



Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile

Il modello nazionale di simulazione della qualità dell'aria: nuovi sviluppi ed applicazioni

Firenze 28 marzo 2017

L. CIANCARELLA, G. RIGHINI **Laboratorio Inquinamento Atmosferico**



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000



Il Laboratorio SSPT-MET-INAT

GABRIELE ZANINI

Responsabile Divisione Modelli e tecnologie per la riduzione degli impatti antropici e dei rischi naturali

LUISELLA CIANCARELLA

Responsabile Laboratorio Inquinamento Atmosferico

SEDE BOLOGNA

Mario Adani, Massimo Berico, Gino Briganti*, Andrea Cappelletti*, Giuseppe Cremona, Massimo D'Isidoro, Maurizio Gualtieri, Teresa La Torretta, Antonella Malaguti, Mihaela Mircea, Ettore Petralia (AR), Antonio Piersanti, Gaia Righini, Felicita Russo (TD), Milena Stracquadanio (TD), M.Gabriella Villani, Lina Vitali**

SEDI ROMA

**Ilaria D'Elia, Alessandra De Marco, Pasquale Fedele,
Giovanni Grandoni, Mariacristina Mammarella, Simonetta Pasqualini,
Pasquale Spezzano, Giovanni Vialetto**

*** sede ENEA Pisa**

*** sede ENEA Ispra**



3 LINEE DI ATTIVITA' INTEGRATE

Modellistica atmosferica

- Simulazioni su dominio italiano ed europeo con il modello nazionale MINNI ex D.Lgs. 155/2010
- Simulazioni di scenario a medio-lungo termine a supporto della negoziazione di protocolli europei ed internazionali e del recepimento di Direttive collegate
- Sistema Nazionale di Previsione della qualità dell'aria
- Applicazioni modellistiche a varia risoluzione, anche con diversi prodotti modellistici, a supporto di soggetti energetici ed industriali di livello nazionale

Impatti dell' inquinamento atmosferico

- Sui materiali e sui beni culturali
- Sulla salute (in collaborazione con la Divisione Tecnologie e metodologie per la salvaguardia della salute ed altre Istituzioni scientifiche)
- Sugli ecosistemi naturali ed antropici (in collaborazione con altre Istituzioni accademiche e scientifiche)

Caratterizzazione fisico-chimica del particolato atmosferico

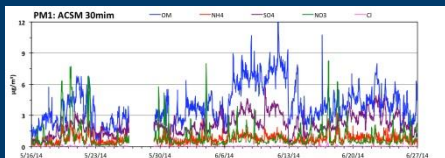
- Monitor (Aerosol Chemical Speciation Monitor) per misure orarie della frazione inorganica idrosolubile nel PM2.5, della frazione carboniosa (EC, OC e TC) nel PM1 e PM2.5, dell'organico non refrattario e degli ioni secondari nel PM1
- Spettroscopia di fluorescenza a raggi X a dispersione di energia (ED-XRF) per la determinazione di metalli e elementi in traccia nel particolato Atmosferico raccolto su filtro
- Analisi di Cromatografia a scambio anionico ad alta prestazione HPAEC-PAD per la determinazione di Anidrozuccheri e Zuccheri della componente di Carbonio Organico Solubile in Acqua nel Particolato Atmosferico
- Analisi di cromatografia Ionica della componente ionica inorganica solubile in acqua (WSII) del Particolato Atmosferico
- Analisi termo-ottica della componente Carboniosa nel Particolato Atmosferico (TC, EC, OC)
- Analisi della componente di Carbonio Organico Solubile in Acqua nel Particolato Atmosferico (WSOC) mediante ossidazione a CO₂.
- Determinazione gravimetrica/ottica del Particolato Atmosferico

Analisi di Qualità dell'aria

Misure on-line con il Lab mobile MINNI

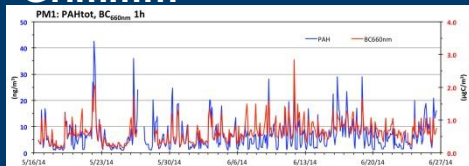


ACSM



Analisi/identificazione delle sorgenti

Sunset OC-EC Analyzer,
PAS2000, AIM URG-9000D,
Grimm...



Analisi di inquinanti con effetti biologici

Valutazione dell' impatto Tests *in vitro* on-line



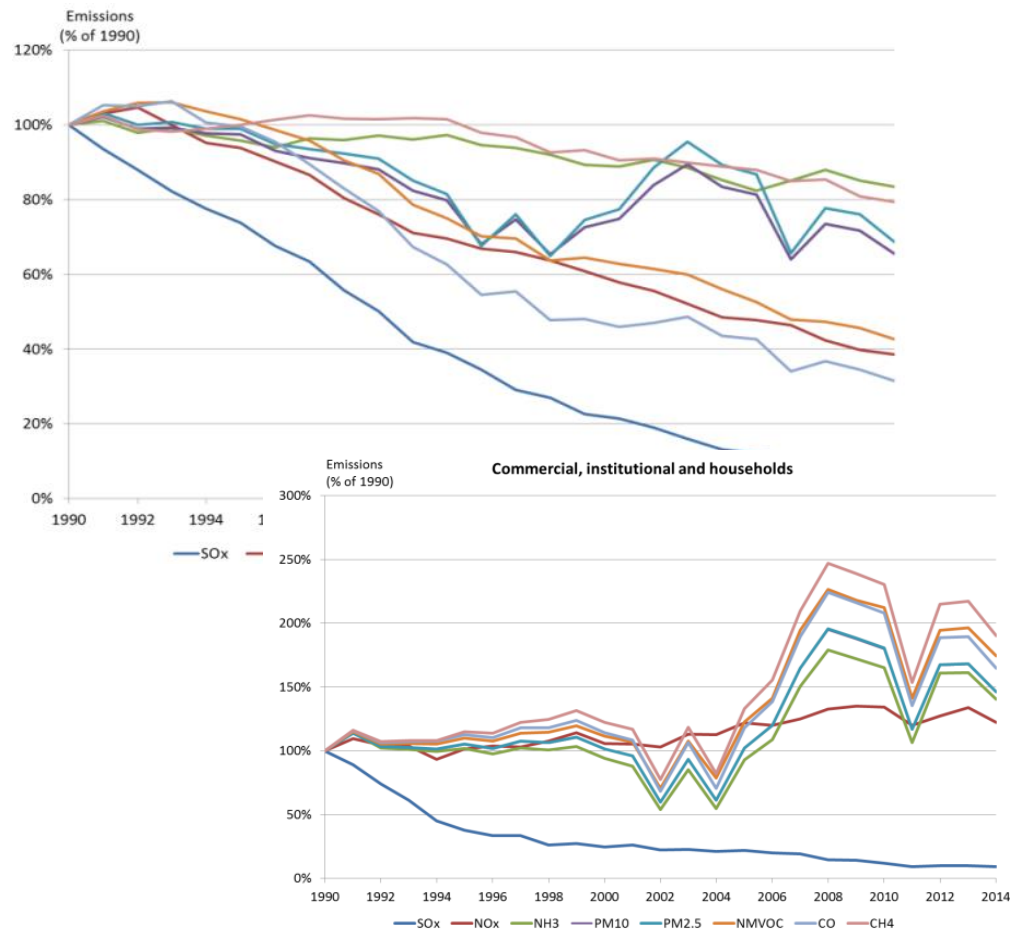
Valutazione degli effetti biologici

Integrazione della caratterizzazione chimico-fisica on-line del PM e della valutazione biologica per comprendere:

- Le sorgenti emissive che determinano effetti biologici
- Le componenti del PM che determinano effetti biologici
- L'andamento in tempo reale della tossicità del PM sotto differenti condizioni ambientali

Le sorgenti degli inquinanti atmosferici

- Possono essere antropiche (attività energetiche e non) o naturali (sabbie sahariane, erosione eolica ecc.);
- Possono emettere inquinanti primari o precursori di inquinanti secondari;
- Possono emettere inquinanti di diversa classificazione chimica (gas, aerosol)

