

# ***Simulazione a scala nazionale della concentrazione di POP e metalli pesanti. Valutazione degli effetti delle sorgenti nazionali ed estere***

**C. Silibello, G. Calori, M. Costa, P. Radice**

ARIANET Srl, Via Gilino, 9, 20128, Milano



**M. Mircea**

**ENEA, Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo  
economico sostenibile, via Martiri di Monte Sole 4, 40129, Bologna**



---

V Convegno Agenti fisici  
Il controllo degli agenti fisici: ambiente, salute e qualità della vita  
Novara 6 – 7 – 8 giugno 2012

# Il Progetto MINNI



- **Il Progetto MINNI**
- **I processi chimico-fisici**
- **Caratteristiche della simulazione**
- **Risultati della simulazione:**
  - ✓ **confronto con i campi EMEP e con le osservazioni**
  - ✓ **Contributo delle emissioni naturali (risospensione dai suoli e dal mare)**
  - ✓ ***“Source Apportionment”*: contributi settoriali e di sorgenti estere**
- **Conclusioni e sviluppi futuri**

# Il Progetto MINNI



Nato nell'ambito dell'Accordo di Programma fra **ENEA** e **Ministero dell'Ambiente**, in collaborazione con **Arianet** e **IIASA**, MINNI si propone di fornire all'Italia un valido strumento di supporto per l'analisi delle politiche di riduzione delle emissioni.

Benvenuti in MINNI — minni

www.minni.org

Come iniziare Meteorologisches Inst... https://www.google.... Importati da Firefox

# minni

Home Il Sistema Il Progetto Chi siamo Pubblicazioni

Benvenuti in MINNI

**Sistema modellistico** che descrive i processi chimico-fisici in **atmosfera**. Effettua la stima delle concentrazioni degli inquinanti in funzione dello spazio e del tempo a partire dalle condizioni meteorologiche ed emissive che si realizzano nel corso dell'anno.



**E' un modello di valutazione integrata di impatto e di costi.** A partire da informazioni sulle tecnologie di abbattimento delle emissioni dai diversi settori produttivi e da informazioni su scenari energetici ed economici, consente la produzione di scenari emissivi alternativi e/o futuri e di valutarne i costi e l'efficacia in termini di riduzione delle concentrazioni

**minni** (*Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione Internazionale sui temi dell'Inquinamento Atmosferico*) è stato sviluppato per conto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare.

MINNI è in realtà un insieme di modelli e pre/post processor per selezionare e valutare l'efficacia delle politiche di qualità dell'aria a livello nazionale e regionale.

MINNI si può pensare costituito da due principali sistemi modellistici:

- **Il Sistema Modellistico Atmosferico (SMA)**
- **GAINS - Italy**

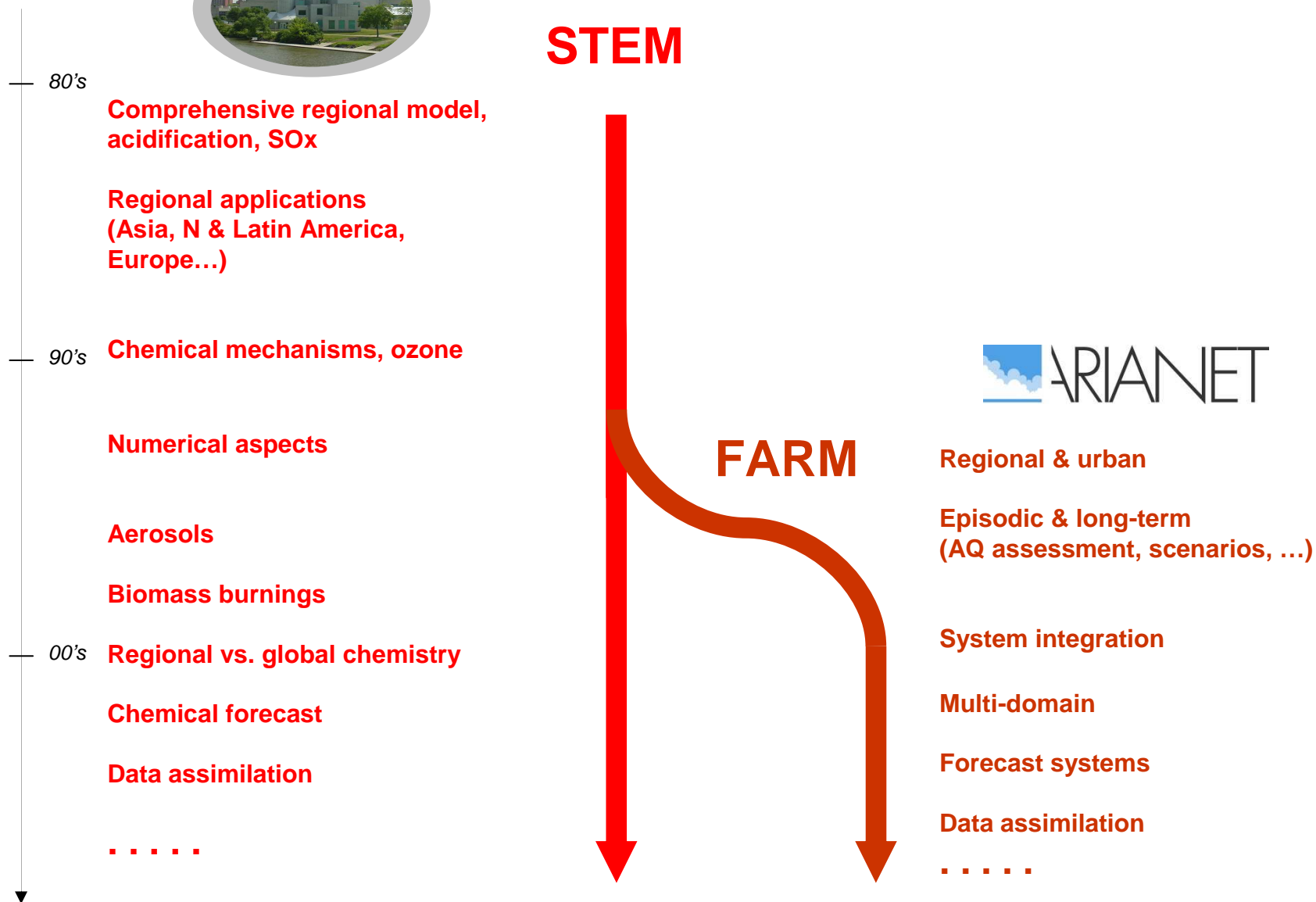
connessi circolarmente tramite le *Matrici di Trasferimento Atmosferico (MTA)* e *RAIL (RAINS-Atmospheric Inventory Link)*.

SMA si compone dei processor di trattamento delle emissioni in atmosfera, di modelli meteorologici, di un modello di trasporto chimico. GAINS-Italy, sviluppato in collaborazione con IIASA, quantifica il potenziale ed i costi di riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra e dei principali inquinanti atmosferici.

Prof. G.R. Carmichael *et al.*,  
CGRER (Center for Global and Regional  
Environmental Research), University of Iowa



# The FARM model, a *long history...*



# Flexible Air quality Regional Model (FARM)

<http://air-climate.eionet.europa.eu/databases/MDS/>



## Main features and developments:

- ✓ **Emission** of pollutants from area and point sources, with plume rise calculation and mass assignment to vertical grid cells
- ✓ **3D dispersion** by advection and turbulent diffusion
- ✓ Flexible **gas-phase mechanism** (SAPRC-99, **POPs-Hg**) through **KPP** (Kinetic Pre-Processor: Damian *et al.*, 2002).
- ✓ Treatment of **PM<sub>10</sub>** and **PM<sub>2.5</sub>** (*aero0* inorganic equilibrium module, *aero3* modal aerosol module)
- ✓ **Dry removal** of pollutants dependent on local meteorology and land-use
- ✓ Removal through **precipitation scavenging** processes
- ✓ One- and two-way **nesting** on arbitrary number of grids
- ✓ Treatment of additional inert **tracers**
- ✓ Inclusion of **data assimilation** techniques
- ✓ Online calculation of photolysis rates using **TUV** model (Tropospheric Ultraviolet and Visible radiation model; Madronich *et al.*, 1989)
- ✓ Inclusion of **map factors** and **different coordinate systems** (large domain simulations)
- ✓ **Parallel processing** using **OpenMP** paradigm
- ✓ **SW management and code optimization**
- **MPI/hybrid parallelization (poster Muraro *et al.*: Versione parallela e Open-Source del modello FARM:recenti sviluppi e prospettive future)**



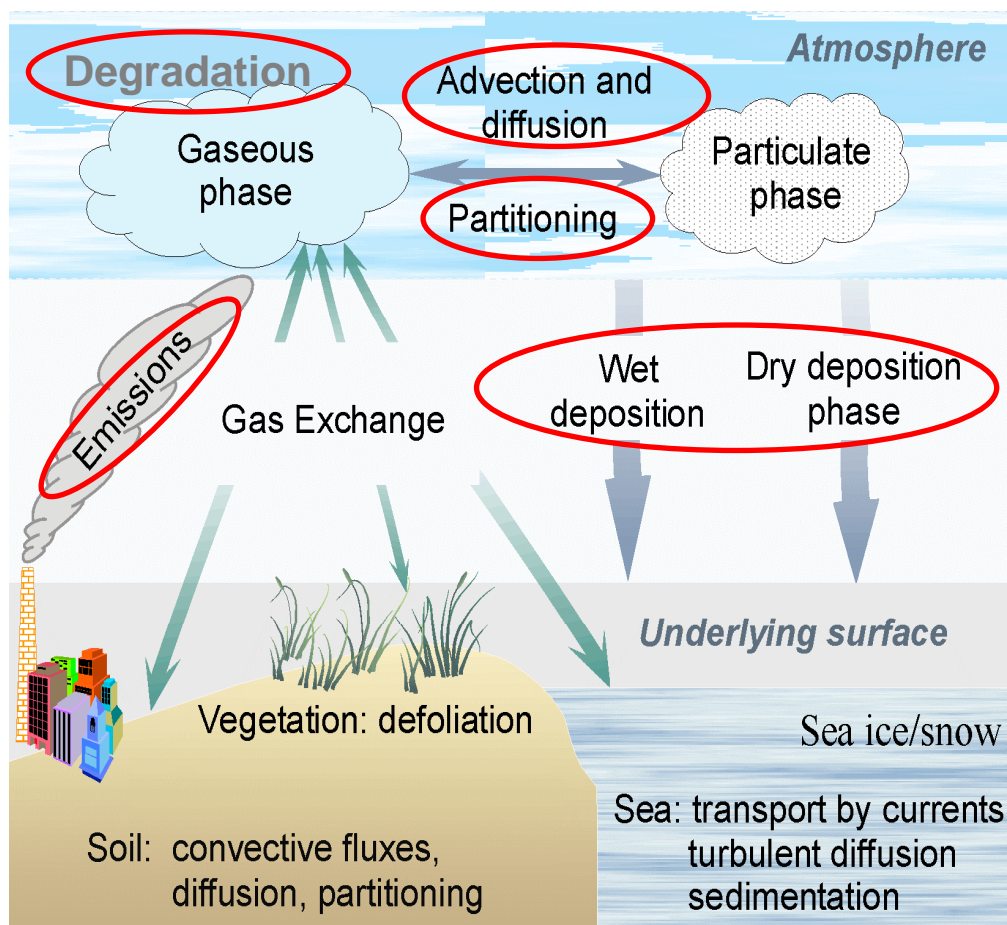
# I processi chimico-fisici in atmosfera

- **Il Progetto MINNI**
- **I processi chimico-fisici**
- **Caratteristiche della simulazione**
- **Risultati della simulazione:**
  - ✓ **confronto con i campi EMEP e con le osservazioni**
  - ✓ **Contributo delle emissioni naturali (risospensione dai suoli e dal mare)**
  - ✓ **“*Source Apportionment*”: contributi settoriali e di sorgenti estere**
- **Conclusioni e sviluppi futuri**



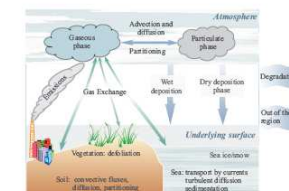
# I processi chimico-fisici in atmosfera

- **Emission**
- **Advection transport** and **turbulent diffusion** (POPs, HM)
- **Degradation** (gas phase reactions of POPs, Hg)
- **Partitioning** between the gaseous and particulate phase (**POPs, Hg**)
- **Wet** (gaseous and particulate phase) and **dry deposition** (particulate phase)



Regional multicompartment model MSCE-POP

Technical Report 5/2005



From: Gusev, A., Mantseva, E., Shatalov, V., Strukov, B. (2005). Regional Multicompartment Model MSCE-POP. EMEP/MSC-E Technical Report 5/2005.



