

The ENEA logo features the word "ENEA" in a bold, white, sans-serif font. To the left of the text is a stylized graphic of a sun or starburst with a bright yellow center and a red and orange glow, set against a dark blue background with a grid pattern.

AGENZIA NAZIONALE
PER LE NUOVE TECNOLOGIE, L'ENERGIA
E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE



Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

IL MODELLO INTEGRATO NAZIONALE MINNI

Luisella Ciancarella, Gabriele Zanini

luisella.ciancarella@enea.it

Bologna, OPERA I^o Conferenza Annuale , 20 giugno 2011



Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione Internazionale sui temi dell'inquinamento atmosferico

Responsabile del progetto: Gabriele Zanini

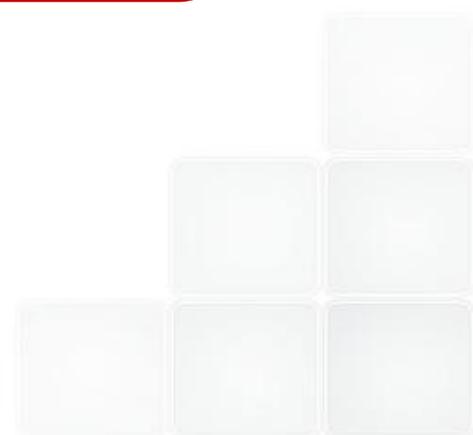
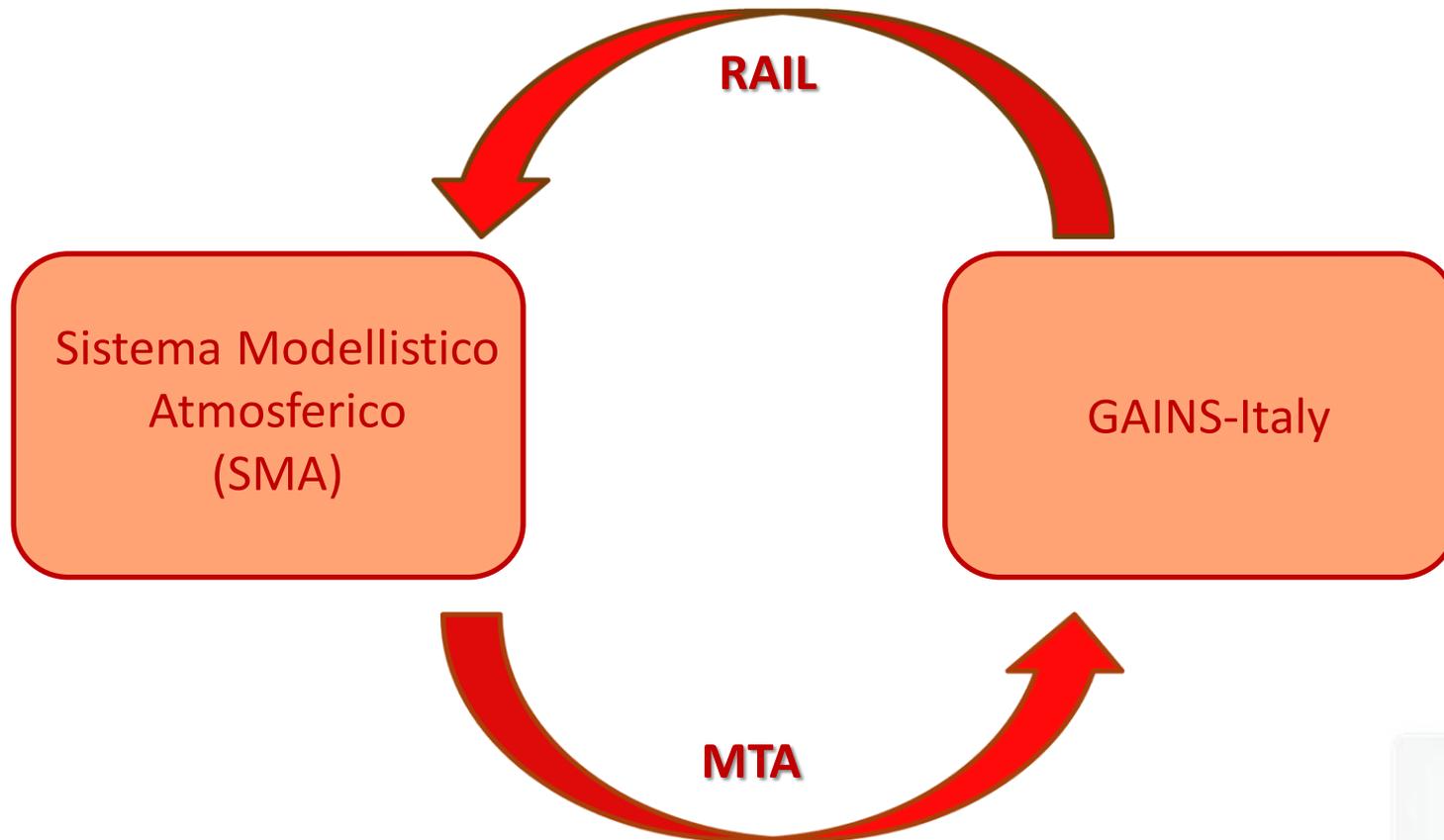


<http://www.minni.org/>

- Progetto ENEA finanziato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.
- Sviluppato da ENEA in collaborazione con Arianet ISPRA e IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis)

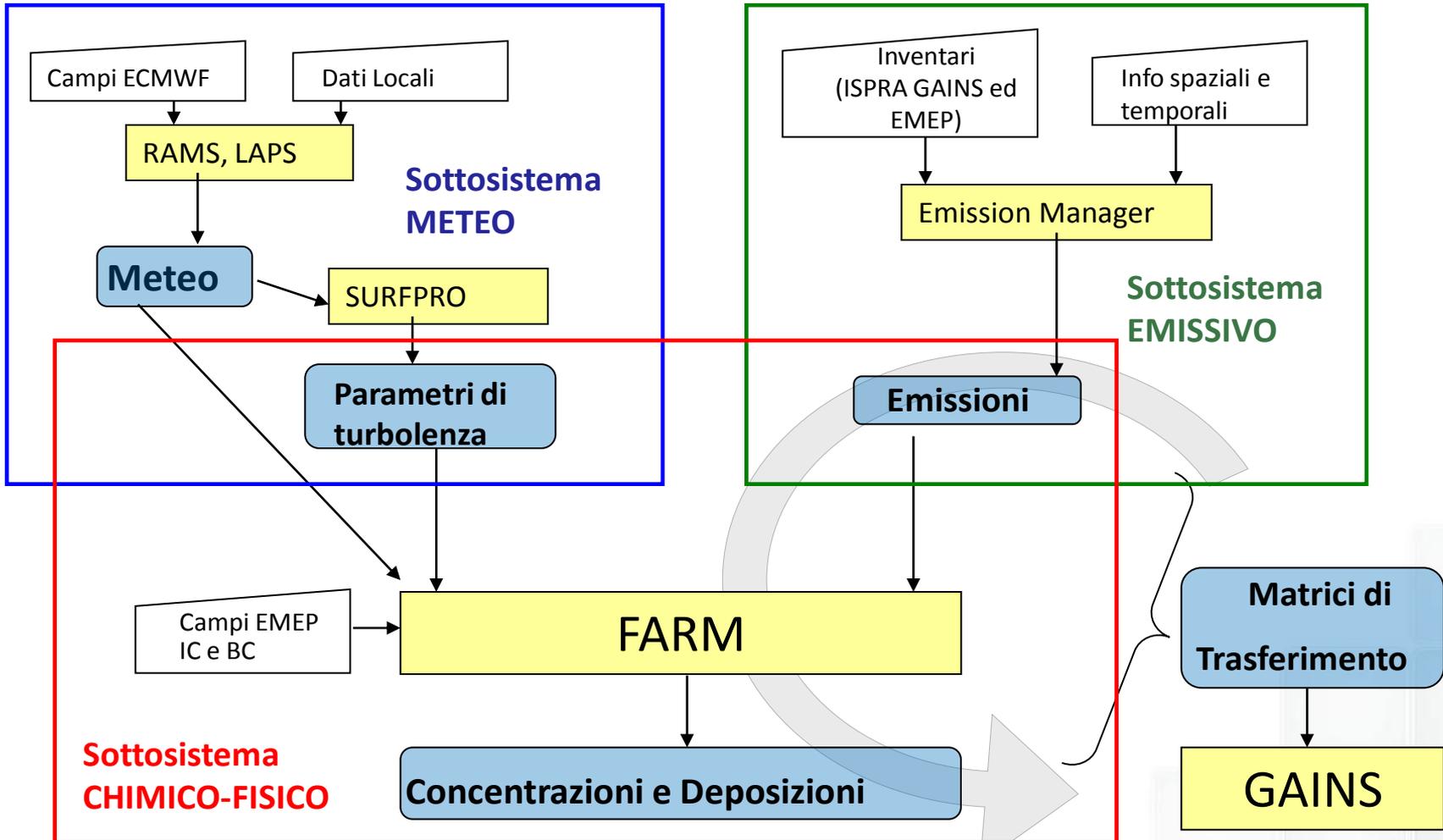


IL SISTEMA MODELLISTICO





LA CATENA MODELLISTICA





GLI OBIETTIVI

Obiettivo del progetto è fornire ai decisori uno strumento scientifico di supporto per elaborare e valutare l'efficacia di politiche di Qualità dell'Aria a livello internazionale, nazionale e regionale

- Studio e analisi dei **fenomeni chimico-fisici** che avvengono in atmosfera
(come si traduce una variazione delle emissioni in termini di concentrazione in aria? quale sorgente è massimamente responsabile dei livelli di inquinamento registrati in un sito? che relazioni vi sono tra precursori ed inquinanti secondari? ecc..)
- Elaborazione e **valutazione di scenari emissivi** alternativi e/o futuri
(predisposizione di piani di QA; valutazione dei costi e dei benefici delle misure di abbattimento delle emissioni; ecc.)
- Scenari di **impatto ambientale** e sulla salute umana
- Creazione di un **data base meteorologico e chimico**
(studi di Qualità dell'Aria a livello nazionale o locale, confronti con attività modellistiche svolte con strumenti autonomi a livello Regionale, condizioni iniziali e al contorno per discese di scala, ecc.)



LE SIMULAZIONI MODELLISTICHE

METEOROLOGIA:

1999, 2005:

20km ris. RAMS (nudging)

4km ris. LAPS (diagnostico)

2003, 2007:

RAMS (nudging) a 20km e a 4km
ris. Two-way nesting.

