

POLITECNICO DI MILANO

Sistemi per la stima di dispersione atmosferica: la scelta del modello

*Laboratorio
fattometrico*



POLITECNICO
MILANO 1863

Francesca Tagliaferri

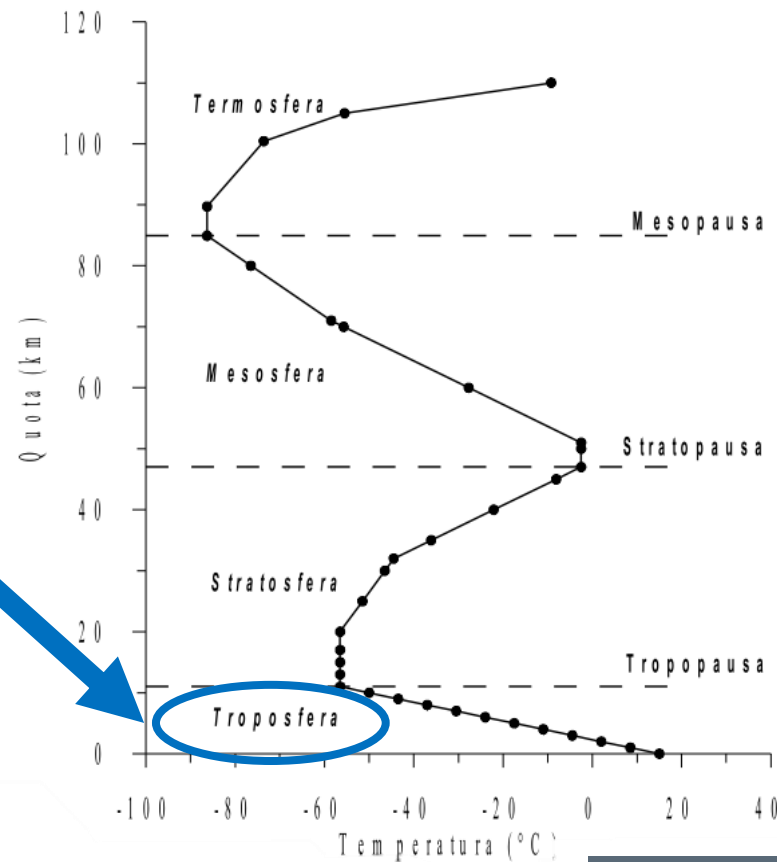
14/10/2022



INTRODUZIONE

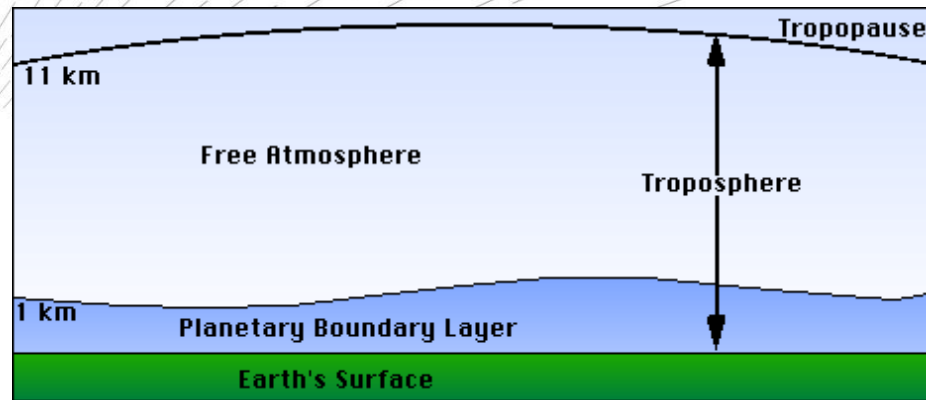
L'atmosfera terrestre

La Troposfera è la parte più bassa dell'atmosfera a diretto contatto con la superficie terrestre. Ai fini dello studio dell'inquinamento atmosferico, siamo interessati solo ad una porzione di essa, quella a più diretto contatto col suolo.



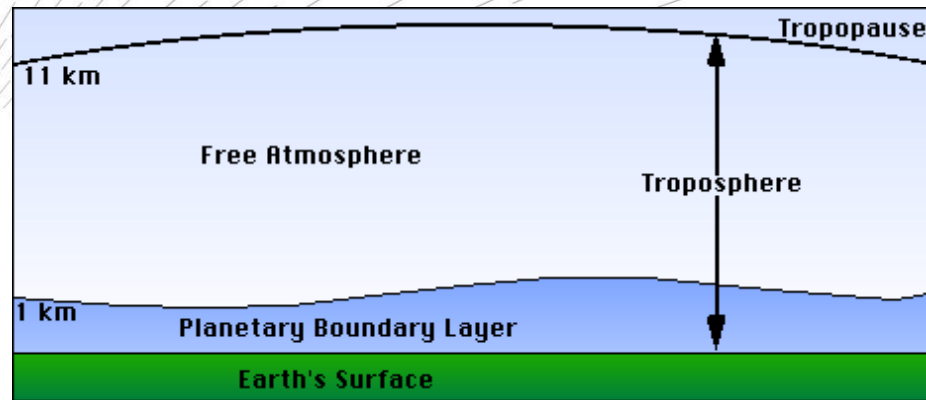
L'inquinamento atmosferico: il *PBL*

Lo strato limite planetario o *Planetary Boundary Layer* (*PBL*) è la porzione di atmosfera interessata dai fenomeni di inquinamento atmosferico.



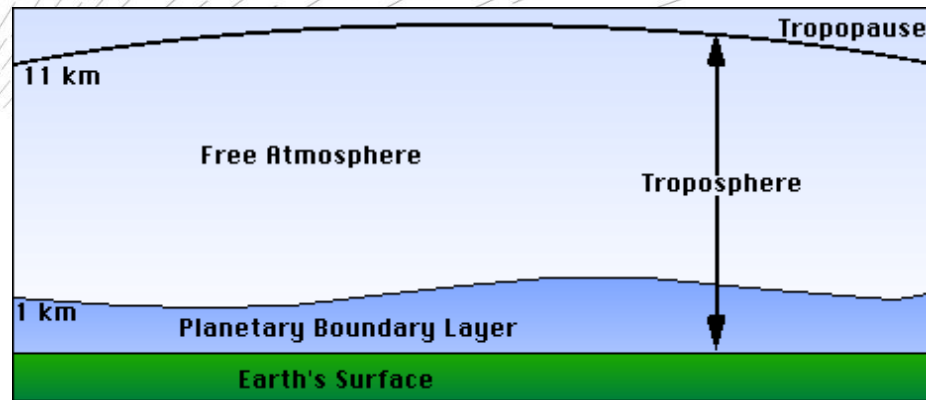
L'inquinamento atmosferico: il *PBL*

Lo strato limite planetario o *Planetary Boundary Layer* (*PBL*) è la porzione di atmosfera interessata dai fenomeni di inquinamento atmosferico.



L'inquinamento atmosferico: il *PBL*

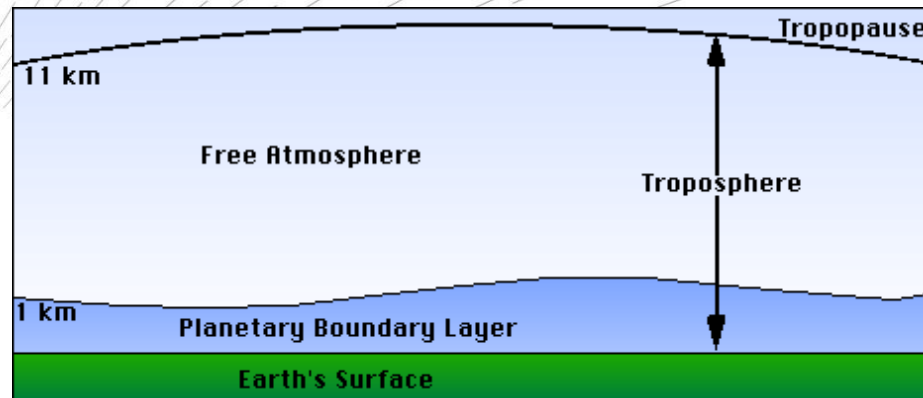
Lo strato limite planetario o *Planetary Boundary Layer* (*PBL*) è la porzione di atmosfera interessata dai fenomeni di inquinamento atmosferico.



Emissione

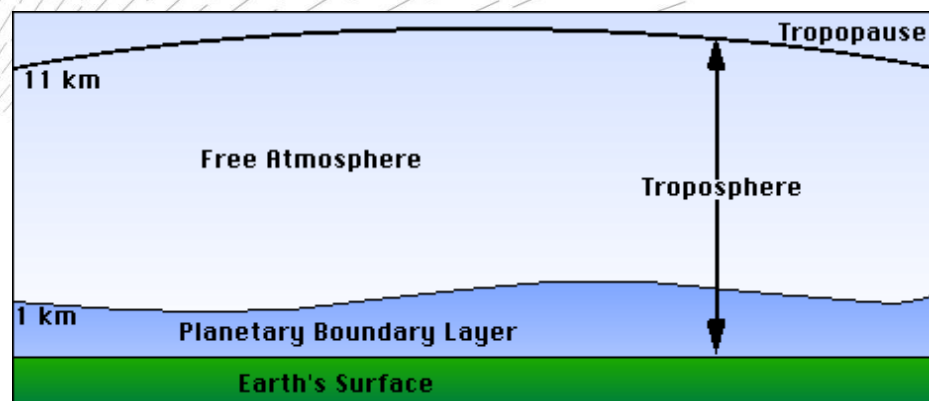
L'inquinamento atmosferico: il *PBL*

Lo strato limite planetario o *Planetary Boundary Layer* (*PBL*) è la porzione di atmosfera interessata dai fenomeni di inquinamento atmosferico.



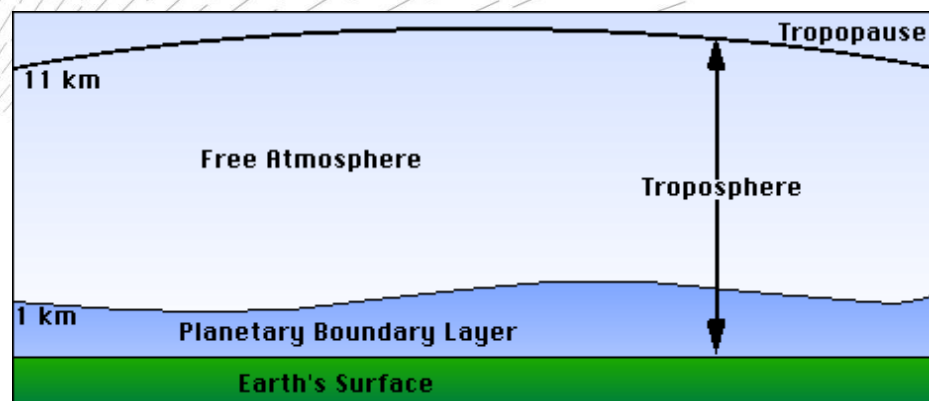
L'inquinamento atmosferico: il *PBL*

Lo strato limite planetario o *Planetary Boundary Layer* (*PBL*) è la porzione di atmosfera interessata dai fenomeni di inquinamento atmosferico.



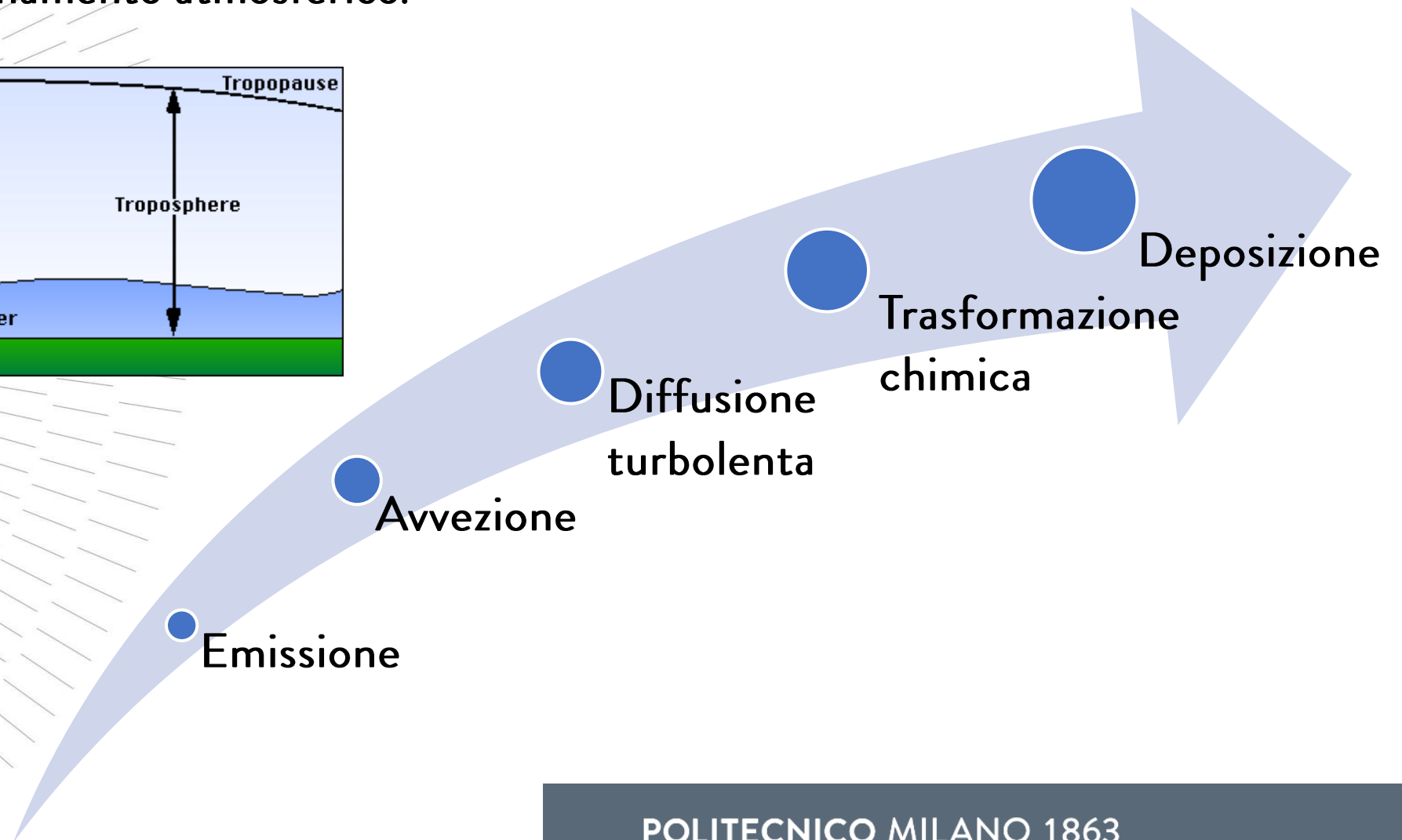
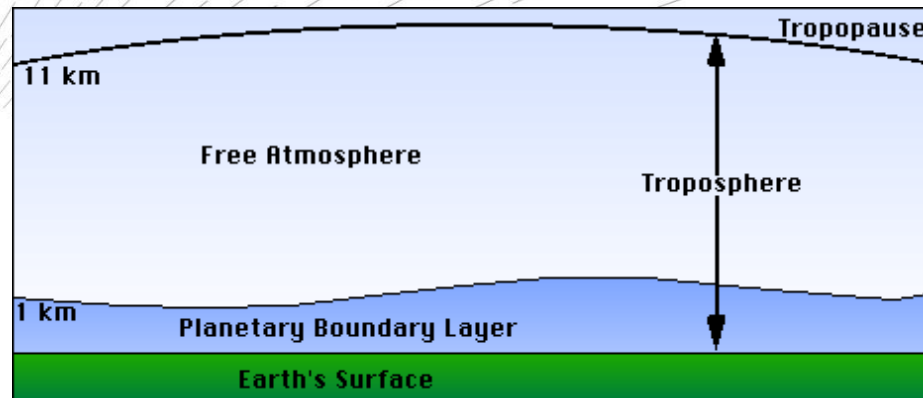
L'inquinamento atmosferico: il *PBL*

Lo strato limite planetario o *Planetary Boundary Layer* (*PBL*) è la porzione di atmosfera interessata dai fenomeni di inquinamento atmosferico.



