



# CHE TEMPO FARA' E CHE ARIA RESPIREREMO NELLE REGIONI ALPINE OCCIDENTALI NEI PROSSIMI ANNI?

*(strumenti per la valutazione della qualità dell'aria futura)*

**Relatore: STEFANO BANDE**  
**ARPA Piemonte**

## Parleremo di :

- Strumenti per la previsione della qualità dell'aria: i modelli numerici di chimica e trasporto
- I modelli climatici ed il loro utilizzo con i modelli di qualità dell'aria
- Un caso applicativo: il progetto CLIMAERA

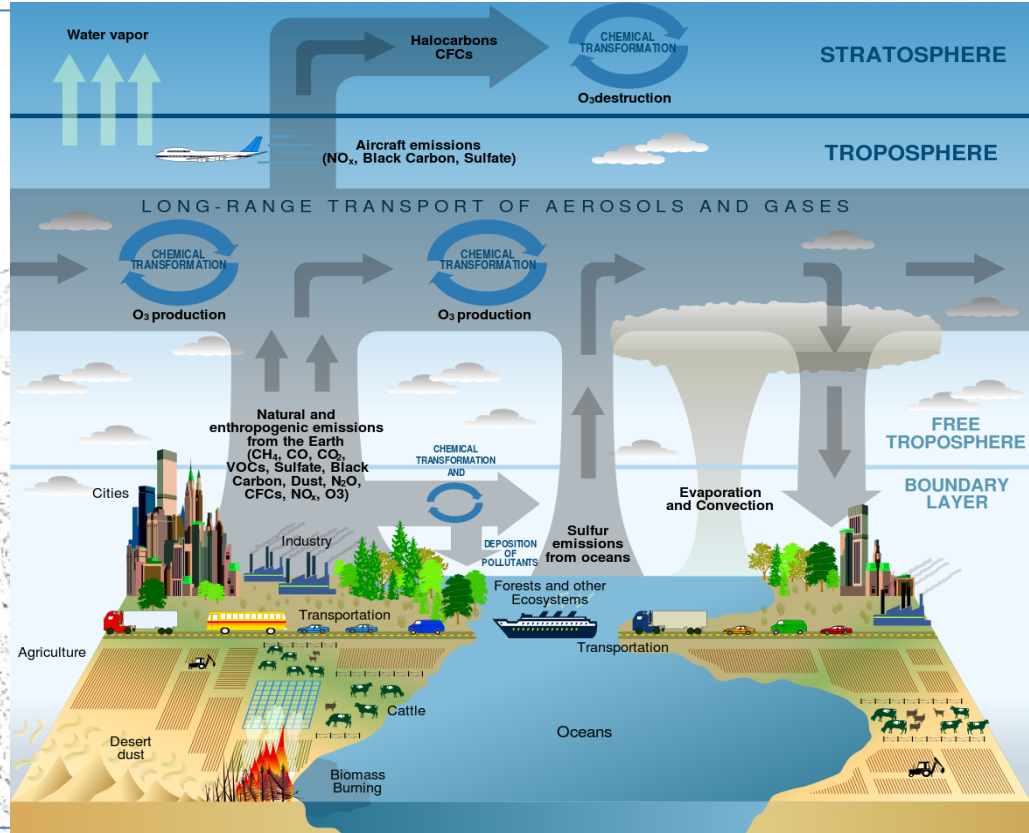
## Perchè prevedere la qualità dell'aria:

- **Analisi dello stato di qualità dell'aria:** gestione e pianificazione a medio e lungo termine, rispetto degli obiettivi di legge, adempimenti normativi stabiliti a livello comunitario e nazionale (2008/50/EC, 2011/850/EU, d.lgs 155/2010).
- **Previsione della qualità dell'aria** a breve termine (3/5 giorni): informazione al cittadino, gestione situazioni di perdurante criticità (es blocchi del traffico)
- **Analisi di scenario:** individuazione delle misure di riduzione, valutazione degli impatti di possibili azioni di mitigazione (*scenari emissivi*)

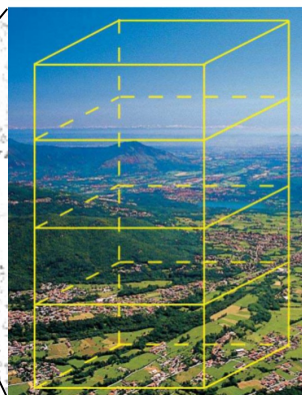
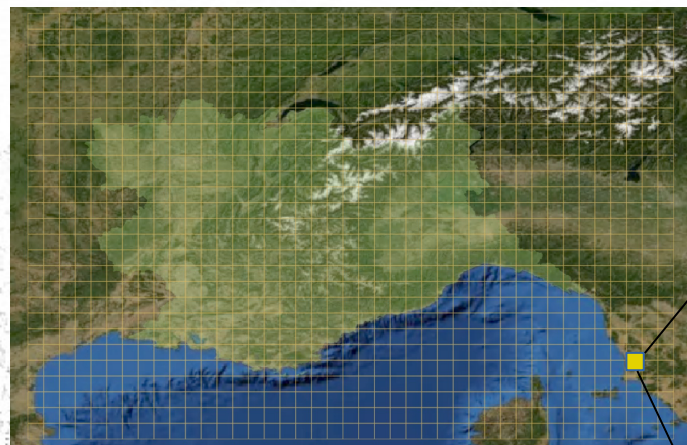


# I modelli di chimica e trasporto (CTM)

Calcolano la distribuzione nello spazio e nel tempo della concentrazione degli inquinanti atmosferici emessi in atmosfera dalle diverse sorgenti naturali o antropiche, riproducendo (con vari livelli di dettaglio) i processi chimico-fisici che avvengono in atmosfera



## I modelli di chimica e trasporto: *Il dominio di simulazione*



L'area di studio è rappresentata come un reticolo (griglia) tridimensionale che comprende la superficie e buona parte della troposfera

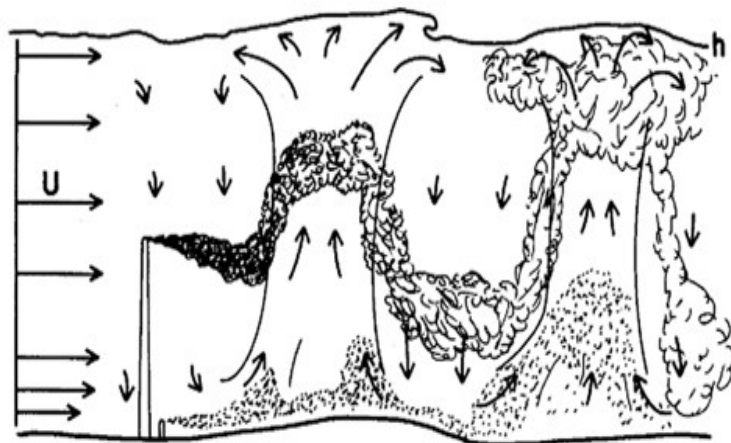
La distanza tra i punti griglia è detta *risoluzione*

Il modello è in grado di riprodurre fenomeni che avvengono su scale spaziali superiori alla risoluzione del modello.