EMISSIONI:

Inventario nazionale ISPRA
(top-down nazionale)+ EMEP

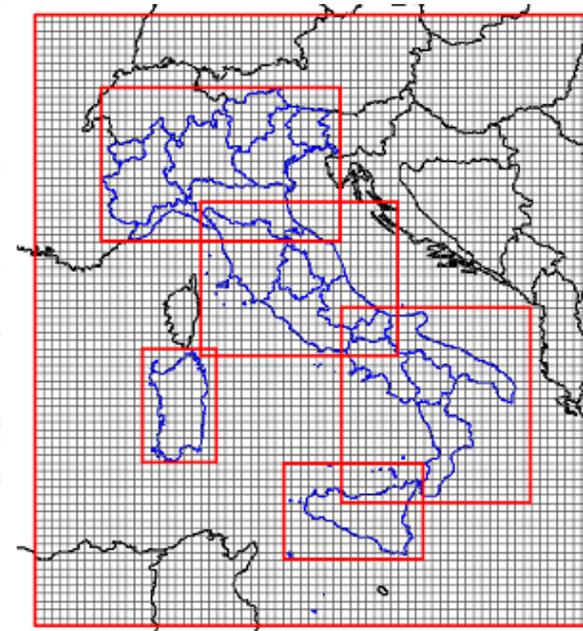
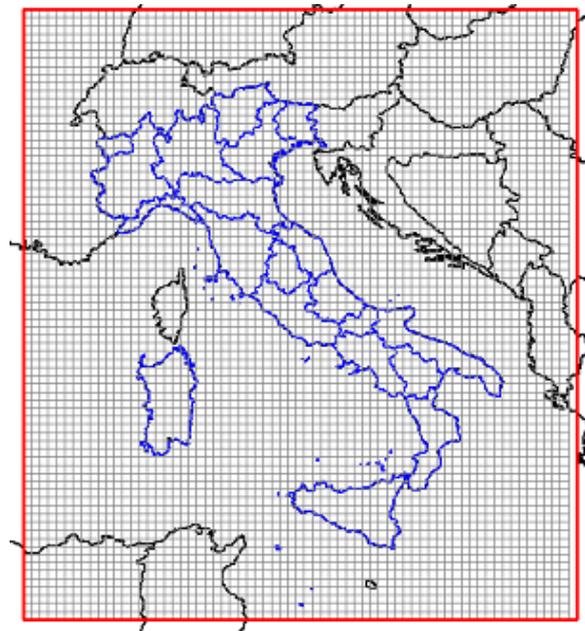
BC:

Campi di concentrazione
EMEP

QUALITA' DELL'ARIA:

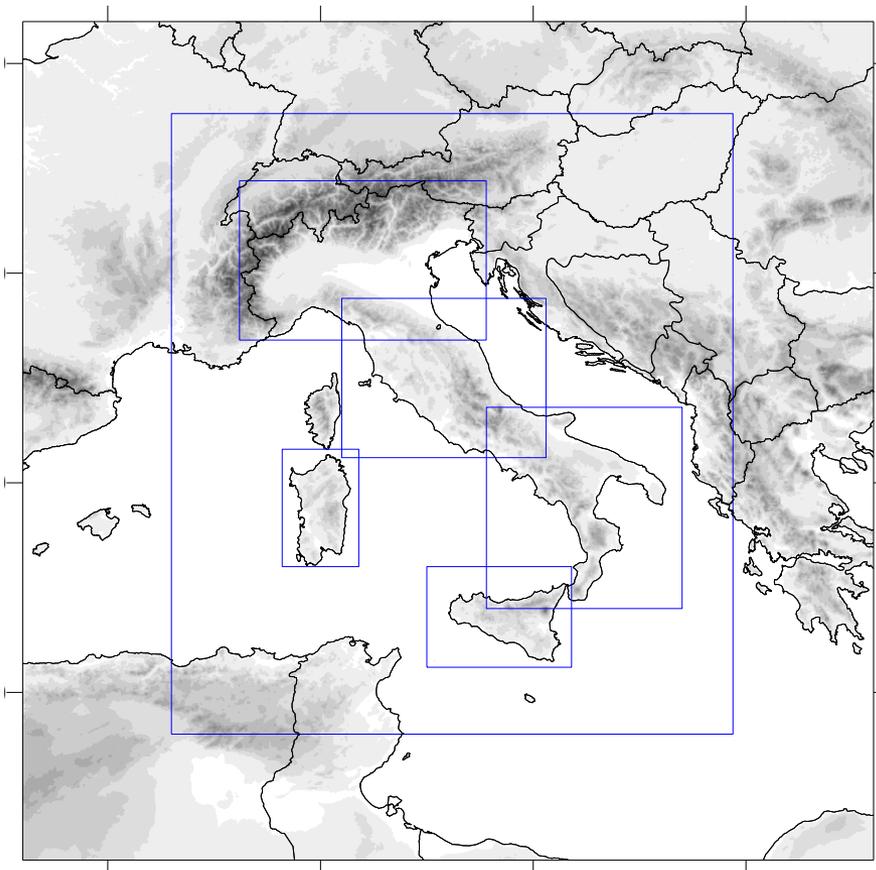
20km & 4 km ris. FARM

One-way nested





PRODOTTI MINNI DISPONIBILI



- Campi meteorologici 3D
- Campi 3D di concentrazione dei principali inquinanti
 - Anni: 1999, 2005, 2003, 2007
 - Risoluzione temporale: 1 ora
 - Risoluzione spaziale: 20 km , 4 km
- Griglia verticale:
 - 12 livelli (fino a 4 km) 1999
 - 16 livelli (fino a 10 km) 2005, 2003, 2007

- Ingenti risorse computazionali
- Lo spazio disco richiesto per lo storage dei dati è dell'ordine dei **TB**
- **Tempi di calcolo considerevoli ma decisamente in miglioramento**
(Es. Tempo di calcolo per:
la simulazione di un anno meteorologico => circa 4 gg [sul dominio nazionale a 12 km di risoluzione] circa 2 sett [sui domini a 4 km di risoluzione] utilizzando il codice parallelizzato e 64 processori)
la simulazione di un anno di concentrazioni => circa 1 settimana
- Stiamo lavorando sulla GRID ENEA utilizzando le macchine Linux x86_64 nuovo sistema HPC CRESCO di Portici (2700 cores).





CONVENZIONE 2008-2011

SVILUPPI

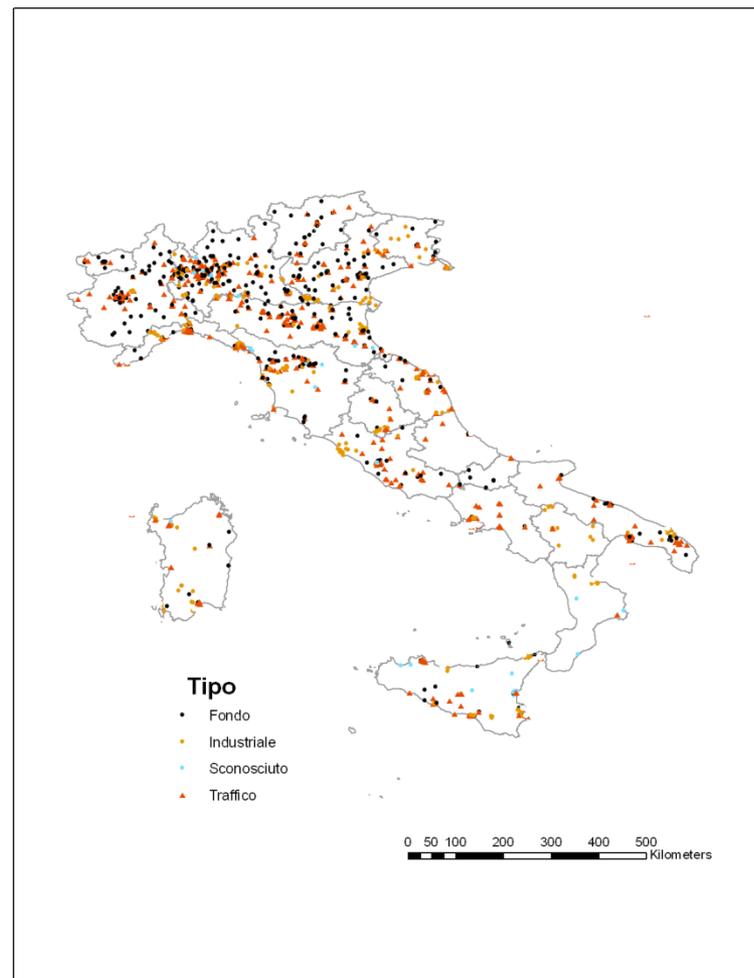
- Estensione del modello alla trattazione di metalli pesanti e POPs
- Sviluppo di nuovi moduli per la trattazione del particolato (aerosol marino, sabbie sahariane, ecc.)
- Sviluppo di un nuovo modulo per il calcolo del trasferimento radiativo.
- Passaggio da RAINS-Italy a GAINS-Italy
- Studi specifici in campo emissivo (agricoltura-aratura, edilizia ecc.)
- Campagna sperimentale effettuata (maggio-giugno 2010) presso il centro ENEA di Trisaia (Basilicata): misure meteorologiche, radiative, di concentrazione dei principali gas e caratterizzazione chimico-fisica dell'aerosol



RISULTATI DEL MODELLO E VERIFICHE QUALITÀ DELL'ARIA

Confronto dei risultati del
modello MINNI con le
osservazioni di Qualità dell'Aria
raccolte nel data set BRACE

