



MMSWinDimula

Equazioni del modello

Aggiornamento 09/10/2015

Sommarario

1.	Sistema di coordinate	4
1.1.	Calcolo delle distanze	4
2.	Calcolo del profilo verticale del vento	5
2.1.	Calcolo del vento alla quota H	5
3.	Modello Short Term per sorgenti puntiformi in presenza di vento	7
3.1.	Formula generale dell'equazione gaussiana	7
3.2.	Termine verticale	7
3.2.1.	Termine verticale in presenza di inversione in quota	8
3.2.2.	Termine verticale per diffusione di particolato	8
3.3.	Effetti della deposizione secca sull'equazione	9
3.4.	Effetti della deposizione umida sull'equazione (opzione avanzata)	9
3.5.	Calcolo del Plume Rise	10
3.5.1.	Definizione delle variabili	10
3.5.2.	Effetto scia del camino (Stack aerodynamic effect)	10
3.5.3.	Parametri utilizzati nei calcoli del plume rise	11
3.5.4.	Calcolo del sovrizzo dei fumi per atmosfera instabile o neutra	11
3.5.5.	Calcolo del sovrizzo dei fumi per atmosfera stabile	12
3.5.6.	Partial plume penetration (calcolo opzionale)	13
3.5.7.	Calcolo del sovrizzo a distanze minori della distanza alla quale si verifica il sovrizzo finale (opzionale)	14
3.6.	Coefficienti di Dispersione	15
3.6.1.	Formule di Briggs	16
3.6.2.	B.I.D - Buoyancy induced dispersion	17
3.7.	Building downwash	17
3.7.1.	Zona di esclusione dal calcolo	18
3.7.2.	Modello di Huber Snyder	18
3.7.2.1.	Modifica della SigmaZ per distanze inferiori a 10BH,W	18
3.7.2.2.	Modifica della SigmaY per distanze inferiori a 10BH,W	18
3.7.2.3.	Calcolo delle sigma per distanze superiori a 10BH,W	19
3.7.2.4.	Calcolo dei coefficienti BH e BW	19
3.7.3.	Modifica dell'altezza del camino secondo la formulazione semplificata di Briggs ..	19
3.8.	Termine di decadimento	19
3.8.1.	Termine di decadimento e deposizione umida	20
3.9.	Presenza di orografia	20
3.9.1.	Equazione utilizzata	21
3.9.2.	Modifica del termine verticale	21
3.9.3.	Fattore di correzione	21
4.	Modello Short Term per sorgenti areali in presenza di vento	23
4.1.	Il calcolo della dispersione verticale	23
4.2.	Il modello per $X < X_{star}$	23
4.3.	Il modello per le grandi distanze	24
4.4.	Calcolo interno alla sorgente	24
4.5.	Differenze tra sorgenti areali e sorgenti puntiformi	25
5.	Modello per le calme di vento	26
5.1.	Inquadramento	26

5.2.	Il modello CIRILLO POLI	26
5.2.1.	Valutazione dei coefficienti di dispersione	27
5.2.2.	Riflessioni in quota	28
5.2.3.	Il modello di Cirillo Poli ridotto	28
5.2.4.	Tabella riepilogativa del calcolo	30
5.3.	Trattamento delle condizioni di calma nel modello short term con sequenza di dati orari	31
5.4.	Sorgenti Areali	31
6.	Il modello di calcolo della deposizione	33
6.1.	Il calcolo della deposizione secche	33
6.2.	Il calcolo della deposizione umida	35
7.	Zone di esclusione dal calcolo	39
7.1.	Zone di esclusione dal calcolo	39
7.2.	Condizioni che impongono il valore 0 in tutto il dominio	39
7.3.	Condizioni che impongono il valore 0 in Recettori discreti	39
8.	Impostazioni avanzate	40
8.1.	Controllo dell'equazione gaussiana	40
8.1.1.	Approccio conservativo per il termine di riflessione in presenza di sedimentazione gravitazionale	40
8.1.2.	Considerazione del termine di decadimento	40
8.1.3.	Considerazione degli effetti della deposizione umida	40
8.1.4.	Utilizzo del gradual plume rise nel calcolo della B.I.D. (Buoyancy Induced Turbolence)	40
8.2.	Controllo degli effetti di downwash	41
8.2.1.	Calcolo dell'effetto scia del camino	41
8.2.2.	Utilizzo del modello di riduzione dell'altezza del camino in presenza di "Building Downwash"	41
8.2.3.	Utilizzo del modello di Huber Snyder per la modifica delle sigma di dispersione ...	41
8.2.4.	Calcolo del "gradual plume rise"	41
8.2.5.	Valutazione della penetrazione dei fumi nell'inversione in quota	41
8.3.	Impostazioni di Default	42
9.	Parametri generali del calcolo	43
9.1.	Tabelle per la valutazione dei parametri di dispersione in caso di vento	44
9.2.	Sorgenti puntiformi	47
9.3.	Sorgenti areali	47
10.	Riferimenti principali	49

1. Sistema di coordinate

Il sistema di coordinate utilizzate è un sistema cartesiano con l'asse x orientato da Ovest a Est e l'asse y orientato da Sud a Nord.

Le unità di misura sono espresse in metri, la posizione dei vari punti del reticolo cartesiano è espressa dall'equazione seguente:

$$x = x_0 + (i - 1) \cdot \Delta x \quad \text{Eq. 1-1}$$

dove x_0 rappresenta la posizione dell'origine del reticolo e i indica la i -esima cella. (analogamente per y)

1.1. Calcolo delle distanze

Durante il calcolo il sistema di coordinate viene ruotato per portare l'asse x a coincidere con la direzione del vento.

Le equazioni utilizzate sono le seguenti:

- modifica della direzione del vento :

$$dd = \frac{(270 - dirprov) \cdot \pi}{180} \quad \text{Eq. 1-2}$$

dove $dirprov$ è la direzione di provenienza del vento in gradi (secondo le convenzioni meteorologiche internazionali) inserita come dato di input.

- modifica della posizione della sorgente e del recettore :

$$\begin{aligned} x' &= x \cdot \cos(dd) + y \cdot \sin(dd) \\ y' &= y \cdot \cos(dd) - x \cdot \sin(dd) \end{aligned} \quad \text{Eq. 1-3}$$

- calcolo della distanza sottovento e della distanza perpendicolare alla direzione del vento di un recettore rispetto alla sorgente :

$$\begin{aligned} DX &= x'_R - x'_S \\ DY &= \text{abs}(y'_R - y'_S) \end{aligned} \quad \text{Eq. 1-4}$$

NOTA:

- Nel caso siano stati inseriti due valori per la direzione del vento a due quote diverse il modello utilizza la direzione relativa alla quota più vicina all'altezza efficace calcolata.

2. Calcolo del profilo verticale del vento

2.1. Calcolo del vento alla quota H

Teoricamente il vento che appare nella formulazione gaussiana dovrebbe essere inteso come valore medio sull'estensione del pennacchio.

Poiché i dati meteorologici di partenza sono generalmente disponibili al suolo si utilizza una legge esponenziale per trasportare l'intensità della velocità del vento alla quota desiderata, mantenendone comunque costante la direzione. Nel calcolo dell'altezza efficace si utilizza la velocità del vento riportata all'altezza fisica del camino; nel calcolo dell'equazione si utilizza il valore medio tra la velocità del vento riportata all'altezza fisica del camino e la velocità del vento riportata all'altezza efficace, cioè all'altezza effettiva del rilascio. Poiché in presenza di orografia questa altezza può essere inferiore all'altezza fisica del camino si considera comunque la velocità del vento calcolata all'altezza del camino come valore limite inferiore.

L'equazione utilizzata è la seguente:

$$u_{He} = u_{ref} \cdot \left(\frac{H_e - z_0}{z_{ref}} \right)^p$$

Eq. 2-1

dove:

u_{He} : velocità del vento alla quota desiderata

u_{ref} : velocità del vento misurata alla quota z_{ref}

H_e : quota di calcolo

z_0 : rugosità superficiale

p : esponente che dipende dalla classe di stabilità :

Classe di stabilità	di	Coeff. P
A		0.1
B		0.1
C		0.16
D		0.16
E		0.3
F		0.3

Nel caso in cui siano disponibili due set di misure a due quote diverse (z_2, z_1 con $z_2 > z_1$) l'esponente p viene calcolato utilizzando questa formula

$$p = \frac{\text{Log}\left(\frac{u_2}{u_1}\right)}{\text{Log}\left(\frac{z_2 - z_0}{z_1}\right)}$$

Eq. 2-2

Limiti:

- la velocità calcolata deve risultare comunque maggiore di u_{min} (default 1 m/sec)

- se l'altezza di calcolo e l'altezza della prima misura sono inferiori alla quota H_{min} si pone $u=u_1$
- l'altezza di calcolo è assunta comunque maggiore di H_{min} e minore di H_{max} (default 200 m) impostati nei parametri generali del calcolo
- se l'altezza di calcolo è inferiore alla quota della prima misura si pone $u=u_1$
- in presenza di due set di dati si assume come direzione del vento quella più vicina all'altezza del rilascio
- in caso di calma di vento si utilizza in diverso valore di u_{min} (default 0.5 m/s)

3. Modello Short Term per sorgenti puntiformi in presenza di vento

3.1. Formula generale dell'equazione gaussiana

L'equazione gaussiana che esprime la concentrazione per sorgenti puntiformi elevate con emissioni continue assume la seguente forma :

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi u \sigma(x)_y \sigma(x)_z} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma(x)_y^2}\right] \cdot V \cdot D$$

Eq. 3-1

dove :

Q : emissione di inquinante espresso come massa per unità di tempo

V : termine verticale (par. 3.2)

D : termine di decadimento (par. 3.8)

$\sigma_y(x)$, $\sigma_z(x)$: coefficienti di dispersione laterale e verticale (m)

u : velocità del vento alla quota del rilascio (m/s)

x : distanza sottovento tra la sorgente e il recettore rispetto alla direzione del vento (par. 1.1)

y : distanza perpendicolare alla direzione del vento tra l'asse del pennacchio e il recettore (par. 1.1)

z : quota del recettore rispetto al suolo

Tale equazione viene ricavata in base alle seguenti ipotesi:

- processo stazionario
- condizioni meteorologiche costanti
- trasporto turbolento lungo l'asse x trascurabile rispetto al trasporto per avvezione
- coefficienti di dispersione costanti in y e z
- emissione costante
- suolo riflettente

L'equazione Gaussiana non è applicabile in condizioni di calma di vento; per questo motivo si assume generalmente un valore minimo di 1 m/s per la velocità del vento.

NOTA:

- con questa formula generica è possibile calcolare C anche a quote superiori al suolo (“flagpole receptors”).

3.2. Termine verticale

La forma generale del termine verticale V è la seguente :

$$V = \exp\left(-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2}\right) + V_{inv}$$

Eq. 3-2

dove il secondo termine rappresenta l'effetto della riflessione del terreno e il termine V_{inv} rappresenta l'effetto delle riflessioni del plume causate dalla presenza di un' inversione in quota.

Il termine h assume inizialmente la seguente forma:

$$h = H_{cam} + \Delta H$$

Eq. 3-3

dove H_{cam} rappresenta l'altezza fisica del camino (eventualmente corretta per la presenza dell'effetto scia o della formula utilizzata per descrivere il downwash degli edifici) e ΔH rappresenta il sovralzato dei fumi.