# KPP

## gas-phase reactions

### #Equations

#### {Inorganic EMEP Acid Reactions}

{1} NO <sub>2</sub> + hv = NO :	phk(1); {fcm_saprc99_phk('NO2____',1e0,zenith);}
{2} O <sub>3</sub> + NO = NO <sub>2</sub> :	ARR(1.80e-12,1370.0e0,0.0e0);
{3} O <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> = NO <sub>3</sub> :	ARR(1.40e-13,2470.0e0,0.0e0);
{4} OH + NO <sub>2</sub> = HNO <sub>3</sub> :	FALL(2.43e-30, 0.0e0,-3.10e0,1.67e-11,0.0e0,-2.10e0,0.60e0);
{5} CCO_O <sub>2</sub> + NO <sub>2</sub> = PAN :	FALL(2.70e-28,0.0e0,-7.10e0,1.20e-11,0.0e0,-0.90e0,0.30e0);
{6} PAN = NO <sub>2</sub> :	FALL(4.90e-3,12100.0e0,0.0e0,4.0e+16,13600.0e0,0.e0,0.3e0);
{7} OH + SO <sub>2</sub> = H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :	FALL(4.00e-31,0.0e0,-3.30e0,2.00e-12,0.0e0,0.0e0,0.45e0);
{8} NO <sub>3</sub> + hv = NO :	phk(2); {fcm_saprc99_phk('NO3NO____',1e0,zenith);}
{9} NO <sub>3</sub> + hv = NO <sub>2</sub> :	phk(3); {fcm_saprc99_phk('NO3NO2____',1e0,zenith);}
{10} NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> = N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :	FALL(2.80e-30,0.0e0,-3.50e0,2.00e-12,0.0e0,0.20e0,0.45e0);
{11} N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> = NO <sub>2</sub> + NO <sub>3</sub> :	FALL(1.e-3,11000.0e0,-3.5e0,9.7e+14,11080.0e0,0.1e0,0.45e0);
{12} N <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + H <sub>2</sub> O = 2HNO <sub>3</sub> :	(2.60e-22);
{13} NO + NO <sub>3</sub> = 2NO <sub>2</sub> :	ARR(1.80e-11,-110.0e0,0.0e0);

#### {PAHs: Meylan and Howard, 1993 cited in SRC PhysProp Database}

{14} B[a]P + OH = PROD :	(5.000e-11);
{15} B[b]F + OH = PROD :	(1.860e-11);
{16} B[k]F + OH = PROD :	(5.360e-11);
{17} I[1,2,3-cd]P + OH = PROD :	(6.447e-11);

...



KPP-2.1 User's Manual  
*The Kinetic PreProcessor KPP*  
*An Environment for the*  
*Simulation of Chemical Kinetic Systems*

Adrian Sandu<sup>1</sup> & Rolf Sander<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Computer Science  
 Virginia Polytechnic Institute and State University  
 Blacksburg, Virginia 24060, USA  
 sandu@cs.vt.edu

<sup>2</sup> Air Chemistry Department  
 Max-Planck Institute of Chemistry  
 PO Box 3060, 55020 Mainz, Germany  
 sander@mch-mainz.mpg.de

This manual is part of the electronic supplement of our article "Technical note: Simulating chemical systems in Fortran90 and Matlab with the Kinetic PreProcessor KPP-2.1" in Atmos. Chem. Phys. (2005), available at: <http://www.atmos-chem-phys.org>

Date: 2005/07/15

# Partizionamento dei POPs (gas/aerosol)

*Frazione di POP adsorbita ( $\phi^{ad}$ ) e assorbita ( $\phi^{ab}$ ) sulle particelle di aerosol*

$$\phi = \frac{C_P}{C_P + C_G} =$$

$C_P, C_G$

concentrazione del generico POP  
nelle fasi particellare e gassosa

**Particolato di origine minerale**

## **ADSORPTION**

*Junge-Pankow model*

$p_{OL}[\text{Pa}]$ : pressione di vapore liquido  
sottoraffreddato;

$c [\text{Pa m}]$ : costante il cui valore è assunto  
pari a 0.17;

$\theta [\text{m}^2 \text{m}^{-3}]$ : superficie specifica dell'aerosol;



**Particolato contiene materiale organico**

## **ABSORPTION**

*Octanol-air partition model*

$TSP [\mu\text{g m}^{-3}]$ : concentrazione di particolato

$K_p [\text{m}^3 \mu\text{g}^{-1}]$ : coefficiente di partizionamento  
gas-aerosol (funzione di  $K_{OA}$   
coefficiente di partiz. di ciascun  
POP tra aria e ottanolo,  
descrittore delle proprietà di  
volatilità).



$$= \left\{ \begin{array}{l} \phi^{ad} = \frac{c \cdot \vartheta}{(p_{OL} + c \cdot \vartheta)} \\ \phi^{ab} = \frac{K_p \cdot TSP}{1 + K_p \cdot TSP} \end{array} \right.$$

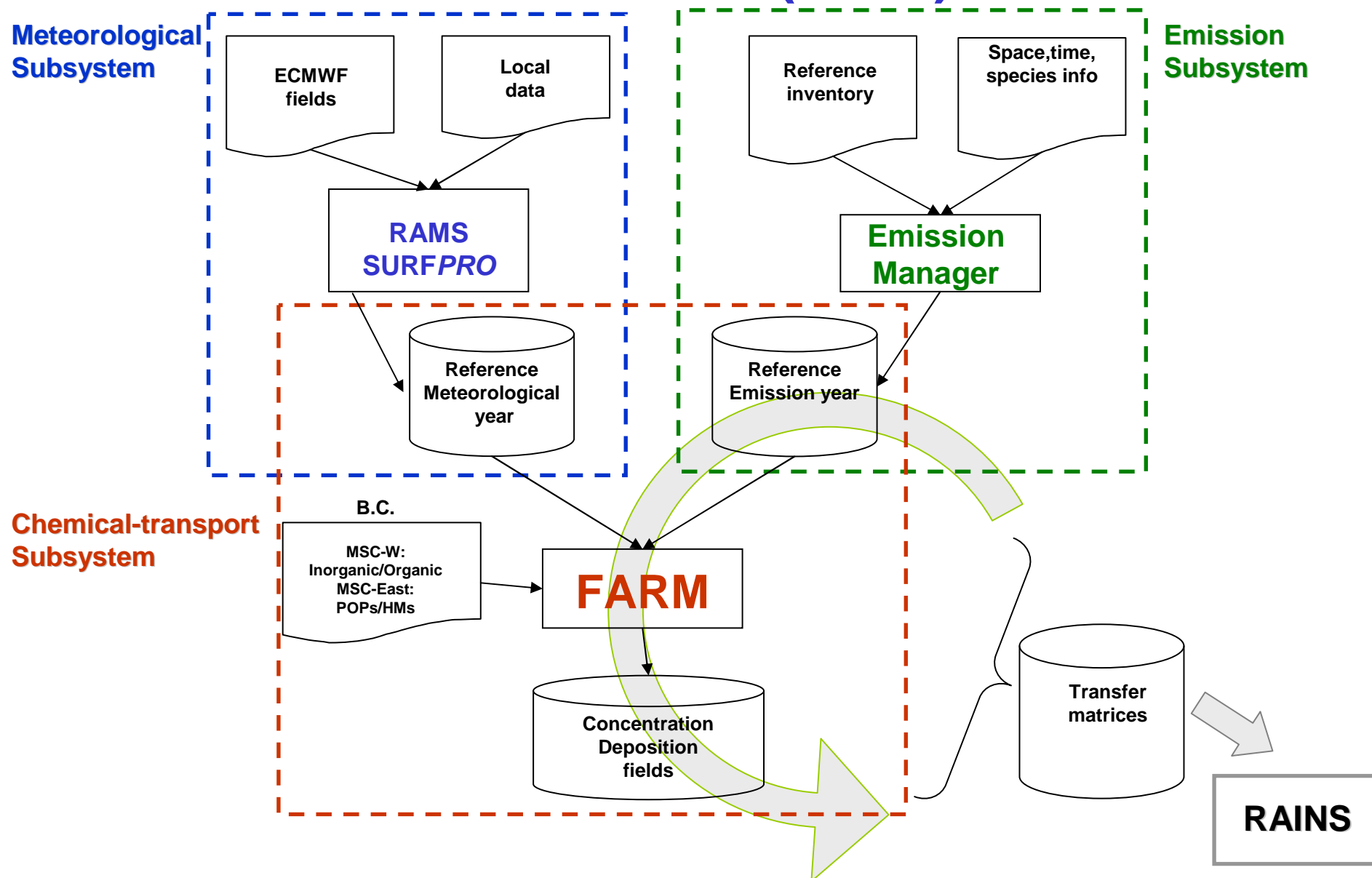
# Caratteristiche della simulazione

- **Il Progetto MINNI**
- **I processi chimico-fisici**
- **Caratteristiche della simulazione**
- **Risultati della simulazione:**
  - ✓ confronto con i campi EMEP e con le osservazioni
  - ✓ Contributo delle emissioni naturali (risospensione dai suoli e dal mare)
  - ✓ “*Source Apportionment*”: contributi settoriali e di sorgenti estere
- **Conclusioni e sviluppi futuri**

# Caratteristiche della simulazione

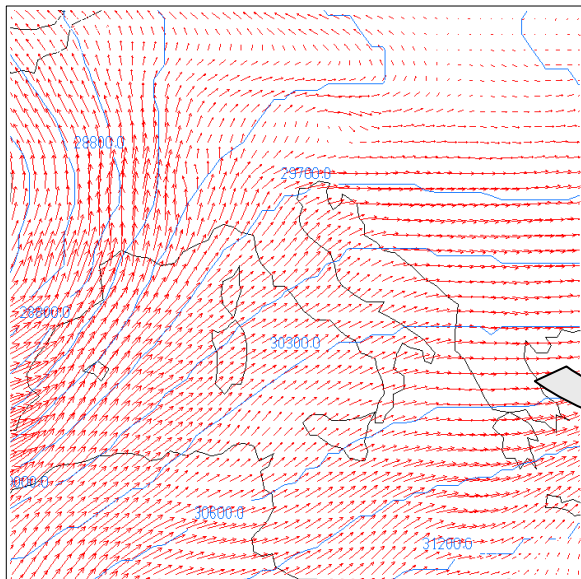
- **Periodo: 1 gennaio – 31 dicembre 2005**
- **Dominio: griglia nazionale IT**
  - **20 km risoluzione, 67 x 75 celle**
  - **16 livelli verticali, tra 20 e 10000 m**
- **Meccanismo chimico: POPs-Hg (fase particellare, ad/assorbimento)**
- **Meteorologia: MINNI 2005**
- **Emissioni antropiche: sorgenti nazionali ed estere**
- **Emissioni naturali: risospensione dai suoli e sali marini**
- **Condizioni al contorno: EMEP MSC-E (microinquinanti) + MSC-W (macroinquinanti)**
- **Concentrazioni orarie 3D delle specie di background: da run MINNI 2005 macroinquinanti (SAPRC90+aero3)**

