



*Modelli di Dispersione
degli Inquinanti in Aria*
2011

Parte 3

Modelli Euleriani

*dott. Roberto Sozzi
dott. Andrea Bolignano*

Il Modello Euleriano

Il modello Euleriano è un **modello differenziale** basato sulle **equazioni della fluidodinamica** che descrivono il *PBL*, in cui si tiene conto:

- del bilancio di massa dell'aria nel suo complesso,
- del bilancio della quantità di moto
- del bilancio dell'entalpia
- del bilancio dell'umidità
- della legge dei gas
- del bilancio di ciascuna specie inquinante presente in aria.

Nelle equazioni di bilancio delle specie inquinanti presenti si vengono a trovare due termini importanti:

- un **termine di sorgente** che rappresenta l'introduzione di inquinante nel dominio di calcolo,
- un **termine** che rappresenta i **processi di deposizione** le **reazioni chimiche** che hanno luogo nel *PBL*.

In linea di principio, il modello euleriano non distingue tra meteorologia e dispersione degli inquinanti

Esempio Monodimensionale **per una specie chimica**

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + f \bar{v} - \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial z}$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial y} - f \bar{u} - \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial z}$$

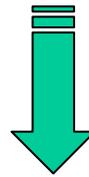
$$\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial t} = \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial \overline{R_n}}{\partial z} - \frac{\partial \overline{\theta'w'}}{\partial z}$$

$$\frac{\partial \bar{q}}{\partial t} = -\frac{\partial \overline{q'w'}}{\partial z}$$

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = -\bar{u} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{w'C'}}{\partial z} + S$$

Conservazione della massa per la generica sostanza inquinante

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + \frac{\partial(uc_i)}{\partial x} + \frac{\partial(v c_i)}{\partial y} + \frac{\partial(w c_i)}{\partial z} = R_i(c_1, c_2, \dots, c_N) + E_i - S_i$$



Ipotesi di Taylor

$$\frac{\partial \bar{c}_i}{\partial t} + \left[\bar{u} \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial z} \right] + \left[\frac{\partial \overline{u'c_i'}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{v'c_i'}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{w'c_i'}}{\partial z} \right] = R_i(\bar{c}_1, \bar{c}_2, \dots, \bar{c}_n) + E_i - S_i$$

Modello Euleriano di tipo K

Tra le possibili relazioni di chiusura, sicuramente **la più utilizzata** è la **chiusura di tipo K**:



in un punto dello spazio, il flusso della specie in una direzione coordinata risulta proporzionale (attraverso il coefficiente di diffusività turbolenta relativo a quella direzione) al gradiente della concentrazione media della sostanza in quella direzione.



$K_{xx,yy,zz}$ = coefficienti di diffusività turbolenta lungo le 3 direzioni

$$\overline{u'C'} = -K_{xx} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x}$$

$$\overline{v'C'} = -K_{yy} \frac{\partial \bar{C}}{\partial y}$$

$$\overline{w'C'} = -K_{zz} \frac{\partial \bar{C}}{\partial z}$$

Utilizzando questa chiusura, il **sistema complessivo di equazioni** si separa in **due modelli indipendenti**:

- **un modello prognostico di PBL** per la ricostruzione dei campi meteorologici medi e dei principali indicatori della turbolenza
- **un modello di dispersione** (Modello Euleriano K) costituito dalle sole equazioni di bilancio di massa delle differenti specie inquinanti che, come **unica informazione meteorologica**, richiede il **campo medio del vento** ai vari istanti di interesse.

Equazione di un generico inquinante k che costituisce il modello di dispersione:

$$\frac{\partial \bar{C}_k}{\partial t} + \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{C}_k}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{C}_k}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{C}_k}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial \bar{C}_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial \bar{C}_k}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial \bar{C}_k}{\partial z} \right) + S + R(\bar{C}_1, \bar{C}_2, \dots, \bar{C}_N)$$

Reazioni chimiche dipendenti dalla concentrazione media delle specie chimiche presenti

S = termine di sorgente

altre due **semplificazioni**:

⇒ **si trascurano le reazioni chimiche tra le diverse specie inquinanti**



Le equazioni relative alle diverse sostanze non risultano più tra loro legate dai termini di cinetica chimica e risultano tra loro indipendenti.

⇒ **si trascura il trasporto verticale.**



l'equazione per un generico inquinante che costituisce il modello di dispersione risulta la seguente:



$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \left(u \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} + v \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial \bar{C}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial \bar{C}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial \bar{C}}{\partial z} \right) + S$$

Nei casi di interesse reale è possibile solo una risoluzione numerica.

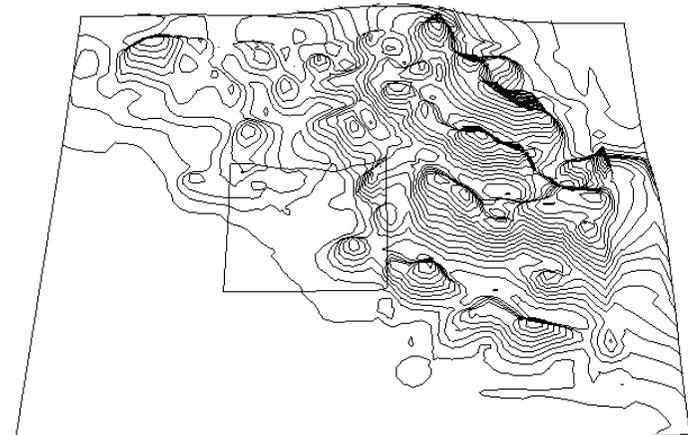
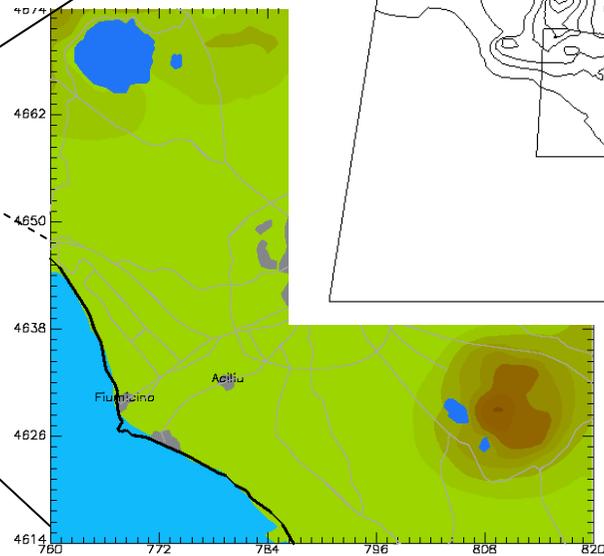
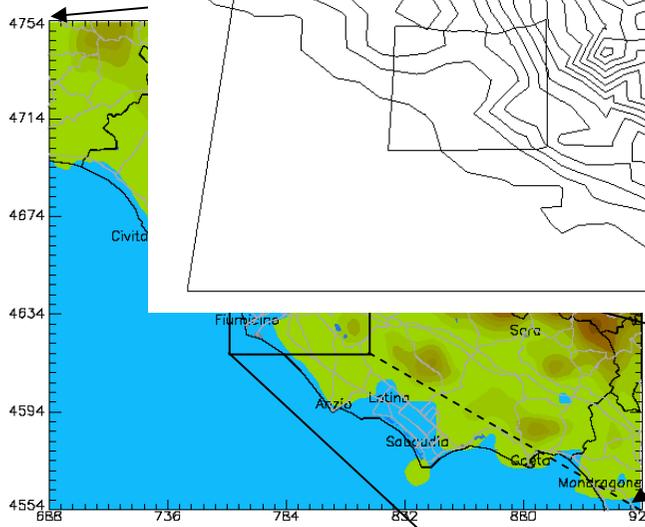
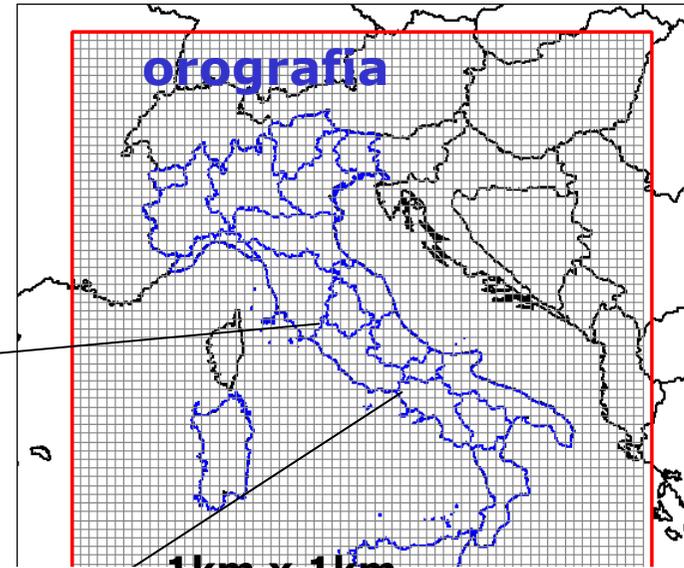
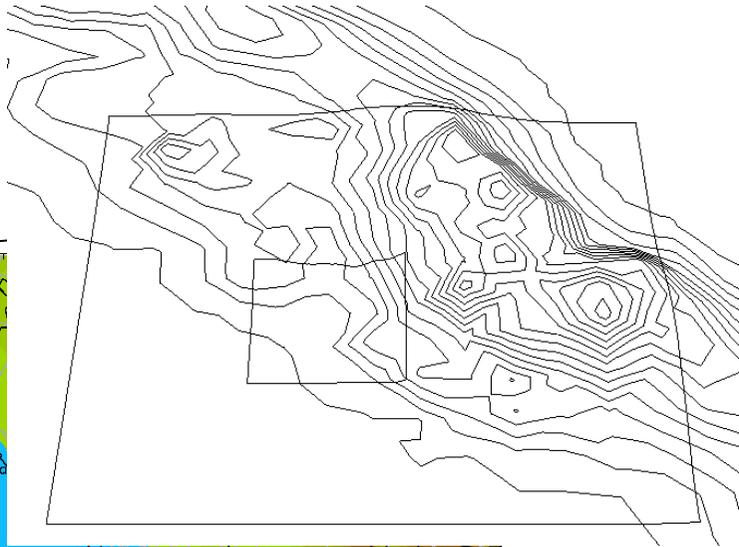