3.2.1. Termine verticale in presenza di inversione in quota

Le classi A,B,C, e D sono caratterizzate da un'inversione in quota che limita la diffusione verticale. La quota di questa inversione in quota viene spesso indicata con il termine di altezza di rimescolamento.

La presenza di questa inversione in quota modifica l'equazione gaussiana con l'introduzione del termine V_{inv} :

$$V_{inv} = \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ \exp\left(-\frac{(z-h_1)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+h_1)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z-h_2)^2}{2\sigma_z^2}\right) \exp\left(-\frac{(z+h_2)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\}$$

$$h_1 = 2iH_{inv} - h$$

$$h_2 = 2iH_{inv} + h$$

Eq. 3-4

dove H_{inv} rappresenta la base dell'inversione in quota.

L'inversione in quota si comporta come un tappo riflettendo verso il suolo la diffusione del pennacchio. Il modello gaussiano non considera la possibilità che il pennacchio riesca a superare l'inversione : nel caso ciò si realizzi la diffusione verso il basso viene fortemente inibita e i valori di concentrazione risultano molto bassi. Per questo motivo l'inserimento di una inversione in quota più bassa dei valori standard dello strato rimescolato va effettuata con molta cautela perché può portare a valori molto elevati e non realistici di concentrazione al suolo.

La serie riportata nella formula converge abbastanza rapidamente e in generale sono sufficienti poche iterazioni: il parametro impostato di default esegue 4 riflessioni.

Il modello contiene dei valori di default per l'altezza dello strato rimescolato: è comunque possibile inserire un valore direttamente come dato di input

3.2.2. Termine verticale per diffusione di particolato

In caso di diffusione di particolato o di gas pesanti il modello gaussiano viene modificato per tener conto degli effetti legati alla velocità di sedimentazione gravitazionale. Il primo effetto sull'equazione è quello di introdurre un abbassamento dell'asse del pennacchio modificando il termine h descritto nell'equazione Eq. 3-3:

$$h = H_{cam} + \Delta H - \frac{v_g \cdot x}{u}$$

Eq. 3-5

dove :

v_g : rappresenta la velocità di sedimentazione gravitazionale

u : velocità del vento alla quota del pennacchio

La modifica del termine h serve a tener conto dell'effetto della gravità sulla diffusione dell'inquinante e viene generalmente indicato come Tilted Plume Model

3.3. Effetti della deposizione secca sull'equazione

In generale la deposizione degli inquinanti gassosi e del particolato leggero (particelle fino a 1 micron) ha effetti trascurabili sulla concentrazione dovuta alla diffusione. In caso contrario è necessario tener conto del fatto che parte del materiale si deposita al suolo facendo cadere l'ipotesi di suolo riflettente alla base dell'equazione Eq. 3-1. In generale la deposizione di un inquinante si può calcolare tramite la relazione :

$$F(x,y) = v_d \cdot C(x,y,0)$$

Eq. 3-6

dove:

F : flusso di deposizione al suolo

$C(x,y,0)$: concentrazione al suolo

v_d : velocità di deposizione

Si tenga presente che, in caso di particolato, la velocità di deposizione NON è la velocità di sedimentazione gravitazionale. In generale i fenomeni che determinano la deposizione, cioè la cattura da parte del suolo dell'inquinante sono molto complessi ed esulano dalla trattazione di un modello semplice come è il modello gaussiano, anche perché richiedono generalmente l'introduzione di informazioni iniziali spesso non disponibili o di difficile reperibilità che dipendono dal tipo di inquinante, dal tipo di terreno dal tipo di vegetazione e dalle condizioni meteorologiche.

Il modello quindi adotta un approccio conservativo trascurando il calcolo della deposizione secca. Tale approccio è sicuramente adatto ad applicazioni di tipo regolatorio.

Il modello permette comunque di adottare la stessa soluzione presente nel DIMULA – DOS che, in caso di velocità di sedimentazione diversa da zero, ipotizza che tutto l'inquinante di depositi trascurando il termine di riflessione dell'equazione gaussiana.

3.4. Effetti della deposizione umida sull'equazione (opzione avanzata)

Analogamente a quanto descritto per la deposizione secca la presenza della deposizione umida modifica l'equazione gaussiana per tener conto del materiale rimosso dalla pioggia diminuendo il termine di emissione.

Contrariamente alla deposizione secca però la formulazione generalmente adottata per la modifica dell'equazione gaussiana è più semplice ed ha la forma seguente:

$$Q = Q_0 \exp\left(-\lambda \cdot R \frac{x}{u}\right)$$

Eq. 3-7

dove :

λ = Scavenging coefficiente (hr/(s*mm))

R = rate di precipitazione (mm/hr)

Il modello include il calcolo dell'effetto della deposizione umida: si tenga presente che l'inclusione di questo calcolo serve SOLO per valutare l'effetto della deposizione umida sulle concentrazioni e NON per calcolare il flusso di deposizione.

3.5. Calcolo del Plume Rise

Le equazioni utilizzate per il calcolo del plume rise si basano sulle note formulazioni di Briggs, raccomandate anche da Epa 3). Lo schema utilizzato dal modello coincide quasi integralmente con lo schema utilizzato da ISC 6) e da CALPUFF 8)

3.5.1. Definizione delle variabili

h_s : altezza fisica del camino (m)

h'_s : altezza del camino modificata per effetto della scia del camino (m)

d : diametro interno del camino (m)

r_s : raggio interno del camino

v_s : velocità di efflusso dei fumi (m/s)

T_s : temperatura dei fumi (K)

dH : sovralzo dei fumi

xf : distanza alla quale si verifica il sovralzo finale dei fumi

u_s : velocità del vento alla bocca del camino (m/s)

T_a : temperatura dell'aria

$\frac{\partial \theta}{\partial z}$: gradiente verticale della temperatura potenziale: per la classe di stabilità E vale 0,02 (ISC) o 0,015 (DIMULA); per la classe di stabilità F vale 0,035 (ISC) o 0,037 (DIMULA)

Bh : altezza degli edifici in direzione del vento

Bw : larghezza dell'edificio vicino alla sorgente perpendicolare alla direzione del vento

g : accelerazione di gravità (9,80616 m/s²)

3.5.2. Effetto scia del camino (Stack aerodynamic effect)

La bassa pressione che si forma sottovento al camino può avere l'effetto di abbassare l'asse del pennacchio quando la velocità di efflusso dei fumi risulta particolarmente bassa.

Quando la velocità di efflusso dei fumi risulta inferiore a 1.5 volte la velocità del vento, si valuta l'effetto di scia del camino utilizzando la formula (Briggs) seguente :

$$h'_s = h_s + 2d \left(\frac{v_s}{u_s} - 1,5 \right) \quad v_s < 1,5u_s$$

Eq. 3-8

L'applicazione di questa formula ha l'effetto di ridurre l'altezza fisica del rilascio

Il calcolo è opzionale (in quanto camini che soddisfano il criterio $v_s < 1,5 u_s$ possono avere dispositivi che prevengono l'effetto scia del camino (fig. 53 pg 205 – ref 2)

Il calcolo non viene eseguito in caso di calma di vento

Limiti:

Per evitare che con camini bassi e larghi il valore corretto possa diventare negativo viene assunto un limite inferiore come percentuale sul valore totale. Un valore indicativo può essere 1/3 (pg.204 ref 2); ISC e DIMULA limitano a 0 la correzione

3.5.3. Parametri utilizzati nei calcoli del plume rise

Flusso di galleggiamento :

$$F_B = g \frac{(T_S - T_A)}{T_S} v_s r_s^2$$

Eq. 3-9

Flusso del momento :

$$F_M = v_s^2 d_s^2 \frac{T_A}{4T_S}$$

Eq. 3-10

Parametro di stabilità:

$$S = g \frac{\partial \theta / \partial z}{T_a}$$

Eq. 3-11

3.5.4. Calcolo del sovrizzo dei fumi per atmosfera instabile o neutra

Si calcola la “crossover temperature” che serve per determinare se il sovrizzo è prevalentemente guidato dal sovrizzo termico o dal flusso di momento per $Fb < 55$

$$(\Delta T)_c = 0,0297 T_s \frac{v_s^{1/3}}{d_s^{2/3}}$$

Eq. 3-12

per $Fb \geq 55$

$$(\Delta T)_c = 0,00575 T_s \frac{v_s^{2/3}}{d_s^{1/3}}$$

Eq. 3-13

Sovralzo dominato dal flusso di galleggiamento : $(T_S - T_A) \geq (\Delta T)_c$

$$\begin{array}{l}
 F_B < 55 \\
 \\
 F_B \geq 55
 \end{array}
 \left\{
 \begin{array}{l}
 dH = 21.425 \frac{F_B^{3/4}}{u} \\
 x_f = 49 F_B^{5/8} \\
 x_f = \frac{4d_s (v_s + 3u_s)^2}{v_s \cdot u_s} \quad (F_B = 0) \\
 \\
 dH = 38.71 \frac{F_B^{3/5}}{u} \\
 x_f = 119 F_B^{2/5}
 \end{array}
 \right.$$

Eq. 3-14

Sovralzo dominato dal flusso di momento : $(T_S - T_A) < (\Delta T)_c$ o $T_S \leq T_A$

$$\begin{array}{l}
 dH = 3d_s \frac{v_s}{u} \\
 x_f = \frac{4d_s (v_s + 3u_s)^2}{u_s v_s}
 \end{array}$$

Eq. 3-15

Calme di vento : non c'è una trattazione specifica: si pone $u = u_{min}$

Limiti:

- la velocità del vento alla bocca del camino viene comunque posta $u \geq u_{min}$
- nel caso in cui l'altezza efficace superi la quota dell'inversione si veda 3.5.6
- se l'altezza del camino (prima del calcolo) supera l'altezza di inversione o l'altezza dello strato rimescolato la concentrazione viene posta a 0 su tutto il dominio

3.5.5. Calcolo del sovrizzo dei fumi per atmosfera stabile

Si calcola la “crossover temperature” che serve per determinare se il sovrizzo è prevalentemente guidato dal sovrizzo termico o dal flusso di momento

$$(\Delta T)_c = 0,019582 \cdot T_s v_s \sqrt{S}$$

Eq. 3-16

Sovralzo dominato dal flusso di galleggiamento : $(T_S - T_A) \geq (\Delta T)_c$

$$\left\{
 \begin{array}{l}
 dH = 2,6 \cdot \left(\frac{F_B}{uS} \right)^{1/3} \\
 x_f = 2,0715 \frac{u}{\sqrt{S}}
 \end{array}
 \right.$$

Eq. 3-17

Sovralzo dominato dal flusso di momento : $(T_S - T_A) < (\Delta T)_c$ or $T_S \leq T_A$

$$dH = 1,5 \left(\frac{F_M}{u\sqrt{S}} \right)^{1/3}$$

$$x_f = 0,5\pi \frac{u}{\sqrt{S}}$$

Eq. 3-18

Se il sovrалzo è dominato dal flusso di momento oltre al valore riportato nell'Eq. 3-18 viene calcolato anche il valore riportato nell'Eq. 3-15 in quanto il sovrалzo dominato dal momento in caso di atmosfera stabile e non può comunque superare quello calcolato in atmosfera instabile o neutra

Calma di vento

$$dH = 5,3F_B^{1/4} S^{-3/8} - 3d_s$$

Eq. 3-19

a causa del termine negativo $-3d$ si impone che comunque il sovrалzo non sia negativo

Limiti:

Se l'altezza efficace supera l'altezza dello strato rimescolato si pone altezza efficace uguale altezza dello strato rimescolato

3.5.6. Partial plume penetration (calcolo opzionale)

Se un plume riesce a penetrare un'inversione elevata, la concentrazione di inquinante si riduce notevolmente in quanto la presenza dell'inversione in quota inibisce fortemente la diffusione verso il suolo. Nel caso opposto il plume risulta intrappolato sotto l'inversione aumentando notevolmente la concentrazione di inquinanti al suolo.