<http://www.brace.sinanet.apat.it>

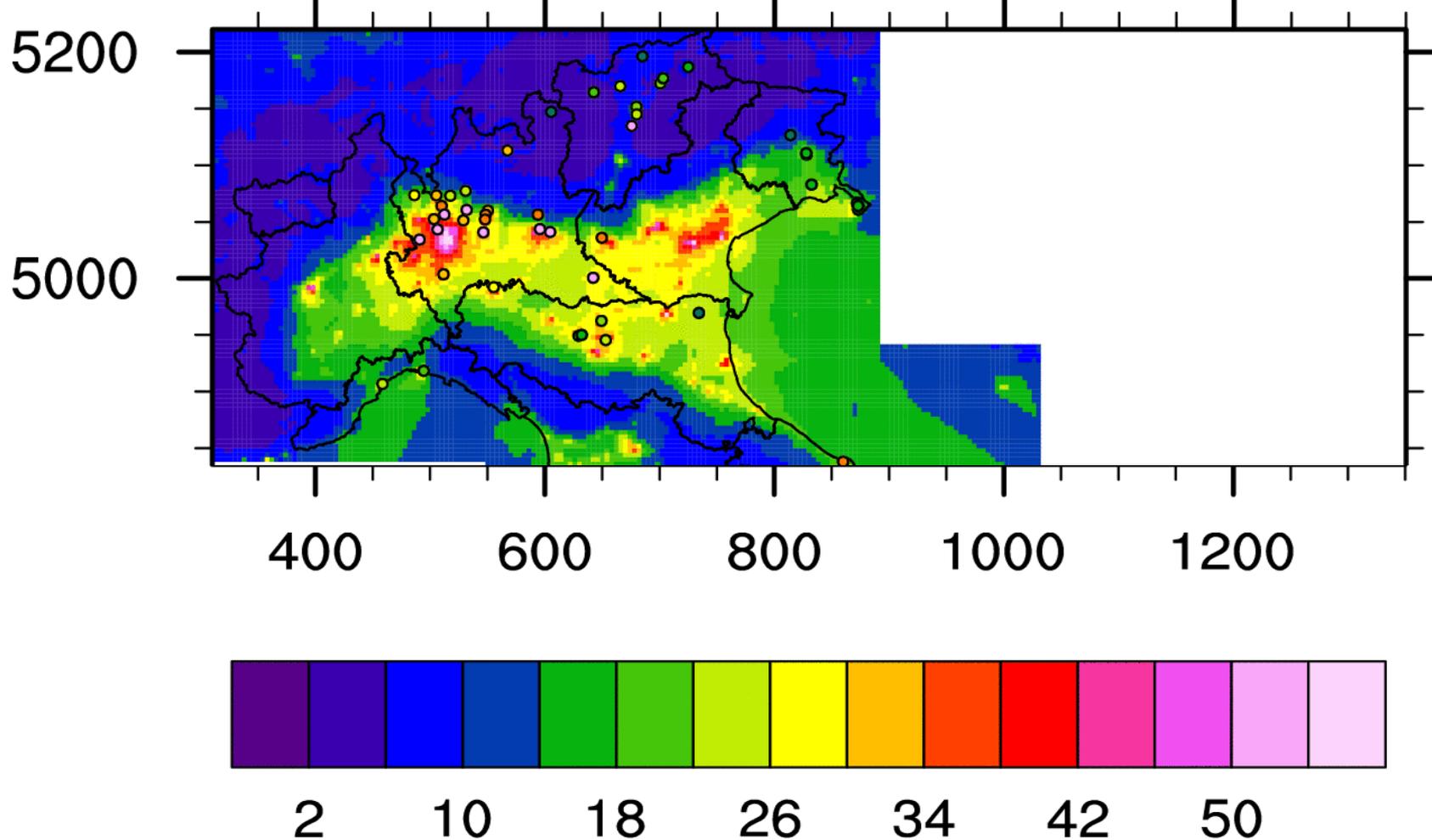




Simulazioni e osservazioni concentrazione media annuale PM_{10}



4x4 2005REF Observed station

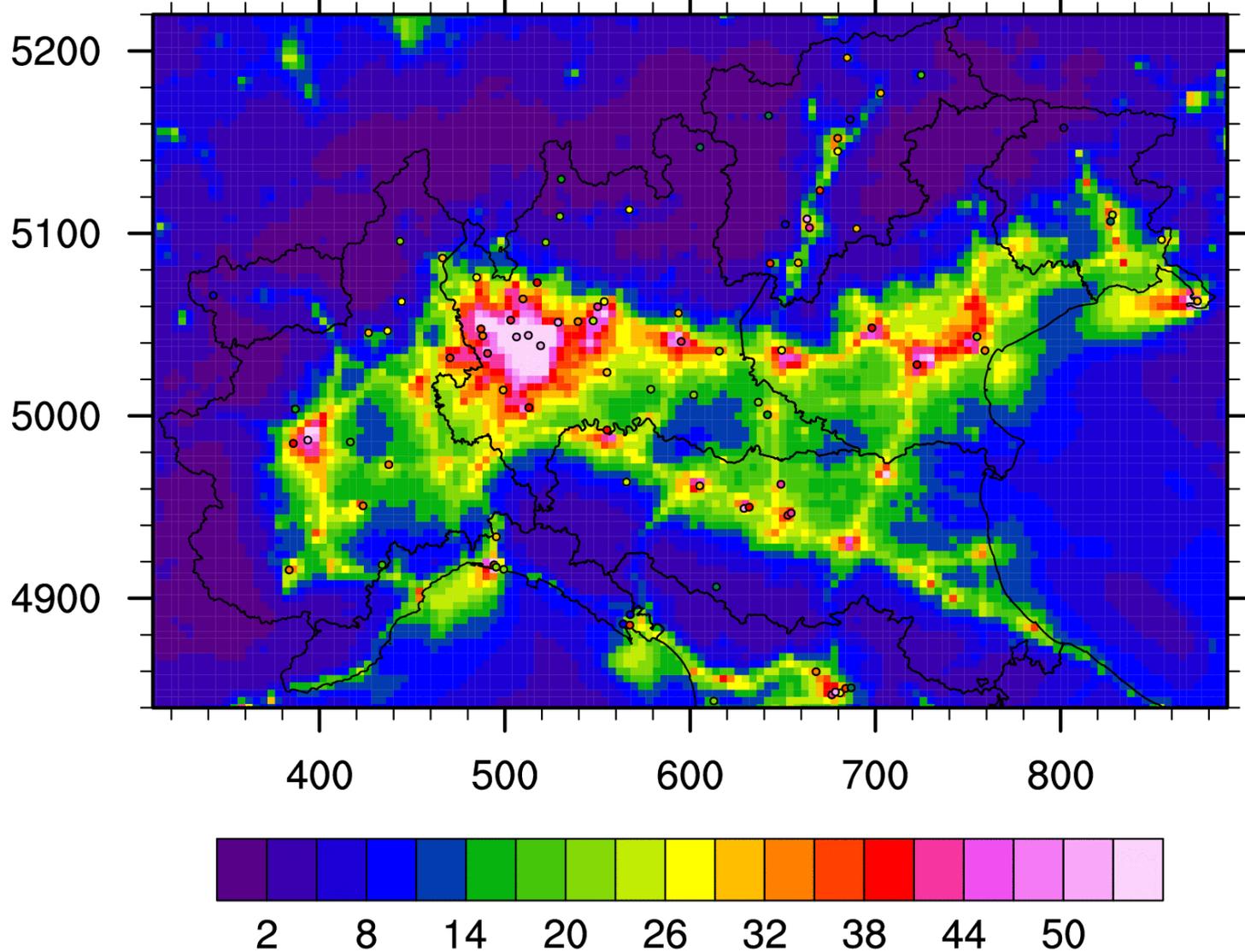




Simulazioni e osservazioni: concentrazione media annuale NO₂



4x4 2005 REF Observed station

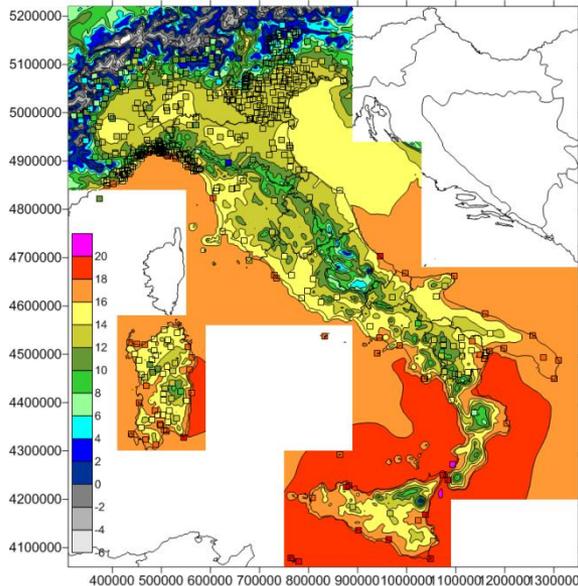
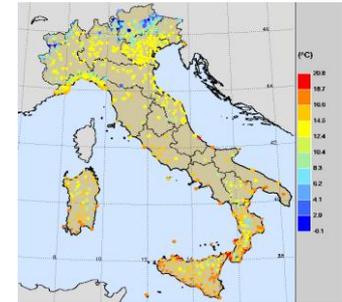




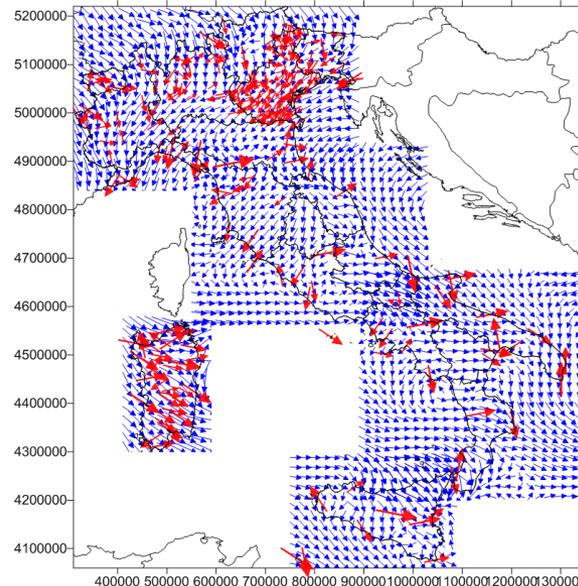
Campi Meteorologici

Confronto, per le principali variabili meteorologiche, con gli **indicatori annuali** prodotti da ISPRA nell'ambito del sistema SCIA.

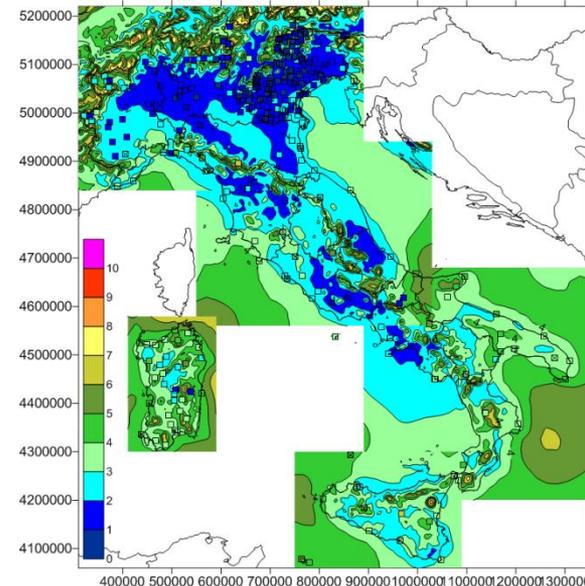
(Vitali et al. Poster presentation at the 13th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes. Paris, June 2010).



Temperatura media annuale(°C):
confronto tra campi simulati e osservazioni ISPRA-SCIA (simboli colorati)



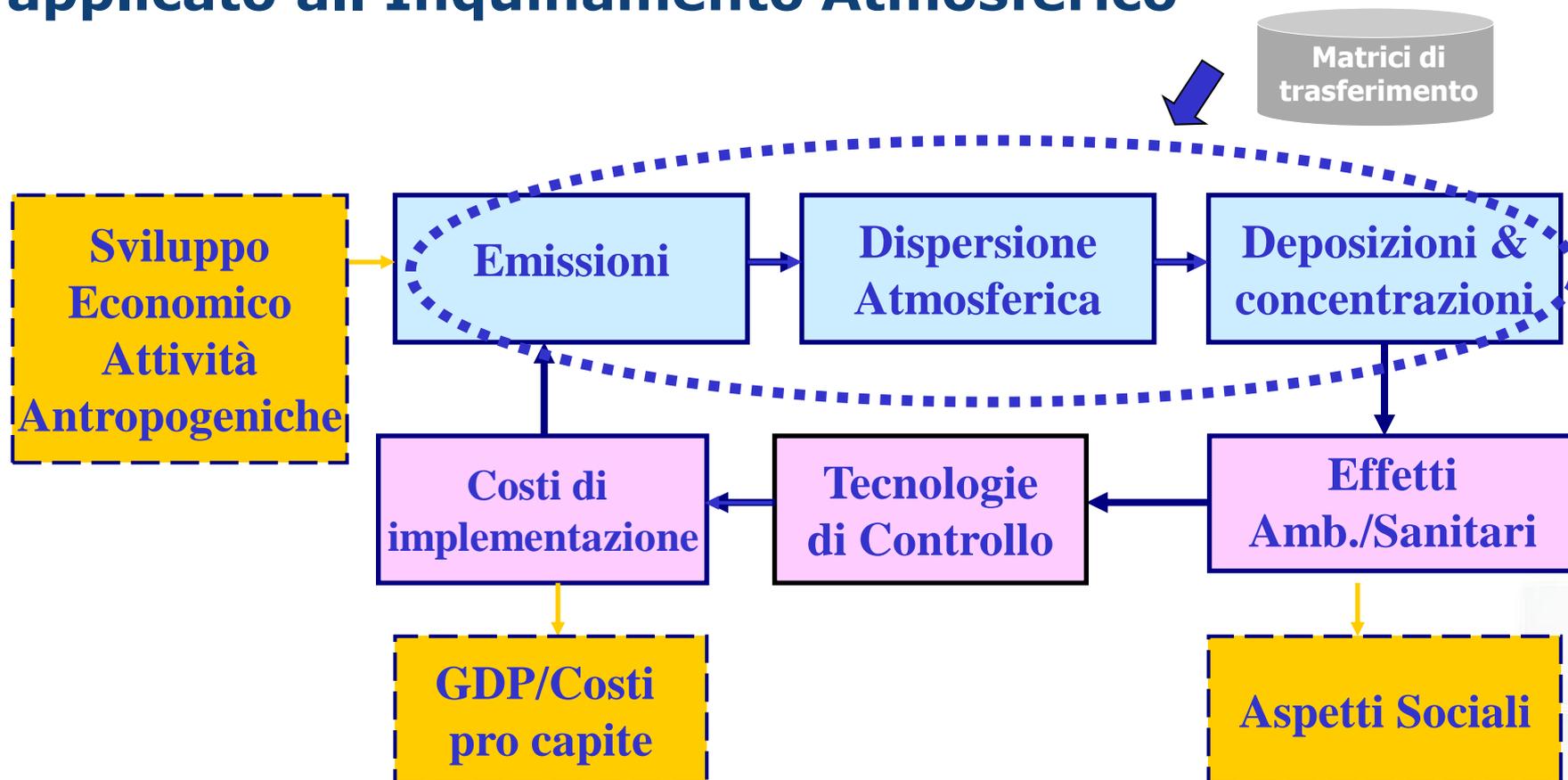
Direzione prevalente del vento su base annuale:
confronto tra campi simulati (blu, una freccia ogni 6 punti griglia) e osservazioni ISPRA-SCIA (rosso).