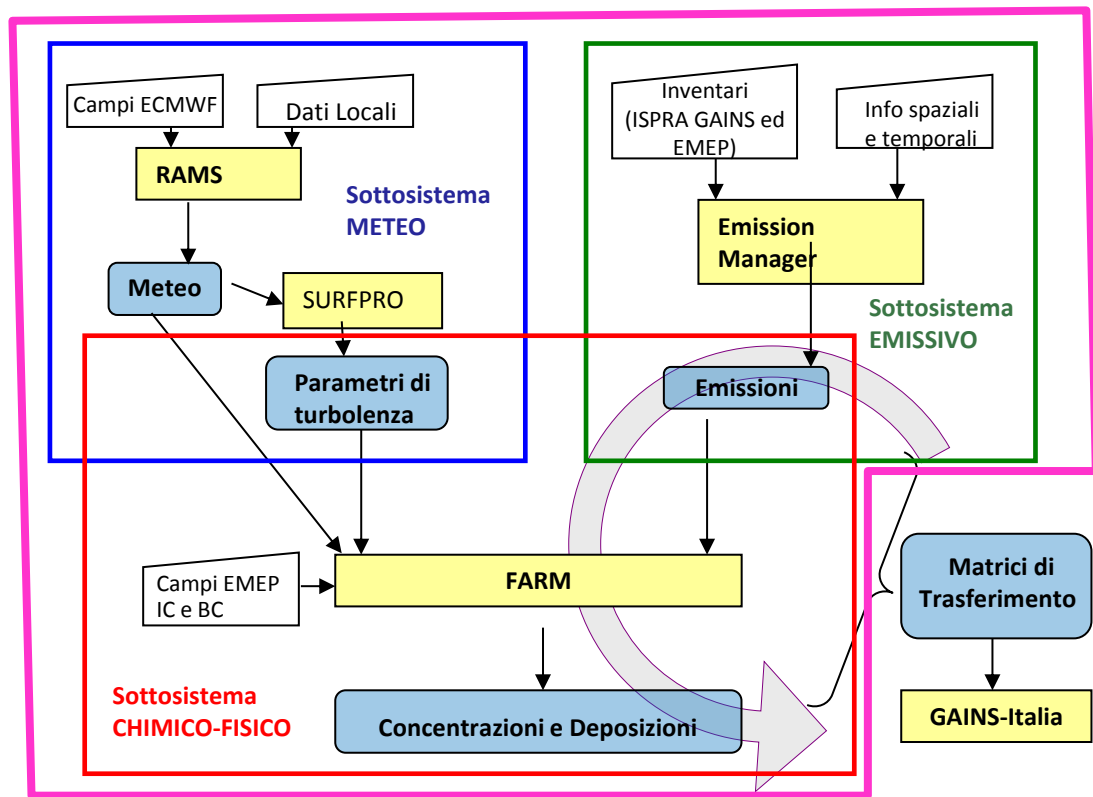


Elaborazioni da ISPRA Informative Inventory Report, 2016.

Il Sistema Modellistico Atmosferico (SMA)

I MODELLI sono un utile strumento per:

- valutare la qualità dell'aria nelle zone in cui non sono presenti stazioni di misurazione;
- integrare e combinare le misurazioni effettuate in siti fissi, in modo tale da ridurre il numero;
- ottenere campi di concentrazione anche nelle aree all'interno delle zone ove non esistano stazioni di misurazione o estendere la **representatività spaziale** delle misure stesse;
- comprendere le relazioni tra emissioni e immissioni, discriminare i contributi delle diverse sorgenti alle concentrazioni in una determinata area (**source apportionment**), e determinare i contributi transfrontalieri e quelli derivanti da fenomeni di trasporto su larga scala (per esempio, le polveri sahariane);



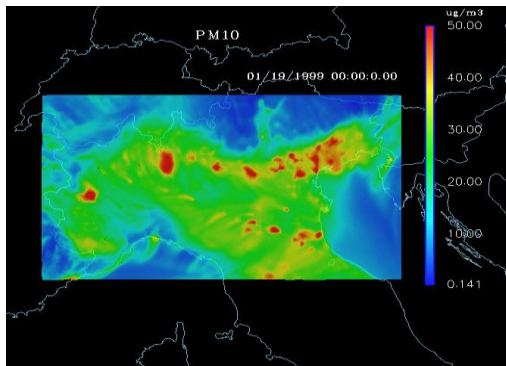
La rappresentatività spaziale di stazioni di monitoraggio

Su 4 metodi testati, è stato scelto il metodo basato sull'analisi dei campi di concentrazione simulati (metodo CSF)

Occorrono basi dati adeguate ma la valutazione avviene su singolo step temporale (ora)

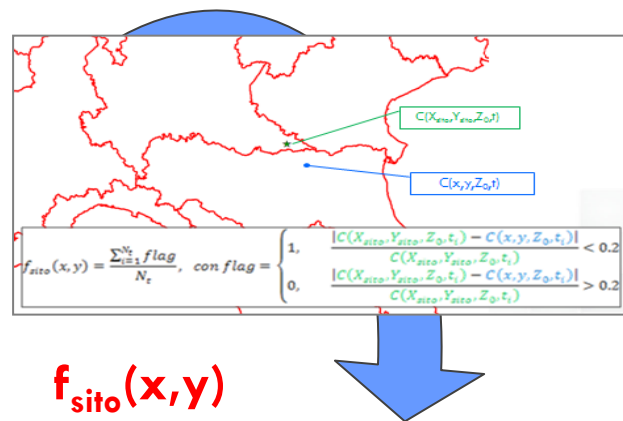
La risoluzione spaziale trattata non può superare quella del data base a disposizione

Il metodo CSF sta partecipando ad un esercizio di intercomparison della comunità FAIRMODE per esplorare punti di forza e di debolezza dei metodi esistenti applicandoli ad un case study univoco



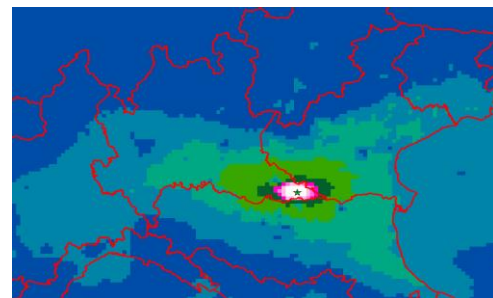
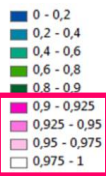
$C(x, y, z, t)$

IL METODO CSF



$f_{\text{sito}}(x, y)$

Punti nei quali, nel confronto delle serie temporali, la condizione $DC/C < 0.2$ è verificata più del 90 % dei casi



STAZIONI DI FONDO RURALE (12)

CAMPI DI CONCENTRAZIONE FORNITI DAL MODELLO NAZIONALE MINNI

✓ Risoluzione 4 km x 4 km

STAZIONI DI FONDO URBANO (9)

USO DELLA CATENA MODELLISTICA DI MINNI PER NUOVE SIMULAZIONI AD HOC

✓ Risoluzione 1 km x 1km

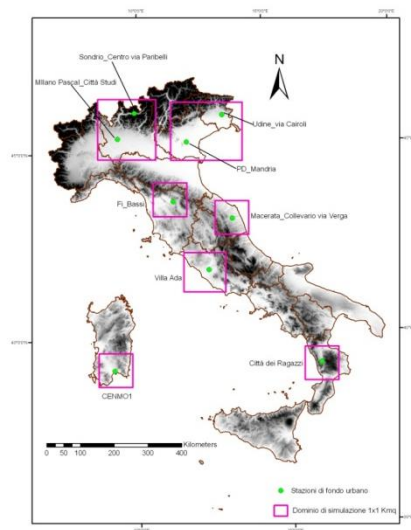
STAZIONI DI TRAFFICO (3) E INDUSTRIALI (1)

NUOVO SISTEMA MODELLISTICO PER LE SIMULAZIONI ALLA SCALA LOCALE (MODELLO LAGRANGIANO SPRAY)

✓ Risoluzione: 100 m (sito industriale); 2 m (siti di traffico)

✓ Dati emissivi dettagliati richiesti alle Regioni interessate

✓ Meteorologia Diagnostica (MICRO-SWIFT) a partire dai campi meteorologici di MINNI