In genere i modelli gaussiani non effettuano valutazioni della capacità del plume di penetrare una inversione in quota: le inversioni in quota si comportano in genere come limiti superiori riflettendo il plume verso il suolo.

In particolare il modello DIMULA DOS assume che la crescita del pennacchio sia SEMPRE limitata dall'inversione in quota mentre il modello ISC assume che se il plume rise supera l'altezza d'inversione la concentrazione al suolo viene posta uguale a 0

Il modello CALPUFF contiene lo schema di Mannin (1979) per stimare la capacità di penetrazione del plume. Questo modello calcola un parametro, P, usato per determinare la frazione di inquinante, f , che resta sotto l'inversione:

$$P = \frac{F_B}{u_s b (h_i - h_s)^2}$$

$$f = \begin{cases} 1 & P < 0,08 \\ 0,08 & 0,08 < P \leq 0,3 \\ \frac{P}{0} - p + 0,08 & P > 0,3 \\ 0 & \end{cases}$$

Eq. 3-20

dove:

h_i : altezza della base dell'inversione

h_s : altezza del camino

b : forza dell'inversione ($b=gdT/Ta$)

dT : salto di temperatura nell'inversione

T_a : temperatura dell'aria

Soluzione proposta nel modello se l'altezza efficace calcolata supera la quota dell'inversione (calcolo opzionale):

- $H_{eff}=H_{inv}$
- Se richiesto e SOLO per le classi instabili e neutre $Emissione=Emissione*f$
dove f è calcolato usando la formula riportata sopra con b inserito come dato di input meteorologico

NOTA:

Se il valore di b in input è 0 il calcolo non viene effettuato.

3.5.7. Calcolo del sovrizzo a distanze minori della distanza alla quale si verifica il sovrizzo finale (opzionale)

Le linee Guida dell'EPA (ref. 3) raccomandano di assumere a fini regolatori che il sovrizzo definitivo dei fumi sia raggiunto nella posizione della sorgente, assumendo cioè un pennacchio che cresce verticalmente fino a raggiungere la quota di livellamento. Questo suggerimento si basa sul riconoscimento della complessità dei meccanismi che regolano il trasporto e la diffusione nella zona di transizione della crescita del pennacchio.

Nonostante ciò i modelli più evoluti contemplano la possibilità di effettuare tale calcolo. (ref 6)8)

Si è ritenuto utile introdurre nel modello questa possibilità (opzionale) anche in relazione all'introduzione del modello di Huber Snyder per il trattamento degli effetti di downwash.

Le formule utilizzate sono le stesse utilizzate dal modello ISC

Il calcolo avviene secondo queste fasi:

- per distanze inferiori a x_f (distanza alla quale si raggiunge la quota di livellamento) si valuta l'altezza del sovrizzo utilizzando le formule seguenti che dipendono dalla distanza tra il punto di calcolo e la sorgente
- vengono calcolati sia il sovrizzo dovuto al galleggiamento che il sovrizzo dovuto al momento e si utilizza il valore massimo tra i due
- il valore finale viene comunque confrontato con il calcolo effettuato per il sovrizzo finale e descritto nei paragrafi precedenti in quanto la crescita del pennacchio nella zona di transizione non può comunque superare la quota definitiva di livellamento dei fumi

:

sovralzo determinato dal galleggiamento (Briggs): $(T_S - T_A) \geq (\Delta T)_c$

$$dH = 1,6 \left(\frac{F_B^{1/3} x^{2/3}}{u} \right)$$

Eq. 3-21

sovralzo determinato dal momento in condizioni instabili o neutre (Bowers et al. 1979): $(T_S - T_A) < (\Delta T)_c$ or $T_S \leq T_A$

$$dH = \left(\frac{3F_M x}{\beta_j^2 u^2} \right)^{1/3}$$

Eq. 3-22

dove β rappresenta il jet entrainment coefficient e vale:

$$\beta_j = \frac{1}{3} + \frac{u}{v_s}$$

Eq. 3-23

sovralzo determinato dal momento in condizioni stabili (Bowers et al. 1979): $(T_S - T_A) < (\Delta T)_c$ or $T_S \leq T_A$

$$dH = \left(3F_M \frac{\sin(x\sqrt{s/u})}{\beta_j^2 u \sqrt{s}} \right)^{1/3}$$

Eq. 3-24

DIMULA DOS:

calcolo NON presente

NOTA:

Se si usa il calcolo del gradual plume rise e il calcolo del partial plume penetration, l'emissione viene ridotta SOLO se il sovralzo generato dalle formule descritte sopra raggiunge la mixing height, altrimenti si usa l'emissione completa

3.6. Coefficienti di Dispersione

Il calcolo dei coefficienti di dispersione procede attraverso i seguenti passi:

- calcolo delle sigma di Briggs
- correzione dei valori calcolati introducendo il calcolo della BID (Buoyancy Induced Dispersion)

In caso di utilizzo del modello di Huber Snyder per la valutazione del building downwash il calcolo è modificato in questo modo (descritto nel capitolo successivo) :

- per distanze inferiori a 10*BB calcola le $\sigma_y(x)$ e $\sigma_z(x)$ utilizzando le formule di tale modello e scegliendo il valore massimo rispetto alle sigma di Briggs; per distanze superiori calcola le $\sigma_y(x+x_{virt})$ e $\sigma_z(x+x_{virt})$ di Briggs alla distanza $x+x_{virt}$
- correzione dei valori calcolati introducendo il calcolo della BID (Buoyancy Induced Dispersion)

3.6.1. Formule di Briggs

Le formule di dispersione più utilizzate nei modelli per il calcolo di σ_y e σ_z in mancanza di misurazioni o calcoli diretti della turbolenza sono quelle di Briggs (1973) ottenute combinando una larga serie di dati sperimentali:

$$\sigma_y = ax^e(b + cx^f)^d$$

Eq. 3-25

dove:

Classe di stabilità	Briggs in campo aperto		Briggs in arre urbane	
	a	c	a	c
A	0.22	0.0001	0.32	0.0004
B	0.16	0.0001	0.32	0.0004
C	0.11	0.0001	0.22	0.0004
D	0.08	0.0001	0.16	0.0004
E	0.06	0.0001	0.11	0.0004
F	0.04	0.0001	0.11	0.0004

b=1

d=-0.5

e=1

f=1

$$\sigma_z = ax^e(b + cx^f)^d$$

Eq. 3-26

dove:

Classe di stabilità	Briggs in campo aperto			Briggs in arre urbane		
	a	c	d	a	c	d
A	0.2	0	1	0.24	0.001	0.5
B	0.12	0	1	0.24	0.001	0.5
C	0.08	0.0002	-0.5	0.2	0	1
D	0.06	0.0015	-0.5	0.14	0.0003	-0.5
E	0.03	0.0003	-1	0.08	0.0015	-0.5
F	0.016	0.0003	-1	0.08	0.0015	-0.5

b=1

e=1

f=1

DIMULA DOS contiene inoltre un modello per il calcolo delle formule di dispersione basate sulla rugosità superficiale (è evidente che questo modello ha un senso quando viene fornito al modello un campo xy di rugosità superficiale):

$$\sigma_z = ax^b (\alpha z_0)^{\beta \cdot x^\gamma}$$

Eq. 3-27

dove:

Classe di stabilità	σ_y			σ_z		
	a	b		a	b	
A	0.29	0.9		0.28	0.9	
B	0.24	0.85		0.23	0.85	
C	0.26	0.8		0.23	0.8	
D	0.23	0.76		0.2	0.76	
E	0.18	0.73		0.15	0.73	
F	0.15	0.67		0.12	0.67	

$$\alpha = 10; \beta = 0.53; \gamma = -0.22$$

Anche se Cirillo e Poli (1992) suggeriscono che in condizioni di vento debole / calma di vento le stime di tali coefficienti basate sulle formule sopra riportate possono essere significativamente diverse dai valori misurati, l'utilizzo delle formule di Briggs è la soluzione più adottata nelle condizioni nelle quali mancano misure dirette della turbolenza.

3.6.2. B.I.D - Buoyancy induced dispersion

Una volta effettuato il calcolo dei coefficienti di dispersione questi vengono corretti per tener conto della dispersione iniziale dei fumi causata dalla turbolenza dei fumi e dalla turbolenza dell'aria . Il metodo adottato si basa sulla formula di Pasquill e fa parte delle opzioni regolatorie suggerite dalle linee guida EPA :

$$\sigma' = \left(\sigma^2 + \left(\frac{dH}{3,5} \right)^2 \right)^{1/2}$$

Eq. 3-28

dove :

dH : sovrizzo dei fumi

Nel calcolo di dH si tenga conto che se è stata applicata la correzione per tener conto dell'effetto scia del camino il sovrizzo va calcolato non in relazione all'altezza fisica del camino ma all'altezza ridotta modificata dall'effetto scia.

Soluzione adottata nel modello

Nel caso l'utente selezioni di effettuare il calcolo del plume rise utilizzando le formule per il gradual plume rise la BID è calcolata con il gradual plume rise; altrimenti è l'utente a scegliere quale dh utilizzare attraverso un parametro di controllo del calcolo

3.7. Building downwash

Una struttura (edificio) viene considerata sufficientemente vicina ad un camino per causare effetti di scia quando valgono le relazioni seguenti

$$h_s < B_H + 1,5 \min(B_H, B_W)$$

Eq. 3-29

dove B_h e B_w rappresentano rispettivamente la dimensione verticale e orizzontale (perpendicolare alla direzione del vento) degli edifici in esame sottovento alla sorgente e

$$h_m(2B_H) \leq B_H + 1,5 \min(B_H, B_W)$$

Eq. 3-30

dove h_m rappresenta la “wake plume height” calcolata utilizzando le formule che valutano il “gradual momentum plume rise” (paragrafo 3.5.7) ad una distanza pari a $2B_H$ dalla sorgente.

In genere gli effetti di scia causati dagli edifici vengono inclusi nei modelli gaussiani modificando sia il calcolo del plume rise che il calcolo delle sigma di dispersione.

La considerazione degli effetti di scia degli edifici riveste una certa importanza nelle applicazioni dei modelli per le valutazioni di impatto ambientale. Camini troppo bassi rispetto agli edifici vicini possono risultare in elevate concentrazioni al suolo se i pennacchi vengono intrappolati dalla turbolenza generata dagli edifici stessi.

Il modello tratta il fenomeno del building downwash adottando due modelli opzionali:

- il modello di HuberSnyder (adottato anche da ISC e CALPUFF).
- il modello semplificato di Briggs

3.7.1. Zona di esclusione dal calcolo

In condizioni di building downwash il calcolo viene escluso nei punti che distano meno di $3 B_{H,W}$ dalla sorgente in quanto si assume che il plume sia intrappolato nella cavità: in queste condizioni i modelli gaussiani non sono applicabili.