Velocità media annuale (m/s):
confronto tra campi simulati e osservazioni ISPRA-SCIA (simboli colorati)



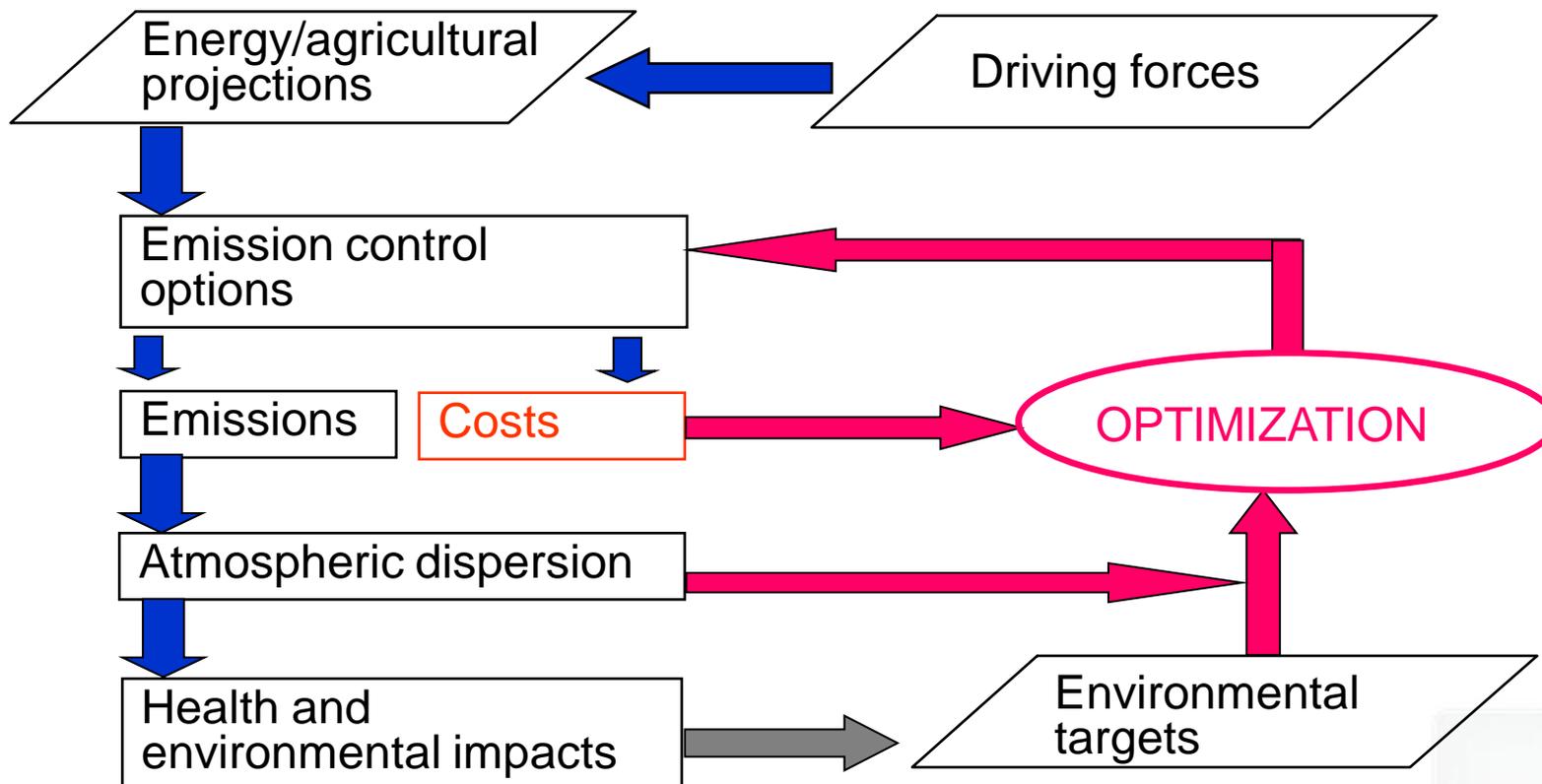
Il Concetto di Valutazione Integrata applicato all'Inquinamento Atmosferico



Flow chart semplificata



La valutazione delle politiche con l'approccio costi-efficacia del modello GAINS - IIASA

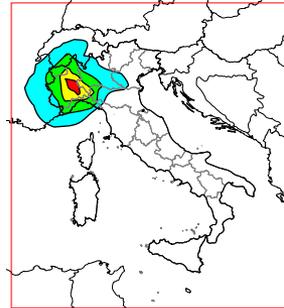




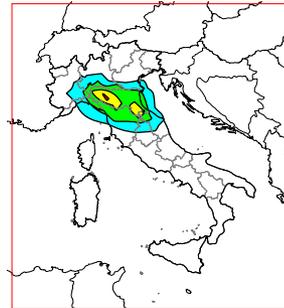
Emissioni

Conc. & deposizioni

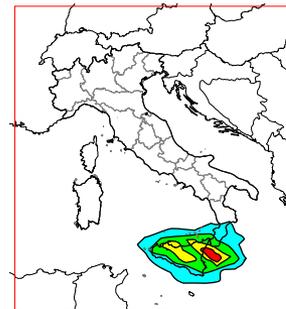
Piemonte



Emilia Romagna



Sicilia

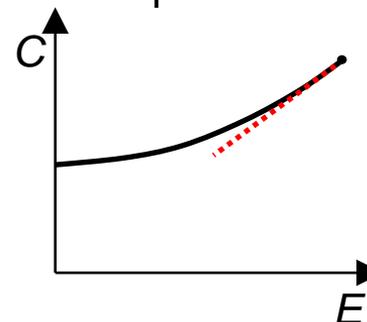


- Le **MTA** rappresentano l'approssimazione lineare della risposta del sistema al variare del quadro emissivo, rispetto ad uno scenario di riferimento
- In **GAINS** le variazioni emissive vengono apportate a scala regionale
- Il calcolo approssimato di concentrazioni e deposizioni avviene alla risoluzione spaziale di 20 km x 20 km



Approssimazione della risposta non-lineare del sistema atmosferico :

- Sommabilità dei contributi alle deposizioni: solo in condizioni simili a quelle del caso di riferimento
- Variazioni emissive: non oltre i limiti testati



Non-linearità:

- Risposta a grandi variazioni di un dato precursore in un dato set di sorgenti emmissive
- Effetti incrociati (insiemi dati di inquinanti e sorgenti)



Anno meteorologico:	2005
Emissioni di riferimento :	scenario "noCP" 2015
Precursori considerati :	anthropogenic SO _x , NO _x , NH ₃ , NMVOC, PM ₁₀
Variazioni regionali:	-25%



$$\begin{aligned}
 PM_{2.5}_j = & \sum_{i \in I} \pi_{ij}^A \cdot p_i + \sum_{i \in I} \sigma_{ij}^A \cdot s_i + 0.5 \left(\sum_{i \in I} \alpha_{ij}^S \cdot a_i + \sum_{i \in I} \nu_{ij}^S \cdot n_i \right) + \\
 & + 0.5 \min \left(\max \left(0, \sum_{i \in I} \alpha_{ij}^W \cdot a_i - \sum_{i \in I} \frac{14}{32} \sigma_{ij}^W \cdot s_i + k1_j \right), \sum_{i \in I} \nu_{ij}^W \cdot n_i + k2_j \right) + k3_j
 \end{aligned}$$

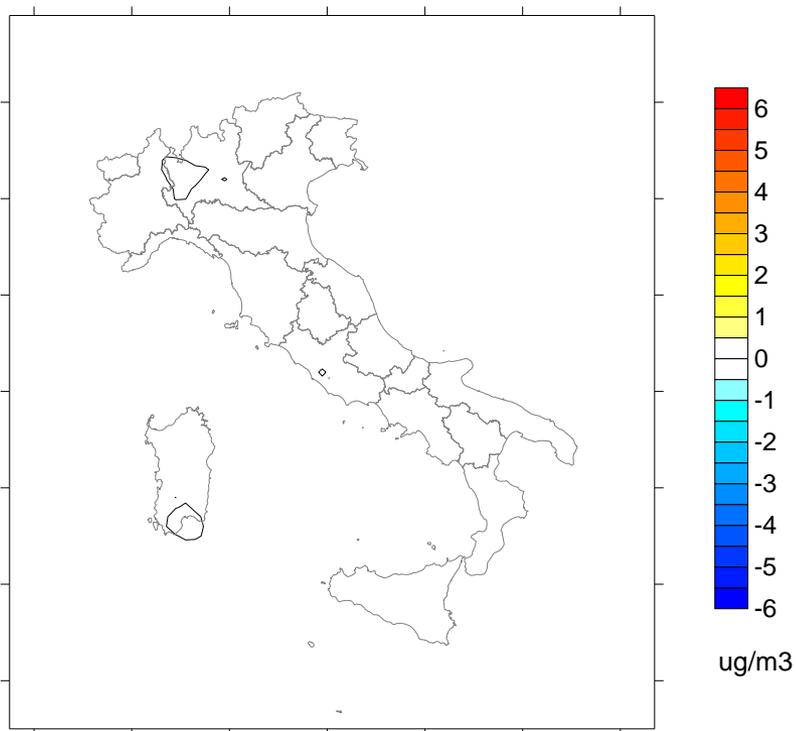
I	set of emission sources (regions)
J	set of receptors (grid cells)
$PM_{2.5}_j$	annual mean concentration of $PM_{2.5}$ at receptor point j
p_i	anthropogenic emissions of primary $PM_{2.5}$ in region i
s_i	SO_2 anthropogenic emissions in region i
n_i	NO_x anthropogenic emissions in region i
a_i	NH_3 anthropogenic emissions in region i
$\alpha_{ij}^{S,W}, \nu_{ij}^{S,W}, \sigma_{ij}^{W,A}, \pi_{ij}^A$	linear transfer coefficients for reduced and oxidized nitrogen, sulfur and primary $PM_{2.5}$, winter, summer and annual
$k1_j, k2_j$	constants to fit NH_x or NO_3 into reference case
$k3_j$	make sure function fits reference case



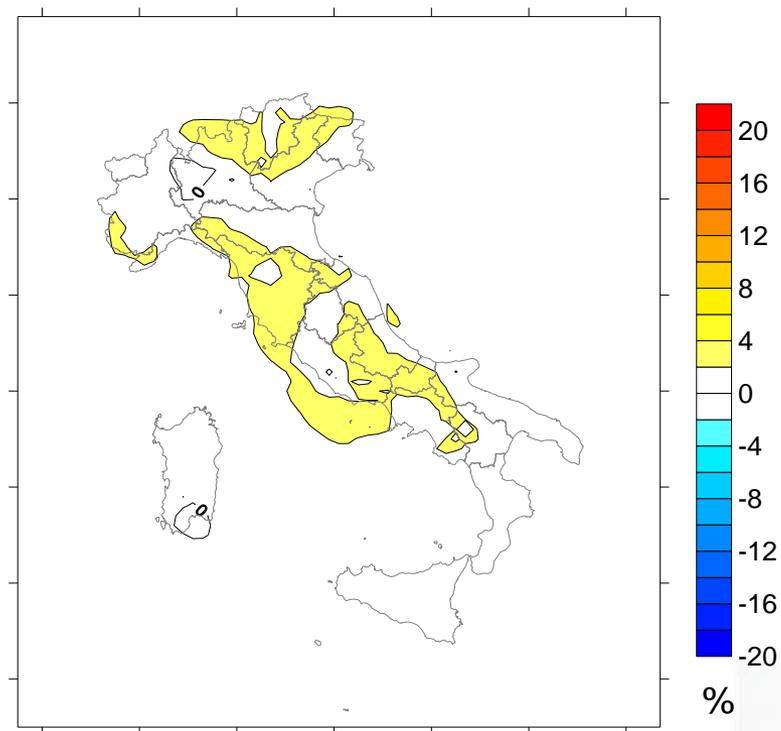
Control run "noCP 2020": model run vs. ATM approximation $PM_{2.5}$



Absolute error



Relative error





Relazioni sorgente-ricettore per indicatori di ozono

$$O_j = \sum_{i \in I} to_{ij}^n \cdot n_i + \sum_{i \in I} to_{ij}^v \cdot v_i + ko_j$$

