

# Sviluppi recenti nel modello SPRAY3 per il calcolo delle concentrazioni di picco

Gianni Tinarelli

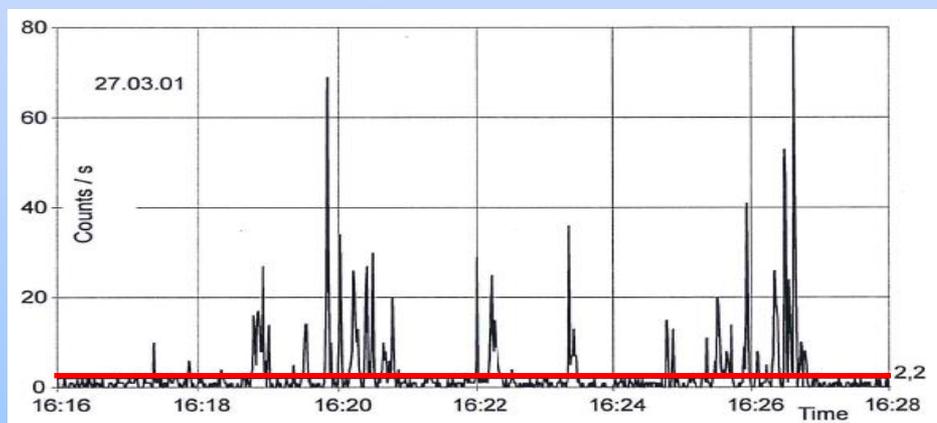
*ARIANET Srl Milano*

# Struttura della presentazione

1. Descrizione generale del problema
2. Formulazioni del rapporto Peak-to-mean
  - a) *Longitudinale (già presente)*
  - b) ***Trasporto della varianza***
3. Implementazioni nel codice SPRAY3
4. Risultati in condizioni controllate/realistiche e confronti tra metodi differenti
5. Considerazioni conclusive

## Alcune osservazioni preliminari

- gli impatti odorigeni vengono percepiti dal sistema olfattivo attraverso un singolo atto respiratorio di breve durata (circa 5 secondi)
- In linea di principio è quindi la concentrazione media su questi intervalli temporali a contare rispetto a quella su periodi più lunghi (esempio 1 ora)



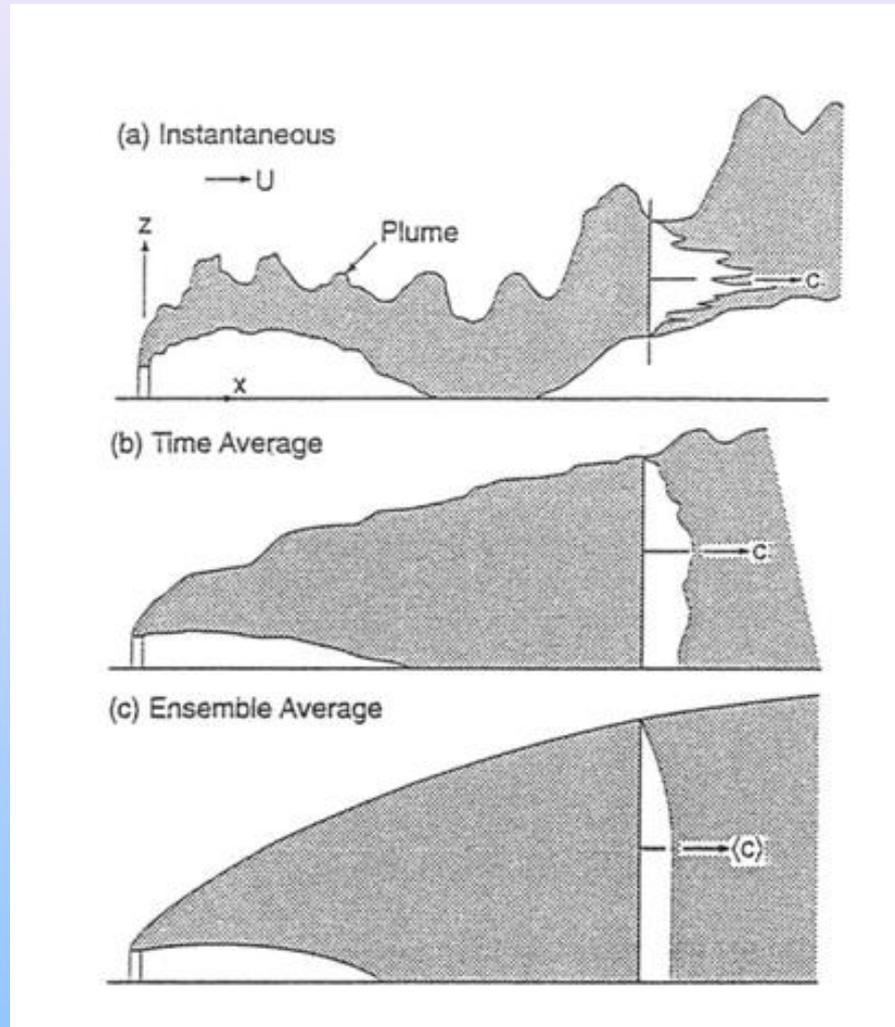
Instantaneous (—) vs  
average (—) concentrations

*<sup>85</sup>Kr emitted in air (Lung e al. 2002)*

**E' quindi necessario ricostruire concentrazioni "istantanee" (o perlomeno alla frequenza di circa 5 secondi**

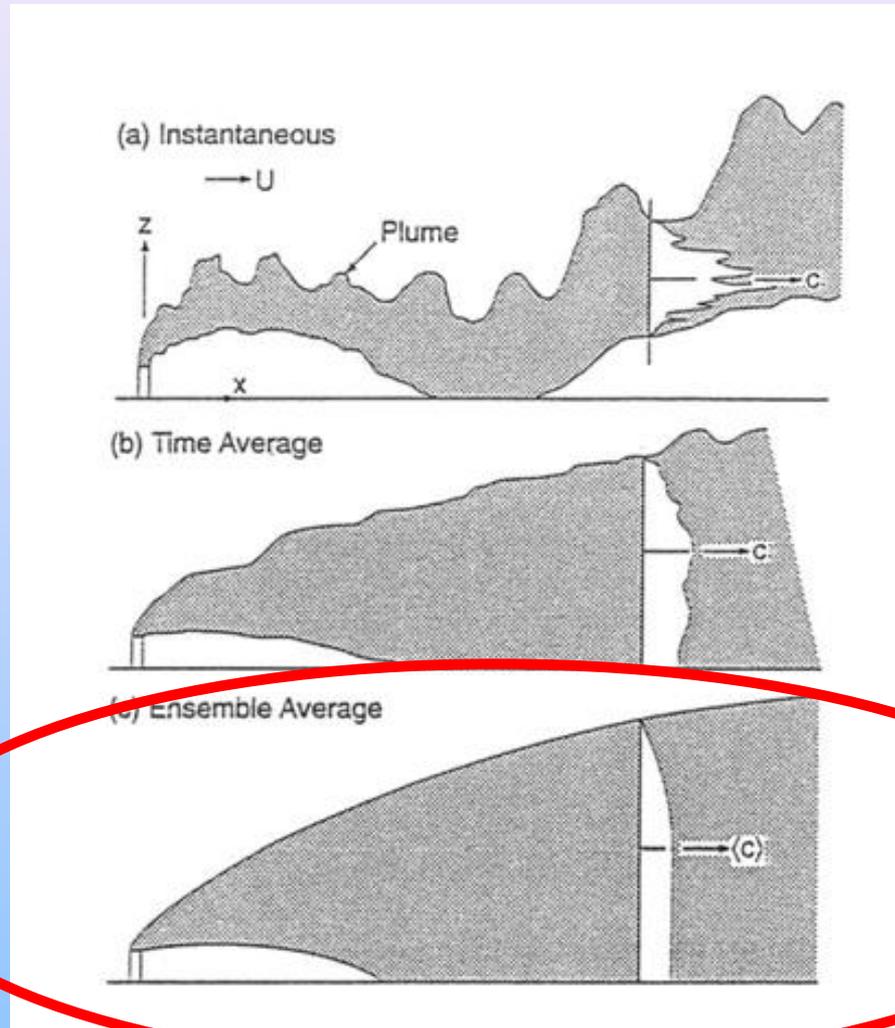
# 1. Descrizione generale del problema

## Vari modi di interpretare le concentrazioni



# 1. Descrizione generale del problema

## Vari modi di interpretare le concentrazioni



Questo è quanto tipicamente riproducono i modelli!!!