3.7.2. Modello di Huber Snyder

Il modello di Huber Snyder si applica quando è verificata l’equazione Eq. 3-30. In presenza di building downwash il modello di Huber Snyder:

- calcola l’altezza efficace in ogni punto del dominio utilizzando il gradual plume rise
- modifica il calcolo delle sigma di dispersione; dopo il calcolo applica la correzione relativa alla presenza di B.I.D (par. 3.6.2)

3.7.2.1. Modifica della SigmaZ per distanze inferiori a $10B_{H,W}$

Per distanze inferiori a $10B_{H,W}$ la SigmaZ è calcolata utilizzando la formula:

$$\sigma_z' = 0,7 B_{H,W} + 0,067(x - 3B_{H,W})$$

Eq. 3-31

dove $B_{H,W} = \min(B_H, B_W)$.

Il valore calcolato viene comunque confrontato con il valore calcolato con le formule “normali” in quanto non può essere inferiore.

3.7.2.2. Modifica della SigmaY per distanze inferiori a $10B_{H,W}$

Se $h_m(2B_H) > 1,2 \cdot B_H$ Sigmay non viene modificata. Altrimenti si utilizzano le formule seguenti:

$$\begin{aligned} \sigma_y' &= 0,35B_W + 0,067(x - 3B_W) & B_W < B_H \\ \sigma_y' &= 0,35B_W + 0,067(x - 3B_H) & B_W \leq 5B_H \\ \sigma_y' &= 0,35B_H + 0,067(x - 3B_H) & B_W > 5B_W \end{aligned}$$

Eq. 3-32

Il valore calcolato viene comunque confrontato con il valore calcolato con le formule “normali” in quanto non può essere inferiore;

3.7.2.3. Calcolo delle sigma per distanze superiori a 10BH,W

Per distanze superiori si applicano le formule normali descritte nei capitoli precedenti calcolate aggiungendo alla reale distanza tra sorgente e recettore un valore (virtual distance) che tiene conto dell’aumento della sigma dovuto alla presenza di edifici: tale valore serve per evitare discontinuità tra le due formulazioni e viene calcolato iterativamente. Se $h_m(2B_H) > 1,2 \cdot B_H$ la SigmaY non viene modificata.

3.7.2.4. Calcolo dei coefficienti BH e BW

I coefficienti B_H e B_W utilizzati sono specifici per ogni sorgente e sono definiti ogni 10 gradi in relazione alla direzione sorgente -> edificio (il primo settore va da 6° a 15°, i successivi ruotano in senso orario). B_H rappresenta l’altezza degli edifici sottovento alla sorgente, mentre B_W rappresenta la larghezza degli edifici sottovento proiettata perpendicolarmente alla direzione di provenienza del vento. Per la determinazione di questi coefficienti si veda (13)

3.7.3. Modifica dell’altezza del camino secondo la formulazione semplificata di Briggs

Questo modello utilizza la formula semplificata di Briggs per modificare l’altezza fisica del camino:

$$\begin{aligned} h_S > B_H + 1,5 \min(B_H, B_W) & \quad h_S' = h_S \\ B_H < h_S < B_H + 1,5 \min(B_H, B_W) & \quad h_S' = 2h_S - (B_H + 1,5 \min(B_H, B_W)) \\ h_S < B_H & \quad h_S' = h_S - 1,5 \min(B_H, B_W) \end{aligned}$$

Eq. 3-33

Nel caso sia stata calcolata anche una riduzione dovuta all’effetto di scia del caminosi sceglie la riduzione maggiore; il calcolo del plume rise avviene utilizzando le formule del calcolo imperturbato (a meno che l’utente non decida diversamente)

Seguendo Hanna (1) si assume che il pennacchio resti intrappolato nella cavità se h_s risulta inferiore di $0.5B_H$ in questo caso il calcolo NON viene effettuato.

3.8. Termine di decadimento

Il termine di decadimento inserito nell’equazione di concentrazione è un modo semplice per considerare l’effetto sulla concentrazione della rimozione del materiale inquinante. Tale rimozione può essere dovuta a deposizione secca o umida, a effetti chimici o altro.

Il termine di decadimento è della forma:

$$D = \exp\left(-\psi \frac{x}{u_s}\right)$$

Eq. 3-34

dove γ rappresenta il coefficiente di decadimento espresso in secondi alla meno 1. Assegnare a γ il valore 0 significa trascurare il decadimento (opzione di default)

Una relazione utile per calcolare γ se è noto il tempo di dimezzamento della sostanza in esame è la seguente:

$$\psi = \frac{0.693}{T_{1/2}}$$

Eq. 3-35

3.8.1. Termine di decadimento e deposizione umida

Il termine di decadimento potrebbe essere utilizzato per descrivere la perdita di materiale dovuta alla deposizione umida utilizzando la seguente relazione :

$$\psi = \lambda R$$

Eq. 3-36

dove λ rappresenta lo “scavenging coefficient” (smm/hr)⁻¹ e R rappresenta il rate di precipitazione (mm/hr); si è preferito però tenere separati i due effetti per consentire l’utilizzo continuativo del modello con sequenze di dati meteo

3.9. Presenza di orografia

La presenza di orografia è inserita nel modello adottando lo schema seguente basato sul modello COMPLEX (adottato tra gli altri da ISC):

- Il modello risolve un’equazione gaussiana a settori
- l’altezza assoluta dell’asse del pennacchio, data dall’altezza fisica del camino più il sovralzato più la quota orografica del punto dove si trova il camino, rimane invariata in caso di atmosfera stabile mentre subisce una variazione in caso di atmosfera instabile o neutra seguendo il profilo del terreno come specificato in seguito
- anche in caso di atmosfera stabile, cioè assumendo l’altezza assoluta del pennacchio invariata, si assume comunque un’altezza minima sul livello del suolo (assegnata di default a 10 m)
- le altezze di inversione in quota (o in assenza le altezze del mixing layer per la classe di stabilità in oggetto) sono assunte come “terrain following” : se l’altezza di inversione è 500 m si assume che sia sempre 500 m a partire dal suolo qualunque sia la quota orografica del punto in esame
- in condizioni instabili viene introdotto un fattore di correzione per evitare il calcolo su recettori troppo elevati rispetto alla quota base della sorgente
- il calcolo del building downwash NON è consigliato
- il calcolo del gradual rise NON è consigliato

3.9.1. Equazione utilizzata

L'equazione utilizzata è la seguente:

$$C = \frac{Q}{\sqrt{2\pi R \Delta \theta} \sigma_z} VDCorr$$

Eq. 3-37

Dove:

Q : emissione

V : termine verticale

D : termine di decadimento

$Corr$: fattore di correzione (vedi 3.9.3)

R : distanza radiale

σ_z : dispersione verticale

$\Delta\theta$: ampiezza del settore in radianti

3.9.2. Modifica del termine verticale

Queste assunzioni si traducono in una modifica del termine h inserito nell'equazione di concentrazione e descritto nell'Eq. 3-2.

Per recettori posti a quote maggiori rispetto alla quota della sorgente:

$$h' = \text{MAX}(h - (1 - F) \cdot (q_{x,y} - q_s), h \cdot F, h_{\min})$$

Eq. 3-38

Per recettori posti a quote inferiori:

$$h' = h - (q_{x,y} - q_s)$$

Eq. 3-39

dove:

h : termine verticale invariato

$q_{x,y}$: quota orografica del punto (x,y) dove si calcola la concentrazione

q_s : quota orografica del punto dove si trova la sorgente

F : "terrain adjustment factor"

Il fattore F assume valore zero in presenza delle classi stabili E e F+G (CALPUFF suggerisce anche 0,3), mentre assume un valore compreso tra 0 e 1 per le classi A,B,C e D: ISC assume di default il valore 0,5

L'effetto di tale modifica è quello di assumere che durante condizione stabili il pennacchio non sia deviato dalla presenza del terreno mentre nelle classi instabili o neutre il pennacchio è deviato verso l'alto seguendo il profilo del terreno.

3.9.3. Fattore di correzione

Il fattore di correzione, che moltiplica il risultato del calcolo, serve per tener conto della sovrastima nei calcoli dovuta all'ipotesi di mantenere costante l'asse del pennacchio in condizioni di atmosfera stabile.

$$\begin{aligned} CORR &= 1 && \textit{instable/ neutral} \\ CORR &= 1 && \Delta H \leq 0 \\ CORR &= 0 && \Delta H \geq 400 \\ CORR &= \frac{400 - \Delta H}{400} && \Delta H < 400 \end{aligned}$$

Eq. 3-40

dove:

ΔH : quota del recettore (quota s.l.m più quota di calcolo) – quota dell'asse del plume.

4. Modello Short Term per sorgenti areali in presenza di vento

In genere le sorgenti areali vengono schematizzate come sorgenti puntiformi virtuali arretrate rispetto al centro della sorgente areale; questa schematizzazione si traduce sostanzialmente nell'inserimento di valori di dispersione iniziali che tengano conto della reale dimensione della sorgente utilizzando la stessa equazione usata per descrivere le sorgenti puntiformi.

Un altro possibile approccio è quello di considerare la concentrazione prodotta da una sorgente areale come il risultato della concentrazione prodotta da n sorgenti puntiformi distribuite sull'area effettivamente occupata dalla sorgente areale.

La formulazione di Cirillo e Cagnetti (12), adottata da DIMULA DOS, prevede l'utilizzo di due modelli:

- un modello per le grandi distanze basato sull'integrazione dell'equazione della sorgente puntiforme sulla superficie dell'area della sorgente
- un modello per le brevi distanze basato sulla modifica delle sigma orizzontali di dispersione

Viene calcolata una distanza di riferimento $Xstar$ (formulazione non riportata) che rappresenta il limite dei due modelli: questa distanza è la distanza alla quale il calcolo delle sigma di dispersione dei due modelli coincide

4.1. Il calcolo della dispersione verticale

Il coefficiente di dispersione verticale viene calcolato in entrambi i modelli secondo la seguente formula:

$$\sigma'_z(x) = \sigma_z(x) + \sigma_{z0}$$

Eq. 4-1

dove σ_z rappresenta la dispersione calcolata secondo le formule di Briggs e σ_{z0} rappresenta la dispersione verticale iniziale e viene inserita come dato di input dall'utente.