Elementi per una risoluzione numerica

- 1. Dominio e griglia di calcolo**
- 2. Discretizzazione numerica dei termini dell'equazione e metodo numerico di risoluzione**
- 3. Condizioni iniziali e al contorno**
- 4. Parametrizzazione dei coefficienti di diffusività turbolenta**

Dominio e griglia di calcolo

4km x 4km



Dominio e griglia di calcolo

- ⇒ Normalmente il **dominio di calcolo** è un **parallelepipedo** di estensione orizzontale abbastanza grande (es. 100 per 100 km) e con estensione verticale tale da comprendere tutto il *PBL* ed una porzione di atmosfera libera;
- ⇒ i lati del parallelepipedo sono orientati secondo il sistema di riferimento meteorologico;
- ⇒ è **suddiviso** in una **griglia regolare** con **celle** di lato Δx , Δy , Δz i cui nodi sono caratterizzati da tre **indici i, j, k** tali per cui le coordinate di un generico spigolo della cella sono:

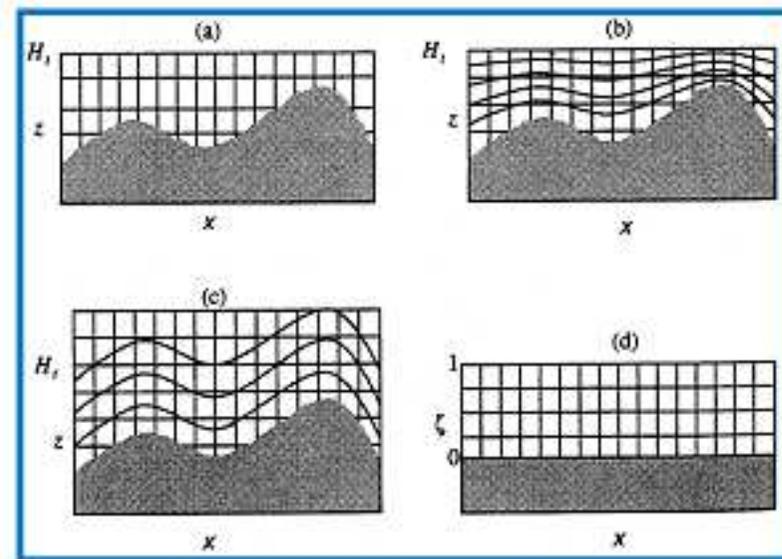
$$\begin{aligned}x &= (i-1)\Delta x \\ y &= (j-1)\Delta y \\ z &= (k-1)\Delta z\end{aligned}$$

Se al suolo è presente dell'orografia, il modo più semplice per tenerne conto è quello di adottare un sistema di riferimento che:

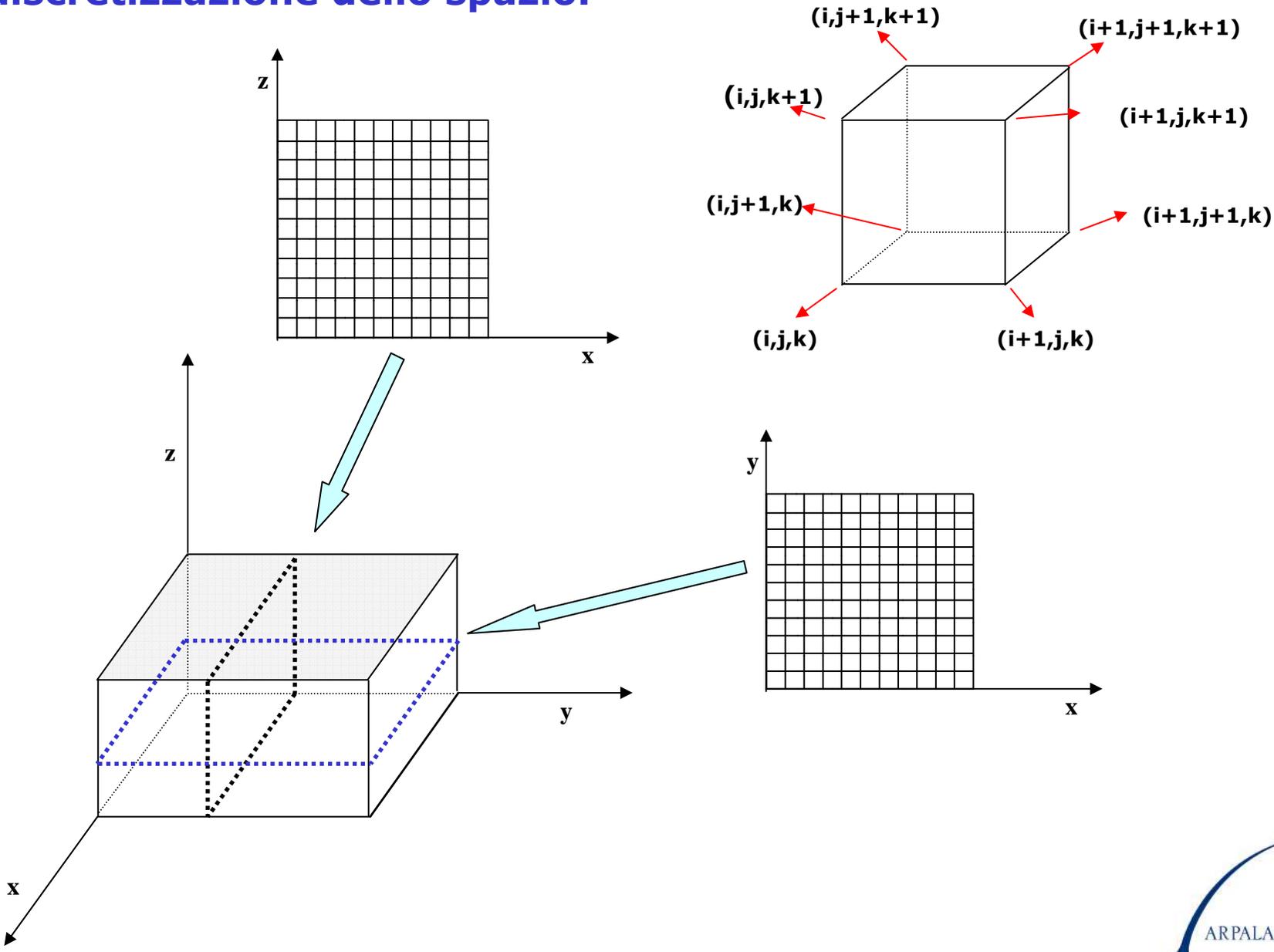
- in orizzontale usa le coordinate cartesiane (x,y) o (lat/long)
- in verticale, per trattare esplicitamente l'orografia presente, usa le coordinate *Terrain-Following*

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma = \frac{z - z_g}{H - z_g} \\ \sigma = z - z_g \end{array} \right.$$

Riscrittura delle equazioni nel nuovo sistema di coordinate, dato che tali equazioni sono state introdotte usando un sistema di coordinate cartesiano tridimensionale.



discretizzazione dello spazio.



Alla discretizzazione dello spazio si affianca anche la discretizzazione del tempo.

La **simulazione parte** da un tempo **$t_0=0$** e **procede** considerando **istanti t_n** dati da:

$$t_n = t_0 + n \cdot \Delta t$$

Tutti i calcoli vengono fatti solo in corrispondenza di ciascuna cella e ad ogni istante temporale di interesse.

I vari termini dell'equazione differenziale vengono poi approssimati algebricamente per poter eliminare ogni operatore differenziale presente.

Per fare ciò, è necessario osservare che

..... l'equazione di Dispersione presenta alcuni **termini caratteristici**:

- ⇒ la **derivata temporale** della concentrazione media della sostanza, cioè l'**evoluzione del fenomeno**;
- ⇒ le **derivate spaziali prime** della concentrazione media, cioè il **trasporto d'inquinante operato dalle componenti orizzontali della velocità del vento**;
- ⇒ le **derivate spaziali seconde** che rappresentano la **diffusione turbolenta dell'inquinante nelle tre direzioni cardinali** (il termine più importante è quello relativo alla direzione verticale)
- ⇒ un termine che rappresenta l'**introduzione di massa di inquinante** nel dominio di calcolo.

La presenza contemporanea di tutti questi termini rende estremamente complicata la risoluzione numerica dell'equazione.

Metodo risolutivo ⇒ Metodo alle differenze finite

Struttura Generale del Metodo Risolutivo

- ⇒ si consideri un generico tempo t_n per cui sia nota la concentrazione C^n_{ijk} in ogni cella di griglia
- ⇒ al tempo $t_{n+1}=t_n+\Delta t$ la concentrazione nella cella (i,j,k) viene calcolata col metodo del frazionamento del tempo (Time Splitting):



Operano in successione i fenomeni seguenti:

1) si emette l'inquinante dalle sorgenti attive,

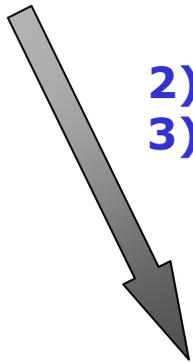
2) lo si trasporta lungo la direzione x,

3) lo si trasporta lungo la direzione y,

4) se ne consente la diffusione lungo la direzione x,

5) se ne consente la diffusione lungo la direzione y

6) Se ne consente la diffusione lungo la direzione z



Il problema originale viene frazionato in 6 problemi elementari che possono essere risolti più agevolmente.



Una volta risolto uno dei problemi elementari, il campo di concentrazione risultante diventa l'input per il problema elementare successivo.

1) Termine di sorgente.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = S(t) \cdot \delta(x - x_s) \cdot \delta(y - y_s) \cdot \delta(z - z_s)$$



Nella cella in cui si trova la sorgente

$$C_{i,j,k}^{(1)} = C_{i,j,k}^n + \Delta t \frac{Q_{i,j,k}}{\Delta x \Delta y \Delta z}$$

Nelle altre celle

$$C_{i,j,k}^{(1)} = C_{i,j,k}^n$$

NB: *tutte le emissioni vengono immediatamente rimescolate nella cella di emissione, impedendo una stima realistica della concentrazione a breve distanza dalla sorgente.*



Principale limitazione del modello euleriano.