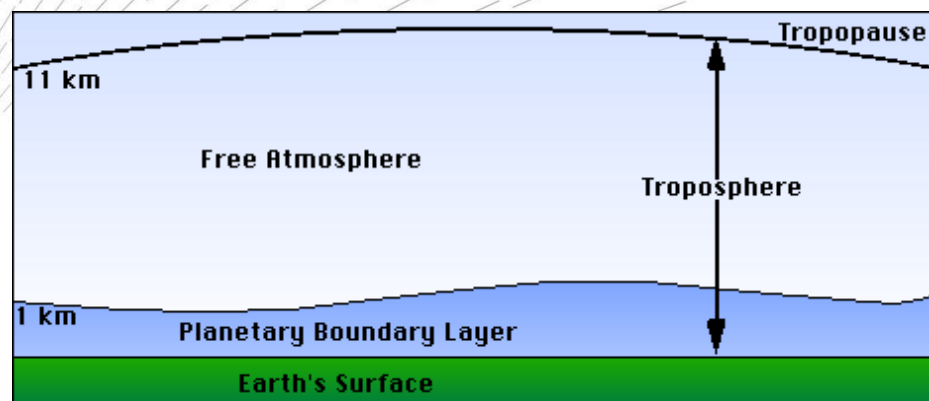
L'inquinamento atmosferico: il *PBL*

Lo strato limite planetario o *Planetary Boundary Layer* (*PBL*) è la porzione di atmosfera interessata dai fenomeni di inquinamento atmosferico.



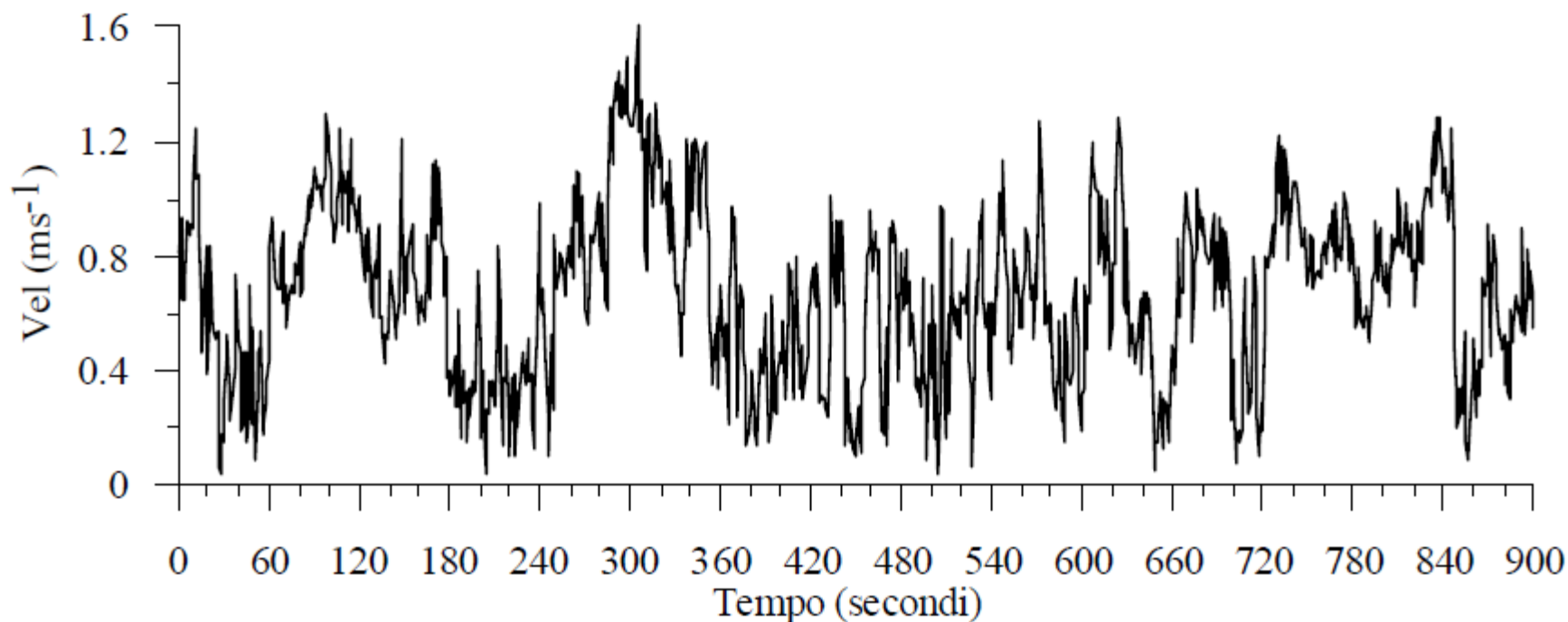
L'inquinamento atmosferico: il *PBL*

Lo strato limite planetario o *Planetary Boundary Layer* (PBL) è la porzione di atmosfera interessata dai fenomeni di inquinamento atmosferico.



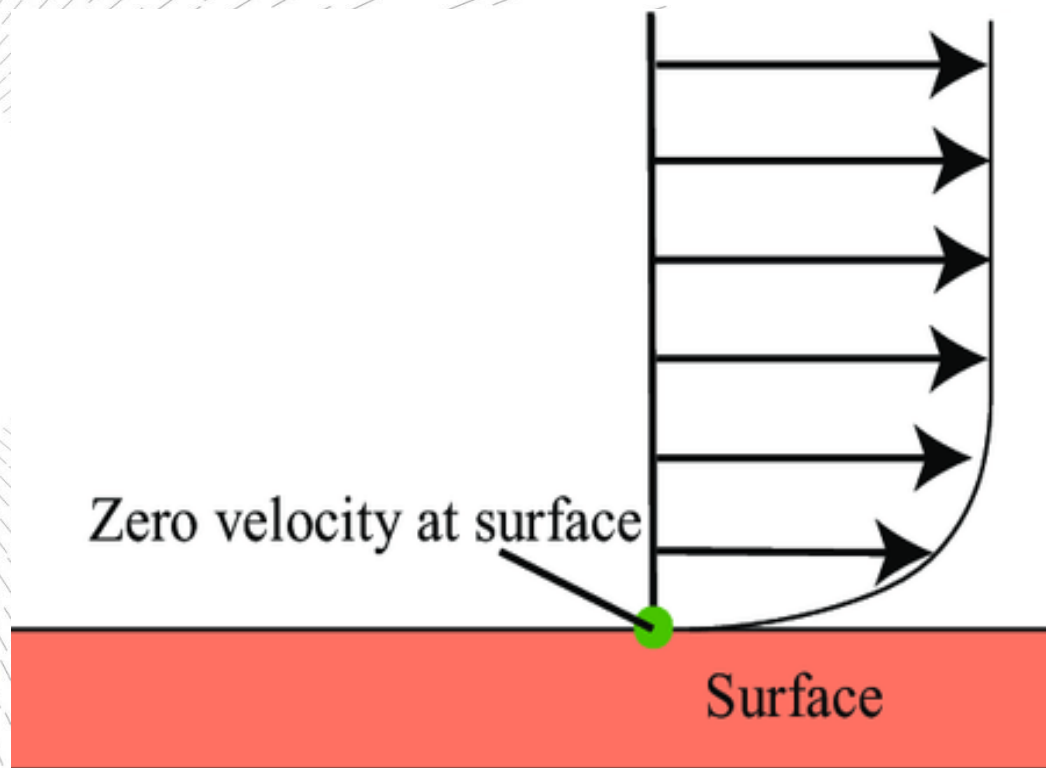
L'inquinamento atmosferico: il *PBL*

La caratteristica più evidente del *PBL* è la presenza di significative irregolarità (**fluttuazioni turbolente**) nell'andamento nello spazio e nel tempo delle grandezze fisiche che lo caratterizzano.

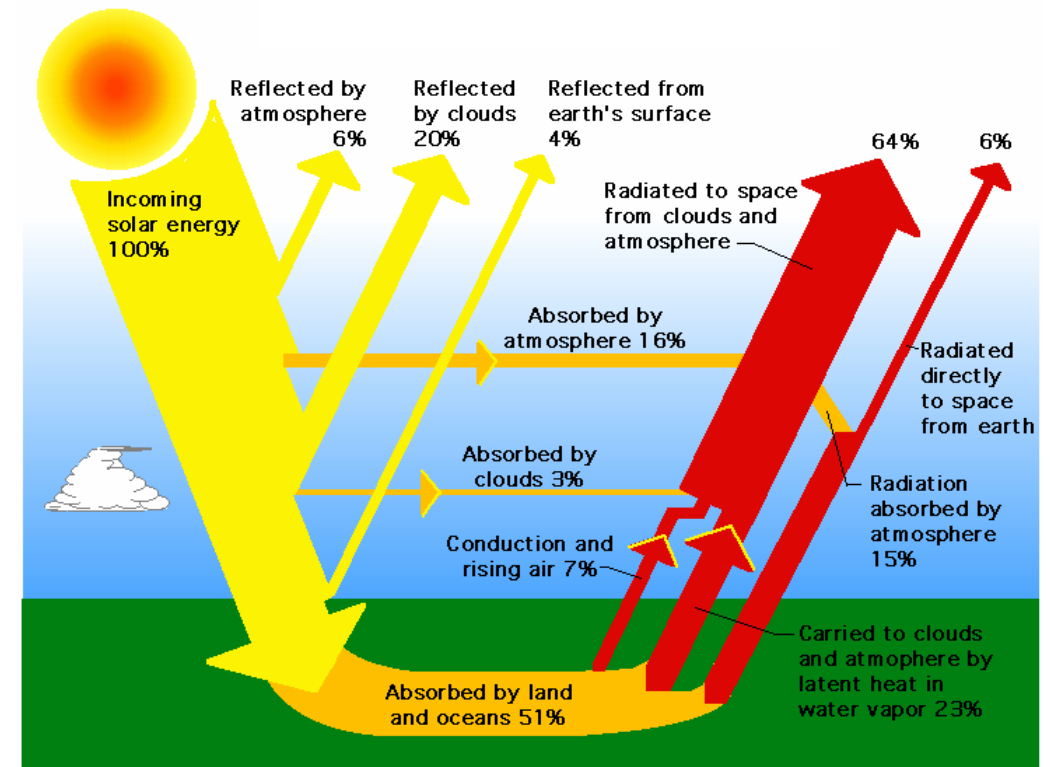


La turbolenza nel *PBL*

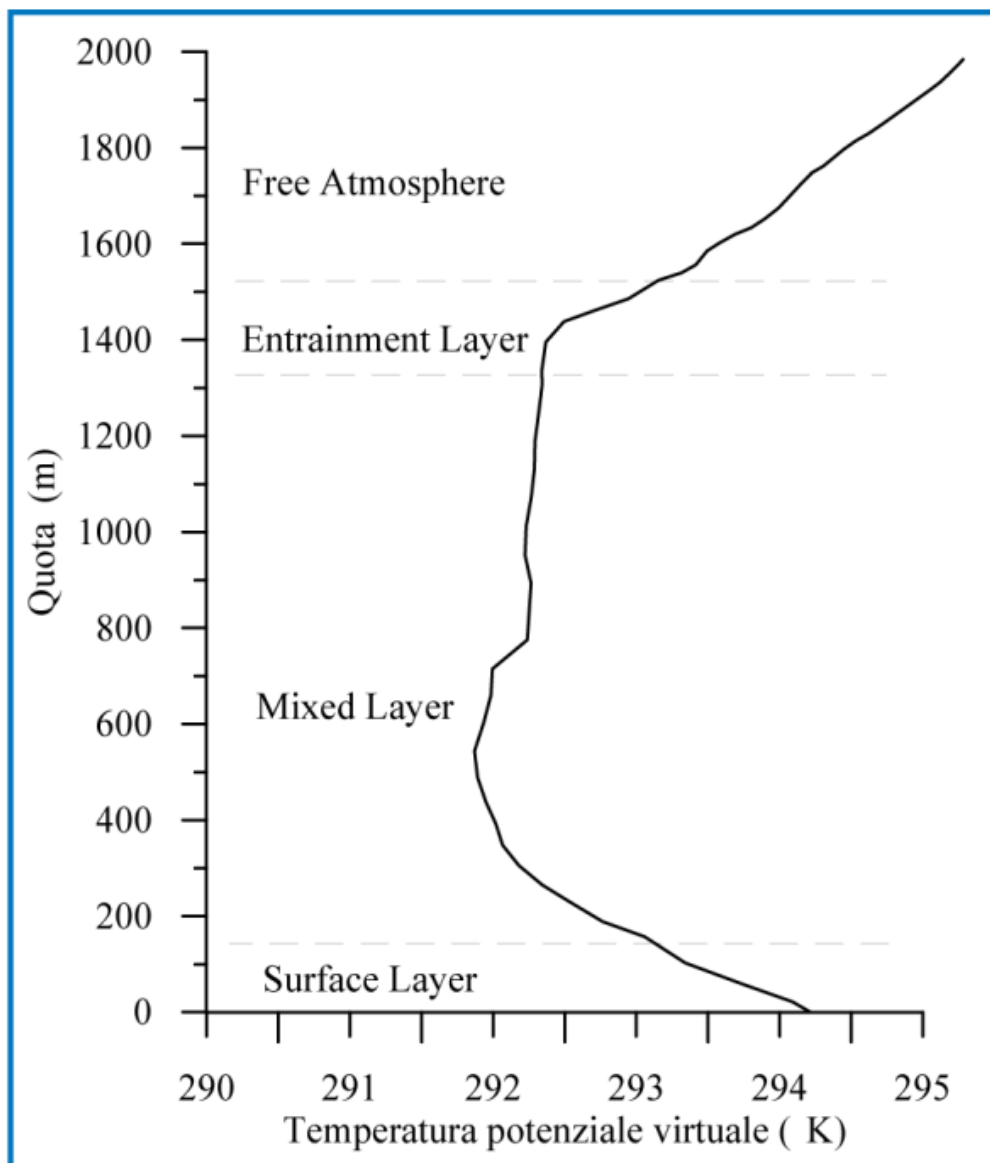
TURBOLENZA MECCANICA



TURBOLENZA CONVETTIVA

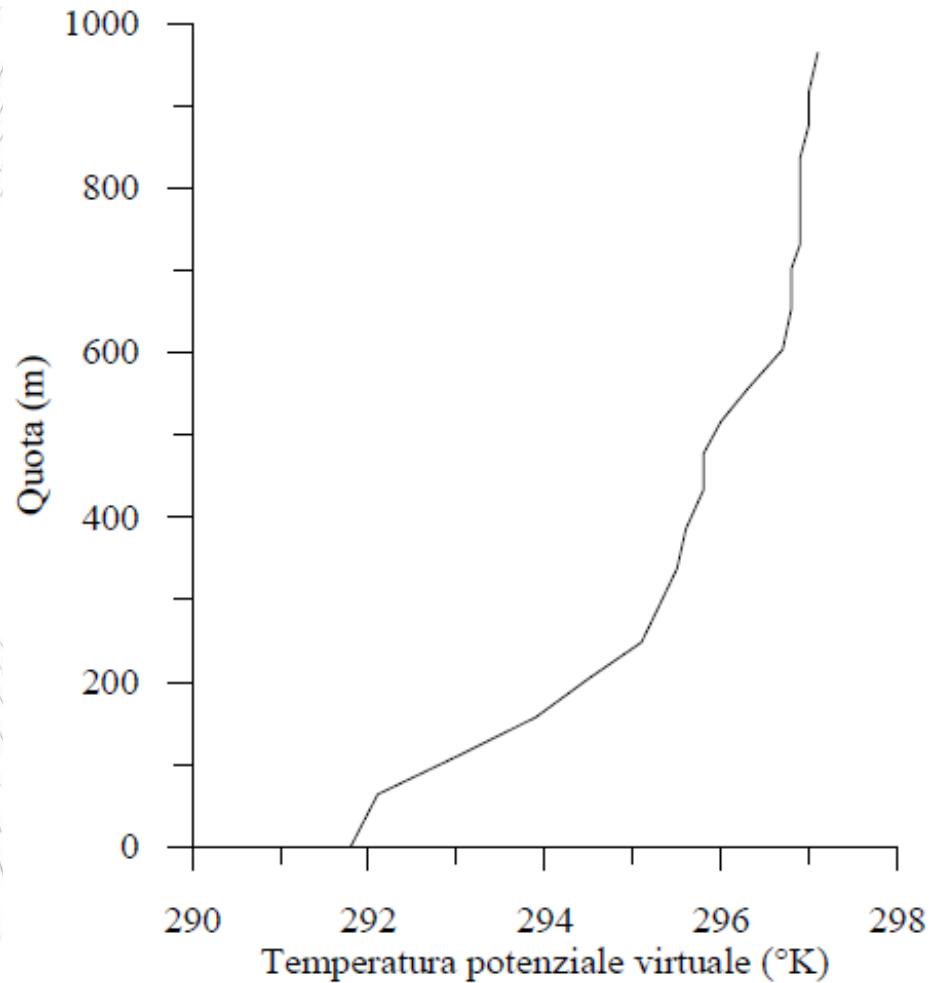


Profilo termico diurno



≈ km

Profilo termico notturno



Assenza di limite superiore ben definito: strato di atmosfera con il maggior gradiente termico



$\approx 10-100 \text{ m}$

Perché questa trattazione?