In letteratura sono riportate diverse indicazioni per l'assegnazione di questo valore:

- Dimula DOS utilizza l'altezza degli edifici intorno alla sorgente divisa per 2.5
- ISC suggerisce di utilizzare la dimensione verticale della sorgente divisa per 2.15 se la sorgente è vicina al suolo ed isolata; l'altezza degli edifici divisa per 2.15 se la sorgente è elevata o adiacente a edifici; l'altezza della sorgente divisa per 4.3 se la sorgente è elevata ed isolata

4.2. Il modello per $X < Xstar$

Il modello per piccole distanze è il modello puntiforme con la dispersione laterale modificata secondo la formula:

$$\sigma'_y(x) = \sigma_y(x) + \sigma^* \left(\frac{1}{K(R)} - 1 \right)$$

$$\sigma^* = sf * R$$

Eq. 4-2

dove :

σ_y : dispersione calcolata secondo le formule di Briggs

R : area della sorgente

$K(R)$: funzione definita in 4-3

sf : fattore moltiplicativo del raggio della sorgente areale per il calcolo della Sigma Y iniziale (impostato nei parametri generali del calcolo con valore di default 0,5)

4.3. Il modello per le grandi distanze

Senza entrare nel merito dei calcoli descritti nel lavoro di Cirillo e Cagnetti (1982) l'applicazione dell'integrazione del modello puntiforme su una superficie circolare assume la seguente formulazione

$$\sigma_y(x) = \sigma_y(x)$$

$$C(x, y) = C(x, y) * K(R, y)$$

Eq. 4-3

Dove la funzione K, risultato dell'integrazione, assume la seguente forma:

$$K = \frac{K_1(x, y) + K_2(x, y)}{2}$$

$$K_1(x, y) = 1 + 0.5 \left(\frac{y^2}{\sigma_y^4} - \frac{1}{\sigma_y^2} \right) \frac{R^2}{4} + \frac{1}{24} \left(\frac{y^4}{\sigma_y^8} - 6 \frac{y^2}{\sigma_y^6} + \frac{3}{\sigma_y^4} \right) \frac{R^4}{8} + \frac{1}{720} \left(\frac{y^6}{\sigma_y^{12}} - 15 \frac{y^4}{\sigma_y^{10}} + 45 \frac{y^2}{\sigma_y^8} - \frac{15}{\sigma_y^6} \right) \frac{5R^6}{64}$$

$$K_2(x, y) = K_1(x, y) + \frac{1}{40320} \left(\frac{y^8}{\sigma_y^{16}} - 23 \frac{y^6}{\sigma_y^{14}} - 185 \frac{y^4}{\sigma_y^{12}} - 420 \frac{y^2}{\sigma_y^{10}} + \frac{105}{\sigma_y^8} \right) \frac{7}{128} R^8$$

Eq. 4-4

Il termine correttivo tende a 1 allontanandosi dalla sorgente rispecchiando il fatto che una sorgente areale a grande distanza può essere vista come puntiforme.

4.4. Calcolo interno alla sorgente

Il calcolo nei punti interni alla sorgente viene eseguito per evitare di escludere parecchi punti dal calcolo e quindi dal contributo delle altre sorgenti presenti nell'area di calcolo. Le ipotesi seguite sono le stesse adottate dal DIMULA DOS. Si consiglia comunque di non dare eccessiva affidabilità ai valori calcolati nei punti interni alla sorgente (ISC ad esempio non calcola nei punti interni alla sorgente)

Il calcolo nei punti interni si basa sui seguenti punti:

- i coefficienti di dispersione sono calcolati ad una distanza dal centro della sorgente pari al raggio della stessa
- l'emissione totale è corretta secondo la formula :

$$e = e \frac{(R + x)}{2R}$$

Eq.4-5

- nell'equazione gaussiana non viene calcolato l'esponente in y assumendo una distribuzione laterale uniforme all'interno dell'area

4.5. Differenze tra sorgenti areali e sorgenti puntiformi

Oltre a quanto descritto l'applicazione del modello puntiforme alle sorgenti areali produce le seguenti differenze:

- non viene calcolato il plume rise
- non vengono considerati gli effetti di building downwash
- NON viene applicato il modello delle calme di vento di CIRILLO POLI ma un modello gaussiano ridotto con split sigma (5.3)
- Il calcolo degli effetti orografici procede come per le sorgenti puntiformi: è importante osservare però che mancando il calcolo del plume rise la presenza di orografia incide solo per i punti con quote inferiori o nel caso in cui la sorgente sia sopraelevata.

5. Modello per le calme di vento

5.1. Inquadramento

Ai fini delle misure strumentali le calme di vento sono tutte quelle situazioni meteorologiche nelle quali gli strumenti di misura non riescono a definire una direzione e una intensità del vento.

A questa situazione strumentale (assenza del dato) corrispondono in realtà moltissime e diverse situazioni meteorologiche.

La gestione modellistica delle calme di vento presenta sostanzialmente due problemi:

- mancanza di dati per inizializzare i modelli
- varietà delle situazioni meteorologiche che ricadono nella definizione di calme di vento

Queste difficoltà hanno portato l'EPA a definire una metodologia per trattare le calme di vento che consiste in un preprocessamento dei dati meteorologici finalizzato all'eliminazione delle condizioni di calma.

I modelli gaussiani, in particolare, non sono in grado di gestire le calme di vento:

- per ragioni fisiche in quanto contrastano con le ipotesi di derivazione della formulazione gaussiana
- per ragioni matematiche in quanto la velocità del vento è presente a denominatore

La soluzione presente nella versione precedente di DIMULA si basa sul modello CAGNETTI FERRARA; questo modello, basato sull'integrazione temporale dell'equazione gaussiana a puff, presenta però il difetto di divergere nell'origine calcolando valori irrealistici e sovrastimati nei recettori vicini alla sorgente.

Per questo motivo è la trattazione delle calme e delle condizioni di vento debole è stata modificata adottando il modello CIRILLO POLI

5.2. Il modello CIRILLO POLI

Il modello CIRILLO POLI è anch'esso basato sull'integrazione temporale dell'equazione gaussiana a puff ma con una formulazione differente rispetto al modello CAGNETTI FERRARA. L'equazione per il calcolo della concentrazione è la seguente:

$$C(x, y, z) = \sum_{i=1,2} \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \alpha \beta \gamma \cdot T_i^2} \exp\left(\frac{-u^2}{2\alpha^2}\right) \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{ux}{\alpha^2 T_i} \exp\left(\frac{u^2 x^2}{2\alpha^4 T_i^2}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{-ux}{\sqrt{2}\alpha^2 T_i}\right) \right\}$$

$$T_1^2 = \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} + \frac{(z+H)^2}{\gamma^2}$$

$$T_2^2 = \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} + \frac{(z-H)^2}{\gamma^2}$$

Eq. 5-1

dove α , β e γ sono legati ai coefficienti di diffusione turbolenta dalla relazione:

$$\alpha = \sigma_u$$

$$\beta = \sigma_v$$

$$\gamma = \frac{1}{t} \sigma_z(t)$$

Eq. 5-2

Il modello di CIRILLO POLI non presenta il problema della divergenza nell'origine caratteristico del modello di CAGNETTI FERRARA ma richiede comunque l'indicazione di:

- direzione prevalente del vento
- intensità prevalente
- deviazione standard orizzontale del vento

Non si tratta quindi di un modello propriamente sviluppato per condizioni di assenza di dati, come il modello CAGNETTI FERRARA, ma di un modello da utilizzare in condizioni di vento debole.

Il modello CIRILLO POLI si applica solo alle **sorgenti puntiformi** e, come si può vedere esaminando le equazioni, pur presentando una soluzione che ricorda la gaussiana presenta valori diversi da zero anche sopravento alla sorgente.

5.2.1. Valutazione dei coefficienti di dispersione

I coefficienti di diffusione turbolenta sono stimati nel modo seguente:

$$\begin{aligned} \gamma &= I_z \cdot u \\ \sigma_u &= u \sqrt{\text{Cosh}(\sigma_\theta^2) - 1} \\ \sigma_v &= u \sqrt{\text{Sinh}(\sigma_\theta^2)} \end{aligned}$$

Eq. 5-3

dove σ_θ rappresenta la deviazione standard della direzione del vento e I_z i coefficienti turbolenti verticali definiti da Briggs e riportati nella tabella seguente:

Stabilità	A	B	C	D	E	F+G
I_z	0,2	0,12	0,08	0,06	0,03	0,016

Il modello è particolarmente indicato nelle situazioni nelle quali il valore di σ_θ è maggiore di 40°, anche se i test e le verifiche riportate in letteratura utilizzano comunque valori inferiori con buoni risultati.

Non sono attualmente disponibili in Italia studi che legano i valori di σ_θ alle classi di stabilità. Indicativamente si possono considerare le correlazioni stabilite da Pasquill – Gifford e ritenute valide da EPA per la definizione strumentale delle classi di stabilità (11):

Classe di stabilità	σ_θ (gradi)	σ_θ assegnato di default dal modello
A	$22,5 \leq \sigma_\theta$	40
B	$17,5 \leq \sigma_\theta < 22,5$	20
C	$12,5 \leq \sigma_\theta < 17,5$	15
D	$7,5 \leq \sigma_\theta < 12,5$	15
E	$3,8 \leq \sigma_\theta < 7,5$	15
F + G	$\sigma_\theta < 3,8$	15

.Tabella 5-1

Diversi studio internazionali (14) confermano l'esistenza di un limite inferiore per σ_v ; in particolare Hanna (14) suggerisce di utilizzare comunque un valore minimo di σ_v pari a 0,5 m/s. Seguendo anche le indicazioni riportate in altri modelli EPA si assume un valore limite inferiore per la

dispersione orizzontale calcolata perpendicolare all'asse del pennacchio; tale valore, modificabile dall'utente, si riflette in un valore limite inferiore per σ_θ e per σ_u . I valori suggeriti sono:

- $\sigma_v=0.5$ per le classi A,B,C,D
- $\sigma_v=0.2$ per le classi E, F+G

5.2.2. Riflessioni in quota

In analogia con quanto applicato al modello gaussiano in caso di riflessioni in quota (fumigazione), quindi limitatamente alle classi A,B,C,D l'equazione Eq. 5-1 viene modificata aggiungendo alla serie ulteriori termini dove i parametri T assumono la seguente forma:

$$T_1^2 = \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} + \frac{(z - (2iH_{inv} - H))^2}{\gamma^2}$$

$$T_2^2 = \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} + \frac{(z + (2iH_{inv} - H))^2}{\gamma^2}$$

$$T_3^2 = \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} + \frac{(z - (2iH_{inv} + H))^2}{\gamma^2}$$

$$T_4^2 = \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} + \frac{(z + (2iH_{inv} + H))^2}{\gamma^2}$$

Eq. 5-4

con $i=1, N_{rifl}$ dove N_{rifl} è il numero massimo di riflessioni impostato come parametro di default, e H_{inv} rappresenta la base dell'inversione in quota.

L'inversione in quota si comporta come un tappo riflettendo verso il suolo la diffusione del pennacchio. Il modello gaussiano non considera la possibilità che il pennacchio riesca a superare l'inversione: nel caso ciò si realizzi la diffusione verso il basso viene fortemente inibita e i valori di concentrazione risultano molto bassi. Per questo motivo l'inserimento di una inversione in quota più bassa dei valori standard dello strato rimescolato va effettuata con molta cautela perché può portare a valori molto elevati e non realistici di concentrazione al suolo.

La serie riportata nella formula converge abbastanza rapidamente e in generale sono sufficienti poche iterazioni: il parametro impostato di default esegue 4 riflessioni.

Il modello contiene dei valori di default per l'altezza dello strato rimescolato: è comunque possibile inserire un valore direttamente come dato di input

5.2.3. Il modello di Cirillo Poli ridotto

Il modello Cirillo Poli Ridotto si applica nelle condizioni di assenza di dati, quando cioè la velocità del vento è indicata come zero. L'equazione del modello ridotto si ricava assumendo che:

- i coefficienti α e β sono costanti e assumono il valore del limite inferiore ammesso per questi parametri
- l'equazione si ottiene facendo il limite per $u \rightarrow 0$

$$C(x, y, z) = \sum_{i=1,2} \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \alpha \beta \gamma \cdot T_i^2}$$

$$T_1^2 = \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} + \frac{(z+H)^2}{\gamma^2}$$
$$T_1^2 = \frac{x^2}{\alpha^2} + \frac{y^2}{\beta^2} + \frac{(z-H)^2}{\gamma^2}$$

Eq. 5-5

dove α , β e χ sono legati ai coefficienti di diffusione turbolenta dalla relazione:

$$\alpha = \sigma_u = \sigma_{\min}$$

$$\beta = \sigma_v = \sigma_{\min}$$

$$\gamma = \frac{1}{t} \sigma_z(t)$$

Eq. 5-6

5.2.4. Tabella riepilogativa del calcolo

In questa tabella si assume che:

- $u_g = 1$ m/s valore limite inferiore di applicabilità del modello gaussiano
- $u_c = 0,5$ m/s valore limite inferiore per la velocità del vento nel modello Cirillo Poli

Questi valori possono essere modificati dall'utente tramite la gestione dei parametri generali del modello.