PRODUZIONE DEI CAMPI DI CONCENTRAZIONE

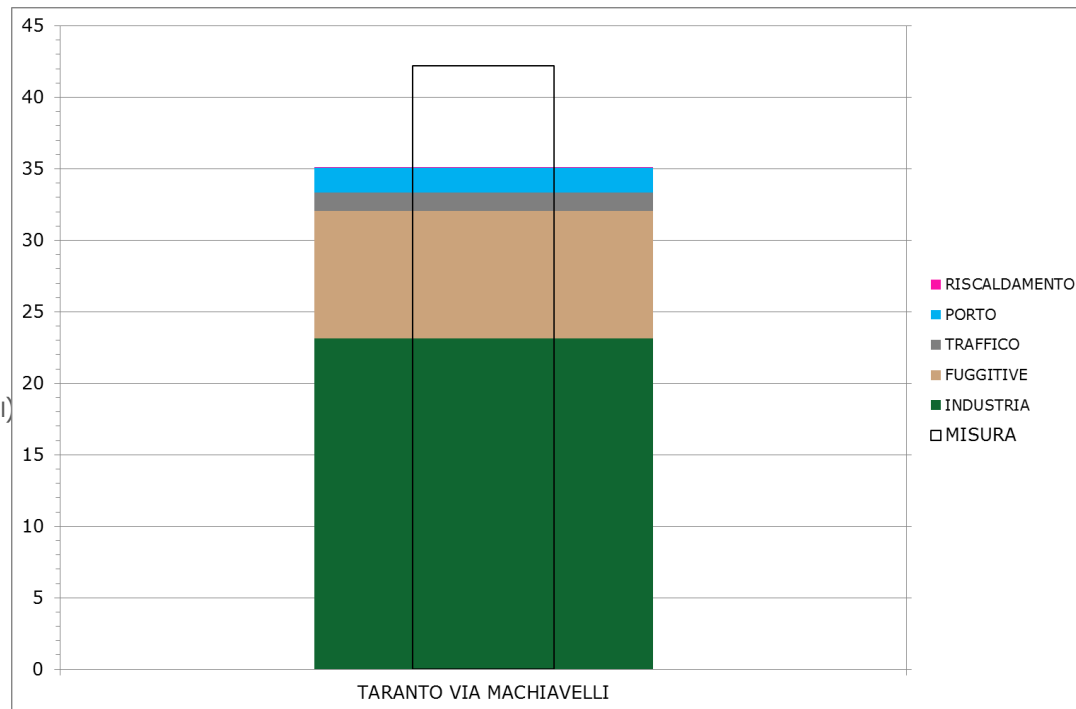
CATENA MODELLISTICA: SWIFT-SPRAY

DOMINIO DI ANALISI: 20km x 20km

RISOLUZIONE SPAZIALE: 100 m

SORGENTI SIMULATE:

- CONVOGLIATE
- DIFFUSE CALDE
- FUGGITIVE
(PARCHI [CON TRATTAMENTO EROSIONE EOLICA] E NASTRI)
- PORTO
- AREALI
(SETTORI SNAP 02, 03, 04)
- TRAFFICO



FONTE DATI EMISSIVI: ARPA PUGLIA

Il codice M-TraCE

Tool di esplorazione ed elaborazione integrata del data base MINNI finalizzato alla **caratterizzazione anemologica** di un sito (regimi prevalenti di trasporto delle masse d'aria)



Consente:

- l'accesso ai campi tridimensionali di vento ad alta risoluzione disponibili nella Base Dati MINNI
- il calcolo delle traiettorie con possibilità di utilizzare procedure automatiche per l'elaborazione di un ampio campione di traiettorie
- l'elaborazione statistica di un campione statisticamente rappresentativo di traiettorie

M-TraCE

Modulo di **CALCOLO** delle
traiettorie ispirato ad HYSPLIT

MINNI module for **Trajectories**

Calculation and statistical Elaboration

ELABORAZIONE STATISTICA

- conteggio (assoluto e percentuale) dei passaggi delle traiettorie
- tempo di permanenza della massa d'aria
- tempo medio di trasporto
- informazioni sulla quota delle masse d'aria (quota media, massima, minima)
- conteggio assoluto dei passaggi in ciascuna delle celle di calcolo della griglia (3D).

Vitali L., Righini G., Piersanti A., Cremona G., Pace G., Ciancarella L., 2016. "M-TraCE: a new tool for high resolution computation and statistical elaboration of backward trajectories on the Italian domain"

Meteorology and Atmospheric Physics, In Press. DOI: 10.1007/s00703-016-0491-8.

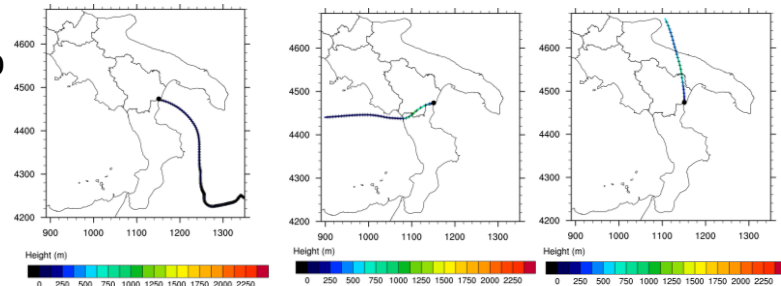
CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA DI UN SITO:

MODALITÀ D'USO

- ✓ Interpretazione di un **EVENTO** avvenuto in un sito in un determinato istante
- ✓ Caratterizzazione anemologica media di una **CAMPAGNA SPERIMENTALE**
- ✓ **CARATTERIZZAZIONE ANEMOLOGICA MEDIA** di un sito

CALCOLO DELLE TRAIETTORIE

- ✓ Fino a cinque anni meteorologici (1999, 2003, 2005, 2007, 2010)
- ✓ tutti i giorni dell'anno
- ✓ diverse traiettorie al giorno (ad es., in arrivo alle ore 0, 6, 12, 18)



AMPIO CAMPIONE STATISTICO

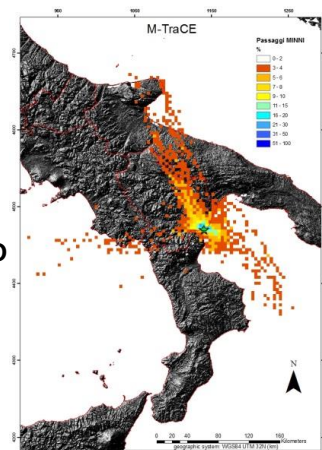
Diverse migliaia di traiettorie calcolate



ELABORAZIONE STATISTICA

✓ sull'intero campione statistico CARATTERIZZAZIONE METEOROLOGICA DEL SITO

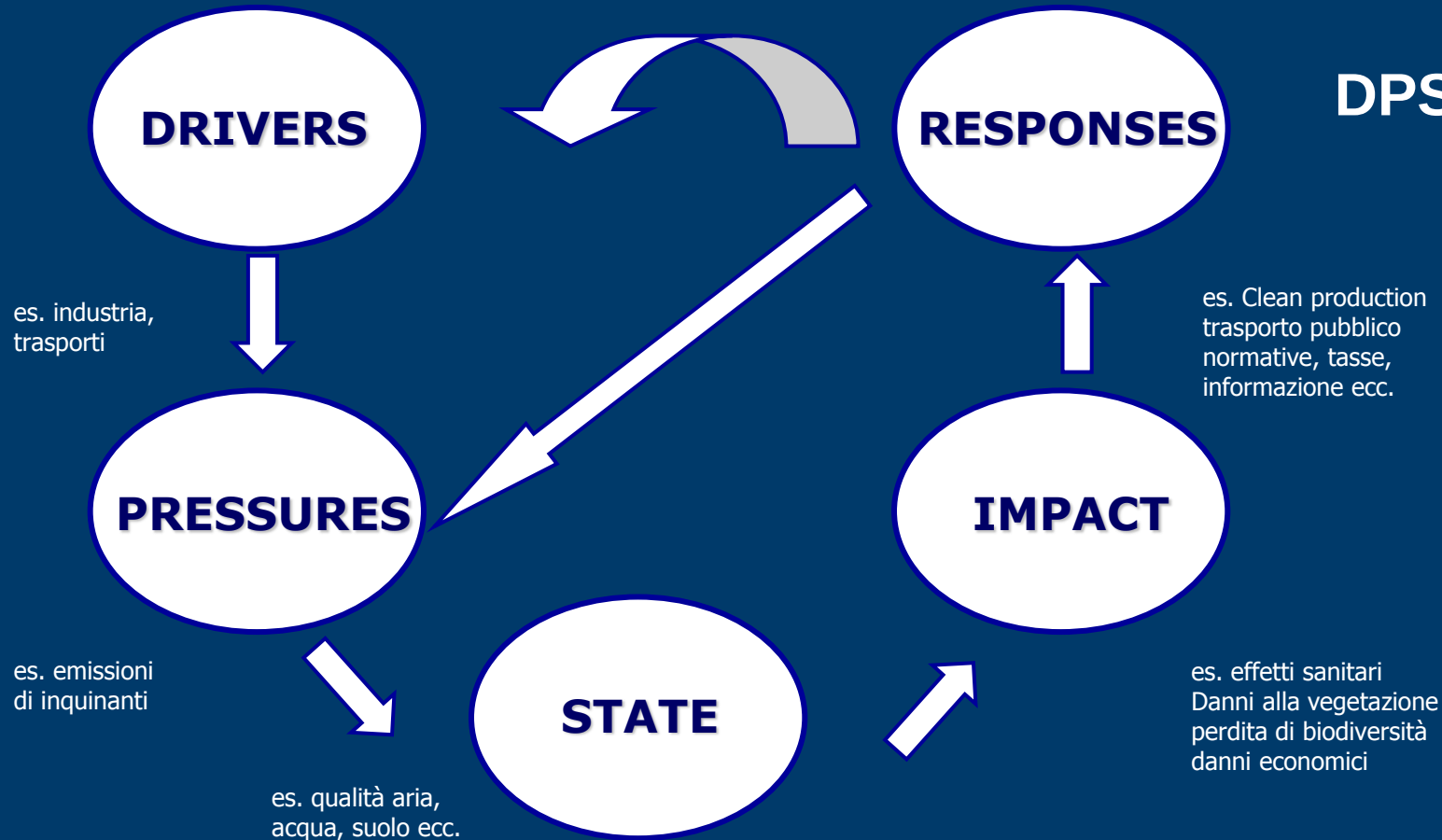
- ✓ su ciascuno degli anni separatamente
VARIABILITÀ METEOROLOGICA INTER-ANNUALE
- ✓ su ciascuna delle ore del giorno
VARIABILITÀ METEOROLOGICA GIORNALIERA
- ✓ su ciascuna stagione
VARIABILITÀ METEOROLOGICA STAGIONALE



