

**APPENDICE E****FATTORE DI DISPERSIONE DEL CONTAMINANTE IN ATMOSFERA**

Per il calcolo del fattore di dispersione del contaminante in atmosfera tutti i testi di riferimento non prendono in esame tale via di migrazione. Eccezione fa il Manuale Unichim n. 196/1 che adotta il “modello gaussiano”. Si è ritenuto quindi opportuno prima descrivere tale modello, per poi passare all’analisi di quanto proposto dal manuale Unichim n.196/1.

**E.1 Modello per il calcolo di ADF (Air Dispersion Factor)**

Come è noto, il modello gaussiano appartiene alla famiglia dei modelli analitici, così chiamati perché basati sull’integrazione, in condizioni semplificate, dell’equazione generale di trasporto e dispersione:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (\text{E.1})$$

dove  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$  sono le componenti del tensore della diffusività turbolenta e  $u$ ,  $v$ , e  $w$  sono le componenti della velocità del vento rispettivamente lungo le direzioni  $x$ ,  $y$  e  $z$ .

Le ipotesi principali di questo modello sono: fluido incompressibile, assenza di trasformazioni chimiche e trascurabilità dei fenomeni di diffusione molecolare.

Ulteriori ipotesi sono:

1. Processo stazionario:  $\frac{\partial C}{\partial t} = 0$
2. Presenza di terreno piano
3. Velocità del vento costante e agente solo in direzione  $x$ :  $u=\text{cost}$ ,  $v=w=0$
4. Nella direzione  $x$  del moto medio, il trasporto di inquinante dovuto alla turbolenza è trascurabile rispetto a quello dovuto al vento:  $u \frac{\partial C}{\partial x} \gg \frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial C}{\partial x} \right)$
5. Flusso turbolento omogeneo e stazionario  $K_{xx}=K_{yy}=K_{zz}=\text{cost}$
6. Emissione stazionaria da sorgente puntiforme posta ad una quota  $h$  al di sopra del piano campagna:  $x_s=y_s=0$  e  $z_s=h$ .

L'equazione della dispersione di un inquinante in atmosfera, secondo il modello gaussiano, è :

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_z\sigma_y U_{air}} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{(z - z_s)^2}{2\sigma_z^2}\right] + C_f \quad (E.2)$$

dove  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  sono i coefficienti di dispersione:

$$\sigma_y^2 = \frac{2K_{yy}x}{U_{air}} \quad ; \quad \sigma_z^2 = \frac{2K_{zz}x}{U_{air}} \quad (E.3)$$

e Q è la quantità di inquinante emessa dalla sorgente nell'unità di tempo:

$$Q = \frac{U_{air} \cdot \delta_{air} \cdot A}{L} \quad (E.4)$$

in cui L indica la lunghezza della sorgente di emissione lungo la direzione del vento e A l'area della sezione trasversale, calcolata come:  $A = S'_w \times \delta_{air}$ .

Per tener conto della presenza del terreno che produce un effetto di riflessione si introduce una sorgente virtuale speculare alla prima; pertanto ponendo  $z_s = H_e$ , che è l'altezza effettiva della sorgente, la concentrazione media è data da:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_z\sigma_y U_{air}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[ \exp\left(-\frac{(z - H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] + C_f \quad (E.5)$$

## E.2 Analisi delle equazioni (TESTI DI RIFERIMENTO)

Il manuale UNICHIM 196/1 propone per l'analisi della dispersione in atmosfera la seguente equazione:

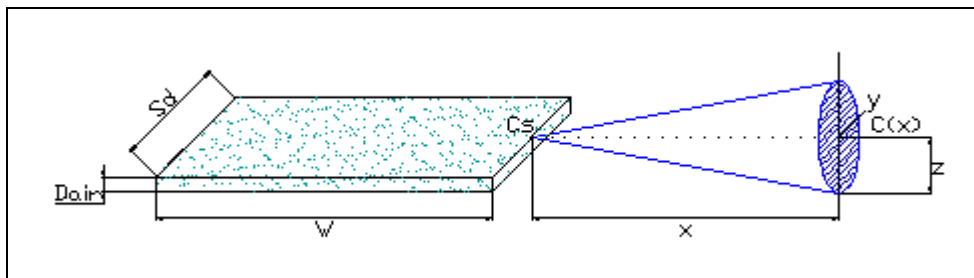
$$ADF = \frac{Q}{2\pi\sigma_z\sigma_y U_{air}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left[ \exp\left(-\frac{(z - \delta_{air})^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z + \delta_{air})^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (E.6)$$