Calcolo	CIRILLO POLI	CIRILLO POLI RIDOTTO
Recettori esclusi dal calcolo	Nessuno	Nessuno
Coeff. B_h e B_w	dipendenti dalla direzione	valori medi su tutto l'angolo giro
Effetto scia del camino	NON CONSIDERATO	NON CONSIDERATO
verifica condizioni Building Downwash	come gaussiano: si utilizza la velocità dell'aria riportata alla quota del camino assumendo come valore minimo u_g	come gaussiano: si utilizza la velocità dell'aria riportata alla quota del camino assumendo come valore minimo u_g
Applicazione modello Huber Snyder	NON CONSIDERATO	NON CONSIDERATO
Riduzione di Heff per effetto del modello di Briggs in presenza di Building Downwash	come gaussiano: si utilizza la velocità dell'aria riportata alla quota del camino assumendo come valore minimo u_c	come gaussiano: si utilizza la velocità dell'aria riportata alla quota del camino assumendo come valore minimo u_c
Calcolo del sovrizzo termico	come gaussiano: si utilizza la velocità dell'aria riportata alla quota del camino assumendo come valore minimo u_g	come gaussiano: si utilizza la velocità dell'aria riportata alla quota del camino assumendo come valore minimo u_g
Calcolo Σ_{maz}	modello CP si utilizza la velocità dell'aria riportata alla quota del camino assumendo come valore minimo u_g	modello CP si utilizza la velocità dell'aria riportata alla quota del camino assumendo come valore minimo u_g
Calcolo Σ_{mau} e Σ_{mav}	modello CP utilizzando la velocità dell'aria riportata alla quota del camino SENZA assumere un valore minimo. Controllo sul valore minimo direttamente impostato sul valore di sigma.	$\Sigma_{mau} = \Sigma_{mav} =$ valore minimo di default
Calcolo fattore correttivo in presenza di rografia	NON CONSIDERATO	NON CONSIDERATO
Calcolo del Partial Plume rise se richiesto	NON CONSIDERATO: si assume che il plume sia verticale sul camino	NON CONSIDERATO: si assume che il plume sia verticale sul camino
B.I.D	NON CONSIDERATO	NON CONSIDERATO
Calcolo del termine verticale H	Come gaussiano; se c'è il termine di settling utilizza u_c	Come gaussiano; se c'è il termine di settling utilizza u_c
Calcolo dei fattori T	modello CP	modello CP
Calcolo della concentrazione finale	modello CP	modello CP ridotto
Calcolo del termine di decadimento se richiesto	come gaussiano con valore minimo u_c	come gaussiano con valore minimo u_c

La gestione modellistica delle calme di vento richiede estrema cautela; in genere non sono disponibili dati meteorologici sufficienti per trattare correttamente questi fenomeni. Il modello CIRILLO POLI è in realtà un modello nato per trattare le condizioni di vento debole definito. L'applicazione di WinDimula in condizioni di calma di vento, secondo quanto specificato sopra, deve intendersi come un metodo per avere comunque informazioni dove i modelli in genere non ne forniscono.

5.3. Trattamento delle condizioni di calma nel modello short term con sequenza di dati orari

La gestione del calcolo in base ai dati di ogni singolo record orario per sorgenti puntiformi segue lo schema seguente:

u(m/s)	direzione provenienza	dev. standard	Modello utiizzato
u >= 1 m/s	0<= dir <= 360	---	gaussiano
0 < u < 1	0<= dir <= 360	0 < dev <= 100	Cirillo Poli
0 < u < 1	0<= dir <= 360	---	Cirillo Poli con dev. standard assegnata in base ai valori di default per ogni classe di stabilità
dato mancante o u=0	dato mancante	dato mancante	Cirilo Poli ridotto

La gestione del calcolo in base ai dati di ogni singolo record orario per le sorgenti areali segue il seguente schema:

u(m/s)	direzione provenienza	dev. Standard	Modello utiizzato
u >= 1 m/s	0<= dir <= 360	---	Gaussiano
0 < u < 1	0<= dir <= 360	0 < dev <= 100	Gaussiano
dato mancante o u=0	dato mancante	dato mancante	Gaussiano ridotto con split sigma

5.4. Sorgenti Areali

Il modello di CIRILLO POLI NON si applica alle sorgenti areali; nelle situazioni di mancanza di dati si applica un modello gaussiano con split sigma.

Il modello gaussiano ridotto con split sigma presenta le seguenti ipotesi:

- la distanza x è assunta come distanza radiale
- la distanza y è assunta pari al raggio della sorgente areale
- Sigmaz è calcolata come nel modello gaussiano
- seguendo Cirillo e Poli Sigmay è calcolata da:
- $\sigma_y = \sigma_{u\min} \cdot t$
- dove richiesto si assume come velocità del vento il valore minimo impostato di default dal modello per le situazioni di calma

6. Il modello di calcolo della deposizione

6.1. Il calcolo della deposizione secche

Il flusso di deposizione F_d è calcolato mediante il prodotto della concentrazione C per la velocità di deposizione v_d calcolata alla quota di riferimento:

$$F_d = C \cdot v_d,$$

dove C è la concentrazione determinata mediante la formulazione gaussiana a plume. Si trascura, in via cautelativa, l'impovertimento del pennacchio legato alla deposizione.

La velocità di deposizione è calcolata, secondo Slinn e Pleinn, sommando la velocità di sedimentazione gravitazionale v_g all'inverso della somma delle resistenze all'attraversamento dei vari strati:

- per il particolato
$$v_d = \frac{1}{r_a + r_d + r_a r_d v_g} + v_g$$

- per inquinanti gassosi
$$v_d = \frac{1}{r_a + r_d + r_c}$$

- r_a = resistenza aerodinamica [s/cm],
- r_d = resistenza dello strato di deposizione [s/cm]
- r_c = resistenza dello strato di vegetazione [s/cm]
- v_g = velocità di sedimentazione gravitazionale [cm/s]

La resistenza dello strato di vegetazione è un fattore dipendente da molte variabili, come la radiazione solare, l'umidità, la temperatura ed ha una variabilità legata ai cicli stagionali dei vegetali. Per gli scopi del modello si può utilizzare l'approccio conservativo di trascurarla.

La resistenza aerodinamica, determinata dalla parametrizzazione di Byun e Dennis, dipende dalle condizioni di stabilità dell'atmosfera:

- per atmosfera stabile ($L > 0$):
$$r_a = \frac{1}{k u_*} \left[\ln \left(\frac{z_d}{z_0} \right) + 4.7 \frac{z}{L} \right]$$

- per atmosfera instabile ($L < 0$):

$$r_a = \frac{1}{k u_*} \left[\ln \frac{(\sqrt{1 + 16 (z/|L|)} - 1) (\sqrt{1 + 16 (z_0/|L|)} + 1)}{(\sqrt{1 + 16 (z/|L|)} + 1) (\sqrt{1 + 16 (z_0/|L|)} - 1)} \right]$$

con

- L = lunghezza di Monin-Obukhov;
- z_d = altezza di riferimento del surface layer, che si può assumere pari a 1/10 dell'altezza dello strato di mescolamento;
- z = quota di calcolo [m],
- z_0 = rugosità [m],
- u_* = velocità di attrito;
- k = costante di Von Karman (k=0.4)

I parametri micrometeorologici (u_* e L) e l'altezza di mescolamento potranno essere inseriti come input o, in assenza di tali informazioni, stimati dalla seguente tabella indicativa:

Categoria di stabilità	u_*	L_{MO}	H
	[m/s]	[m]	[m]
A	0.15	-2	1500
B	0.2	-10	1000
C	0.4	-100	900
D	0.5	Infinito	800
E	0.2	100	400
F+G	0.1	10	100

La resistenza dello strato di deposizione è calcolabile tramite la relazione:

- per il particolato
$$r_d = \frac{1}{(Sc^{-2/3} + 10^{-3}/St) u_*}$$

- per inquinanti gassosi¹
$$r_d = \frac{d_1}{k u_*} Sc^{\frac{2}{3}}$$

con

- $Sc = \nu/D_B$ numero di Schmidt
- $\nu = 0.15 \text{ cm}^2/\text{s}$ viscosità cinematica dell'aria
- $D_B =$ diffusività browniana [cm^2/s] dell'inquinante in aria
- $g=981 \text{ cm/s}$ accelerazione di gravità
- $St = (\nu_g/g)(u_*^2/\nu)$ numero di Stokes
- $d_1 = 2$ (Calpuff, Slinn et al.)
- $k = 0.4$

La velocità di settling gravitazionale è calcolata tramite la legge di Stokes:

$$\nu_g = \frac{(\rho - \rho_{AIR}) g d_p^2 c_2}{18\mu} S_{CF}$$

con

- ρ = densità della particella [g/cm^3]

¹ "A User's guide for the CALPUFF dispersion model"

$\rho_{AIR} = 1.2 \cdot 10^{-3}$ densità dell'aria
 d_p = diametro aerodinamico della particella [μm]
 $\mu = 1.81 \cdot 10^{-4}$ g/cm/s viscosità dinamica dell'aria
 $c_2 = 1 \cdot 10^{-8}$ conversione da μm^2 a m^2
 S_{CF} = fattore di correzione

$$S_{CF} = 1 + \frac{2x_2 \left(a_1 + a_2 e^{-\left(a_3 d_p / x_2 \right)} \right)}{10^{-4} d_p}$$

con

$$\begin{aligned} x_2 &= 6.5 \cdot 10^{-6} \\ a_1 &= 1.257 \\ a_2 &= 0.4 \\ a_3 &= 0.55 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

La diffusività Browniana è calcolata tramite:

$$D_B = 8.09 \times 10^{-10} \left[\frac{T_a S_{CF}}{d_p} \right]$$

in [cm/s]

con T_a = temperatura dell'aria in [K].

6.2. Il calcolo della deposizione umida

Il meccanismo di dilavamento del pennacchio è supposto di tipo “scavenging ratio”, con relativo impoverimento del termine sorgente.

Indicando con $C(x,y,z)$ la concentrazione calcolata in un punto (x,y,z) mediante la formulazione gaussiana a plume, si assume che la quantità $\varphi(x,y,z)$ di materiale dilavato per unità di volume e di tempo sia proporzionale alla concentrazione secondo la relazione:

$$\begin{aligned} \varphi(x, y, z) &= -\Lambda C(x, y, z) \\ F(x, y) &= -\int_0^{\infty} \varphi(x, y, z) dz = \int_0^{\infty} \Lambda C(x, y, z) dz \end{aligned}$$

dove con F si è indicato il flusso di deposizione (massa per unità di tempo e di area).

