

---

# Alkeemia S.p.A.

Stabilimento di Porto Marghera (VE) Via della Chimica 5 – 30175

---



## ALKEEMIA

**DOMANDA DI RIESAME DELL' AUTORIZZAZIONE  
INTEGRATA AMBIENTALE  
(D.Lgs 3 aprile 2006, n. 152 e smi)**

**ALLEGATO D5 – Valutazione SQA**

## Sommario

<b>1. INTRODUZIONE</b> .....	<b>2</b>
<b>2. RIFERIMENTI NORMATIVI</b> .....	<b>2</b>
3.1. VALORI LIMITE DI QUALITÀ DELL'ARIA .....	2
<b>3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO – AREA DI STUDIO</b> .....	<b>3</b>
<b>4 MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO</b> .....	<b>4</b>
4.1. I DATI DI IMPUT DEL SISTEMA .....	4
4.2. I DATI GEOFISICI .....	5
4.3. I DATI METEOROLOGICI .....	7
4.4 ANALISI PRELIMINARE DEI DATI METEOROLOGICI E ANEMOMETRICI .....	7
4.5 QUALITÀ DELL'ARIA PRESSO LA CENTRALINA DI PARCO BISSUOLA .....	8
4.6 RECETTORI SENSIBILI.....	9
4.7 I DATI EMISSIVI.....	10
<b>5. I RISULTATI DELLE SIMULAZIONI</b> .....	<b>10</b>
<b>6. RIFERIMENTI</b> .....	<b>12</b>
<b>7. APPENDICE 1 – CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DIFFUSIVO HUANG</b> .....	<b>13</b>

### Estensore del documento

La stesura del presente documento è stata eseguita dallo STNR S.r.l. con sede legale e sede operativa in via Castelli 44 - 30175 Marghera Venezia.

L'analista che ha eseguito le simulazioni è il dott.Ing. Renato NORDIO



## 1. INTRODUZIONE

L'oggetto del presente studio è l'analisi previsione della diffusione in atmosfera di inquinanti e la valutazione delle concentrazioni al suolo degli stessi, rilasciati dai camini presenti nell'area industriale di Porto Marghera presso il sito Alkeemia Srl .

Le simulazioni eseguite consentiranno di valutare l'impatto dispersivo sull'ambiente circostante il nuovo progetto previsto per lo stabilimento analizzando le condizioni di concentrazione al suolo più gravose a cui i recettori individuati possono essere soggetti.

Lo studio predittivo diffusionale è stato sviluppato in riferimento all'emissione delle sostanze emesse dai nuovi camini utilizzando modelli matematici in grado di valutare la meteorologia tridimensionale dell'area e la diffusione degli inquinanti tenendo conto delle caratteristiche climatologiche e geomorfologiche della zona di insediamento dell'attività oltre che alle caratteristiche costruttive ed emissive degli impianti.

Le simulazioni sono state eseguite sulle emissioni standardizzate delle nuove linee in fase di autorizzazione PAUR

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI

I valori relativi alle simulazioni ottenute sono confrontati con i limiti riportati nell'Allegato XI del D.Lgs 13 agosto 2010, n.155 e s.m.i. "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" e nel D. Lgs 250/2012, che lo modifica.

### 3.1. VALORI LIMITE DI QUALITÀ DELL'ARIA

L'attuale normativa italiana vigente in termini di qualità dell'aria rappresentata dal DLGS 13 agosto 2010 n. 155 riporta per le sostanze chimiche considerate nello studio i valori di riferimento per le concentrazioni al suolo riportati in tabella1.

**Tabella 1: Indicatori di riferimento di qualità dell'aria adottati nello studio**

Sostanza chimica	Media temporale	Valori limite
Polveri (come PM10)	24 ore	50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) *
	Anno civile	40 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

\*valore da non superare più di 35 volte per anno civile

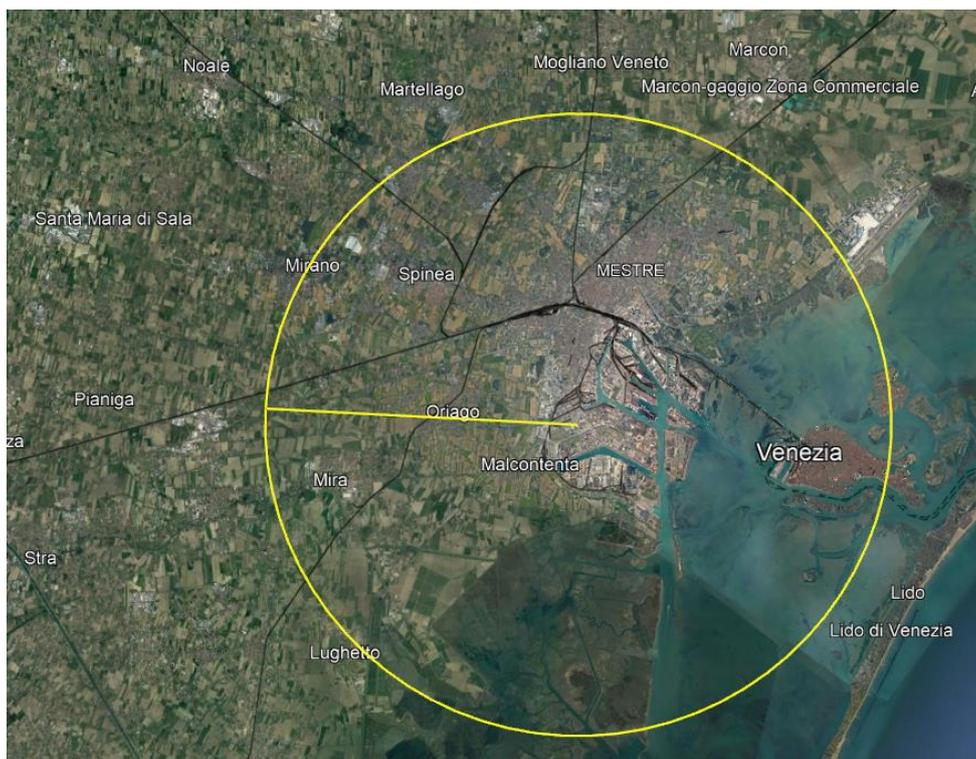
Si evidenzia fin da subito che i dati di input del modello sono espressi come PTS (perché tali sono le informazioni date dal progettista) ma considerati, a fini modellistici, come PM10.

La valutazione della qualità dell'aria per la specie chimica PM10 (PST) è stata effettuata sulla base dei valori limite riportati nell'Allegato XI del D.Lgs 250/2012 (Modifiche ed integrazioni al decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155, recante attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa).

### 3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO – AREA DI STUDIO

La figura 1 identifica l'area di interesse per un raggio di 10 km su cui sarà simulata la dispersione diffusiva.

