

# Valutazione degli impatti della meteorologia sulla qualità dell'aria nel Nord Italia

Loris Colombo, Alessandro Marongiu, Giulia Malvestiti, Guido Lanzani

# INTRODUZIONE

- La nuova Direttiva 2881/2024 impone per i piani di qualità dell'aria di considerare:
  - Utilizzo di Modelli multi-scala fit-for-purpose (MQI)
  - Utilizzo di proiezioni nazionali come condizioni al contorno
  - Utilizzo di proiezioni locali e quantificazione delle misure efficaci
  - Variabilità metereologica
  - Proiezione del Bias
  - «as short as possible»



# L'impatto degli effetti dei cambiamenti climatici



- Valutare come i cambiamenti climatici (e quindi anche la variabilità meteorologica) possono influenzare la dispersione degli inquinanti



Table 1 - Definition of the "climate penalty" scenarios.

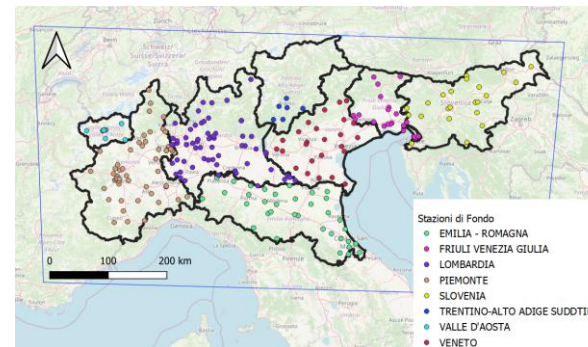
Name	Meteorology	Inventory
SRB (historical)	2015	2019-2021 constant
SC_NF	2030	2019-2021 constant
SC_MF	2050	2019-2021 constant
SC_MF_2050	2050	CLE 2050 projection



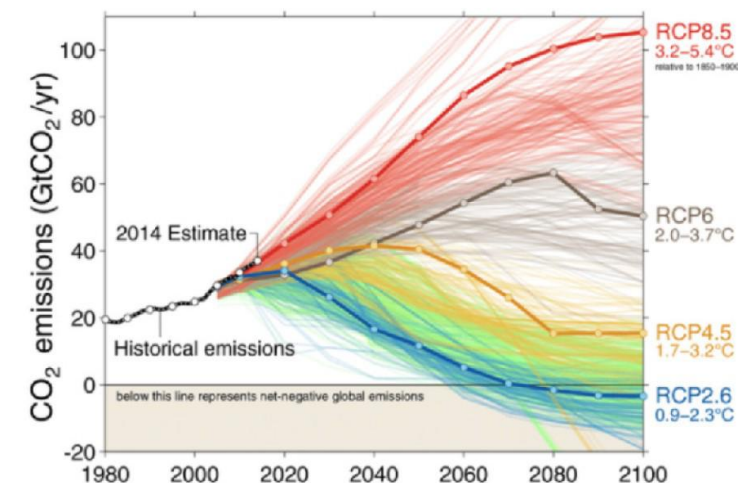
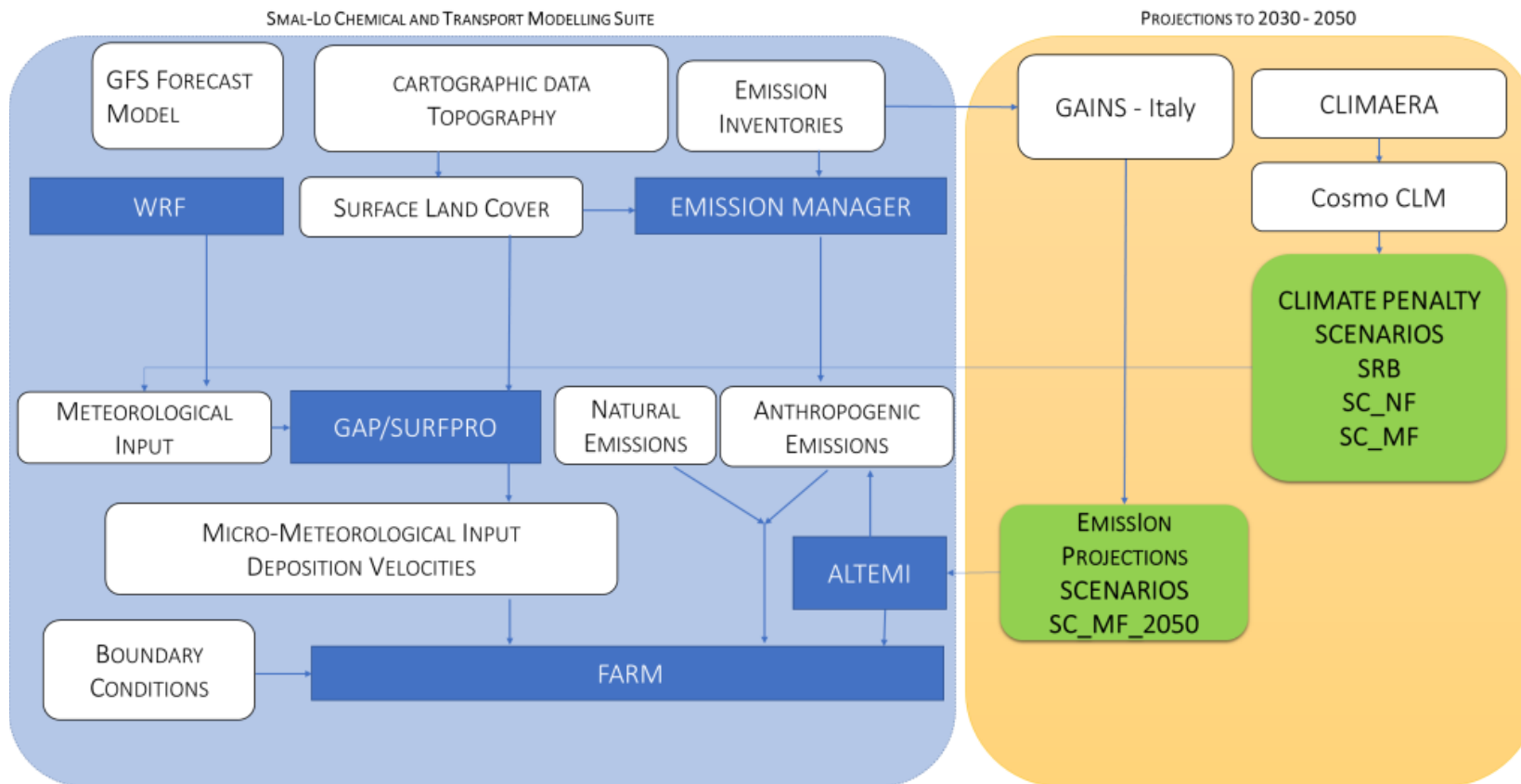
- Simulazioni annuali