# Il sistema modellistico atmosferico (SMA)

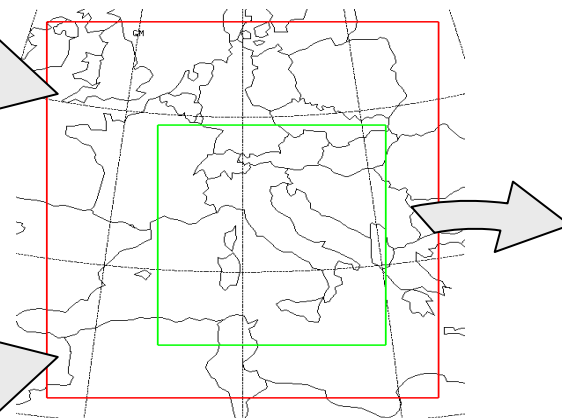


# Modulo Meteorologico

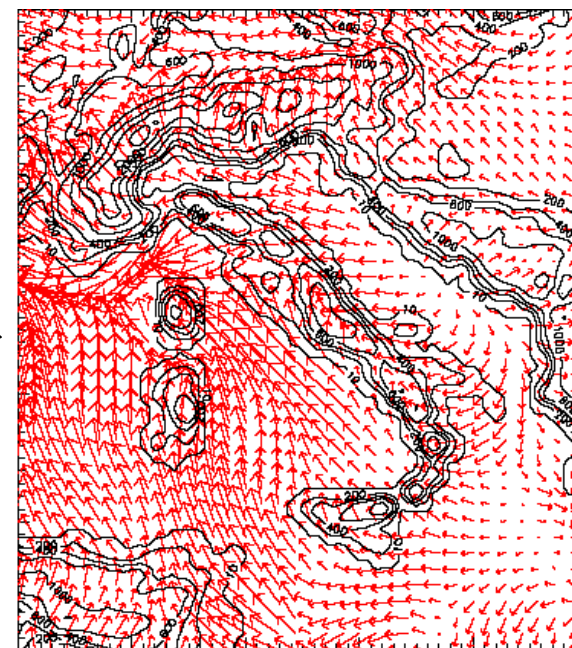
ECMWF fields



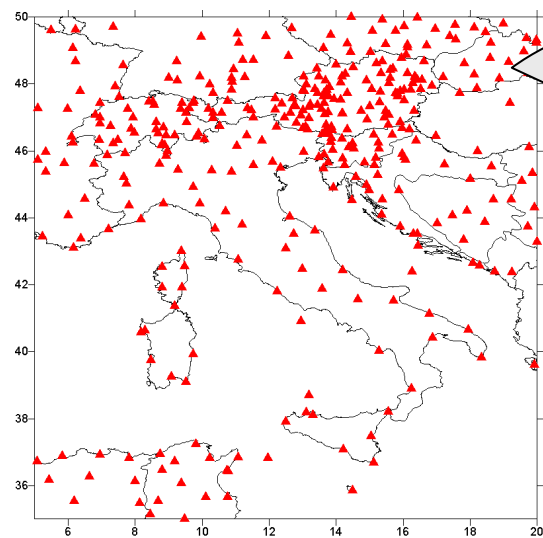
RAMS  
1 | 2 grids, 4DDA



Re-analysis



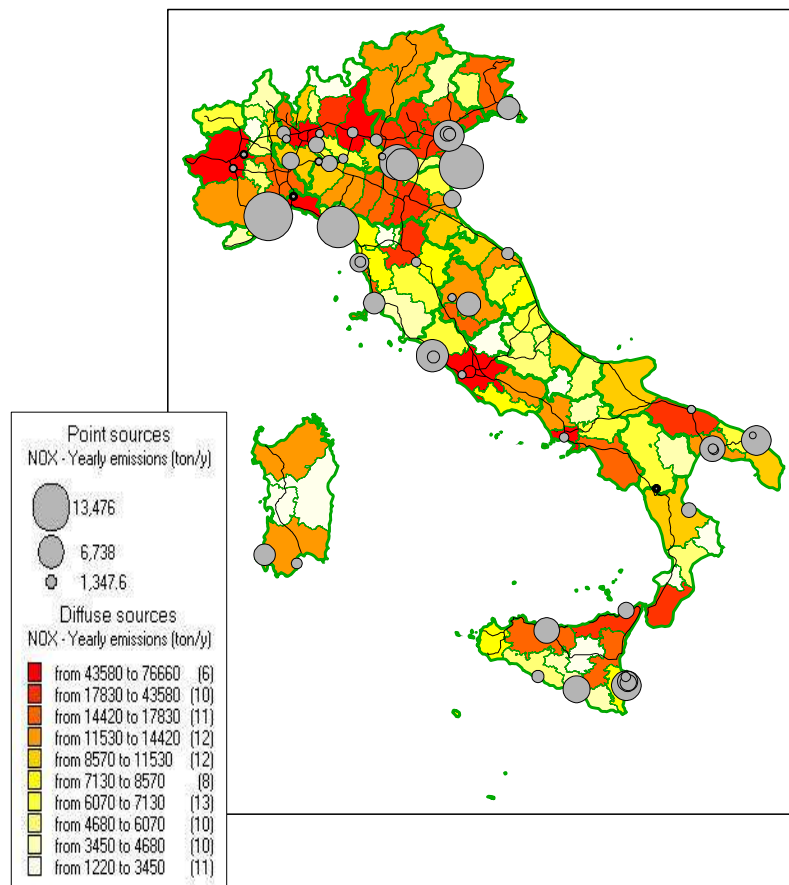
SYNOPSIS



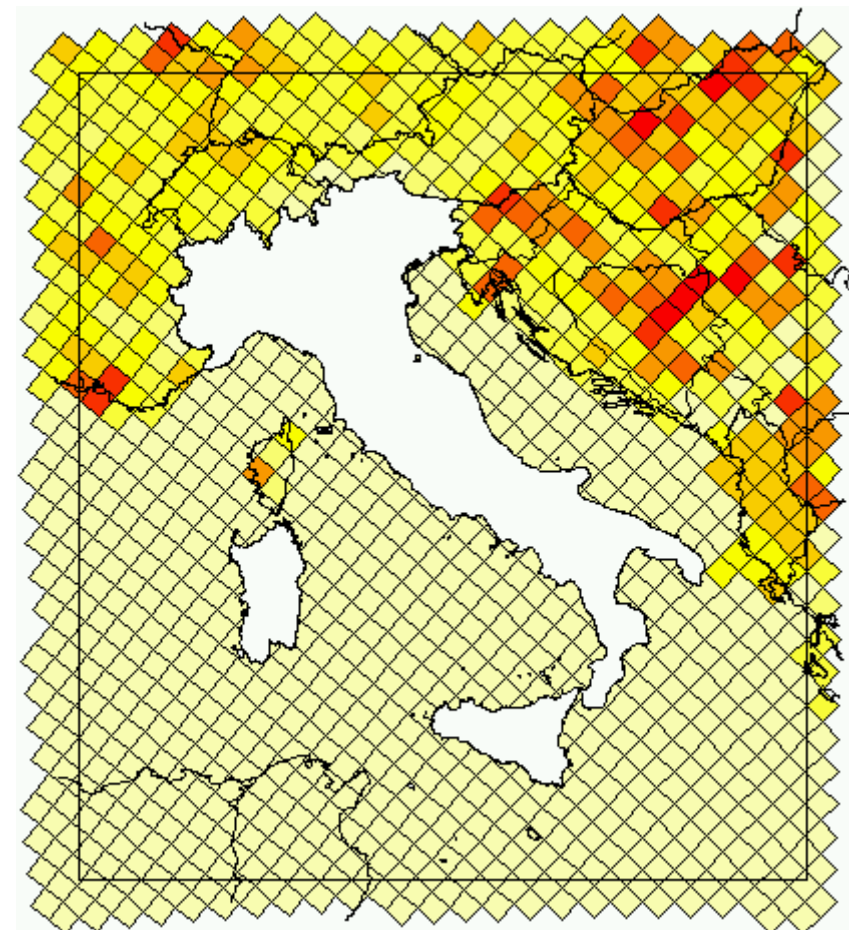
# Modulo Emissivo

## Integrazione di inventari

**National emission inventory  
by province and sector (NUTS3 and SNAP2/3) +  
LPS (~140)**



**Emissions of surrounding  
countries from EMEP**





# Emissioni nazionali di HM, PCDD/F ed IPA.

## Emissioni espresse in [kg anno<sup>-1</sup>]

<i>Comparti emissivi</i>	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Cu	Se	Zn	PCDD/F	IPA
<i>Produzione energetica</i>	4132.6	169.2	<b>20405.0</b>	1098.6	20437.1	3917.8	6160.3	3624.5	5952.2	14.7	470.6
<i>Combustione non industriale</i>	765.3	<b>2944.4</b>	4448.3	2477.5	<b>61891.0</b>	40596.5	5954.9	69.3	30069.2	41.8	<b>48680.8</b>
<i>Combustione nell'industria</i>	<b>34462.6</b>	<b>3275.5</b>	<b>16777.5</b>	<b>3354.6</b>	14535.3	<b>141681.2</b>	<b>26119.7</b>	<b>6533.9</b>	216691.1	<b>116.3</b>	2273.0
<i>Processi produttivi</i>	277.1	1523.7	10891.6	<b>3354.2</b>	4427.4	<b>74178.4</b>	7050.1	918.1	<b>613534.1</b>	<b>78.6</b>	<b>43798.6</b>
<i>Solventi</i>											11.3
<i>Trasporto su strada</i>		363.0	1815.1		2541.1		<b>61713.6</b>	363.0	<b>36302.1</b>	2.6	2677.7
<i>Altre sorgenti mobili</i>	108.2	19.7	80.6		3839.0	878.2	606.9	315.8	707.8	0.5	336.7
<i>Trattamento Rifiuti</i>	29.1	155.6	318.2	151.7	1020.6	3832.3	414.2	3.0	2107.0	39.6	33895.7
<b>TOTALE</b>	<b>39774.9</b>	<b>8451.1</b>	<b>54736.3</b>	<b>10436.5</b>	<b>108691.5</b>	<b>265084.5</b>	<b>108019.6</b>	<b>11827.6</b>	<b>905363.5</b>	<b>294.0</b>	<b>132144.2</b>

# Agreement between ENEA and Meteorological Synthesizing Centres of EMEP (MSC-E, MSC-W)

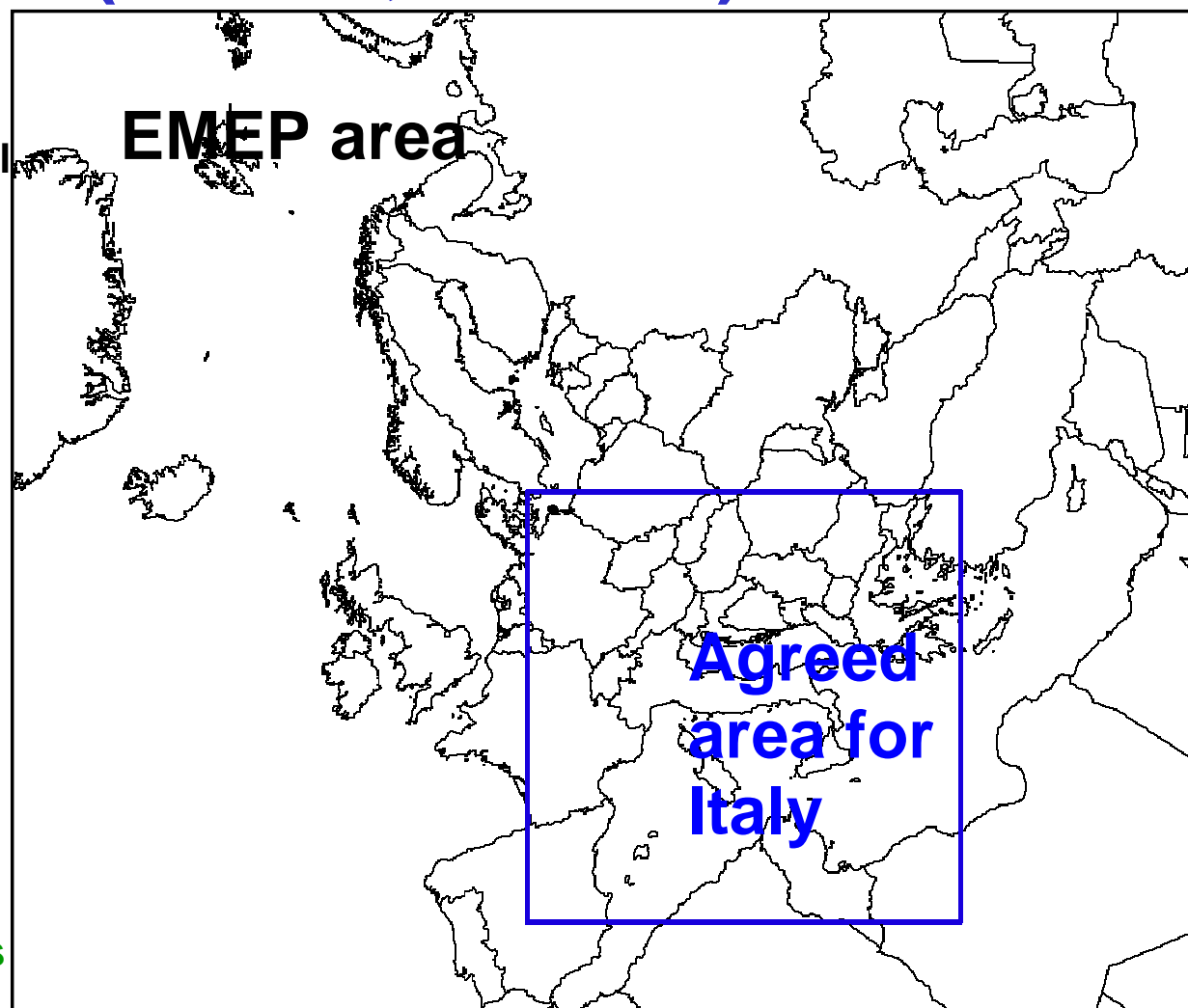
Air concentration calculations  
over EMEP domain for 2005 to  
be used as BCs for the national  
MINNI modelling system:

## MSC-E

- HMs:
  - Pb, Cd, Hg, As, Ni, Cr, Zn,  
Cu, Se;
- POPs:
  - 4 indicator PAHs;
  - $\gamma$ -HCH;
  - HCB;
  - 17 congeners of PCDD/Fs;
  - 5 congeners PCBs.

