la relazione:

$$\sigma_r(t) = \sigma_v \cdot t \cdot f_y$$
$$f_y = [1 + 0.9(t/1000)^{1/2}]^{-1}$$

e per σ_z la relazione

$$\sigma_z(t) = \sigma_w \cdot t \cdot f_z$$
$$f_z = \begin{cases} [1 + 0.9(t/500)^{1/2}]^{-1} & \text{se } L < 0 \\ [1 + 0.945(t/500)^{0.806}]^{-1} & \text{se } L \geq 0 \end{cases}$$



L'**informazione meteorologica** richiesta da un modello *puff* è:

- il **campo tridimensionale del vento medio** ad ogni istante considerato nella simulazione;
- il **campo tridimensionale delle standard deviation** σ_v e σ_w a ciascun istante;
- la **distribuzione superficiale** di u_* , L e H_0 ;
- la **distribuzione dell'altezza di rimescolamento nel dominio di calcolo.**

Per ottenere queste informazioni, normalmente si usa un **modello di PBL di tipo diagnostico**, più che un modello prognostico.

Per tener conto dell'orografia si può utilizzare anche in questo caso una trasformazione *terrain-following* della coordinata verticale.

Il modello puff si usa quando:

- ⇒ il dominio spaziale di calcolo è molto vasto (es. dell'ordine di 100 km di lato) dove il campo di vento necessariamente non è uniforme (studio a mesoscala) e le sorgenti emettono in modo non continuo. Tipico è l'uso di un modello lagrangiano *puff* per la determinazione della distribuzione di inquinante a mesoscala in una regione di grandi dimensioni.
- ⇒ è necessario ricostruire la dispersione degli inquinanti in un dominio dove il campo di vento e le caratteristiche del PBL sono abbastanza irregolari per la presenza di orografia, del mare o di città di grandi dimensioni.
- ⇒ quando l'informazione meteorologica non è sufficiente a consentire l'utilizzo di altri modelli non stazionari, come per esempio il modello lagrangiano a particelle.

Le **limitazioni** tipiche di un modello lagrangiano puff sono:

- ⇒ non è particolarmente adatto quando nel dominio di calcolo l'orografia è molto complessa,
- ⇒ quando si richiede una ricostruzione estremamente dettagliata della distribuzione di concentrazione di un inquinante, dato che normalmente si fa l'ipotesi che entro il puff la concentrazione sia distribuita in forma gaussiana.
- ⇒ e quando l'inquinante che si considera è molto reattivo e presenta reazioni fotochimiche.

Esempi di Modelli Puff

⇒ **US-EPA CALPUFF**

⇒ **SCIPUFF**

Bibliografia Essenziale Modelli Lagrangiani Puff

R. Sozzi (2003): La Micrometeorologia e la Dispersione degli Inquinanti in Aria (APAT- CTN-ACE)

J.H. Seinfeld, S.N. Pandis (2006): Atmospheric Chemistry and Physics 2° Ed – J.Wiley&Sons