## 2. Formulazioni del rapporto Peak-to-mean

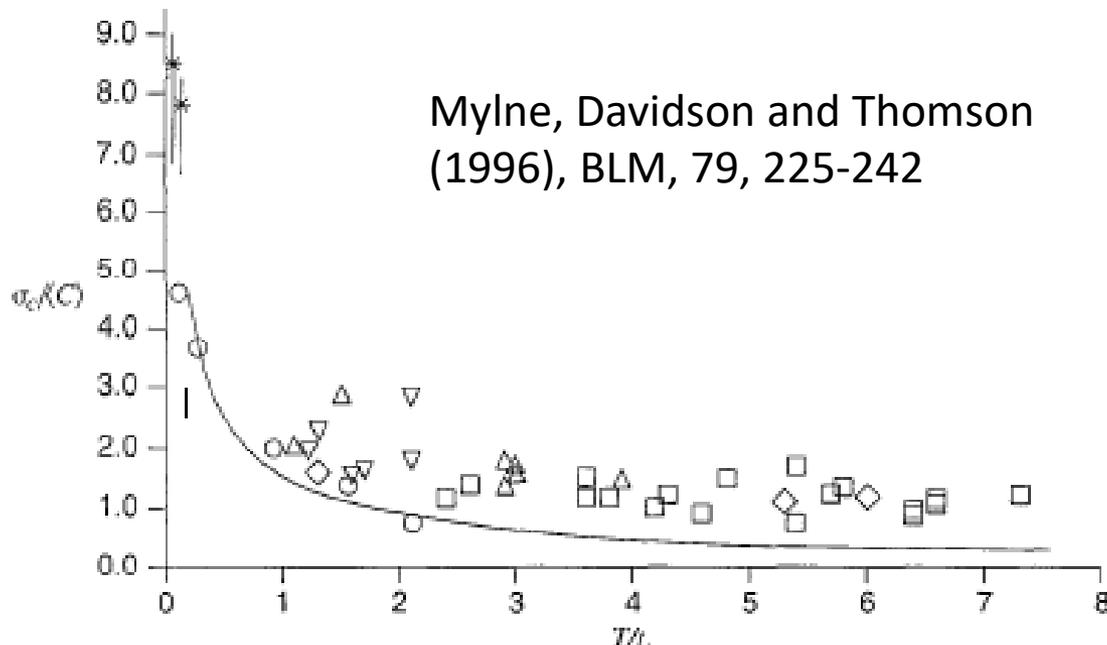
In generale, il metodo consiste nello stimare il valore di concentrazione di picco (short term/istantaneo) mediante il valore medio calcolato dal modello utilizzando un fattore moltiplicativo (rapporto Peak-to-mean)

Alcune linee guida di riferimento suggeriscono ad esempio l'utilizzo di un **Peak-to-mean F costante** (indipendente da tempo, spazio, condizioni meteorologiche)

Esempi:  $F=4$  (Germania),  $F=2.3$  (Italia)

## 2. Formulazioni del rapporto Peak-to-mean

### a) Peak-to-mean longitudinale



A partire dalle osservazioni della varianza delle concentrazioni in un pennacchio funzione del tempo di volo  $T$ , il metodo determina un valore asintotico per  $p/m=1$  per tempi di volo  $T$  grandi e valori più elevati per tempi di volo  $T$  più piccoli

$$p / m = \Psi (x) = 1 + (\Psi_0 - 1) \cdot \exp \left[ -0.732 \cdot \frac{x}{U \cdot T_L} \right]$$

where

$$\frac{C_p}{C_m} = \left( \frac{t_m}{t_p} \right)^\alpha = \Psi_0$$

(Piringer et. al., Atmos. Env., 2017)

Si assume che  $p/m$  nella posizione della sorgente sia funzione della stabilità atmosferica, del tempo tipico di media  $t_m$  (3600 s) e dello short time  $t_p$  (e.g. 5 s) rispetto al quale calcolare il valore di picco

## 2. Formulazioni del rapporto Peak-to-mean

### b) Equazione semplificata di trasporto della varianza (novità in SPRAY3)

Considerando  $C = \langle C \rangle + c'$  e l'equazione generale di trasporto for  $c'^2$

$$\frac{\overline{\partial c'^2}}{\partial t} + U_j \frac{\overline{\partial c'^2}}{\partial x_j} = -2\nu_c \overline{\left(\frac{\partial c'}{\partial x_j}\right)^2} - \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \overline{u'_j c'^2} \right) - 2\overline{u'_j c'} \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j}$$

segundo Oettl and Ferrero (2017): A simple model to assess odour hour for regulatory purposes, *Atmospheric Environment*, G155, **162-173**

- trascurando il termine di trasporto
- trascurando il termine di diffusione

L'equazione si reduce a:

$$\frac{\overline{\partial c'^2}}{\partial t} = -2\sigma_{ui} T_{Li} \left( \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} \right)^2 - \frac{\overline{c'^2}}{2T_{Lw}} \quad \text{having the analytical solution:} \quad \overline{c'^2} = 2\sigma_{ui} T_{Li} (2T_{Lw}) \left( \frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j} \right)^2$$

il p/m viene stimato da  $\langle C \rangle$  e  $\overline{c'^2}$  calcolati in ogni punto ipotizzando una PDF di forma nota

#### Longitudinal P/M

- Viene associato un valore di  $\Psi(p)$  ad ogni particella computazionale
- L'equazione precedente viene applicata in forma differenziale e discretizzata con  $\Delta x = U \Delta t$
- Ogni particella contribuisce col proprio  $\Psi(p)$  in una cella di concentrazioni per calcolare un valore medio del fattore Peak-to-mean
- $U$  and  $T_L$  dipendono dallo spazio e dal tempo, calcolati in ogni posizione della particella

#### Variance-transport P/M

- ad ogni  $\Delta t$  di campionamento' il campo di  $\frac{\partial \langle C \rangle}{\partial x_j}$  viene calcolato sul grigliato di concentrazioni
- L'equazione semplificata viene applicata per ogni particella per calcolare  $\overline{c'^2}$
- utilizzando  $\overline{c'^2}$  e  $\langle C \rangle$ , viene stimata la distribuzione di  $C$  ipotizzando una PDF di Weibull
- La concentrazione di picco viene stimata attraverso il percentile 98 della distribuzione

# Setup degli esperimenti

**Condizioni omogenee e stazionarie, dominio di 12 x 12 km<sup>2</sup> domain, terreno piatto, vento 1 m/s e 4 m/s, 2 differenti condizioni di stabilità, sorgente puntuale**

Caratteristiche della sorgente

Altezza camino = 10 m

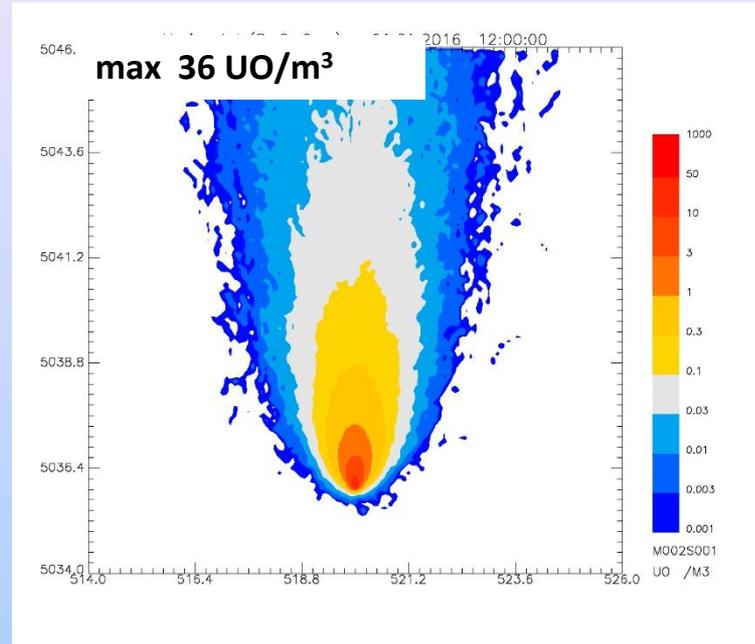
Diametro di uscita = 0.5 m

Temperatura ambiente

Flusso di emissione = 70000 UO/s

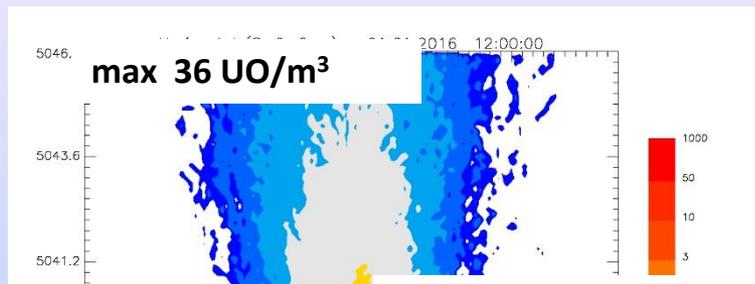
# Condizioni instabili, 1 m/s, concentrazioni al suolo