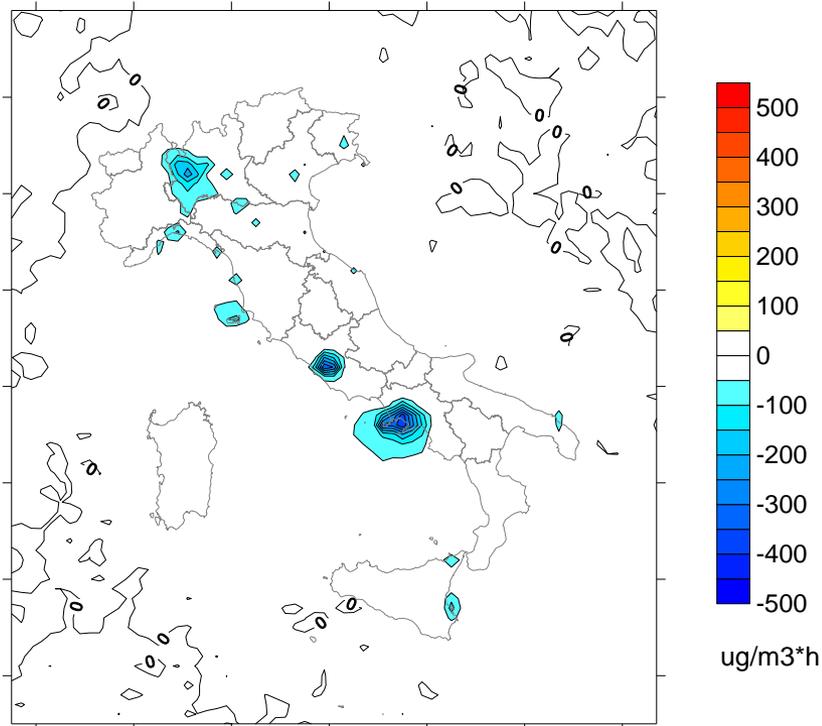
I	set of emission sources (regions)
J	set of receptors (grid cells)
O_j	ozone indicator (SOMO35 / AOT40 _f / AOT40 _c) at receptor point j
n_i	NO _x anthropogenic emissions in region i
v_i	NMVOC anthropogenic emissions in region i
to_{ij}^n to_{ij}^v	linear transfer coefficients for nitrogen oxides and NMVOC
ko_j	constant to calibrate the linear approximation



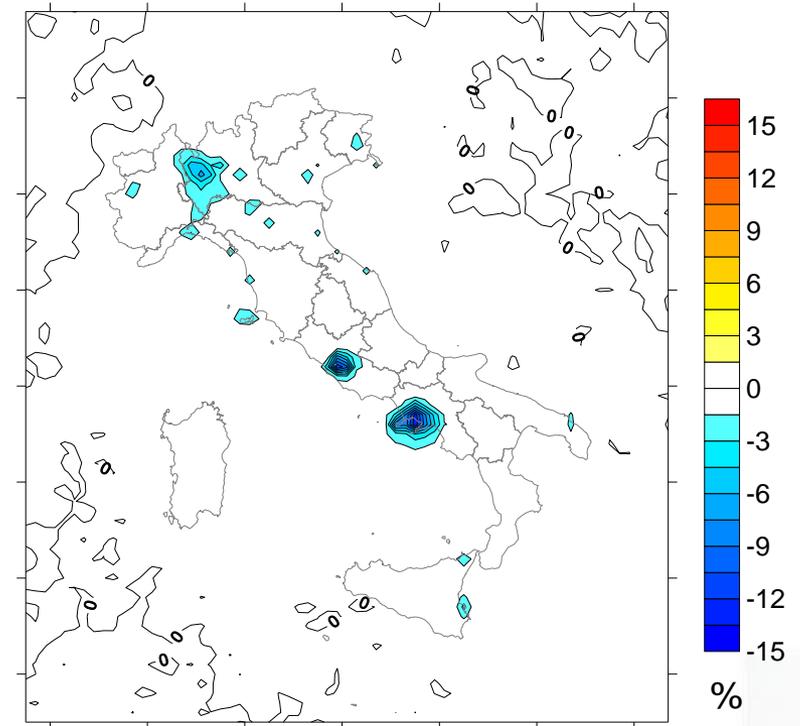
Control run "noCP 2020": model run vs. ATM approximation SOMO35

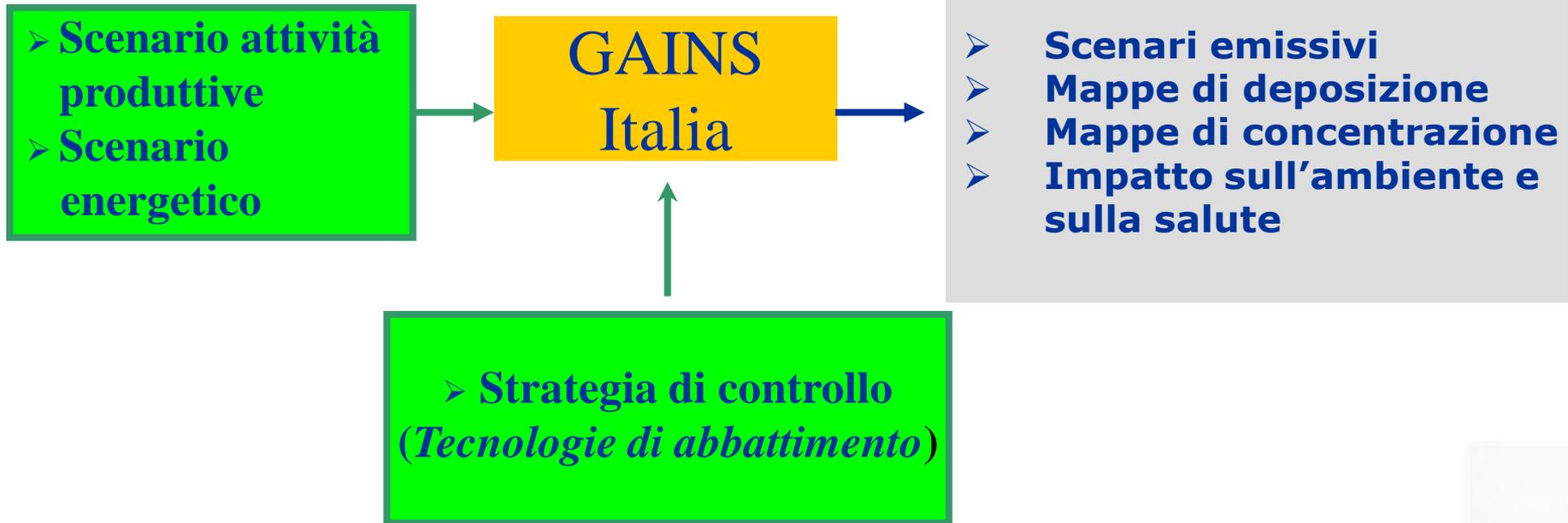


Absolute error



Relative error







- **GAINS** E' UN MODELLO DI EMISSIONI E NON COINCIDE CON UN INVENTARIO
- PERCHE' LE PROIEZIONI SIANO SOLIDE E CONDIVISE VA INDIVIDUATO UN ANNO BASE
- SULL'ANNO BASE VA EFFETTUATA UNA CALIBRAZIONE DI **GAINS** CHE RIPRODUCA IN OUTPUT L'INVENTARIO NAZIONALE DELLE EMISSIONI



ARMONIZZAZIONE





Il calcolo delle emissioni in GAINS-Italia



$$E = \sum_j \sum_k Act_j * Ef_j * (1 - \eta_{jk}) * Af_{jk}$$

Penetrazione nel settore

Efficienza di rimozione della tecnologia

$Act_j =$ Livello di Attività settore J

$Ef_j =$ Fattore di Emissione NON abbattuto nel settore J

$(1 - \eta_{jk}) * Af_{jk} =$ Abbattimento per effetto della tecnologia K nel settore J

Calcolo delle emissioni nell'Inventario

$$E_j = Act_j * EF_j$$

$EF_j =$ Fattore di Emissione Totale (incluso abbattimento) nel settore J



Le emissioni dell'inventario e le emissioni di GAINS-Italia



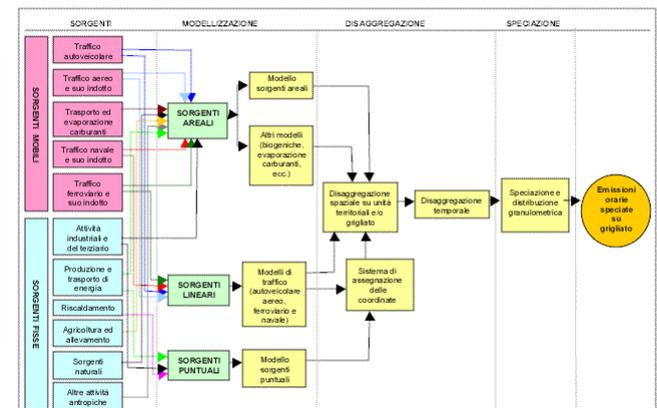
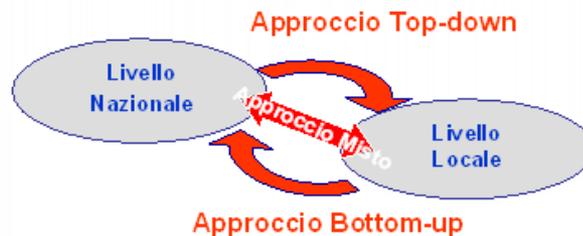
- ALLA SCALA NAZIONALE L'ARMONIZZAZIONE E' RELATIVAMENTE SEMPLICE
- ALLA SCALA REGIONALE (MASSIMO DETTAGLIO DI **GAINS**) CI SONO PROBLEMI MAGGIORI PERCHE' HO 2 INVENTARI DA ARMONIZZARE CON L'OUTPUT GAINS

$E_{k,j}$ - emissione nazionale attività k nell'anno j ,
 $S_{k,i,j}$ valore della variabile surrogato (proxy) associata all'attività k per l'anno j e per la regione i
 $S_{k,j}$ il valore assunto su scala nazionale per lo stesso anno,

la stima dell'emissione regionale $E_{k,i,j}$ è:

$$E_{k,i,j} = E_{k,j} \cdot S_{k,i,j} / S_{k,j}$$

con $S_{k,j} = \sum_i S_{k,i,j}$ con i da 1 a N ($N = n^\circ$ Regioni)





DAI DATI DI EMISSIONE

- $E_{k,j}$ emissione nazionale attività k nell'anno j ,
 $S_{k,i,j}$ valore della variabile surrogato (proxy) associata all'attività k per l'anno j e per la regione i
 $S_{k,j}$ il valore assunto su scala nazionale per lo stesso anno,

la stima dell'emissione regionale $E_{k,i,j}$ è:

$$E_{k,i,j} = E_{k,j} \cdot S_{k,i,j} / S_{k,j}$$

con $S_{k,j} = \sum_i S_{k,i,j}$ con i da 1 a N ($N = n^\circ$ Regioni)

Il controllo è sulla conservazione dei totali emissivi di settore





DAI DATI DI ATTIVITA'

- $A_{k,j}$ livello di attività nazionale settore k nell'anno j,
 $S_{k,i,j}$ valore della variabile surrogato (proxy) associata all'attività k per l'anno j e per la regione i
 $S_{k,j}$ il valore assunto su scala nazionale per lo stesso anno,

la stima del livello di attività regionale $A_{k,i,j}$ è:

