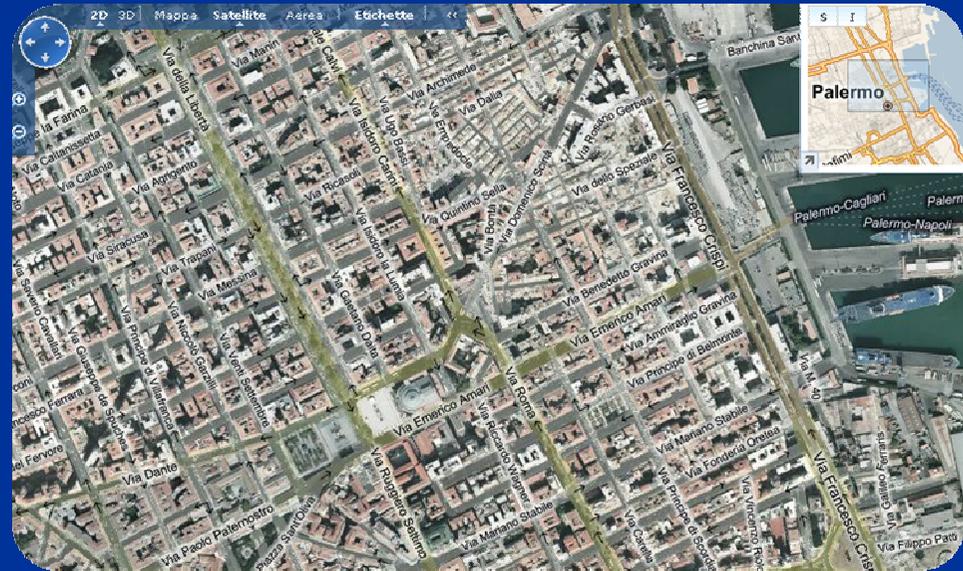
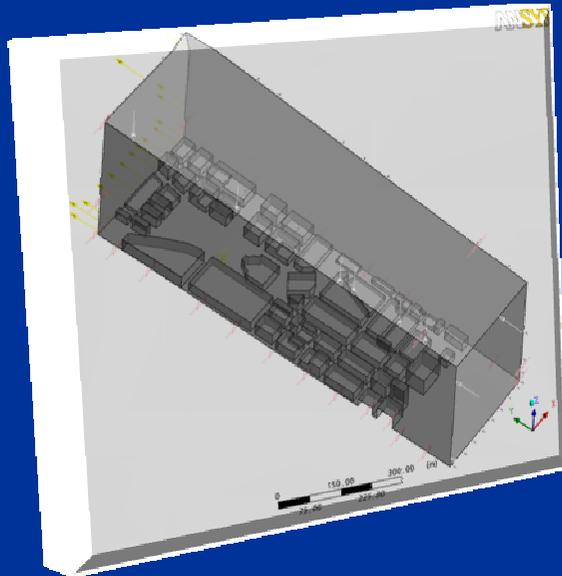


Università degli studi di Palermo - Ordine degli Ingegneri di Palermo

L'Impatto Ambientale delle Emissioni in Atmosfera - Palermo, 27 maggio 2015

# Modellazione CFD per lo studio della dispersione di inquinanti in ambito urbano



**Franco Grisafi**  
DICGIM - Scuola Politecnica



## Equazione della convezione-diffusione



$$\frac{\partial C}{\partial t} = - \sum_{j=1}^3 \left( u_j \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) + \sum_{j=1}^3 \left\{ \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \Gamma_j \frac{\partial C}{\partial x_j} \right] \right\} + D \frac{\partial^2 C}{\partial x_j^2} + S + R$$

Trasporto Convettivo      Trasporto Turbolento

Soluzione analitica

Soluzione numerica



• Ipotesi di semplificazione

• Determinazione di  $\Gamma$  mediante relazioni semiempiriche funzione della turbolenza atmosferica



Risoluzione delle equazioni del moto e di trasporto di scalari passivi mediante calcolatore (CFD: *Computational Fluid Dynamics*)

# I passi della modellazione CFD

Creazione di un modello fisico degli edifici su un piano cartesiano  $x, y, z$  una volta definito un sistema di riferimento locale