PBL come trappola per gli inquinanti emessi

MA SOPRATTUTTO ● ● ●

- Prevalenza di episodi di molestia olfattiva in determinati momenti della giornata
- Concentrazione all'emissione vs. concentrazione in ricaduta

Perché questa trattazione?

PBL come trappola per gli inquinanti emessi

MA SOPRATTUTTO ● ● ●

- Prevalenza di episodi di molestia olfattiva in determinati momenti della giornata
- Concentrazione all'emissione vs. concentrazione in ricaduta

Perché questa trattazione?

PBL come trappola per gli inquinanti emessi

MA SOPRATTUTTO ● ● ●

- Prevalenza di episodi di molestia olfattiva in determinati momenti della giornata
- Concentrazione all'emissione vs. concentrazione in ricaduta



MODELLI DI DISPERSIONE

Modelli di dispersione in atmosfera

E' un algoritmo che consente di simulare il trasporto e la dispersione in atmosfera e la ricaduta al suolo degli inquinanti emessi.



Valutazione del campo di
concentrazione spazio-temporale degli
inquinanti





SCELTA DEL MODELLO DI SIMULAZIONE

Scelta del modello

COMPLESSITA'

Scelta del modello

- Analitici stazionari a pennacchio: modelli Gaussiani convenzionali o avanzati (e.g. AERMOD)

COMPLESSITA'

Scelta del modello

- Analitici stazionari a pennacchio: modelli Gaussiani convenzionali o avanzati (e.g. AERMOD)
- Non stazionari a puff (e.g. CALPUFF)

COMPLESSITA'

Scelta del modello

- Analitici stazionari a pennacchio: modelli Gaussiani convenzionali o avanzati (e.g. AERMOD)
- Non stazionari a puff (e.g. CALPUFF)
- Lagrangiani a particelle (e.g. SPRAY, LAPMOD)

COMPLESSITA'

Scelta del modello

- Analitici stazionari a pennacchio: modelli Gaussiani convenzionali o avanzati (e.g. AERMOD)
- Non stazionari a puff (e.g. CALPUFF)
- Lagrangiani a particelle (e.g. SPRAY, LAPMOD)
- Euleriani a griglia (e.g. CALGRID)
- Modelli fluidodinamici (CFD)

COMPLESSITA'



Scelta del modello

- Analitici stazionari a pennacchio: modelli Gaussiani convenzionali o avanzati (e.g. AERMOD)
- Non stazionari a puff (e.g. CALPUFF)
- Lagrangiani a particelle (e.g. SPRAY, LAPMOD)
- Euleriani a griglia (e.g. CALGRID)
- Modelli fluidodinamici (CFD)

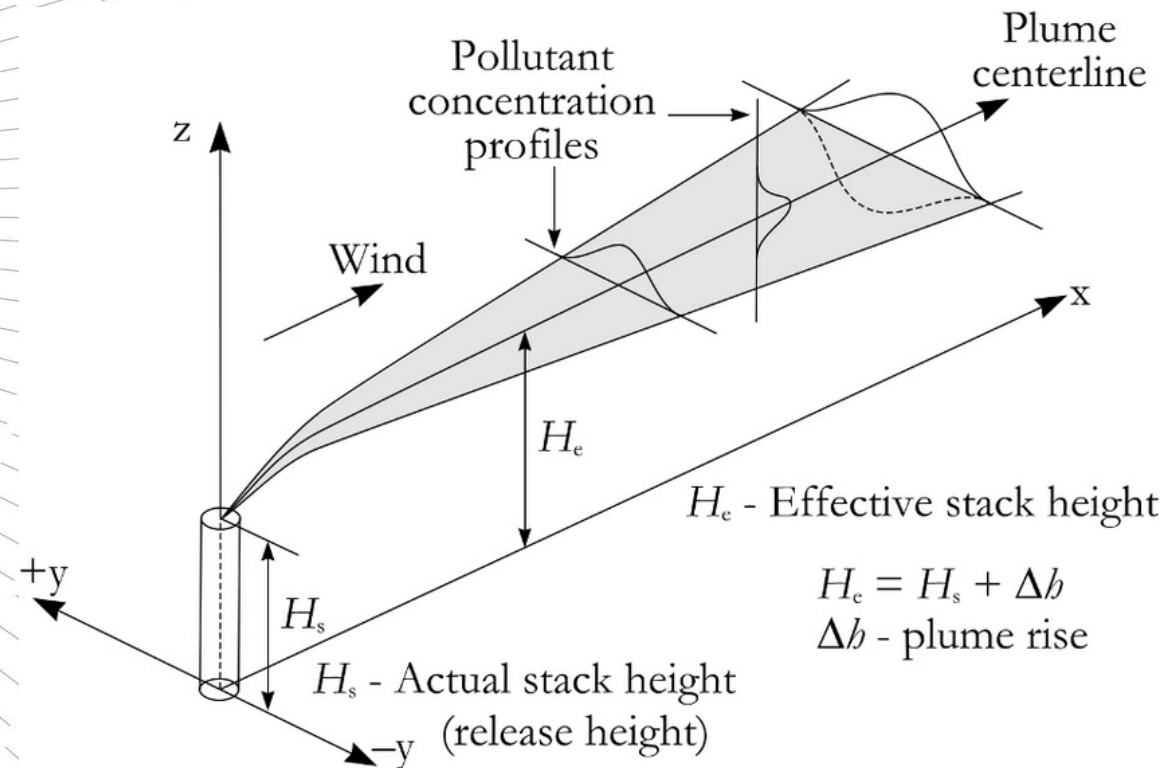
DIFFICILMENTE UTILIZZATI

COMPLESSITA'



Modelli Gaussiani stazionari

Descrivono il fenomeno emissivo come il rilascio di un **pennacchio** (plume) continuo al cui interno la concentrazione è distribuita in maniera Gaussiana.



Modelli Gaussiani stazionari

Il calcolo della concentrazione è basato sull'integrazione in condizioni semplificate (**stazionarietà e omogeneità**) dell'equazione generale del trasporto e della diffusione:

$$c(x, y, 0, H) = \left[\frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \right] \left[\exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right) \right] \left[\exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right) \right]$$

$c(x, y, 0, H)$ = concentration (g/m³)

Q = pollutant emission rate (g/s)

σ_y, σ_z = standard deviations of the plume in y and z direction (m), which are a function of atmospheric stability

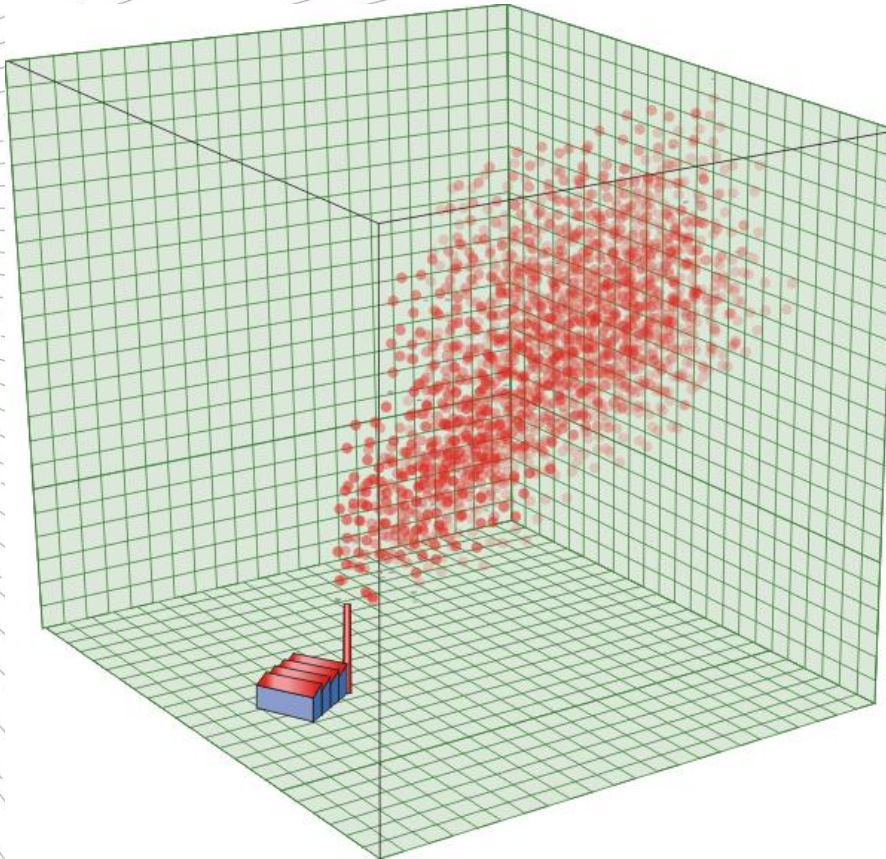
u = wind speed (m/s)

x, y, z = distances from the emission sources (m)

H = effective stack height (stack height + plume rise = $h + \Delta H$)

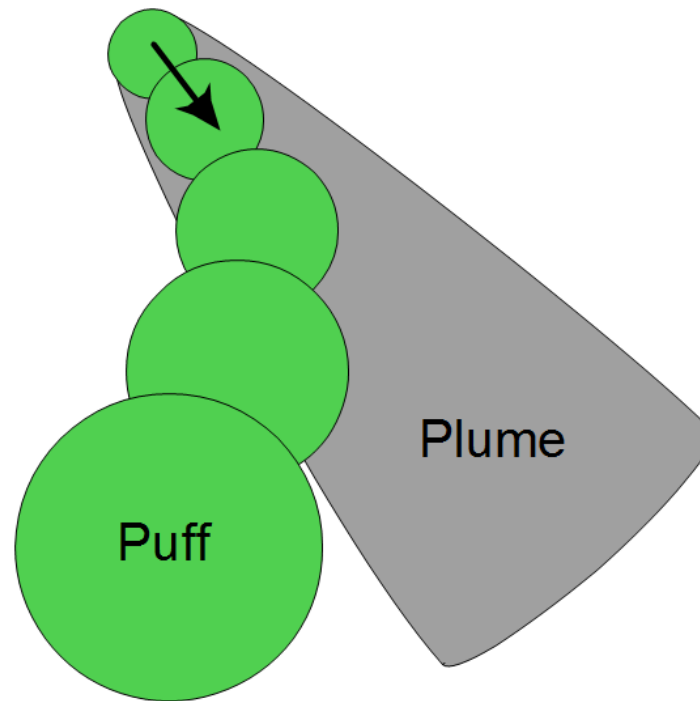
Modelli Lagrangiani a particelle

Descrivono il fenomeno emissivo come il rilascio di una serie di **particelle** in continuo movimento caotico (pseudo-casuale) nello spazio e nel tempo.



Modelli a puff

Descrivono il fenomeno emissivo in maniera discretizzata considerando il rilascio di diverse “nuvolette” di inquinanti (**puff**), all’interno dei quali la concentrazione è distribuita in maniera gaussiana.









PRO & CONS

Gaussiani stazionari







- 👍 Applicazioni “*near-field*”
- 👍 Limitate risorse di calcolo
- 👍 Semplicità di utilizzo
- 👎 Non sono in grado di trattare calme di vento
- 👎 Non 3D: non adeguati nel caso di orografia complessa
- 👎 Modelli stazionari

PRO & CONS

Gaussiani stazionari







-  Applicazioni “*near-field*”
-  Limitate risorse di calcolo
-  Semplicità di utilizzo
-  Non sono in grado di trattare calme di vento
-  Non 3D: non adeguati nel caso di orografia complessa
-  Modelli stazionari

Lagrangiani a puff







-  Applicazioni “*near-field*” e “*far-field*”
-  Risorse di calcolo intermedie
-  Intermedia difficoltà di utilizzo
-  Capaci di trattare calme di vento
-  Non omogenei: adeguati nel caso di orografia complessa
-  Modelli non stazionari

PRO & CONS







Gaussiani stazionari

-  Applicazioni “near-field”
-  Limitate risorse di calcolo
-  Semplicità di utilizzo
-  Non sono in grado di trattare calme di vento
-  Non 3D: non adeguati nel caso di orografia complessa
-  Modelli stazionari

Lagrangiani a puff

-  Applicazioni “near-field” e “far-field”
-  Risorse di calcolo intermedie
-  Intermedia difficoltà di utilizzo
-  Capaci di trattare calme di vento
-  Non omogenei: adeguati nel caso di orografia complessa
-  Modelli non stazionari

Lagrangiani a particelle

-  Applicazioni “near-field” e “far-field”
-  Elevate risorse di calcolo
-  Notevoli difficoltà di utilizzo
-  Capaci di trattare calme di vento
-  Non omogenei: adeguati nel caso di orografia complessa
-  Modelli non stazionari

Scelta del modello

Reference

- UNI 10796:2000 *“Valutazione della dispersione in atmosfera di effluenti aeriformi. Guida ai criteri di selezione dei modelli matematici”*
- Linee Guida Regionali
- EPA (2017) *“Revision to the Guideline on Air Quality Models, Appendix W”*
- Review di letteratura



UNI 10796:2000

Valutazione della dispersione in atmosfera di effluenti
aeriformi

Guida ai criteri di selezione dei modelli matematici

Criteri

- Scala spaziale
- Base temporale
- Tipologia di sorgente
- Tipologia di inquinante
- Orografia



Modellazione “tipica” di impatto
olfattivo: SCHEDA 9

➤ **Modelli a puff**

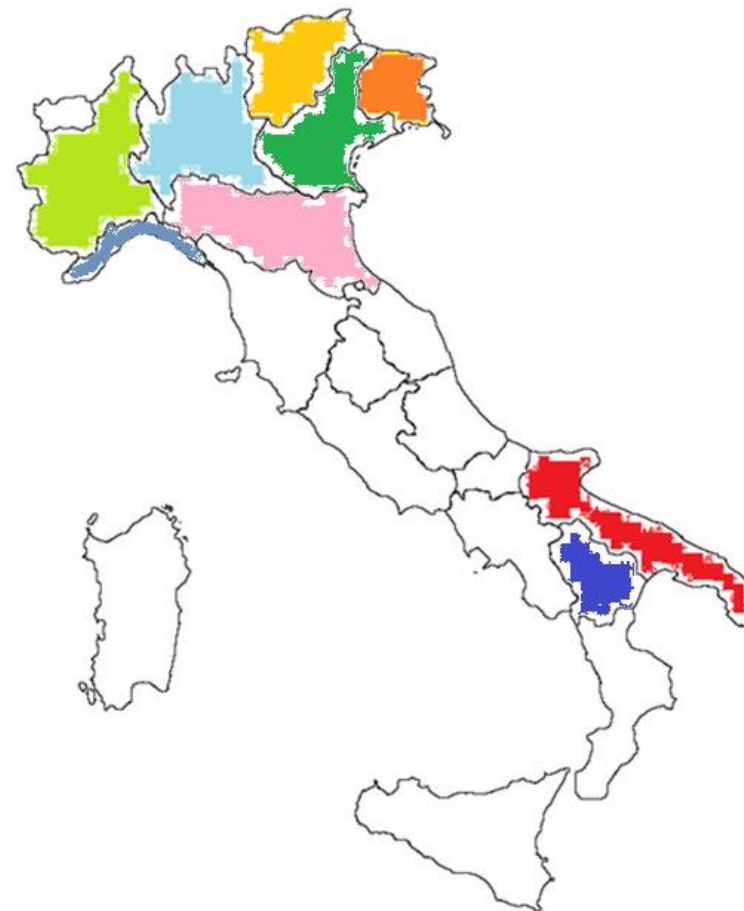


Nessuna menzione all'odore!