Concentrazioni medie  $\langle C \rangle$



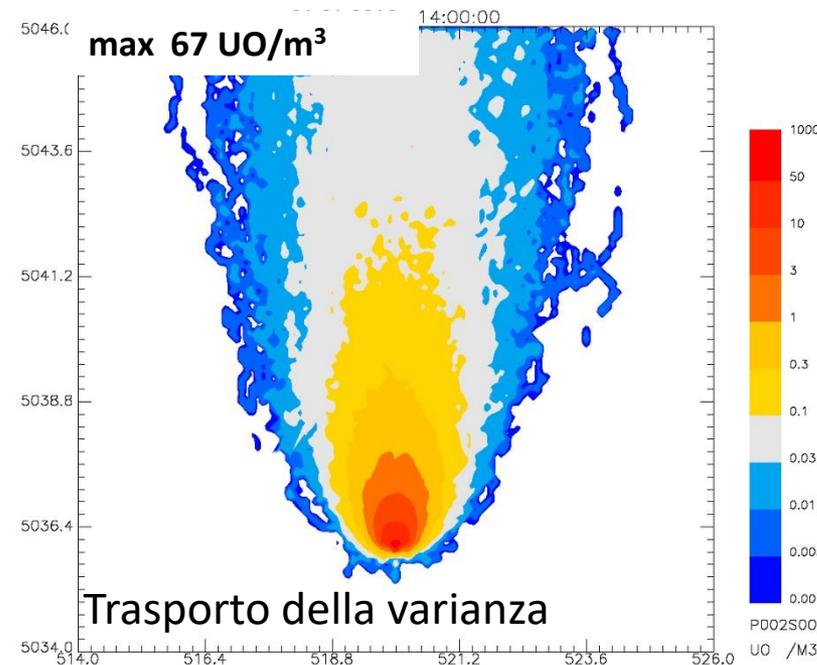
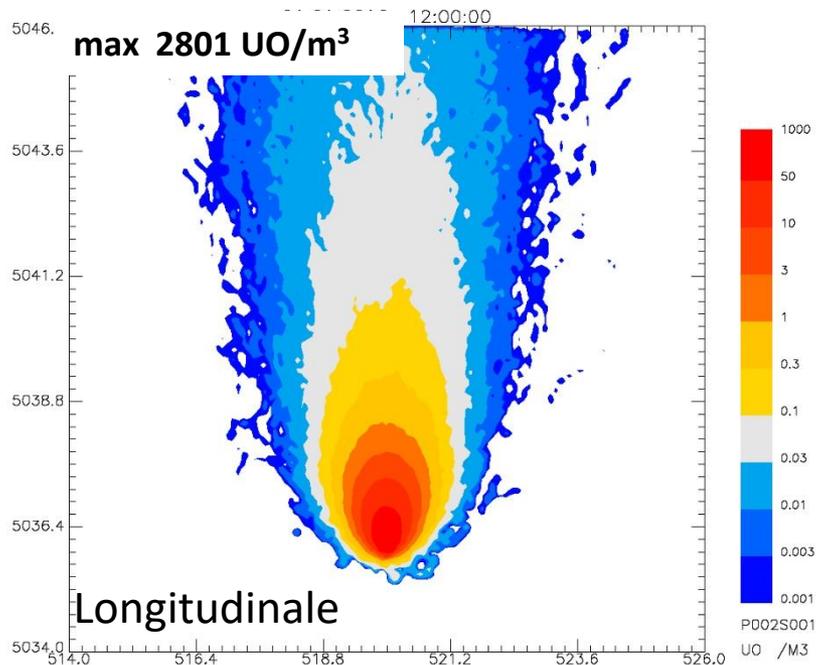
## Condizioni instabili, 1 m/s, concentrazioni al suolo

Concentrazioni medie  $\langle C \rangle$



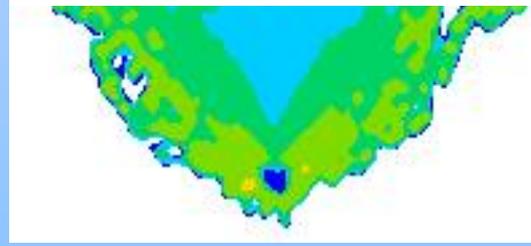
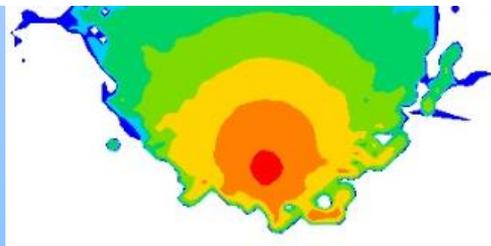
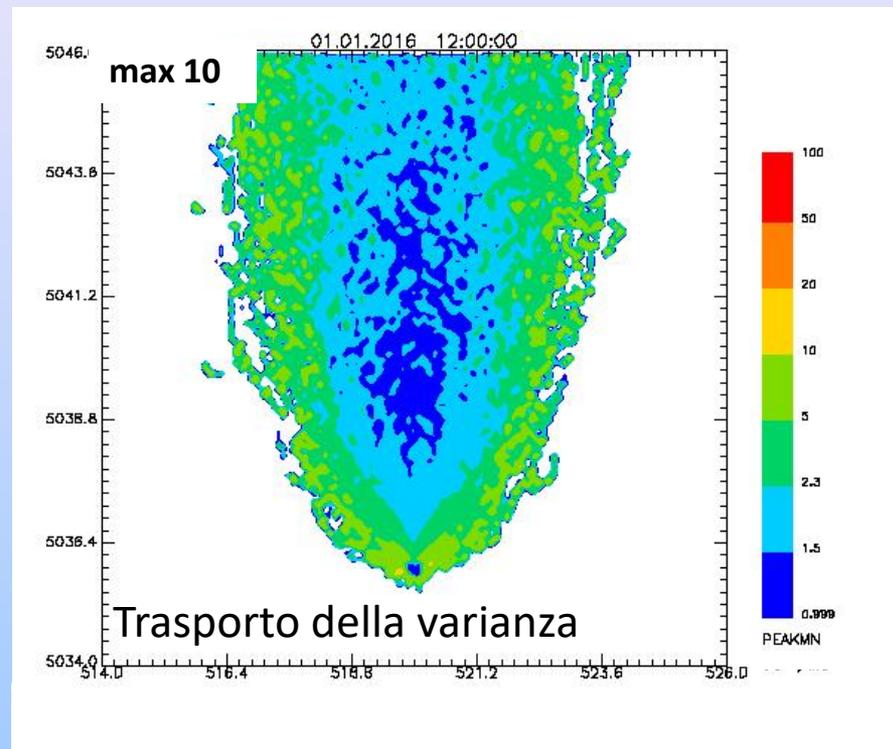
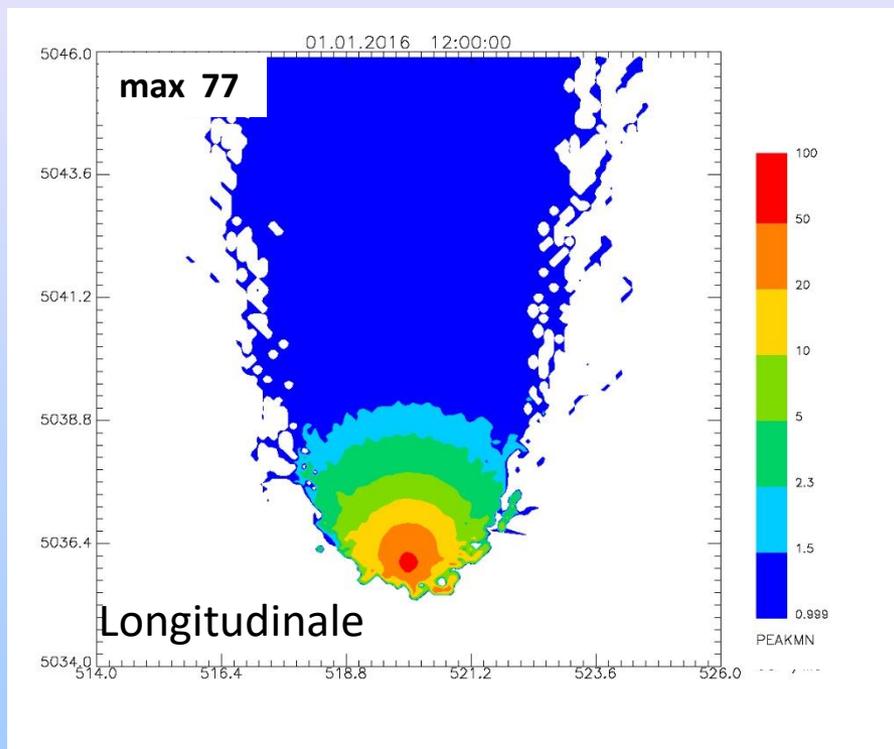
Concentrazioni di picco

Concentrazioni di picco



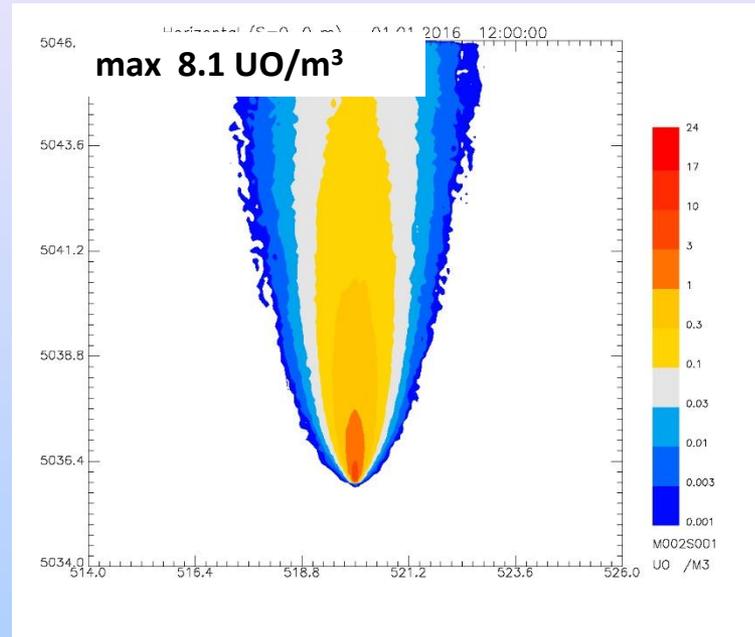
## 4. Esperimenti numerici - risultati

# Condizioni instabili, 1 m/s, Peak-to-mean ratio



# Condizioni instabili, 4 m/s, concentrazioni

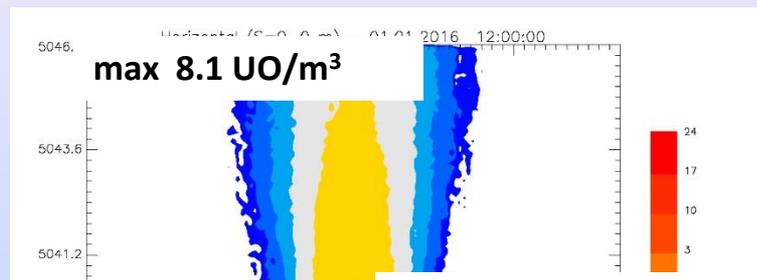
Concentrazioni medie  $\langle C \rangle$