## MSC-W:

- O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, VOCs, aerosols

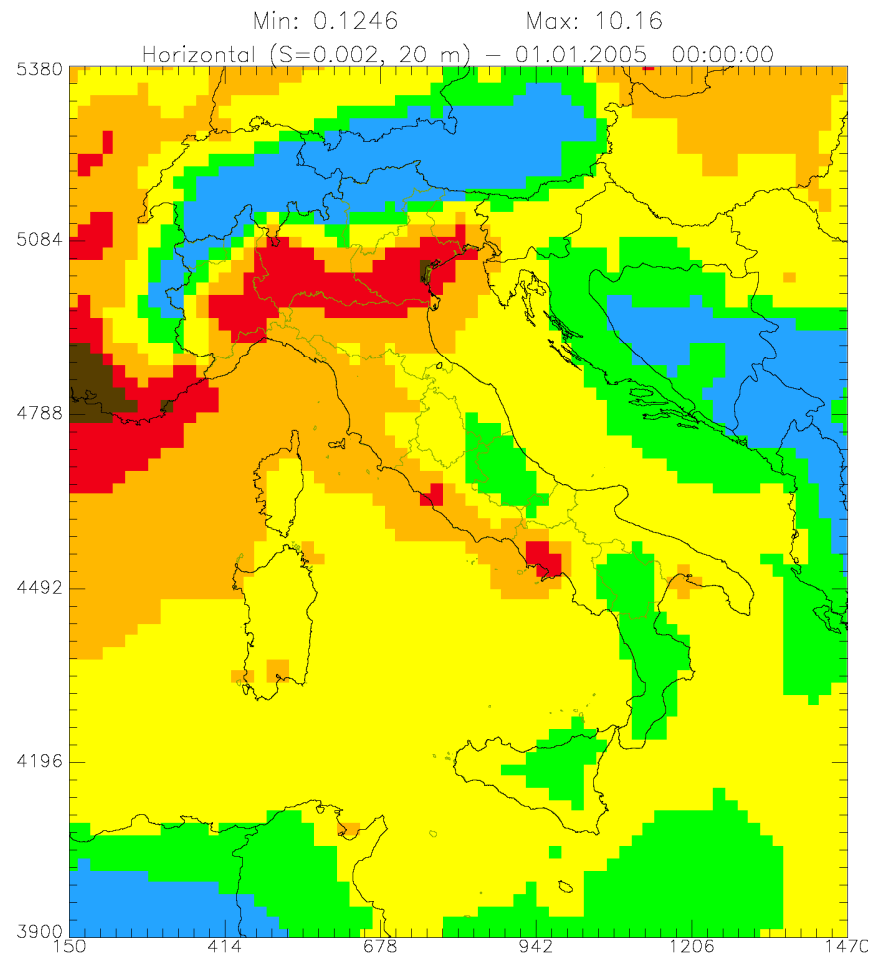


# Risultati della simulazione confronto con i campi EMEP e con le osservazioni

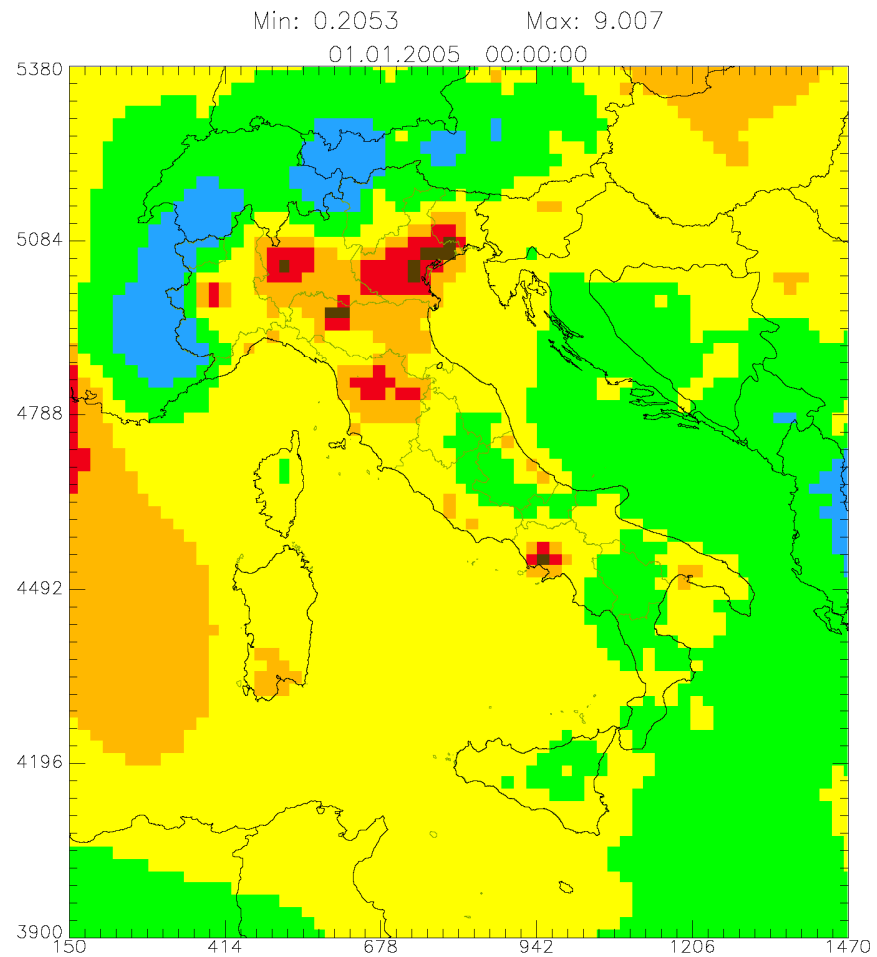
- **Il Progetto MINNI**
- **I processi chimico-fisici**
- **Caratteristiche della simulazione**
- **Risultati della simulazione:**
  - ✓ **confronto con i campi EMEP e con le osservazioni**
  - ✓ **Contributo delle emissioni naturali (risospensione dai suoli e dal mare)**
  - ✓ **“*Source Apportionment*”: contributi settoriali e di sorgenti estere**
- **Conclusioni e sviluppi futuri**