Problema reale

Geometria del sistema

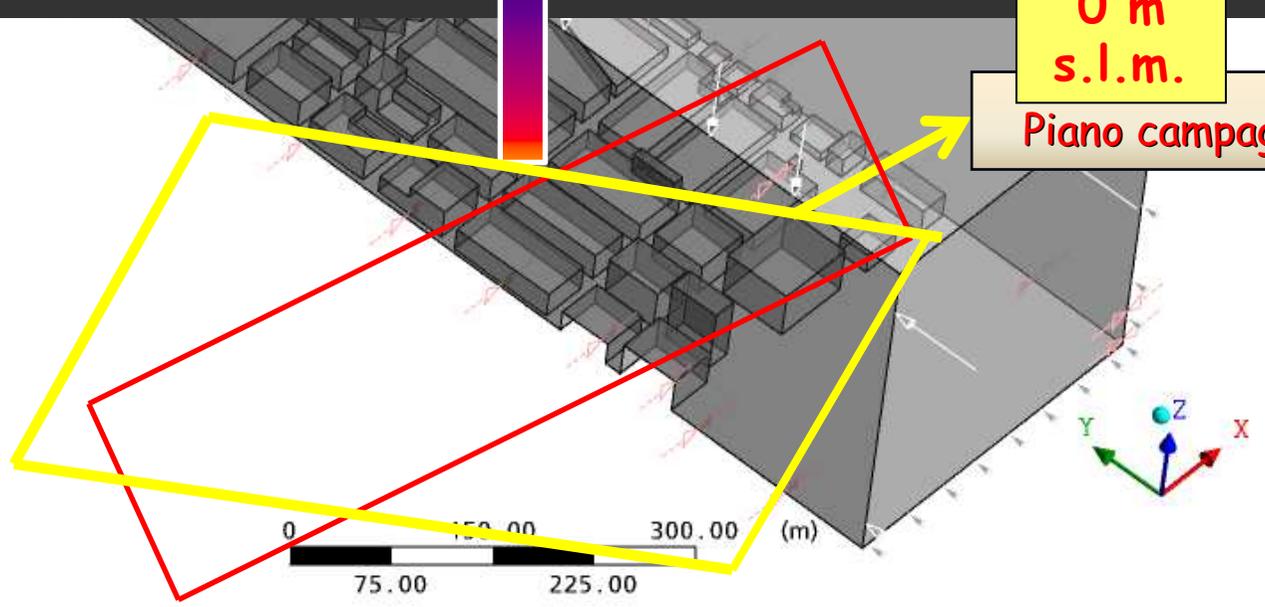
Modello fisico

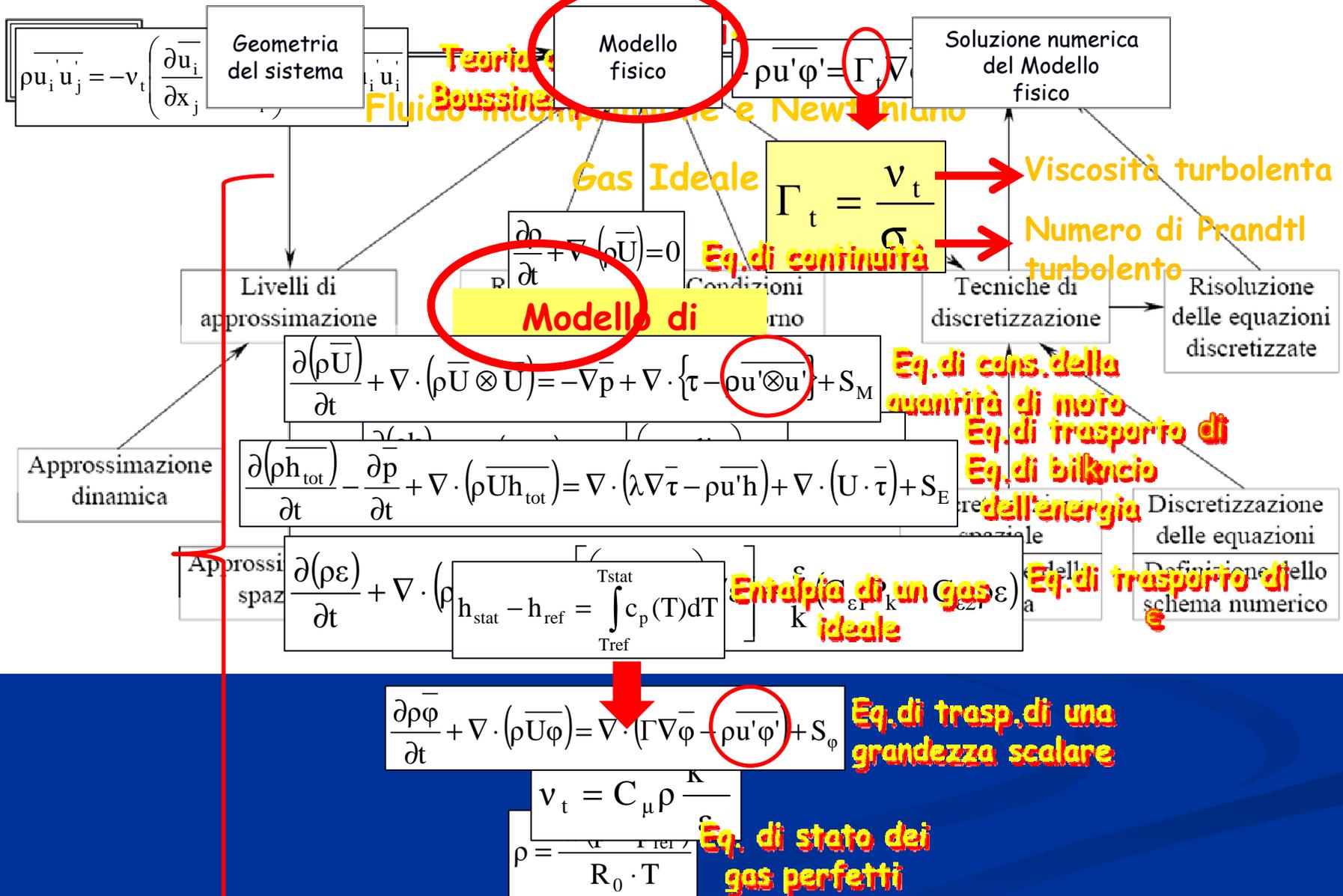
Soluzione numerica del Modello fisico

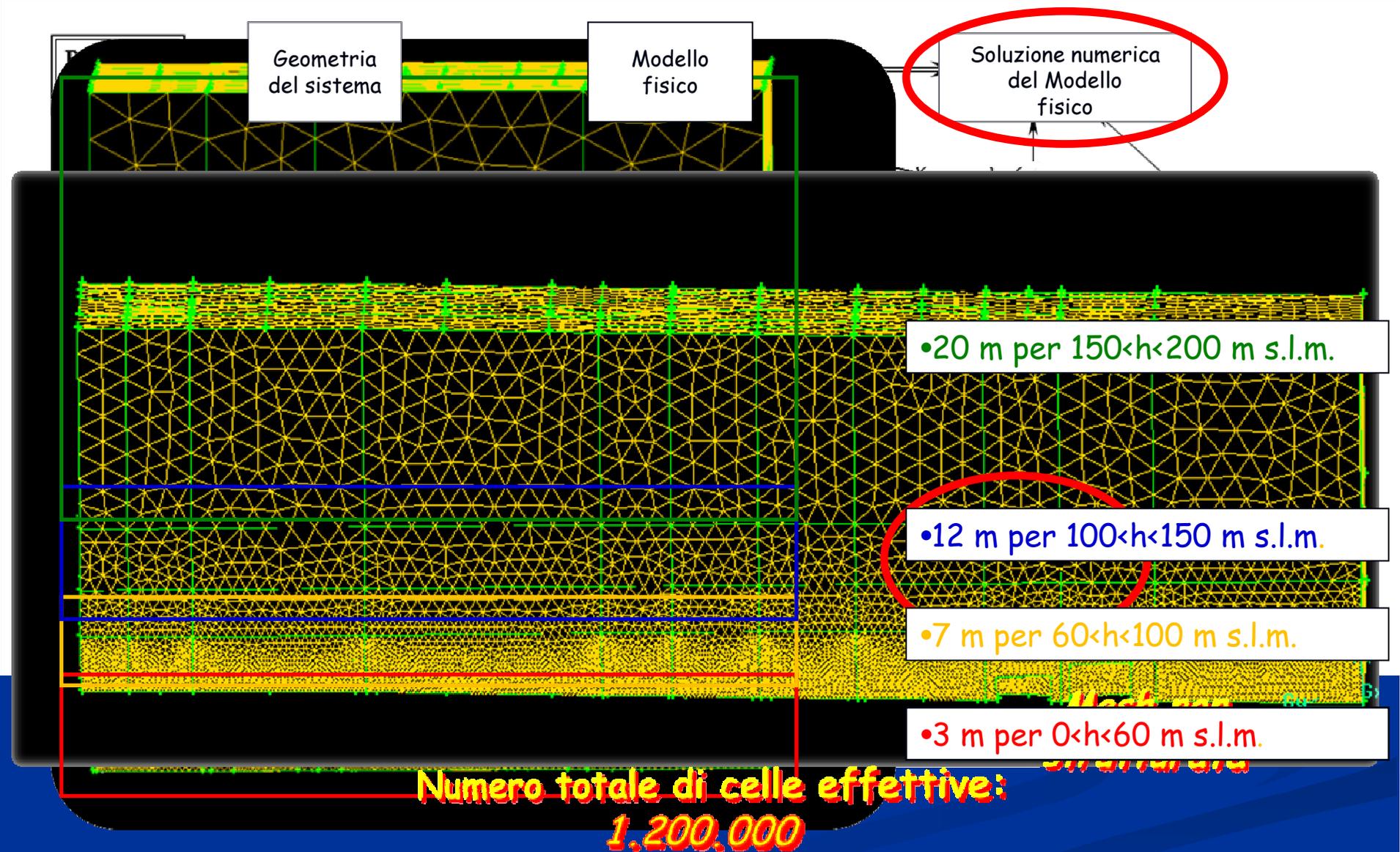
**Il software GAMBIT**

19 m s.l.m.