- Area di studio: Bacino Padano



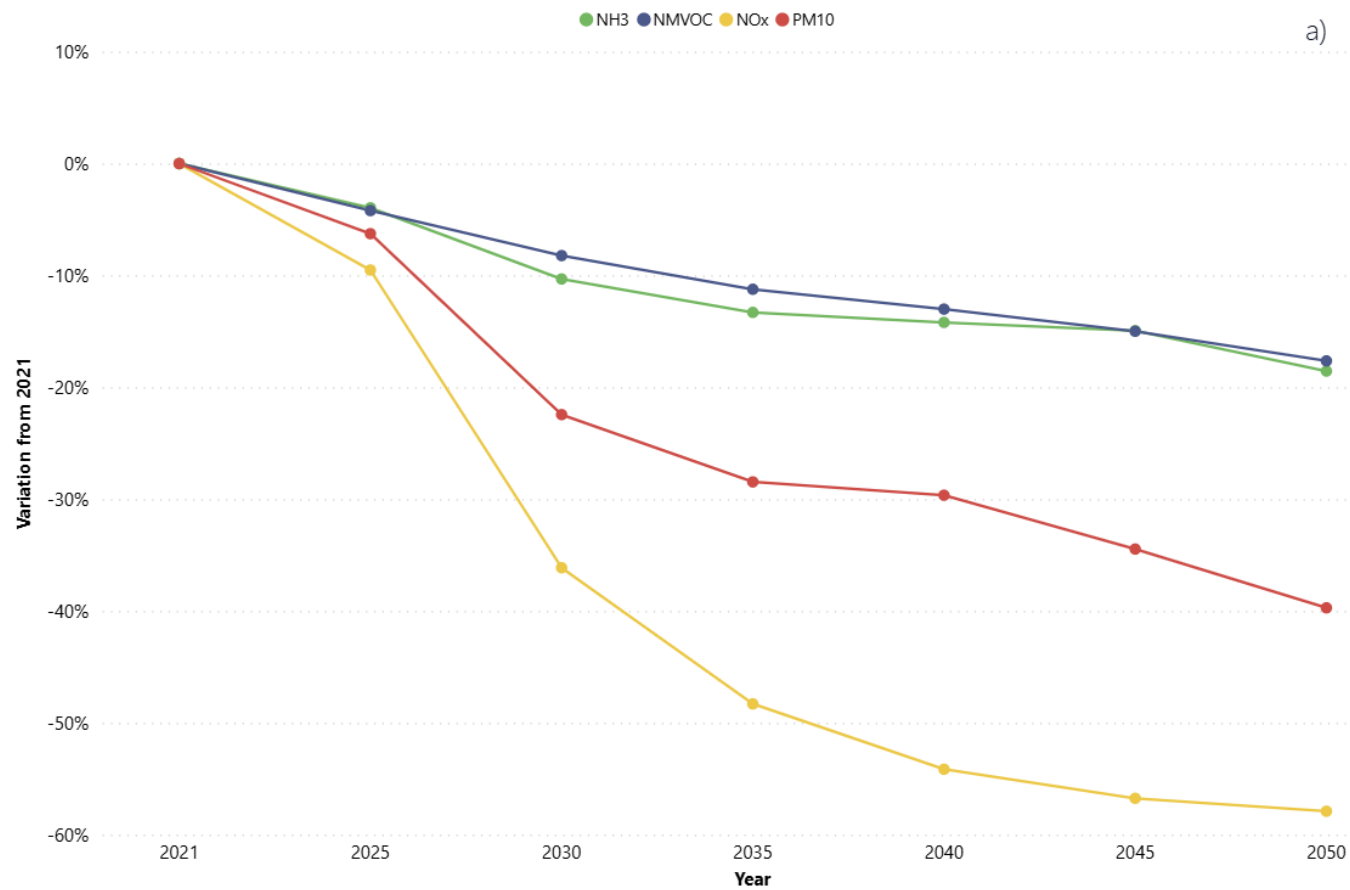
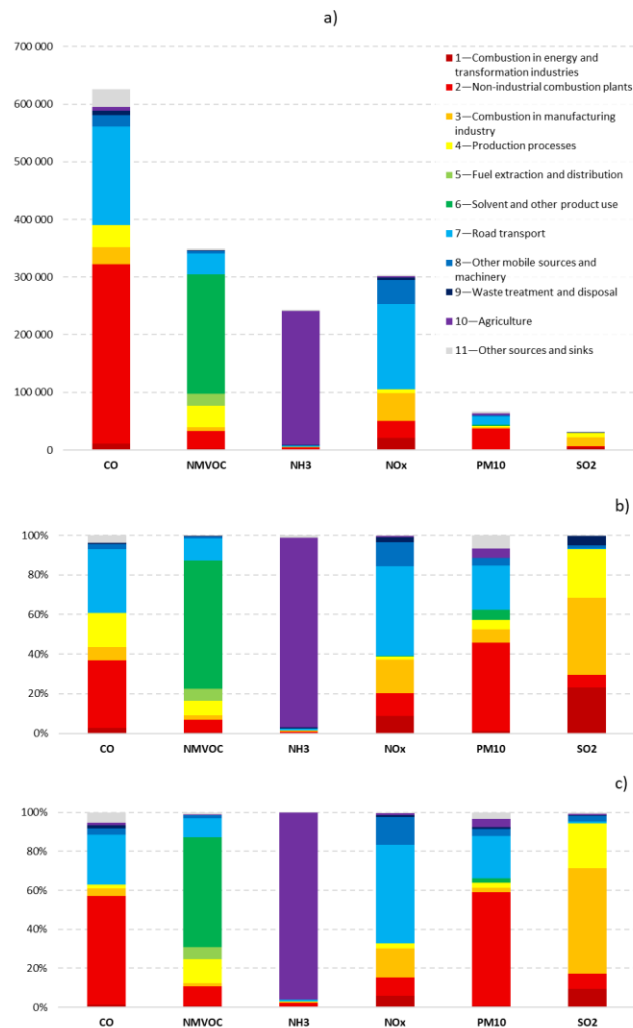
# SMAL-LO SUITE MODELLISTICA



From CMCC with COSMO-CLC (CLIMAERA Project)