## 4. Esperimenti numerici - risultati

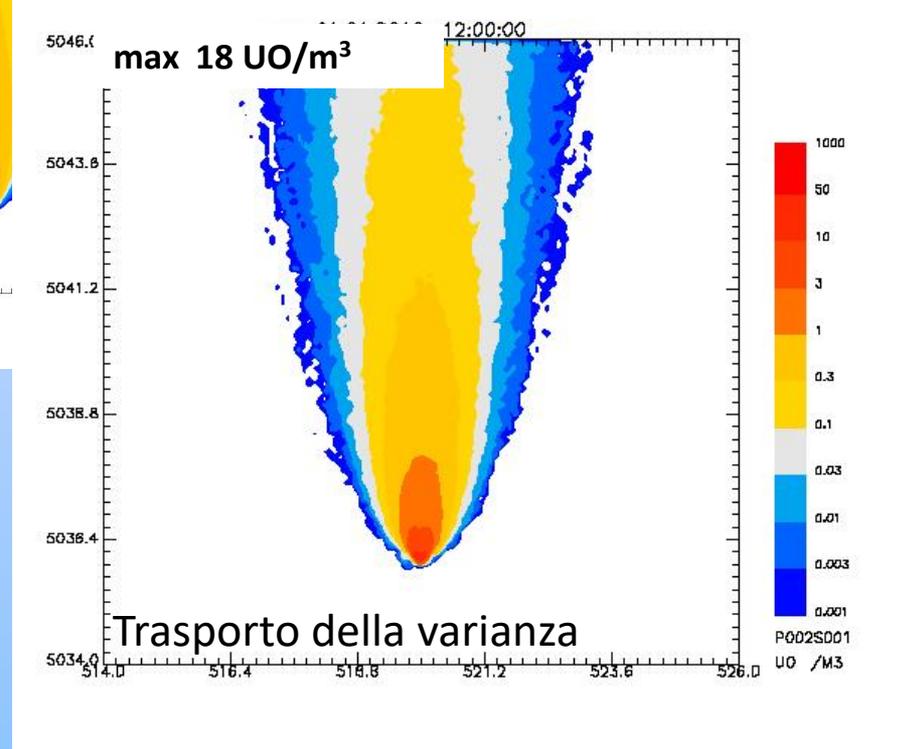
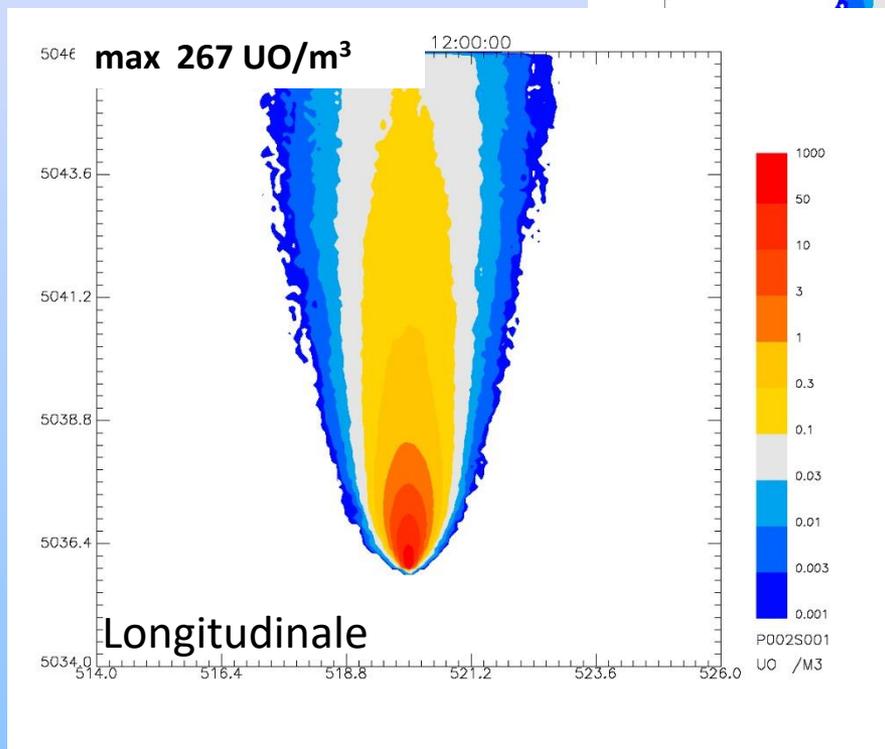
# Condizioni instabili, 4 m/s, concentrazioni

Concentrazioni medie  $\langle C \rangle$



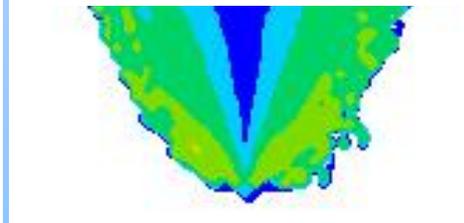
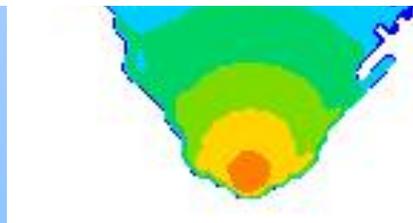
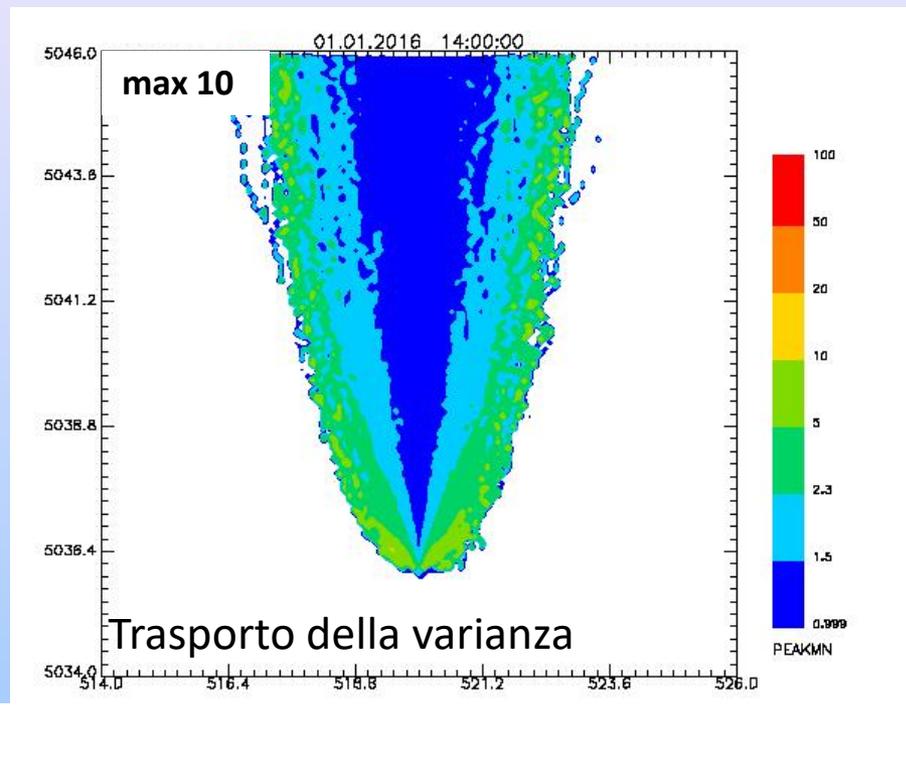
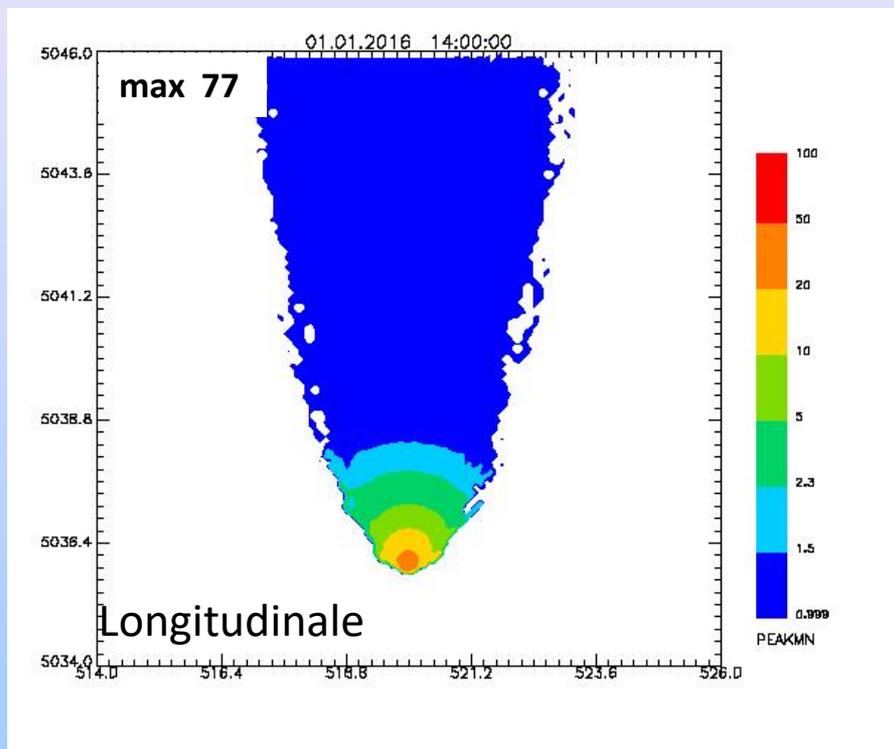
Concentrazioni di picco