**Figura 1 area di interesse 10 km**



**Coordinate posizione di riferimento del centro dell'impianto (posizione baricentrica):**

B1 Baricentro  $X_{UTM} = 283705,768$  m [12° 14'01,11"E]  $Y_{UTM} = 5035456,844$  m [45° 26'14,62"N]

Si evidenzia che il modello di calcolo HUANG utilizzato permette di individuare le concentrazioni presenti in qualsiasi punto recettore in quanto permette di individuare l'andamento di concentrazione nel tempo in un qualsiasi punto dell'area di analisi.

**Coordinate posizione di riferimento di tutti i camini coinvolti nello studio:**

004	$X_{UTM} = 283714,878 \text{ m}$ [12° 13'33,38"E] $Y_{UTM} = 5035348,703 \text{ m}$ [45° 27'04,76"N]
005	$X_{UTM} = 283741,350 \text{ m}$ [12° 13'37,17"E] $Y_{UTM} = 5035473,231 \text{ m}$ [45° 27'04,52"N]
006	$X_{UTM} = 283726,531 \text{ m}$ [12° 13'37,17"E] $Y_{UTM} = 5035548,200 \text{ m}$ [45° 27'02,12"N]
007	$X_{UTM} = 283766,454 \text{ m}$ [12° 13'35,40"E] $Y_{UTM} = 5035640,135 \text{ m}$ [45° 27'02,80"N]

## 4 MODELLO DI CALCOLO UTILIZZATO

### DISPERSIONE DI GAS NEUTRI O PESANTI (codice AHuang)

Il modello utilizzato per lo svolgimento dei calcoli di diffusione è concepito principalmente per lo studio di emissioni da camini o sfiati con direzione verticale, costituendo un'alternativa ai classici modelli gaussiani, in particolare per inquinanti con densità maggiore dell'aria. La peculiarità del modello è infatti quella di assumere una distribuzione verticale di concentrazione (sull'asse Z) non gaussiana, ma descritta da un'esponenziale negativa, cioè con un profilo di concentrazione che prevede un massimo al suolo ed un decremento quanto maggiore è la quota di calcolo.

Sull'asse Y (trasversale alla direzione del vento) la distribuzione della concentrazione è di tipo gaussiano.

In Appendice 2 viene riportato un estratto del manuale contenete gli algoritmi del modello HUANG (Rif. [1][2][11]).

### 4.1. I DATI DI IMPUT DEL SISTEMA

L'esecuzione del sistema AHUANG richiede la predisposizione dei seguenti dati di input:

- dati chimico fisici: caratteristici della sostanza in esame
- dati emissivi: dati strutturali del camino e fattori di emissione
- dati meteorologici: massimi di concentrazione sulla rosa dei venti su serie orarie di dati di superficie e di profili verticali
- dati geofisici : orografia di utilizzo del suolo dell'area di calcolo

## 4.2. I DATI GEOFISICI

L'input geofisico è costituito dai dati orografici e di uso del suolo alla risoluzione del dominio di calcolo meteorologico.

Il dominio di calcolo meteorologico definito sull'area di studio il quale è costituito da una griglia cartesiana con le seguenti caratteristiche

L'orografia del dominio di calcolo è stata estratta dal DTM NASA SRTM (dati orografici interpolati a 100 m del territorio italiano [3]; non viene riportata alcuna rappresentazione grafica dell'area estratta in quanto pianeggiante con dislivelli massimi dell'ordine dei 5/6 metri.

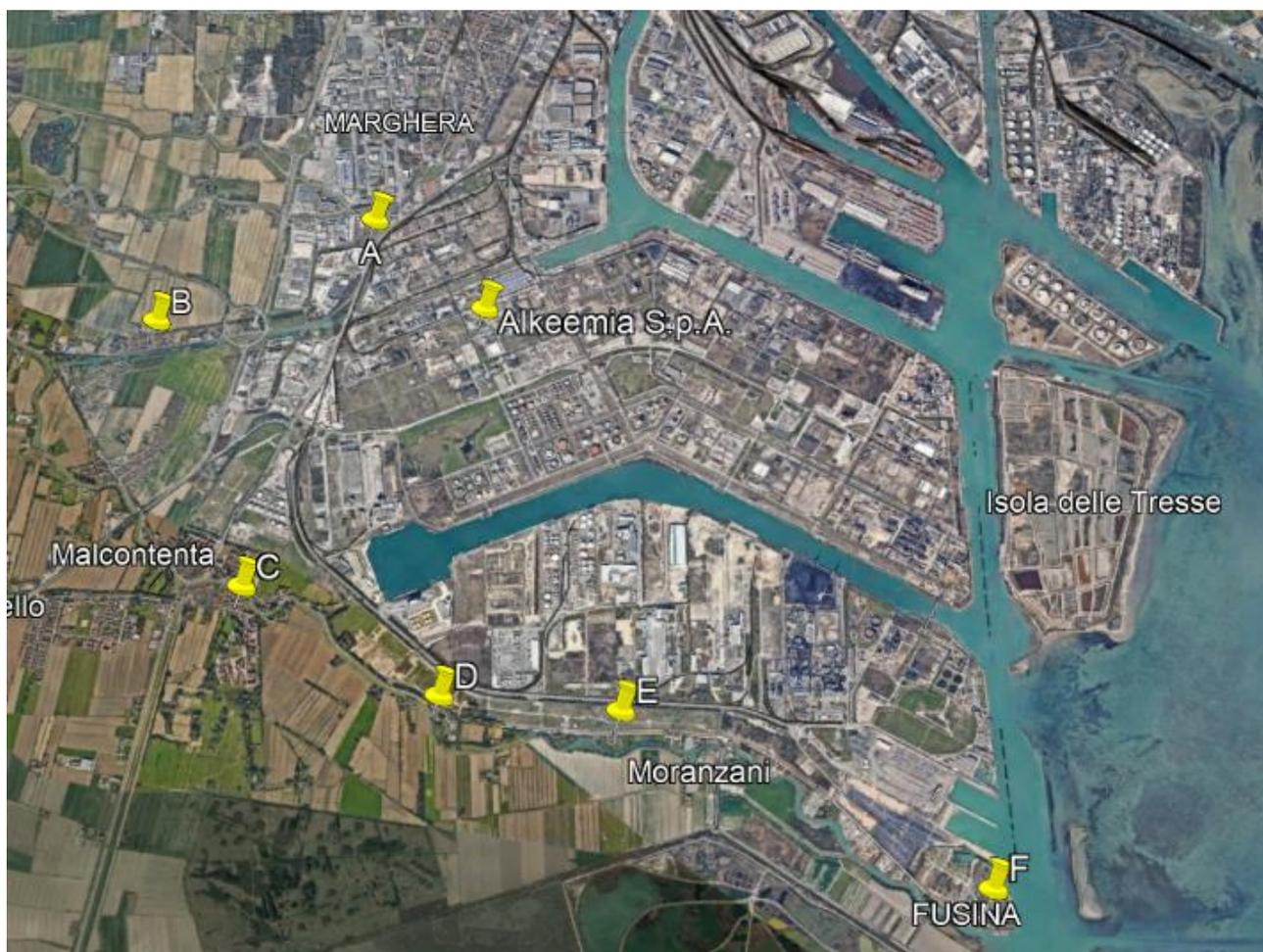
I parametri di uso del suolo utilizzati nella preparazione del file geofisico del sistema AHUANG sono stati definiti attraverso l'abbinamento dei parametri di uso suolo USGS [4] con la classificazione europea di copertura e uso del suolo CORINE Land Cover [5].