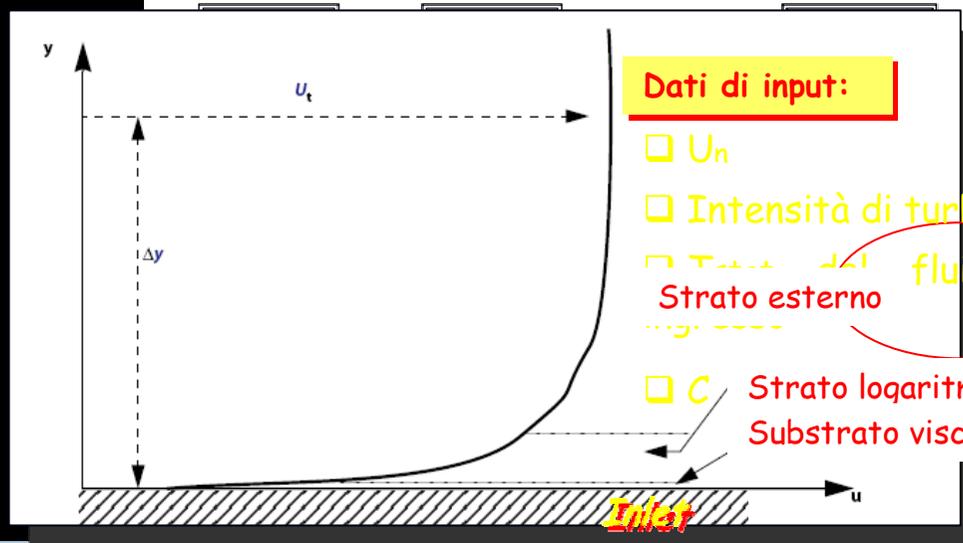
0 m s.l.m.  
Piano campagna





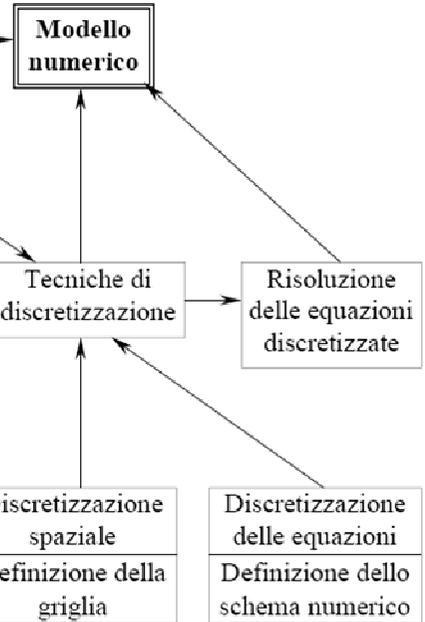


# Le condizioni al contorno

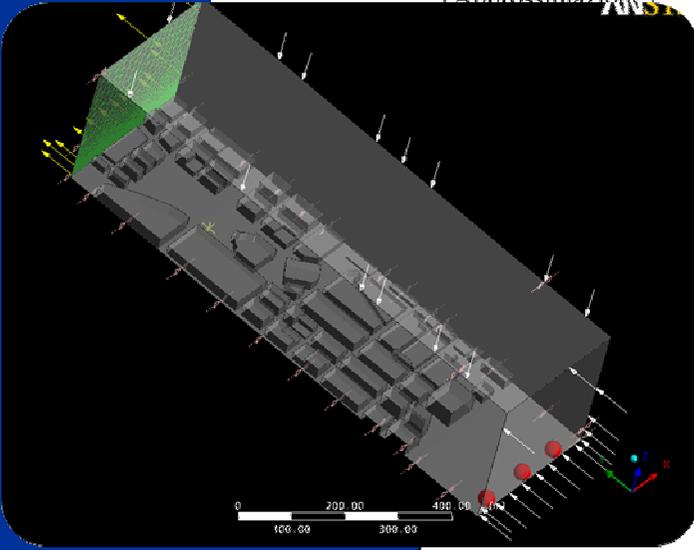


## Dati di input:

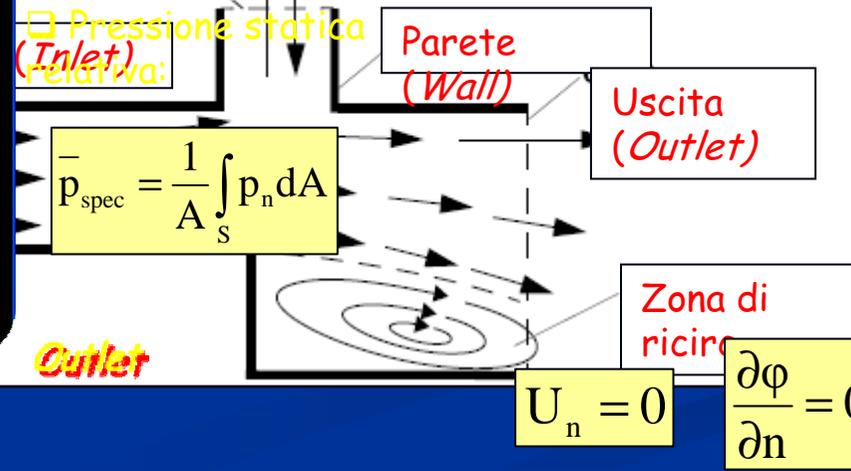
- $U_n$
- Intensità di turbolenza  $I$
- $\mu$  **Strato esterno** *fluidi in*
- $C$  **Strato logaritmico**  
**Substrato viscoso**



Approssimazione

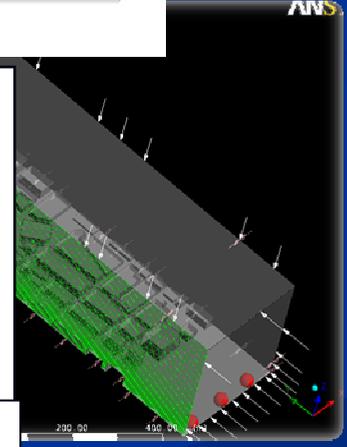


- Regime della corrente **Apertura (Opening)**  
(Subsonica, Supersonica)
- Pressione statica **(Inlet)**



$$U_n = 0$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0$$



**Piani di simmetria**

Le sorgenti al porto



	Piccola
Classificazione dei motori principali (ME) in kW	ME < 6000
Limiti inferiore e superiore della potenza installabile (kW)	75 - 6000
Potenza di riferimento utilizzata per i calcoli (kW)	3000

	Piccola
Classificazione dei motori ausiliari (AE) in kW	AE < 1000
Limiti inferiore e superiore della potenza installabile (kW)	4 - 1000
Potenza di riferimento utilizzata per i calcoli (kW)	4 · 140 = 560

Outline Domain: Default Domain  
 Details of Source Point 1 in Default Domain

Basic Settings Sources

PM10  
 Option Value  
 Value 0,000133 [kg m<sup>-3</sup>]

SO2  
 Option Value  
 Value 0,002 [kg m<sup>-3</sup>]

Temperature  
 Option Value  
 Value 423 [K]

VOC  
 Option Value  
 Value 6,66e-005 [kg m<sup>-3</sup>]

Turbulence Eddy Dissipation  
 Option Value  
 Value 0,014 [m<sup>2</sup> s<sup>-3</sup>]

Turbulence Kinetic Energy  
 Option Value  
 Value 0,00343 [m<sup>2</sup> s<sup>-2</sup>]

Velocity  
 Option Cartesian Vector Components  
 U 0 [m s<sup>-1</sup>]  
 V 0 [m s<sup>-1</sup>]  
 W 1,44 [m s<sup>-1</sup>]

"European Commission General Environmental techniques", 2001

Fattori di emissione	NOx(g/kWh)	SOx(g/kWh)	PM(g/kWh)
Ausiliari che utilizzano combustibile (S=2.7%)	11.8	0.80	0.30
Ausiliari che utilizzano gasolio marittimo (S=0.1%)			

$T = 150\text{ }^\circ\text{C}$

$\bar{w} = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}}$

Calcolo della Vel. vert. w

$k = \frac{1}{2} \cdot \bar{w}^2 = \frac{1}{2} \cdot (\bar{w} - \bar{w})^2 = \frac{1}{2} \cdot (0,2 \cdot \bar{w})^2$

Calcolo dell'energia cin. turb. k

	ME	AE
In navigazione	$\epsilon = \frac{W}{V} = \frac{\Delta p \cdot Q}{V} = \frac{f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot \bar{w}^2}{\pi \cdot D^2 \cdot L} \cdot Q = \frac{2 \cdot f \cdot \rho \cdot \bar{w}^2 \cdot Q}{D^3 \cdot \pi}$	
In banchina		
In manovra		

Calcolo della dissipazione turbolenta e

Le sorgenti di traffico:

La metodologia CORINAIR:

- Autovetture (Passenger cars)
- Veicoli commerciali leggeri (light duty vehicles)
- Veicoli commerciali pesanti (heavy duty vehicles)
- Ciclomotori (Mopeds)
- Motocicli (Motorcycles)

Le emissioni:

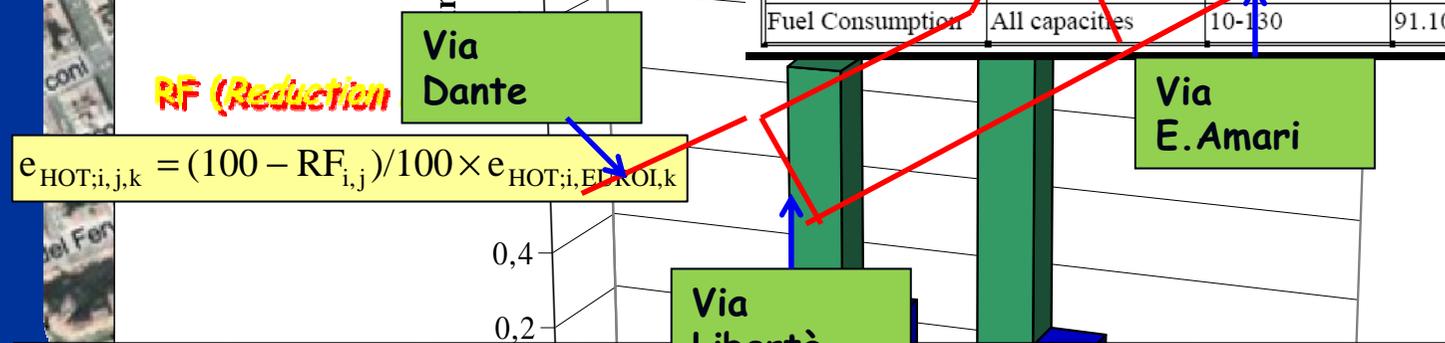
$$E = E_{hot} + E_{cold} + E_{vap}$$

RF (Reduction)

$$e_{HOT;i,j,k} = (100 - RF_{i,j})/100 \times e_{HOT;i,EF,ROI,k}$$



Capacity	Range [km/h]	Emission Factor [g/km]	R <sup>2</sup>
All capacities	10-120	1.4497 - 0.03385V + 21E-05V <sup>2</sup>	0.550
All capacities	10-120	1.4335 - 0.026V + 17.85E-05V <sup>2</sup>	0.262
VOC	10-130	0.1978 - 0.003925V + 2.24E-05V <sup>2</sup>	0.342
PM	10-130	0.1804 - 0.004415V + 3.33E-05V <sup>2</sup>	0.294
Fuel Consumption	10-130	91.106 - 1.308V + 0.00871V <sup>2</sup>	0.526