Dalla legge di conservazione della massa ed assumendo stazionarietà del termine sorgente e della meteorologia, si ottiene (assumendo flusso lungo x):

$$\begin{aligned} v \frac{dQ(x)}{dx} &= -\Lambda Q(x) \quad \text{con } Q(x) = \int_{y=-\infty}^{y=+\infty} \int_{z=0}^{z=\infty} C(x, y, z) dy dz \\ Q(x) &= Q \exp\left(-\Lambda \frac{x}{v}\right) \end{aligned}$$

in cui si vede che, di fatto, il problema può essere schematizzato come impoverimento del termine sorgente (pari a Q in assenza di pioggia).

Il flusso di deposizione F (massa per unità di tempo e di area) può allora essere valutato come

$$F(x, y) = - \int_0^{\infty} \varphi(x, y, z) dz = \int_0^{\infty} \Lambda C(x, y, z) dz = \Lambda \frac{Q e^{-\frac{\Lambda x}{v}}}{\sqrt{2\pi} \sigma_y(x, y)} e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}}$$

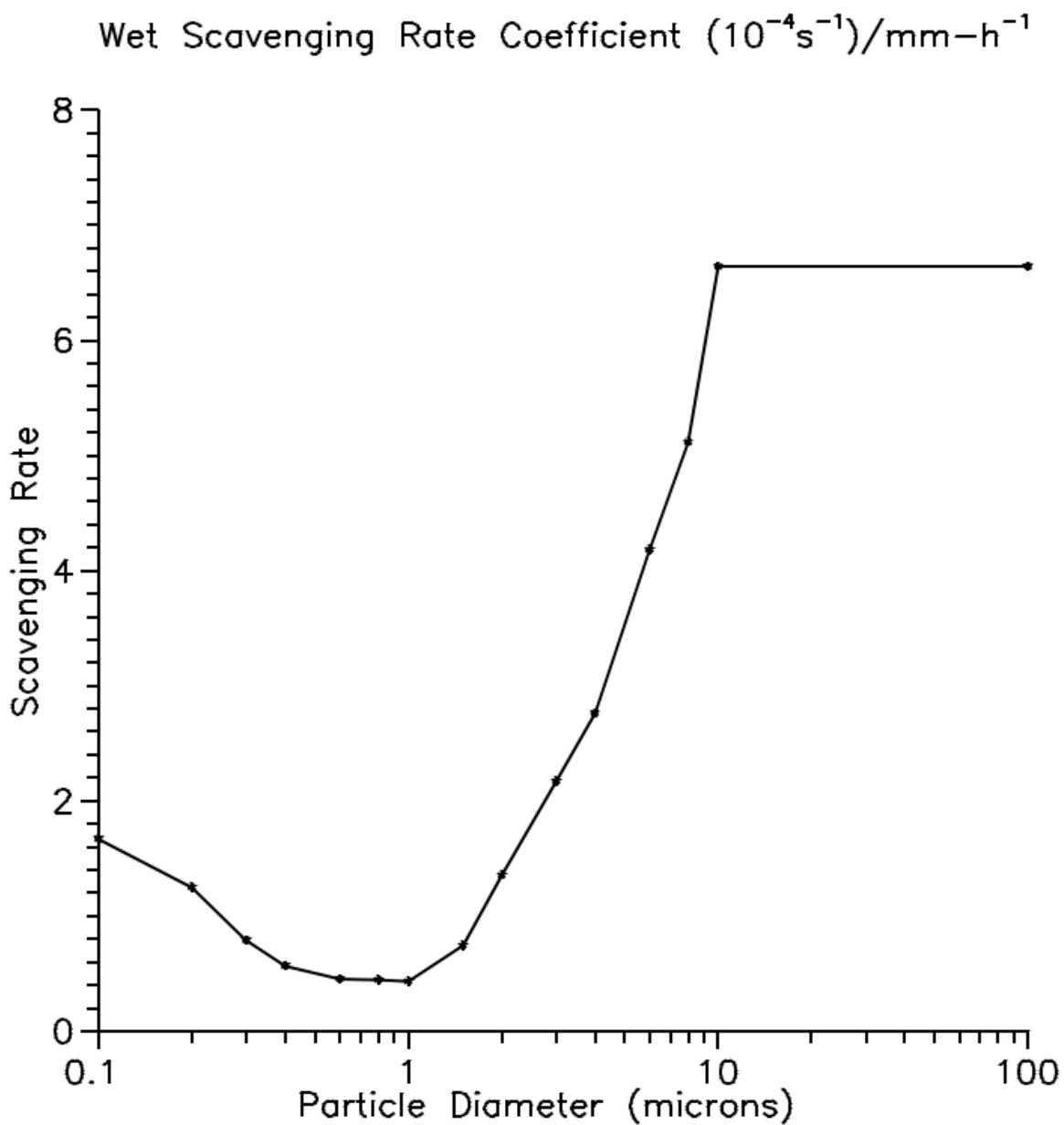
dove la concentrazione può essere valutata tenendo conto dell'impoverimento del termine sorgente Q , oppure assumendo conservativamente che non si abbia impoverimento del pennacchio.

Il coefficiente di dilavamento Λ dipende in maniera lineare dalla intensità della precipitazione R secondo:

$$\Lambda = \lambda R$$

dove λ è espresso in $[s \cdot mm/h]^{-1}$ e R in $[mm/h]$.

Per il particolato λ è funzione del diametro aerodinamico e può essere stimata dal grafico seguente.



Per inquinanti gassosi può invece essere usata la tabella seguente, riportata nel manuale di ISC:

Table 2-10
 Default Values of the Scavenging Coefficient, $\lambda(\text{s mm/hr})^{-1}$

Pollutant	Liquid Precipitation	Frozen Precipitation
SO ₂	3×10^{-5}	0.0
SO ₄ ⁻	1×10^{-4}	3×10^{-5}
NO _x	0.0	0.0
HNO ₃	6×10^{-5}	0.0
NO ₃ ⁻	1×10^{-4}	3×10^{-5}

7. Zone di esclusione dal calcolo

7.1. Zone di esclusione dal calcolo

Esistono alcune condizioni che escludono zone del reticolo dal calcolo:

- la distanza dalla sorgente è inferiore al raggio di esclusione dal calcolo inserito come dato di input per tutte le sorgenti puntiformi o coincide con il centro delle sorgenti areali
- la distanza dalla sorgente è inferiore a $3 \cdot \min(H_b, H_w)$ e si sta valutando il modello di Huber Snyder per il building downwash (vedi oltre)
- le condizioni meteorologiche determinano condizione di intrappolamento dei fumi dovuti ad effetto di Building Downwash (solo nel caso di valutazione di questo effetto): in questo caso viene escluso dal calcolo tutto il dominio

Quando i calcoli non vengono eseguiti si assegna alla concentrazione il valore *NoConcVal* (default = -999); questo parametro viene inserito nel file di output in modo da essere gestito dalla grafica come “buca”

7.2. Condizioni che impongono il valore 0 in tutto il dominio

- l'altezza fisica del camino in condizioni instabili o neutre supera l'altezza di inversione
- l'inversione in quota è totalmente penetrata dai fumi (solo in caso di valutazione di questo effetto)

7.3. Condizioni che impongono il valore 0 in Recettori discreti

Se il recettore si trova a più di 50 gradi dall'asse del pennacchio la concentrazione viene posta uguale a 0. Questa condizione è più restrittiva della usuale condizione di recettore sopravento ma consente di velocizzare molto i calcoli senza perdere accuratezza in quanto in tali recettori i valori calcolati sono trascurabili. La stessa approssimazione è usata da ISC. La formula utilizzata per verificare tale condizione è :

$$Abs(y) > 1,19175 \cdot x$$

Eq. 7-1

Per le sorgenti areali tale controllo è effettuato solo per i punti la cui distanza *y* dal centro della sorgente è maggiore della dimensione lineare della sorgente

8. Impostazioni avanzate

8.1. Controllo dell'equazione gaussiana

8.1.1. Approccio conservativo per il termine di riflessione in presenza di sedimentazione gravitazionale

Si applica a :

Short Term, Sorgenti puntiformi

Significato

In presenza di una velocità di sedimentazione Dimula DOS assume che il terreno sia completamente assorbente eliminando la parte di riflessione presente nel termine verticale della equazione di concentrazione. Questa soluzione dimezza i valori di concentrazione calcolati dalla Eq. 3-1 : il problema si pone soprattutto per inquinanti come le polveri che si trovano al confine e per i quali inserendo valori molto bassi di v_g si ottengono le stesse distribuzioni spaziali (perché l'abbassamento del pennacchio risulta praticamente trascurabile) ma valori di concentrazione dimezzati;

Se si seleziona questa opzione il termine di riflessione NON viene eliminato in presenza di una $V_g > 0$. Questo approccio conservativo è da preferirsi rispetto all'approccio inserito in Dimula DOS

8.1.2. Considerazione del termine di decadimento

Si applica a :

Short Term, Calme di vento, Sorgenti puntiformi e areali

Significato

Se si seleziona questa opzione e se il "coefficiente del termine di decadimento (1/s)" della sorgente in esame è maggiore di 0 viene effettuato il calcolo descritto al par. 3.8

8.1.3. Considerazione degli effetti della deposizione umida

Si applica a :

Short Term, Sorgenti puntiformi e areali

Significato

Se si seleziona questa opzione e se il "Rate di precipitazione dei dati meteo" e lo "Scavenging Ratio della sorgente" sono maggiori di 0 viene effettuato il calcolo descritto al par. 3.4

8.1.4. Utilizzo del gradual plume rise nel calcolo della B.I.D. (Buoyancy Induced Turbulence)

Si applica a :

Short Term, sorgenti puntiformi

Significato

Se si seleziona questa opzione viene utilizzato il gradual plume rise (par. 3.5.7) nel calcolo della BID descritta nel par. 3.6.2

Questa opzione è selezionata automaticamente in caso di calcolo degli effetti di building downwash

8.2. Controllo degli effetti di downwash

8.2.1. Calcolo dell'effetto scia del camino

Si applica a :

Short Term, Calme di vento, Sorgenti puntiformi

Significato

Se si seleziona questa opzione l'altezza fisica del camino viene corretta della quantità indicata nel paragrafo 3.5.2

8.2.2. Utilizzo del modello di riduzione dell'altezza del camino in presenza di "Building Downwash"

Si applica a :

Short Term, Calme dei vento, Sorgenti puntiformi

Significato

Se si seleziona questa opzione e se il modello verifica la presenza di condizioni di Building downwash l'altezza fisica del camino viene corretta come indicato nel paragrafo 3.7.3.

8.2.3. Utilizzo del modello di Huber Snyder per la modifica delle sigma di dispersione

Si applica a :

Short Term, ,Sorgenti puntiformi

Significato

Se si seleziona questa opzione e se il modello verifica la presenza di condizioni di Building Downwash le sigma di dispersione vengono corrette come indicato nel paragrafo 3.7.2. Se si seleziona questa opzione viene automaticamente selezionata l'opzione "Calcolo del gradual plume rise" 8.2.4.