L'equazione proposta stima la concentrazione C(x) a meno del fattore di proporzionalità  $C_s$ .

Si ritiene opportuno evidenziare che l'origine del sistema di riferimento considerato è posto ad una quota corrispondente al piano campagna (figura E.1).

Nella figura E.1 viene riportato uno schema illustrante i fenomeni studiati nell'equazione:

**Fig.E.1- Meccanismo di dispersione in atmosfer**



I restanti test di riferimento non prendono in considerazione tale via di migrazione del contaminante.

Si riporta in Tabella E.1 una sintesi dei criteri di calcolo del fattore di dispersione di un inquinante in atmosfera (ADF) per ciascuno dei test adottati quale riferimento di base.

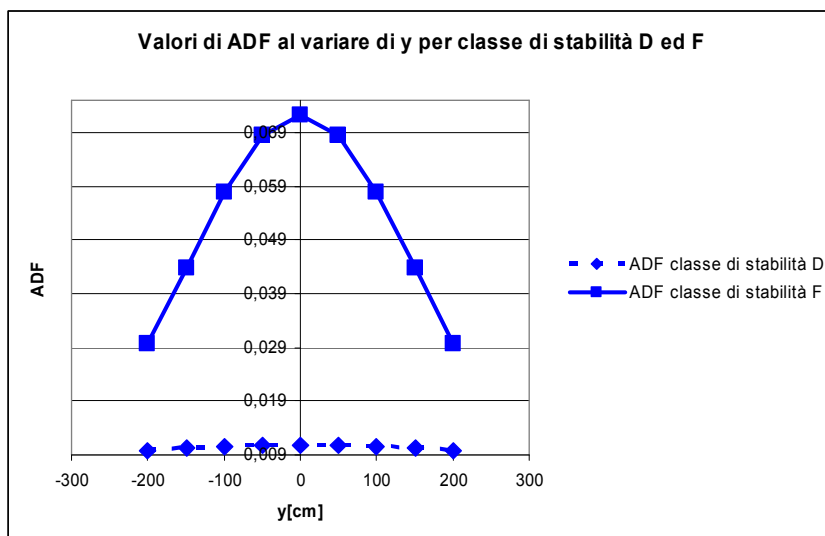
**Tab. E.1 – Testi di riferimento: calcolo del Fattore di Diffusione in Atmosfera (ADF)**

	ASTM 1739-95	PS 104-98	UNICHIM n.196/1 2002	Concawe report n.2/97	EPA - SSG	RAGS
<b>ADF</b>			<b>X</b>			

E' stata applicata l'equazione ADF, variando y e z. Si sono scelti i valori di default per W (lunghezza della sorgente nella direzione prevalente del vento), A (area trasversale della sorgente alla direzione prevalente del vento) e  $\delta_{air}$  (altezza della zona di miscelazione). Per quanto riguarda le classi di stabilità, si è deciso di conformarsi alle classi di stabilità prescelte nelle misure che vengono effettuate negli impianti industriali ad alto rischio. Si sono assunte pertanto la classe D, con velocità del vento di 500cm/s, poiché è stata considerata la classe che si verifica con più probabilità; la classe F, con velocità del vento di 200 cm/s, poiché è una scelta estremamente conservativa.