## I modelli di chimica e trasporto: *i dati meteorologici*

Le condizioni meteorologiche influenzano la dispersione degli inquinanti determinandone l'accumulo o la diluizione in atmosfera.



Briggs (1988)

*irraggiamento solare*: influenza la dispersione verticale e le reazioni di trasformazione chimica degli inquinanti;

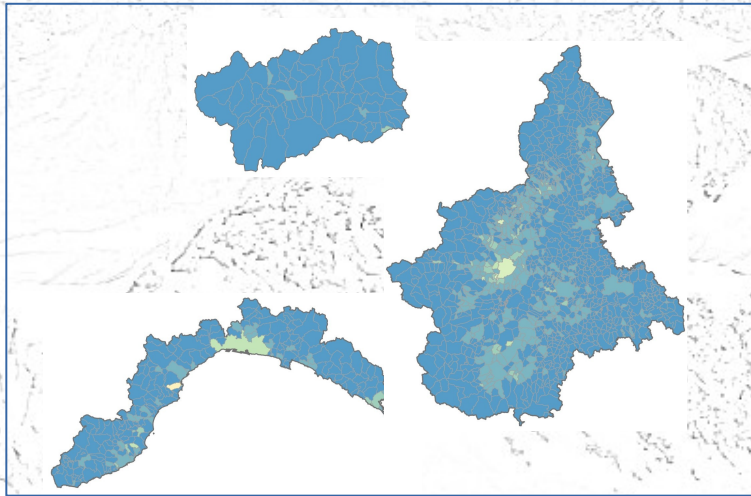
*velocità e direzione del vento*: determinano il trasporto (dispersione orizzontale) o la stagnazione degli inquinanti;

*precipitazione*: favorisce la deposizione umida (dilavamento) degli inquinanti, influenza le reazioni chimiche;

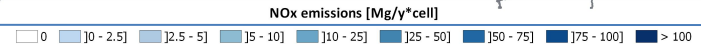
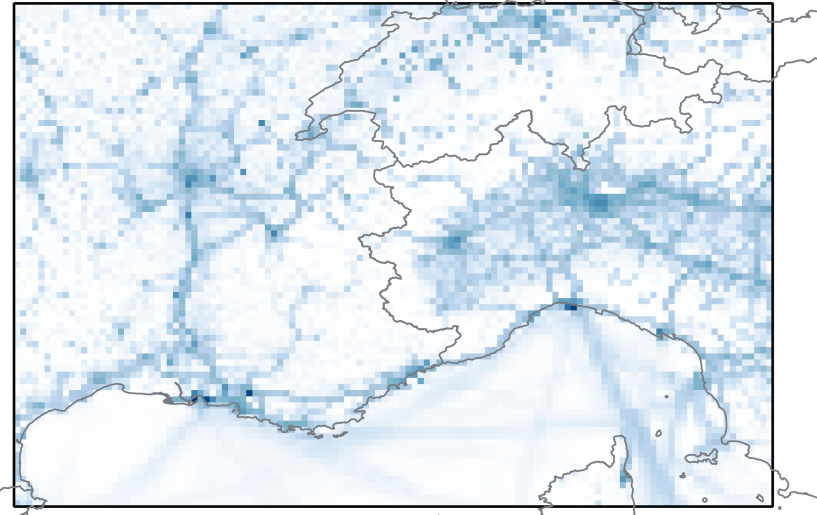
*temperatura*: il gradiente verticale di temperatura (presenza/assenza di inversioni termiche) influenza la dispersione verticale

# I modelli di chimica e trasporto: i dati di emissione

Le informazioni emissive devono essere fornite su ogni cella del dominio di calcolo ad ogni istante (orario) della simulazione, per tutte le specie. I dati di partenza sono le stime degli inventari delle emissioni.



NOx diffuse gridded emissions - year 2013  
ALCOTRA Climaera domain



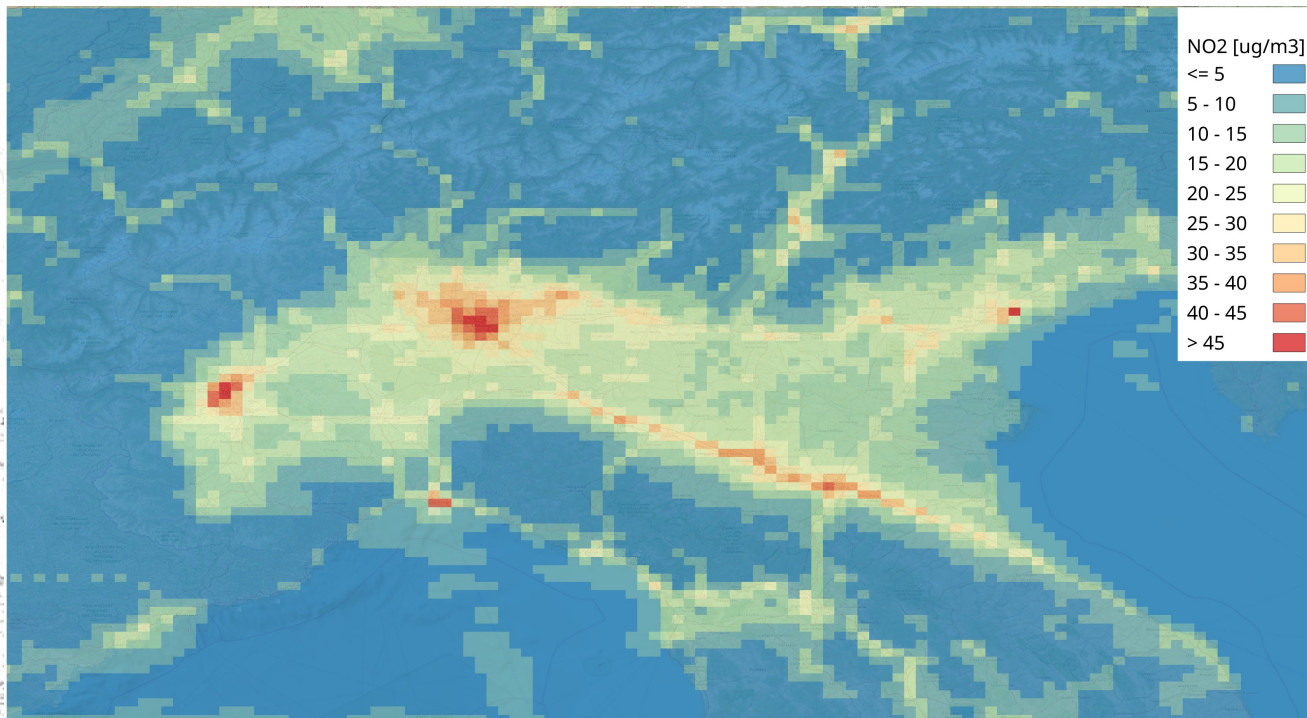
## I modelli di chimica e trasporto: punti di forza e debolezza