8.2.4. Calcolo del "gradual plume rise"

Si applica a :

Short Term, Sorgenti puntiformi

Significato

Se si seleziona questa opzione il modello calcola il gradual plume rise descritto nel paragrafo 3.5.7

8.2.5. Valutazione della penetrazione dei fumi nell'inversione in quota

Si applica a :

Short Term, Calme di vento, Sorgenti puntiformi

Significato

Se si seleziona questa opzione e se il valore della " Forza dell'inversione" nei dati meteo è > 0 il modello applica la correzione descritta nel paragrafo 3.5.6

8.3. Impostazioni di Default

Per default il modello imposta :

- Approccio conservativo per il termine di riflessione in presenza di sedimentazione gravitazionale
- Calcolo dell'effetto scia del camino

9. Parametri generali del calcolo

Il numero tra parentesi quadre si riferisce all'indice del parametro nel database di configurazione.

Parametro	Tipo	Descrizione	Default
-----------	------	-------------	---------

Valore per la zona di esclusione dal calcolo:

NoConcVal [1]	Single	Valore assegnato alla concentrazione nelle condizioni di esclusione dal calcolo. E' preferibile questa soluzione al porre C=0 per consentire ai programmi grafici di escludere questi valori dai grafici	-999
---------------	--------	--	------

Calcolo velocità del vento alla quota H:

Umin [162]	Single	valore minimo per la velocità del vento (m/s)	1
Hmin [163]	single	valore minimo dell'altezza per il calcolo della velocità del vento (m)	10
Hmax [164]	Single	valore massimo dell'altezza per il calcolo della velocità del vento (m)	200
Gamma [165 – 170]	Single (1,6)	valori degli esponenti gamma della relazione	A=0,1 B=0,1 C=0,16 D=0,16 E=0,3 F=0,3
Z0def [171]	Single	valore di default per la zo da usare in mancanza di dati	0,1

Stack Tip Downwash:

HsDownMin [180]	Single	frazione del cammino massima per la riduzione dello stacktip ($H_{rid} \geq H * H_{sDownMin}$)	1/3
-----------------	--------	--	-----

Plume Rise:

Htop [172 – 177]	Single (1,6)	altezza strato rimescolato; per le classi A,B,C,D questo dato può essere modificato dal dato di input meteo altezza dell'inversione in quota	A=1500 B=1500 C=1000 D=500 E,F=10000
$\partial\theta / \partial z$ [178, 179]	Single (1,2)	gradiente verticale di temperatura potenziale (K/m)	E=0,02 F=0,035

Parametri di dispersione: [11 – 160]

SigRur	(1 To 2, 1 To 6, 1 To 6)	coeff. sigma rurali, (1=y,2=z),(1=A,..6=F+G),(1=coef A, 6=coef F)	vedi tabella in fondo
SigUrb	(1 To 2, 1 To 6, 1 To 4)	coeff. sigma urbane, (1=y,2=z),(1=A,..6=F+G),(1=coef A, 6=coef D)	vedi tabella in fondo

SigRho	(1 To 2, 1 To 6, 1 To 2)	coeff. sigma rugosità, (1=y,2=z),(1=A,..6=F+G),(1=coef A, 6=coef B)	vedi tabella in fondo
AlfaRho	(1 To 2)	coeff. alfa della sigma rugosità	vedi tabella in fondo
BetaRho	(1 to 2)	coeff. beta della sigma rugosità	vedi tabella in fondo
GammaRho	(1 To 2)	coeff. gamma della sigma rugosità	vedi tabella in fondo
SistarFact [161]	Single	fattore moltiplicativo del raggio della sorgente areale per il calcolo della Sigma Y iniziale	0,5

Equazione gaussiana:

Nrifl [1]	Single	Numero di riflessioni al top dello strato rimescolato	4
Fatt [2 - 7]	(1 To 6)	fattore di correzione orografica	A=1 / 0,5 B=1 / 0,5 C=1 / 0,5 D=1 / 0,5 E=0 / 0,3 F=0 / 0,3
HoroMin [8]	Single	valore minimo per il termine H in calcoli con orografia	10
HcamMin [9]	Single	valore minimo per il termine H	1

Calme di Vento:

VcalmaDef [181]	Single	Valore di default per la velocità del vento	0.8
DevCalmaDef() [182 - 187]	Single	Valori di default per la deviazione standard della direzione del vento	A = 40 B = 20 C = 15 D = 15 E = 15 F = 15
SigmaVMin [188]	Single	Valore minimo ammesso per la Sigma laterale (Hanna)	0.5

N.B.

- il numero tra [] indica l'indice dell'elemento nel db Parametri
- gli esponenziali sono calcolati solo se l'esponente in valore assoluto è minore di 60 altrimenti sono posti uguali a 0

9.1. Tabelle per la valutazione dei parametri di dispersione in caso di vento

Briggs verticale in campo aperto (b=1, e=1, f=1)

STABILITA	a	c	d
-----------	---	---	---

A	0,2	0	1
B	0,12	0	1
C	0,08	0,0002	-0,5
D	0,06	0,0015	-0,5
E	0,03	0,0003	-1
F+G	0,016	0,0003	-1

Briggs verticale in aree urbane (b=1)

STABILITA ,	a	c	d
A	0,24	0,001	0,5
B	0,24	0,001	0,5
C	0,2	0	1
D	0,14	0,0003	-0,5
E	0,08	0,0015	-0,5
F+G	0,08	0,0015	-0,5

Dispersione verticale dipendente dalla rugosità ($\alpha=10$, $\beta=0,53$ $\gamma=-0,22$)

STABILITA ,	a	b
A	0,28	0,9
B	0,23	0,85
C	0,23	0,8
D	0,2	0,76
E	0,15	0,73
F+G	0,12	0,67

Briggs laterali in campo aperto (b=1, c=0,0001, d=-0,5, e=1, f=1)

STABILITA ,	a
A	0,22
B	0,16
C	0,11
D	0,08
E	0,06
F+G	0,04

Briggs laterali in aree urbane (b=1, c=0,0001, d=-0,5)

STABILITA ,	a
A	0,32
B	0,32
C	0,22
D	0,16

E	0,11
F+G	0,11

dispersione laterale dipendente dalla rugosità ($\alpha=10$, $\beta=0,53$ $\gamma=-0,22$)

STABILITA ,	a	b
A	0,29	0,9
B	0,24	0,85
C	0,26	0,8
D	0,23	0,76
E	0,18	0,73
F+G	0,15	0,67

Dati relativi alle sorgenti emissive

9.2. Sorgenti puntiformi

Nome variabile	Tipo	Descrizione	Default
Hcam	Single	Altezza del camino (m)	
Dcam	Single	Diametro interno (m)	
Ucam	Single	Velocità di efflusso dei fumi (m/s)	
Tcam	Single	Temperatura dei fumi (°K)	
Z0cam	Single	Rugosità superficiale	0,1
Xcam	Single	coordinata x del camino (m)	
Ycam	Single	coordinata y del camino (m)	
Qcam	Single	quota orografica della base del camino (m): usata solo se è selezionata l'opzione di calcolo per tener conto dell'orografia	0
Ecam	Single	emissione del camino (massa/s)	
Vgcam	Single	velocità di sedimentazione gravitazionale (m/s)	0
Deccam	Single	coefficiente del termine di decadimento (1/s)	0
Rnocam	Single	raggio di esclusione dal calcolo (m)	10
Srcam	Single	scavenging ratio usato per la deposizione umida (hr/s*mm)	0
Bhcam(1,36)	Single	Coeff. Bh ogni 10 gradi con orientamento orario e Nord=0	0
BWcam(1,36)	Single	Coeff. Bw ogni 10 gradi con orientamento orario e Nord=0	0
freq(1:24)	Single	Coeff. orario di moltiplicazione per l'emissione	1
Sycam	String	RURALI, URBANE, RUGOSITA = indica il tipo di modello per il calcolo di Sigma	RURALI
Szcam	String	RURALI, URBANE, RUGOSITA = indica il tipo di modello per il calcolo di Sigma	RURALI

- l'effetto della Vgcam viene considerato solo se > 0
- la quota orografica della base del camino viene considerata solo se è stata selezionata l'opzione di controllo del calcolo con orografia
- il coefficiente del termine di decadimento, e lo scavenging ratio sono usati solo se sono state selezionate le rispettive opzioni di calcolo e solo se sono > 0
- Assegna il valore di default se legge 999

9.3. Sorgenti areali

Nome variabile	Tipo	Descrizione	Default
Hcam	Single	Altezza del punto di emissione (m)	1
Rarea	Single	Raggio della sorgente (m)	
Z0cam	Single	Rugosità superficiale	0,1
Xcam	Single	coordinata x del centro (m)	
Ycam	Single	coordinata y del centro (m)	
Qcam	Single	quota orografica della base della sorgente (m): usata solo se è selezionata l'opzione di calcolo per tener	0

		conto dell'orografia	
Ecam	Single	emissione totale (massa/s)	
Vgcam	Single	velocità di sedimentazione gravitazionale (m/s)	0
Deccam	Single	coefficiente del termine di decadimento (1/s)	0
Sream	Single	scavenging ratio usato per la deposizione umida (hr/s*mm)	0
Sycam	String	RURALI, URBANE, RUGOSITA = indica il tipo di modello per il calcolo di Sigma	RURALI
Szcam	String	RURALI, URBANE, RUGOSITA = indica il tipo di modello per il calcolo di Sigma	RURALI
Szinit	Single	Sigma z iniziale	Hcam/2.15

- l'effetto della Vgcam viene considerato solo se > 0
- la quota orografica della base della sorgente viene considerata solo se è stata selezionata l'opzione di controllo del calcolo con orografia
- il coefficiente del termine di decadimento, e lo scavenging ratio sono usati solo se sono state selezionate le rispettive opzioni di calcolo e solo se sono > 0
- Assegna il valore di default se legge 999

10. Riferimenti principali

- 1) Handbook on Atmospheric Diffusion – Hanna, Briggs, Hosker ,1982
- 2) The Engineers Guide to air pollution Meteorology – Schnelle, 1979
- 3) Guideline on Air Quality Models - Environmental Protection Agency ,1998
- 4) Guideline for Determination of Good Engineering Practice Stack Height - Environmental Protection Agency EPA-450/4-80-023R, 1985
- 5) Previsione dell'altezza effettiva dei pennacchi di fumo in atmosfera – Anfossi – Ingegneria Ambientale, Vol 13 n.9, 1984
- 6) User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models – Description of Model Algorithms – U.S. Environmental Protection Agency ,1995
- 7) La qualità dell'aria Modelli previsionali e gestionali – Finzi, Brusasca – Masson 1991
- 8) A User 's Guide for the CALPUFF Dispersion Model – Earth Tech, 1999
- 9) DIMULA Guida agli algoritmi utilizzati nel modello – ENEA Dipartimento Ambiente ,1993
- 10) An Intercomparison of semiempirical diffusion models under low wind speed, stable conditions – Cirillo, Poli – Atmospheric Environment Vol 26A n. 5 ,1992
- 11) Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications – Febbraio 2000
- 12) Dimula: un codice multisorgente per il calcolo delle concentrazioni in aria , la livello del suolo, degli inquinanti – Cirillo Cagnetti – RTI/STUDI-VALSAMB(82)8 – ENEA
- 13) “Building Profile Input Program” EPA-454/R-93-038
- 14) S.R.Hanna – Lateral Dispersion in Light-Wind Stable Conditions – Il nuovo Cimento – Vol. 18 C, N. 6 - 1990
- 15) G. Briganti, S. Giarola, **G. Grippa**, G. Zanini, S. Monforti, M. P. Kolarova – WinDimula 2.0 model evaluation with the Model Validation Kit – Harmonization within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Belgirate (Lake Maggiore), Italy, May 28-31 2001.