2) Termine di trasporto lungo x.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \frac{\partial C}{\partial x}$$



$$\frac{C_{ijk}^{(2)} - C_{ijk}^{(1)}}{\Delta t} = -U_{ijk} \cdot \begin{cases} \frac{C_{ijk}^{(1)} - C_{i-1,jk}^{(1)}}{\Delta x} & \text{se } U > 0 \\ \frac{C_{i+1,jk}^{(1)} - C_{ijk}^{(1)}}{\Delta x} & \text{se } U < 0 \end{cases}$$

Lo schema numerico è totalmente esplicito, nel senso che, noto il campo iniziale $C^{(1)}$ si ottiene esplicitamente il campo finale $C^{(2)}$.

Si può dimostrare che lo schema è stabile solo se vale la relazione:

$$\frac{|U_{ijk}| \Delta t}{\Delta x} \leq 1$$

Lo **stesso metodo** si applica anche al trasporto in direzione y prendendo come campo iniziale $C^{(2)}_{ijk}$ producendo il campo $C^{(3)}_{ijk}$

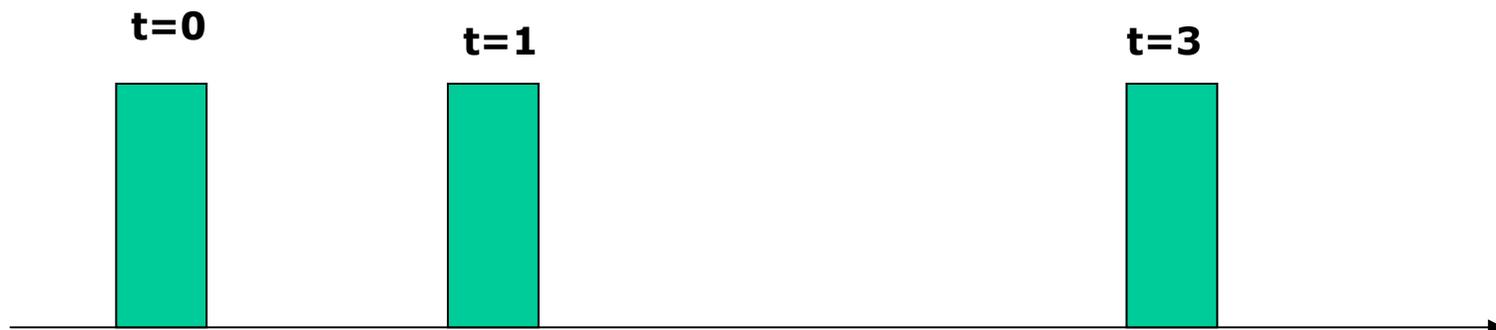
Lo schema numerico presentato prende il nome di upwind algorithm.

Prima di procedere è importante comprendere come la **soluzione numerica del problema di trasporto sia estremamente critica**.

Se si considera un trasporto in x con $U > 0$ dato da:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -U \cdot \frac{\partial C}{\partial x}$$

in teoria si dovrebbe avere la situazione seguente.



Nella realtà, le cose non stanno così. Per analizzare il problema si consideri un trasporto in x con la condizione iniziale:

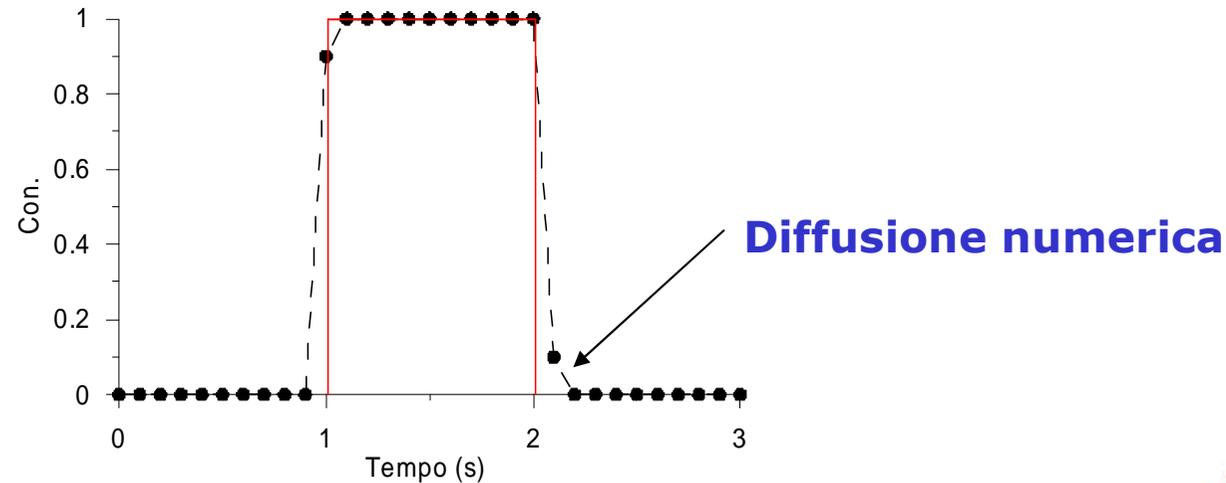
$$C(x,0) = 1 \quad \text{per } 1 \leq x \leq 2$$

$$C(x,0) = 0 \quad \text{per } x < 1 \text{ e } x > 2$$

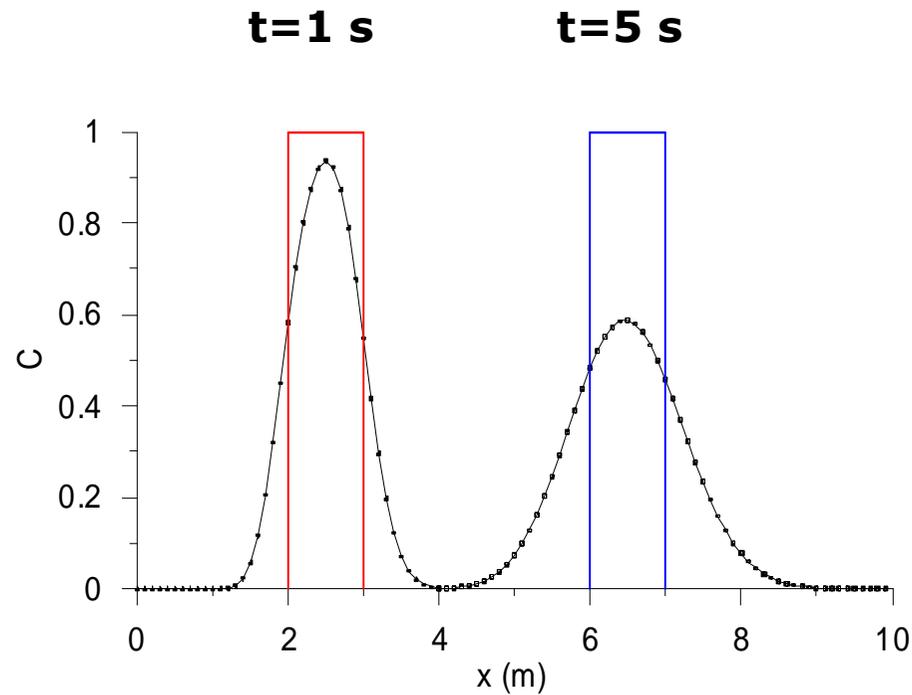
Consideriamo la discretizzazione up-wind

$$C_i^{n+1} = C_i^n + \frac{U \cdot \Delta t}{\Delta x} \cdot (C_{i-1}^n - C_i^n)$$

Se si utilizza $\Delta t = 0.01$ s e $\Delta x = 0.1$, dopo un timestep si ottiene



La diffusione numerica si **propaga** nei timestep successivi, come si vede nella figura analizzando la distribuzione di concentrazione dopo 1 secondo e 5 secondi.

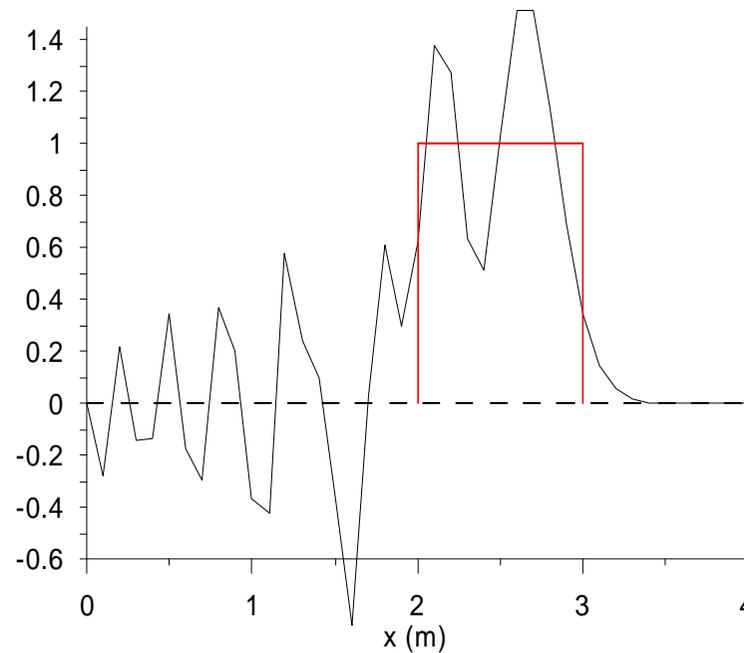


Durante il trasporto, il gradino di concentrazione diffonde sempre più, diminuisce il valore massimo, ma non si sfasa

Se si utilizza, invece, uno **schema centrato** come il seguente che, apparentemente, sembra approssimare meglio la derivata spaziale:

$$C_i^{n+1} = C_i^n + \frac{U \cdot \Delta t}{2\Delta x} \cdot (C_{i-1}^n - C_{i+1}^n)$$

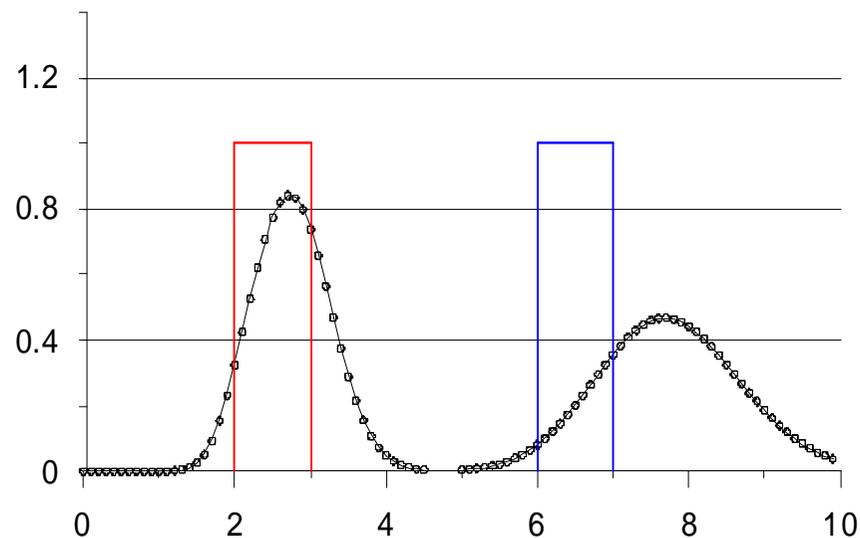
la sua applicazione allo stesso problema porta alla distribuzione seguente dopo 1 secondo. Il risultato è ovviamente drammatico!