- ✓ possono essere applicati su differenti scale spaziali e temporali con grande dettaglio in una grande varietà di applicazioni;
- ✓ possono essere applicati in contesti morfologicamente complessi (zone alpine, zone costiere, aree densamente urbanizzate, etc);
- ✓ trattano sia inquinanti primari, sia inquinanti secondari (accuratezza dello schema chimico).

- ✓ rete integrata di codici di calcolo che può richiedere ingenti risorse computazionali;
- ✓ devono essere verificati (corretta implementazione dello schema concettuale);
- ✓ sono sensibili ai dati di ingresso (condizioni iniziali, meteorologia ed emissioni);
- ✓ devono essere validati, ovvero si deve in ogni applicazione valutare con quale grado di accuratezza il modello riproduce la realtà rappresentata dalle misure sperimentali.



## I modelli di chimica e trasporto: un esempio



## Scenari Climatici (RCP - Representative Concentration Pathways)

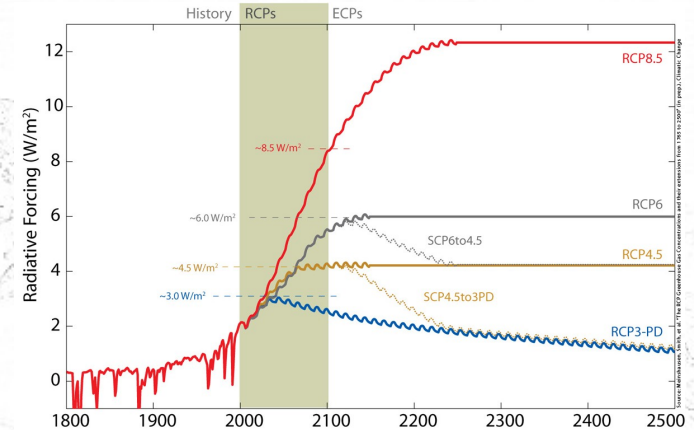
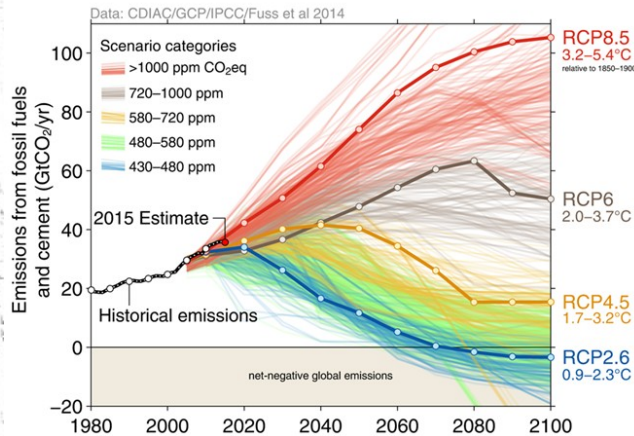
Forzante radiativa totale nel 2100 rispetto al 1750:

**RCP 2.6** W/m<sup>2</sup> (forte mitigazione, picco "2015" poi calo)

**RCP 4.5** W/m<sup>2</sup> (emissioni gas climalteranti con picco al 2040)

**RCP 6.0** W/m<sup>2</sup> (emissioni gas climalteranti con picco 2080)

**RCP 8.5** W/m<sup>2</sup> (emissioni molto alte).



**RCP 8.5** – entro il 2100, le concentrazioni di CO<sub>2</sub> sono triplicate o quadruplicate rispetto ai livelli preindustriali

**RCP 6.0** – aumento e poi stabilizzazione – concentrazioni il 25% superiori rispetto ai valori di RCP4.5

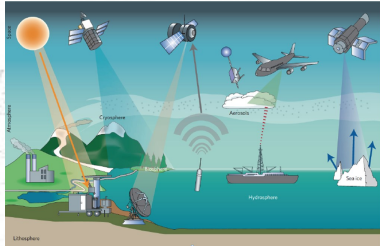
**RCP 4.5** – picco e poi le emissioni di CO<sub>2</sub> scendono al di sotto dei livelli attuali (doppio rispetto al periodo pre-industriale)

**RCP 2.6** – forti politiche di mitigazione



# I modelli climatici globali

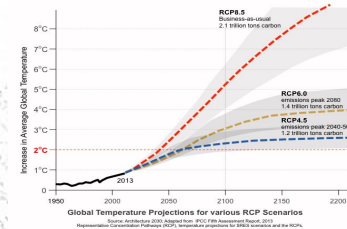
## Osservazioni



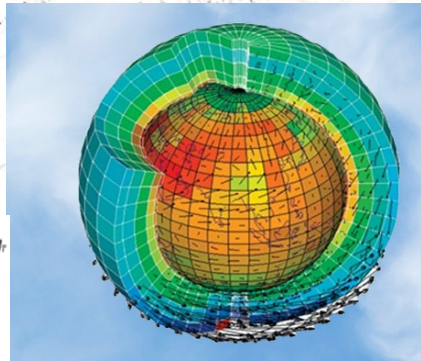
## modelli numerici (IPCC AR5)

- 42 modelli climatici globali risoluzione attorno ai 50km

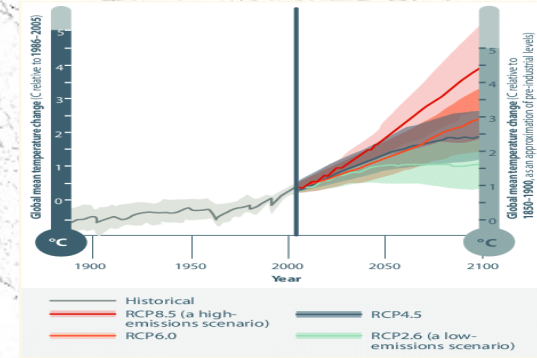
- proiezioni a breve termine (2016-2035) e a lungo termine (2086- 2100).