**Tabella 2: Indicatori di riferimento dei parametri di uso suolo USGS**

ID	Descrizione CORINE Land Cover	Parametri USGS					
		Rugosità a superf. (m)	Albedo	Rapporto di Bowen	F. calore al suolo	F. calore antrop.	Indice del fogliame
11		1.00	0.18	1.5	0.25	0	0.2
12		0.02	0.26	1	0.15	0	0.5
21		0.25	0.15	0.5	0.15	0	3
22		0.25	0.15	0.5	0.15	0	3
32		0.02	0.1	0.1	0.25	0	1
51		0.00	0.1	0	0.15	0	0

Sulla base dei dati esposti si è considerata la condizione orografica che consente la migliore distribuzione degli inquinanti in modo da rendere cautelativo il calcolo di diffusione [ID12].

**Figura 2: Distribuzione spaziale dei parametri di uso del suolo nel dominio di calcolo**



La Tabella 3 riporta le caratteristiche geografiche dei recettori sensibili inclusi nell'area di calcolo.

**Tabella 3: Recettori sensibili presenti nel dominio di calcolo**

ID	Recettore	Coordinate geografiche	
		Latitudine	Longitudine
A	Area Fusina Edificio abitativo privato	45°27'18.37"	12°12'43.49"
B	Area Moranzani Edificio abitativo privato	45°26'56.33"	12°12'59.50"
C	Area Moranzani Edificio abitativo privato	45°26'04.09"	12°12'27.61"
D	Area Malcontenta Edificio abitativo privato	45°25'45.22"	12°13'15.46"
E	Area Cà Brentelle Edificio abitativo privato	45°25'40.01"	12°13'58.93"
F	Area Marghera Edificio abitativo privato	45°25'12.28"	12°15'28.61"

### 4.3. I DATI METEOROLOGICI

Per la ricostruzione del campo meteorologico tridimensionale dell'area di Fusina sono stati forniti dati dell'anno del dominio di calcolo, relativamente all'intervallo temporale dello studio, il modello di calcolo utilizzato richiede rispettivamente la presenza di:

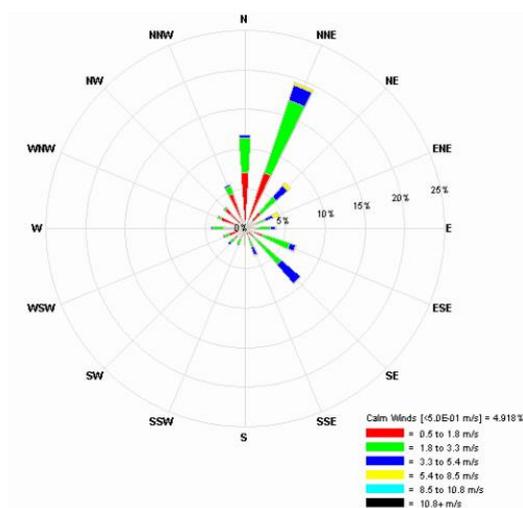
**dei seguenti dati di superficie e profili verticali di:**

- pressione atmosferica (bar)
- temperatura di emissione (° K)
- Temperatura del substrato di ricaduta (°K)
- temperatura ambientale (° K)
- velocità del vento (m/s)
- classe di stabilità / direzione di provenienza del vento (° da nord)

### 4.4 ANALISI PRELIMINARE DEI DATI METEOROLOGICI E ANEMOMETRICI

Dall'analisi della rosa dei venti di seguito riportata la prevalenza del vento identificata spira da NNE e da SE, la coordinata radiale (lunghezza del settore circolare) rappresenta la frequenza, il colore dei cunei indica l'intensità del vento.

**Figura3 Rosa dei venti**



Per quanto riguarda l'intensità dei venti, si noti come prevalgano i venti da NNE e da SE. Le ore di calma di vento <0.5m/s sono inferiori al 5% delle ore totali. Il valore medio riscontrabile nell'arco dell'intero anno solare è pari a 3,4 m/s.

Per le simulazioni saranno utilizzate velocità del vento e classi di stabilità nelle condizioni di maggiore permanenza e concentrazione nelle aree dei recettori identificati.

#### 4.5 QUALITÀ DELL'ARIA PRESSO LA CENTRALINA DI PARCO BISSUOLA

Di seguito si riporta lo storico triennale dei dati ambientali redatti da Arpav da cui fare riferimento per la qualità dell'aria analizzata dalla centralina di Parco Bissuola

Figura 2 e 3 relazione annuale qualità dell'aria redatto da ARPAV anno 2016 2017

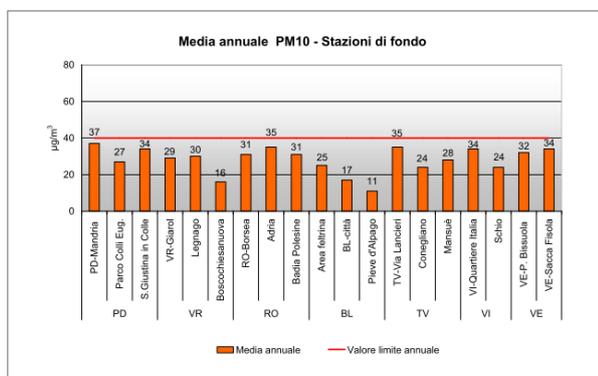


Figura 9. Particolato PM10. Medie annuali confrontate con il valore limite per la protezione della salute umana nelle stazioni di tipologia "fondo".

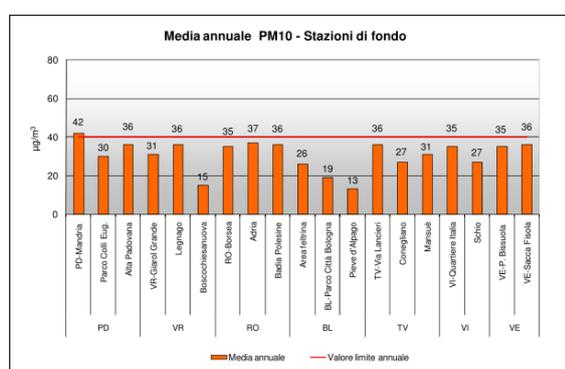


Figura 9. Particolato PM10. Medie annuali confrontate con il valore limite per la protezione della salute umana nelle stazioni di tipologia "fondo".

Figura 4 relazione annuale qualità dell'aria redatto da ARPAV anno 2018

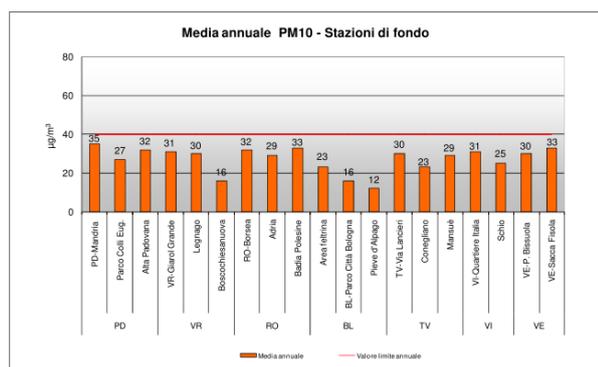


Figura 9. Particolato PM10. Medie annuali confrontate con il valore limite per la protezione della salute umana nelle stazioni di tipologia "fondo".