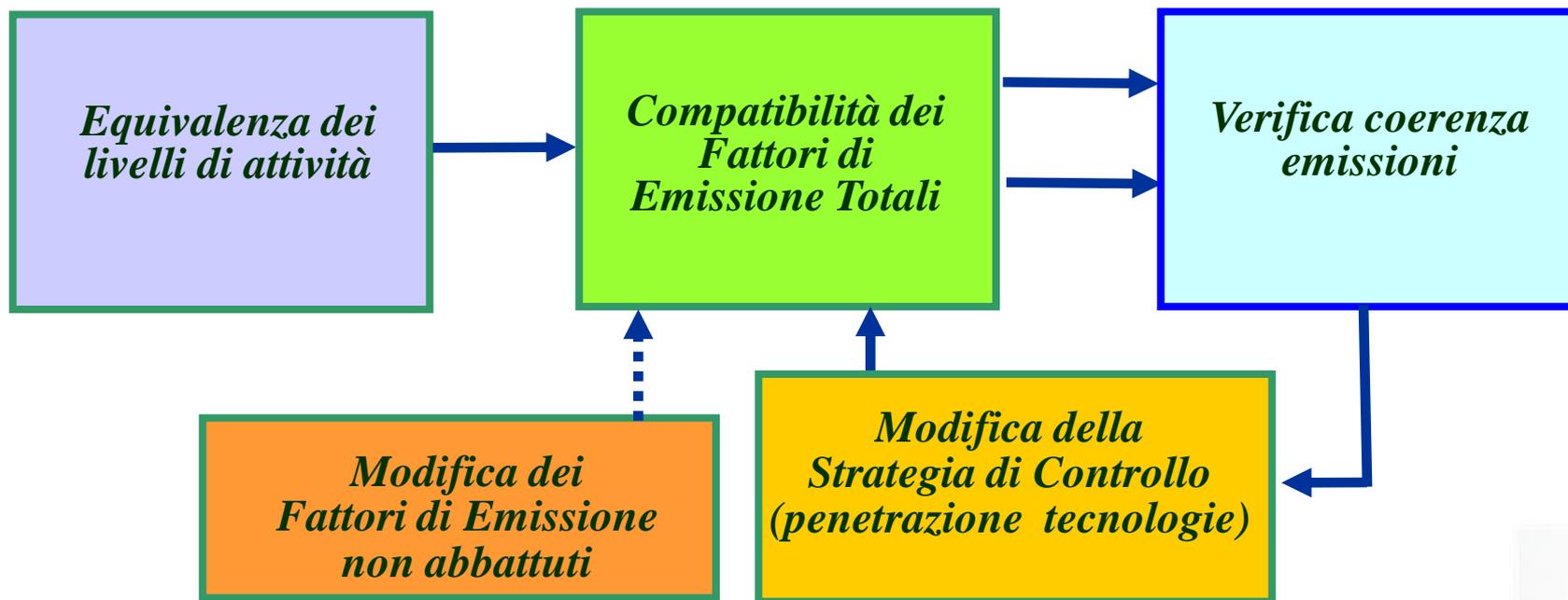
$$A_{k,i,j} = A_{k,j} \cdot S_{k,i,j} / S_{k,j}$$

con $S_{k,j} = \sum_i S_{k,i,j}$ con i da 1 a N (N = n° Regioni)

Il controllo è sulla conservazione del livello di attività nazionale che gode, tuttavia, di molteplici controlli settoriali (statistiche ufficiali energetiche, statistiche della produzione, dell'agricoltura ecc.,)



Il processo di armonizzazione



Applicato ai settori emissivi dove si rilevano le maggiori differenze fino ad ottenere uno scarto accettabile (<5~6% sul totale)



ARMONIZZAZIONE



SCENARIO Current Legislation CLE
Energetico, Attività Produttive, Strategia di controllo



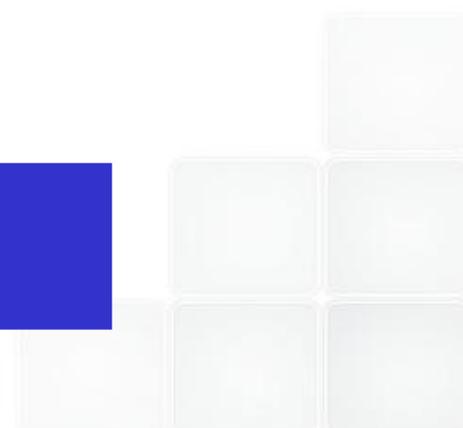
MISURE di PIANO

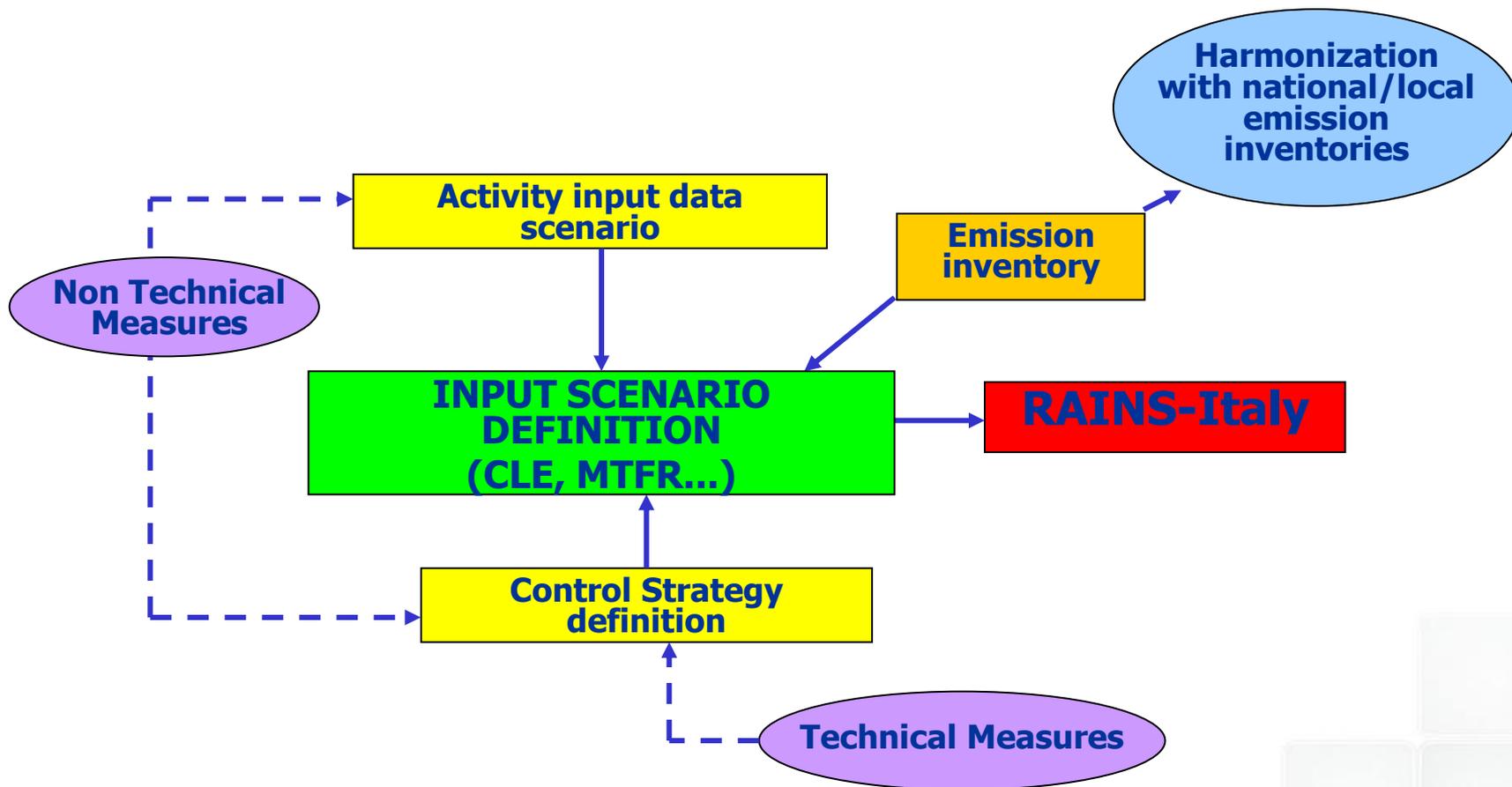


SCENARIO di PIANO
Scenario di Riferimento



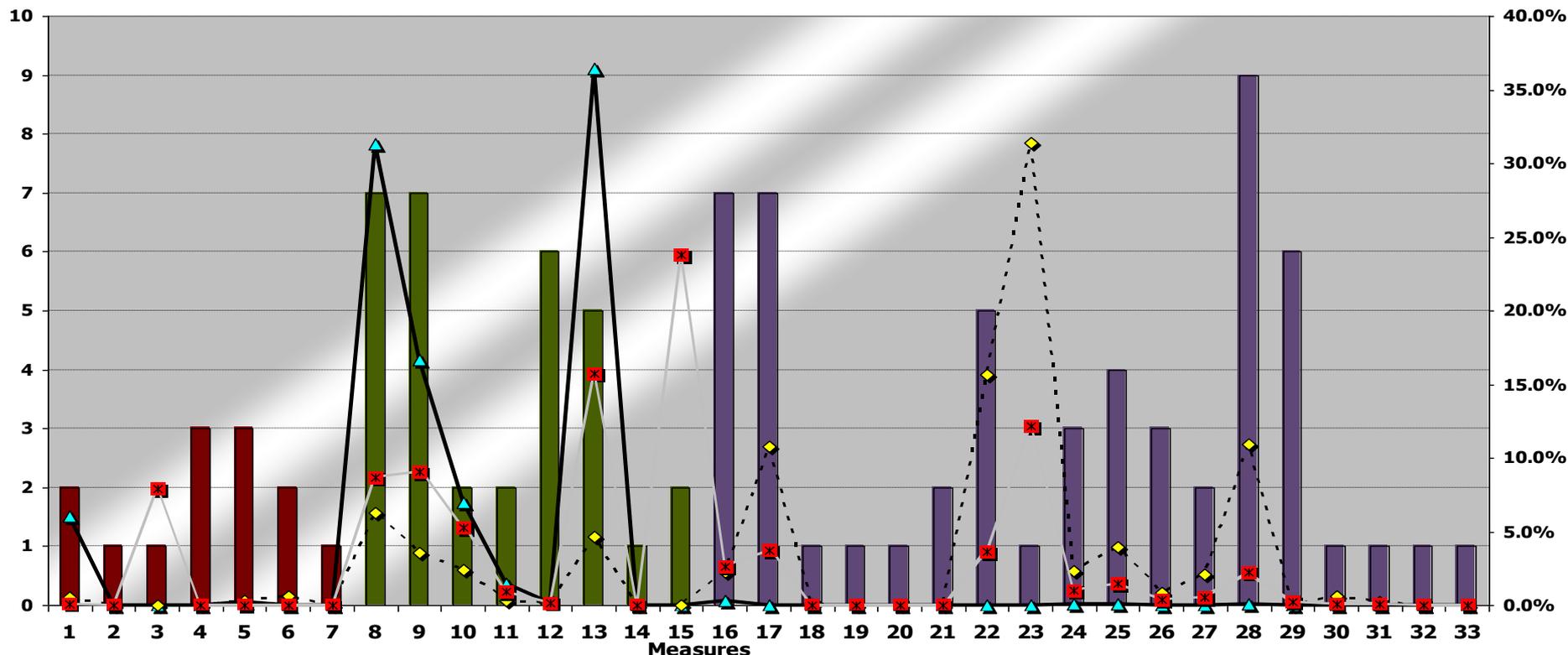
MAPPE DIFFERENZA
Concentrazione, Deposizione, Impatto





Energy, Domestic and Transport measure adoption frequency in regions

- ▲— Contribution (%) by measure to SO2 emission reductions
- -◆- - Contribution (%) by measure to NOx emission reductions
- Contribution (%) by measure to PM10 emission reductions