Linee Guida Regionali

Modelli suggeriti per valutazioni di impatto odorigeno

- Lagrangiani a puff
- Lagrangiani a particelle
- 3D Euleriani





Tre tipologie di modelli impiegati con finalità di regolamentazione:

- Gaussiani stazionari
- Lagrangiani
- Euleriani

SCREENING
MODELS

ADVANCED
MODELS

EPA: Guideline on Air Quality Models



Alcuni cambiamenti significativi per modellazione di odore:

Pre 2017

- CALPUFF preferred model for long-range transport (> 50 km)
- CALPUFF alternative model for near-field (< 50 km)
- AERMOD preferred model for near-field dispersion (< 50 km)

Post 2017

- CALPUFF screening technique for long-range transport (> 50 km)
- CALPUFF alternative model for near-field (< 50 km)*
- AERMOD preferred model

*The EPA recognizes that AERMOD, as a Gaussian plume dispersion model, may be limited in its ability to appropriately address such situations, and that CALPUFF or other Lagrangian model may be more suitable, so we continue to provide the flexibility of alternative model approvals

EPA: Guideline on Air Quality Models

Rassegna dei modelli post-revisione del documento (2017)

Preferred

- AERMOD
- CTDMPLUS (sorgenti puntuali)
- OCD (emissioni vicino alla costa e in mare aperto)

Alternative

Numerose possibilità:

<https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-alternative-models#calpuff>

- CALINE3 (gaussiano stazionario)
- CALPUFF
- ISC3 (gaussiano stazionario)

Scelta del modello: alcune considerazioni

- Diverse possibilità nella scelta dei modelli
- **Necessità di una valutazione caso-per-caso**

Scelta del modello: alcune considerazioni

- Diverse possibilità nella scelta dei modelli
- **Necessità di una valutazione caso-per-caso**
- AERMOD sembrerebbe preferibile ma

“EPA recognizes that AERMOD, as a Gaussian plume dispersion model, may be limited in its ability to appropriately address such situations, and that CALPUFF or other Lagrangian model may be more suitable, so we continue to provide the flexibility of alternative model approvals”

ove i modelli Gaussiani trovano scarsa applicabilità, modelli Lagrangiani (e.g. CALPUFF) sono da preferirsi

Scelta del modello: alcune considerazioni

- Diverse possibilità nella scelta dei modelli
- **Necessità di una valutazione caso-per-caso**
- AERMOD sembrerebbe preferibile ma

“EPA recognizes that AERMOD, as a Gaussian plume dispersion model, may be limited in its ability to appropriately address such situations, and that CALPUFF or other Lagrangian model may be more suitable, so we continue to provide the flexibility of alternative model approvals”

ove i modelli Gaussiani trovano scarsa applicabilità, modelli Lagrangiani (e.g. CALPUFF) sono da preferirsi

- **Modelli Gaussiani stazionari inadeguati in condizioni di calma di vento**
- **Modelli Gaussiani stazionari inadeguati in caso di orografia complessa**

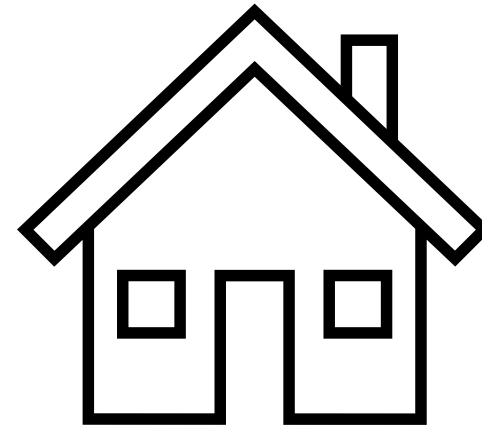
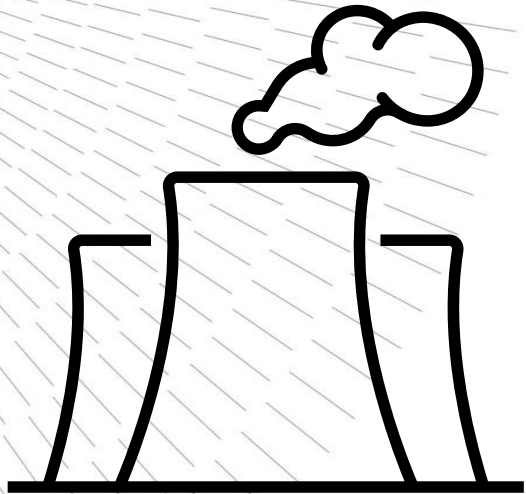


APPROCCIO MODELLISTICO PER VALUTAZIONI DI IMPATTO OLFATTIVO

Approccio modellistico per valutazioni di impatto olfattivo

➤ Regione Lombardia: DGR 15 febbraio 2012 – n. IX/3018

➤ *“Associare alle emissioni di sostanze inquinanti in atmosfera, oltre che dei limiti in concentrazione, anche dei limiti che ne caratterizzino l’impatto odorigeno, nasce dalla necessità di far sì che attività con rilevanti flussi osmogeni non ostacolino la fruibilità del territorio coerentemente con quanto previsto dalle pianificazioni adottate.”*



Approccio modellistico per valutazioni di impatto olfattivo

Stesso approccio ma con alcune differenze



Approccio modellistico per valutazioni di impatto olfattivo

Stesso approccio ma con alcune differenze



Approccio modellistico per valutazioni di impatto olfattivo

Stesso approccio ma con alcune differenze



Concentrazioni orarie di picco di odore al 98° percentile su base annuale

Approccio modellistico per valutazioni di impatto olfattivo

Concentrazioni orarie di picco di odore al 98° percentile su base annuale

98° percentile → 175esima ora peggiore dell'anno



Approccio modellistico per valutazioni di impatto olfattivo

Stesso approccio ma con alcune **differenze**

- Scelta dei ricettori
- Criteri di accettabilità al ricettore
- Presentazione dei risultati



Scelta dei ricettori

Stesso approccio ma con alcune **differenze**

- Identificazione dei ricettori (e.g. “I ricettori dovrebbero essere disposti in modo che in ogni arco di circonferenza di 120° sia collocato almeno un ricettore sensibile”)
- Quota del ricettore (e.g. Regione Lombardia vs. Regione Puglia)

Approccio modellistico per valutazioni di impatto olfattivo

Stesso approccio ma con alcune **differenze**

- Scelta dei ricettori
- Criteri di accettabilità al ricettore
- Presentazione dei risultati

Criteri di accettabilità al ricettore

Stesso approccio ma con alcune **differenze**

| | Lombardia, FVG, Piemonte, Liguria | MITE | Emilia Romagna, Trento, Basilicata | Puglia |
|--|---|--|---|--|
| Valori di accettabilità | 1 – 3 – 5 ou _E /m ³ | 1 – 2 – 3 – 4 – 5 ou _E /m ³ | 1 – 2 – 3 – 4 ou _E /m ³ | 1 – 2 – 3 – 4 – 5 ou _E /m ³ |
| Classi di sensibilità del ricettore | Non identificate | Cinque | Sei | Otto |
| Criterio | | Destinazione urbanistica | Destinazione urbanistica (residenziale non) e distanza dalla sorgente | Destinazione urbanistica |

Presentazione dei risultati

Stesso approccio ma con alcune **differenze**

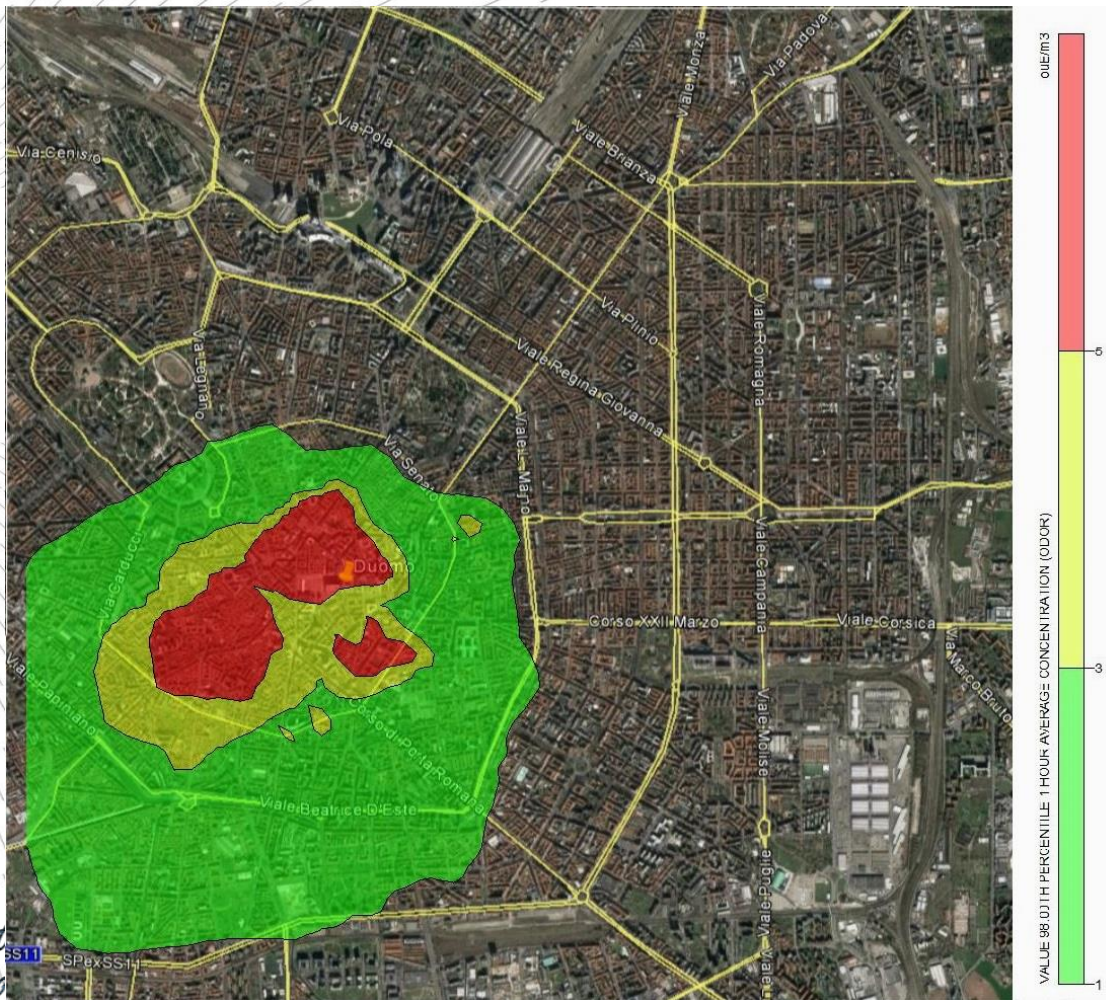
- Basilicata: nessuna richiesta circa le concentrazioni massime al ricettore
- Puglia: introduzione del 99.9 percentile al ricettore



INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Interpretazione dei risultati

È tanto o è poco?



Interpretazione dei risultati

Dipende!

La valutazione degli impatti **non può prescindere** dalla destinazione urbanistica del territorio

Interpretazione dei risultati

Dipende!

La valutazione degli impatti **non può prescindere** dalla destinazione urbanistica del territorio

Se non esplicitati criteri di accettabilità al ricettore:

- $1 \text{ ou}_E/\text{m}^3$: soglia di percezione dell'odore
- $3 \text{ ou}_E/\text{m}^3$: soglia di riconoscimento dell'odore
- $5 \text{ ou}_E/\text{m}^3$: soglia di molestia olfattiva



G. Schauburger et al. 2000 - Modification of a Gauss dispersion model for the assessment of odour sensation in the vicinity of livestock buildings

Interpretazione dei risultati: 98° percentile vs. massimo

Case-study: serbatoio di stoccaggio di idrocarburi



Interpretazione dei risultati: 98° percentile vs. massimo

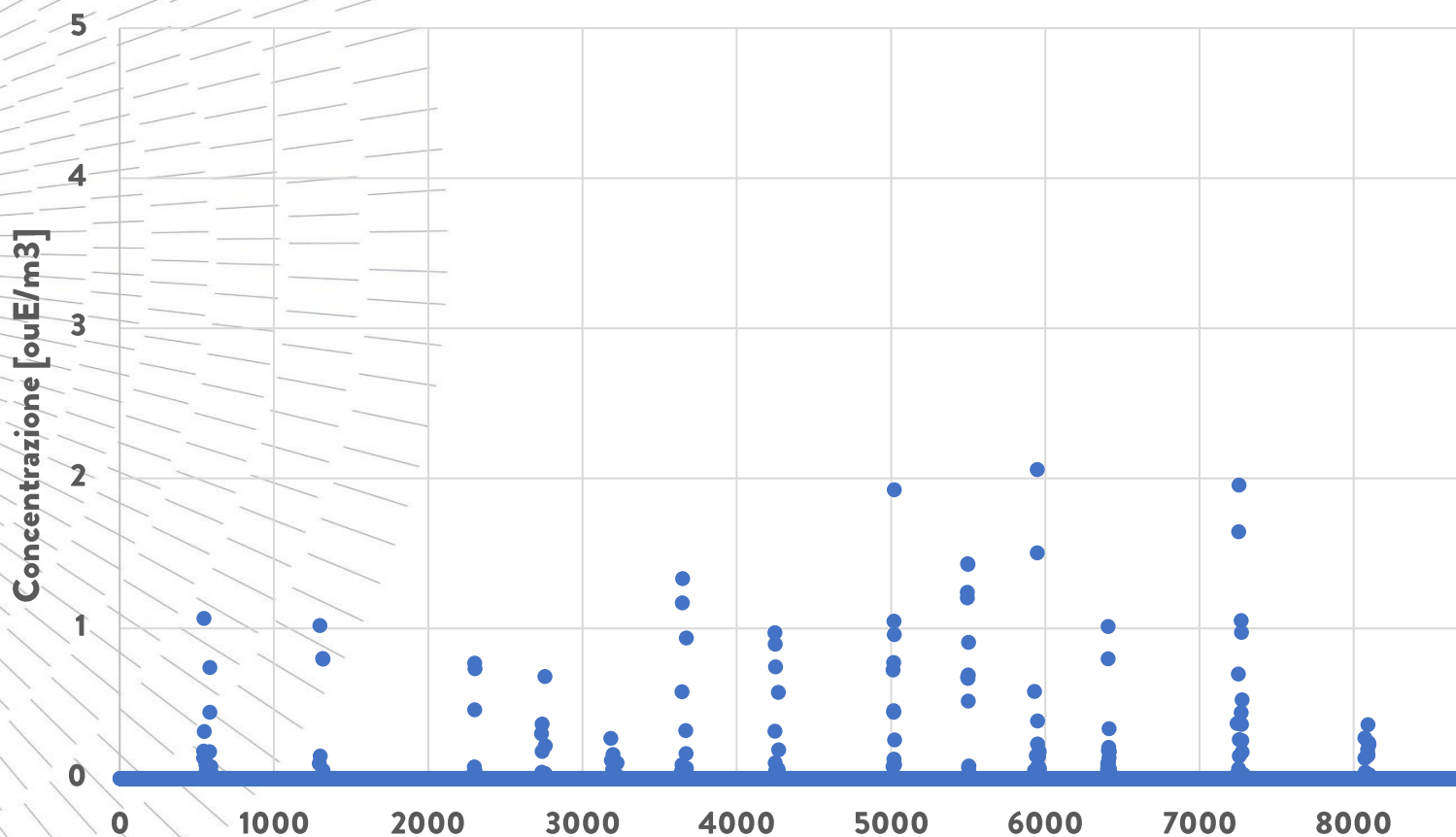
Case-study: serbatoio di stoccaggio di idrocarburi