Concentrazioni di picco



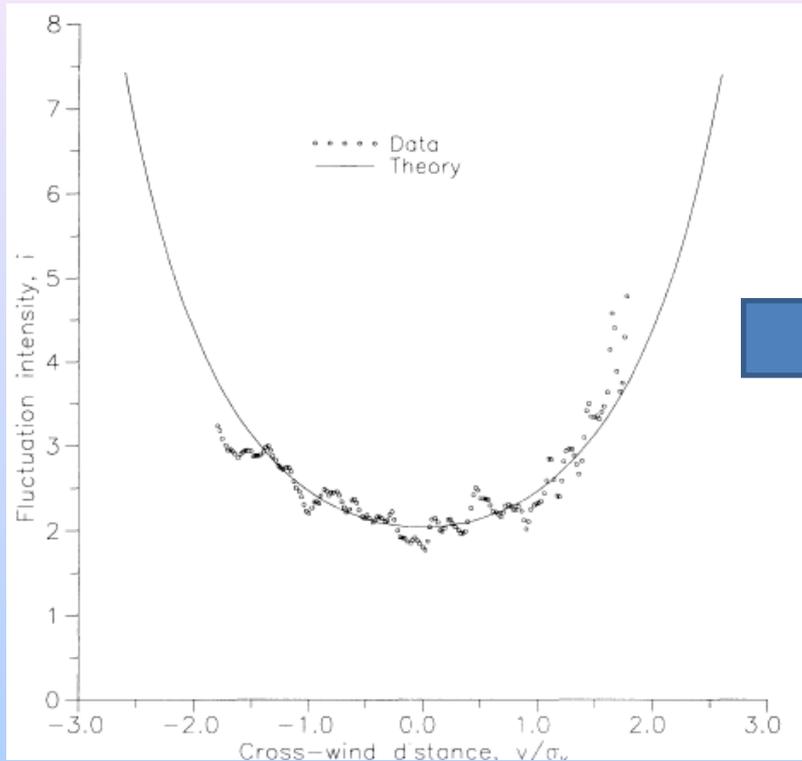
## 4. Esperimenti numerici - risultati

# Unstable conditions, 4 m/s, Peak-to-mean ratio

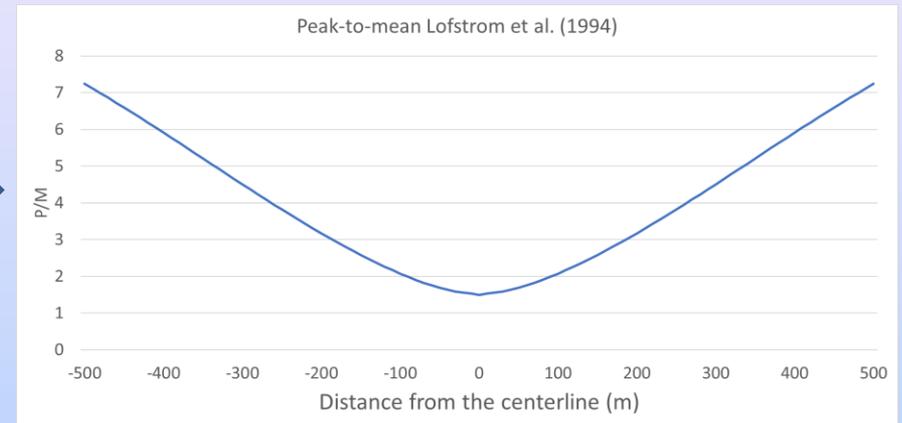


## 4. Esperimenti numerici - risultati

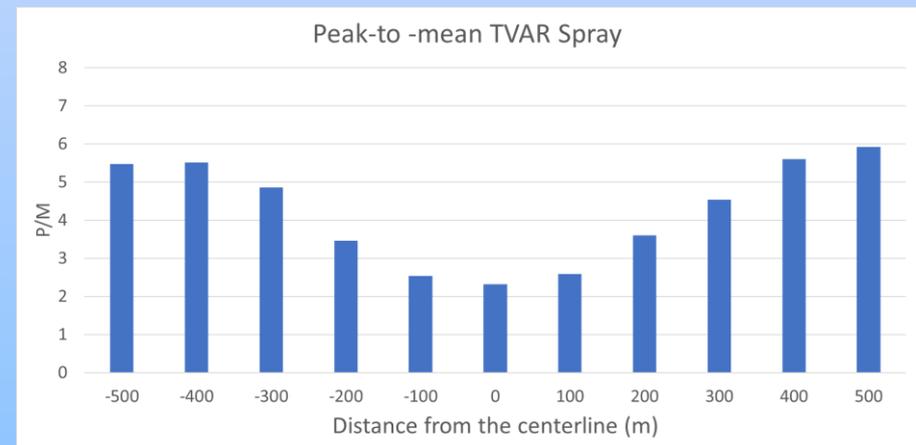
Andamento laterale di  $\sigma_c / \langle C \rangle$ , dati sperimentali



Peak-to-mean laterale dalla curva interpolata  
A 400m dalla sorgente,



SPRAY 1 m/s peak to mean condizioni instabili

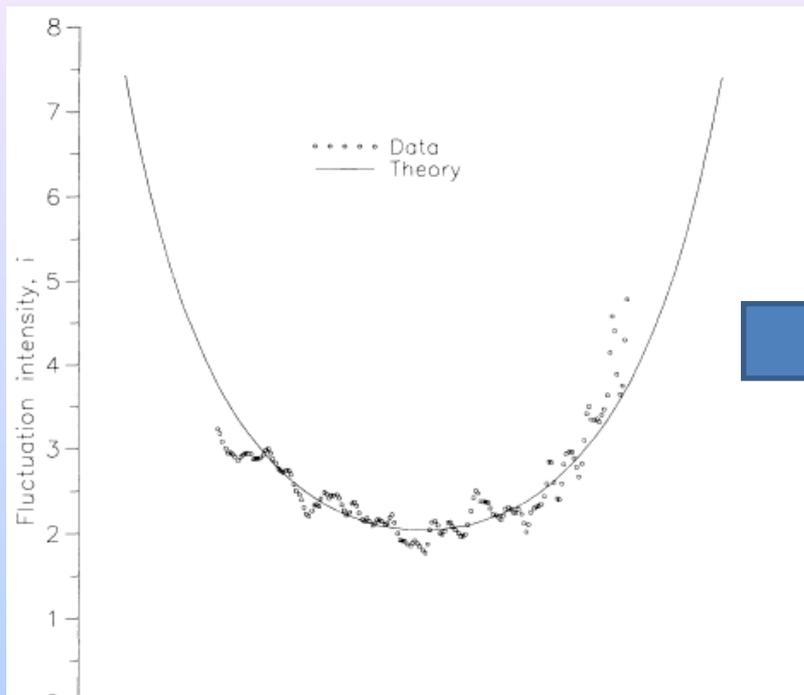


Da Lofstrom et al., 1994

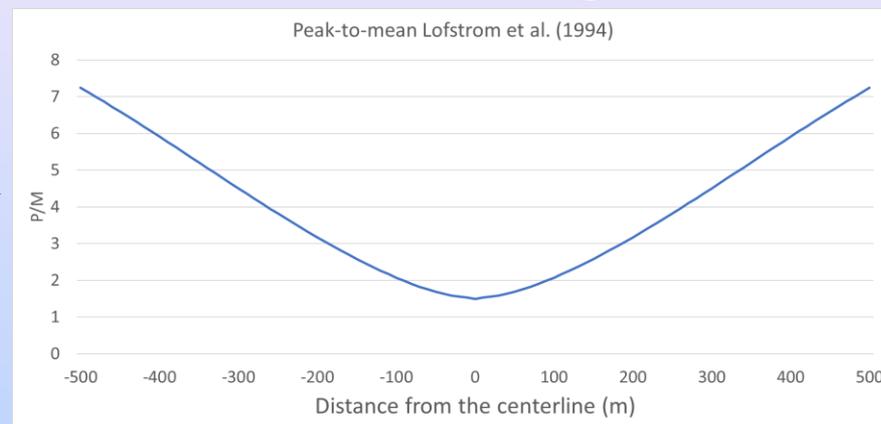
A concentration fluctuation model for decision-makers based on joint tracer and lidar measurements from a non-buoyant elevated plume – Trans. Ecology and Environ., 3, 571-579