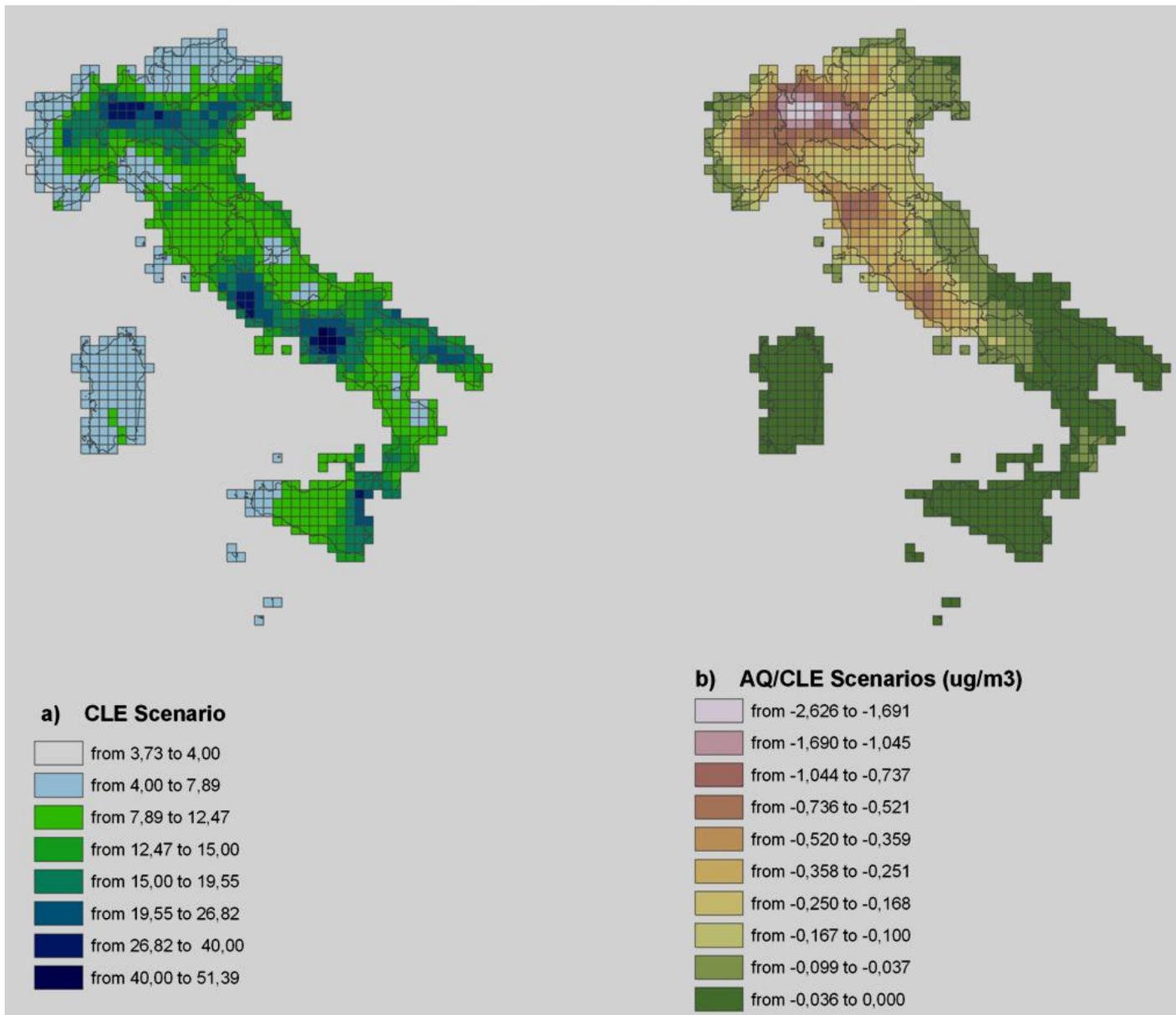


- 1 = Urban Waste incineration with heat recovery;
- 2 = Biogas recovery in agricultural and in farming sectors;
- 3 = District heating Plant with waste and biomass;
- 4 = Photovoltaic;
- 5 = Wind;
- 6 = Hydroelectric;
- 7 = Geothermic Well;
- 8 = High efficiency domestic boilers;
- 9 = Energy efficiency in building;
- 10 = Residential heating accountability;
- 11 = Heat pumps;

- 12 = Solar heating systems;
- 13 = Regulation of some fuel use;
- 14 = Incentives for shift to natural gas in domestic boilers;
- 15 = Efficiency improvements in fireplaces and stoves;
- 16 = Low emission zones;
- 17 = Road traffic restriction;
- 18 = Pollution charge;
- 19 = Car sharing;
- 20 = Motorway speed limits;
- 21 = Bike sharing;
- 22 = Incentives for new cars;

- 23 = Incentives for new diesel heavy duty;
- 24 = Opening new rail lines;
- 25 = Opening new underground lines;
- 26 = Cycle paths;
- 27 = Sea motorway;
- 28 = Bus investment (new buses, service extension, frequency increase);
- 29 = Antiparticulate filter;
- 30 = Incentives for biofuel public transport;
- 31 = New methane service stations;
- 32 = Incentive for hydrogen cars;
- 33 = Rationalising load transport in urban area;

CONFRONTO TRA SCENARIO CLE "CURRENT LEGISLATION" E SCENARIO QA DI PIANO AL 2010: CONCENTRAZIONI DI PM10





**Form 2: Description of the
exceedance of the limit value**

**Form 3B: Reflection on the failure
to deliver compliance by the
original deadline**

REGIONI

**Form 3A: Quantitative source
apportionment**

**Form 4A: Baseline level for
original deadline for compliance**

**Form 4B: Baseline level for
extended deadline for compliance**

**Form 5A: Details of measures implemented
before the original date of compliance**

MINNI

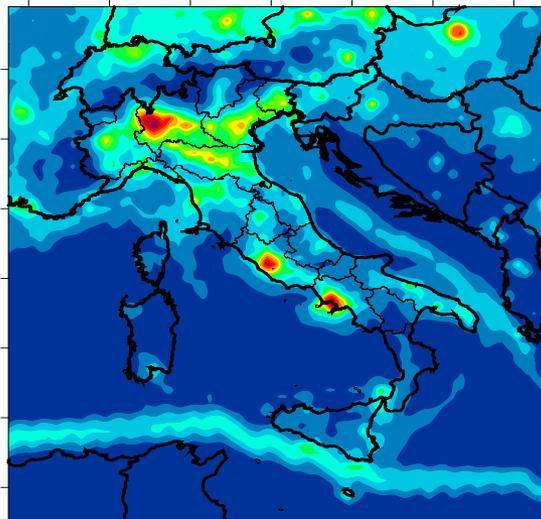


Quali concentrazioni medie annuali di NO₂ sono previste al 2010? E al 2015?

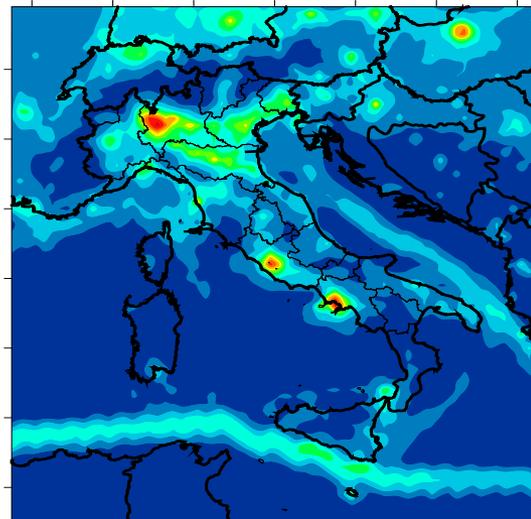
Risoluzione 20x20 km²

Form 4A: Baseline level for original deadline for compliance

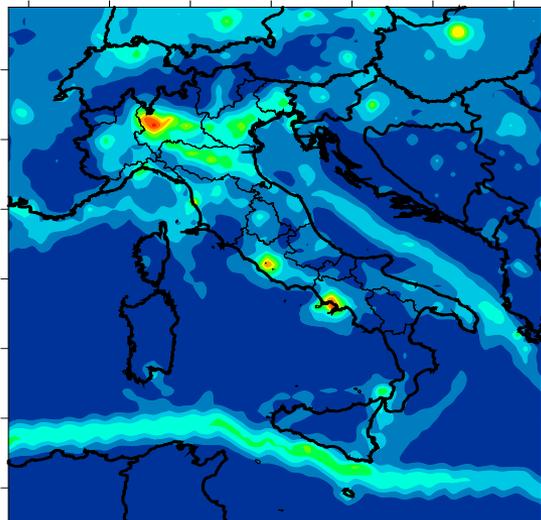
2005



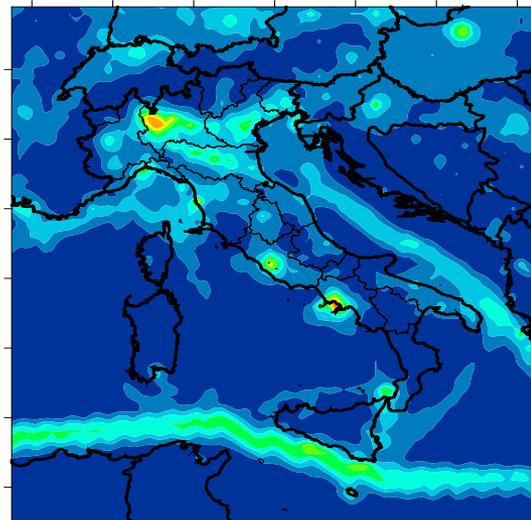
2010



2015



2020

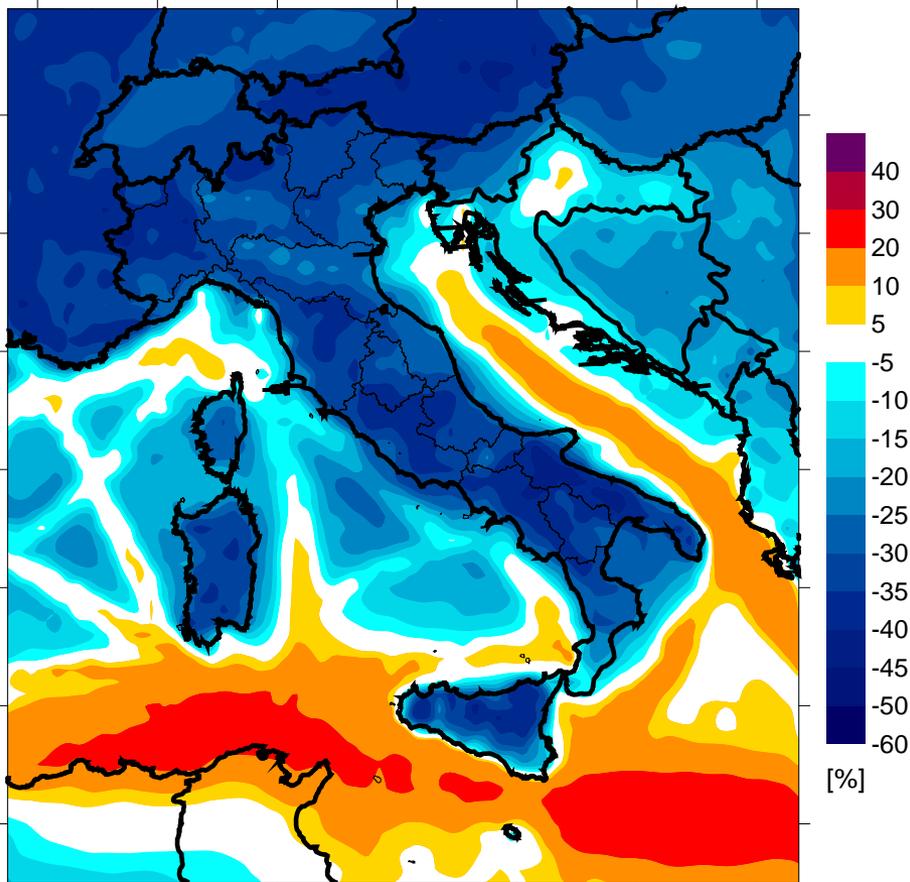


Form 4B: Baseline level for extended deadline for compliance

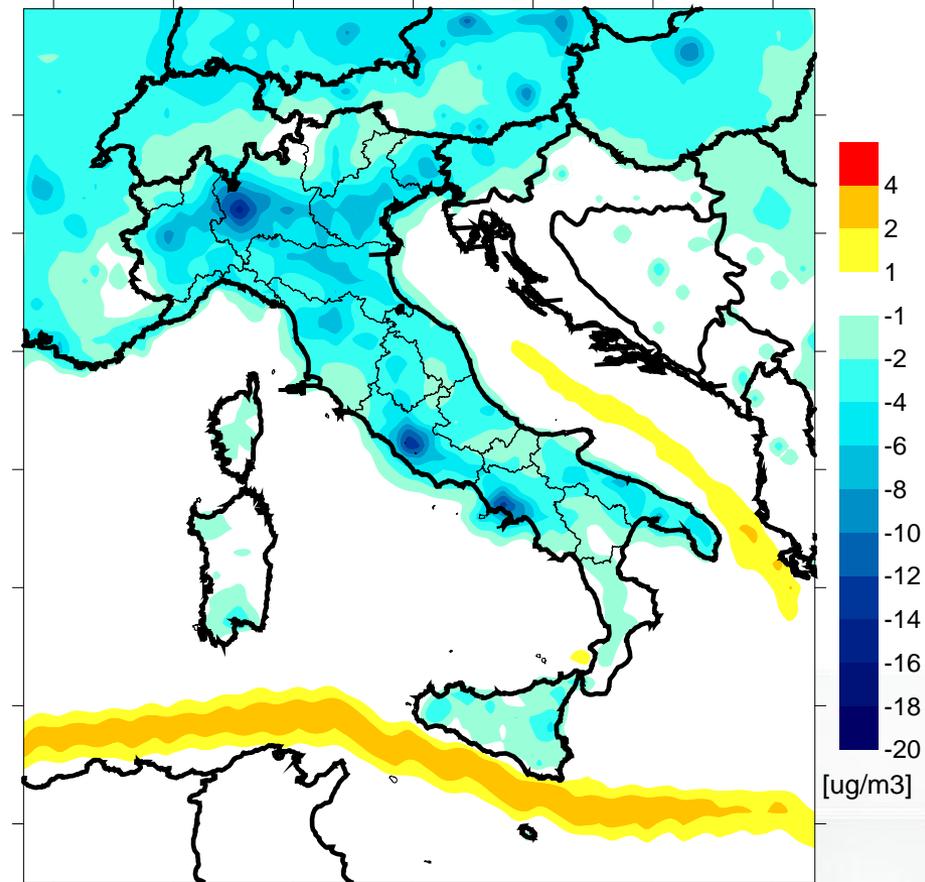


2015: quanto cambiano le concentrazioni medie annuali rispetto al 2005 ?