Le concentrazioni individuate per il parco Bissuola ed utilizzate come bianco tecnico sono di seguito indicate:

$$\sum PM_{10} \text{ Parco Bissuola}$$

Anno 2016	32 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Anno 2017	35 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Anno 2018	30 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

#### 4.6 RECETTORI SENSIBILI

Al fine di valutare la ricaduta sul territorio e verificare il rispetto dei limiti riportati nell'Allegato XI del d.l.s.12/8/2010 n. 155 sono stati individuati 6 recettori presenti nell'intorno dello stabilimento e potenzialmente sensibili alle ricadute degli inquinanti analizzati.

Di seguito sono identificati i recettori e le distanze dal baricentro dello stabilimento

ID	Recettore	Coordinate 33T UTM		Coordinate geografiche		Distanza baricentrica
A	Edificio abitativo privato	5037482.435	282087.687	45°27'18.37"	12°12'43.49"	900 m
B	Edificio abitativo privato	5036790.227	282411.838	45°26'56.33"	12°12'59.50"	1900 m
C	Edificio abitativo privato	5035202.156	281663.122	45°26'04.09"	12°12'27.61"	2200 m
D	Edificio abitativo privato	5034583.796	282682.612	45°25'45.22"	12°13'15.46"	2400 m
E	Edificio abitativo privato	5034390.423	283621.629	45°25'40.01"	12°13'58.93"	2600 m
F	Edificio abitativo privato	5033467.898	285541.128	45°25'12.28"	12°15'28.61"	4100 m

figura3 distanze dai recettori direzione del vento



Identificazione dei recettori coinvolti nella simulazione di ricaduta al suolo (evidenziata l'area dello stabilimento).

#### 4.7 I DATI EMISSIVI

Le caratteristiche strutturali dei punti di emissione sono riportate in Tabella 4.

**Tabella 5: Caratteristiche tecniche dei camini con sezione circolare a sbocco verticale**

Camino	altezza camino (m)	Velocità di emissione (m/s)	T fumi (°C)	diametro camino (m)	Portata Q (Nm <sup>3</sup> /h)
004	20	9,24	25	0,28	2047
005	50	5,83	25	1,02	17150
006	9	9,28	25	0,6	9445
007	27	2,08	25	0,25	367

SO <sub>2</sub>	20 µg/mc	Valore limite annuale per la protezione di ecosistemi
NO <sub>2</sub>	40 µg/mc	Valore Limite Annuale per la protezione della salute umana:
PM 10	50 µg/mc	Valore Linite Giornaliero per la protezione della salute umana:

#### 5. I RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

In questo paragrafo vengono riportati i risultati delle simulazioni effettuate in termini numerici/tabellari.

Nello svolgimento delle simulazioni si è tenuto conto dei recettori sensibili presenti nelle aree limitrofe all'impianto.

**Tabella 6 : Recettori sensibili e distanza dal punto sorgente emissivo**

ID	Recettore	Coordinate UTM		Coordinate geografiche		Distanza baricentrica
		fuso T 33 (m)				
A	Area Fusina Edificio abitativo privato	5037482.435	282087.687	45°27'18.37"	12°12'43.49"	900 m
B	Area Moranzani Edificio abitativo privato	5036790.227	282411.838	45°26'56.33"	12°12'59.50"	1900 m
C	Area Moranzani Edificio abitativo privato	5035202.156	281663.122	45°26'04.09"	12°12'27.61"	2200 m
D	Area Malcontenta Edificio abitativo privato	5034583.796	282682.612	45°25'45.22"	12°13'15.46"	2400 m

ID	Recettore	Coordinate UTM		Coordinate geografiche		Distanza baricentrica
		fuso T 33 (m)				
E	Area Cà Brentelle Edificio abitativo privato	5034390.423	283621.629	45°25'40.01"	12°13'58.93"	2600 m
F	Area Fusina Edificio abitativo privato	5033467.898	285541.128	45°25'12.28"	12°15'28.61"	4100 m

Le simulazioni di diffusione sono state effettuate considerando la presenza dei nuovi camini e le caratteristiche strutturali ed emissive riportate.

Sulla base ai risultati ottenuti si evidenzia quanto segue:

1. Negli scenari considerati nessun indicatore di qualità dell'aria valutato supera il suo corrispondente valore limite all'interno del dominio di calcolo restando almeno un ordine di grandezza al di sotto di esso;
2. Negli scenari considerati i valori calcolati per gli indicatori di legge risultano sempre al di sotto dei valori di legge;

**Tabella 7 :media oraria su 24 h PM10 ai recettori (MOD.STAR)**

A	Polveri (come PM10)*	Valore Limite ex. DLGS 13-8-10 n. 155 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM10 90.4% media oraria su 24 h ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\Sigma$ PM10 e PTS <sup>(secondarie)</sup> fondo parco Bissuola (2016-2017) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
A	Area Fusina Edificio abitativo privato	50	0,001038	32,135	35,135
B	Area Moranzani Edificio abitativo privato	50	0,000219	32,074	35,074
C	Area Moranzani Edificio abitativo privato	50	0,000160	32,156	35,156
D	Area Malcontenta Edificio abitativo privato	50	0,000133	32,379	35,379
E	Area Cà Brentelle Edificio abitativo privato	50	0,000112	32,419	35,419
F	Area Fusina Edificio abitativo privato	50	0,000043	32,054	35,054

\*Valori di ricaduta distribuita delle sorgenti emittitrici elaborazione

Per tutti i recettori presenti nell'intorno dell'impianto, i valori di concentrazione ottenuti risultano al di sotto degli attuali valori limite di legge oltre che al bianco tecnico ( $\Sigma PM_{10}$ ) indicato dalla centralina di parco Bissuola.

Le risultanze modellistiche, indicano che i valori ottenuti dalle simulazioni forniscono valori di output inferiori a quelli analizzati dalla centralina di parco Bissuola presa a riferimento come bianco tecnico ( $\Sigma PM_{10}$ ).