## 4. Esperimenti numerici - risultati

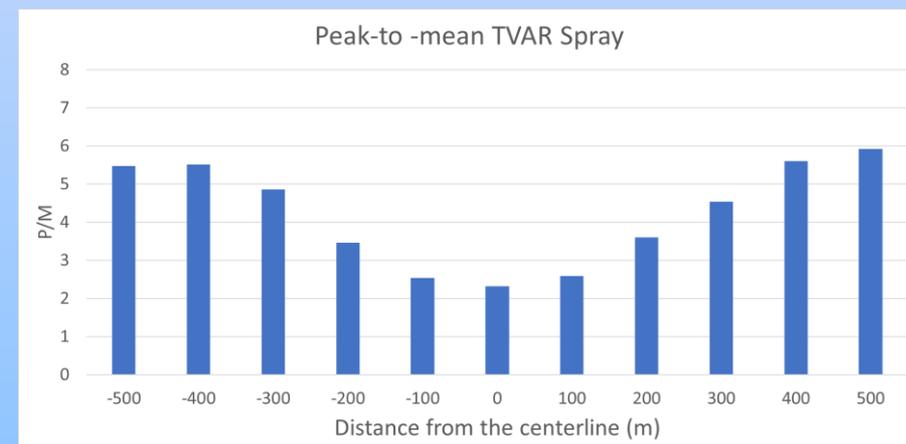
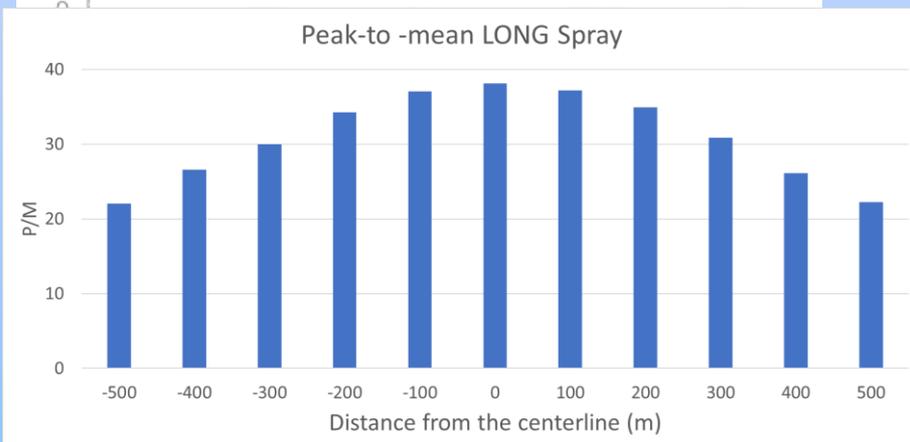
Andamento laterale di  $\sigma_c / \langle C \rangle$ , dati sperimentali



Peak-to-mean laterale dalla curva interpolata  
A 400m dalla sorgente,

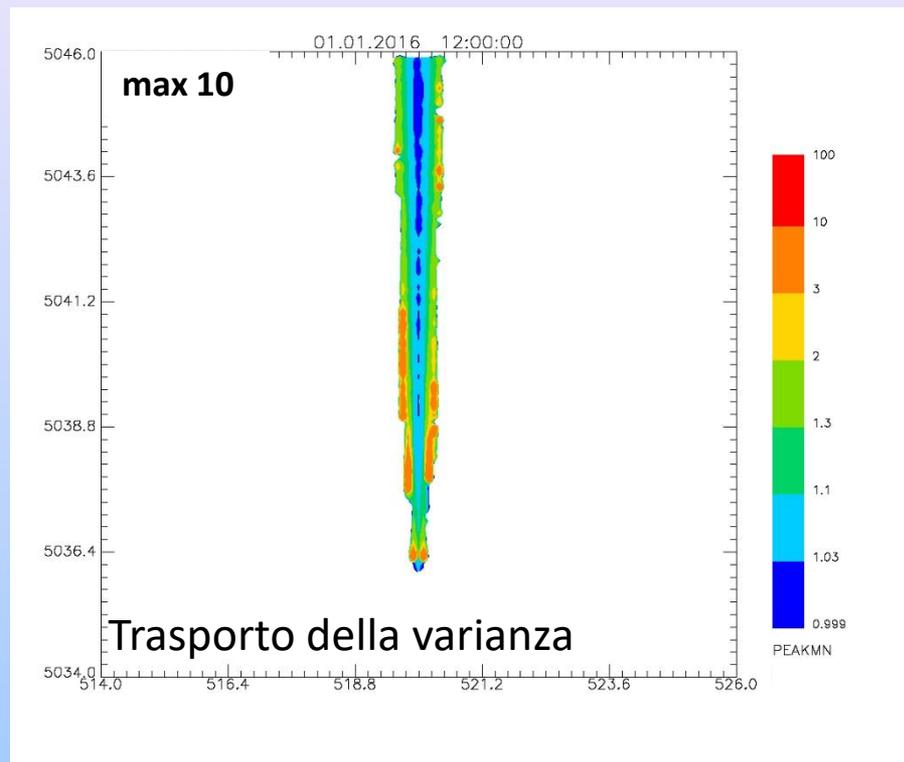
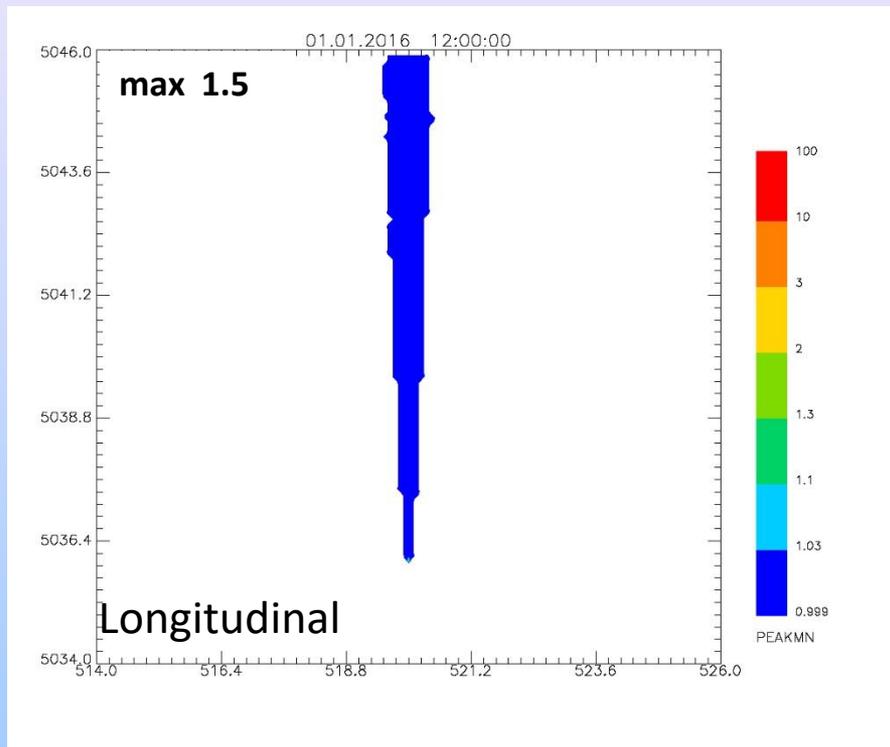


**SPRAY 1 m/s peak to mean condizioni instabili**



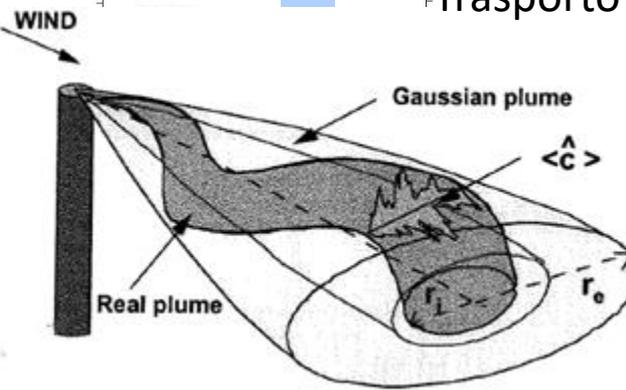
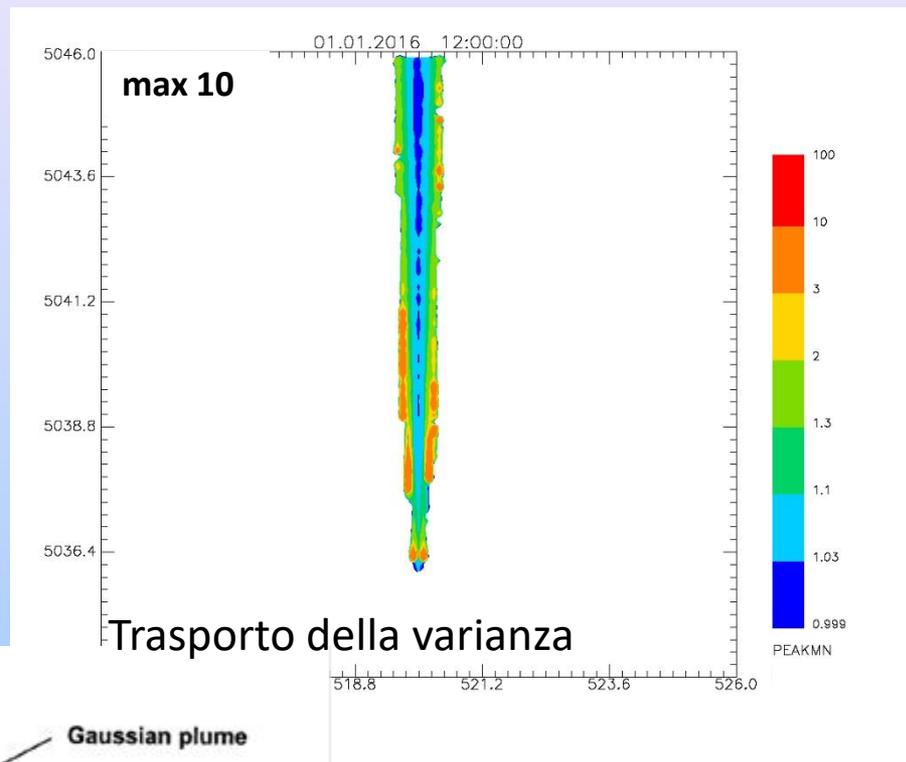
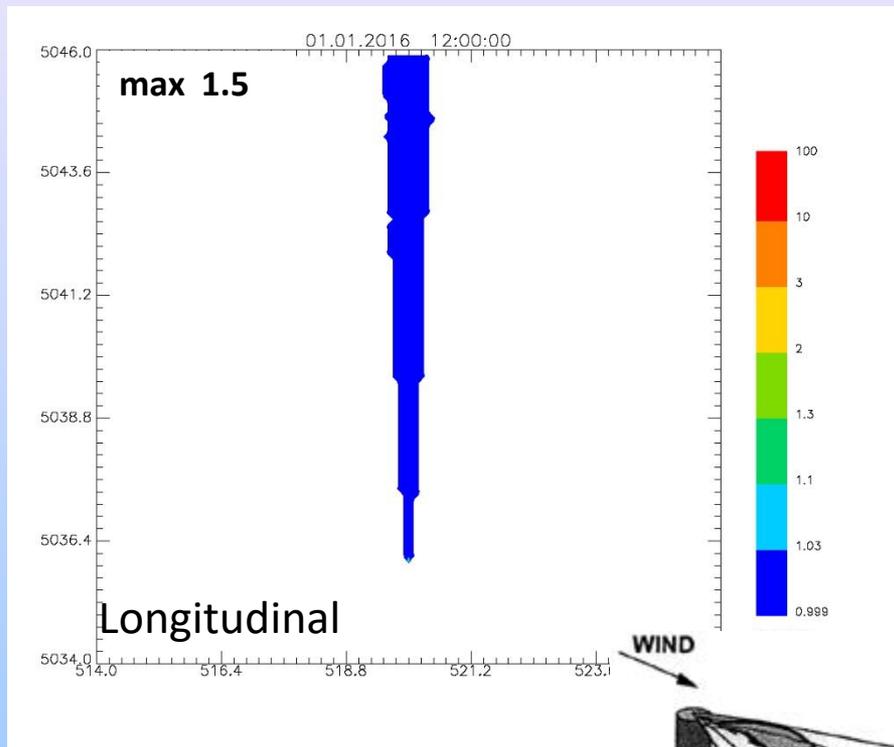
## 4. Esperimenti numerici - risultati