# Concentrazioni medie annuali di As

**EMEP (50 km res.)**

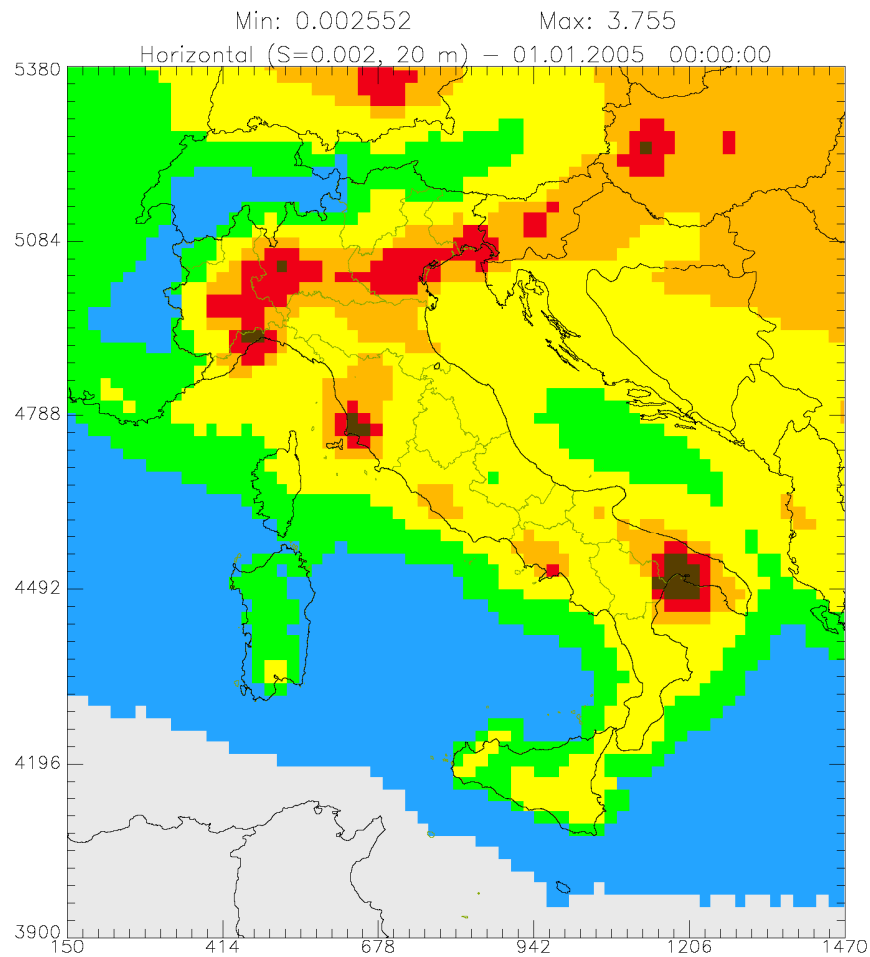


**MINNI (20 km res.)**

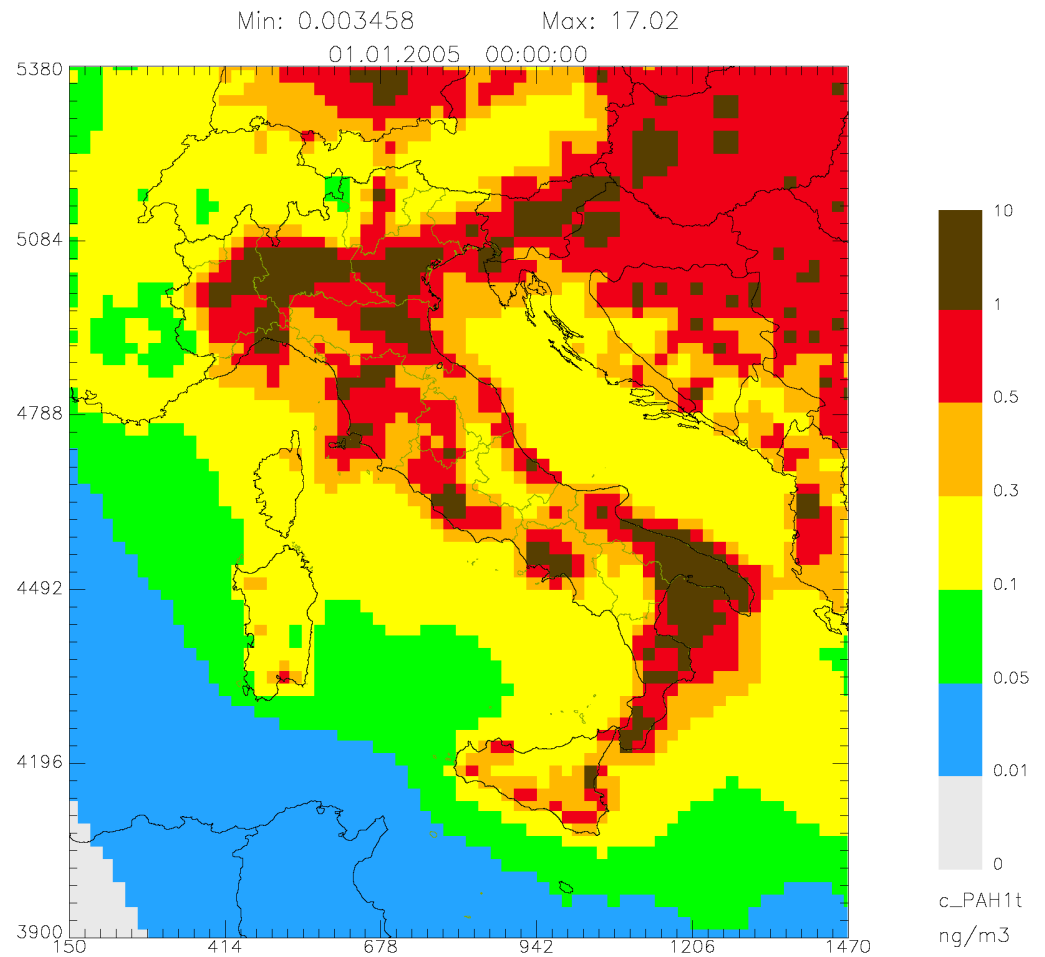


# Concentrazioni medie annuali di B[a]P

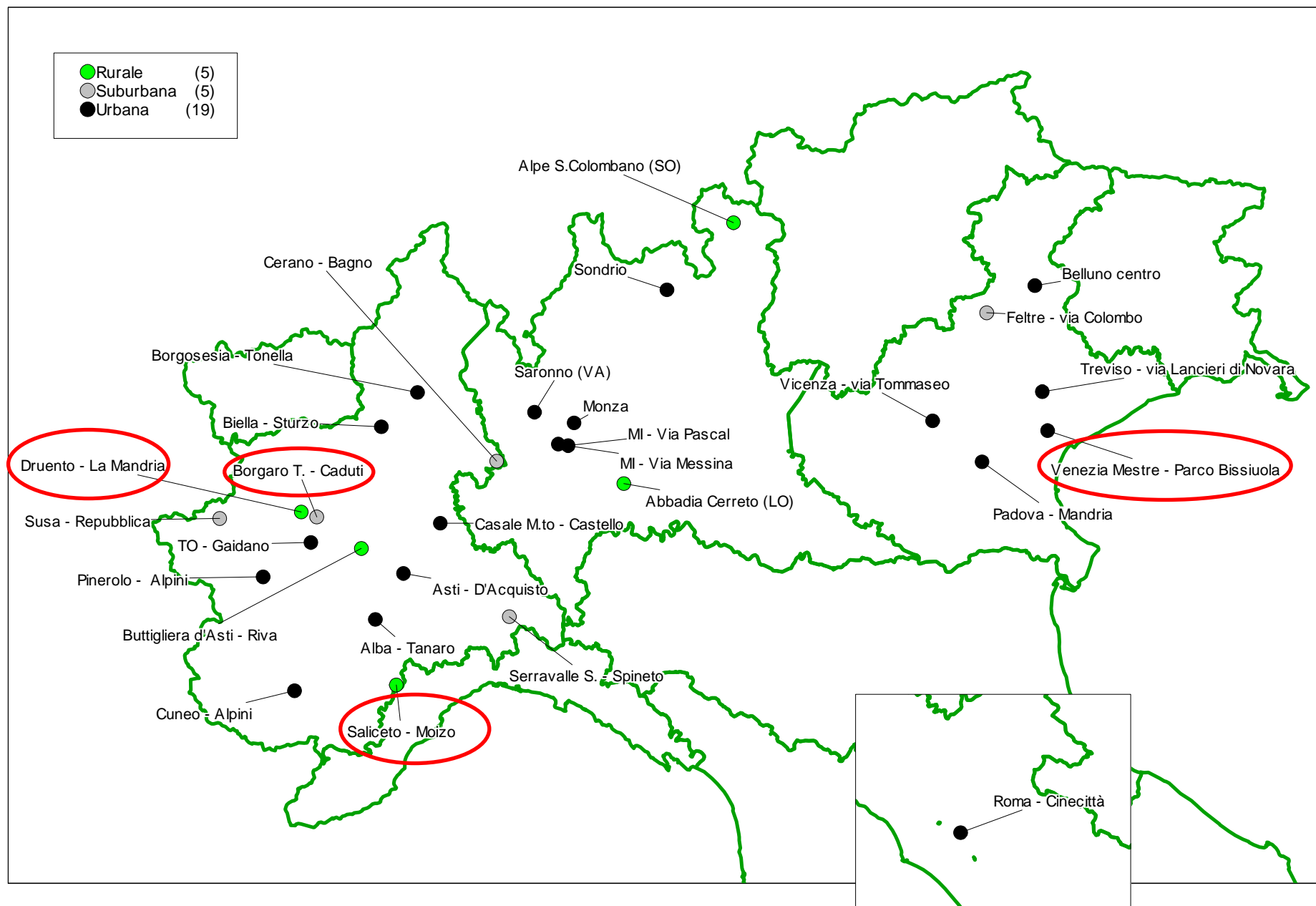
**EMEP (50 km res.)**



**MINNI (20 km res.)**



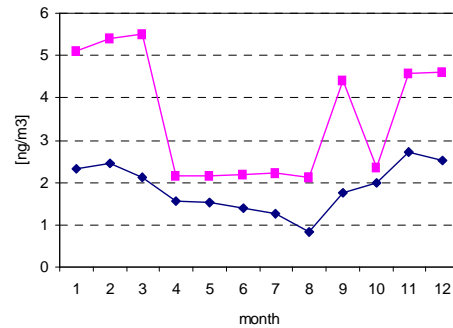
# Siti di campionamento



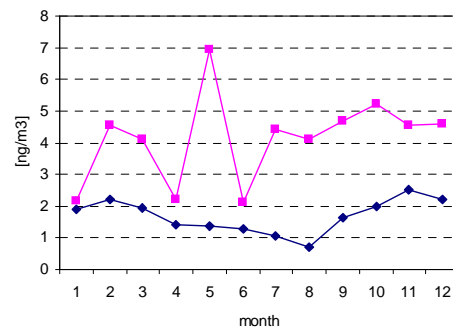
# Concentrazioni medie annuali di As

Stazioni con copertura min. 50%

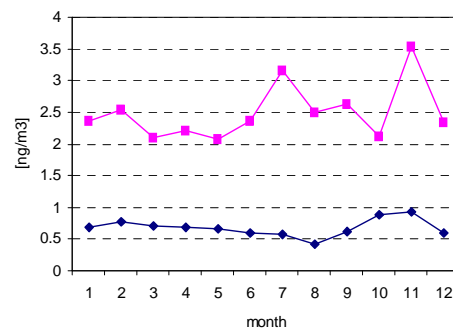
Borgaro T. (TO) -SU



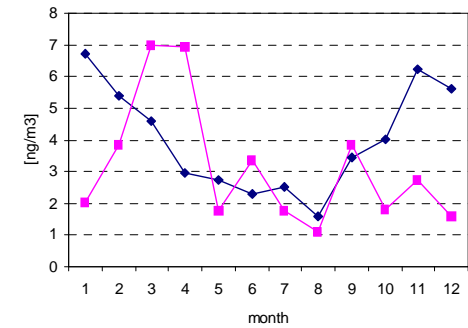
Druento (TO) - R



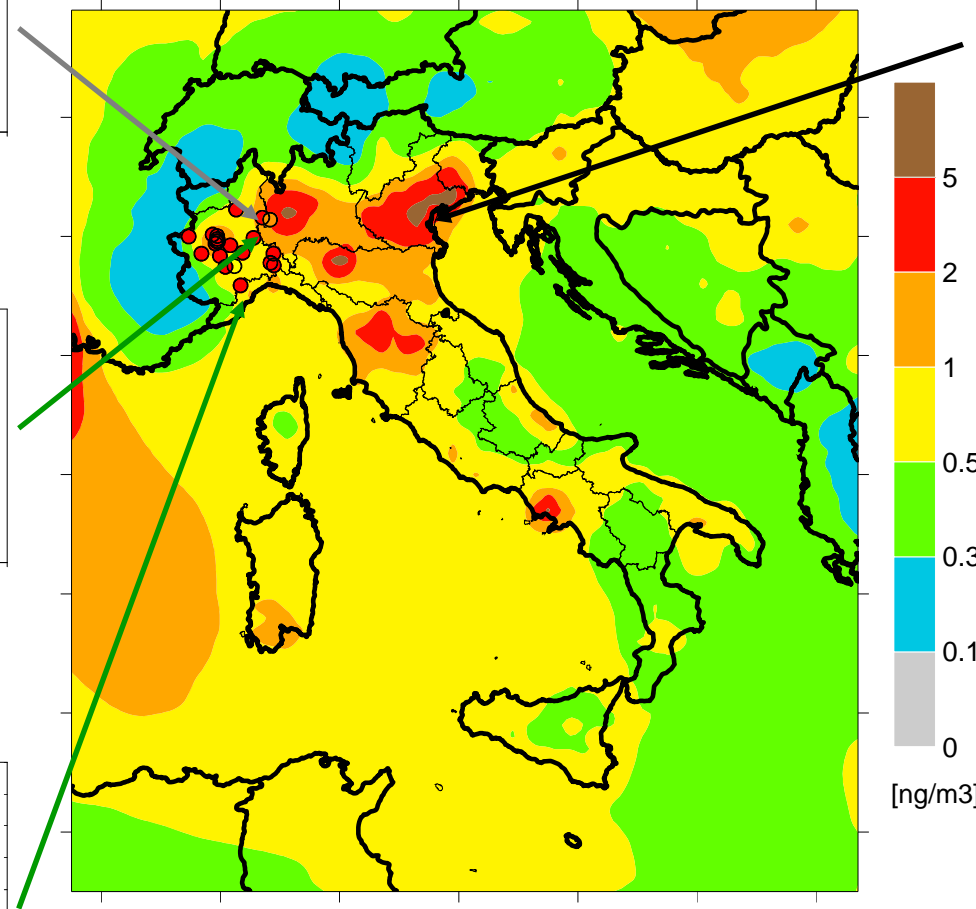
Saliceto (CN) - R



Mestre (VE) - U



Computed  
Observed



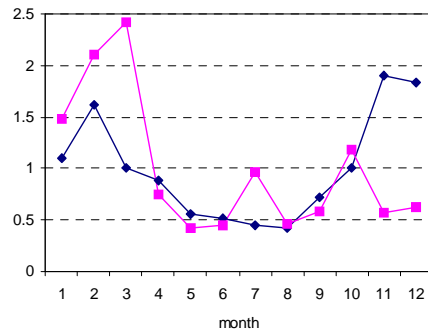
Valore obiettivo 6 ng m<sup>-3</sup>



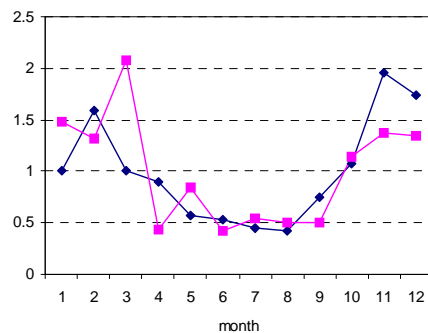
# Concentrazioni medie annuali di Ni

Stazioni con copertura min. 50%

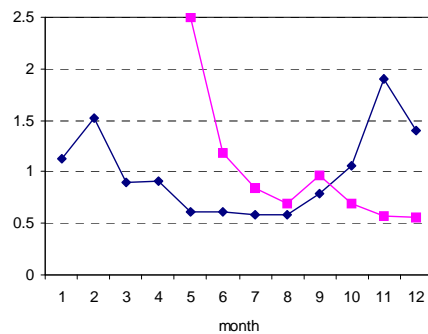
Borgaro T. (TO) -SU



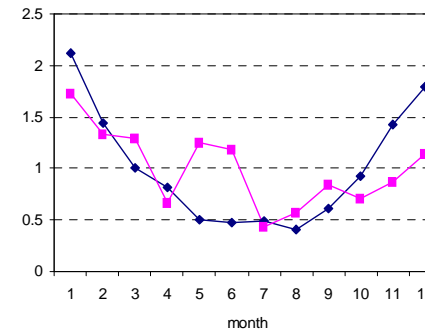
Druento (TO) - R



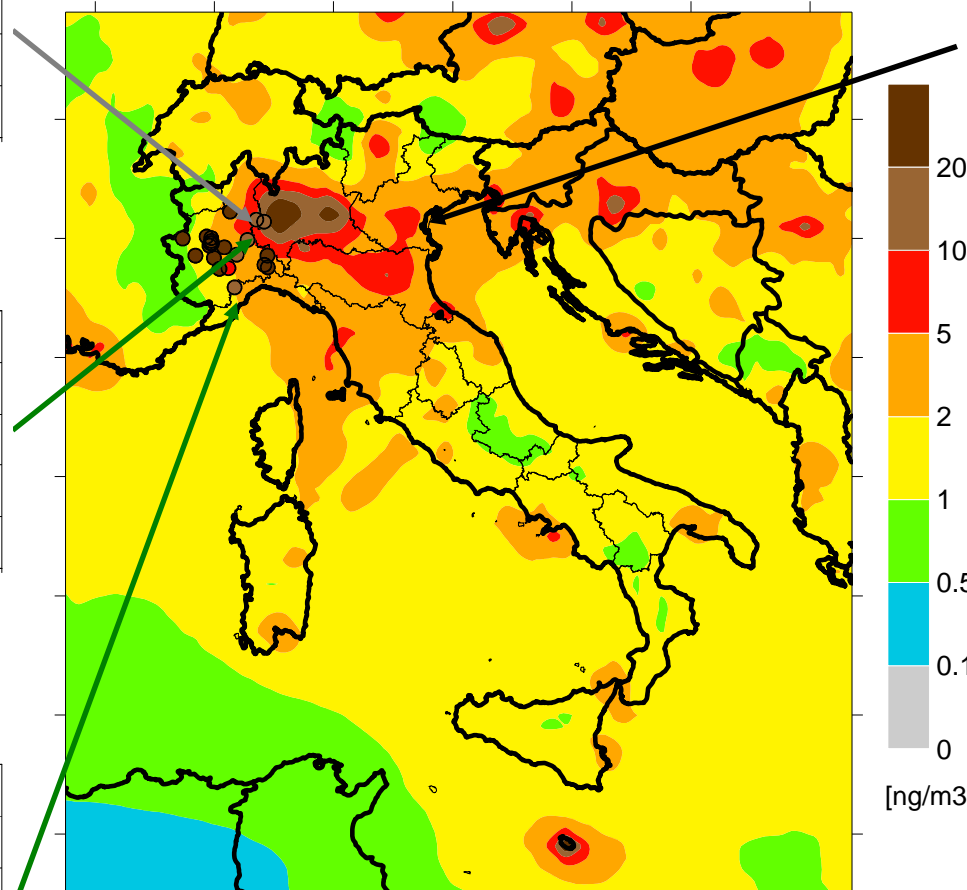
Saliceto (CN) - R



Mestre (VE) - U



Computed  
Observed

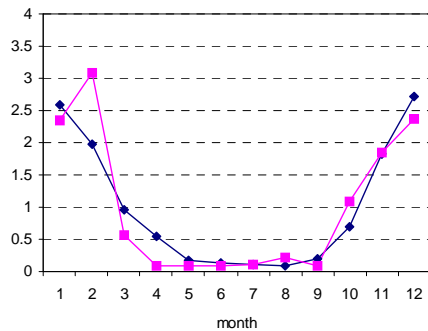


Valore obiettivo 20 ng m<sup>-3</sup>

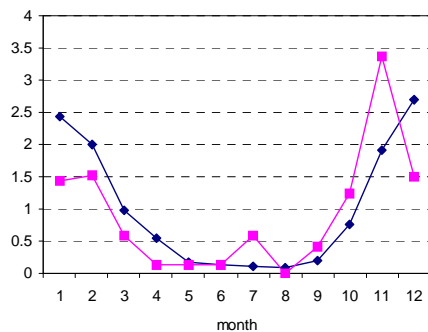
# Concentrazioni medie annuali di B[a]P

Stazioni con copertura min. 50%

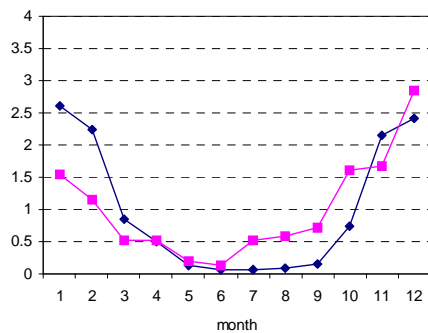
Borgaro T. (TO) - SU



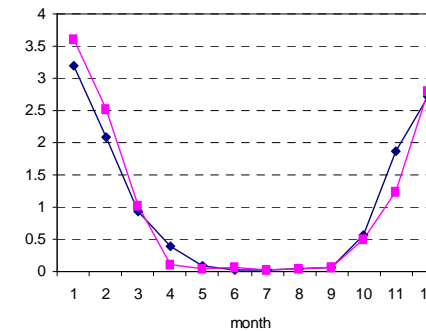
Druento (TO) - R



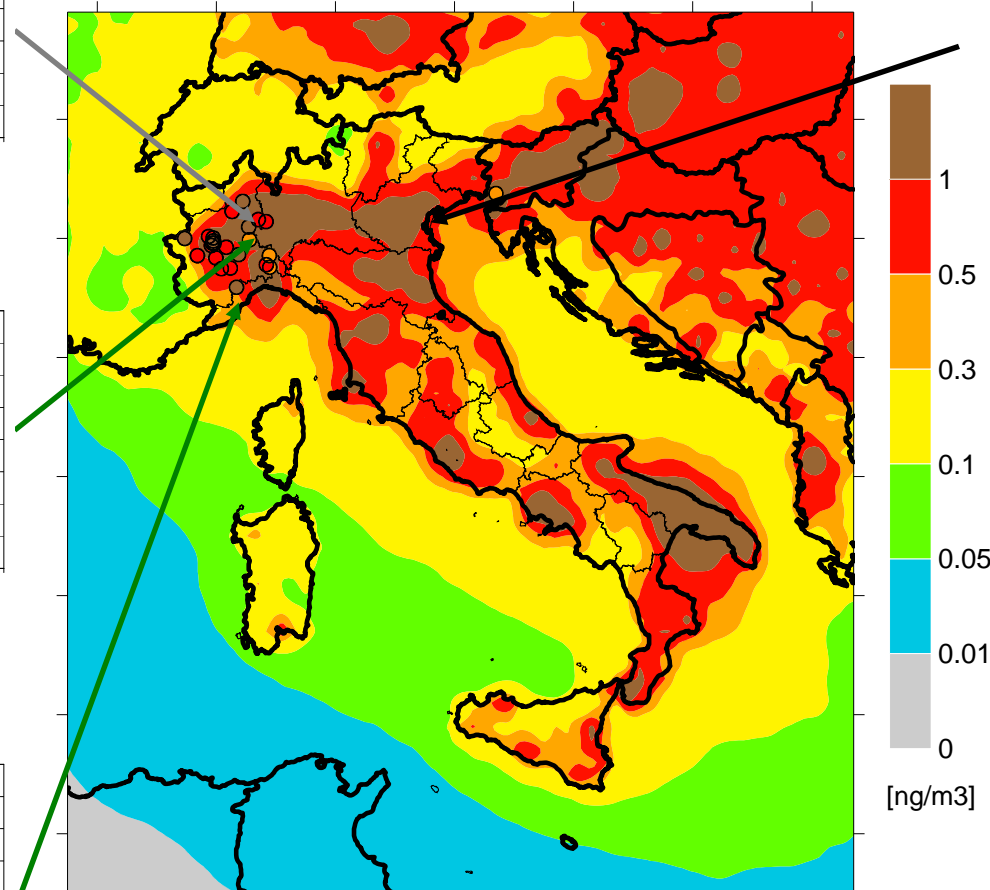
Saliceto (CN) - R



Mestre (VE) - U



Computed  
Observed



Valore obiettivo 1 ng m<sup>-3</sup>