## 6. RIFERIMENTI

[1]	A Theory of Dispersion in Turbulent Shear Flow” - C.H. Huang - Atmospheric Environment vol. 13 (1979).
[2]	HGSYSTEM 3.0 API Publ. 4636 – 1995
[3]	Dati SRTM interpolati a 100m del territorio italiano USGS - EROS Data Center, Sioux Falls, SD, USA ( <a href="http://edc.usgs.gov/">http://edc.usgs.gov/</a> )
[4]	Classificazione di uso del suolo USGS - EROS Data Center, Sioux Falls, SD, USA ( <a href="http://edc.usgs.gov/">http://edc.usgs.gov/</a> )
[5]	Classificazione CORINE Land Cover 1:100.000 aggiornata al 2004 delle regioni italiane APAT. Via V. Brancati. 48 - 00144 Roma ( <a href="http://www.clc2000.sinanet.apat.it">www.clc2000.sinanet.apat.it</a> )
[6]	Modello WRF-NOAA ( <a href="http://www.dtcenter.org/">http://www.dtcenter.org/</a> - <a href="http://www.lamma.rete.toscana.it/wrf-web/doc.html">http://www.lamma.rete.toscana.it/wrf-web/doc.html</a> ) ( <a href="http://www.lamma.rete.toscana.it/wrf-web/doc.html">http://www.lamma.rete.toscana.it/wrf-web/doc.html</a> ).
[7]	Bristow. K.L. and G.S. Campbell (1984). On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum and minimum temperature. <i>Agricultural and Forest Meteorology</i> 31. 159-166.
[8]	Roberto Sozzi 2003 "La micrometeorologia e la dispersione degli inquinanti in aria" APAT CTN-ACE - rtictn_ACE xx/2003
[9]	Slinn, S.A. and W.G.N. Slinn, 1980: Predictions for particle deposition on natural waters. <i>Atmospheric Environ.</i> , <b>14</b> , 1013-1016 Pleim, J., A. Venkatram and R.J. Yamartino, 1984: ADOM/TADAP model development program. Volume The dry deposition mode!. Ontario Ministry of the Environment, Rexdale, Ontario, Canada
[10]	Maul, P.R., 1980: Atmospheric transport of sulfur compound pollutants. Central Electricity Generating Bureau MID/SSD/80/0026/R, Nottingham, England.
[11]	STAR ver. 4.6 2018 Safety Techniques for Assessment of Risk Modello di ricaduta non gaussiano (codice AHuang) - Atmospheric Environment vol. 13 (1979). “A Theory of Dispersion in Turbulent Shear Flow” C.H. Huang; Modell mathematic not gaussian (FISBAT-CNR e Regione Emilia Romagna - 1986)

## 7. APPENDICE 1 – CARATTERISTICHE DEL SISTEMA DIFFUSIVO HUANG

Le descrizioni degli algoritmi presentata in appendice fa riferimento alla trattazione manualistica originale del quale se ne riporta un estratto.

DISPERSIONE DI GAS NEUTRI O PESANTI (codice AHuang)

Questo modello, tratto dalle pubblicazioni riportate in ed in, è concepito principalmente per lo studio di emissioni da camini o sfiati con direzione verticale, costituendo un'alternativa ai classici modelli gaussiani, in particolare per inquinanti con densità maggiore dell'aria. La peculiarità del modello è infatti quella di assumere una distribuzione verticale di concentrazione (sull'asse Z) non gaussiana, ma descritta da un'esponenziale negativa, cioè con un profilo di concentrazione che prevede un massimo al suolo ed un decremento quanto maggiore è la quota di calcolo. Sull'asse Y (trasversale alla direzione del vento) la distribuzione della concentrazione è di tipo gaussiano.

Con le variazioni specificate nel seguito, è applicabile anche nelle seguenti opzioni:

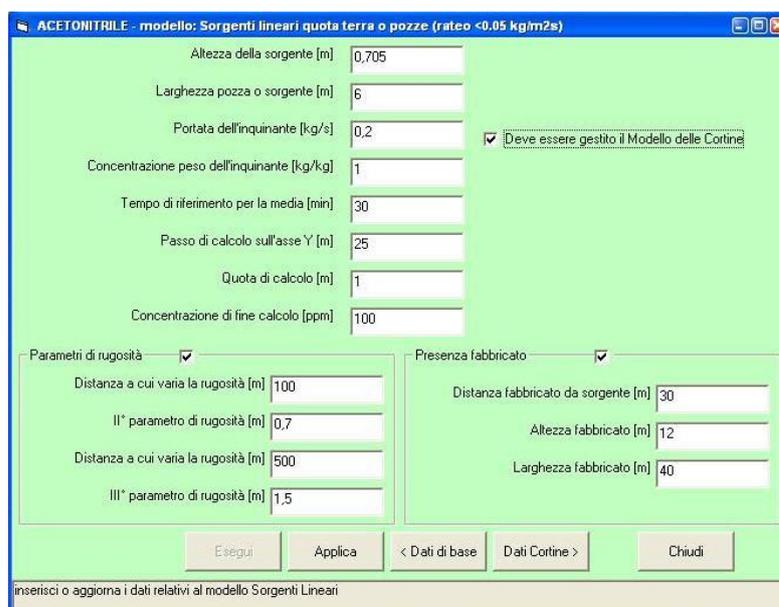
- ☞ emissioni puntiformi a quota del terreno o comunque a qualche metro dal suolo;
- ☞ sorgenti lineari (sviluppo di gas/vapori da pozza con evaporazione  $\leq 0,05 \text{ kg/s/m}^2$ );
- ☞ sviluppo di fumi di combustione da incendi liberi o sotto tettoia.

### Variabili di calcolo (INPUT)

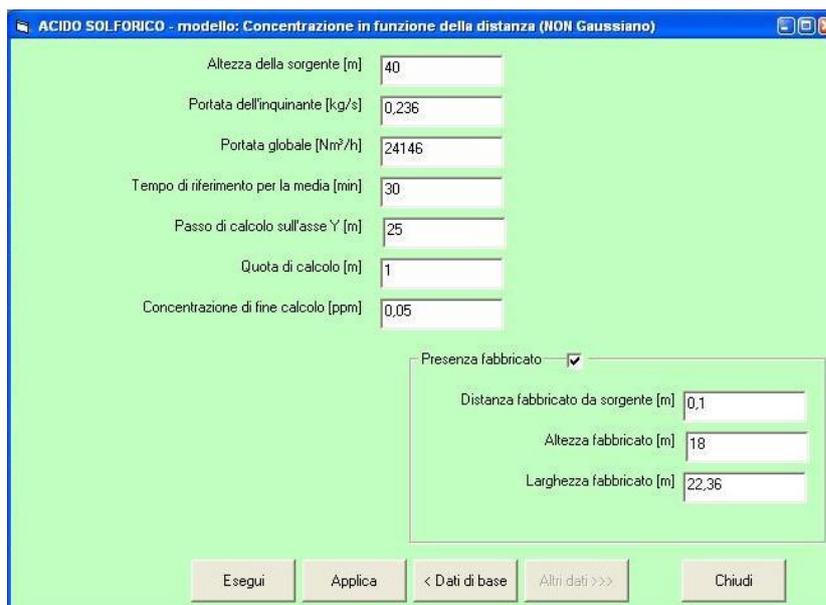
<i>Parametro</i>	<i>opzione modello</i>	<i>n° input</i>	<i>U.M.</i>
<i>Altezza della sorgente</i>	<i>a) d)</i>	<i>1)</i>	<i>(m)</i>
<i>Altezza della fiamma</i>	<i>c)</i>	<i>1)</i>	<i>(m)</i>
<i>Larghezza pozza o sorgente</i>	<i>b)</i>	<i>2)</i>	<i>(m)</i>
<i>Diametro della pozza o sorgente</i>	<i>c)</i>	<i>2)</i>	<i>(m)</i>
<i>Portata dell'inquinante</i>	<i>b) c)</i>	<i>3)</i>	<i>(kg/s)</i>
<i>Portata dell'inquinante</i>	<i>a) c) d)</i>	<i>2)</i>	<i>(kg/s)</i>
<i>Portata globale di efflusso</i>	<i>a) d)</i>	<i>4)</i>	<i>(Nmc/h)</i>
<i>Concentrazione peso dell'inquinante</i>	<i>b)</i>	<i>4)</i>	<i>(kg/kg)</i>
<i>Rateo di combustione</i>	<i>c)</i>	<i>4)</i>	<i>(kg/(mq*s))</i>
<i>Tempo di riferimento per la media</i>	<i>a) d) / b) c)</i>	<i>4) / 5)</i>	<i>(minuti)</i>
<i>Passo di calcolo sull'asse Y</i>	<i>a) d) / b) c)</i>	<i>6) / 5)</i>	<i>(m)</i>
<i>Quota di calcolo</i>	<i>a) d) / b) c)</i>	<i>7) / 6)</i>	<i>(m)</i>
<i>Concentrazione di fine calcolo</i>	<i>a) d) / b) c)</i>	<i>8) / 7)</i>	<i>(ppm)</i>

