

ANALISI DI RISCHIO PER SITI CONTAMINATI:

nota sul calcolo della concentrazione in atmosfera

a valle di aree di elevate dimensioni

Redatto per Syndial S.p.A
contratto 5100003814

Redatto da
Prof. ing. M. Nocentini

settembre 2010



ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CHIMICA, MINERARIA
E TECNOLOGIE AMBIENTALI

1. INTRODUZIONE	3
2. CALCOLO DELLA CONCENTRAZIONE.....	4
3. CONCLUSIONI.....	9



1. Introduzione

La valutazione della concentrazione a valle (sottovento) di aree impattate da contaminanti in grado di volatilizzare dal terreno o dalla falda, viene usualmente effettuata assumendo che tutto il flusso emesso dall'area sorgente della contaminazione, sia mantenuto entro un'altezza di 2 m dal piano campagna (*box model* con altezza di miscelazione pari a 2 m). Tale ipotesi non è ragionevole per aree di dimensioni elevate in quanto per elevate distanze (sottovento) dalla sorgente il pennacchio dovuto all'emissione può interessare, per gli effetti della dispersione atmosferica, altezze molto superiori. Si ritiene pertanto di poter applicare il *box model* usuale fino a dimensioni della sorgente pari a circa 50 o 100 m mentre il suo utilizzo per dimensioni superiori comporta sovrastime eccessive della concentrazione a valle della sorgente.

Una stima più attendibile della concentrazione sul bordo di valle (punto di maggiore concentrazione) di un'area contaminata di elevate dimensioni, può essere facilmente effettuata considerando la dispersione atmosferica per le aree della sorgente che si trovano ad elevate distanze dal bordo di valle ed il semplice *box model* per l'area della sorgente più vicina a tale bordo.

Questo approccio è illustrato e quantificato al capitolo successivo dove, con scelta conservativa, viene considerata una sorgente di dimensione in direzione perpendicolare al vento infinita. Le valutazioni sono effettuate per sorgenti che hanno dimensioni in direzione parallela alla direzione del vento da 100 a 4000 m.

I risultati finali sono forniti in modo comparato rispetto a quelli ottenibili con il classico *box model* di altezza pari a 2 m; ciò permette di ottenere un valore equivalente per l'altezza di miscelazione da utilizzare nel *box model* e cioè l'altezza che deve essere usata nel *box model*, al posto del valore standard di 2 m, al fine di ottenere con tale modello il valore corretto della concentrazione.



2. Calcolo della concentrazione

Si richiama l'equazione del modello di dispersione gaussiano per sorgente puntuale posta ad altezza h con contributo della riflessione dal terreno (UNICHIM, CM-APAT, etc.):

$$C(x, y, z) = \frac{Q_m}{2\pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot u} \exp\left(-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_y^2}\right) \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) \right]$$

C = Concentrazione nel punto di coordinate x, y, z [mg/m³]

Q_m = Portata in massa della sorgente puntuale [mg/s]

σ_y, σ_z = Dispersioni lungo y e z [m]

u = Velocità dell'aria [m/s]

L'analoga relazione per sorgente lineare di lunghezza infinita è ottenibile dalla precedente per somma dei contributi di infinite sorgenti puntuali allineate. Per sorgente lineare posta perpendicolarmente alla direzione del vento si ottiene:

$$C(x, z) = \frac{Q'_m}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_z \cdot u} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) \right]$$

dove:

Q'_m = Portata in massa della sorgente lineare per unità di lunghezza [mg/(m·s)]

Per sorgente posta ad altezza del suolo ($h = 0$) e ponendo il recettore ad altezza $z = 0$ ⁽¹⁾ si ottiene:

¹ Ipotesi conservativa. L'utilizzo di valori di altezza del recettore più appropriati, ad esempio 2 m, non comporta variazioni significative se si escludono punti molto prossimi alla sorgente (dove si avrebbero concentrazioni inferiori a quelle qui valutate).



$$C(x) = \sqrt{2/\pi} \frac{Q'_m}{\sigma_z \cdot u}$$

dove Q'_m , per emissioni dal suolo, è valutabile da:

$$Q'_m = J \cdot W$$

con:

J = flusso di massa emesso dalla zona contaminata (portata in massa per unità di superficie) [$\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]

W = larghezza della sorgente lineare (striscia di lunghezza infinita) in direzione del vento [m]

Da notare che il flusso J è ottenibile dagli usuali modelli di volatilizzazione (da falda, terreno superficiale e terreno profondo).

La concentrazione a valle di un'area estesa può essere valutata mediante la sommatoria dei contributi di infinite sorgenti lineari adiacenti di larghezza dx i cui contributi alla concentrazione al POE sono:

$$dC(x) = \sqrt{2/\pi} \frac{J}{\sigma_z \cdot u} \cdot dx$$

Tale valutazione viene effettuata per le zone distanti dal bordo sottovento (POE) mentre per l'area più vicina al bordo di cui sopra e cioè quella entro la distanza di $W_{box} = 50$ m (ved. Fig. 1), si applica il modello usuale, noto come *box model*, secondo il quale tutto il flusso emesso dalla superficie del terreno rimane entro un'altezza di 2 m da piano campagna.