Se si utilizza, invece, uno **schema implicito** come il seguente che, apparentemente, sembra più accurato:

$$C_i^{n+1} = C_i^n + \frac{U \cdot \Delta t}{\Delta x} \cdot (C_{i-1}^{n+1} - C_{i+1}^n)$$

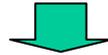
la sua applicazione allo stesso problema porta alla distribuzione seguente dopo 1 e 5 secondi.



In questo caso, non solo si ha diffusione numerica, ma anche sfasamento.

3) Diffusione Turbolenta in x.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = K_{xx} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$



Schema implicito di Crank-Nicholson

$$C_{ijk}^{(4)} = C_{ijk}^{(3)} + \frac{1}{2}[D_1 + D_2]$$

$$D_1 = K_{ijk}^x \frac{C_{i+1jk}^{(4)} - 2C_{ijk}^{(4)} + C_{i-1jk}^{(4)}}{(\Delta x)^2} \quad \longleftrightarrow \quad D_2 = K_{ijk}^x \frac{C_{i+1jk}^{(3)} - 2C_{ijk}^{(3)} + C_{i-1jk}^{(3)}}{(\Delta x)^2}$$

Lo schema è implicito e per ottenere il campo $C^{(4)}$ è necessario risolvere un sistema algebrico di grandi dimensioni.

Allo stesso modo si opera per la diffusione turbolenta in direzione y e z, ottenendo quindi il campo finale (quello relativo all'istante t_{n+1}).

Condizioni Iniziali e al Contorno

Condizioni Iniziali

Valore del campo di concentrazione all'inizio della simulazione.
Lo si ottiene usando tecniche interpolative basate sulle misure sperimentali disponibili.

Condizioni al contorno

Contorno laterale: condizioni di Dirichlet

$$C(0, y, z, t) = b_1(y, z, t)$$

$$C(X_{\max}, y, z, t) = b_2(y, z, t)$$

$$C(x, 0, z, t) = b_3(x, z, t)$$

$$C(x, Y_{\max}, z, t) = b_4(x, z, t)$$

Contorno superiore ed inferiore: condizione di von Neumann

$$\frac{\partial C}{\partial z} = 0$$

Stima dei Parametri di Diffusione Turbolenta

Molte sono le parametrizzazioni usate per i coefficienti di diffusività turbolenta, quasi tutte basate sui parametri caratteristici della turbolenza del PBL.

Come esempio si indicano le relazioni seguenti:

⇒ **Nelle situazioni convettive**

$$K_{xx} = K_{yy} = 0.1w_*z_i$$

$$K_{zz} = w_*z_i f(z/z_i)$$

$$f(z/z_i) = 0.021 + 0.408 \left(\frac{z}{z_i} \right) + 1.351 \left(\frac{z}{z_i} \right)^2 - 4.096 \left(\frac{z}{z_i} \right)^3 + 2.560 \left(\frac{z}{z_i} \right)^4$$

⇒ **Nelle situazioni stabili**

$$K_{xx} = K_{yy} = 0.$$

$$K_z = \frac{ku_*z}{0.74 + 4.7(z/L)} \exp\left(-\frac{8fz}{u_*}\right)$$

Se, però, si è interessati alla **Chimica dell'Atmosfera** e quindi, oltre al trasporto ed alla diffusione turbolenta delle specie inquinanti, si vogliono trattare anche le reazioni chimiche che hanno luogo tra tali sostanze



Il problema si complica.

⇒ Si devono **individuare le specie chimiche che si vogliono considerare**. Sia N il numero di tali sostanze

Per esempio: si vogliono considerare gli Ossidi di Azoto ed una loro chimica semplificata.

Specie coinvolte:

NO, NO_2

O_3 e O_2

⇒ Si dovranno considerare **N equazioni** di conservazione, **una per ognuna delle specie chimiche considerate**, visto che siamo interessati alla loro evoluzione nello spazio e nel tempo.

Per ognuna di queste equazioni dovranno essere note le condizioni iniziali ed al contorno.

Ognuna di esse dovrà essere opportunamente approssimata alle differenze finite e trasformata in un problema algebrico risolubile da parte di un computer.

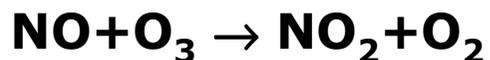
Nell'esempio:

Le sostanze considerate sono 4, tuttavia l'Ossigeno presente in aria non varierà apprezzabilmente nell'atmosfera vista la sua abbondanza e quindi possiamo ritenerlo costante.

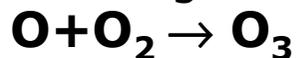
Quindi le sostanze cui siamo interessati sono 3: NO, NO₂ e O₃.

⇒ Si considerano le **reazioni chimiche** che coinvolgono le sostanze considerate. Sia **M** il numero di tali reazioni.

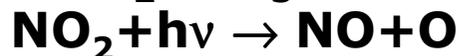
Nell'esempio:



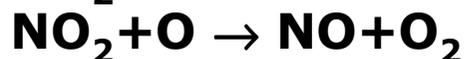
Costante di reazione k_1



Costante di reazione k_2



Costante di reazione J



Costante di reazione k_3

⇒ Per ogni sostanza chimica si scrive la corrispondente **equazione differenziale** ordinaria che ne esprime quantitativamente la **cinetica**.

Nell'esempio: le sostanze di cui si è interessati sono 3 e le rispettive equazioni che ne esprimono il tasso di variazione nel tempo dovuto alle reazioni chimiche sono:

$$\begin{aligned} \frac{d[\text{NO}]}{dt} &= J[\text{NO}_2] + k_3[\text{NO}_2] \cdot [\text{O}] - k_1[\text{NO}] \cdot [\text{O}_3] \\ \frac{d[\text{NO}_2]}{dt} &= k_1[\text{NO}] \cdot [\text{O}_3] - J[\text{NO}_2] - k_3 \cdot [\text{NO}_2] \cdot [\text{O}] \\ \frac{d[\text{O}_3]}{dt} &= k_2[\text{O}_2] \cdot [\text{O}] - k_1[\text{NO}] \cdot [\text{O}_3] \end{aligned}$$

Termine sorgente

$$\frac{\partial \bar{c}_i}{\partial t} + \left[\bar{u} \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{c}_i}{\partial z} \right] + \left[\frac{\partial \bar{u}' c_i'}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}' c_i'}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}' c_i'}{\partial z} \right] = R_i(\bar{c}_1, \bar{c}_2, \dots, \bar{c}_n) + E_i - S_i$$

Le informazioni emissive devono essere descritte per ogni cella di calcolo e in ogni istante di tempo della simulazione