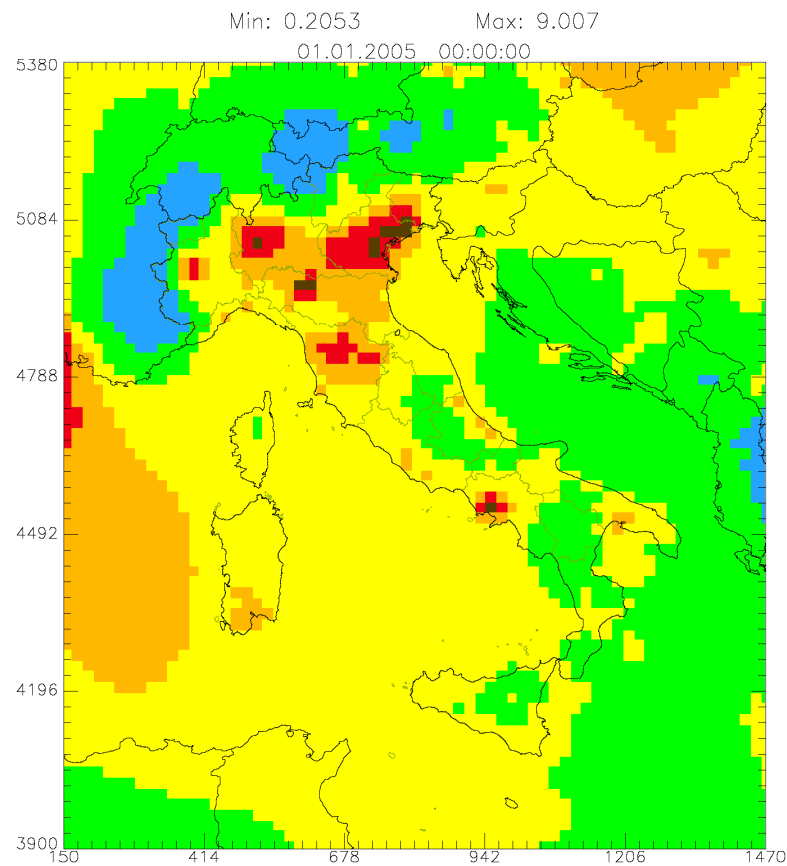
# **Risultati della simulazione**

## **Contributo delle emissioni naturali (risospensione dai suoli e dal mare)**

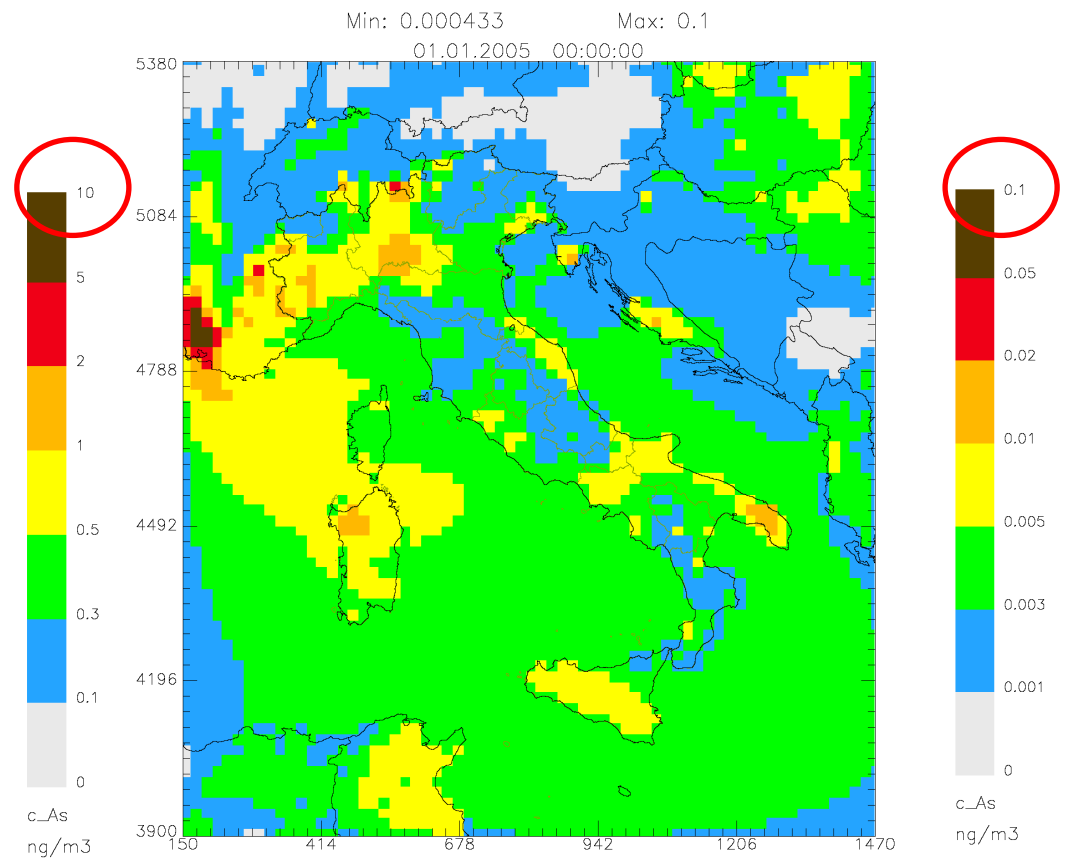
- **Il Progetto MINNI**
- **I processi chimico-fisici**
- **Caratteristiche della simulazione**
- **Risultati della simulazione:**
  - ✓ **confronto con i campi EMEP e con le osservazioni**
  - ✓ **Contributo delle emissioni naturali (risospensione dai suoli e dal mare)**
  - ✓ **“Source Apportionment”: contributi settoriali e di sorgenti estere**
- **Conclusioni e sviluppi futuri**

# Year average of As MINNI

All sources



Wind re-suspension from soil and  
seawater



The contribution from soil and seawater is about 1%

# Risultati della simulazione

## “Source Apportionment”: contributi settoriali e di sorgenti estere

- **Il Progetto MINNI**
- **I processi chimico-fisici**
- **Caratteristiche della simulazione**
- **Risultati della simulazione:**
  - ✓ **confronto con i campi EMEP e con le osservazioni**
  - ✓ **Contributo delle emissioni naturali (risospensione dai suoli e dal mare)**
  - ✓ **“Source Apportionment”: contributi settoriali e di sorgenti estere**
- **Conclusioni e sviluppi futuri**

# ***“Source apportionment”***

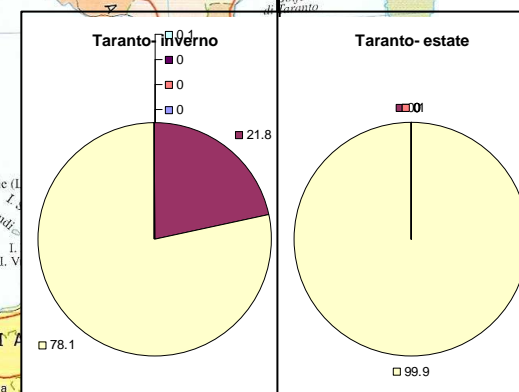
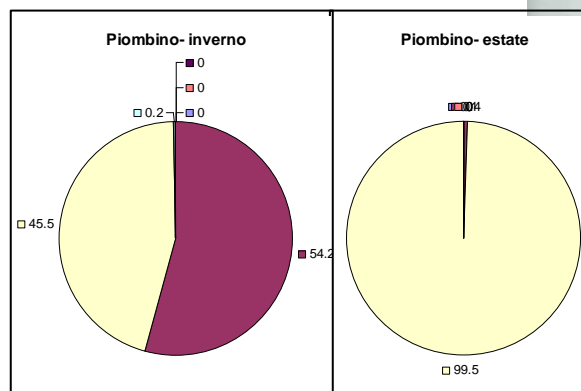
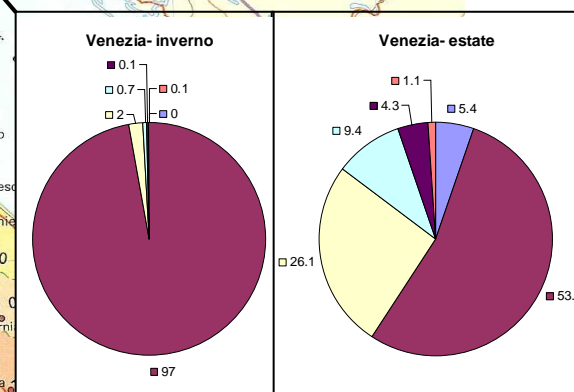
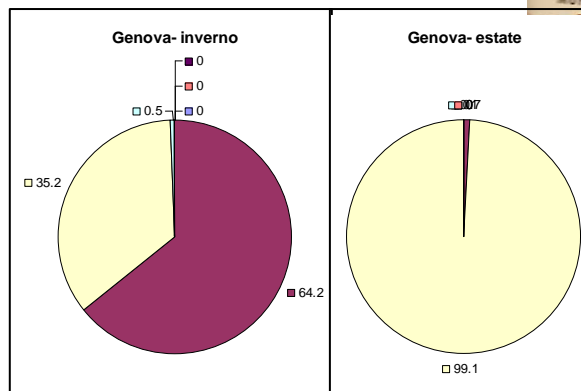
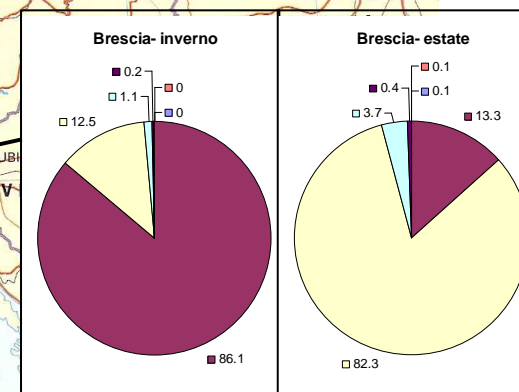
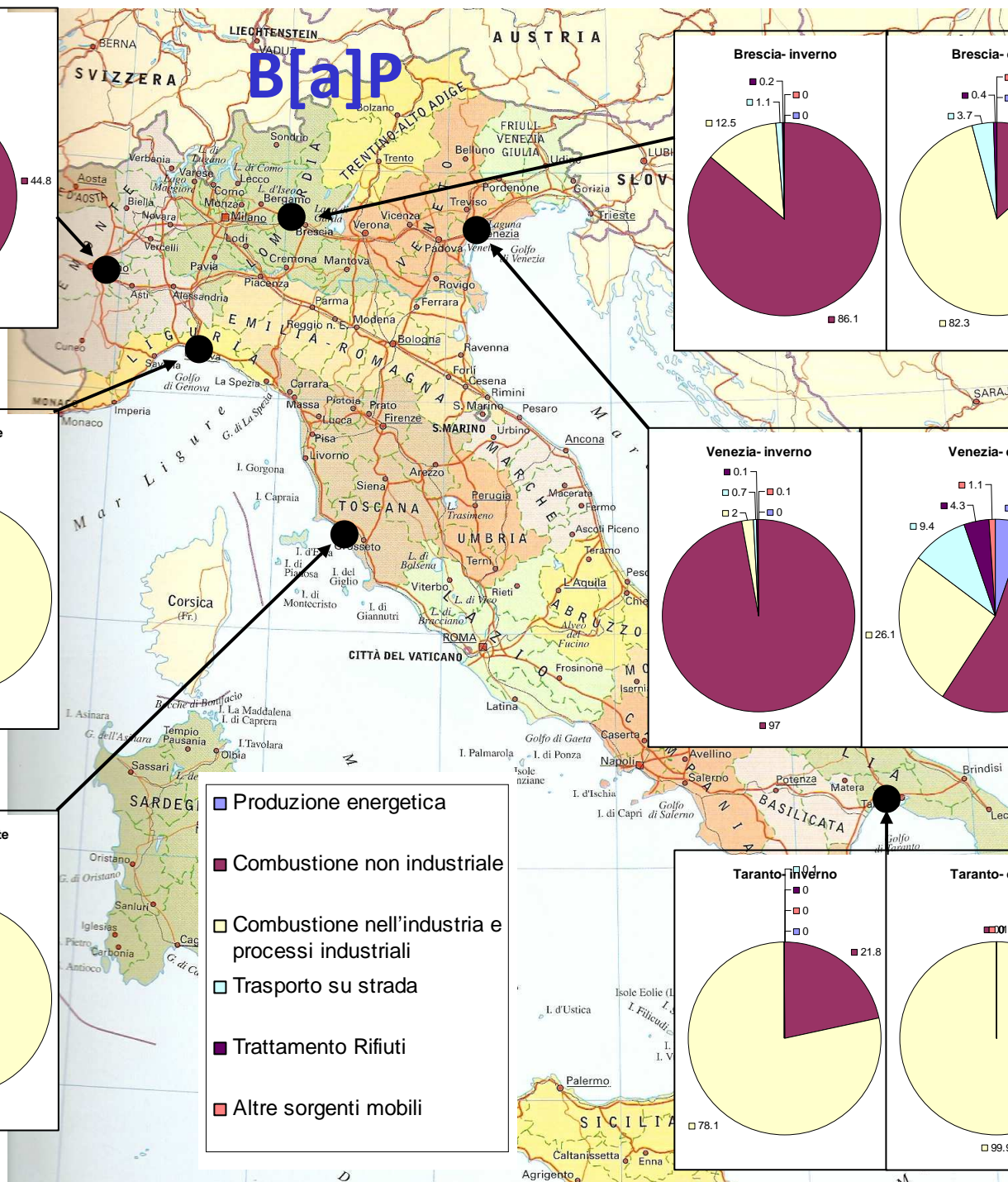
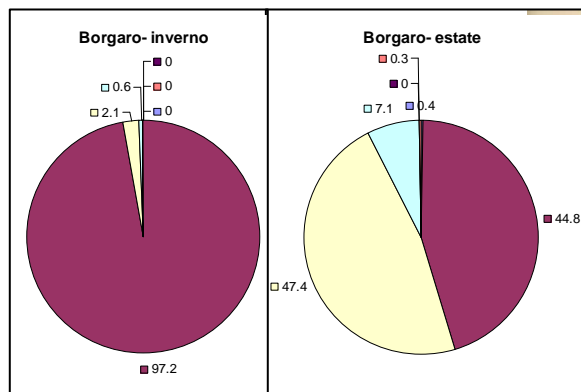
## **Contributi settoriali:**