Interpretazione dei risultati: 98° percentile vs. massimo

Case-study: serbatoio di stoccaggio di idrocarburi

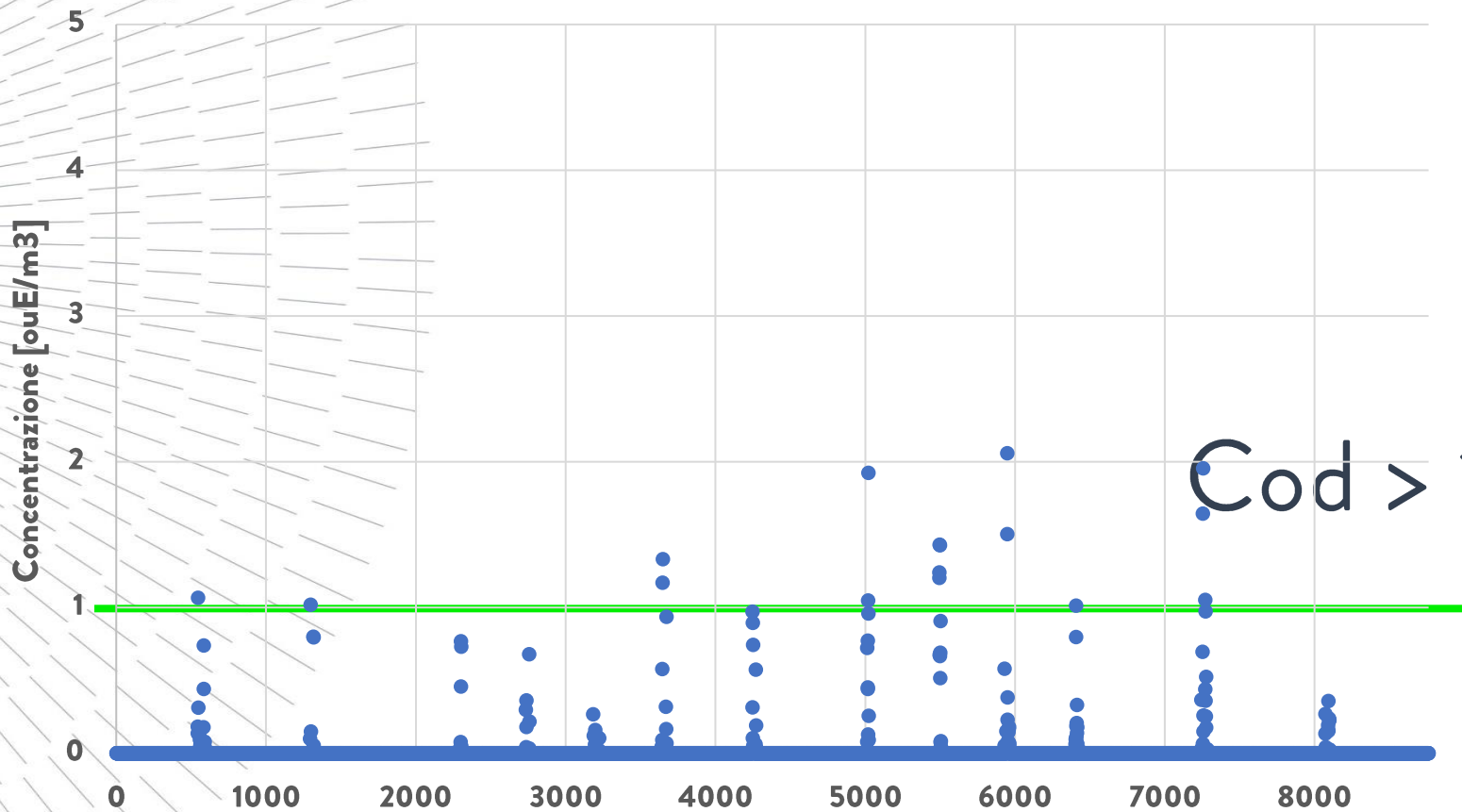
R_2



Interpretazione dei risultati: 98° percentile vs. massimo

Case-study: serbatoio di stoccaggio di idrocarburi

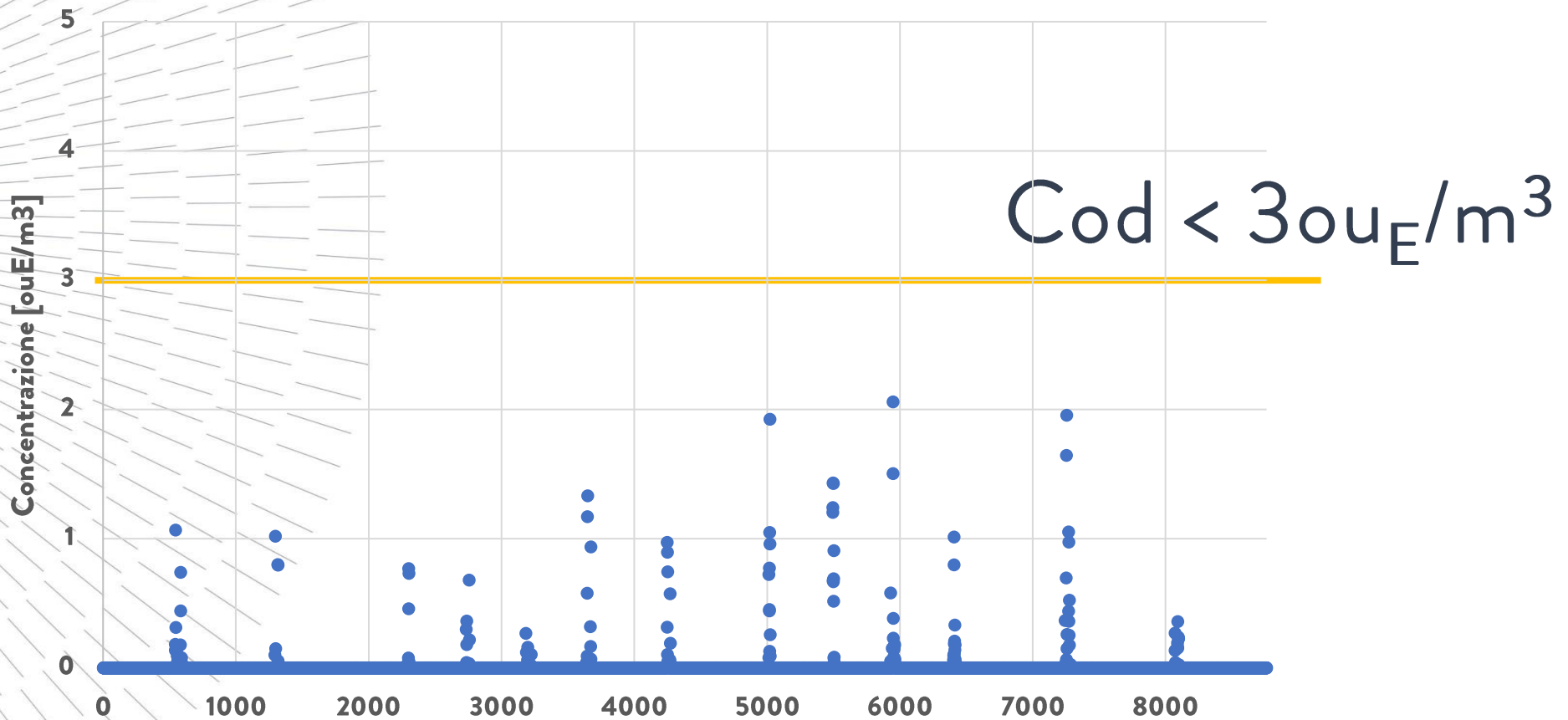
R_2



Interpretazione dei risultati: 98° percentile vs. massimo

Case-study: serbatoio di stoccaggio di idrocarburi

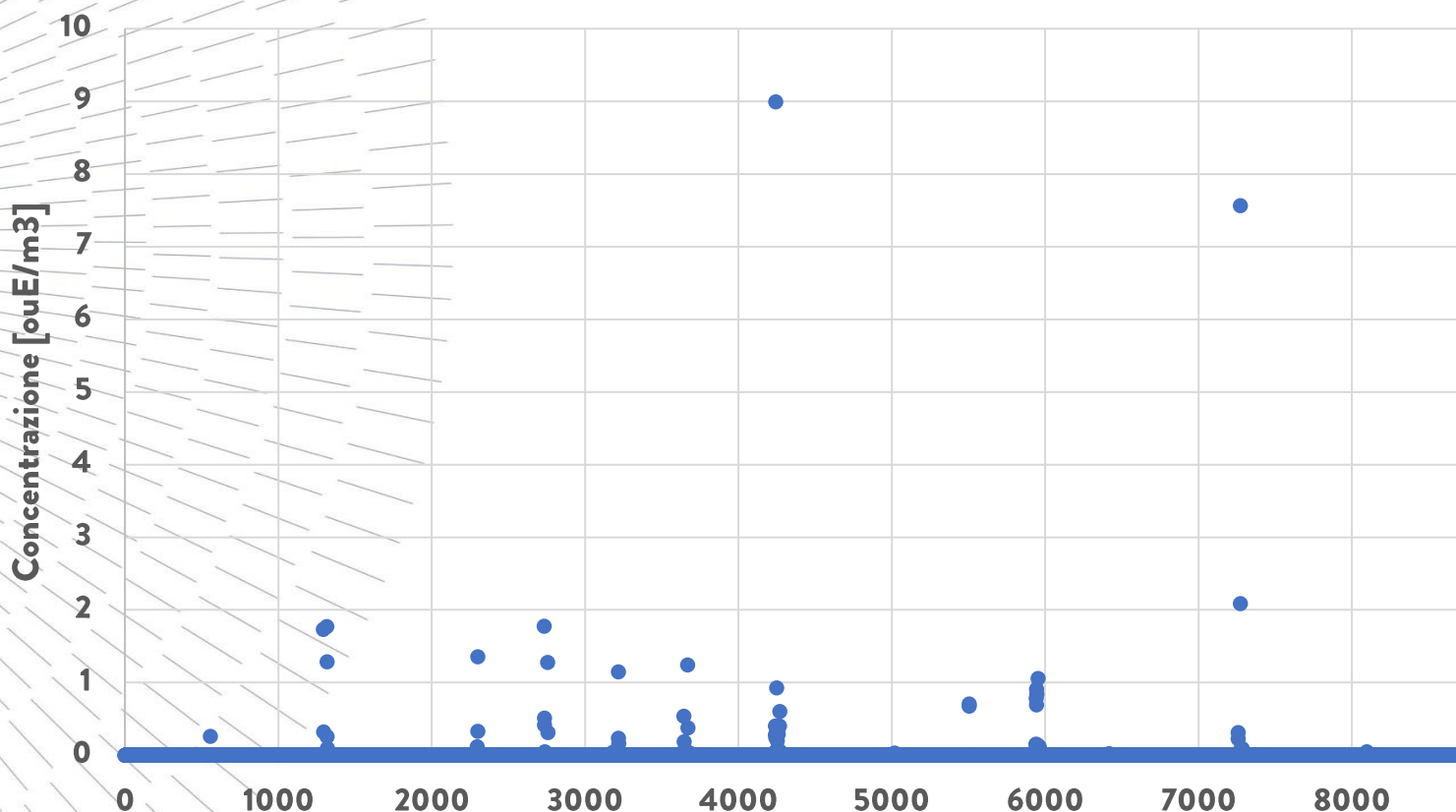
R_2



Interpretazione dei risultati: 98^o percentile vs. massimo

Case-study: serbatoio di stoccaggio di idrocarburi

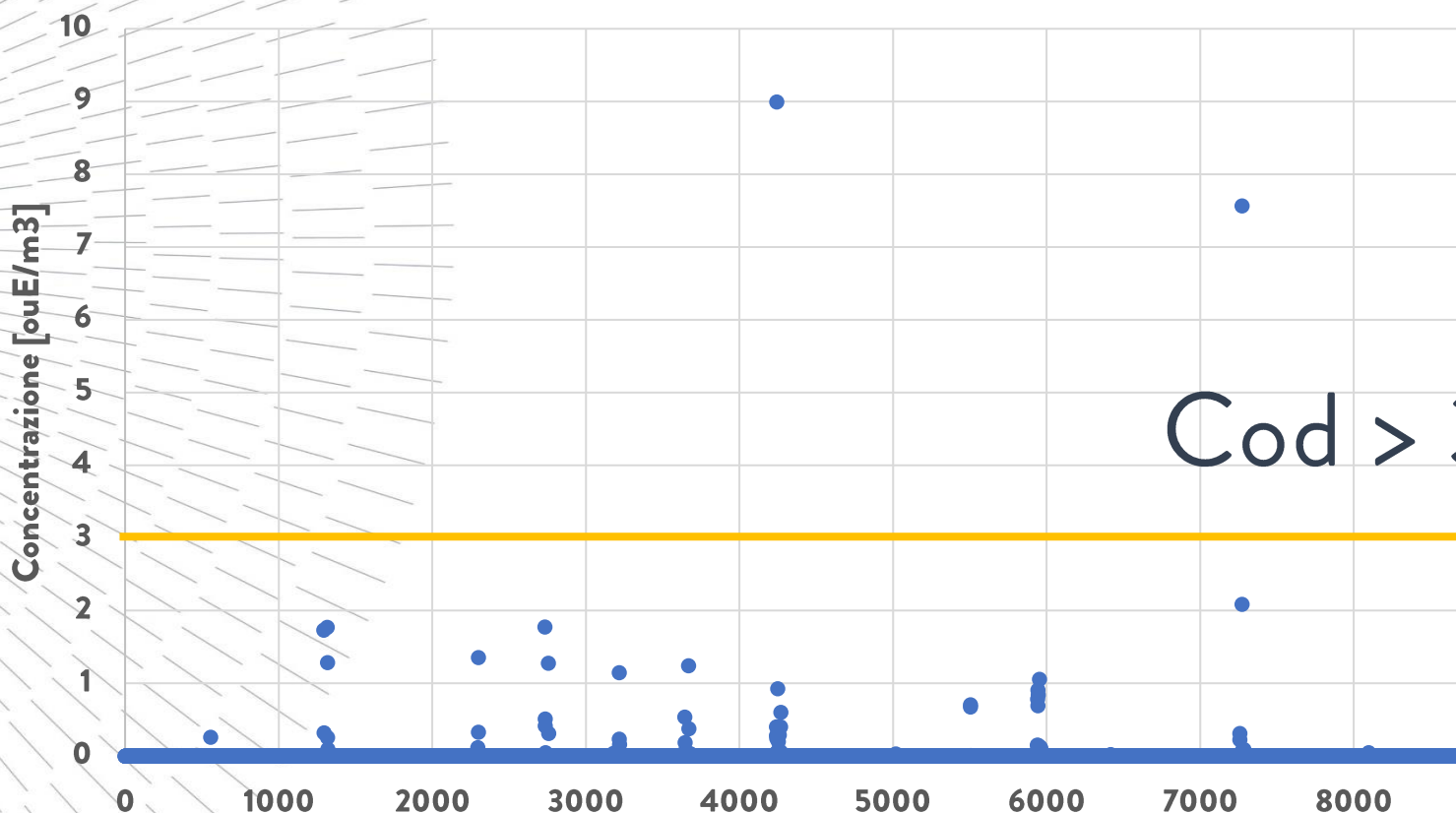
R_3



Interpretazione dei risultati: 98^o percentile vs. massimo

Case-study: serbatoio di stoccaggio di idrocarburi

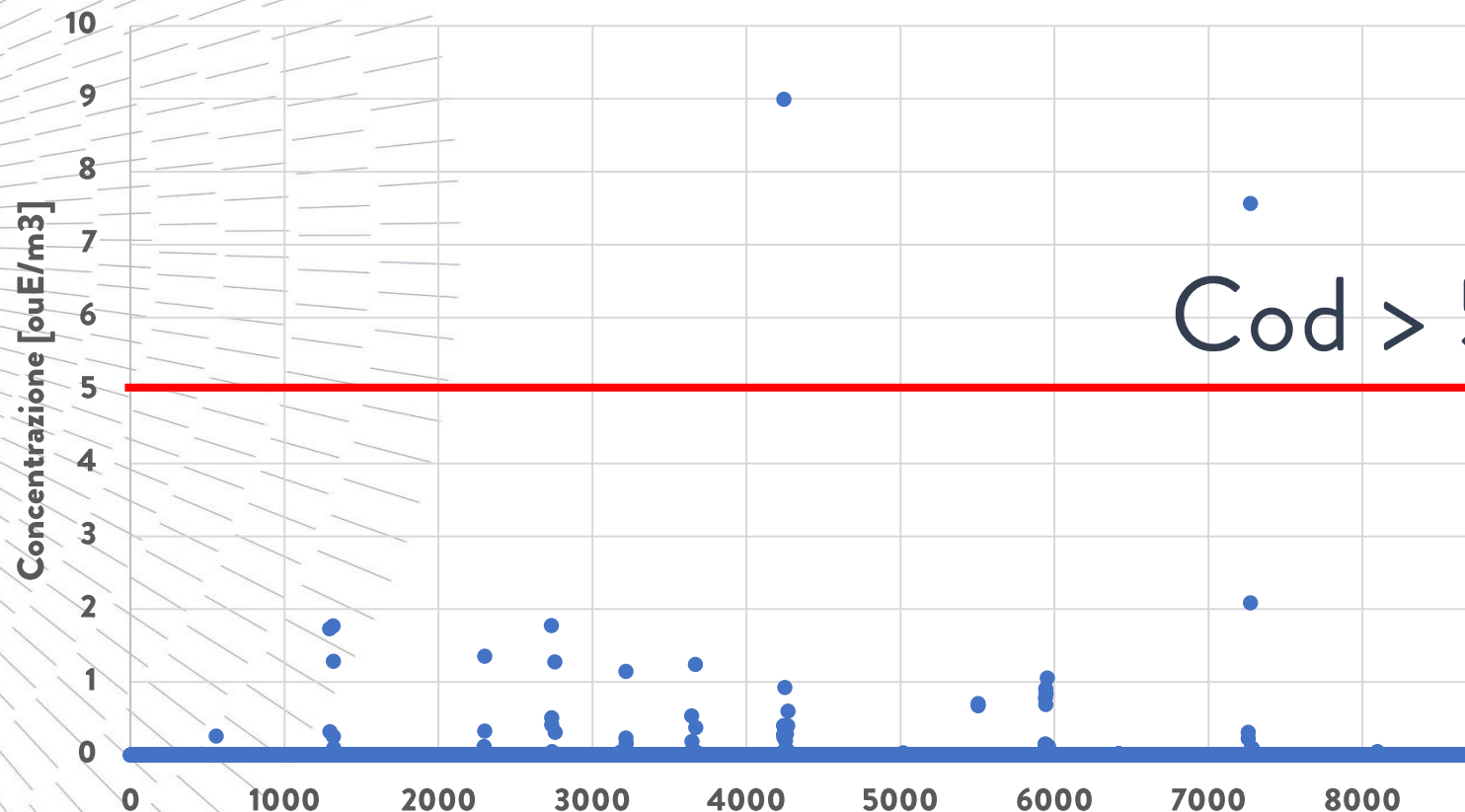
R_3



Interpretazione dei risultati: 98° percentile vs. massimo

Case-study: serbatoio di stoccaggio di idrocarburi

R_3



Interpretazione dei risultati: 98° percentile vs. massimo

Case-study: serbatoio di stoccaggio di idrocarburi

| GIORNO | ORA | RICETTORE | CONCENTRAZIONE | DISTANZA R_2 - TK | PG CLASS | WD |
|--------|-----|-----------|----------------|-------------------|----------|-----|
| 23-gen | 17 | 2 | 1.07 | 260 | 5 | 167 |
| 24-feb | 1 | 2 | 1.02 | 260 | 5 | 178 |
| 01-giu | 22 | 2 | 1.17 | 260 | 6 | 170 |
| 01-giu | 23 | 2 | 1.33 | 260 | 6 | 185 |
| 29-lug | 2 | 2 | 1.05 | 260 | 6 | 162 |
| 29-lug | 5 | 2 | 1.92 | 260 | 3 | 168 |
| 17-ago | 21 | 2 | 1.24 | 260 | 6 | 166 |
| 17-ago | 22 | 2 | 1.2 | 260 | 6 | 167 |
| 18-ago | 0 | 2 | 1.43 | 260 | 6 | 167 |
| 18-ago | 1 | 2 | 1.43 | 260 | 6 | 166 |
| 05-set | 18 | 2 | 2.06 | 260 | 3 | 159 |
| 05-set | 19 | 2 | 1.5 | 260 | 6 | 164 |
| 24-set | 22 | 2 | 1.01 | 260 | 5 | 167 |
| 30-ott | 5 | 2 | 1.64 | 260 | 4 | 180 |
| 30-ott | 7 | 2 | 1.95 | 260 | 3 | 177 |
| 30-ott | 21 | 2 | 1.05 | 260 | 6 | 197 |

Interpretazione dei risultati: 98° percentile vs. massimo

- Le ore di superamento del 1° valore di riferimento sono **largamente inferiori alle 175 ore**, margine associato alla valutazione del 98° percentile.
- La valutazione richiesta dalle linee guida/leggi regionali non garantisce che non vi possano essere stati eventuali fenomeni odorigeni nel corso dell'anno, ma solo che tali fenomeni hanno interessato meno del 2% delle ore annuali.