Si riportano a seguito i grafici con tali studi:

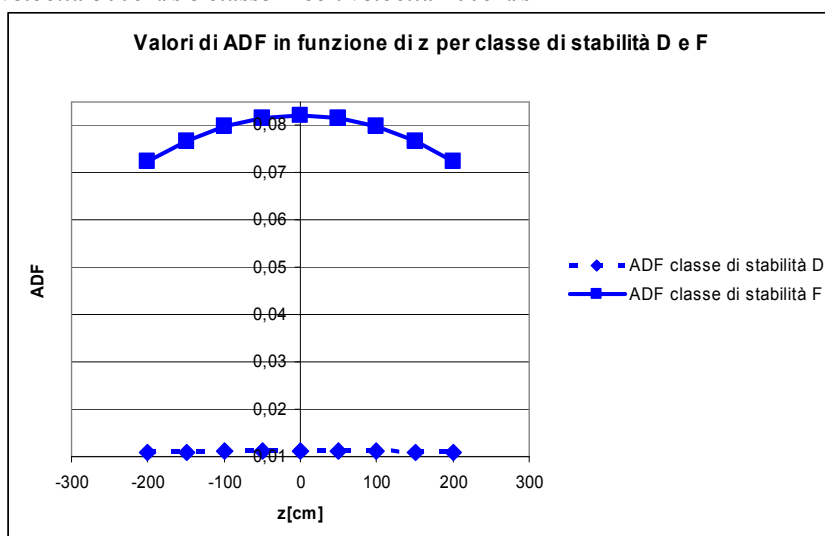
**Fig.E.2 - Valori di ADF in funzione di y per classe di stabilità D con velocità 500cm/s e classe F con velocità 200cm/s**



Da tale grafico si può osservare che l'andamento dell'equazione ADF, al variare di y, è una curva gaussiana centrata nell'origine. Infatti l'equazione sia per  $y > 0$  sia per  $y < 0$  decresce, mentre ha un massimo per  $y = 0$ . Pertanto facendo ipotesi conservative a vantaggio di sicurezza porremo  $y = 0$ . Ciò equivale a porre il ricettore off-site lungo la direzione principale del vento, rispetto alla sorgente, per tutta la durata del periodo di esposizione.

Si è inoltre studiata la funzione per valori di  $-\delta_{air} \leq z \leq \delta_{air}$  (figura E.3).

**Fig.E.3 - Valori di ADF in funzione di z per classe di stabilità D con velocità 500cm/s e classe F con velocità 200cm/s**



Si osserva che per  $z=0$  l'equazione ADF assume il valore massimo, mentre decresce per  $z>0$  e  $z<0$ ; anche in questo caso si è in presenza di una curva gaussiana.

In particolare, si ricorda che porre  $z=0$ , equivale a mettere il recettore ad una quota corrispondente alla superficie del suolo. Nonostante rappresenti una situazione poco realistica ponendosi sotto ipotesi conservative, si pone  $z=0$ .

Da tali grafici è anche possibile osservare che, come era stato previsto, la curva con classe di stabilità D è più bassa di quella con classe di stabilità F in quanto questa ultima è più conservativa e quindi fornisce valori di ADF più alti.

Adottando le ipotesi precedenti, l'equazione ADF si modifica nel seguente modo:

$$\frac{C(x)}{C_s} = \frac{Q}{2\pi \cdot U_{air} \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z} \cdot \left[ 2 \cdot \exp\left(-\frac{(\delta_{air})^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (E.7)$$

### E.3 Analisi delle equazioni (SOFTWARE)

I software RBCA Toolkit ver. 2.0 e BP-RISC 4.0 adottano, per l'analisi della dispersione in atmosfera, l'equazione proposta dal Manuale Unichim n. 196/1.

I software GIUDITTA ver. 3.1 e ROME ver. 2.1 non prendono in esame tale via di migrazione del contaminante.

Si riporta in Tabella E.2 una sintesi dei criteri di calcolo del fattore di dispersione di un inquinante in atmosfera (ADF) per ciascuno dei software esaminati:

**Tab. E.2 – Software esaminati: calcolo del fattore di diffusione in atmosfera**

	RBCA Tool Kit ver. 2.0	BP-RISC ver. 4.0 (livello 1)	ROME ver. 2.1	GIUDITTA ver.3.1
<b>ADF</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		