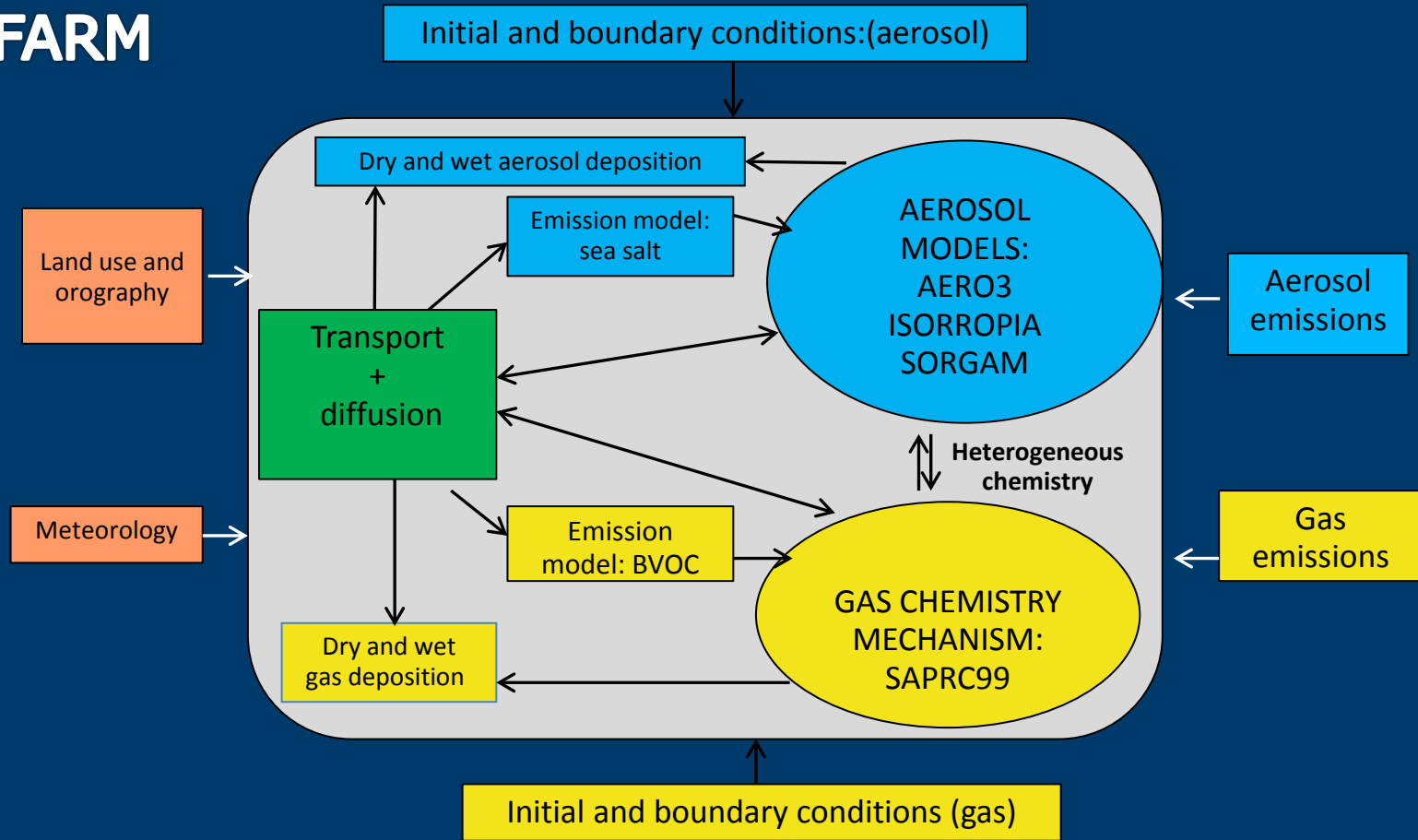
POSSIBILI APPLICAZIONI

- ✓ Studio della **REGIONE DI INFLUENZA** di un sito intesa come area responsabile dei livelli di concentrazione misurati nel sito
- ✓ **Pianificazione** di nuove reti
- ✓ **Interpretazione** di misure sperimentali
- ✓ **Supporto a validazioni** modellistiche di qualità dell'aria
- ✓

DPSIR

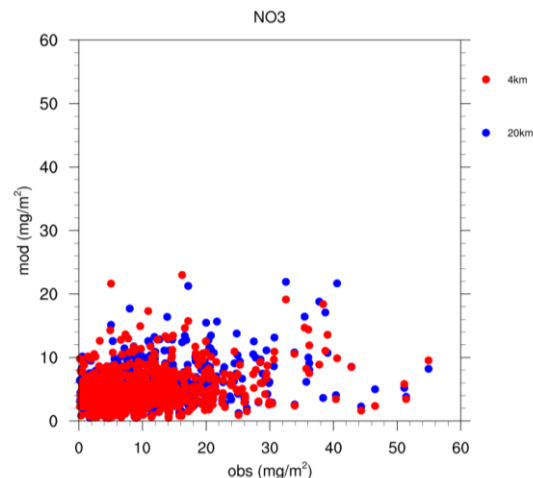
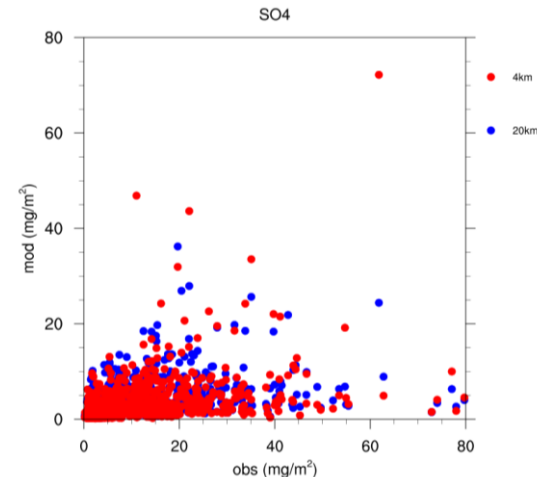
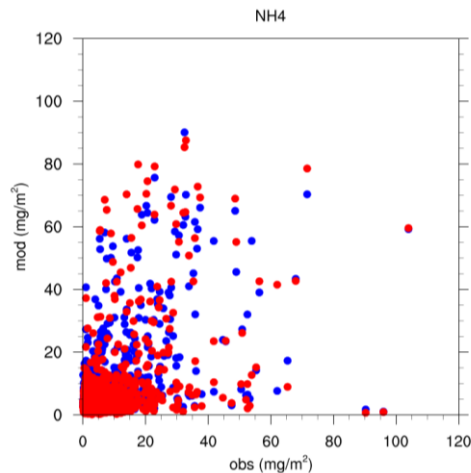