Interpretazione dei risultati

Affidabilità del modello in vicinanza della sorgente ⚠



Possibile influenza della sorgente sulla dispersione del pennacchio:
modelli gaussiani/lagrangiani vs modelli CFD

Interpretazione dei risultati

169



CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS

VOL. 85, 2021

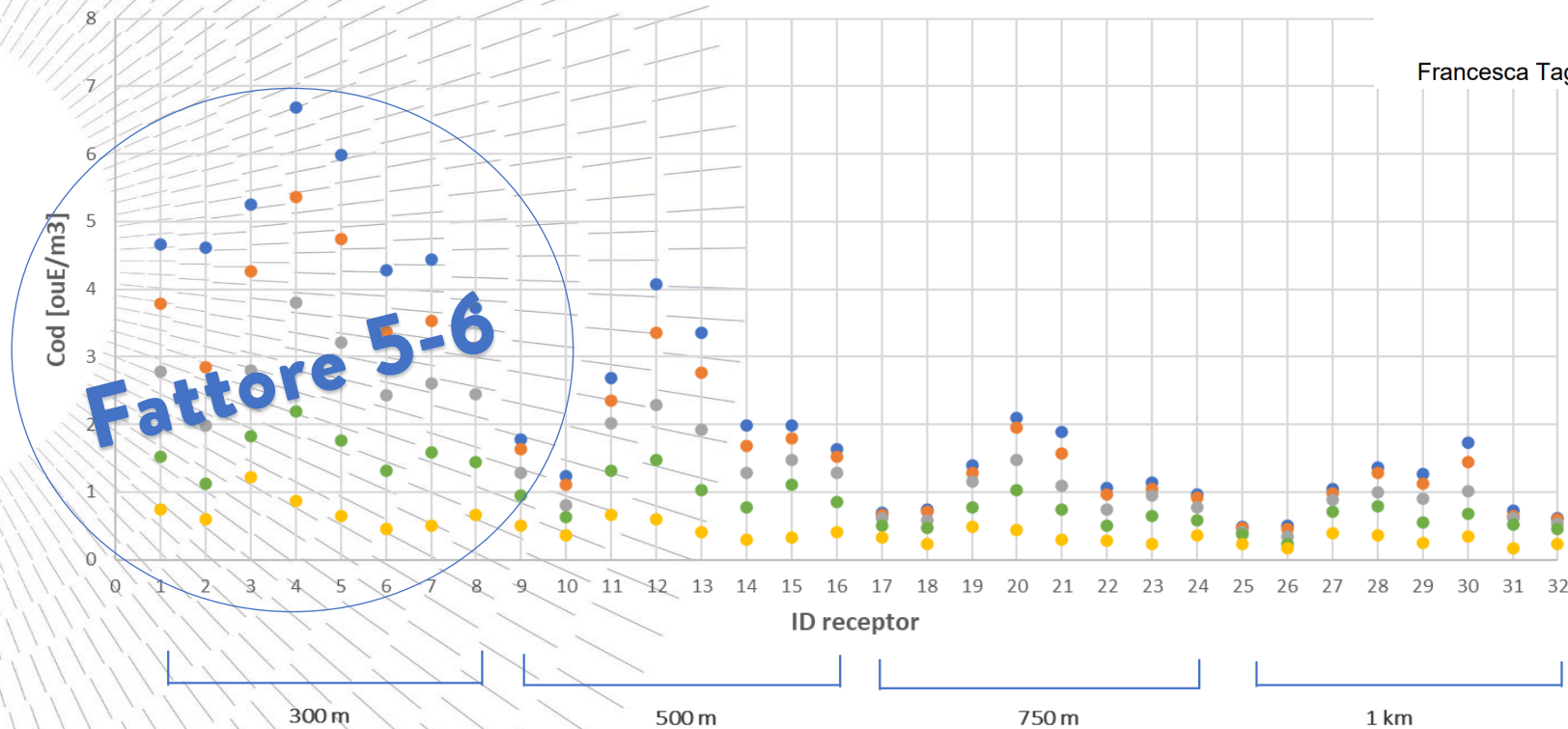
Guest Editors: Selena Sironi, Laura Capelli
Copyright © 2021, AIDIC Servizi S.r.l.
ISBN 978-88-95608-83-9; ISSN 2283-9216



The Italian Association
of Chemical Engineering
Online at www.cetjournal.it

DOI: 10.3303/CET2185029

CALPUFF Odour Concentration at discrete receptors for different $\sigma Z0$



Influence of Model Parameters When Simulating Landfill Odour Emission

Francesca Tagliaferri, Marzio Invernizzi*, Selena Sironi, Laura Capelli



STIMA DELLE CONCENTRAZIONI DI PICCO

OUTPUT Richiesto dai modelli di dispersione atm per l'odore

«Concentrazioni orarie di picco di odore al 98° percentile su base annuale»



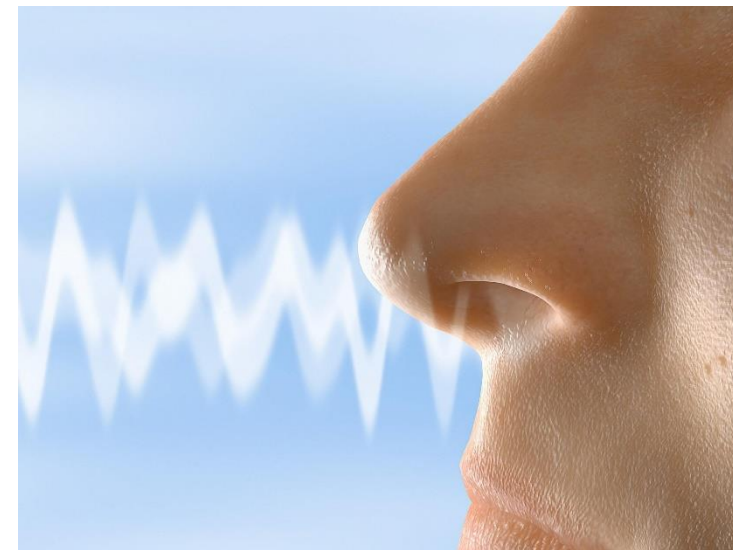
OUTPUT Richiesto dai modelli di dispersione atm per l'odore

«Concentrazioni **orarie** di picco di odore al 98° percentile su base annuale»

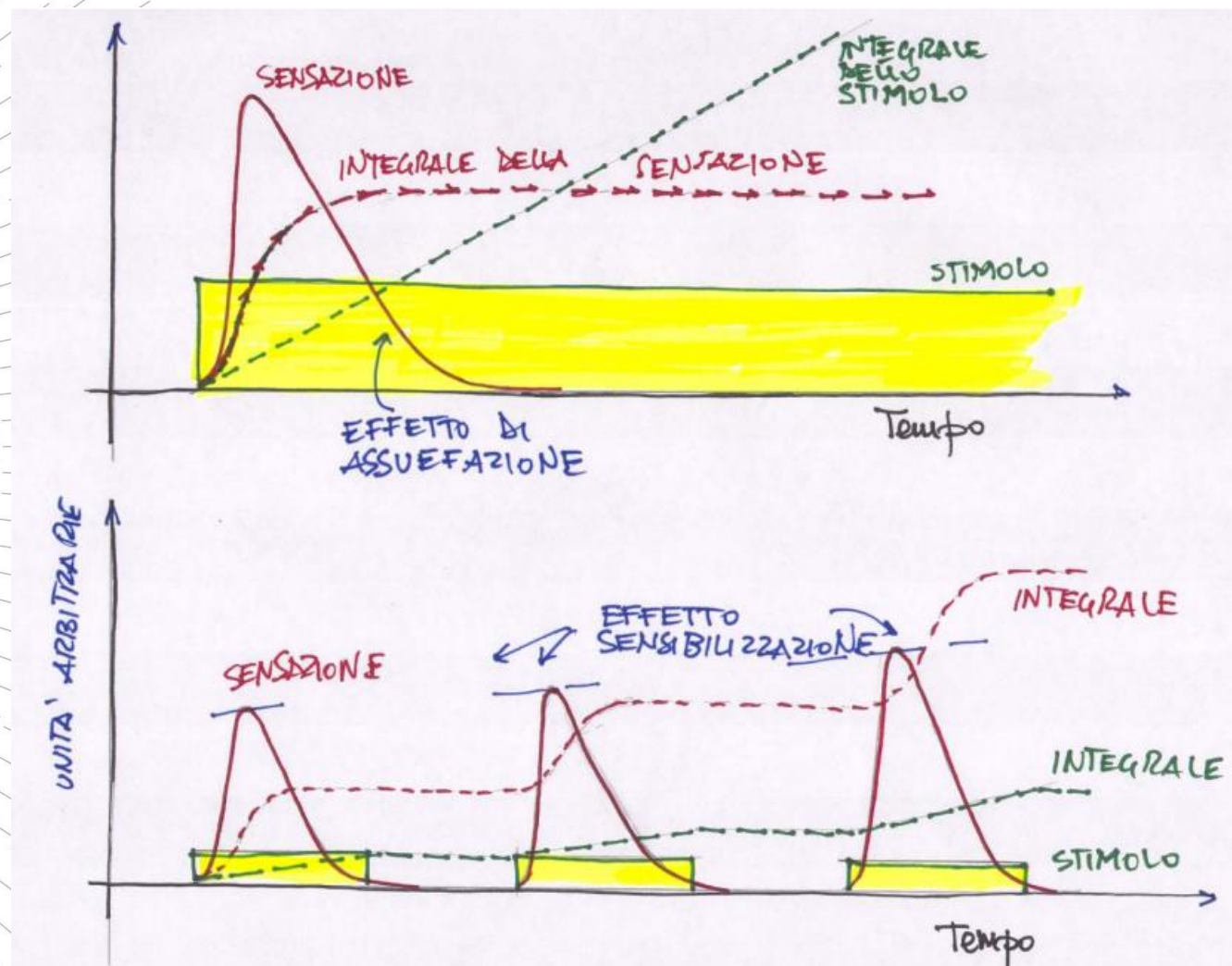
=> i modelli ragionano su base oraria

MA ● ● ●

La percezione dell'odore è un fenomeno istantaneo



Sensazione e stimolo



OUTPUT Richiesto dai modelli di dispersione atm per l'odore

«Concentrazioni orarie di **picco** di odore al 98° percentile su base annuale»

=> Si richiede di stimare il *picco*

MA ● ● ●

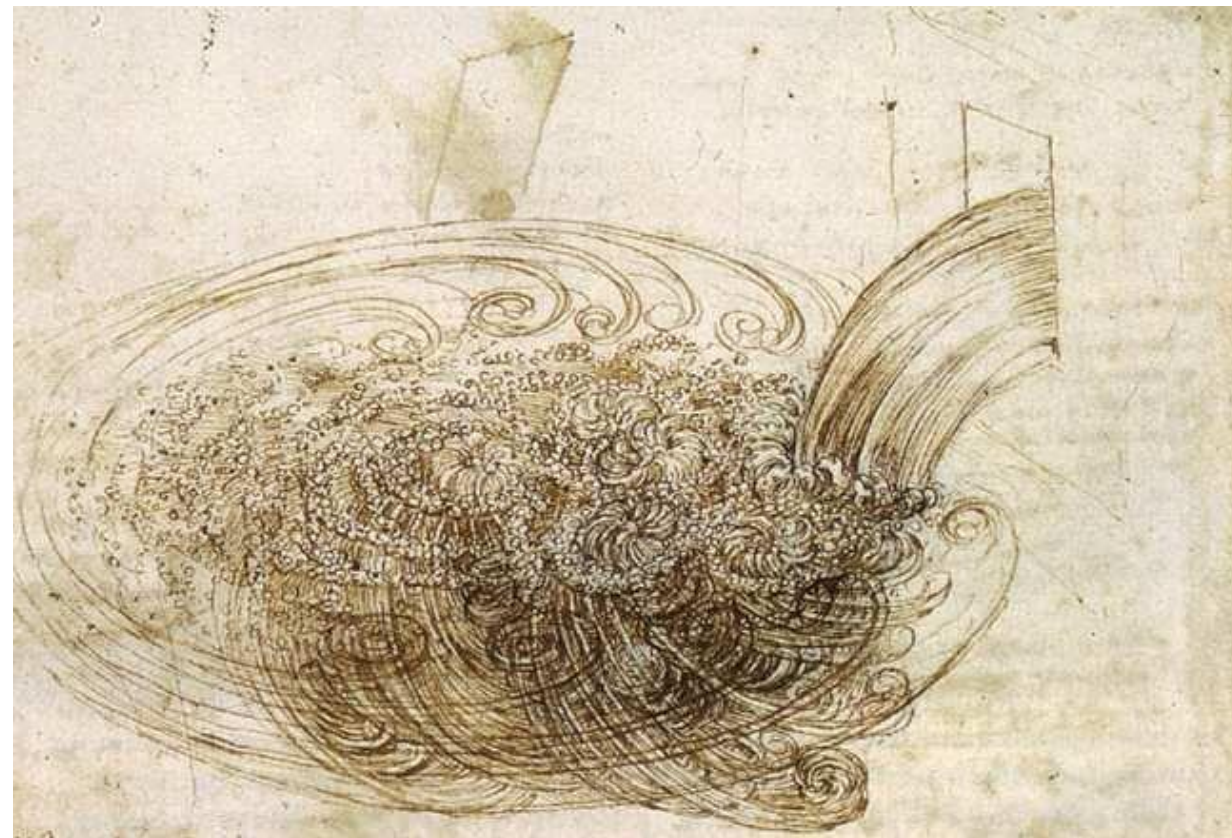
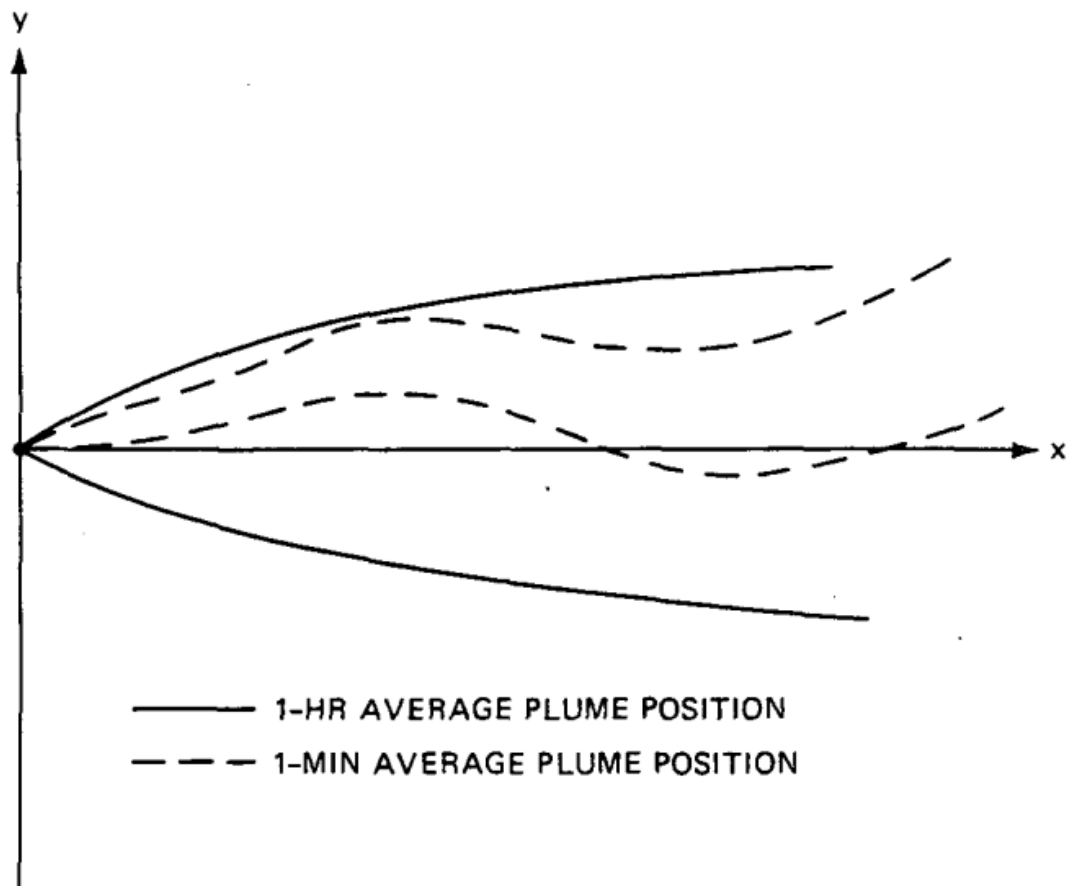
Non esiste una definizione ben precisa di picco!