	Autobus	Mot.	Veicoli pes./ legg. (Benz.)	Veicoli pes./ legg. (Dies.)	Autov. Dies.	Autov. Benz.	Autov. GPL
f.e.(g/km)	0,96	0	0	0,43	0,10	0	0
n° di veicoli	2033	100.130	3831	19751	85.624	301.556	5730

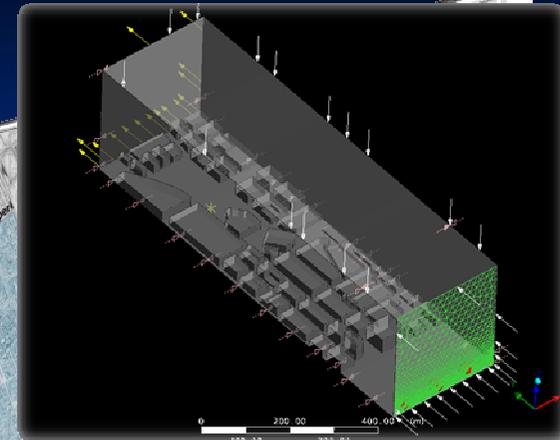
$$f.e. = \frac{\sum_i f.e_i \cdot n_i^\circ}{\sum_i n_i^\circ}$$

Simulazioni eseguite

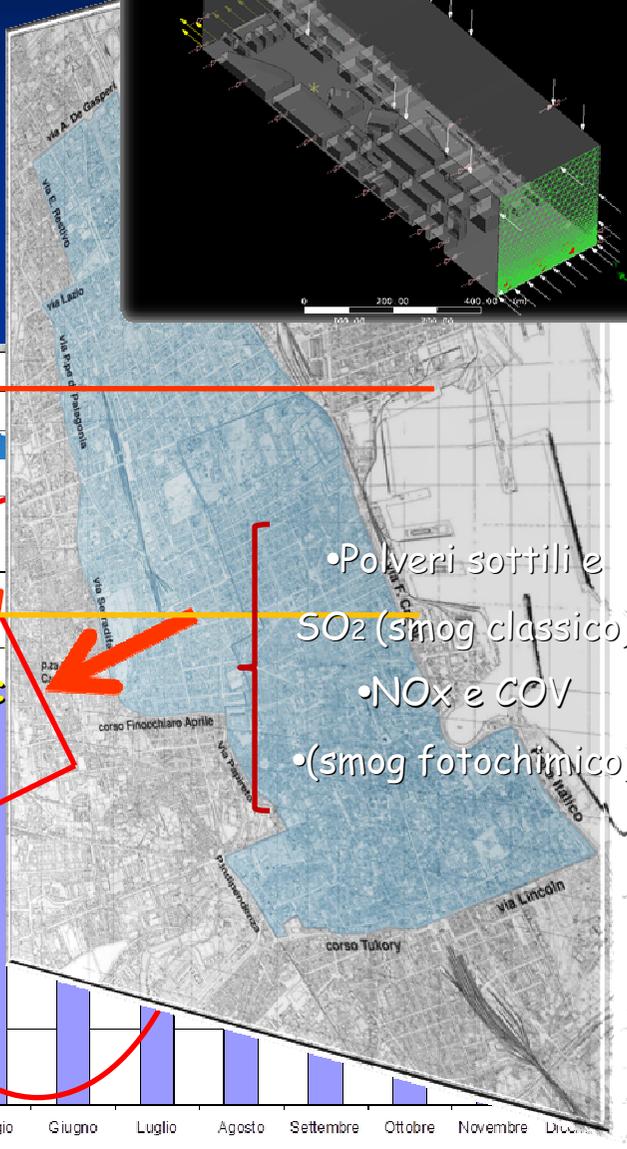
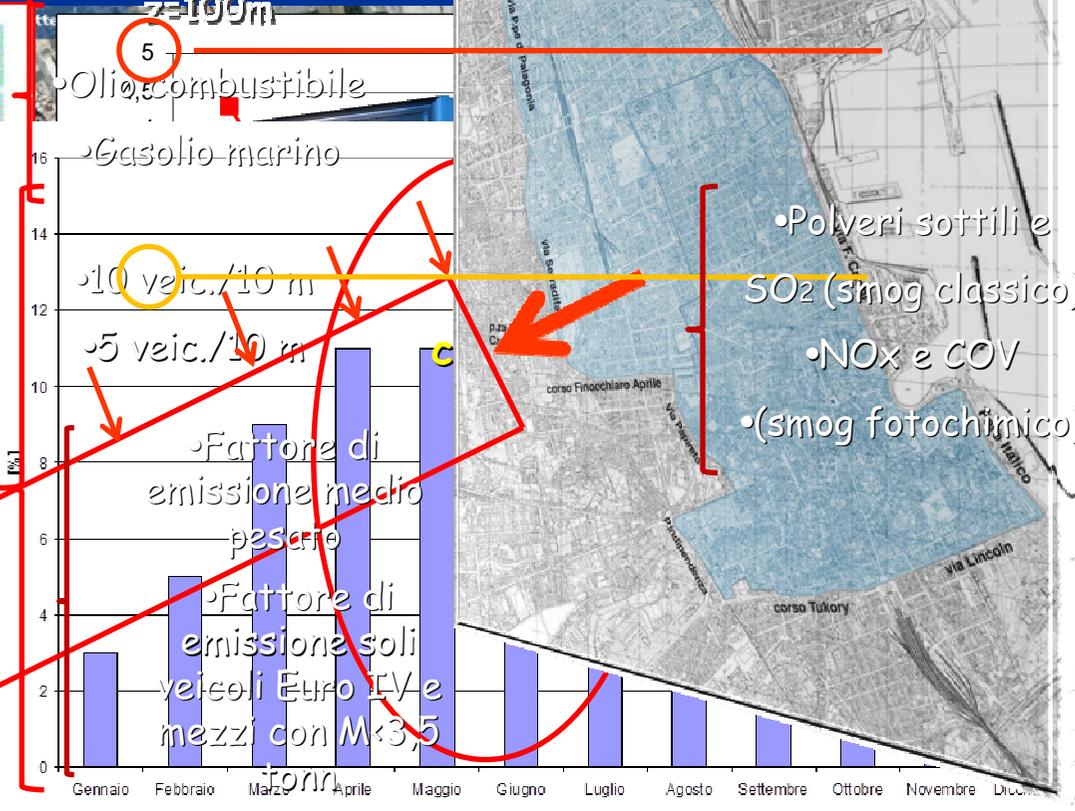
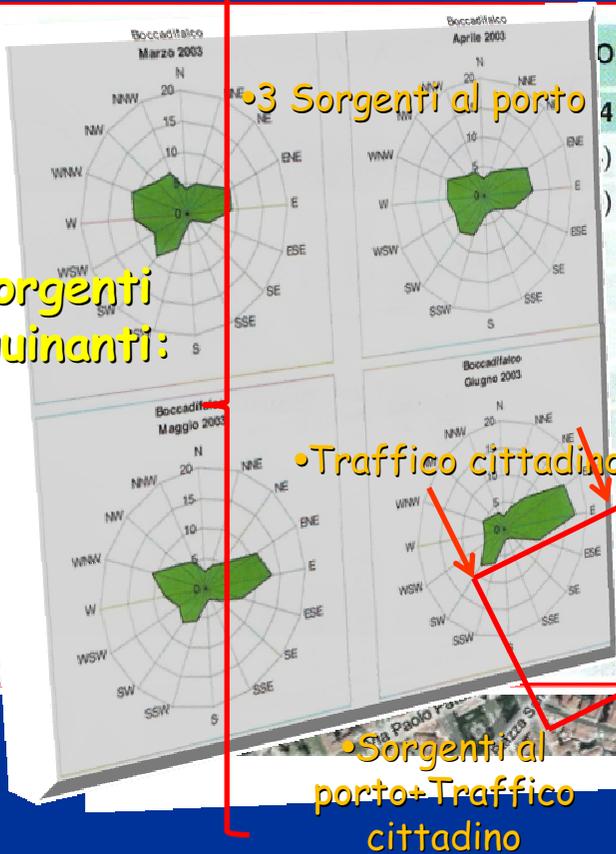
Condizioni Meteorologiche