FARM



Deposizioni totali modellate e osservate nel 2010

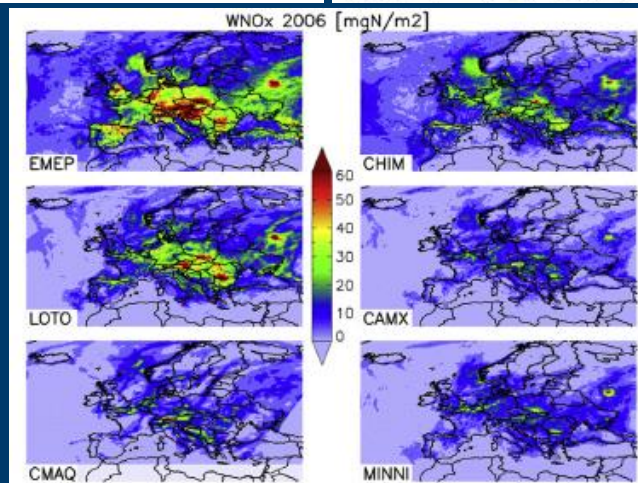
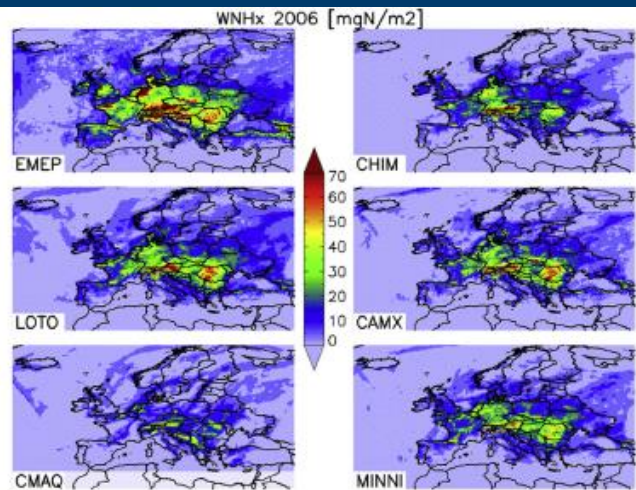
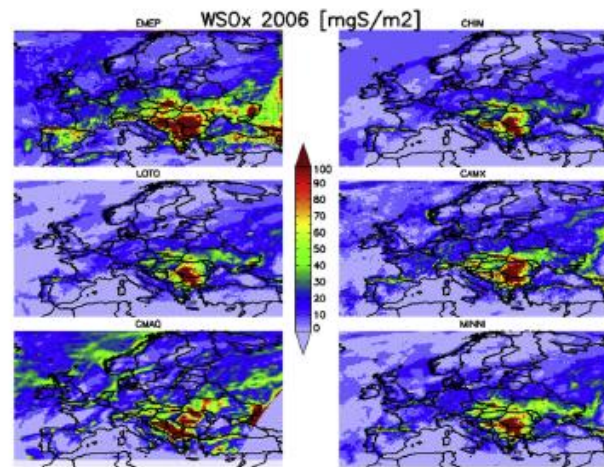
- Dati sperimentali forniti da **Michela Rogora e Aldo Marchetto del CNR Verbania Pallanza, Istituto per lo Studio degli Ecosistemi**
- Dep. Totale = somma delle deposizioni umide e secche, medie annuali alle stazioni bulk
- Lavoro in corso



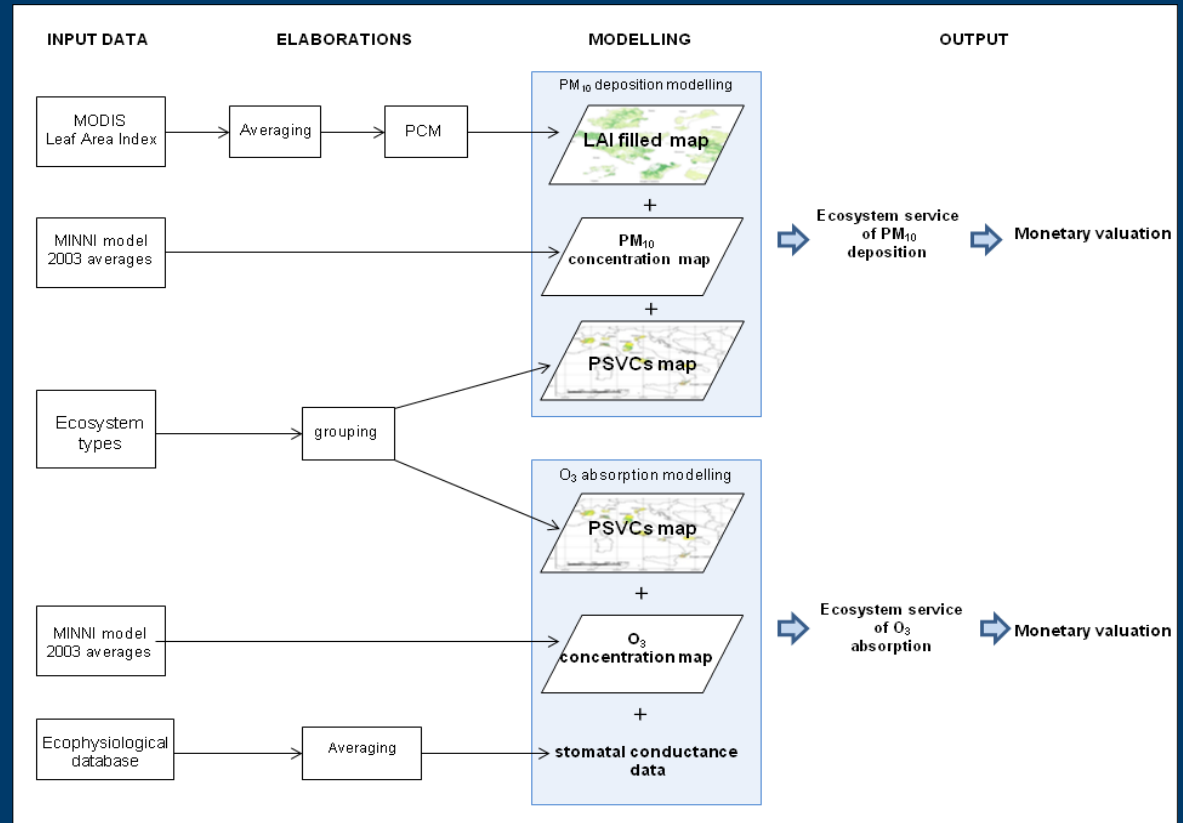
Esercizio di intercomparison
modellistico
EURODELTAIII
Task Force on Measurement and
Modelling UNECE-CLRTAP

Uno degli obiettivi è valutare quanto
i modelli di qualità dell'aria siano in
grado di riprodurre le
concentrazioni ed i flussi di
deposizioni osservati in Europa.

Deposizioni umide medie sulla
campagna intensiva di EMEP 1–30
June 2006
(Vivanco et al., 2017 Atm. Env.)



Manes et al. “Regulating Ecosystem Services of forests in ten Italian Metropolitan Cities: Air quality improvement by PM10 and O3 removal
In: Ecological Indicators 67 (2016) 425–440



GLI IMPATTI SANITARI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO



- national project, 2013-2015, 400 m€ funding by the Italian Ministry of Health
- 7 partners: 2 national env. agencies, 3 regional env. agencies, 1 university, 1 SME
- objective: estimation of mortality (from respiratory disease, cardiovascular disease, lung cancer and total) and months of life lost due to exposure to air pollution
- base years (2005, 2010) and future years (2020, 3 scenarios)
- estimations on Italy as a whole and on the 20 Member Regions individually
- pollutants: PM_{2.5}, NO₂, O₃



- EU LIFE+ Pilot project, 2013-2016, 790 m€ funding by EC
- 4 countries: Italy, France, Slovenia and Spain - 7 partners (national and regional env. agencies and epidemiological surveillance agencies, 1 university)
- objective: to set up a low-cost surveillance system of long term effects of air pollution, based on routine air quality and health data (National Health Interview Surveys, mortality and hospital admissions registries, air pollution models)
- pollutants: PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, O₃

			2005	2010	2020 CLE	2020 CLE - Target1	2020 CLE - Target2
PM_{2.5}	general mortality	population exposure ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20.1	15.8	18.1	16.2	14.5
		attributable deaths (95% confidence interval)	34552 (20608-43215)	21524	28595	23170	18511
		months of life lost	9.7	5.5	7.7	5.9	4.2
NO₂	general mortality	population exposure ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24.7	17.9	16.6	16.1	13.3
		attributable deaths (95% confidence interval)	23387 (21514-50283)	11993	10117	9021	5247
O₃	mortality for respiratory diseases	population exposure ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	105.1	108.2	97	-	-
		attributable deaths (95% confidence interval)	1707 (622-2861)	1858	1320	-	-

CLE = legislazione attuale, Target 1 = rispetto limiti di legge su concentrazioni ,Target 2 = -20% concentrazioni CLE

Risks (HR) of Mortality among the Italian cohort during the follow-up (2000-2012): 75,900 subjects aged 35 or older. Risks for 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase of NO_2 and $\text{PM}_{2.5}$ and 95% Confidence Interval. Significant results in bold.*

Mortality cause	Number of events	PM2.5	
		HR for 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase of pollutant	HR for 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase of pollutant
Natural causes	14,166	1.04 (1.02-1.06)	1.03 (1.01-1.05)
Circulatory system diseases	5,908	1.03 (1.00-1.06)	1.01 (0.98-1.04)
Heart diseases	3,970	1.03 (0.99-1.07)	1.01 (0.98-1.05)
Cerebrovascular diseases	1,642	1.00 (0.94-1.07)	1.00 (0.94-1.06)
Respiratory system diseases	934	1.04 (0.96-1.13)	1.03 (0.95-1.11)
All cancers (but lung)	3,685	1.06 (1.02-1.10)	1.04 (1.00-1.08)
Lung cancer	851	1.12 (1.04-1.21)	1.13 (1.06-1.22)
Nervous system diseases	465	1.03 (0.93-1.15)	1.01 (0.92-1.12)
Alzheimer's disease	257	1.03 (0.89-1.20)	0.99 (0.86-1.14)

* adjusted for age, gender, educational level, activity status, living alone, BMI, smoking, physical activity.