Ipotesi:

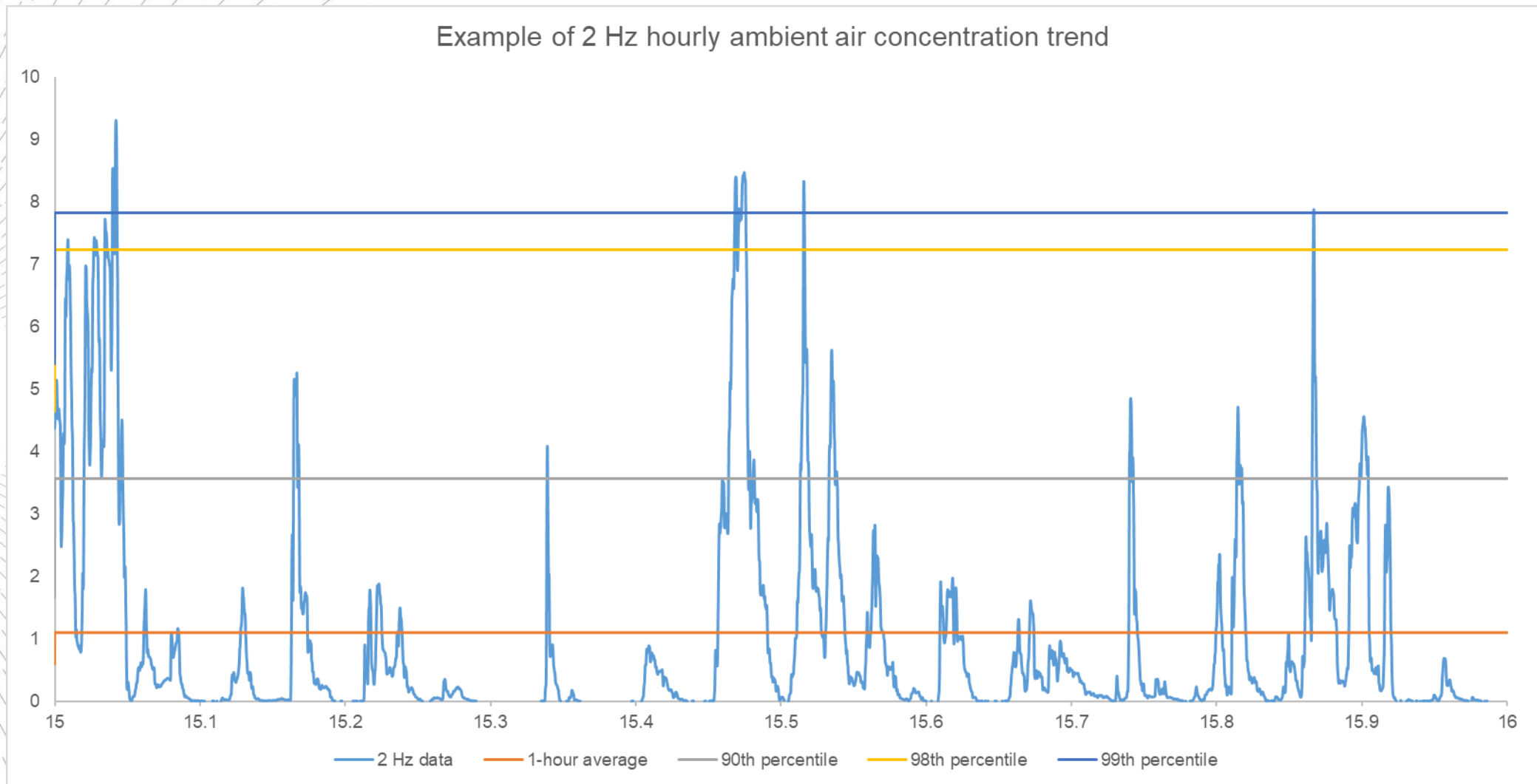
- Valore massimo assoluto => **Strumento e tempo dipendente!**
- Stima di un percentile di superamento => **Adatto per variabili stocastiche!**



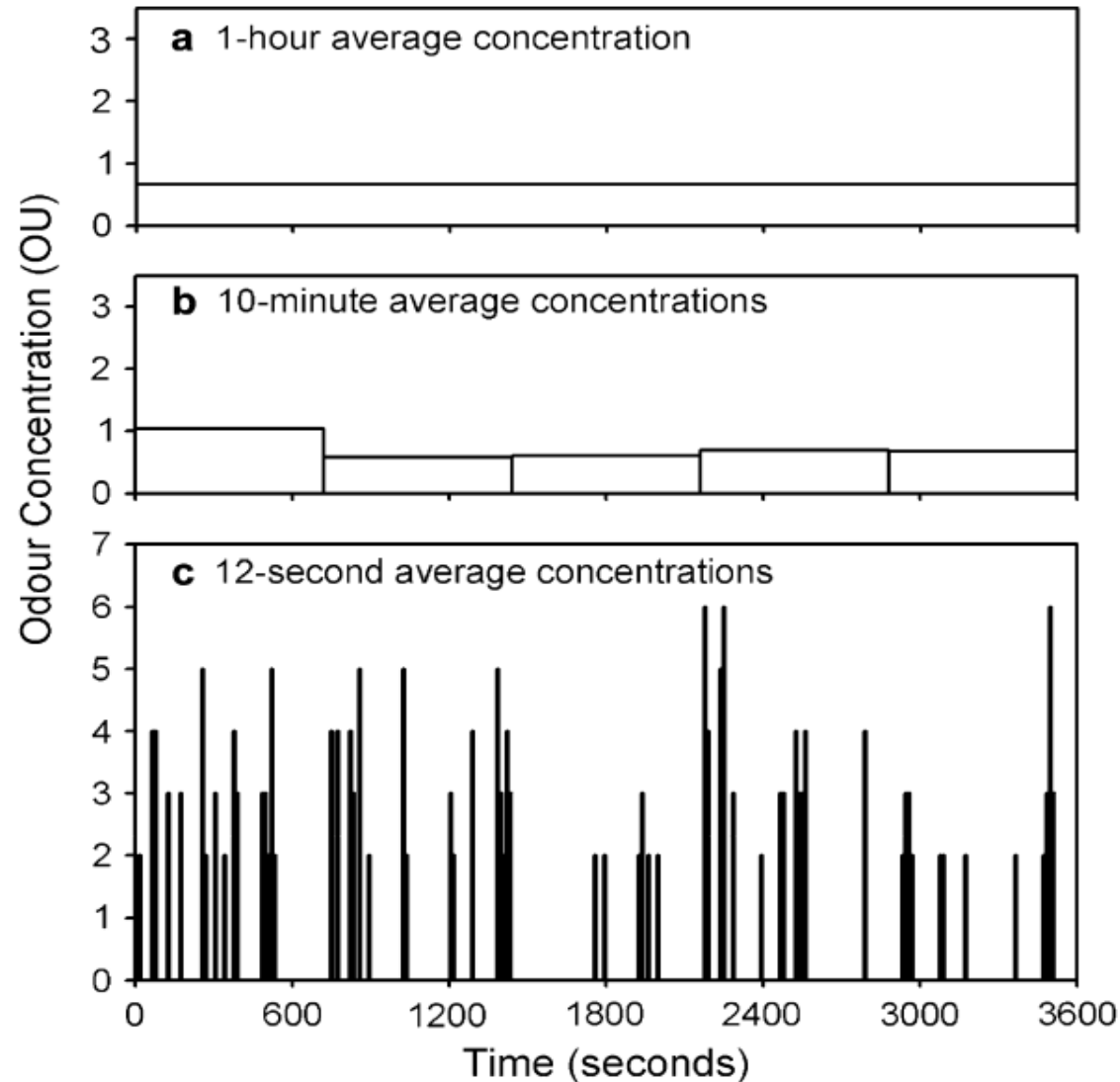
Cosa genera il picco?



Cos'è il picco?



Stima delle concentrazioni di picco



State of the art:

Fattore *peak-to-mean*

$$F = \frac{C_p}{C_m}$$

Stima delle concentrazioni di picco

- *Peak-to-mean* costante
 - In Italia: 2.3
 - In Germania: 4
 - In Belgio: 1
 - In Australia: $2 \div 25$ (2.3 più usato)

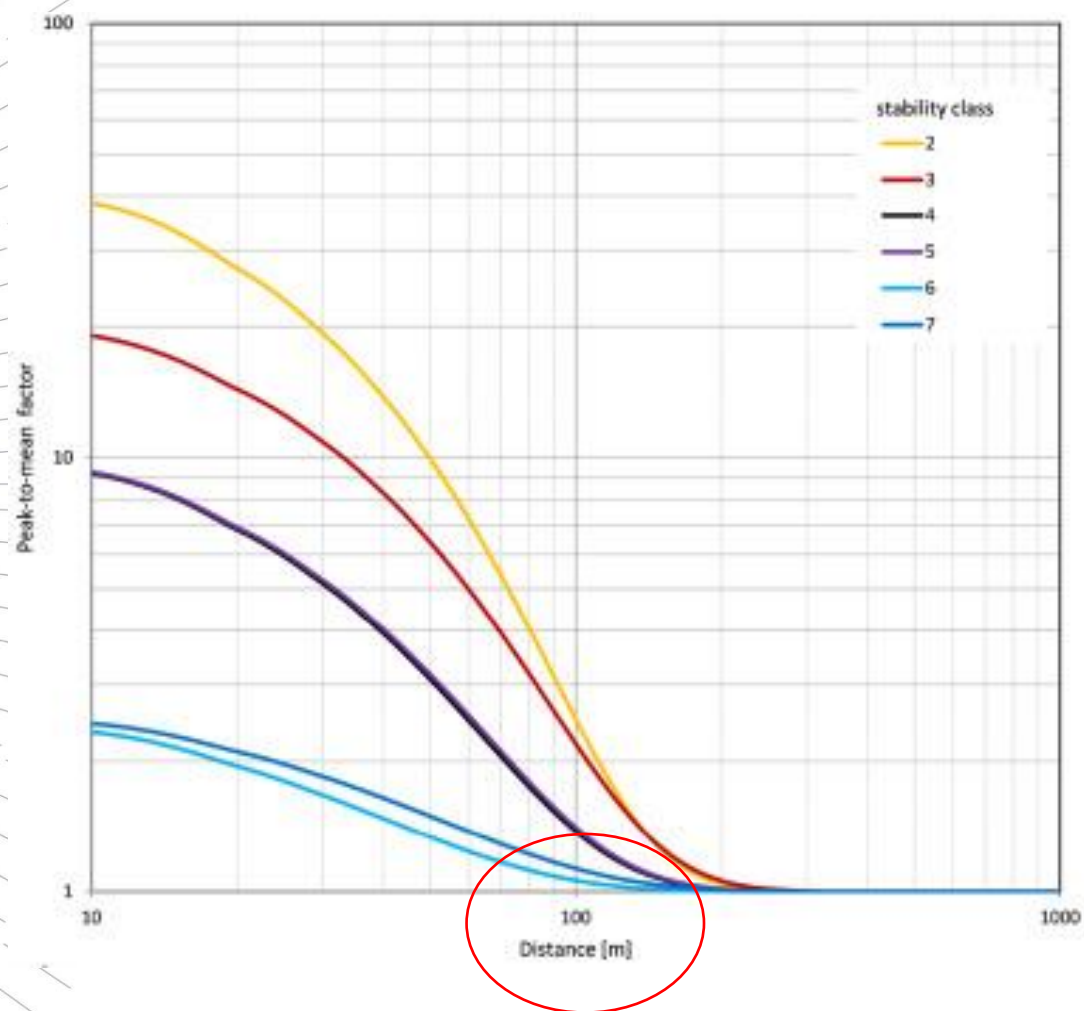
~ Fattore di sicurezza
Alta ripetibilità

Stima delle concentrazioni di picco

- *Peak-to-mean* costante
 - In Italia: 2.3
 - In Germania: 4
 - In Belgio: 1
 - In Australia: $2 \div 25$ (2.3 più usato)
- Metodo semiempirico (Schauberger et al. 2000)