- Intensità del vento a z=10m
- Direzione del vento
- Profilo verticale di temperatura

- 2 m/s
- 5 m/s
- Vento da mare
- Vento trasversale G.T.=-1°C/100m
- G.T.=-1,66 °C/100m
- Inversione termica a z=100m



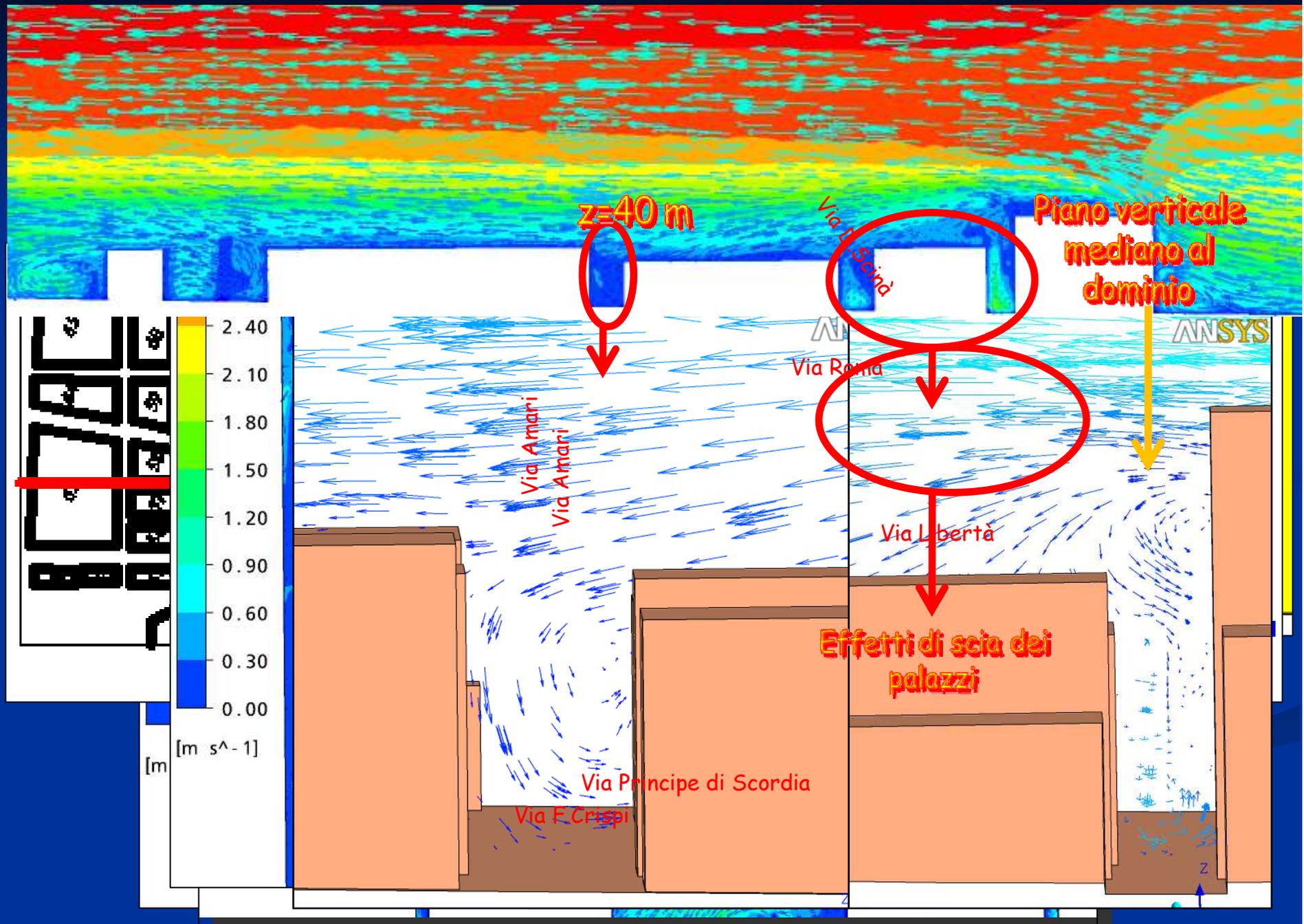
Sorgenti inquinanti:



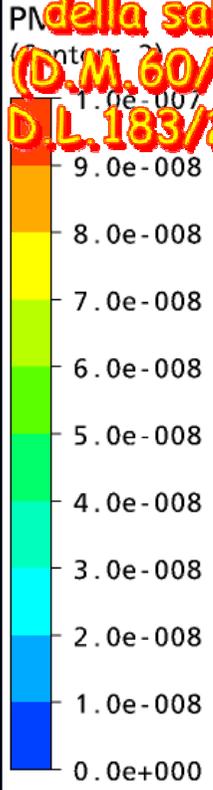
- Polveri sottili e SO<sub>2</sub> (smog classico)
- NO<sub>x</sub> e COV (smog fotochimico)