A seconda dell'opzione, è inoltre possibile tener conto della presenza di fabbricati, tettoie, eventuali variazioni della rugosità, cortine d'acqua, inserendo le opportune variabili di input come esemplificato per due casi nelle figure seguenti.

**Figura 1 – menù modello AHuang sorgente lineare**



**Figura 2 – menù modello AHuang per camini**



**EQUAZIONI DI CALCOLO**

La soluzione dell'equazione di diffusione ed avvezione per emissioni puntiformi continue stazionarie è data dalla seguente relazione (legenda simboli a fine capitolo):

$$C_{(x,y,0)} = \frac{Q}{(\alpha - \beta + 2)^{\frac{\alpha + \beta}{\alpha - \beta + 2}} \cdot \Gamma\left(\frac{\alpha + 1}{\alpha - \beta + 2}\right)} \cdot \frac{z_0^{\left(\frac{\alpha + \beta}{\alpha - \beta + 2}\right)}}{u_0^{\left(\frac{1 - \beta}{\alpha - \beta + 2}\right)} \cdot (x \cdot K_Z)^{\left(\frac{\alpha + 1}{\alpha - \beta + 2}\right)}} \cdot \frac{1}{\sigma_Y \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot K_1 [4.5.01]$$

$\Gamma$  è la funzione gamma di Eulero, mentre:

$$K_1 = \exp\left[-\frac{u_0 \cdot z_0^{(\beta - \alpha)} \cdot H^{(\alpha - \beta + 2)}}{(\alpha - \beta + 2)^2 \cdot x \cdot K_Z}\right] \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2 \cdot \sigma_Y^2}\right) \quad [4.5.02]$$

Questa soluzione è valida nell'ipotesi che, sia il vento, sia il coefficiente di scambio turbolento verticale (KZ) siano funzione di potenza con la quota. La sequenza di calcolo e relazioni adottate vengono di seguito riportate ponendo, per semplicità ed ove pertinente:

**Parametri di calcolo**

I vari fattori che contribuiscono al calcolo dei parametri dell'equazione [4.5.01] sono esplicitati di seguito, mentre i coefficienti vengono forniti nel rispettivo paragrafo, alla fine del capitolo relativo a questo modello.

**Velocità del vento alla quota della sorgente**

$$u_S = u_0 \cdot \left(\frac{h_S}{z_0}\right)^a \quad [4.5.03]$$

Con "a" determinato in funzione della classe di stabilità come segue.

$$a = \frac{\text{Ln}\left(\frac{\eta_S - 1}{\eta_S + 1}\right) \cdot \left(\frac{\eta_0 + 1}{\eta_0 - 1}\right) + 2 \arctg(\eta_S) - 2 \arctg(\eta_0)}{\text{Ln}\left(\frac{\eta_S - 1}{\eta_S + 1}\right) \cdot \left(\frac{\eta_0 + 1}{\eta_0 - 1}\right) + 2 \arctg(\eta_S) - 2 \arctg(\eta_0) + \frac{LMO}{12 \cdot h_S} \cdot (\eta_S^3 - \eta_0^3)} - 1 \quad \text{classi A} \div \text{C} \quad [4.5.04.a]$$

$$a = \frac{\text{Ln}\left(\frac{h_S}{z_R}\right)}{\text{Ln}\left(\frac{h_S}{z_R}\right) + \left(\frac{z_R}{h_S}\right) - 1} - 1 \quad \text{per classe stabilità D (neutrale)} \quad [4.5.04.b]$$



$$a = \frac{\ln\left(\frac{h_S}{z_R}\right) + 5 \cdot \frac{h_S}{LMO}}{\ln\left(\frac{h_S}{z_R}\right) + \frac{5 \cdot h_S}{2 \cdot LMO} - 1 + \frac{z_R}{h_S} \cdot \left(1 - \frac{5 \cdot z_R}{2 \cdot LMO}\right)} - 1 \quad \text{per classi E, F (stabili)} \quad [4.5.04.c]$$

dove

$$\eta_S = \left(1 - 16 \frac{h_S}{LMO}\right)^{0,25} \quad \eta_0 = \left(1 - 16 \frac{z_R}{LMO}\right)^{0,25} \quad [4.5.04.d/e]$$

Successivamente il modello passa a determinare l'eventuale innalzamento del pennacchio ( $\Delta h$ ) dovuto alla temperatura del flusso o, in alternativa, alla velocità di efflusso, al fine di ottenere l'altezza efficace del pennacchio.

### Altezza efficace H

Gli effluenti, prima di assumere una direzione definitiva di avvezione orizzontale, generalmente salgono fino ad una certa altezza perché dotati di una velocità verticale e/o per effetto delle forze di galleggiamento (effluenti caldi).

L'altezza efficace H (per convenzione corrisponde alla quota alla quale l'asse del pennacchio forma un angolo minore o uguale a  $10^\circ$  rispetto all'orizzontale) cui si fa riferimento per il calcolo è data dall'altezza della sorgente più l'innalzamento ( $H = h_S + \Delta h$ ).

La valutazione dell'innalzamento ( $\Delta h$ ) viene eseguita secondo i seguenti criteri:

- ☞ se la differenza tra la temperatura di efflusso ( $T_f$ ) e quella atmosferica ( $T$ ) è inferiore a  $35^\circ$  allora l'innalzamento del pennacchio si calcola con la seguente eq. 1.6:

$$\Delta h = \frac{3 \cdot D_S \cdot v_S}{u_S} \quad \text{con il limite } u_S \geq 1 \text{ m/s} \quad [4.5.05]$$

- ☞ se  $T_f - T_a > 35^\circ$  o se il pennacchio è generato da un incendio, si utilizza la subroutine "Fumicaldi", tralasciando la risalita dovuta alla quantità di moto verticale che è generalmente trascurabile rispetto a quella prodotta dal galleggiamento.