Limitazioni fisiche
e teoriche

Stima F – Semiempirico

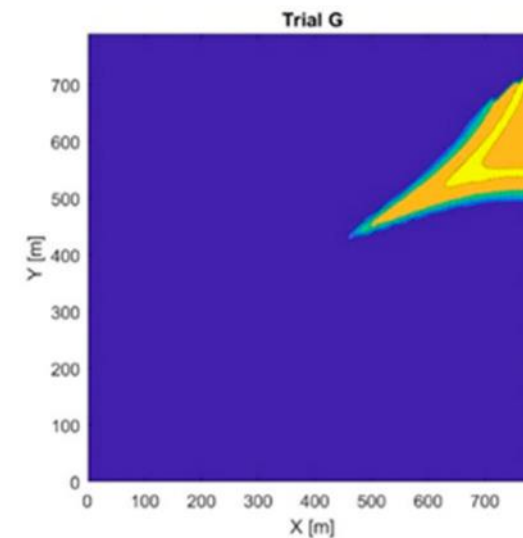
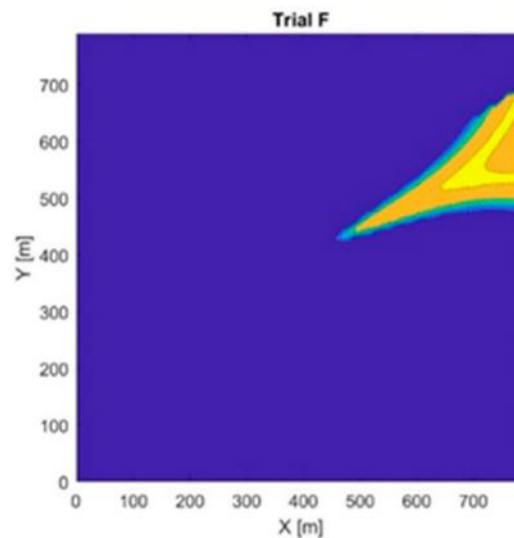
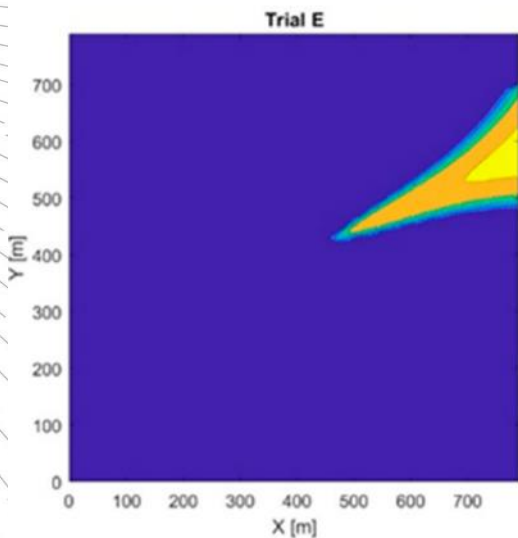
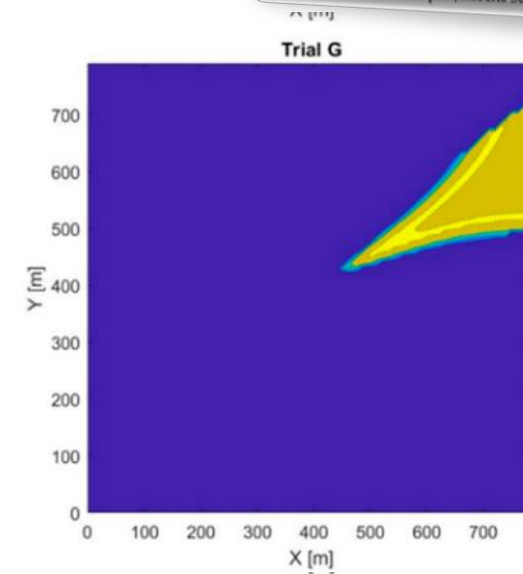
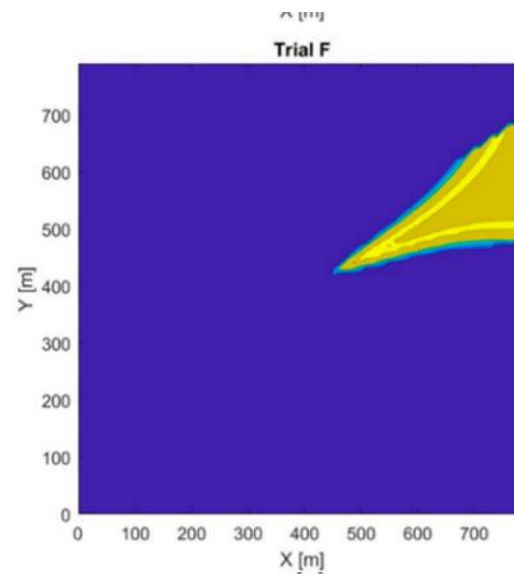
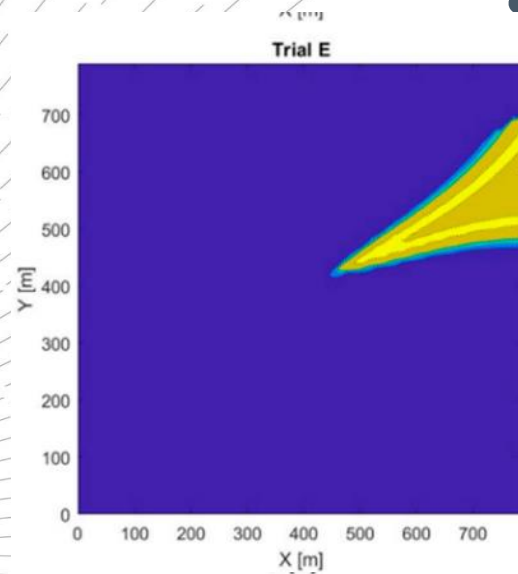


Stima delle concentrazioni di picco

- *Peak-to-mean* costante
 - In Italia: 2.3
 - In Germania: 4
 - In Belgio: 1
 - In Australia: $2 \div 25$ (2.3 più usato)
- Metodo semiempirico (Schauburger et al. 2000)
- PDF Fluctuating Plume Model (Gifford 1959-> Invernizzi 2021)

Problemi sul
multisorgente

Stima F – Fluctuating Plume Model (R90)

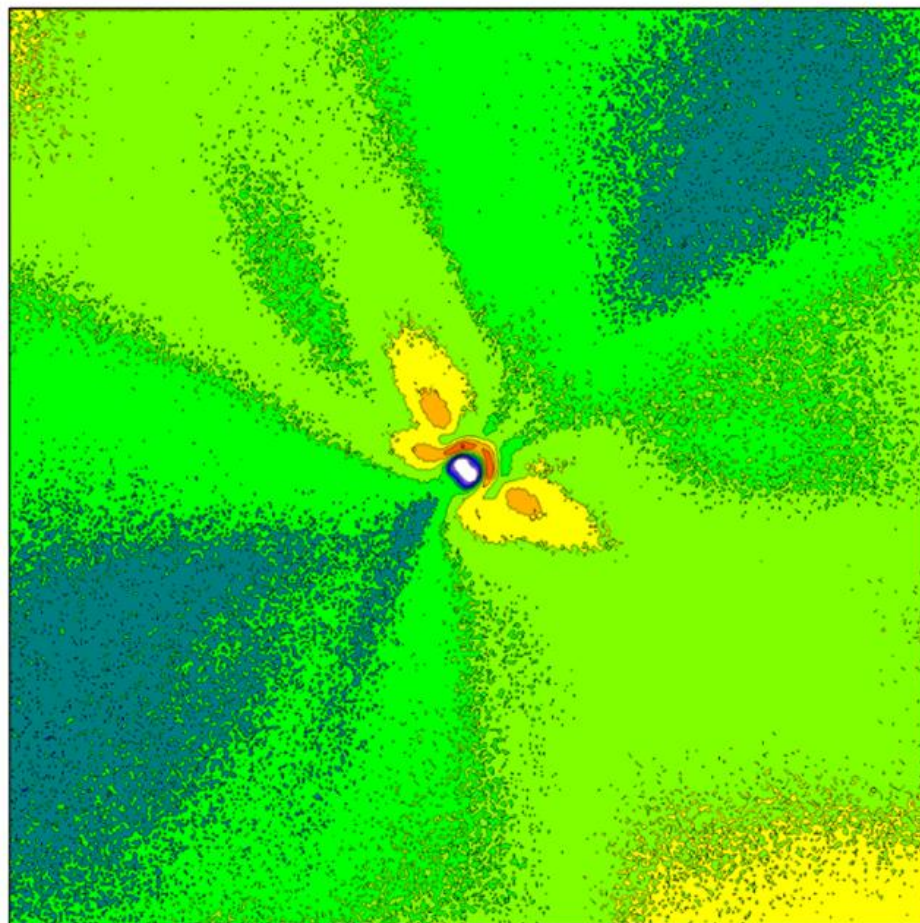


Stima delle concentrazioni di picco

- *Peak-to-mean* costante
 - In Italia: 2.3
 - In Germania: 4
 - In Belgio: 1
 - In Australia: $2 \div 25$ (2.3 più usato)
- Metodo semiempirico (Schauburger et al. 2000)
- PDF Fluctuating Plume Model (Gifford 1959-> Invernizzi 2021)
- PDF Trasporto della Varianza (Oettl & Ferrero 2017)

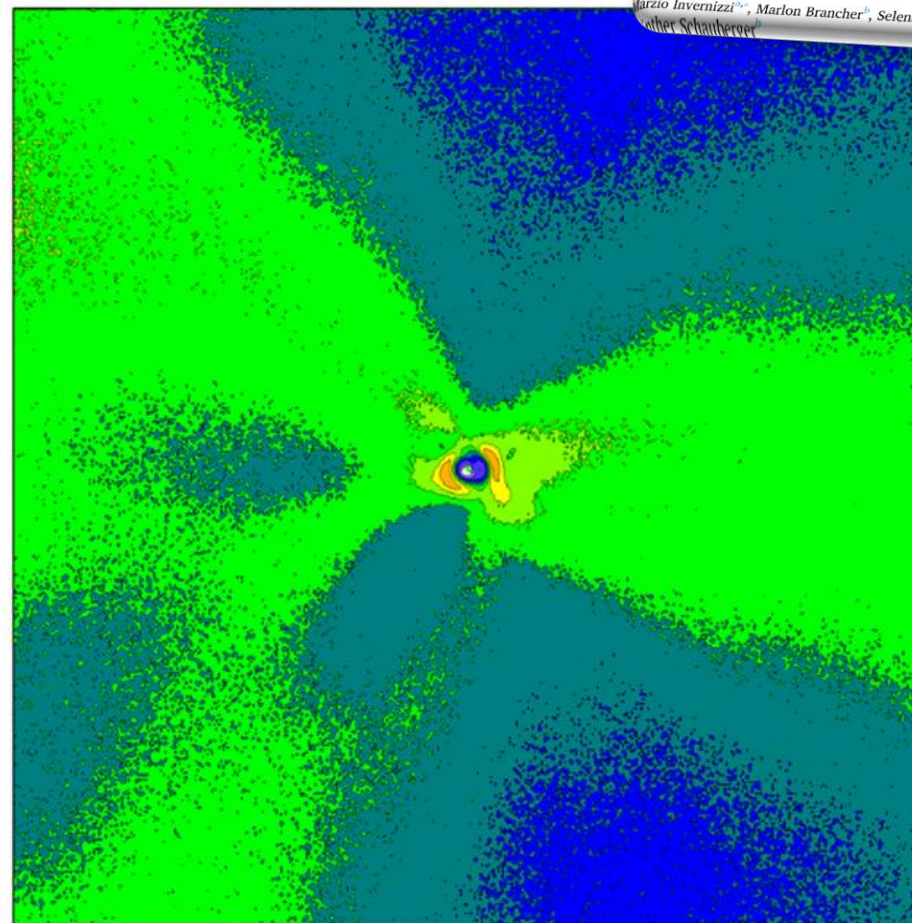
Scelte
metodologiche
non chiare

Stima F – Trasporto della Varianza (R90)

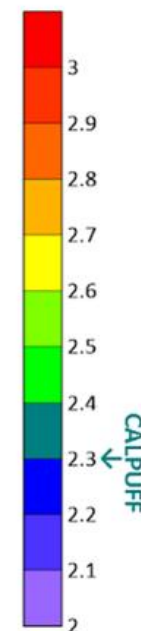


Groß-Enzersdorf, AT

Scale [m]



Corzano Bargnano, IT

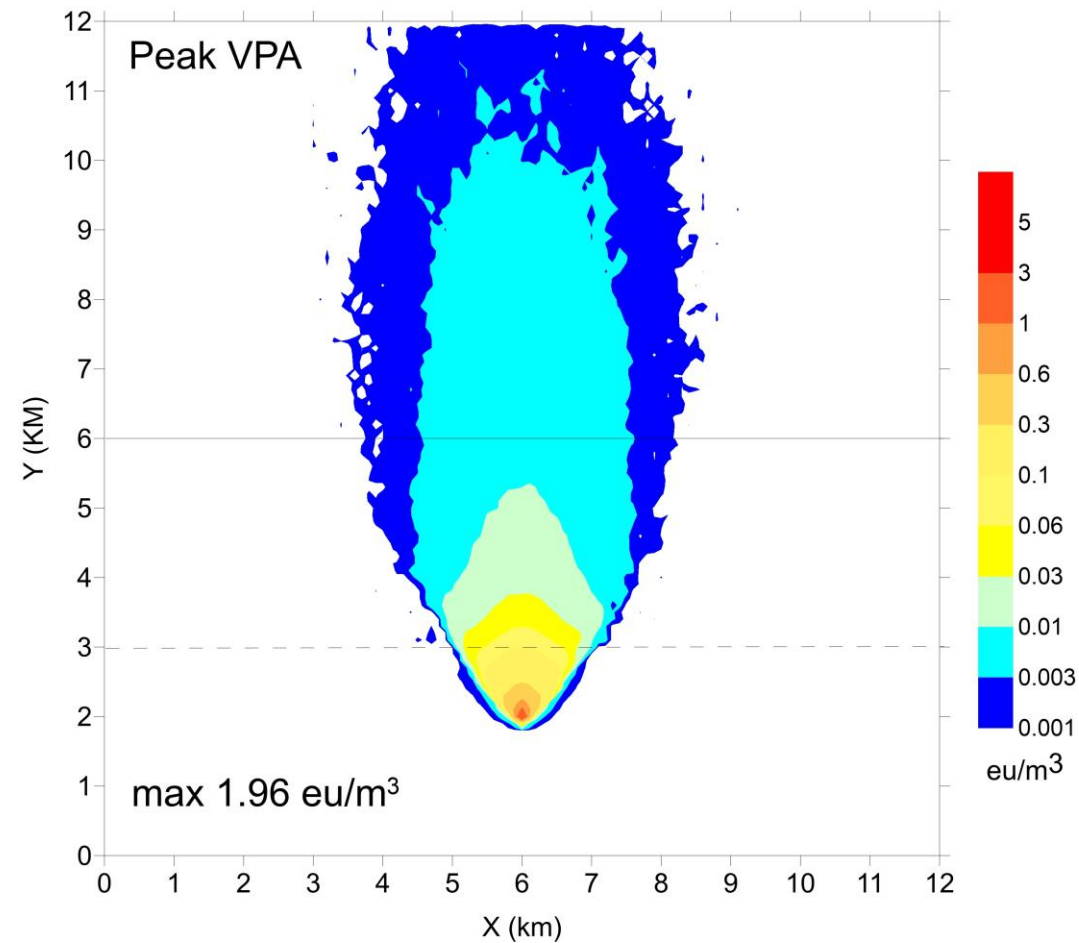
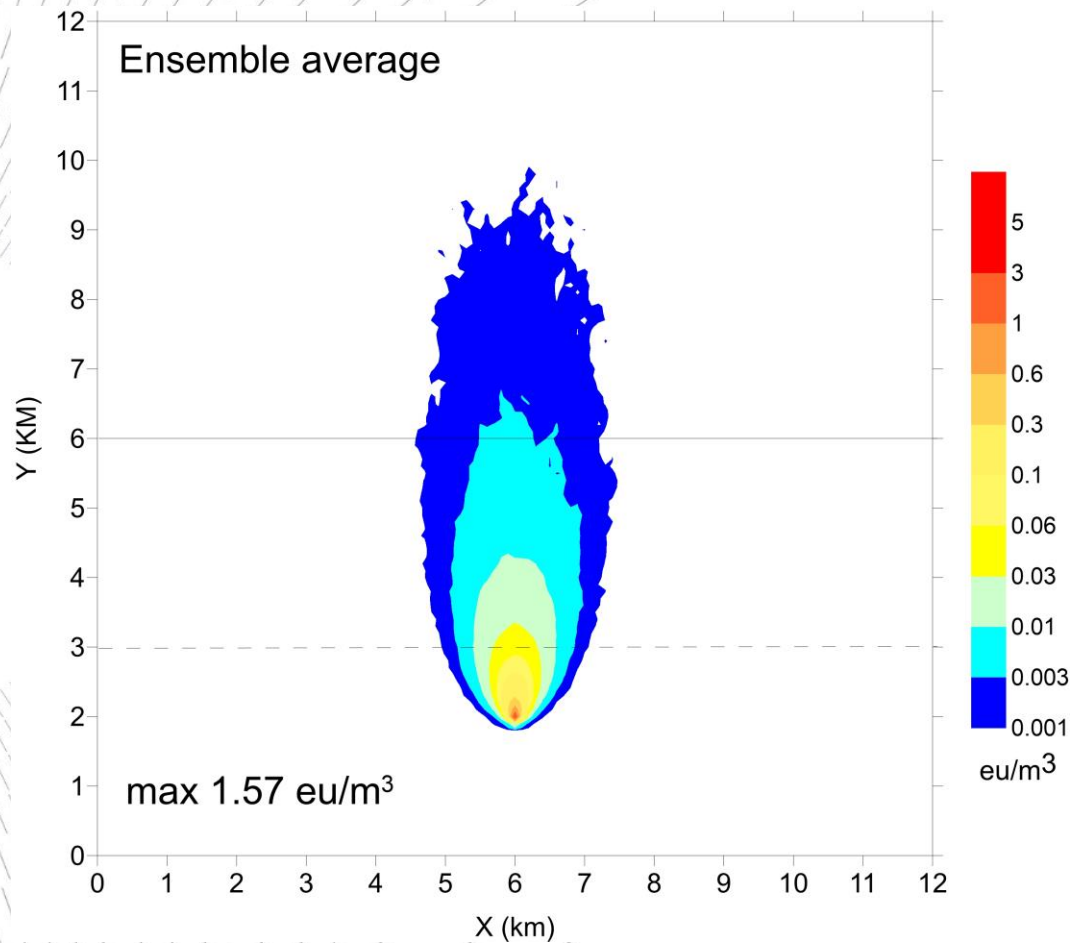


Stima delle concentrazioni di picco

- *Peak-to-mean* costante
 - In Italia: 2.3
 - In Germania: 4
 - In Belgio: 1
 - In Australia: $2 \div 25$ (2.3 più usato)
- Metodo semiempirico (Schauburger et al. 2000)
- PDF Fluctuating Plume Model (Gifford 1959-> Invernizzi 2021)
- PDF Trasporto della Varianza (Oetl & Ferrero 2017)
- PDF Micromixing

Non implementato
in modelli disp atm
(combustione)

Stima F – Micromixing (R98)



Stima delle concentrazioni di picco

- *Peak-to-mean* costante





Grazie per l'attenzione!

francesca.tagliaferri@polimi.it