Scenari  
(emissioni/forcing)



Clima Futuro  
(per ogni scenario)



$$\rho \left( \frac{\partial u_r}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + u_z \frac{\partial u_r}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \mu \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial u_r}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} - \frac{u_r}{r^2} \right) + \rho g_r$$

$$\rho \left( \frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right) + \rho g_z$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r u_r) + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0.$$



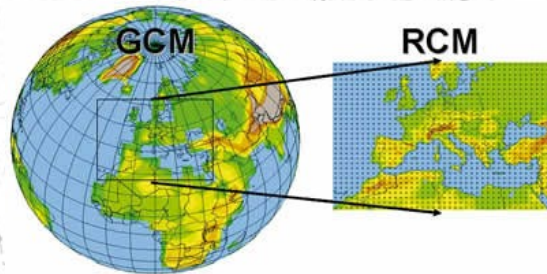
## I modelli climatici globali: punti di forza e debolezza

- ✓ Sono l'unico strumento che ci permette di fare una valutazione scientifica sul clima futuro;
- ✓ considerano allo stato dell'arte tutte le componenti climatiche coinvolte (atmosfera, criosfera, litosfera, biosfera, idrosfera e uso del suolo);
- ✓ sono l'estensione nel tempo del modello meteorologico;
- ✓ sono utilizzati in una logica di ensemble e quindi permettono di ottenere informazioni a cui è associata una probabilità di accadimento (gestione incertezza).

- ✓ I risultati vanno utilizzati in una logica di anomalie medie sui lunghi periodi;
- ✓ la complessità del sistema aumenta i fattori di incertezza;
- ✓ non tutte le interazioni tra le componenti sono conosciute e rappresentate in maniera completa
- ✓ l'incertezza aumenta all'aumentare del tempo di simulazione

## Modelli climatici regionali

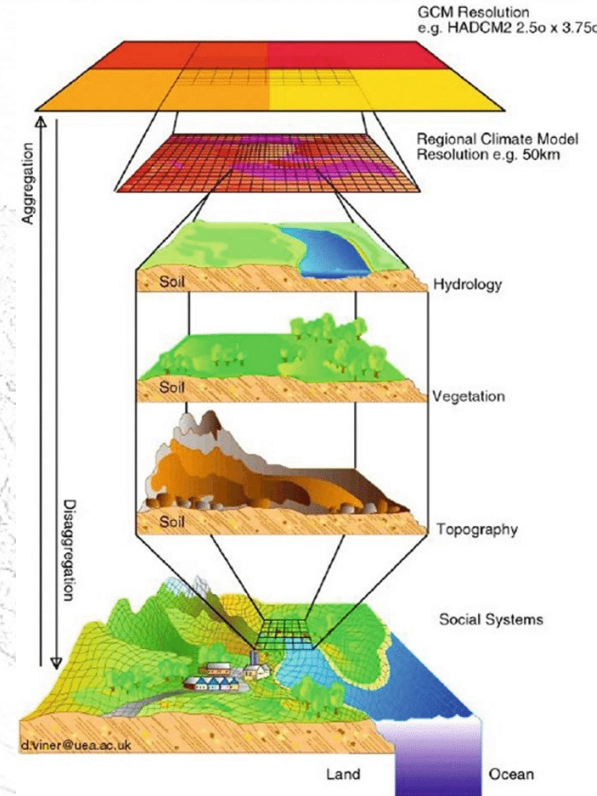
I modelli CTM necessitano di avere a disposizione dati numerici meteorologici ad alta risoluzione spaziale e temporale per poter riprodurre correttamente i processi chimici coinvolti.



Risoluzione orizzontale da pochi km a qualche decina

Ottimizzazione delle risorse computazionali

Riproduzione realistica dell'orografia e dei parametri geomorfologici





## Il progetto CLIMAERA

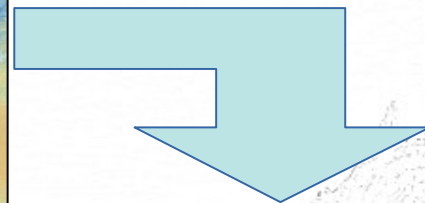
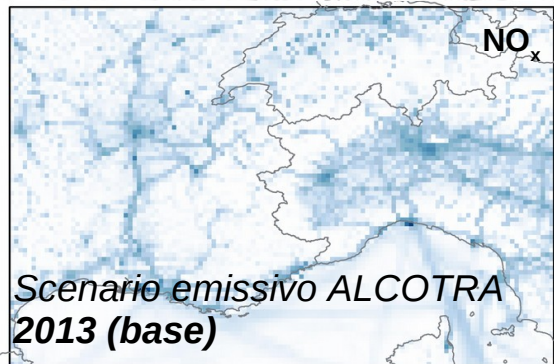
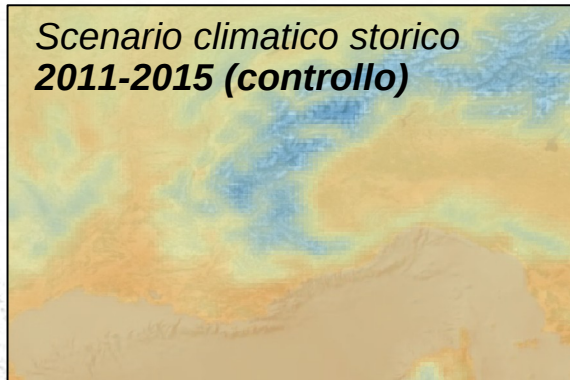
Il progetto CLIMAERA rientra nel programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Francia Alcotra, sotto l'egida dell'Unione Europea su un periodo di tre anni (2017 -2020).