Variazione relativa



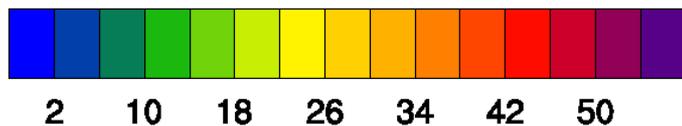
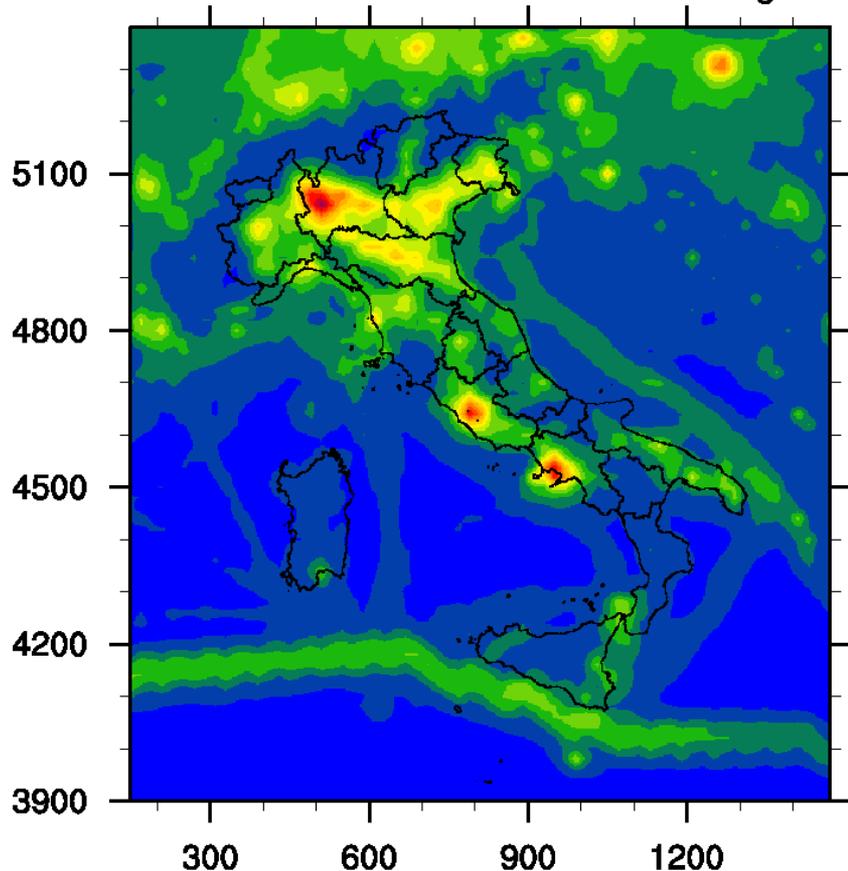
Variazione assoluta



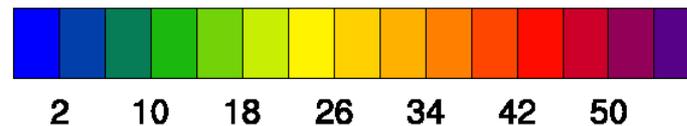
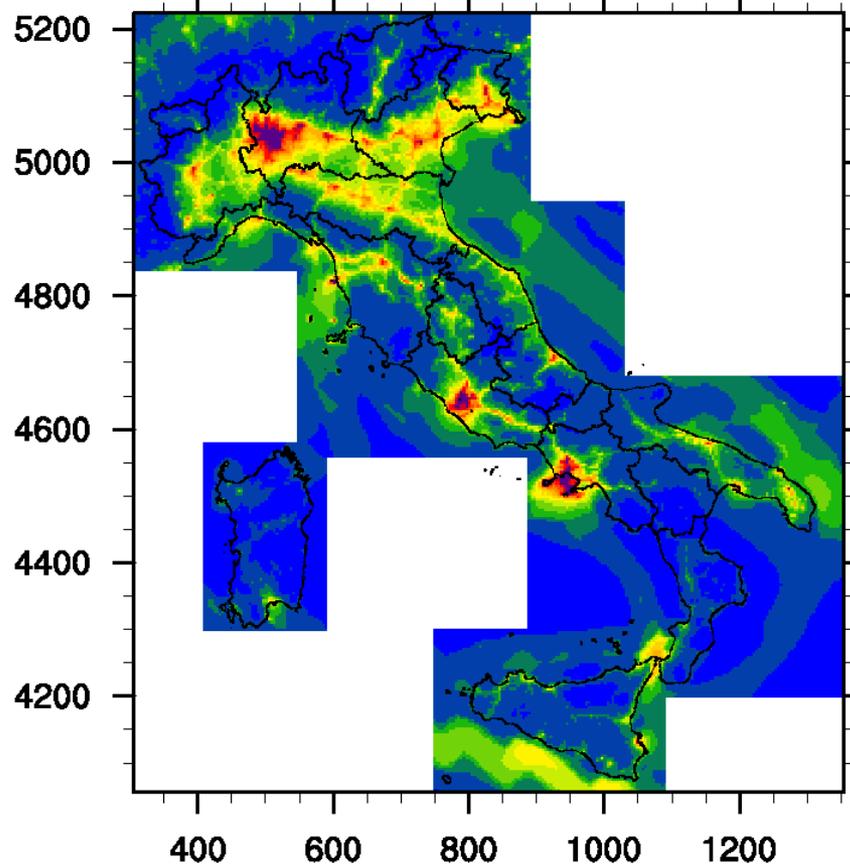
Risoluzione 20x20 km²

Concentrazioni NO₂ GAINsnoCP: 20x20 vs 4x4

IT2 2005010100 2005123123 GAINsnoCP
ug/m³



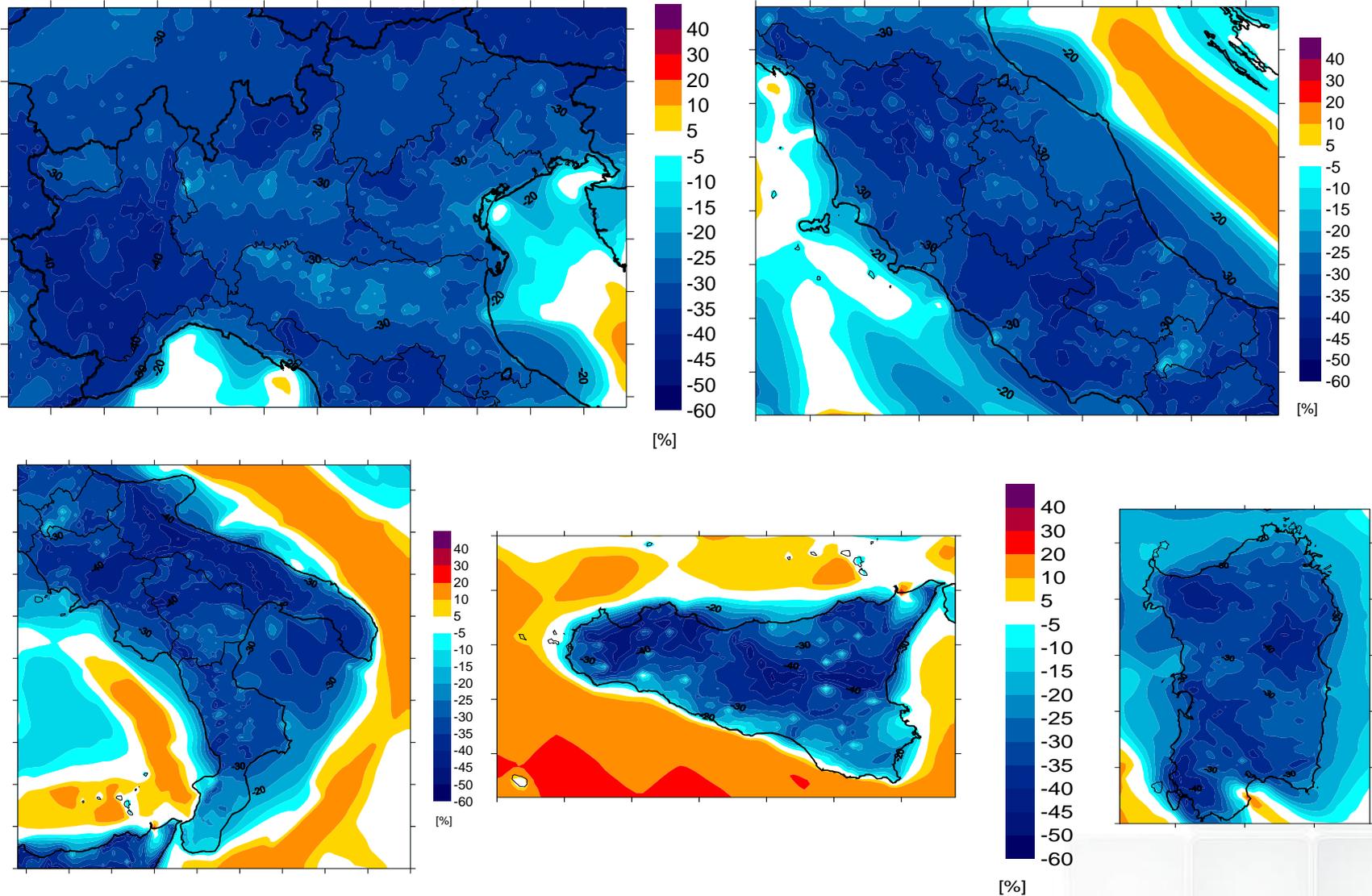
2005010100 2005123123 GAINsnoCP





Medie annuali NO₂ risol 4 km

Stima della variazione relativa al 2015 rispetto al 2005





“The GAINS model explores cost-effective multi-pollutant emission control strategies that meet environmental objectives on air quality impacts (human health and ecosystems) and greenhouse gasses” (Centre for Integrated Assessment Modelling (CIAM) , Cost-effective Emission Reductions to Improve Air Quality in Europe in 2020, march 2011)

Come si traduce nella metodologia:

- Cost-effective → minimizzazione di una funzione di costo utilizzando sistemi matematici di ottimizzazione lineare
- Multi-pollutant → le emissioni dei diversi inquinanti vengono considerate contemporaneamente (superato l'approccio RAINS con curve di costo marginale per singolo pollutant)
- Environmental objectives → gli impatti sulla QA diventano i vincoli ai processi di ottimizzazione
- GHG → considera internamente misure strutturali CO₂eq con stime di costo di un intero scenario



Analisi di Scenario: *what-if* (valutazione dei costi di un portfolio di misure fissato in modo esogeno al modello)

Analisi Costi-benefici: minimizza costi e benefici

Richiede l'individuazione di valori economici per benefici ambientali e sanitari

Analisi Costi-efficacia: minimizza i costi in modo che gli obiettivi ambientali vengano raggiunti

Non richiede valori economici di servizi ambientali e sanitari ma indicatori basati su emissioni che esprimano target di QA (e.g. le relazioni source-receptor delle MTA).



Il modulo di ottimizzazione di **GAINS**

Minimizza: costi

In modo che: alcuni vincoli siano soddisfatti

- Implementazione in GAMS (separata dall'interfaccia web)
- Dati sui vincoli derivati dal database di input
- Tecnologie rappresentate esplicitamente
- Opzioni di sostituzione: switch on/off
- Efficacia di tecnologie multi-pollutant presa in considerazione