L'innalzamento nel caso di **incendi liberi** (non confinati all'interno di fabbricati) viene calcolato secondo le relazioni e con le assunzioni descritte nello specifico paragrafo 4.7.

La subroutine "Fumicali" determina l'innalzamento  $\Delta h$  secondo la sequenza e con le relazioni di seguito riportate.

Il flusso di calore che origina l'innalzamento del pennacchio è calcolato secondo le indicazioni fornite dal laboratorio FISBAT del CNR con le relazioni seguenti:

$$Q_{H1} = \frac{Q_V \cdot \rho_F \cdot Cp_F \cdot (Tf - Ta)}{3600} \quad [4.5.06.a]$$

$$Q_{H0} = \frac{Q_V \cdot 340 \cdot (Tf - Ta)}{3600} \quad [4.5.06.b]$$

*Da rilevare che la seconda equazione è una semplificazione della prima, fornita dalla medesima fonte.*

Il parametro di spinta verticale (o galleggiamento) dell'effluente viene determinato calcolando anzitutto i seguenti fattori:

$$flux_0 = 0,000038 \cdot Q_{H0} \quad [4.5.07.a]$$

$$flux_1 = \frac{g \cdot Q_{H1}}{\pi \cdot Cp \cdot \rho \cdot Ta} \quad [4.5.07.b]$$

$$flux_2 = \frac{g \cdot v_s \cdot D_s^2 \cdot (Tf - Ta)}{4 \cdot Tf} \quad [4.5.07.c]$$

Da questi fattori si ricava il parametro Flux sulla scorta delle seguenti condizioni:

$$\text{se } Q_{H1} > 10 \text{ MW, Flux} = \text{MIN}(flux_1, flux_2)$$

$$\text{se } Q_{H0} > Q_{H1} \text{ Flux} = flux_0 \quad \text{altrimenti Flux} = flux_1.$$

L'innalzamento del pennacchio " $\Delta h$ " si calcola poi con le seguenti relazioni:

**per atmosfere instabili o neutri** (classi A÷D):

$$I_{CX} = 2,16 \cdot Flux^{0,4} \cdot h_s^{0,6} \quad [4.5.08.a]$$

$$\Delta h = \frac{1,6 \cdot Flux^{0,333} \cdot (3 \cdot I_{CX})^{0,666}}{u_s} \quad [4.5.08.b]$$

L'altezza della sorgente  $h_s$  dev'essere al massimo 300 m; per sorgenti più alte si assume comunque  $h_s = 300$ .

**per atmosfere stabili** (classi E, F):



$$\Delta h = \frac{5 \cdot Flux^{0,25}}{PST^{0,375}} \quad \text{con } u_s \leq 0,5 \text{ m/s} \quad [4.5.09.a]$$

$$\Delta h = 2,6 \cdot \left( \frac{Flux}{u_s \cdot PST} \right)^{0,333} \quad \text{con } u_s > 0,5 \text{ m/s} \quad [4.5.09.b]$$

Dove:

$$PST = \frac{g \cdot dT}{Ta} \quad \text{con } dT=0,02 \text{ per stabilità E; } dT=0,04 \text{ per stabilità F} \quad [4.5.09.c]$$

In questa fase del calcolo viene anche considerata l'eventuale presenza di fabbricati nelle adiacenze dell'emissione con l'apposita routine esplicitata nel seguito.

L'altezza efficace "H" del pennacchio viene quindi ottenuta da:

$$H = h_s + \Delta h \quad [4.5.10]$$

#### Coefficiente di scambio turbolento $K_z$

$$K_z = \frac{k^2 \cdot u_0 \cdot z_0}{G \cdot \Phi} \quad [4.5.11]$$

$$\Phi = 1 \quad \text{per atmosfere neutrale (D)} \quad [4.5.12.a]$$

$$\Phi = \left( 1 - 16 \cdot \frac{z_0}{L} \right)^{-0,5} \quad \text{per classi di stabilità A÷C} \quad [4.5.12.b]$$

$$\Phi = 1 + 5 \cdot \frac{z_0}{L} \quad \text{per stabilità E÷F} \quad [4.5.12.c]$$

Ponendo  $z_0 = 10 \text{ m}$ .

Il parametro G viene calcolato con equazioni diverse, in funzione della classe di stabilità.

$$G = Ln \left[ \frac{(\eta - 1) \cdot (\eta_0 + 1)}{(\eta + 1) \cdot (\eta_0 - 1)} \right] + 2 \arctg(\eta) - 2 \arctg(\eta_0) \quad (\text{classi A÷C}) \quad [4.5.13.a]$$

$$G = Ln \left( \frac{z_0}{z_R} \right) \quad (\text{classe D}) \quad [4.5.13.b]$$

$$G = Ln \left( \frac{z_0}{z_R} \right) + 5 \cdot \frac{z_0}{L} \quad (\text{classi E÷F}) \quad [4.5.13.c]$$

$$\text{con } \eta = \left( 1 - 16 \frac{z_0}{LMO} \right)^{0,25} \quad \eta_0 = \left( 1 - 16 \frac{z_R}{LMO} \right)^{0,25} \quad [4.5.13.d]$$

#### Parametri $\alpha$ e $\beta$



Si tratta degli esponenti del profilo di potenza del vento e del coefficiente di scambio turbolento verticale. Per quanto riguarda il vento, il coefficiente  $\alpha$  è stimato per fornire un valor medio tra il suolo e l'altezza efficace con le seguenti relazioni:

$$\alpha = \frac{\text{Ln}\left(\frac{H}{z_R}\right)}{\text{Ln}\left(\frac{H}{z_R}\right) + \left(\frac{z_R}{H}\right) - 1} - 1 \quad \text{neutrale} \quad [4.5.14.a]$$

$$\alpha = \frac{\text{Ln}\left(\frac{H}{z_R}\right) + 5 \cdot \frac{H}{LMO}}{\text{Ln}\left(\frac{H}{z_R}\right) + \frac{5 \cdot H}{2 \cdot LMO} - 1 + \frac{z_R}{H} \cdot \left(1 - \frac{5 \cdot z_R}{2 \cdot LMO}\right)} - 1 \quad \text{stabile} \quad [4.5.14.b]$$

$$\alpha = \frac{\text{Ln}\left(\frac{\eta_H - 1}{\eta_H + 1} \frac{\eta_0 + 1}{\eta_0 - 1}\right) + 2 \arctg(\eta_H) - 2 \arctg(\eta_0)}{\text{Ln}\left(\frac{\eta_H - 1}{\eta_H + 1} \frac{\eta_0 + 1}{\eta_0 - 1}\right) + 2 \arctg(\eta_H) - 2 \arctg(\eta_0) + \frac{LMO}{12 \cdot H} \cdot (\eta_H^3 - \eta_0^3)} - 1 \quad \text{instabile} \quad [4.5.14.c]$$