Tra gli obiettivi del progetto vi è quello di **valutare la qualità dell'aria** in alcune regioni francesi (Provenza-Alpi-Costa Azzurra ed Auvergne-Rhône-Alpes) ed italiane (Liguria, Piemonte e Valle d'Aosta), **tenendo conto dei cambiamenti climatici**

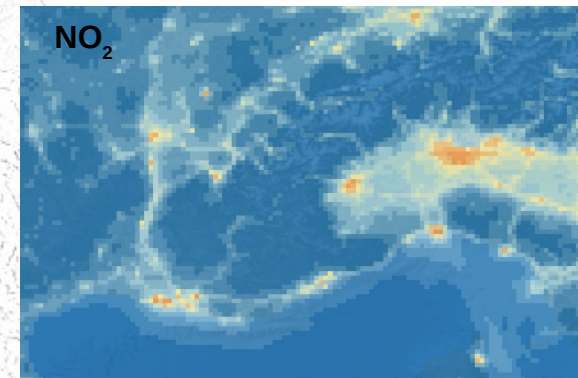




*Scenario climatico storico  
2011-2015 (controllo)*

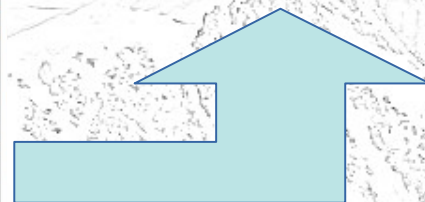


**modello di chimica  
e trasporto  
(FARM)**

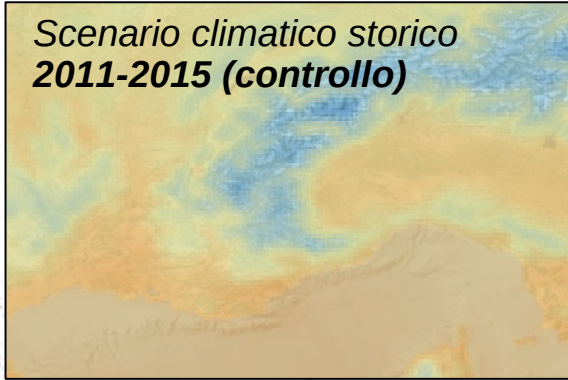


**Simulazione 1**  
Scenario di riferimento (2013)

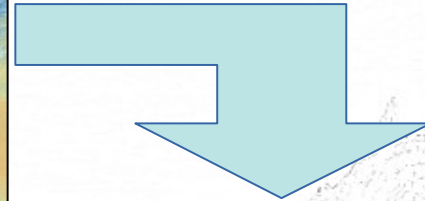
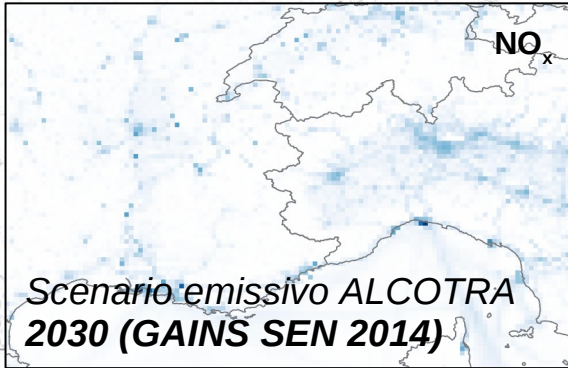
*Scenario qualità aria ALCOTRA  
2013 (base)*



*Scenario climatico storico  
2011-2015 (controllo)*



*Scenario emissivo ALCOTRA  
2030 (GAINS SEN 2014)*

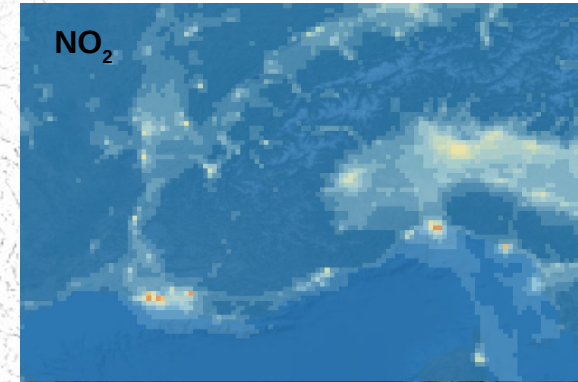


**modello di chimica  
e trasporto  
(FARM)**



## Simulazione 2

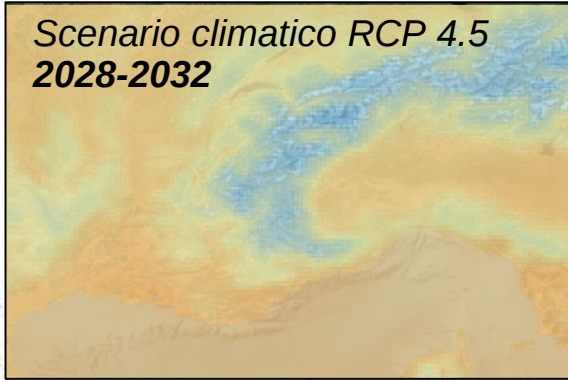
Scenario qualità dell'aria 2030  
tendenziale



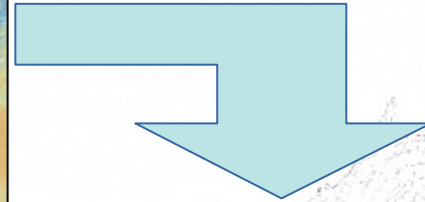
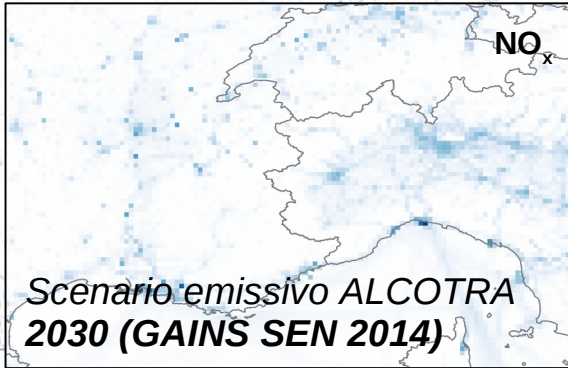
*Scenario qualità aria ALCOTRA  
2030 (emissioni)*