o2003  
o2004

# Il campo di moto nel dominio di calcolo

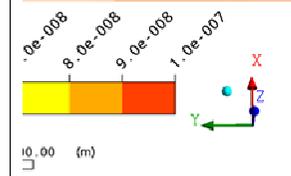
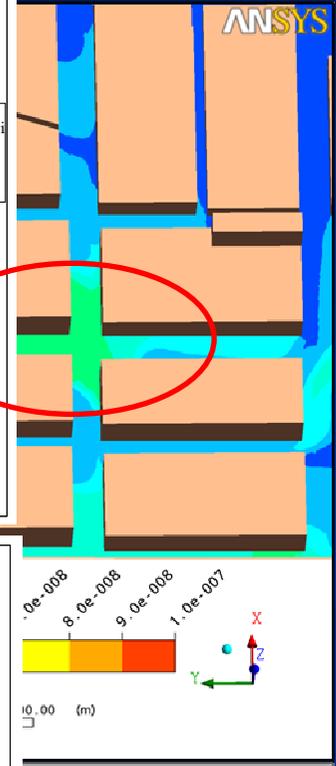
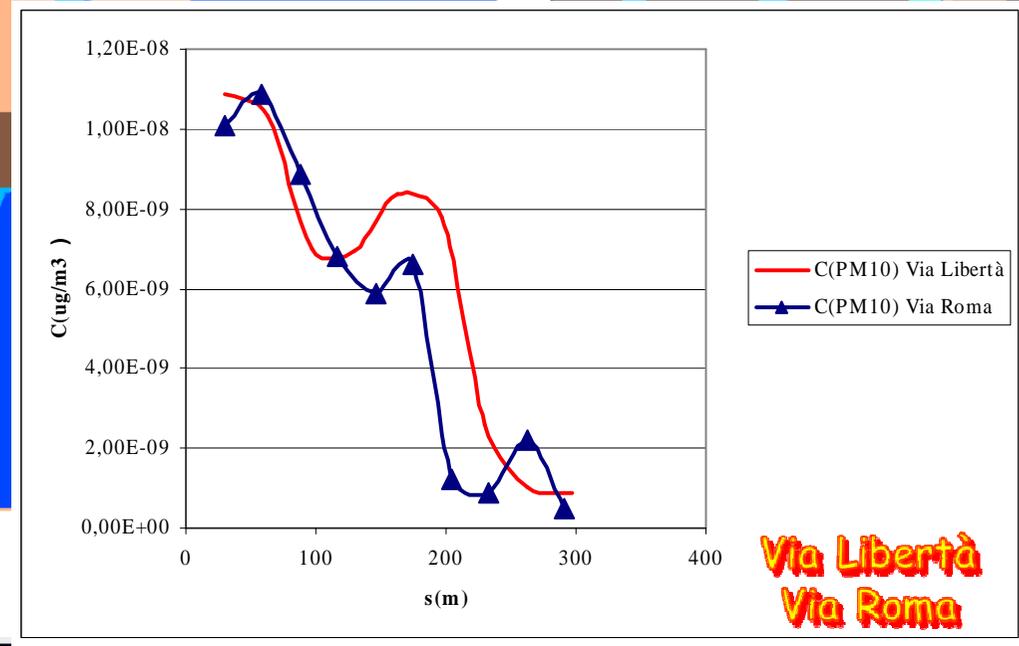
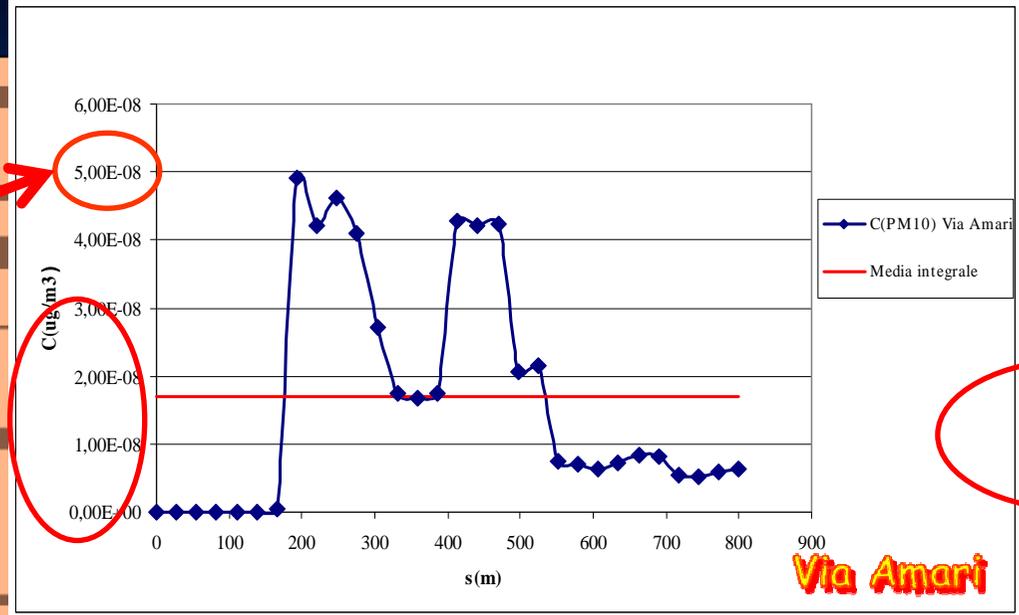


**Limite per la protezione della salute (D.M. 60/2002 D.L. 183/2004)**

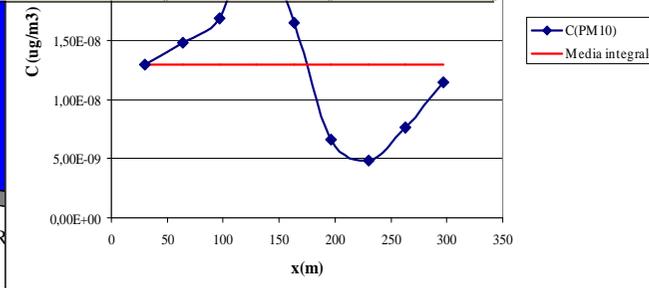
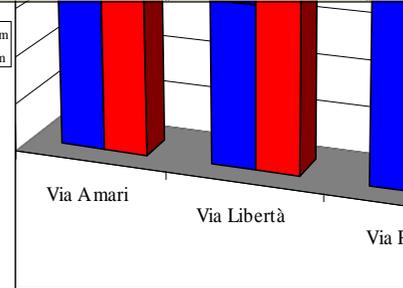
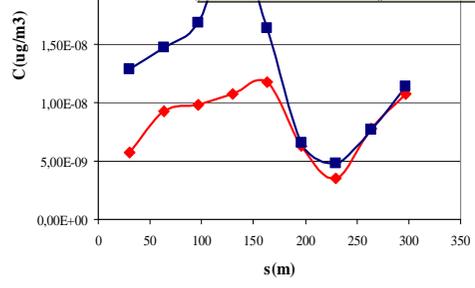
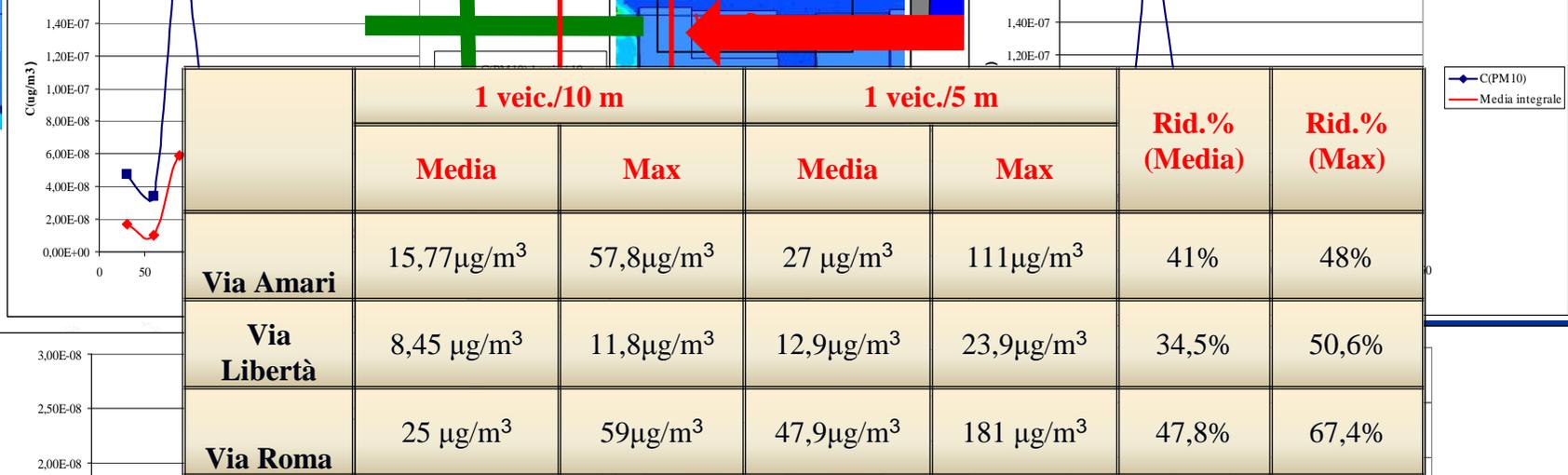
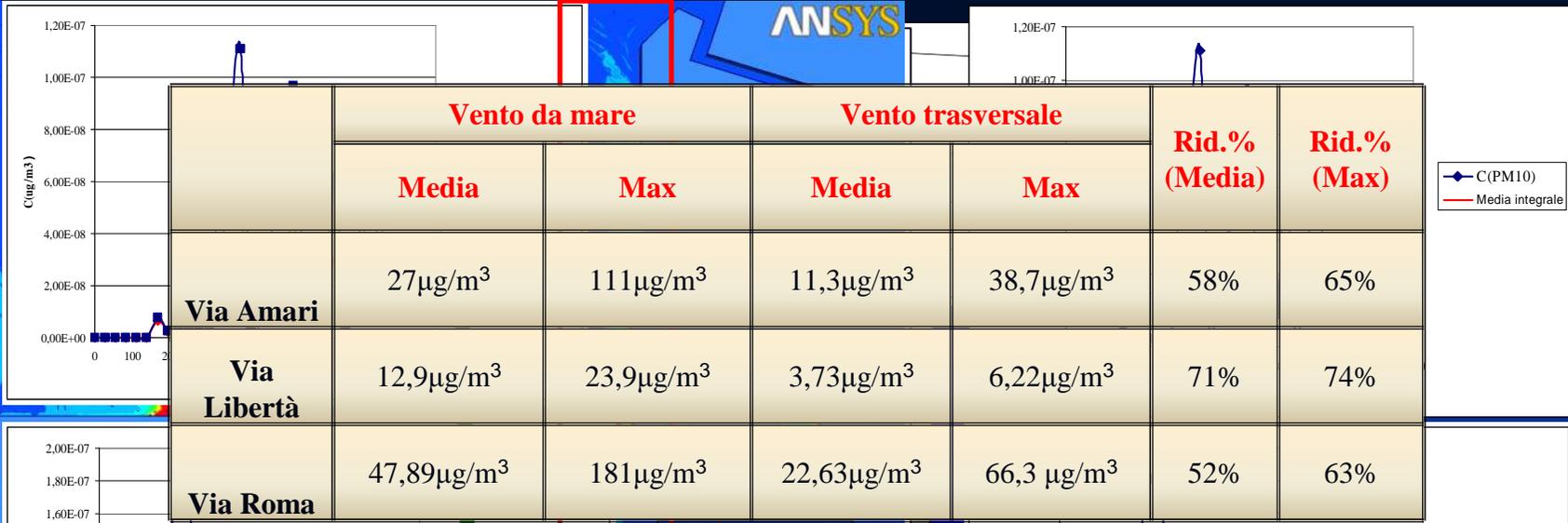