Con  $\eta_S = \left(1 - 16 \frac{H}{LMO}\right)^{0,25}$  ed  $\eta_0$  calcolato come nella [4.5.04.e]

Il parametro  $\beta$  si calcola invece in funzione dell'altezza efficace, oltre che della stabilità atmosferica. Le relazioni adottate sono:

$H \leq 200 \text{ m}$	$H > 200 \text{ m}$	stabilità	
$\beta = 1$	$\beta = \frac{200}{H}$	Neutrale	[4.5.15.a]

$\beta = \frac{LMO}{5H} \cdot \text{Ln}\left(1 + \frac{5H}{LMO}\right)$	$\beta = \frac{LMO}{5H} \cdot \text{Ln}\left(1 + \frac{1000}{LMO}\right)$	Stabile	[4.5.15.b]
---	---	---------	------------

$\beta = \frac{3}{2} + \frac{LMO}{32H} \cdot \text{Ln}\left(1 - \frac{16H}{LMO}\right)$	$\beta = \frac{300}{H} + \frac{LMO}{32H} \cdot \text{Ln}\left(1 - \frac{3200}{LMO}\right)$	Instabile	[4.5.15.c]
---	--	-----------	------------

Coefficiente di diffusione laterale  $\sigma_y$

È funzione della distanza di calcolo "x" sottovento alla sorgente inquinante. Originariamente il modello utilizzava le relazioni di Briggs in funzione della stabilità atmosferica e di due tipologie di orografia. Attualmente sono utilizzare le relazioni tratte dalla regressione dei coefficienti di

Hosker, riportate al termine del capitolo, che permettono di tener conto meglio dell'orografia del terreno.

Il coefficiente ricavato dalla regressione viene utilizzato per ottenere  $\sigma_Y$  mediante la:

$$\sigma_Y = sg \cdot x \cdot (1 + x \cdot sk)^{0,5} \quad [4.5.16]$$

Per ottenere la concentrazione ad una quota di calcolo dal suolo pari a  $z_{CAL}$ , il risultato della [4.5.0] viene combinato con il seguente fattore **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.:**

$$K_2 = \exp\left[ z_{CAL}^{(\alpha-\beta+2)} \cdot \frac{u_0 \cdot z_0^{(\beta-\alpha)}}{(\alpha-\beta+2)^2 \cdot x \cdot K_z} \right] \quad [4.5.17]$$

Per cui:

$$C_{(x, y, z_{CAL})} = C_{(x, y, 0)} \cdot K_2 \quad [4.5.18]$$

## Tempo di esposizione

Le concentrazioni calcolate sono riferite a medie su intervalli di tempo predefiniti; le concentrazioni riferite al tempo (t) di esposizione inserito come input si ricavano tramite il coefficiente "ct" ottenuto come segue.

### Ricadute da camini o fumi di combustione:

$$ct = (t/30)^{0,2} \quad \text{per } t < 30 \text{ minuti} \quad [4.5.19.a]$$

$$ct = (t/60)^{0,25} \quad \text{per } t \text{ compreso tra 1 ora e 100 ore} \quad [4.5.19.b]$$

### Sorgenti puntiformi o lineari:

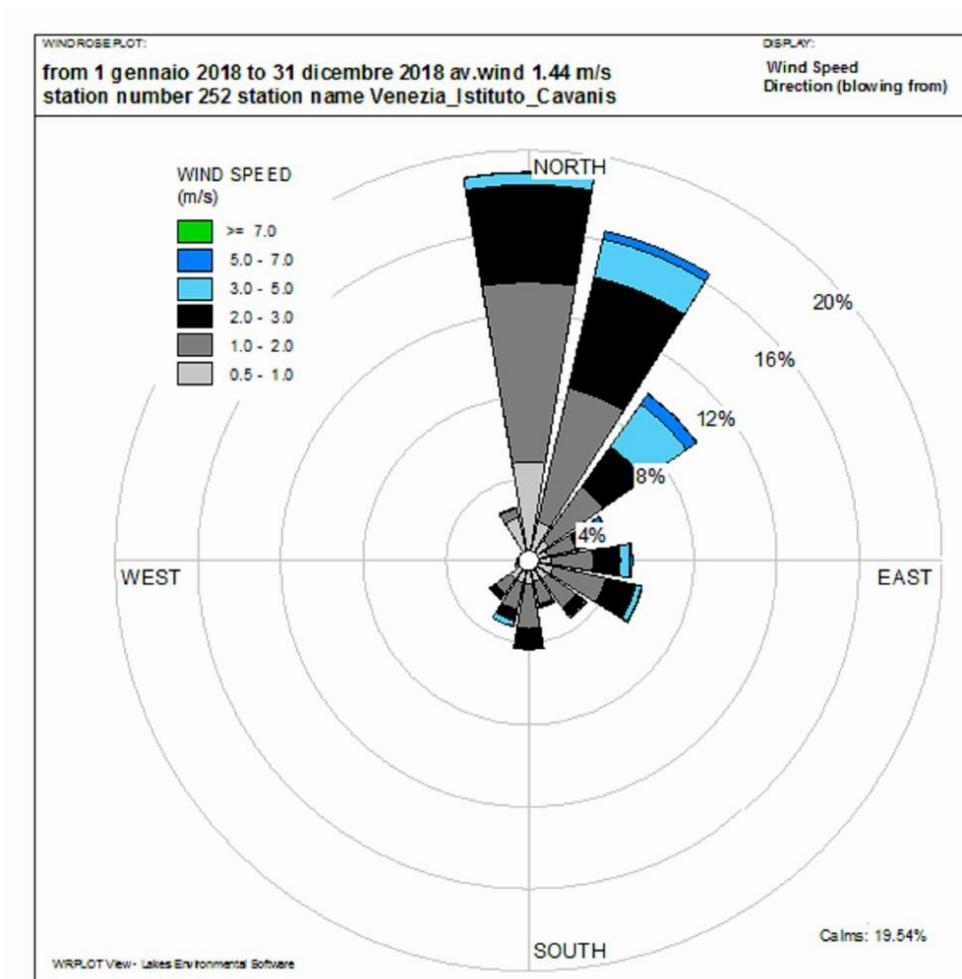
$$ct = (10/t)^{0,2} \quad [4.5.19.c]$$

Il valore stampato è pertanto:  $C_{(x,y,z,t)} = C_{(x,y,z)} \cdot ct \quad [4.5.20]$

*In Figura si riporta la rosa dei venti a scansione oraria registrati presso la stazione di Venezia Istituto Cavanis durante lo svolgimento della campagna di misura 1 gennaio - 31 dicembre 2018: da essa si evince che la direzione prevalente di provenienza del vento è nord (circa 19% dei casi), seguita da nord-nordest (circa 16%), e nord-est (circa 10%).*

*La frequenza delle calme (venti di intensità inferiore a 0.5 m/s) è stata pari a circa 20%;*

La velocità media pari a circa 1.44 m/s.



Rosa dei venti a scansione oraria registrati presso la stazione meteorologica di Venezia Istituto Cavanis nel periodo 1° gennaio - 31 dicembre 2018.