Scenario climatico RCP 4.5  
2028-2032



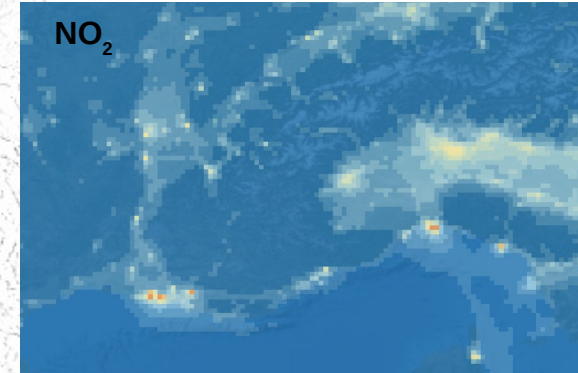
Scenario emissivo ALCOTRA  
2030 (GAINS SEN 2014)



**modello di chimica  
e trasporto  
(FARM)**

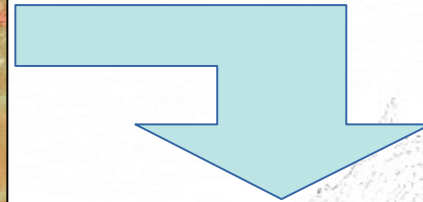
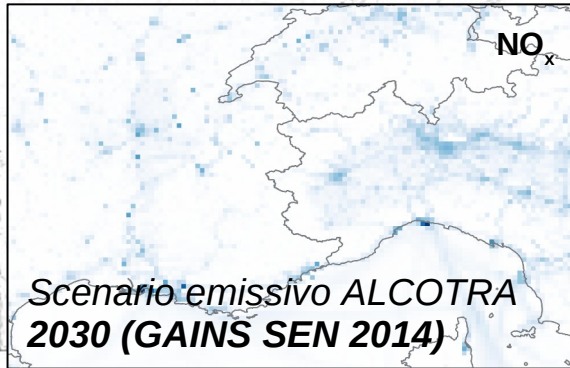
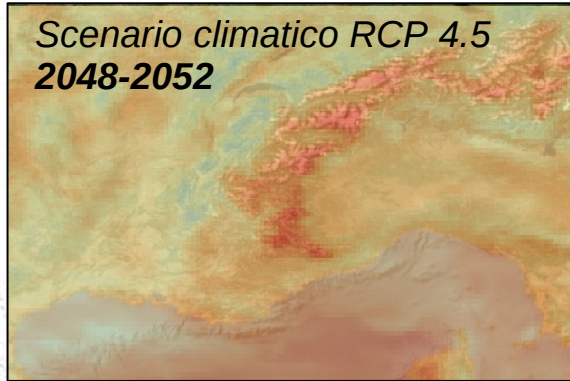


**Simulazione 3**  
Scenario futuro 2030



Scenario qualità aria ALCOTRA  
2030 (clima e emissioni)

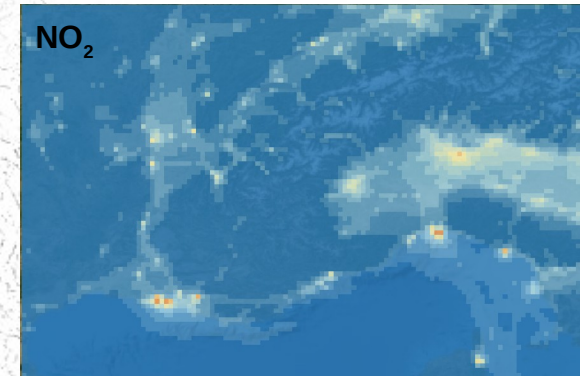




*modello di chimica  
e trasporto  
(FARM)*



**Simulazione 4**  
Scenario futuro 2050



*Scenario qualità aria ALCOTRA  
2050 (clima)*

## Il progetto CLIMAERA: primi risultati clima

Proiezioni di cambiamento climatico sulla zona ALCOTRA-CLIMAERA (CMCC, *divisione REMHI*), condotte utilizzando i dati simulati dai diversi modelli climatici regionali disponibili all'interno del programma EURO-CORDEX (<http://euro-cordex.net>)

Analisi di scenario IPCC RCP 4.5 (emissioni medio basse) e RCP 8.5 (emissioni elevate)

### **Risultati principali per area ALCOTRA-CLIMAERA**

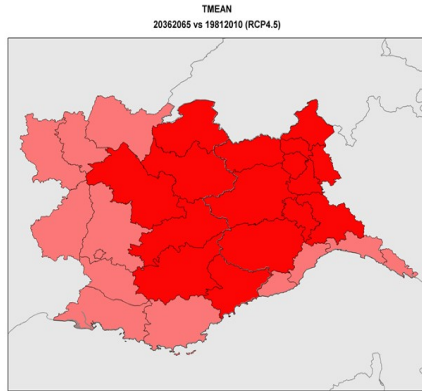
- generale **aumento della temperatura media** al massimo di 2°C per RCP4.5 e di 3°C per RCP8.5;
- precipitazione totale in aumento a nord (più marcato con RCP 8.5) ed in diminuzione a sud
- **diminuzione marcata dei giorni** con temperatura massima inferiore a 0°C (ice days) in particolare sulla catena Alpina;



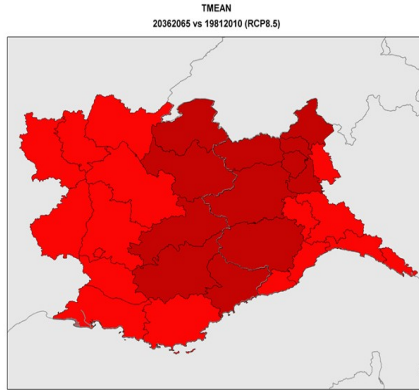
# Il progetto CLIMAERA: primi risultati clima

## Temperatura media giornaliera

RCP4.5

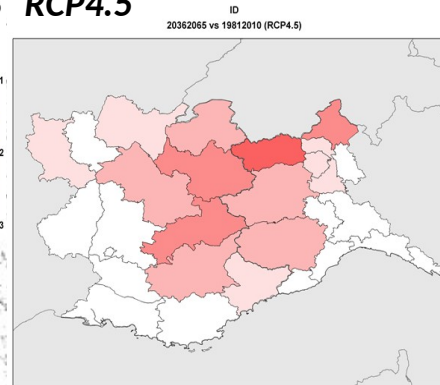


RCP8.5

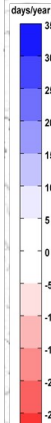
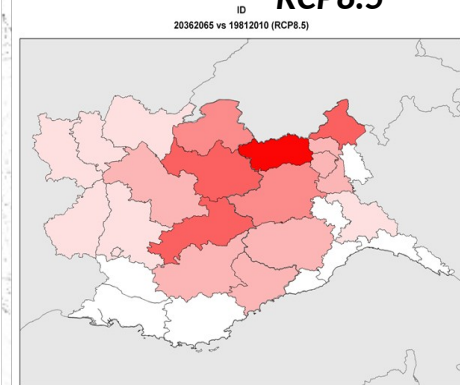


N° di giorni con temperatura massima inferiore a 0°C (ice days)

RCP4.5



RCP8.5



Anomalia climatica Ensemble Mean - 2036-2065 vs 1981-2010.