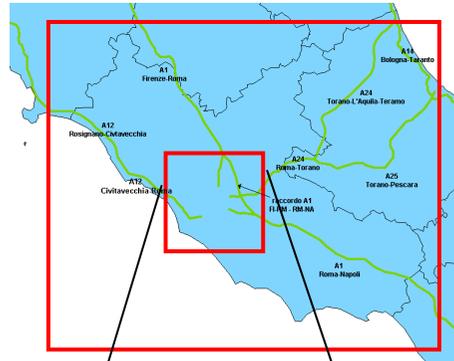
$$E = f(\vec{x}, t)$$

Inventari nazionali – locali

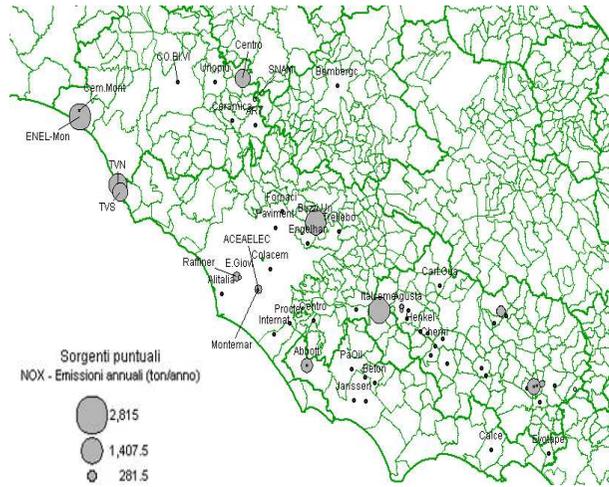
2 0 0 0 Impianti di Combustione non Industriale	5 0 0 0 Estrazione e Distribuzione di Comb. Fossili	8 0 0 0 Altre Sorgenti Mobili e Macchinari
2 0 0 Impianti residenziali	5 0 0 Distribuzione di benzina	5 0 0 Traffico aereo
2 0 Caldaie con potenza termica minore di 50 MW	3 0 Stazioni di servizio (incluso il rifornimento di veicoli)	1 0 Traffico aereo nazionale (cicli LTO - < 1000 m)
1 0 - 150 m	6 0 0 0 Uso di Solventi	2 0 Traffico aereo internazionale (cicli LTO - < 1000 m)
2 150 - 300 m	1 0 0 Verniciatura	6 0 0 Agricoltura
3 300 - 500 m	2 0 Verniciatura: riparazione di autoveicoli	9 0 0 0 Trattamento e Smaltimento Rifiuti
4 500 - 1000 m	3 0 Verniciatura: edilizia (eccetto 6.1.7)	10 0 0 Altri trattamenti di rifiuti
5 1000 - 2000 m	4 0 Verniciatura: uso domestico (eccetto 6.1.7)	7 0 Fosse biologiche
3 0 0 0 Combustione nell'Industria	5 0 Verniciatura: imballaggi metallici	10 0 0 0 Agricoltura
1 0 0 Combustione in caldaie, turbine e motori a comb. interna	6 0 Verniciatura: imbarcazioni	1 0 0 Colture con fertilizzanti
3 0 Caldaie con potenza termica minore di 50 MW	7 0 Verniciatura: legno	1 0 Coltivazioni permanenti
2 0 0 Forni di processo senza contatto	8 0 Altri tipi di verniciature industriali	2 0 Terreni arabili
4 0 Forni per gesso	2 0 0 Sgrassaggio, pulitura a secco e componentist. elettronica	3 0 Risaie
3 0 0 Processi di combustione con contatto	1 0 Sgrassaggio metalli	5 0 Foraggere
3 0 Fonderie di ghisa	2 0 Pulitura a secco	5 0 0 Concime a base di composti organici (escrementi)
10 0 Alluminio 2a fusione	3 0 0 Produzione o lavorazione di prodotti chimici	1 0 Mucche da latte
12 0 Calce (incluse industrie del ferro, acciaio e paste per la carta)	1 0 Produzione di poliestere	2 0 Altri bovini
13 0 Agglomerati bituminosi	5 0 Lavorazione della gomma	3 0 Maiali da ingrasso
14 0 Vetro piano	7 0 Produzione di vernici	4 0 Scrofe
15 0 Contenitori di vetro	8 0 Produzione di inchiostri	5 0 Ovini
16 0 Lana di vetro (eccetto rilegature)	4 0 0 Altro uso di solventi e relative attività	6 0 Cavalli
17 0 Altro vetro	3 0 Industria della stampa	7 0 Galline ovaiole
4 0 0 0 Processi Produttivi	5 0 Applicazione di colle e adesivi	8 0 Pollastri
2 0 0 Processi nelle ind. del ferro, acciaio e miniere di carbone	8 0 Uso di solventi domestici (eccetto verniciatura)	9 0 Altro pollame (anatre, oche, ecc...)
7 0 Acciaio (forno elettrico)	9 0 Rimozione del trattamento protettivo dei veicoli	11 0 Capre
8 0 Laminatoi	7 0 0 0 Trasporto su strada	12 0 Muli e Asini
10 0 Altri processi: ferroleghie	1 0 0 Automobili	11 0 0 0 Natura
3 0 0 Processi nelle industrie di metalli non ferrosi	1 0 Autostrade	3 0 0 Incendi di foreste e altra vegetazione
2 0 Produzione di leghe non ferrose	2 0 Strade extraurbane	2 0 Altri
4 0 0 Processi nelle industrie chimiche inorganiche	3 0 Strade urbane	11 0 0 Foreste coltivate a foglia larga
4 0 Solfato di ammonio	2 0 0 Veicoli leggeri < 3.5 t	4 0 Quercia europea
5 0 Nitrato di ammonio	1 0 Autostrade	6 0 Altre querce
7 0 Fertilizzanti composti (NPK)	2 0 Strade extraurbane	10 0 Faggeti
8 0 Urea	3 0 Strade urbane	15 0 Altre specie decidue
6 0 0 Processi nell'ind. legno, pasta per carta, alimenti, bevande...	3 0 0 Veicoli pesanti > 3.5 t e autobus	12 0 0 Foreste coltivate di conifere
1 0 Cartone grigio	1 0 Autostrade	4 0 Abete rosso norvegese
6 0 Vino	2 0 Strade extraurbane	10 0 Altri pini
7 0 Birra	3 0 Strade urbane	11 0 Abete
14 0 Produzione di calce (decarbonizzazione)	4 0 0 Motocicli < 50 cm ³	12 0 Larice
	3 0 Motocicli < 50 cm ³	15 0 Altre conifere
	5 0 0 Motocicli > 50 cm ³	
	3 0 Strade urbane	

Termine sorgente

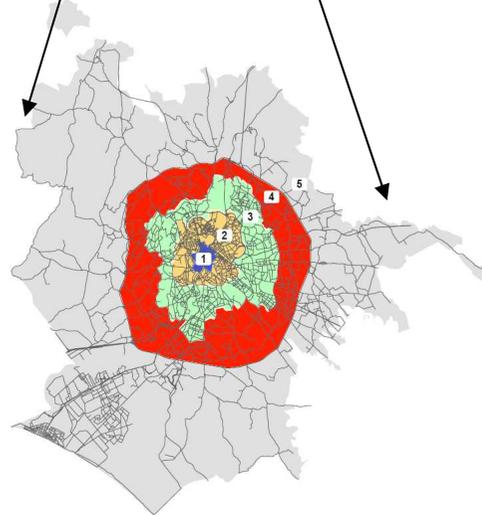
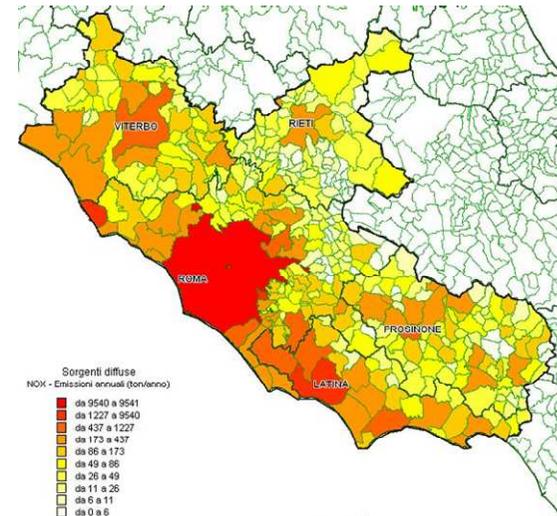
Emissioni stradali

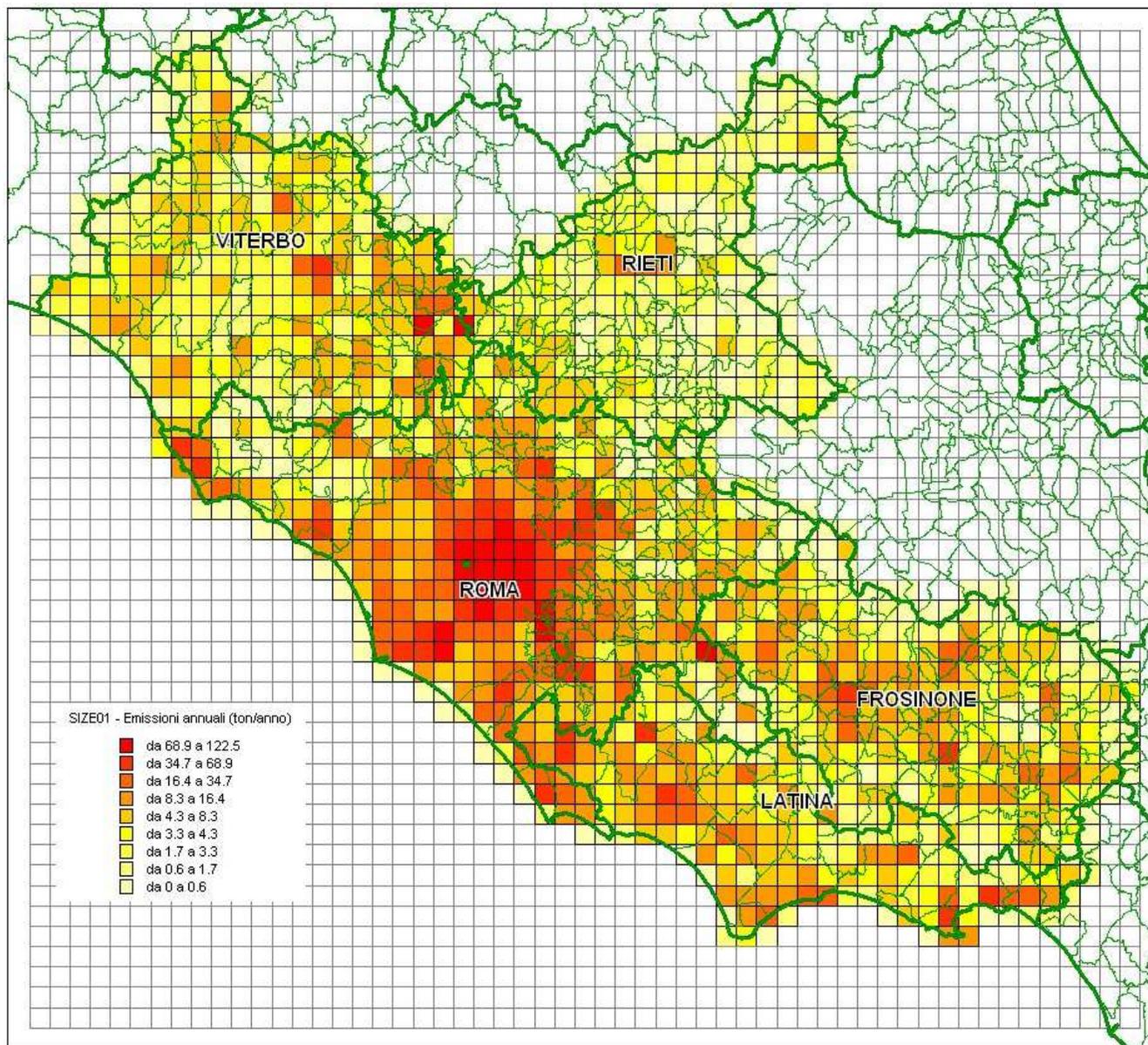


Emissioni puntuali



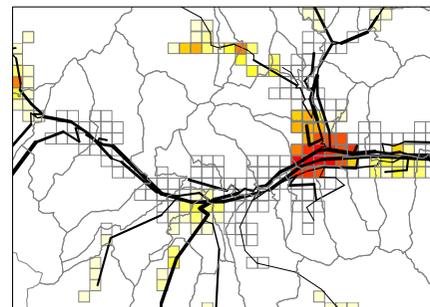
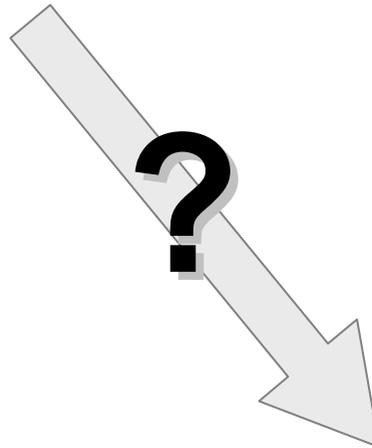
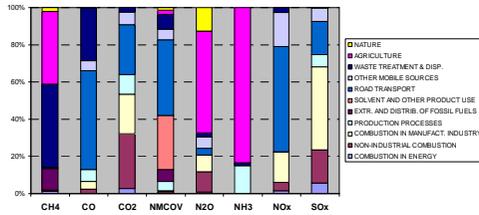
Emissioni diffuse