WHO:

1.06 (1.04-1.09)

conferma con dati individuali su Italia del fattore di rischio relativo da $\text{PM}_{2.5}$ utilizzato da WHO

DATA FUSION NEL PROGETTO LIFE+ MEDHISS

L'ARPA PIEMONTE ha applicato l'approccio geostatistico **Kriging con external drift(KED)** sui campi di concentrazione di MINNI per gli anni 2003, 2005, 2007 and 2010

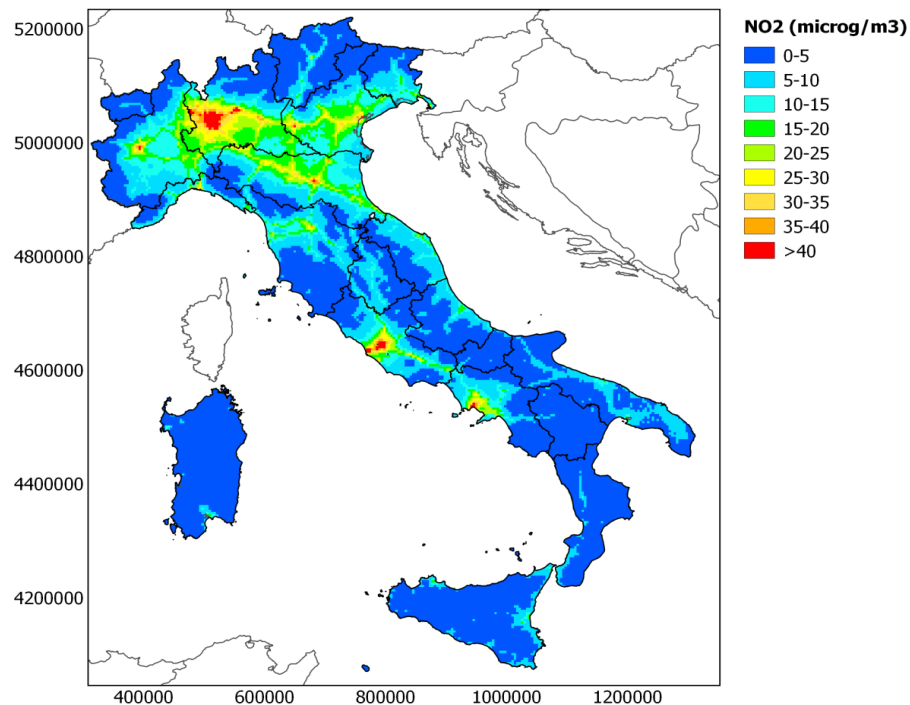
Il Setup del KED

- Il KED è stato applicato ai campi di concentrazione media annuale di NO₂ e PM10
- L'orografia è stata aggiunta come covariata ausiliaria
- Il metodo di cross-validation *leave-one-out* è stato utilizzato per scegliere la funzione di covarianza spaziale e per valutare la bontà del modello