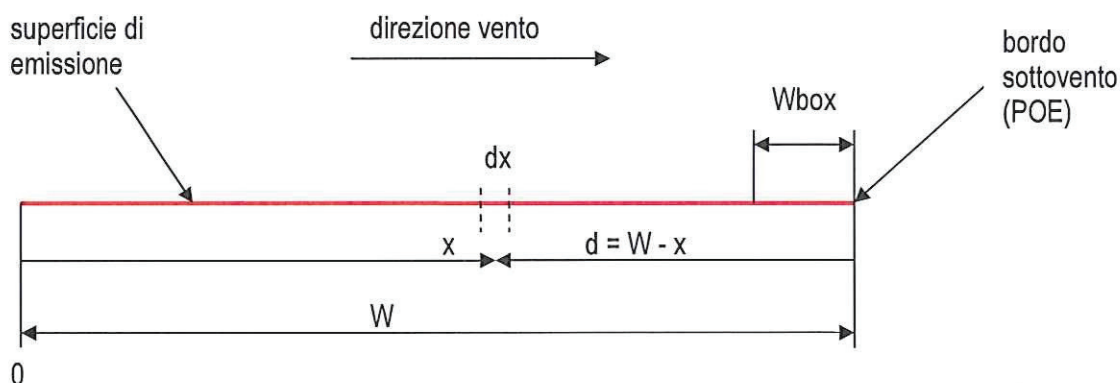


Fig. 1. Schematizzazione della sorgente con indicati i parametri significativi.

Pertanto, il contributo delle zone più distanti dal bordo sottovento ($0 < x < W - W_{box}$) è:

$$C_{dis} = \sqrt{2/\pi} \cdot \frac{J}{u} \cdot \int_0^{W-W_{box}} \frac{1}{\sigma_z(d)} dx$$

a cui si deve aggiungere il contributo della zona di lunghezza W_{box} alla quale si applica il box model e cioè:

$$C_{W_{box}} = \frac{J \cdot W_{box}}{u \cdot \delta_{air}}$$

Pertanto la concentrazione nel bordo sottovento (punto di massima concentrazione) è:

$$C = C_{W_{box}} + C_{dis} = \frac{J \cdot W_{box}}{u \cdot \delta_{air}} + \sqrt{2/\pi} \cdot \frac{J}{u} \cdot \int_0^{W-W_{box}} \frac{1}{\sigma_z} dx$$

Rapportando tale concentrazione a quella ottenibile dall'applicazione del box model, con altezza δ_{air} , all'intera area di dimensione W e cioè:



ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CHIMICA, MINERARIA
E TECNOLOGIE AMBIENTALI

$$C^{Box, h=\delta_{air}} = \frac{J \cdot W}{u \cdot \delta_{air}}$$

si ottiene il fattore di riduzione da applicare alle valutazioni effettuate utilizzando un unico box model di altezza δ_{air} , tale fattore è:

$$R = C / C^{Box, h=\delta_{air}} = \frac{W_{box}}{W} + \sqrt{2/\pi} \cdot \frac{\delta_{air}}{W} \cdot \int_0^{W-W_{box}} \frac{1}{\sigma_z} dx$$

Da tale parametro si può facilmente ottenere l'altezza da adottare ($\delta_{air, equiv}$) qualora si utilizzi un unico "Box Model" per l'intera sorgente, al fine di ottenere il valore appropriato della concentrazione in aria a valle della sorgente stessa:

$$\delta_{air, equiv} = 2 \text{ m} / R$$

Adottando per σ_z (Pasquill):

$$\sigma_z = \frac{k_4 \cdot d}{[1 + (d/k_2)]^{k_5}}$$

con i parametri della Classe di Stabilità secondo Pasquill "D":

$$k_4 = 0,0475$$

$$k_2 = 707 \text{ m}$$

$$k_5 = 0,465$$

si ottengono per R e $\delta_{air, equiv}$ i valori riportati in Tab. 1.



Concentrazione in atmosfera a valle di aree di grandi dimensioni: confronto con la concentrazione ottenibile mediante l'uso del "Box Model" di altezza pari a 2 m e valutazione dell'altezza del "Box Model" equivalente CLASSE DI STABILITA' PASQUILL: D		
Dimensione della sorgente in direzione del vento	Rapporto tra la concentrazione a valle della sorgente e la stessa concentrazione valutata con un "Box Model" di altezza $\delta = 2$ m	Altezza da utilizzare nel "Box Model" per ottenere il valore appropriato della concentrazione a valle della sorgente
W	R	$\delta - air, equiv$
m	-	m
50	1	2
100	0,745	2,7
200	0,499	4,0
300	0,385	5,2
400	0,318	6,3
500	0,273	7,3
600	0,241	8,3
700	0,217	9,2
800	0,197	10,1
900	0,182	11,0
1000	0,169	11,8
1200	0,149	13,5
1400	0,133	15,0
1600	0,121	16,5
1800	0,112	17,9
2000	0,104	19,2
2200	0,097	20,6
2400	0,092	21,9
2600	0,087	23,1
2800	0,082	24,3
3000	0,078	25,5
3200	0,075	26,7
3400	0,072	27,8
3600	0,069	28,9
3800	0,067	30,0
4000	0,064	31,1

Tab. 1. Valori di riferimento per la valutazione della concentrazione in atmosfera a valle di aree di grandi dimensioni - Classe di stabilità secondo Pasquill "D".



3. Conclusioni

La valutazione della concentrazione a valle (sottovento) di aree impattate da contaminanti in grado di volatilizzare dal terreno o dalla falda, può essere effettuata adottando il classico box model ma utilizzando come altezza di miscelazione i valori $\delta_{\text{air,equiv}}$ di Tab. 1.

Si evidenzia che i valori di Tab. 1 sono calcolati per la classe di stabilità secondo Pasquill "D" e che la scelta della classe di stabilità è da effettuare sulla base delle caratteristiche specifiche del sito.

Nelle valutazioni, per semplicità, è stata considerata una dimensione della sorgente in direzione perpendicolare al vento infinita, le valutazioni sono pertanto cautelative.

Prof. ing. Massimo Nocentini