Inventari e modelli di simulazione

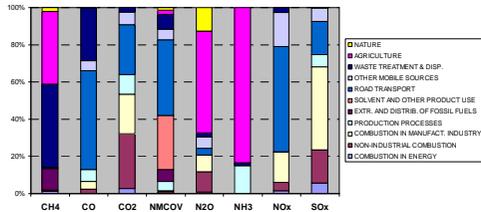
Inventario: “dati emissivi di riferimento”,
annuali (sorg. puntuali / lineari / areali)



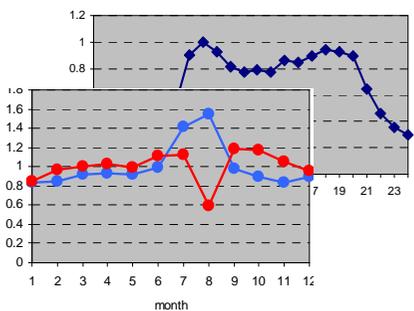
**Input ai
modelli:
emissioni
orarie
(grigliate,
speciate)**

Dagli inventari all'input ai modelli

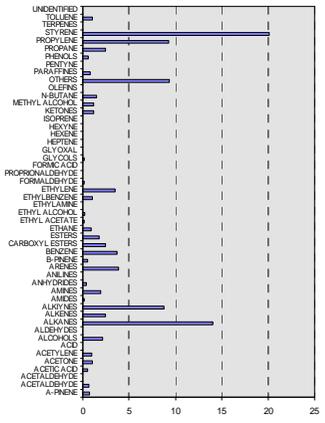
Inventario: "dati emissivi di riferimento",
 annuali (sorg. puntuali / lineari / areali)



Profili di modulazione
 (giornaliera, settiman., annuale)



Profili di speciazione

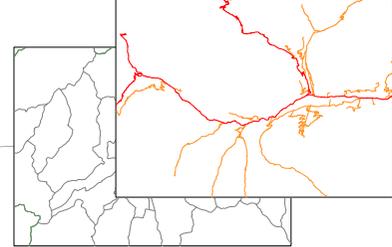


DISAGGREGAZIONE SPAZIALE

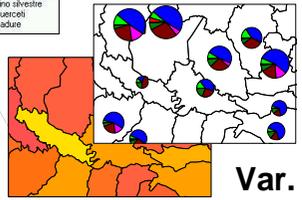
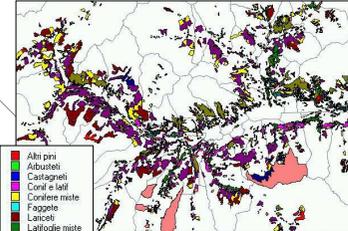
MODULAZIONE TEMPORALE

SPECIAZIONE

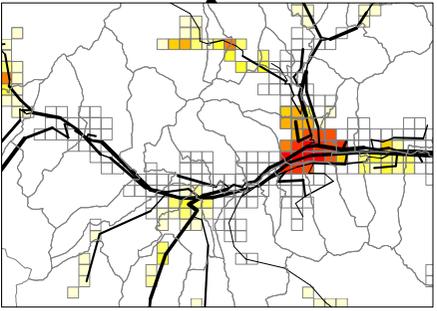
Cartografia di base



Tematismi



Var. proxy



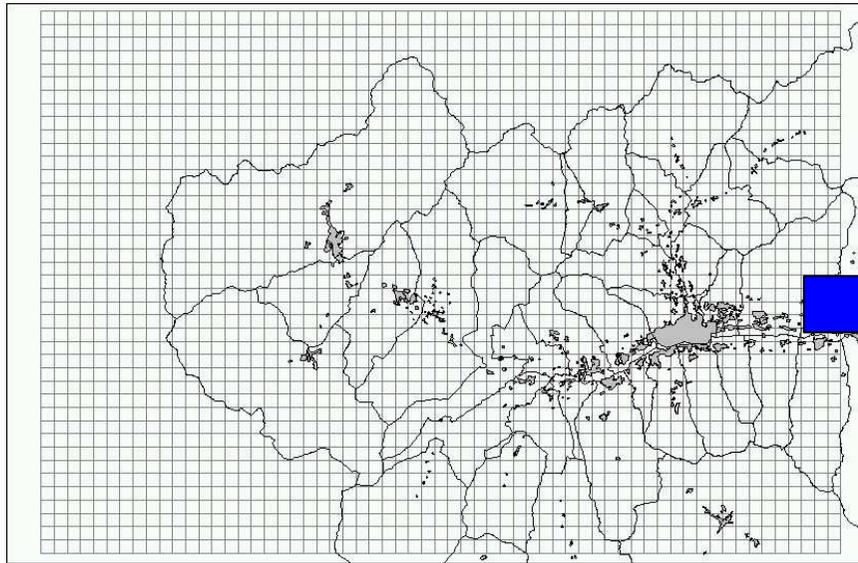
Input ai modelli:
 emissioni orarie (grigliate, speciate)



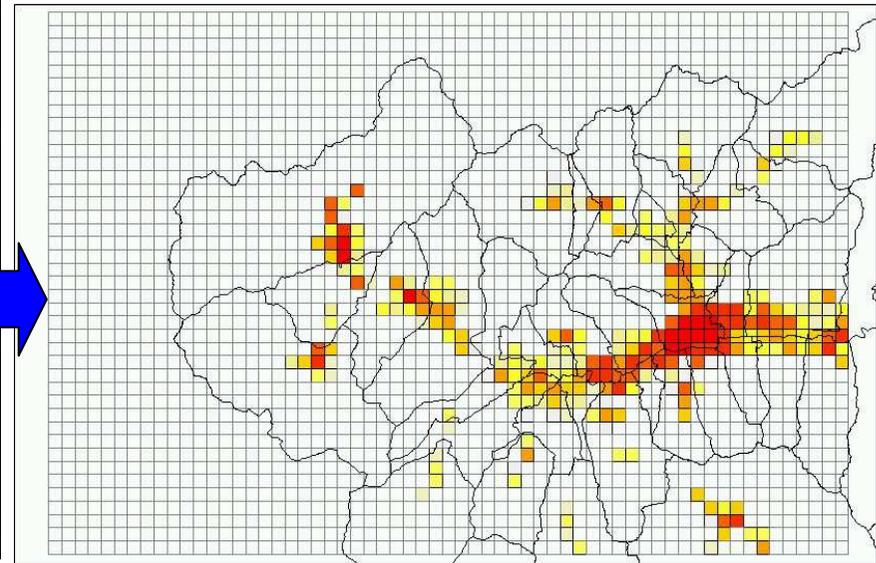
Area emissions – Example (1)

Land-use disaggregation

Built-up areas



CO emissions from domestic heating

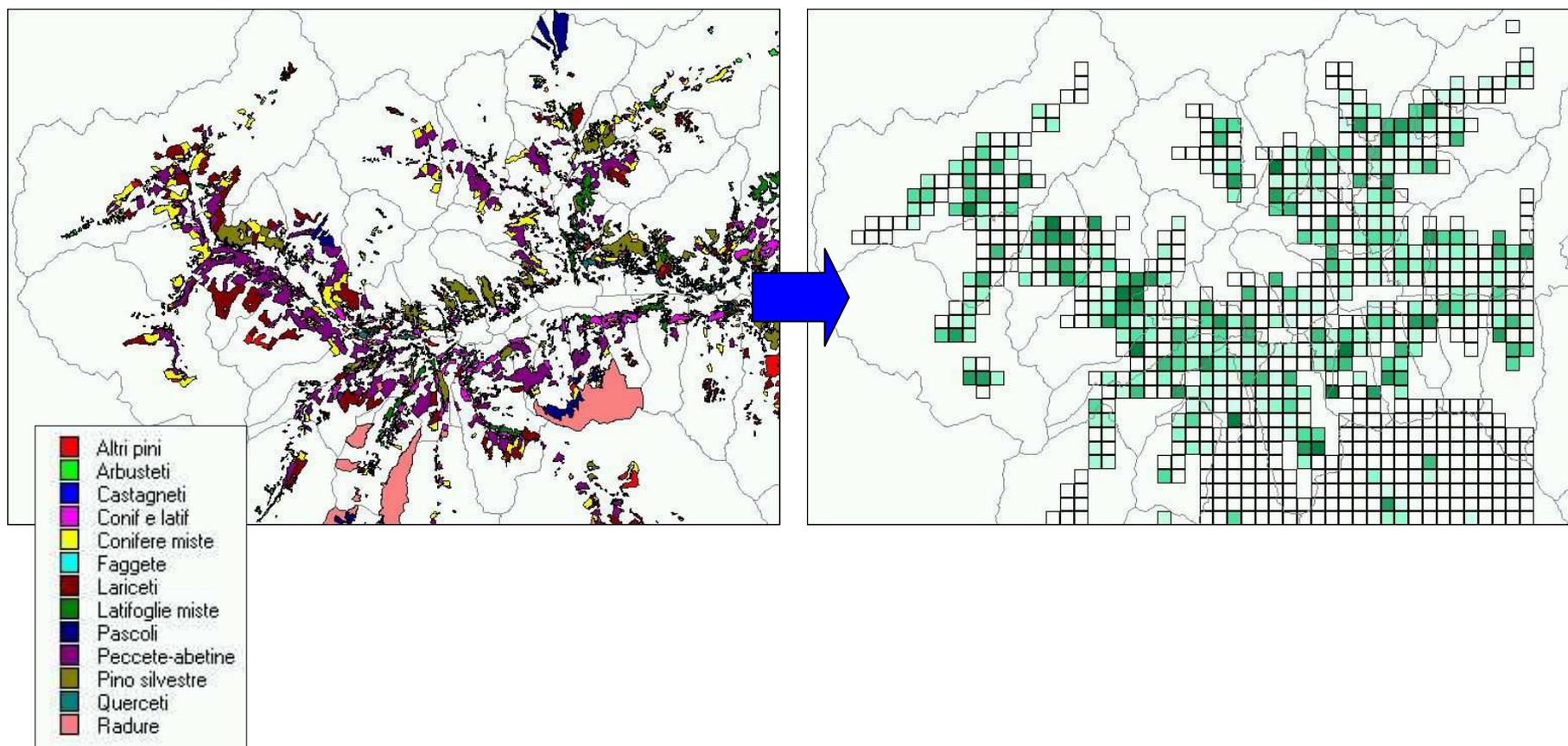


Area emissions – Example (2)