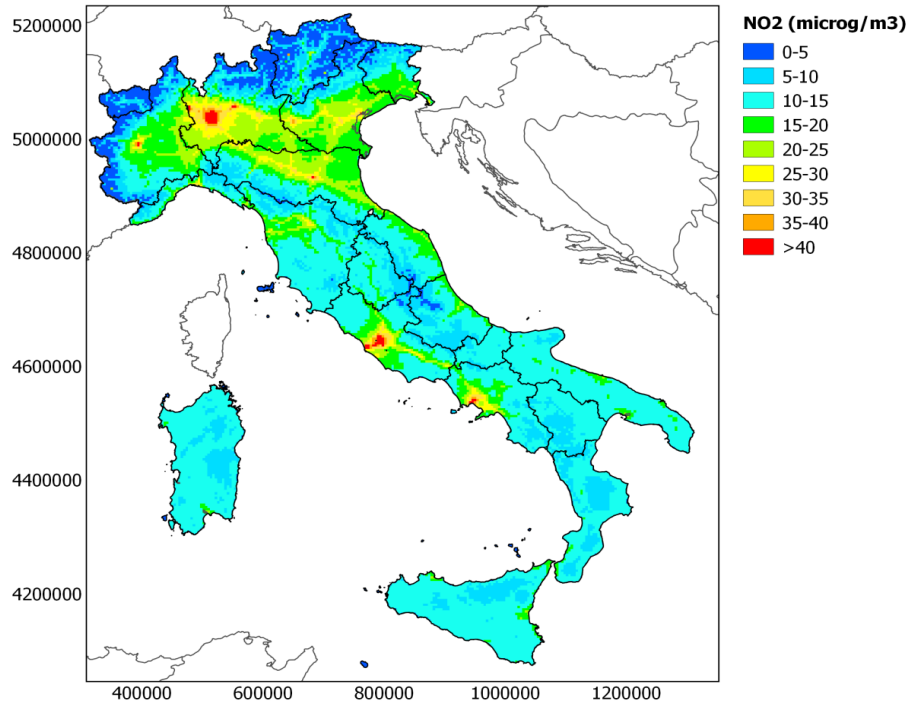


DATA FUSION NEL PROGETTO LIFE+ MEDHISS

output di MINNI



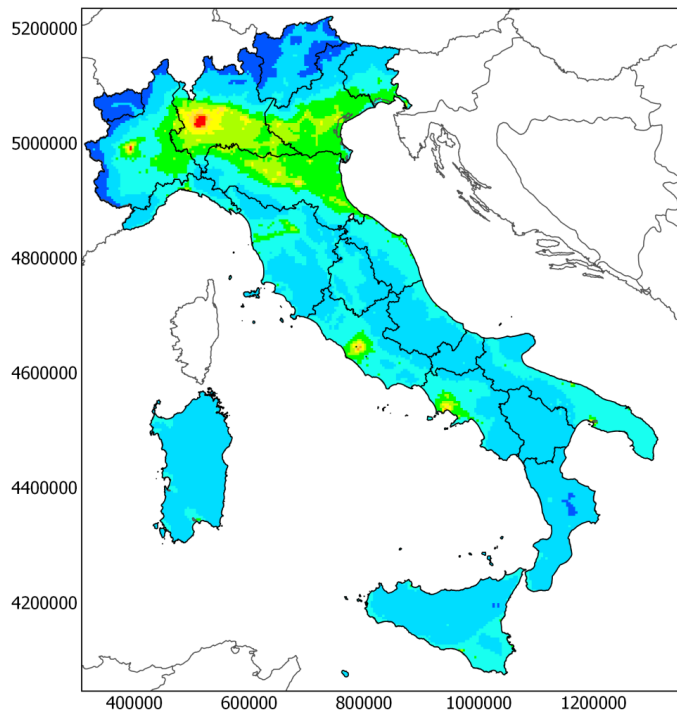
output di MINNI con KED



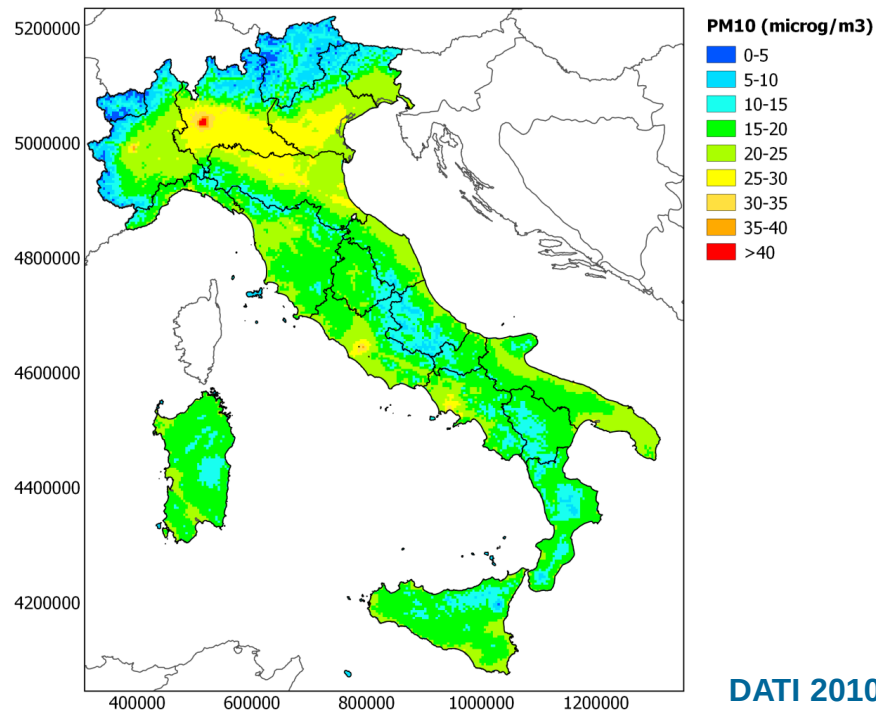
DATI 2010

DATA FUSION NEL PROGETTO LIFE+ MEDHISS

output di MINNI



output di MINNI con KED

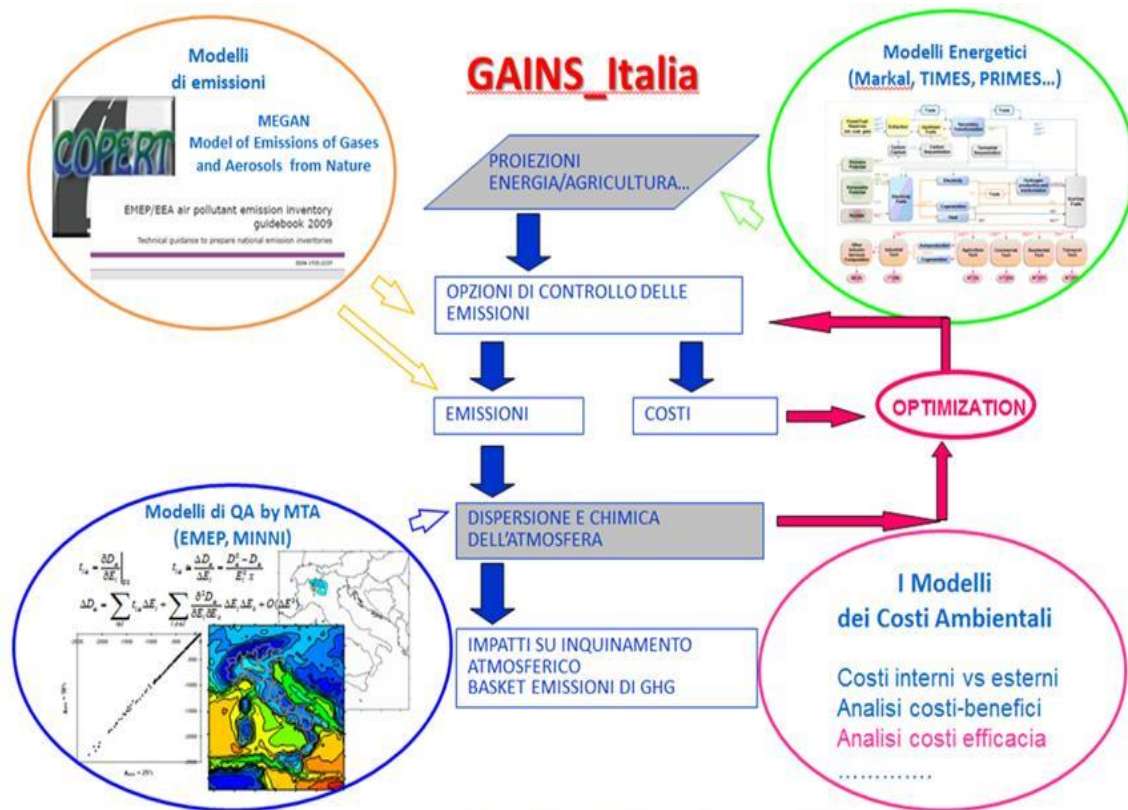


DATI 2010

Il Modello di Valutazione Integrata (IAM) GAINS-Italia

Gli IAM sono strumenti fondamentali per:

- prevedere la qualità dell'aria a medio-lungo termine sulla base di scenari futuri di emissione o in funzione di variazioni delle condizioni meteorologiche/climatiche;
- valutare l'efficacia delle misure di contenimento delle emissioni in atmosfera.



GAINS - Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies

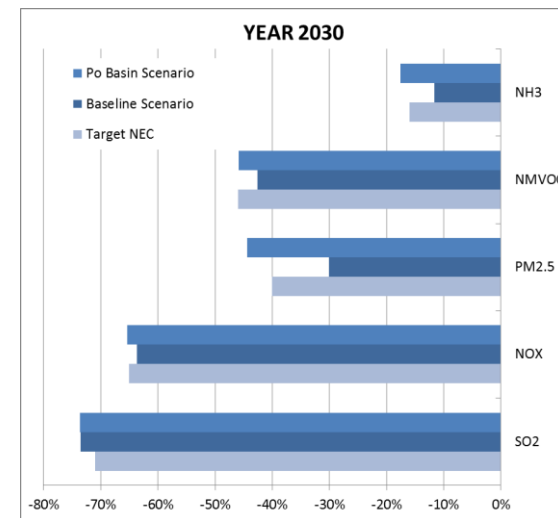
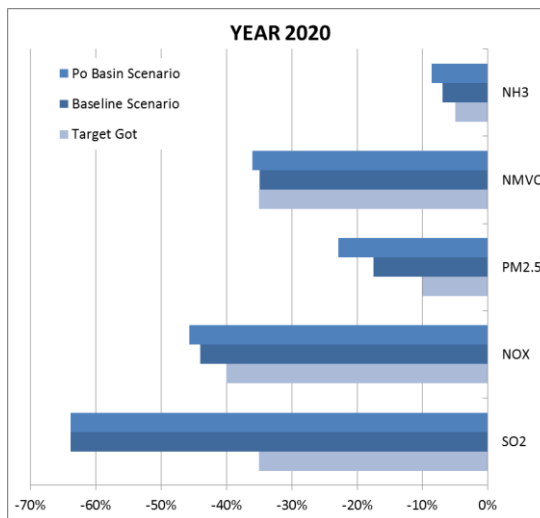
Negoziato di revisione della Direttiva NEC (National Emission Ceiling)

ISPRA ha messo a punto uno scenario energetico basato sulla Strategia Energetica Nazionale attualmente in revisione con i dati a consuntivo 2015

ENEA ha sviluppato per il Ministero dell'Ambiente scenari di qualità dell'aria agli anni target 2020 e 2030

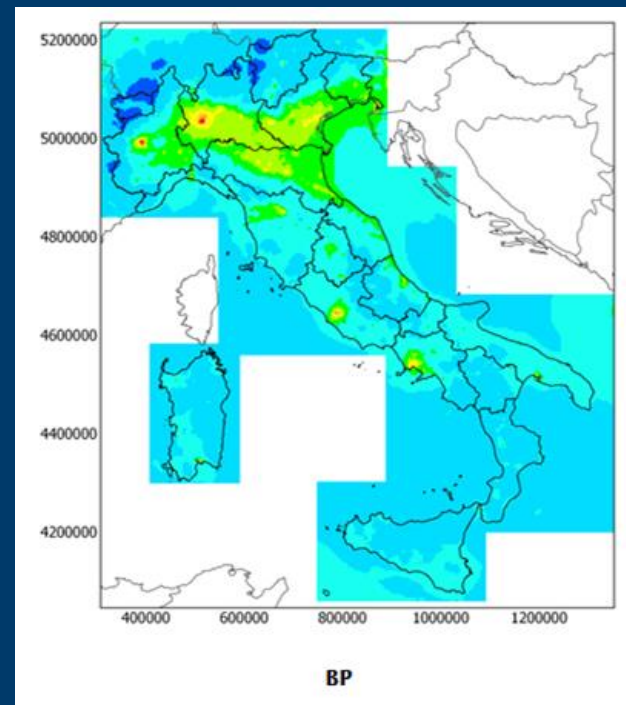
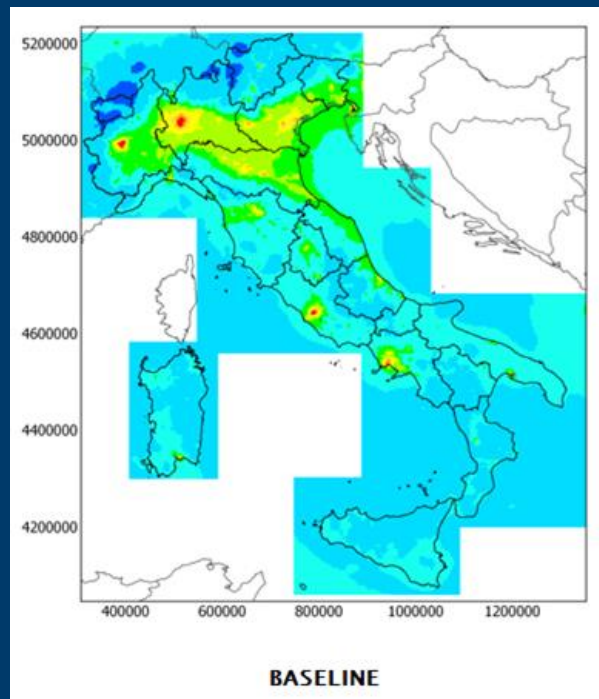
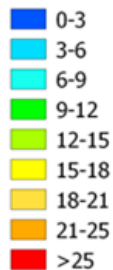
ENEA ed ISPRA hanno valutato alcune misure nazionali individuate nell'ambito dell'Accordo Bacino Padano