# Condizioni stabili, 1 m/s, Peak-to-mean ratio

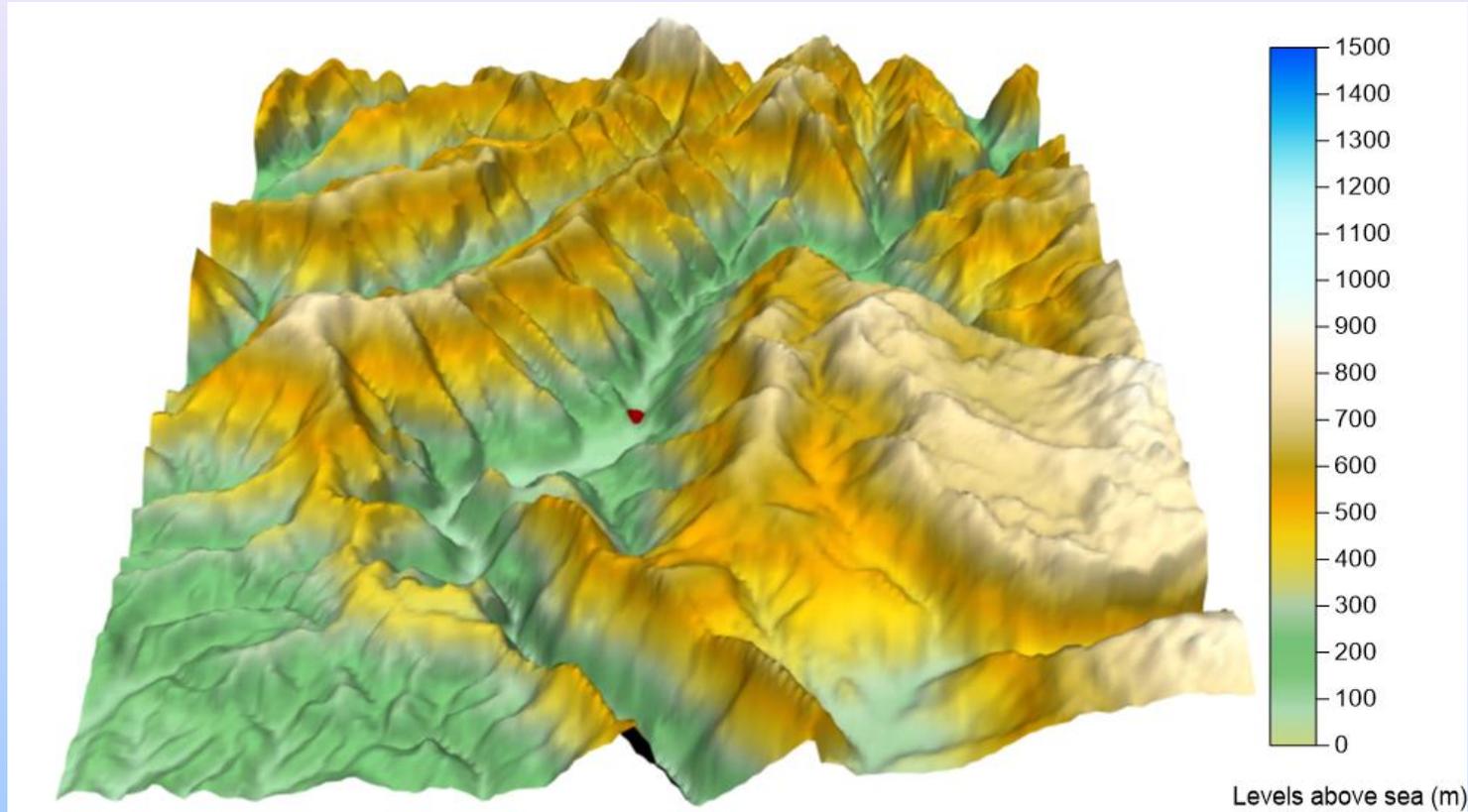


## 4. Esperimenti numerici - risultati

# Condizioni stabili, 1 m/s, Peak-to-mean ratio



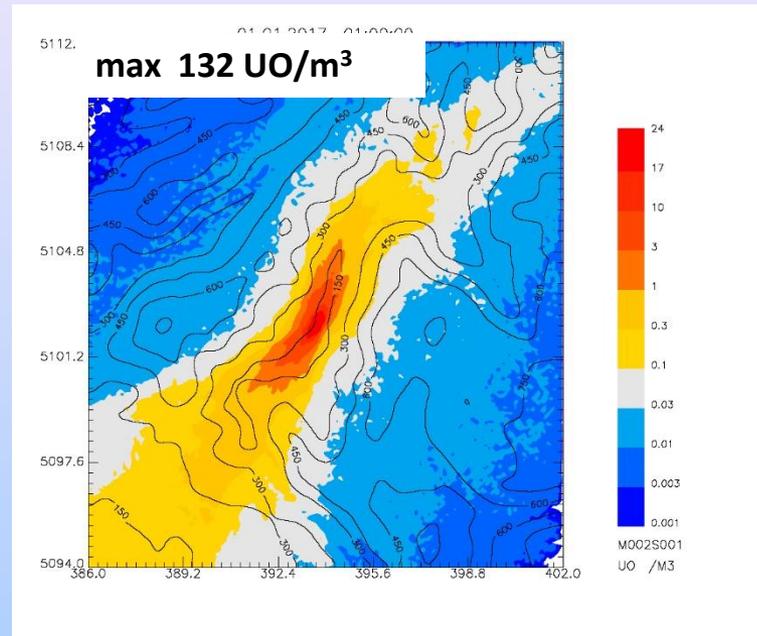
# Caso realistico su terreno complesso



- Area di 16 x 18 km<sup>2</sup>
- Stessa emissione puntuale precedente
- Simulazione di una decade invernale + una decade estiva