[kg m<sup>-3</sup>]

**V=2m/s  
G.T.=-1°C/100m**

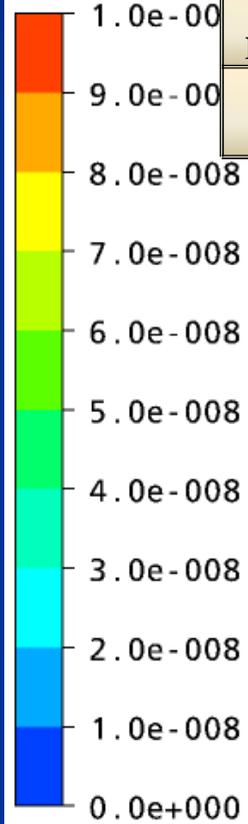


# Le sole sorgenti di traffico



# Risultati con entrambe le sorgenti

PM10  
(Contour 2)



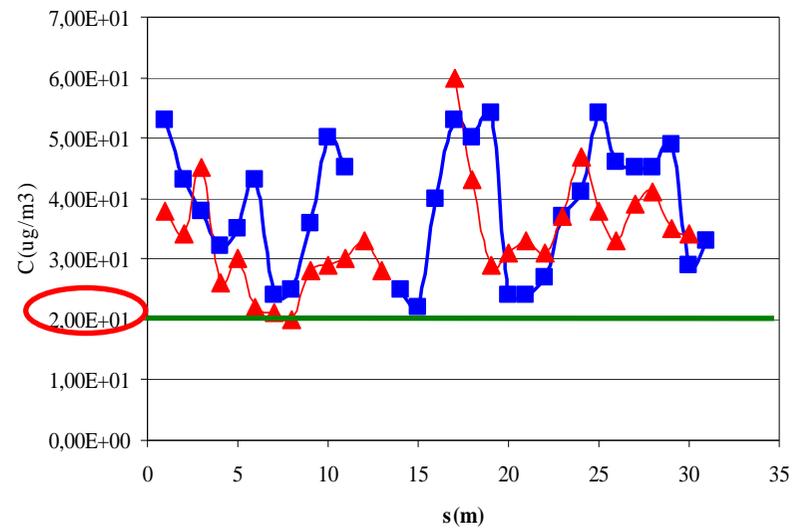
[kg m<sup>-3</sup>]

*i=1 veic./10  
m  
V= 2 m/s*

	<i>v=2m/s</i>		
	Media	Max	M
Via Amari	52µg/m <sup>3</sup>	214µg/m <sup>3</sup>	26,
Via Libertà	21,5µg/m <sup>3</sup>	32,7µg/m <sup>3</sup>	14,9
Via Roma	119µg/m <sup>3</sup>	566µg/m <sup>3</sup>	37



6.0e-008

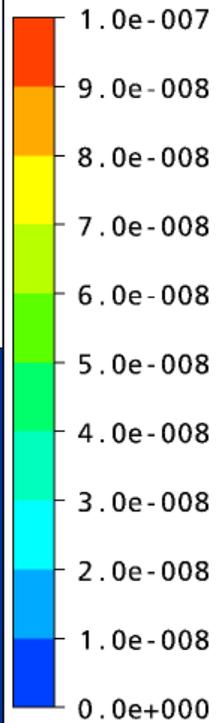


*i=1 veic./5 m  
V= 5 m/s*



# L'influenza del gradiente termico verticale sui valori di concentrazione

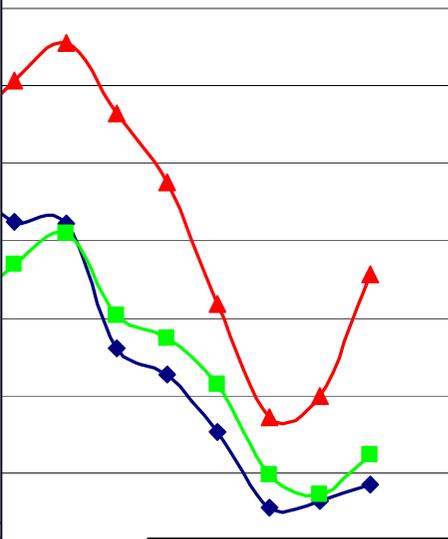
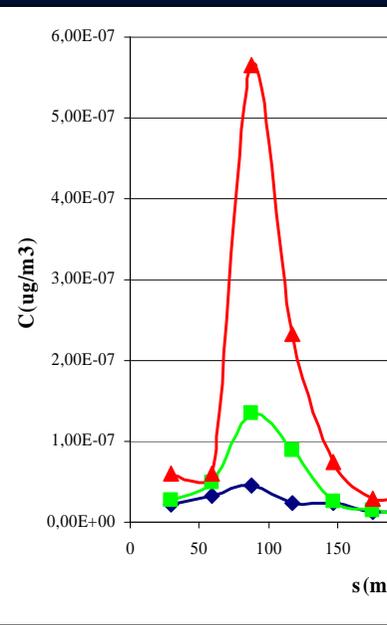
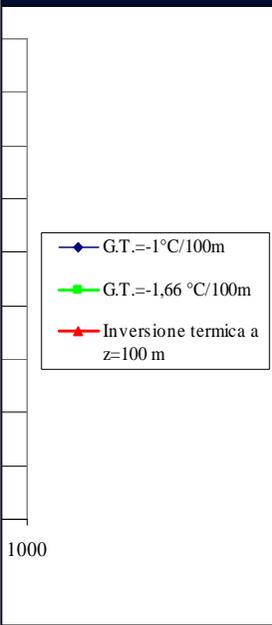
PM10  
(Contour 2)



[kg m<sup>-3</sup>]

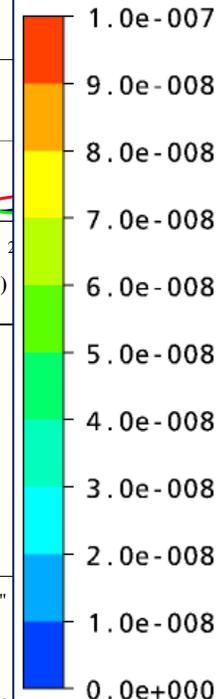


V= 2 m/s  
G.T.=-1 °C/100m

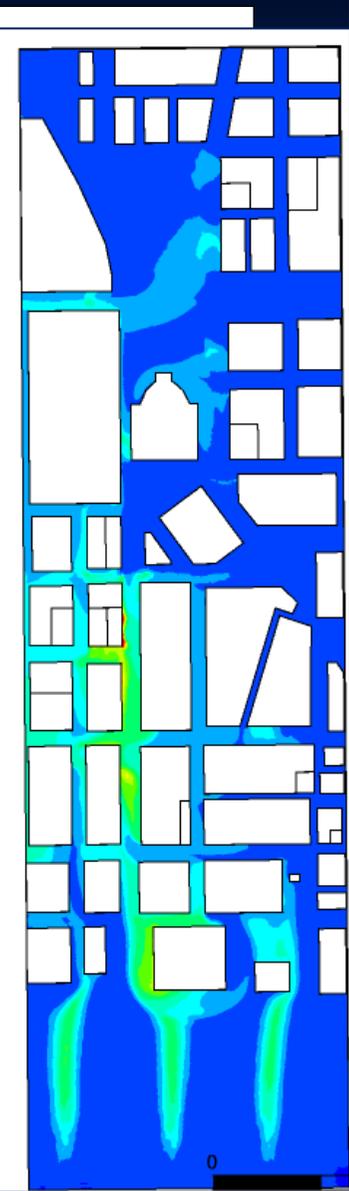


V= 2 m/s  
Inversione termica a z=100 m

PM10  
(Contour 2)