Compliance con i Target del Protocollo di Gothenburg (anno 2020) e con i Target della nuova Direttiva NEC (anno 2030) – GAINS-Italia



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

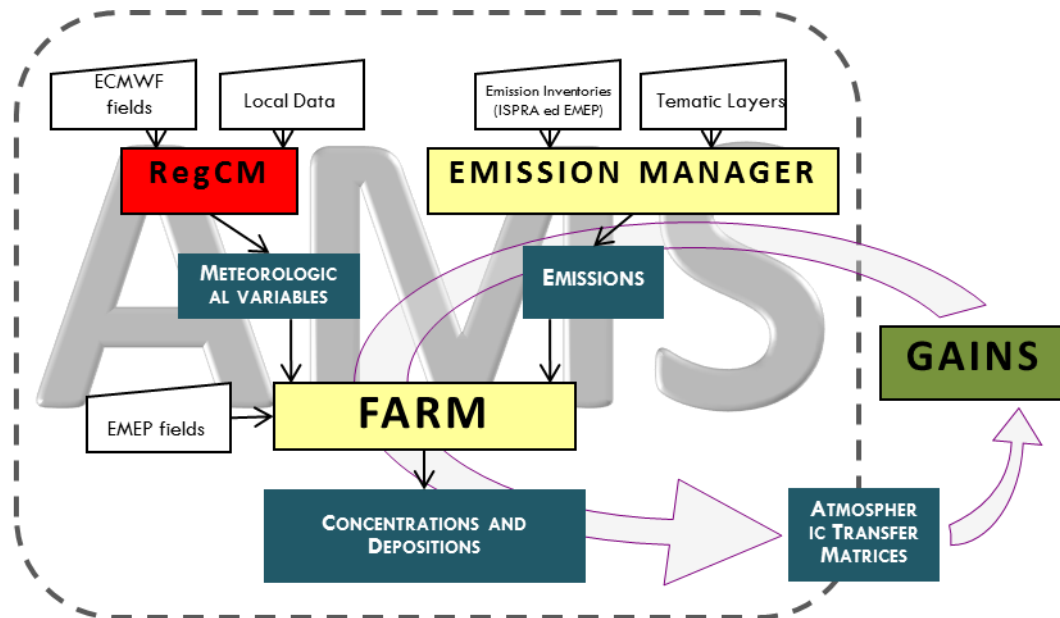
PM2.5 (microg/m3)



2030 – Concentrazione media annuale PM2.5

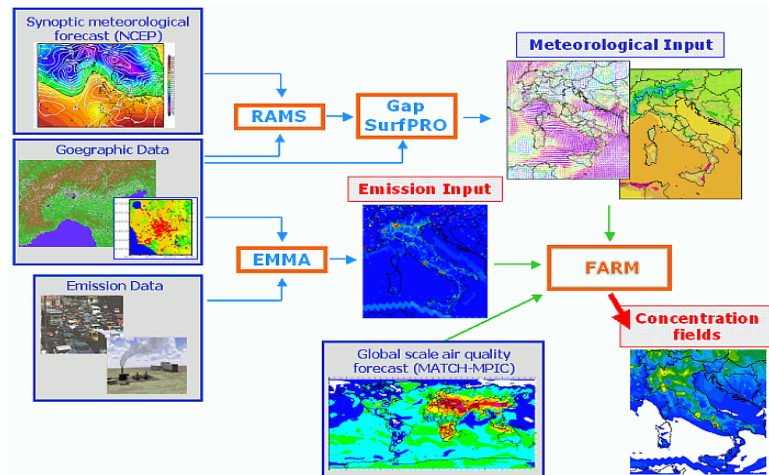
Scenario 2050: forzante meteorologico o climatico ?

- Stiamo lavorando alla produzione di un forzante climatico;
- Utilizziamo il Regional Climate Model (RegCM, Giorgi et. al 2012) utilizzato e sviluppato nel Laboratorio di Modellistica Climatica e Impatti della Divisione MET anche nell'ambito dell'iniziativa internazionale coordinata Med-CORDEX;
- Ciò implica la produzione di meteorologie climatiche cioè statisticamente rappresentative non di un reale anno meteorologico ma di un anno consistente con il clima associato all'anno di riferimento;
- Per un anno di riferimento, sia di base che di scenario, è quindi necessario simulare almeno 10 anni nell'intorno del riferimento per separare la variabilità interannuale dal segnale di cambiamento climatico.



SISTEMA NAZIONALE DI PREVISIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

grid system



Dataset di input

GFS, United States weather service
(NCEP)

Global Air Quality forecast **MACC-Copernicus**

Emissioni italiane: **ISPRA 2010** provinciali

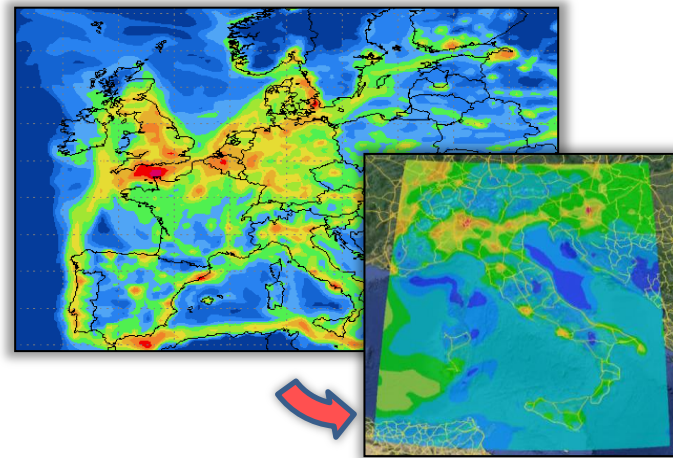
Emissioni extra-italiane: **TNO 2005 EMEP**

**Risoluzione 20
km 5 giorni di
previsioni**

**Risoluzione 4 km
3 giorni di
previsioni**

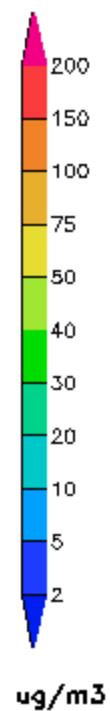
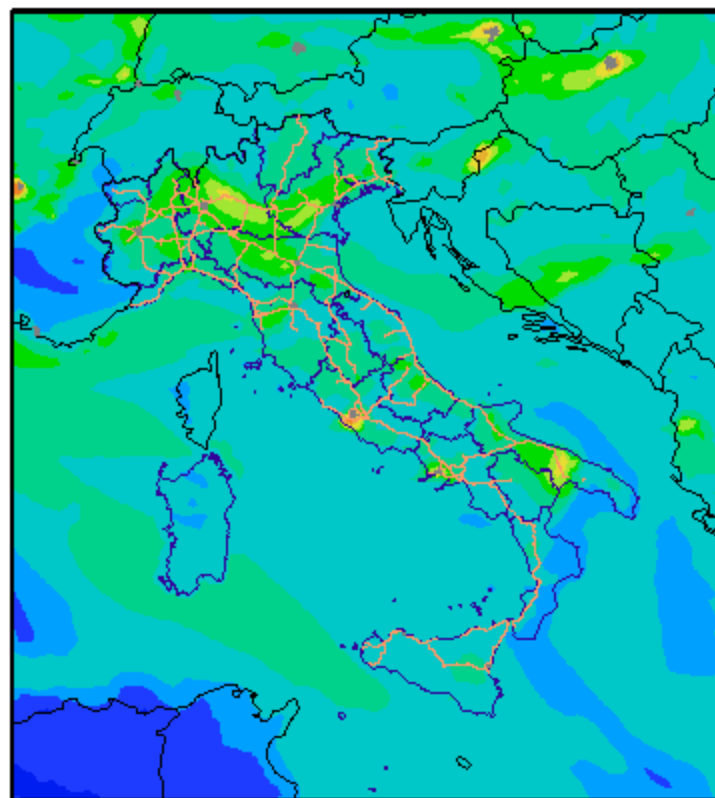
da QualeAria
ARIANET

a ForAir_IT
ENEA



Sia QualeAria che ForAir_IT (in preparazione) risiedono **sull'infrastruttura di calcolo dell'ENEA CRESCO – HPC Computing)**

14FEB2017 hr 00



ug/m3

ENEA SSPT-MET-INAT - pm10 - run 20170214 forecast +00h

2017-02-13-20:54

luisella.ciancarella@enea.it



1101 0110 1100
0101 0010 1101
0001 0110 1110
1101 0010 1101
1111 1010 0000