Realizzato mediante una serie di simulazioni del modello di qualità dell'aria effettuate variando le emissioni di gruppi di sorgenti di interesse (sensitivity runs) e confrontando i risultati con quelli relativi ad uno scenario emissivo di riferimento nel quale sono considerate tutte le sorgenti (base case).

Le simulazioni di sensibilità sono state effettuate per due mesi, rappresentativi rispettivamente di condizioni invernali (gennaio) ed estive (luglio), riducendo di un fattore posto pari al -20% le emissioni nazionali associate ai diversi settori di attività.

## **Sorgenti estere:**

Il contributo delle emissioni dei paesi esteri alle concentrazioni medie di microinquinanti in ciascun punto griglia ricadente in territorio italiano è stato stimato effettuando due ulteriori simulazioni: la prima annullando le concentrazioni al contorno (contributo “long-range”) e la seconda annullando sia le concentrazioni al contorno sia le emissioni dei paesi esteri poste all'interno del dominio di simulazione nazionale (contributo estero complessivo).

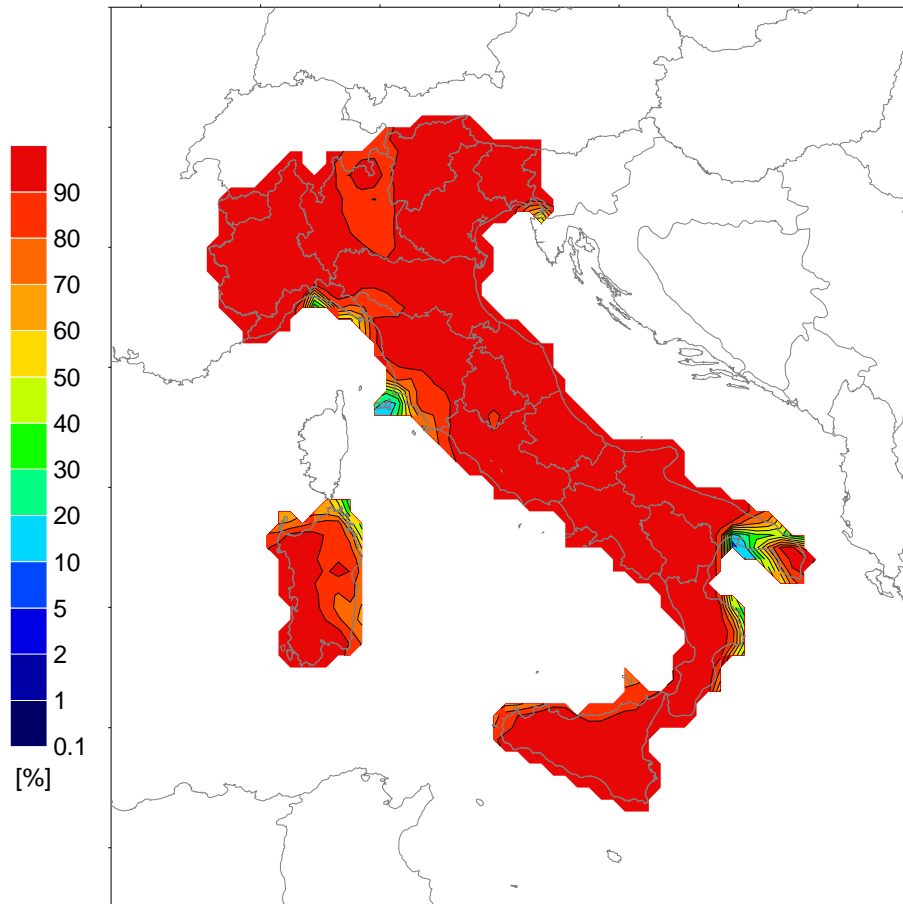




# B[a]P

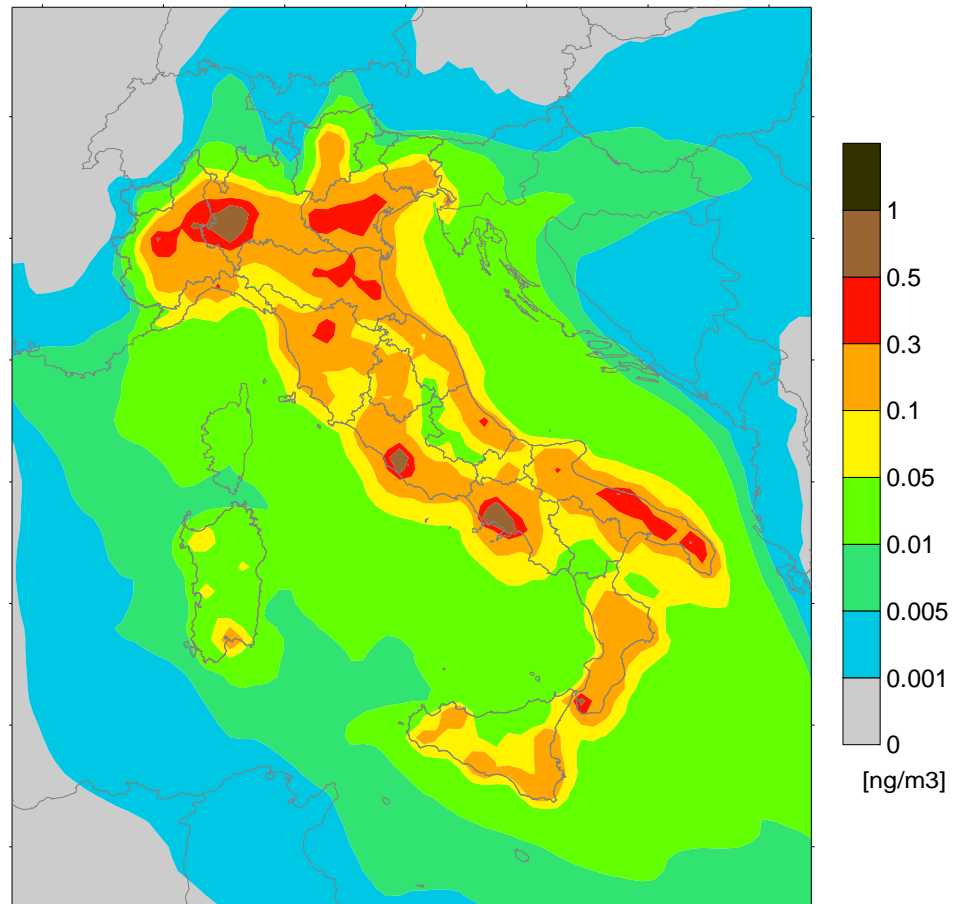
## Non-industrial combustion, residential and commercial (Sector 2)

Contribution %



Rapporto fra la variazione assoluta  
e la somma di tutte le variazioni

Variation  $\Delta_i$

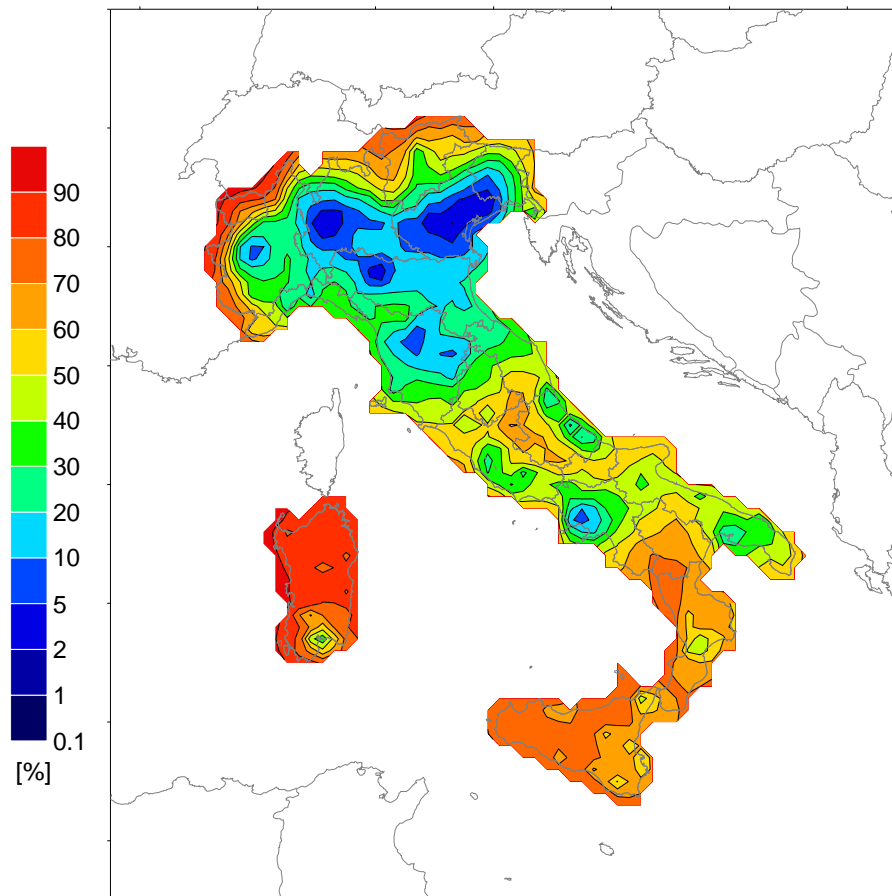


Variazione assoluta rispetto al caso base

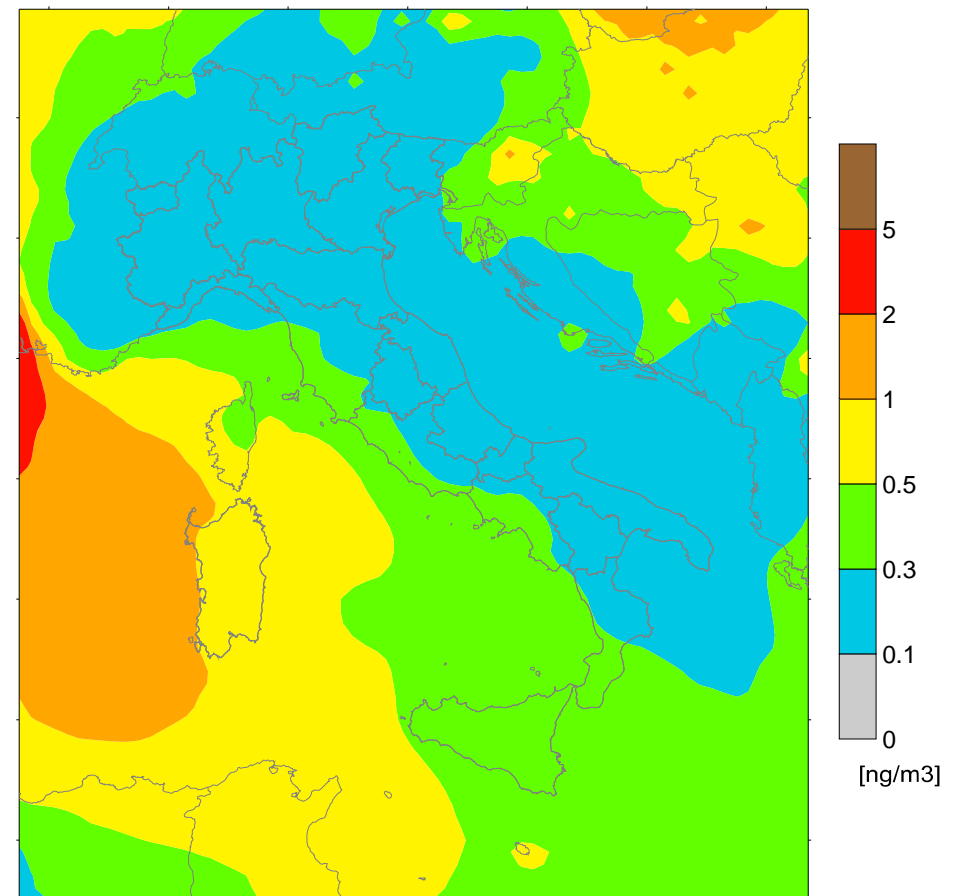
# Arsenico

Distribuzione territoriale dei contributi delle sorgenti extra-nazionali  
alle concentrazioni medie annuali

**contributi percentuali**



**variazioni assolute**



## Conclusioni e sviluppi futuri

I risultati forniti dal presente lavoro evidenziano :

- la validità del sistema modellistico nel suo complesso per lo studio dei processi che influenzano le concentrazioni di POP e metalli pesanti;
- l'utilità della tecnica di "source apportionment" ai fini della valutazione dei contributi delle diverse sorgenti sulle concentrazioni dei diversi inquinanti sul territorio, presupposto (come peraltro richiesto dalla normativa europea e dal DL 155) alla messa a punto di azioni mirate di controllo delle emissioni.