[kg m<sup>-3</sup>]



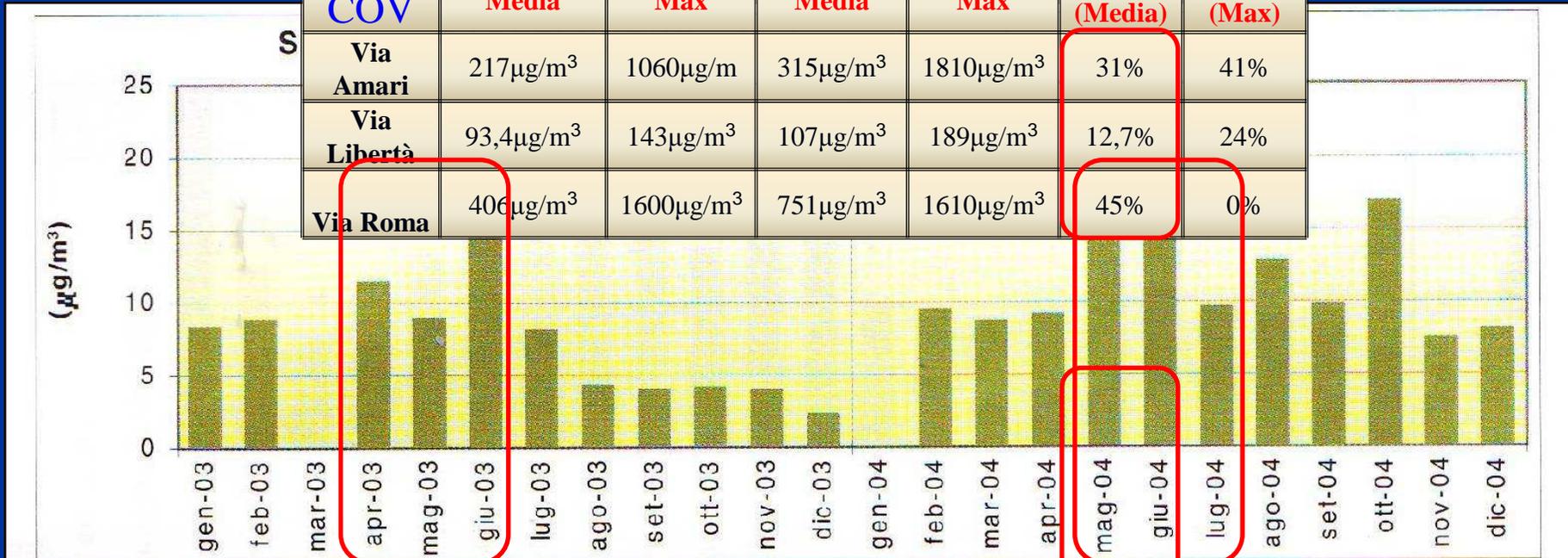
V= 2 m/s  
G.T.=-1,66°C/100m

# Il contributo del porto sull'inquinamento urbano

Euro IV; i=1 veic./5m  
V=2 m/s da mare

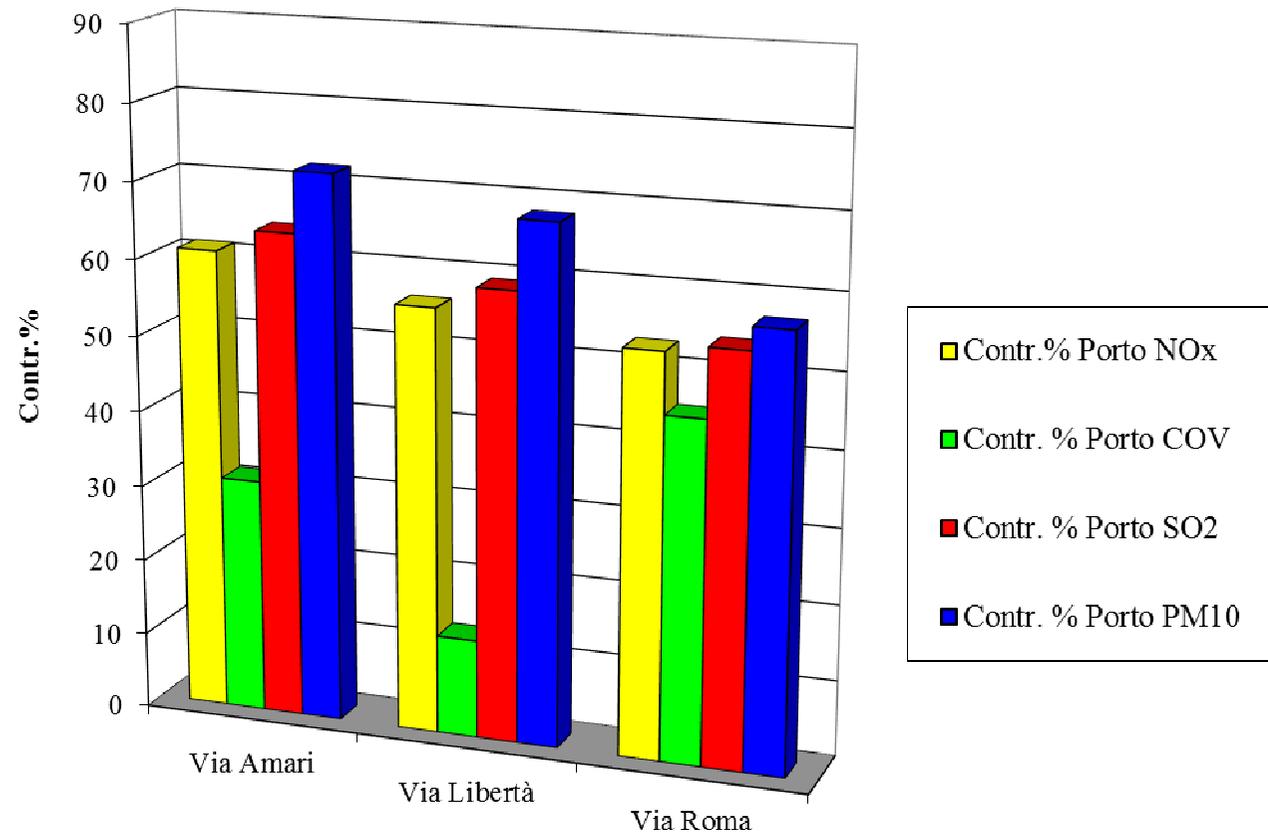
PM10	Traffico		Traffico+Porto		Contr. Porto% (Media)	Contr. Porto% (Max)	r. % (x)
	Media	Max	Media	Max			
Via Amari	8,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	31,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	106 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	72%	60%	%
Via Libertà	3,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	12,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	68%	71%	%
Via Roma	15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	39,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	57%	51%	%

COV	Traffico		Traffico+Porto		Contr. porto% (Media)	Contr. Porto% (Max)
	Media	Max	Media	Max		
Via Amari	217 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1060 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	315 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1810 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	31%	41%
Via Libertà	93,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	143 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	107 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	189 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	12,7%	24%
Via Roma	406 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	751 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1610 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	45%	0%



Via Roma

## Il contributo del porto sull'inquinamento urbano



## CONCLUSIONI

Sono state effettuate simulazioni di dispersioni di inquinanti atmosferici in un ambito urbano reale mediante un approccio avanzato basato su metodi di fluidodinamica numerica.

Sono state considerate diverse condizioni atmosferiche (direzione e intensità del vento, profilo di temperatura) e tipologie di sorgenti (traffico navale e automobilistico) ottenendo mappe di concentrazione in prossimità del suolo molto dettagliate e realistiche.

In particolari condizioni metereologiche (vento da mare) il contributo dovuto al traffico portuale sull'inquinamento totale è rilevante soprattutto per la concentrazione di  $PM_{10}$ ,  $SO_2$  e  $NO_x$ .

I valori di concentrazione predetti della simulazioni si attestano sui valori minimi dei dati reali rilevati.

Grazie per l'attenzione