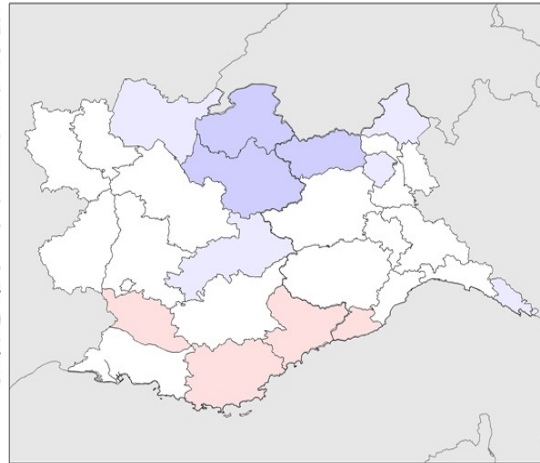
Fonte: CMCC - REMHI

# Il progetto CLIMAERA: primi risultati clima

## Precipitazione cumulata annuale

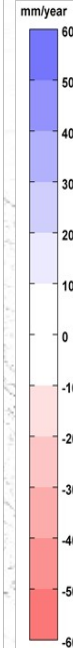
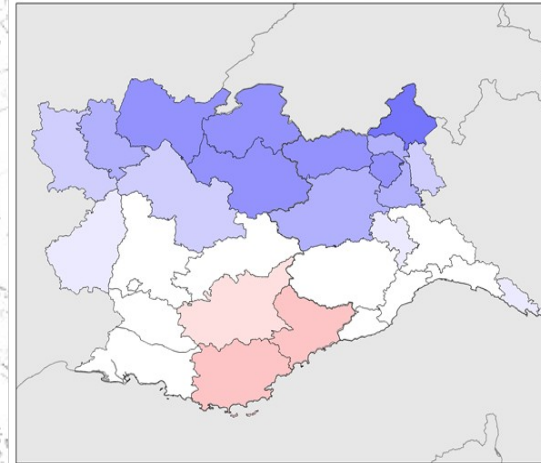
**RCP4.5**

PRCPTOT  
20362065 vs 19812010 (RCP4.5)



**RCP8.5**

PRCPTOT  
20362065 vs 19812010 (RCP8.5)

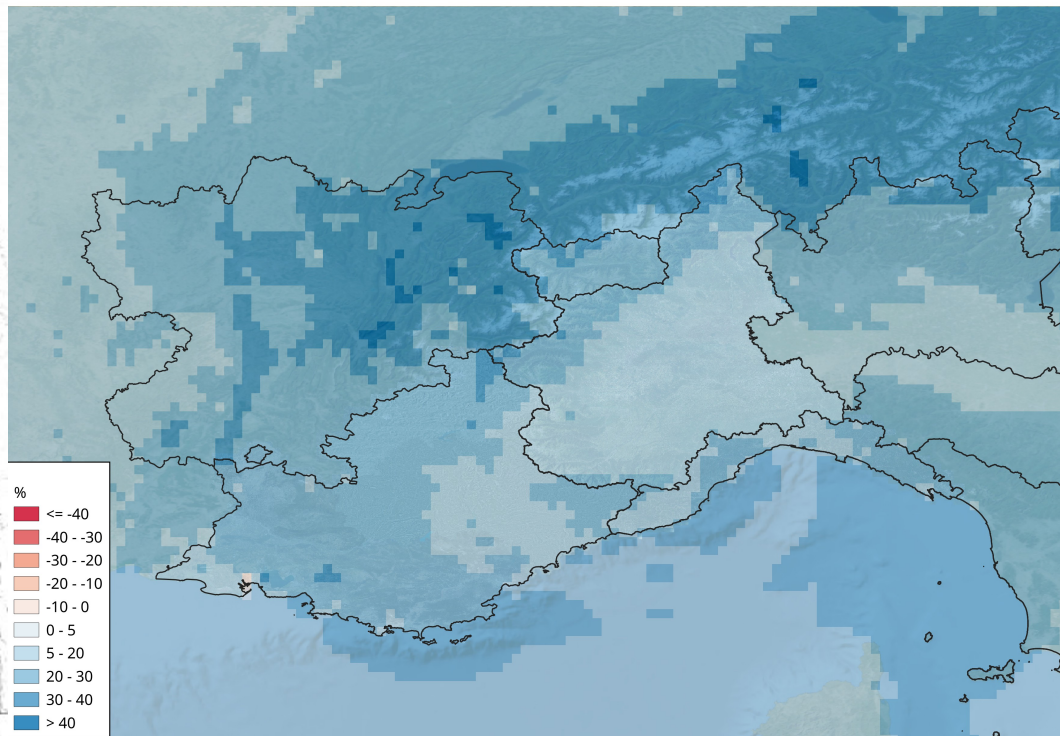


Fonte: CMCC - REMHI

Anomalia climatica Ensemble Mean - 2036-2065 vs 1981-2010.