# 98 percentile delle concentrazioni

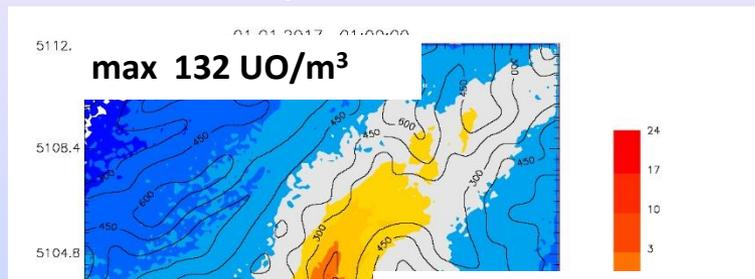
98 percentile <C>



## 4. Esperimenti numerici - risultati

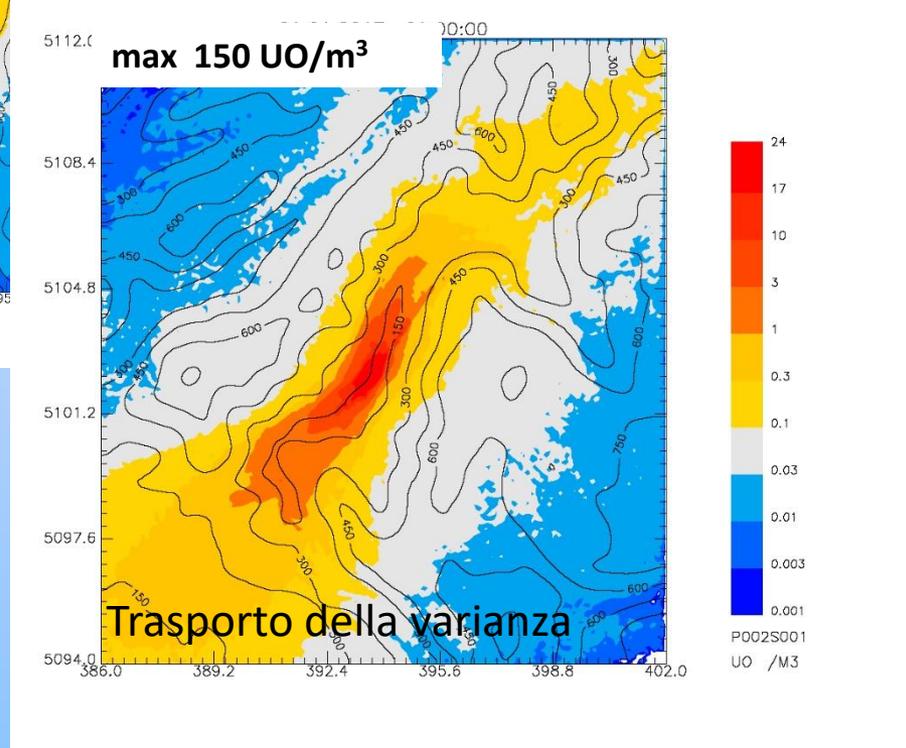
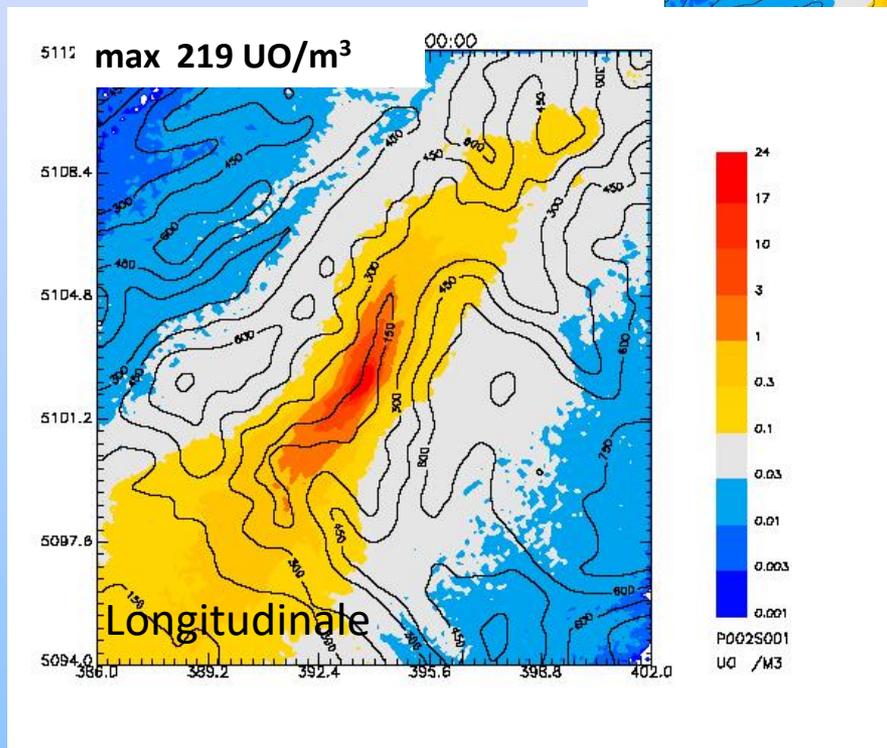
# 98 percentile delle concentrazioni

98 percentile <C>

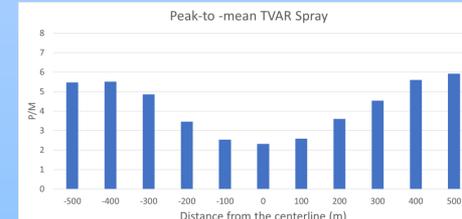
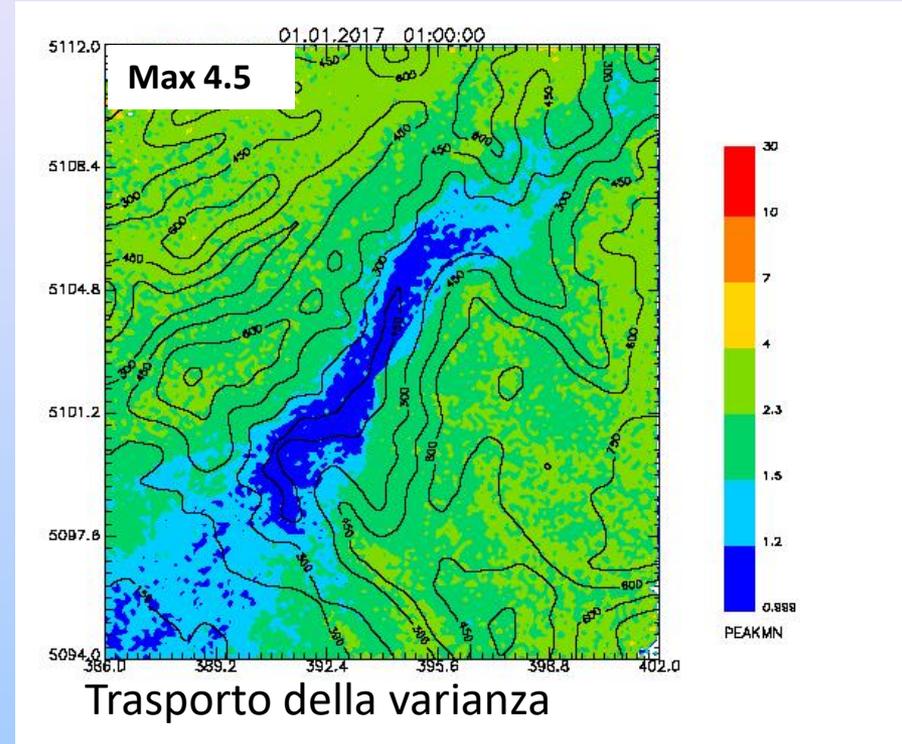
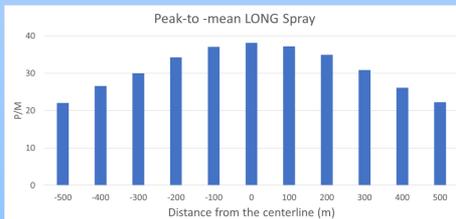
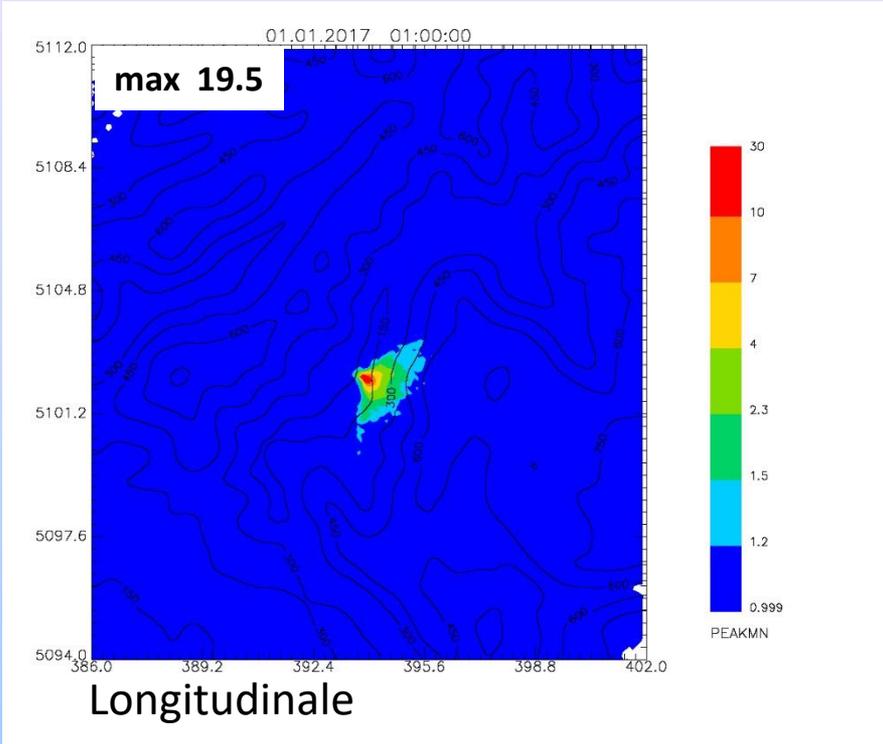


98 percentile di picco

98 percentile di picco



## Peak-to-mean del 99.8 percentile



E' in fase finale di sviluppo un'ulteriore opzione per il calcolo del fattore Peak-to-mean in SPRAY3 che implementa un modello di micromixing.

Verrà probabilmente presentata al prossimo congresso internazionale NOSE di Taormina nel prossimo Settembre

# Considerazioni conclusive

- I due approcci per il calcolo del P/M mostrano andamenti spaziali differenti
- VART P/M sembra seguire meglio l'andamento delle misure rispetto all'approccio LONG nella direzione trasversale al pennacchio
- Caso stabile: entrambi gli approcci non trattano o risolvono il problema del meandering per catturare valori realistici di picco
- VART è orientato al calcolo di  $\sigma_c$ , e ha alcuni gradi di libertà nella stima del P/M (scelta della forma della distribuzione e della soglia per definire il picco)
- VART ha il vantaggio di poter considerare implicitamente sorgenti multiple, dipendendo sostanzialmente dalla struttura del campo di concentrazioni)