Land-use disaggregation

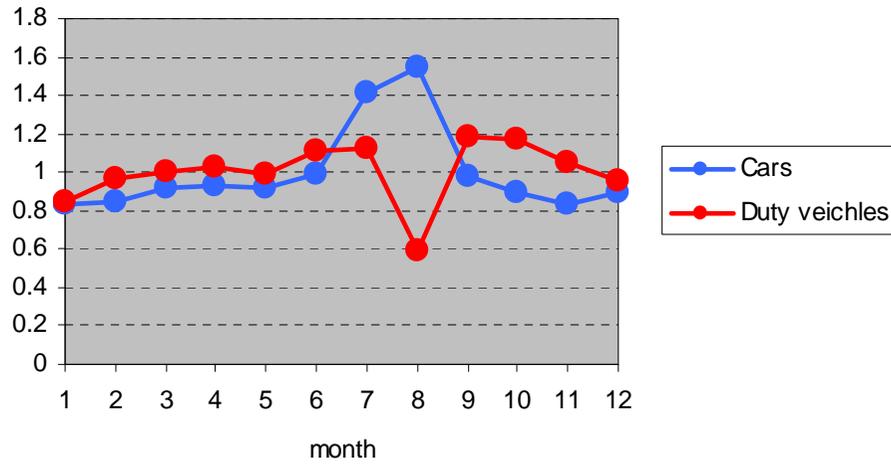
Vegetation species distribution

VOC emissions from vegetation

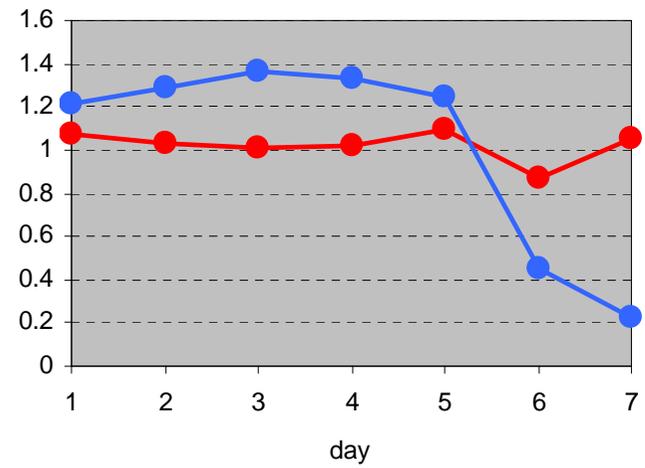


Modulazione temporale

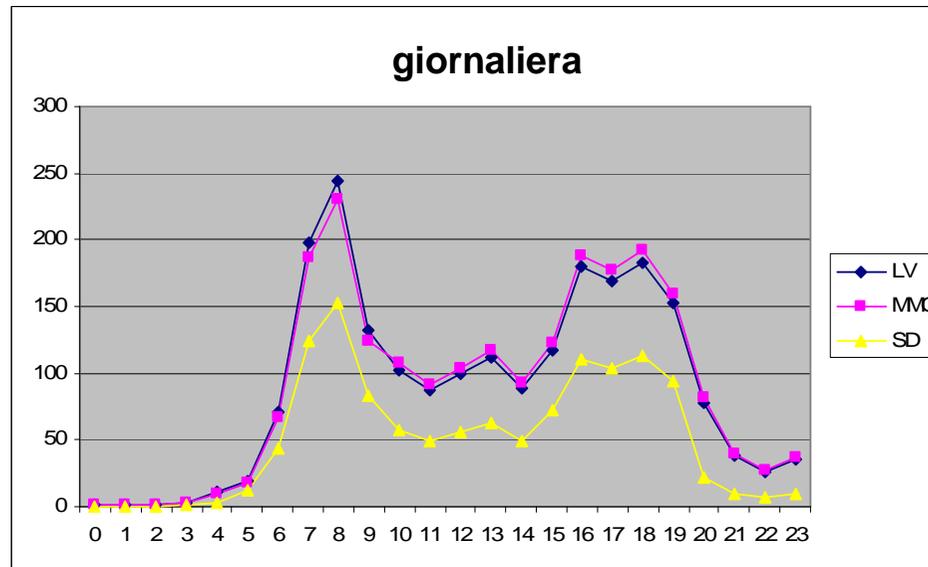
annuale

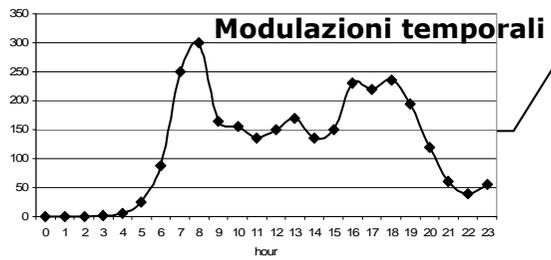
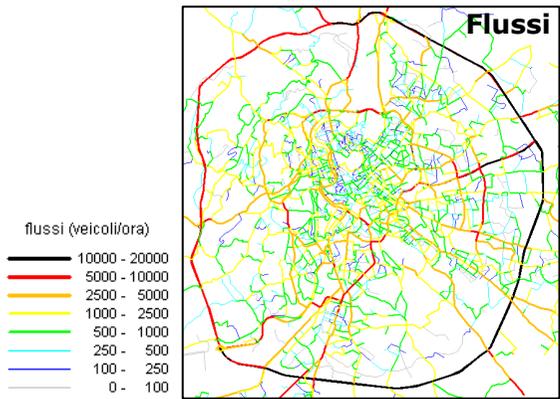
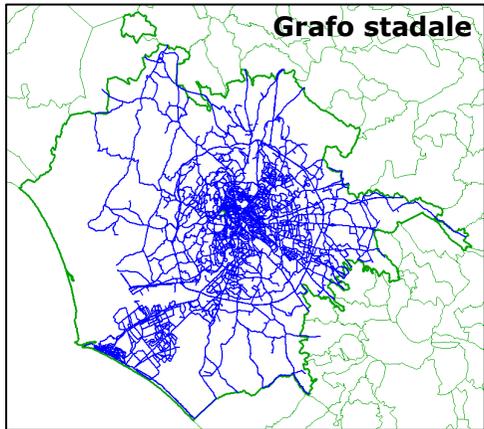


settimanale

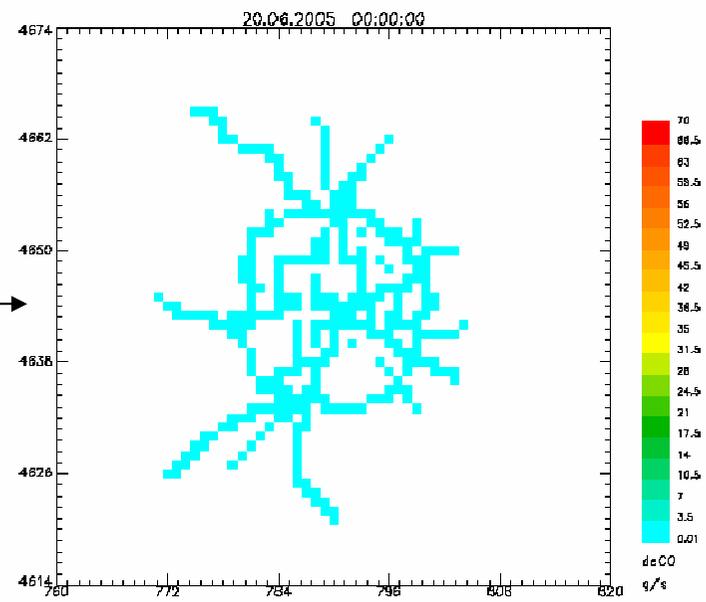


giornaliera





TREFIC Module
(Copert III)



Il modello Euleriano, in questo caso, è costituito dall'insieme delle equazioni differenziali seguenti:

- ⇒ N equazioni differenziali alle derivate parziali che esprimono la conservazione delle N sostanze e che descrivono il loro trasporto e la loro diffusione turbolenta**

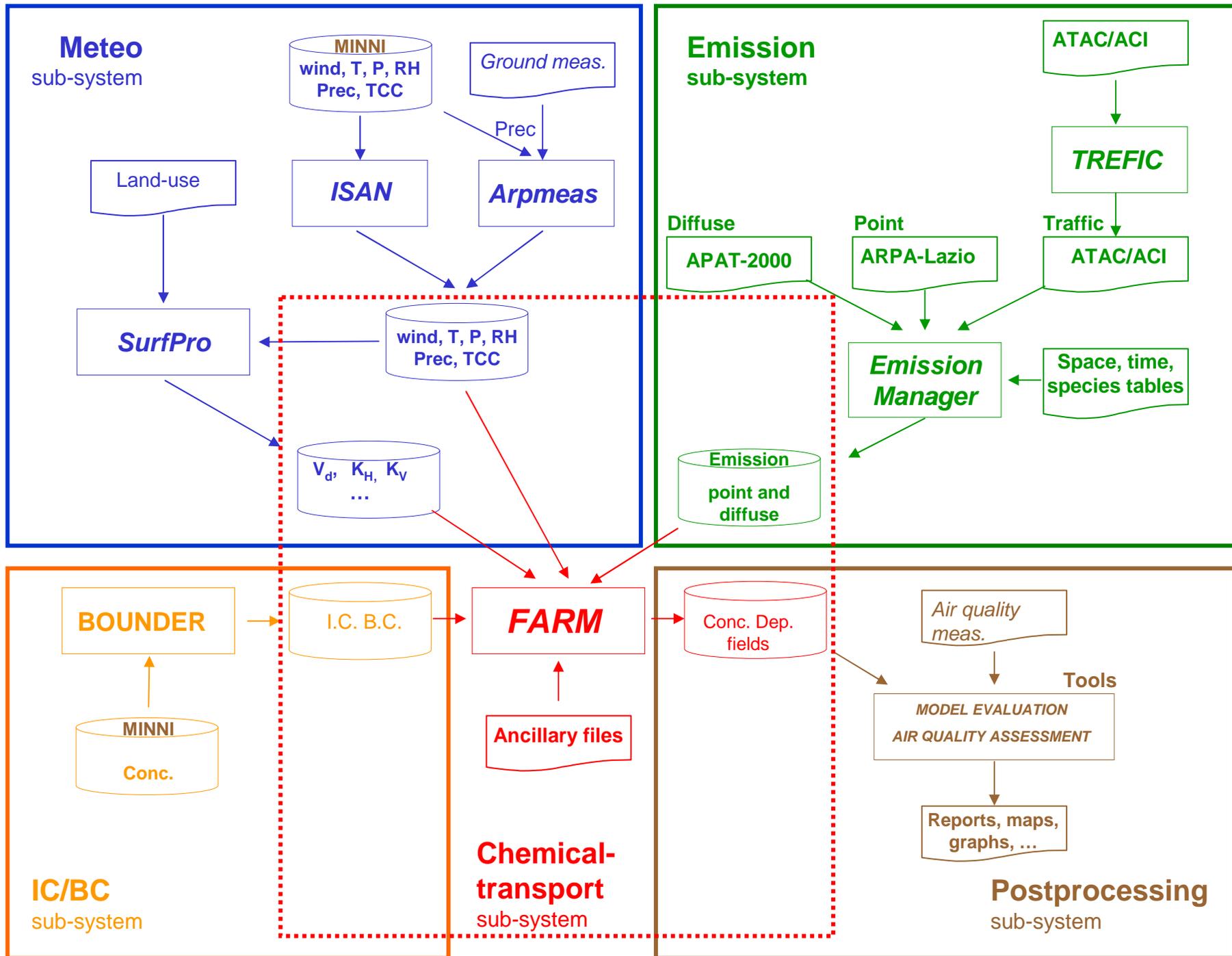
- ⇒ N equazioni differenziali ordinarie che esprimono le interazioni chimiche che queste sostanze hanno tra loro e con l'Atmosfera.**