Sviluppi futuri:

- Effettuazione di simulazioni per anni successivi (maggiore disponibilità di dati sperimentali);
- Aumento della risoluzione spaziale;
- versione del modello FARM che implementa il meccanismo chimico SAPRC99 ed il modulo di aerosol aero3 al trattamento dei metalli e dei POPs (coerente con il DL 155).

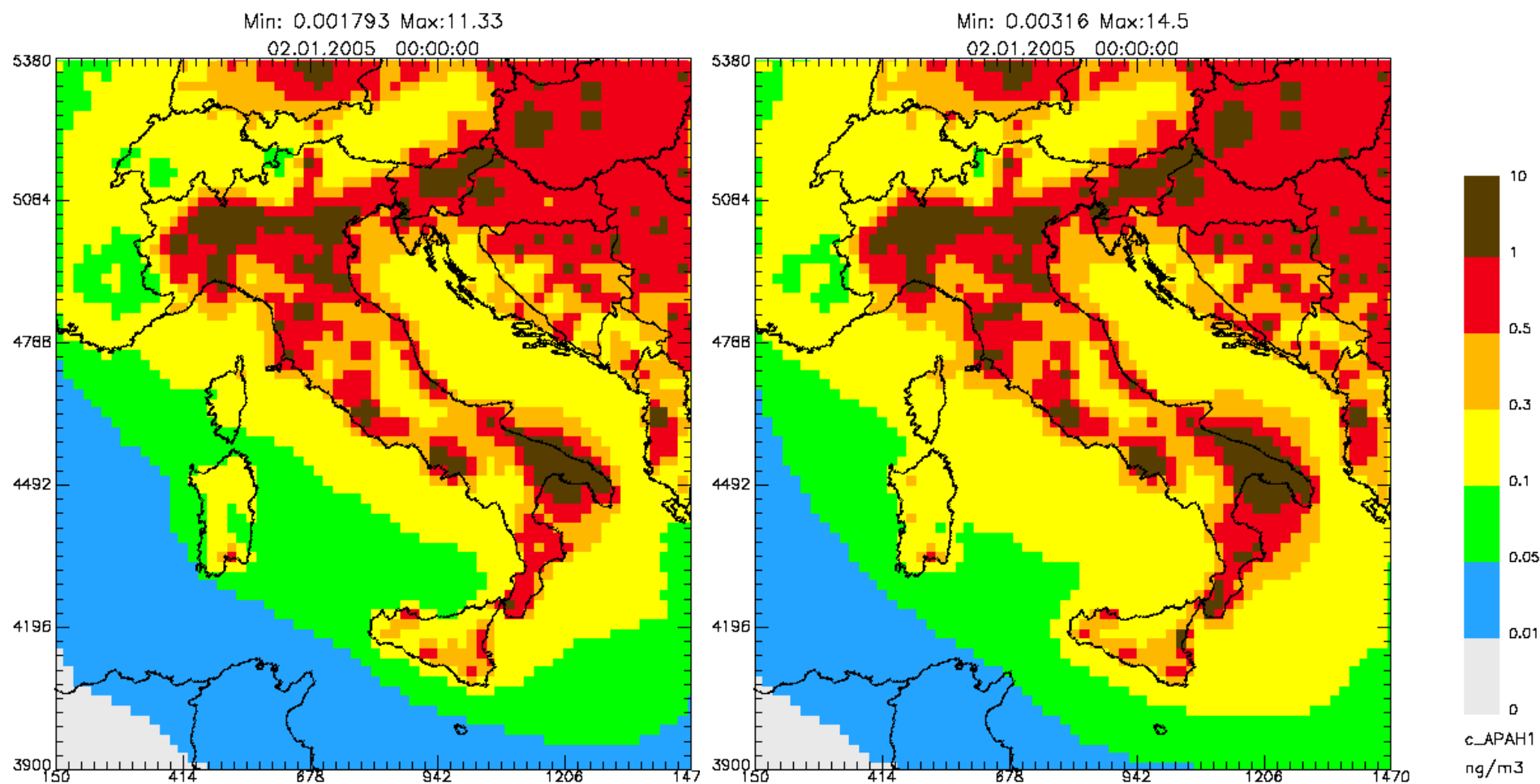
# Risultati preliminari versione SAPRC99-POPs

Concentrazioni medie annuali di B[a]P

fase aerosol

POPs-Hg

SAPRC99-POPs



The partitioning and heterogeneous degradation of B[a]P is derived from Aulinger *et al.*  
(Institute of Coastal Research, Helmholtz-Zentrum Geesthacht)

# Risultati preliminari versione SAPRC99-POPs

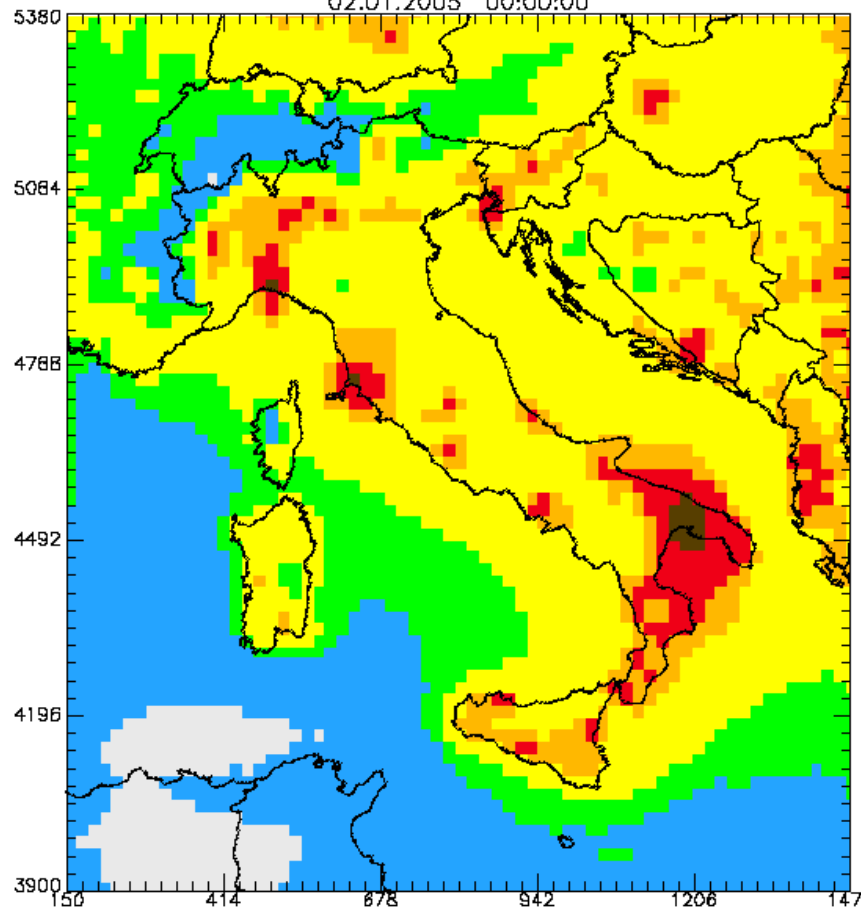
Concentrazioni medie annuali di B[a]P

fase gas

POPs-Hg

Min: 0.0004562 Max:4.312

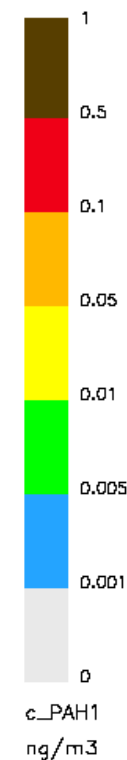
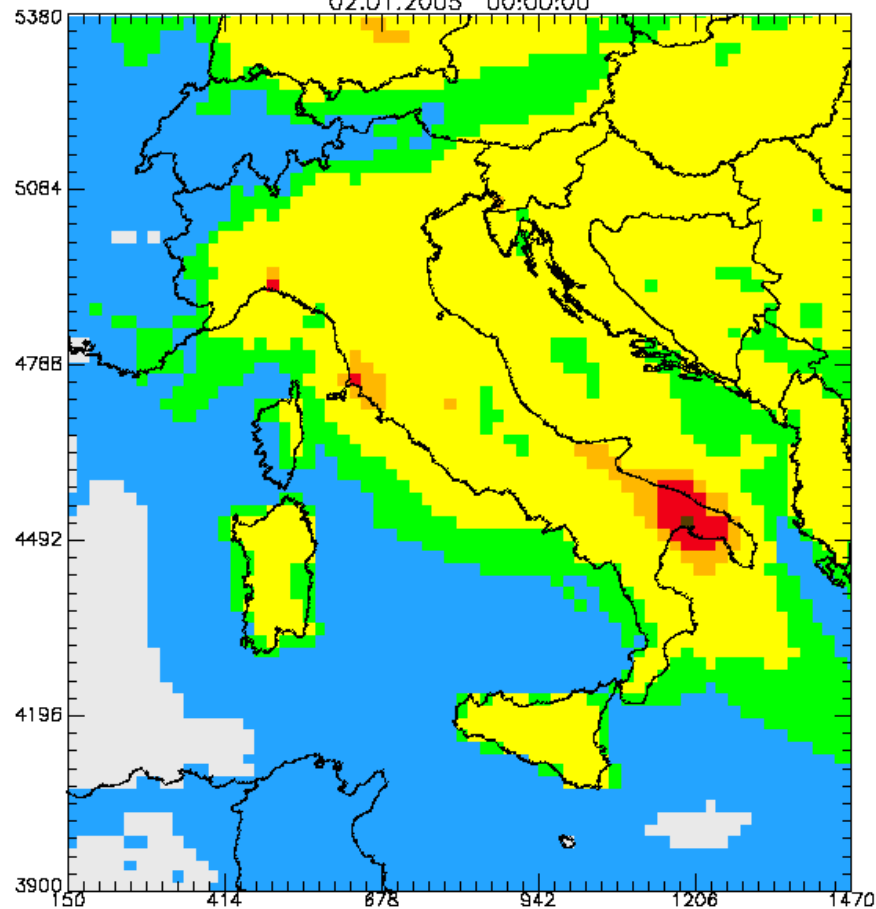
02.01.2005 00:00:00



SAPRC99-POPs

Min: 0.0002064 Max:0.9754

02.01.2005 00:00:00



The partitioning and heterogeneous degradation of B[a]P is derived from Aulinger *et al.*  
(Institute of Coastal Research, Helmholtz-Zentrum Geesthacht)

# Ringraziamenti

Questo lavoro è parte del Progetto MINNI finanziato dal MATTM.

Ilyin, Marina Varygina, Alexey Vladimirovich Gusev (EMEP MSC-E) e Anna Carlin Benedictow e Michael Gauss (EMEP MSC-W) per aver reso disponibili i campi prodotti dai modelli EMEP.

Maria Gesuina Dirodi (CNR/IIA), Beatrice Bondanelli (Provincia Autonoma di Bolzano), Monica Angelucci (ARPA Umbria), Sandro Zampilloni (Regione Lazio), Carla Contardi (Regione Piemonte), Fulvio Stel (ARPA Friuli-Venezia Giulia), Giuseppe Onorati (Regione Campania) e Salvatore Patti (ARPA Veneto) per aver fornito i dati sperimentali utilizzati in questo studio.

Grazie per l'attenzione



# Wind re-suspension from soil and seawater

- The contribution of HM due to wind re-suspension of particles from soil is estimated using Vautard et al. (2005) and heavy metal concentration in soil. The dust production from soils is stopped if precipitation during the last 48 hours exceeds 0.5 mm.
- The contribution of HM from seawater is computed a sea salt aerosol emission module (Zhang et al., 2005) and following EFs:

Emission factors of heavy metals for suspension with sea-salt aerosol

Metal	Emission factor [ $\mu\text{g kg}^{-1}$ ]	Reference
As	300	<i>Nriagu, 1989</i>
Cd	40	<i>Richardson et al., 2001</i>
Cr	80	<i>Nriagu, 1989</i>
Ni	180	<i>Nriagu, 1989</i>
Pb	4000	<i>Richardson et al., 2001</i>

From: MODELLING OF HEAVY METALS ATMOSPHERIC DISPERSION IN EUROPE by Oleg Travnikov and Ilia Ilyin; Meteorological Synthesizing Centre – East of EMEP

# As concentration in topsoil

A geo-statistical module has been applied to obtain spatial distribution of heavy metal concentration in soil using data available from FOREGS web site.

For Eastern Europe as well as for the rest of the model domain (Africa) we used following default concentration values based on the literature data:

Default concentrations of heavy metals in soil

Metal	Soil concentration, mg/kg	Reference
As	5	<i>Beyer &amp; Cromartie, 1987</i>
Cd	0.2	<i>Nriagu, 1980a</i>
Cr	50	<i>Shacklette et al., 1970</i>
Ni	15	<i>Nriagu, 1980b</i>
Pb	15	<i>Reimann and Cariat, 1998</i>