## Il progetto CLIMAERA: risultati preliminari qualità dell'aria

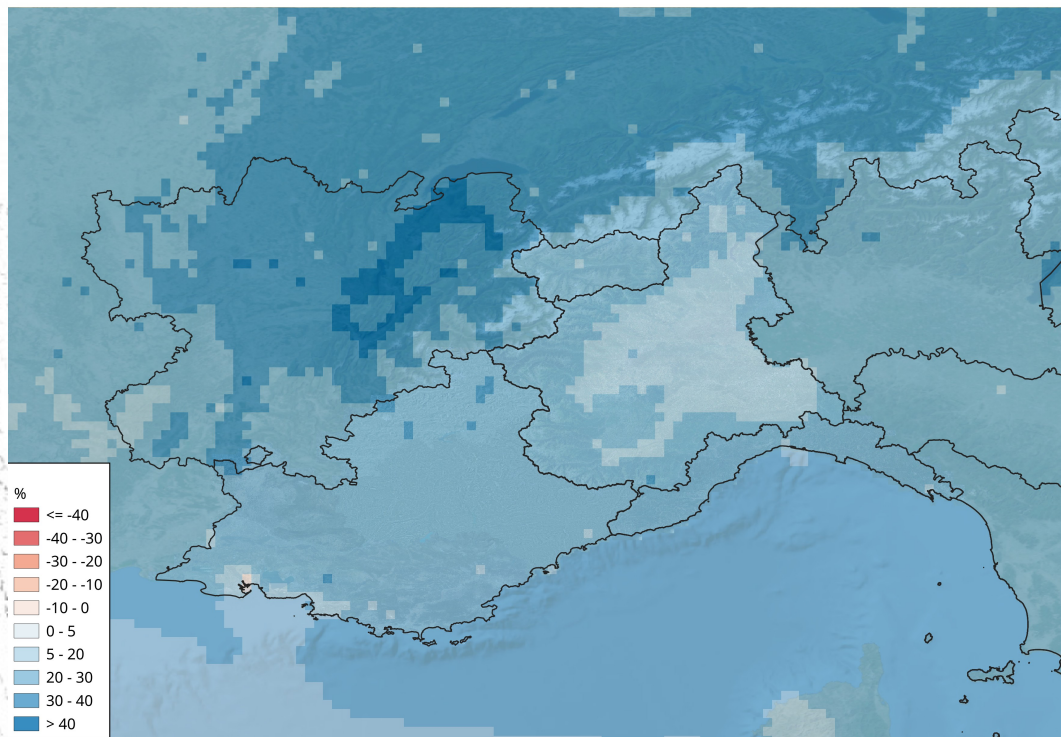


**PM10 concentrazione media annuale, variazione % tra simulazione 1 (scenario di riferimento 2013) e simulazione 2 (scenario futuro 2030)**

**Effetti combinati delle politiche di riduzione delle emissioni tra il 2013 ed il 2030 e del clima al 2030.**

Si osserva una generale riduzione della concentrazione media annuale

## Il progetto CLIMAERA: risultati preliminari qualità dell'aria



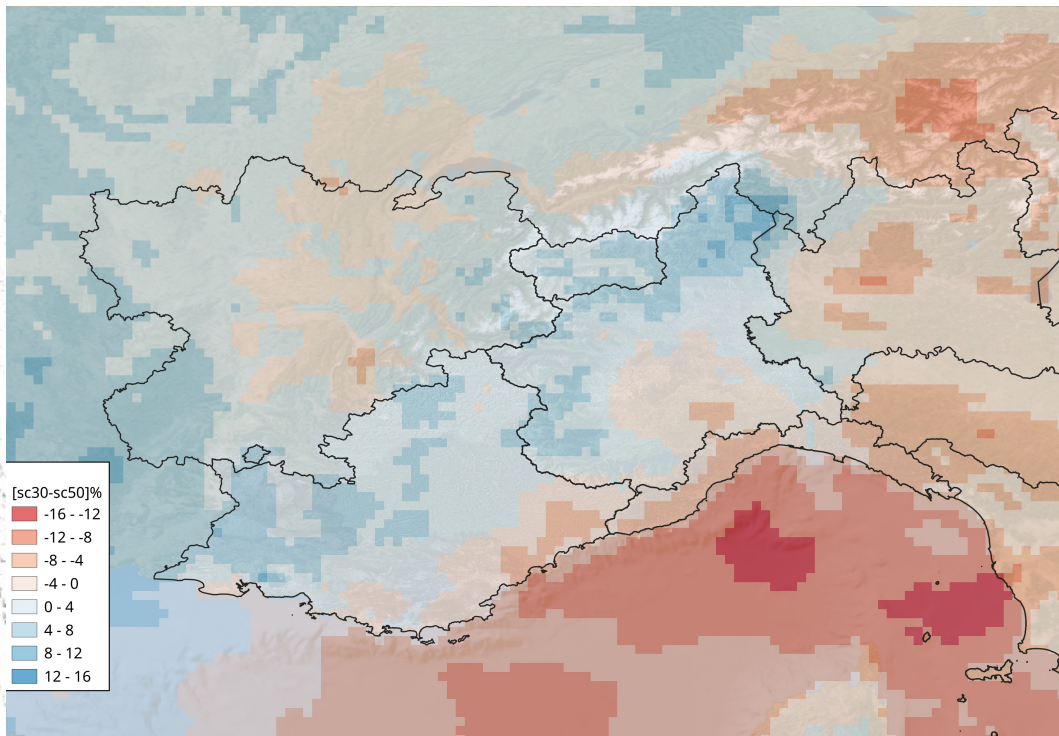
**PM10 concentrazione media annuale, variazione % tra simulazione 1 (scenario di riferimento 2013) e simulazione 2 (scenario qualità dell'aria tendenziale 2030)**

**Effetti delle sole politiche di riduzione delle emissioni tra il 2013 ed il 2030 a parità di meteorologia (meteorologia dello scenario di riferimento al 2013).**

Si osserva una generale riduzione della concentrazione media annuale, in alcune zone maggiore che nel caso precedente.



## Il progetto CLIMAERA: risultati preliminari qualità dell'aria



**PM10 concentrazione media annuale, variazione % tra simulazione 3 (scenario futuro 2030) e simulazione 4 (scenario futuro 2050)**

**Effetti legati al solo fattore climatico** (clima al 2030 e clima al 2050) a parità di emissioni (emissioni al 2030)

Effetti non univoci e da approfondire, *leggera* tendenza all'aumento di concentrazione sulle zone costiere e di pianura.

## Concludendo

La valutazione della qualità dell'aria futura può essere condotta utilizzando sistemi modellistici che integrino i modelli di chimica e trasporto ed i modelli climatici regionali .

Nell'ambito del progetto CLIMAERA, gli effetti sulla qualità dell'aria al 2030/2050 sembrano dipendere principalmente dalle politiche di contenimento delle emissioni, mentre gli effetti del clima non sono chiari né univoci.

Si tratta di un campo di indagine relativamente giovane e che necessita di sviluppi ed approfondimenti