A prima vista, le N equazioni differenziali ordinarie relative alla cinetica chimica sembrerebbero di più facile risoluzione, tuttavia il fatto che le varie costanti di reazioni siano molto variabili tra loro, anche di alcuni ordini di grandezza, fa sì che la soluzione del sistema di equazioni della chimica sia molto critico e time-consuming.

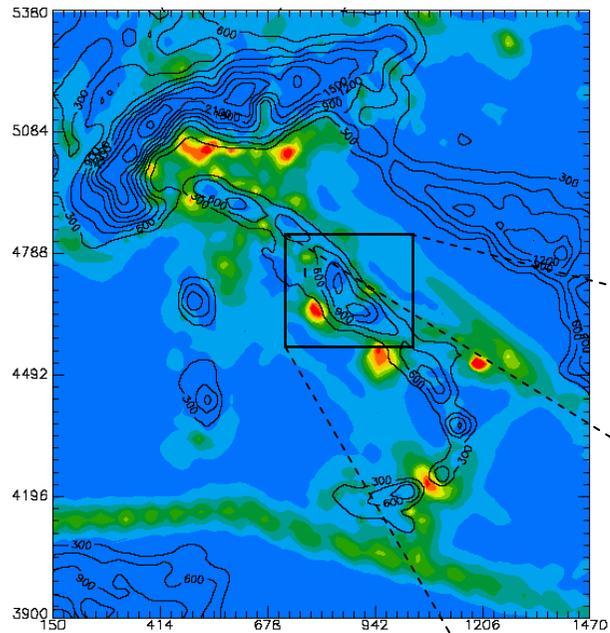
Osservazioni Conclusive

Il Modello Euleriano con chiusura K è stato molto utilizzato in passato per ricostruire il trasporto e la dispersione degli inquinanti su domini di grandi dimensioni. L'avvento dei modelli lagrangiani, puff prima ed a particelle poi, ne ha ridimensionato l'uso. Ciò è dovuto principalmente alla sua **limitazione logica nel **rappresentare** realisticamente la **situazione di campo vicino**.**

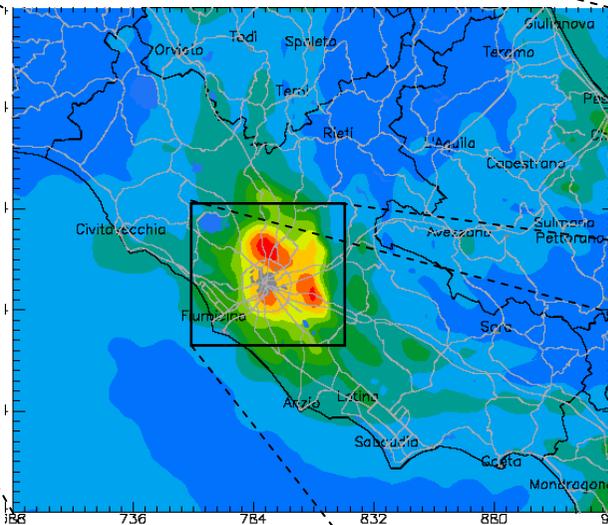
Vista, però, la relativa facilità con cui è possibile trattare le reazioni chimiche, attualmente viene impiegato nel simulare la dispersione di inquinanti chimicamente reattivi su domini di grande dimensione.



downscaling

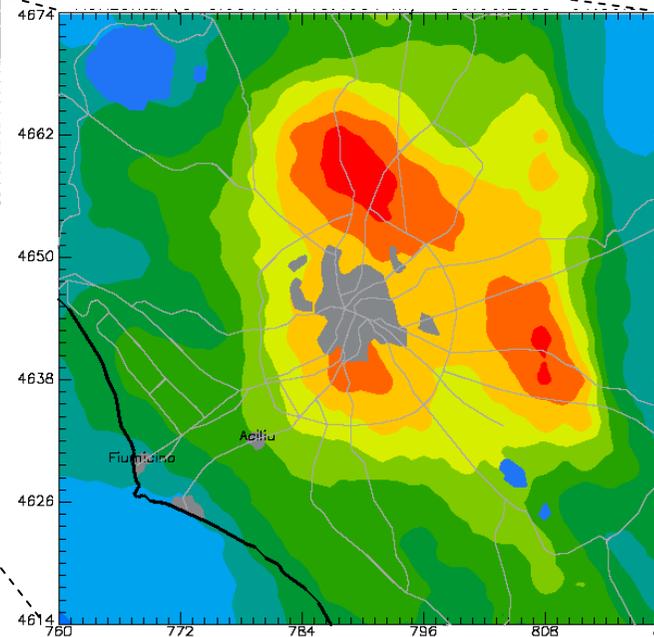


Dominio nazionale
(20 x 20) km²



Dominio regionale
(4 x 4) km², 66 x 58 celle

Dominio di Roma
(1 x 1) km², 61 x 61 celle



Obiettivi

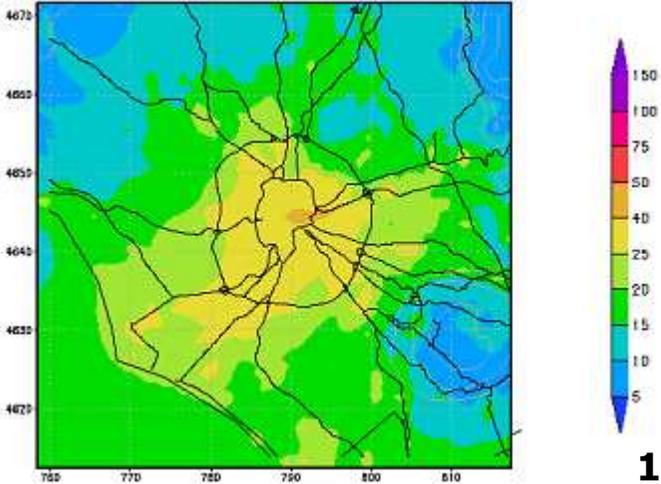
ricostruzione scenari emissivi
(piano di risanamento QA)

Near-Real Time
(data assimilation)

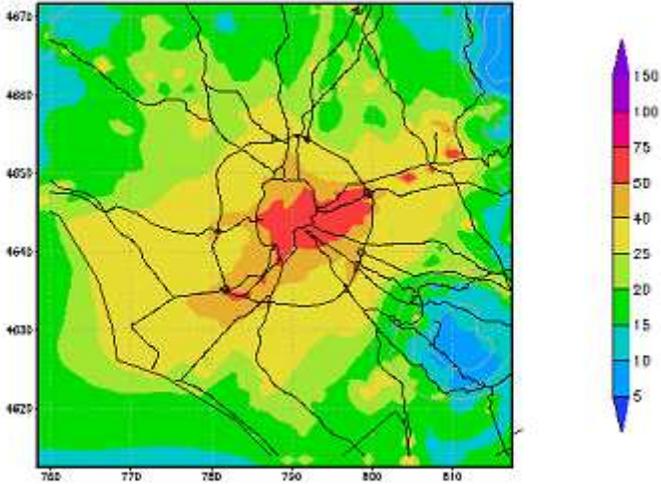
Previsioni
(+24, +48, +72 h)

Forecast +24h, +48h, +78h

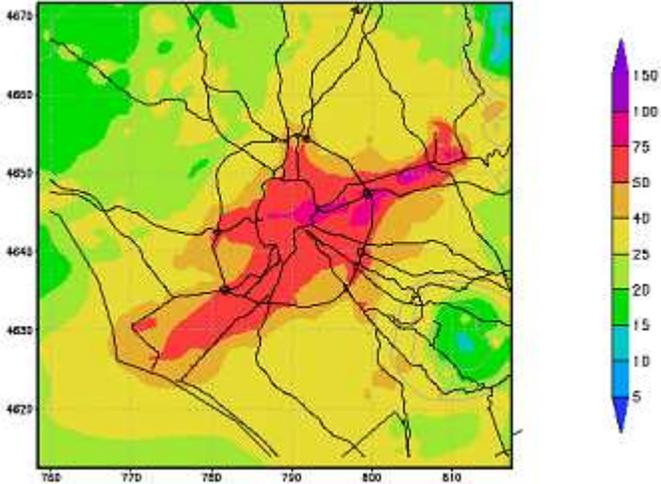
13/11/2011 (+24h)



14/11/2011 (+48h)



15/11/2011 (+72h)



Bibliografia Essenziale Modelli Euleriani

R. Sozzi (2003): La Micrometeorologia e la Dispersione degli Inquinanti in Aria (APAT- CTN-ACE)

J.H. Seinfeld, S.N. Pandis (2006): Atmospheric Chemistry and Physics 2° Ed – J.Wiley&Sons

M.Z. Jacobson (1999): Fundamentals of atmospheric modeling – Cambridge University Press

Approfondimenti:

FTM Nieuwstadt, H. van Dop ed. (1982): Turbulence and Air Pollution Modeling – Reidel Publishing Company