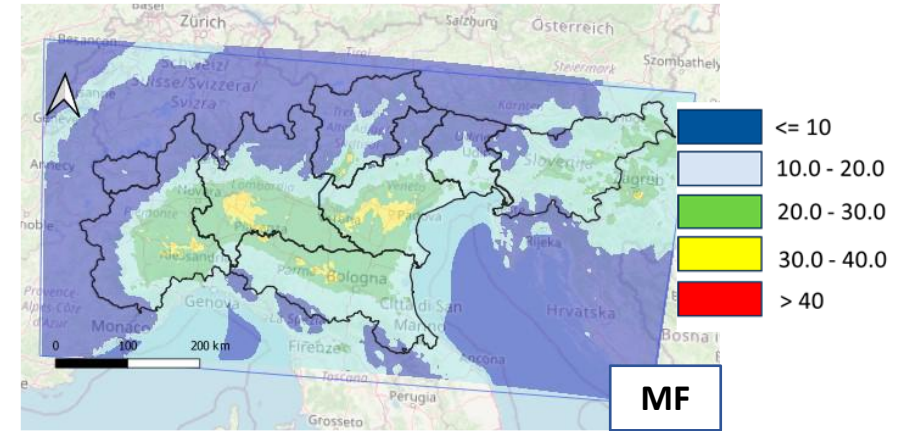
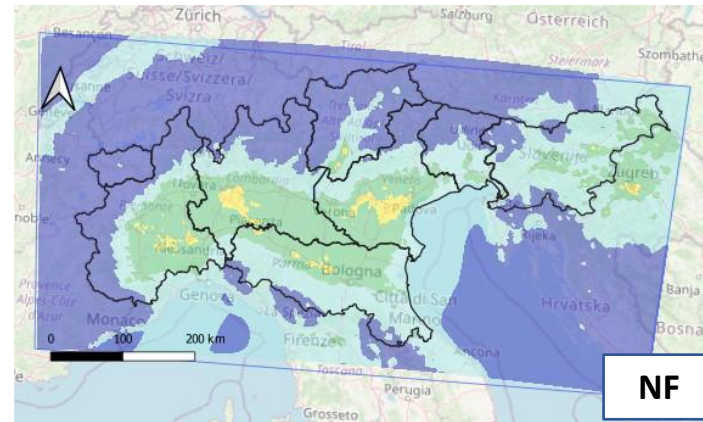
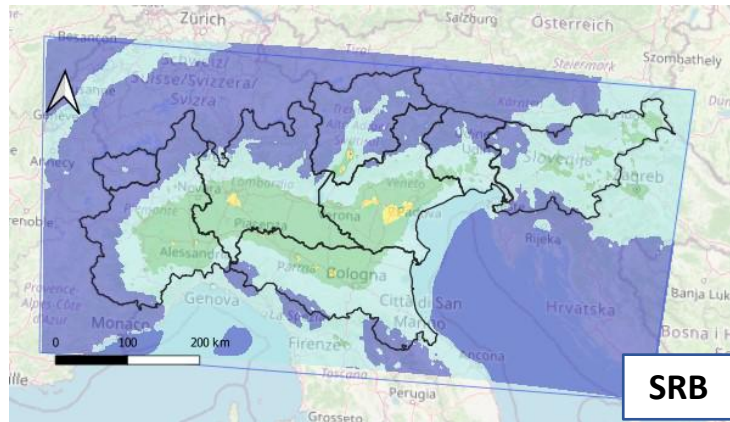
**Domain:** 836 x 416 km<sup>2</sup>  
**Horizontal resolution:** 4 x 4 km  
**Vertical discretization:** 16 levels up to 4960 a.g.l.  
**CTM model:** FARM  
**BC:** <http://www.qualearia.it>  
**Model INPUT:** different meteorology  
**Emission data:** PREPAIR2019, INEMAR2021, EMEP, ISPRA

# EMISSIONI CLE - PROIEZIONI

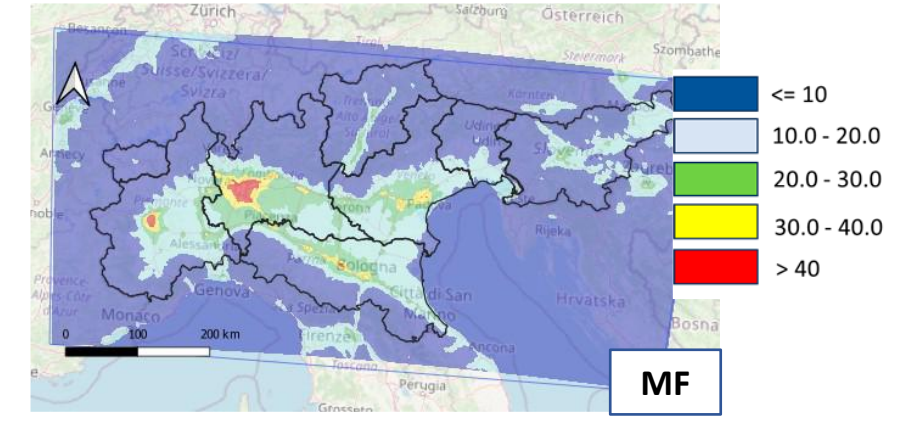
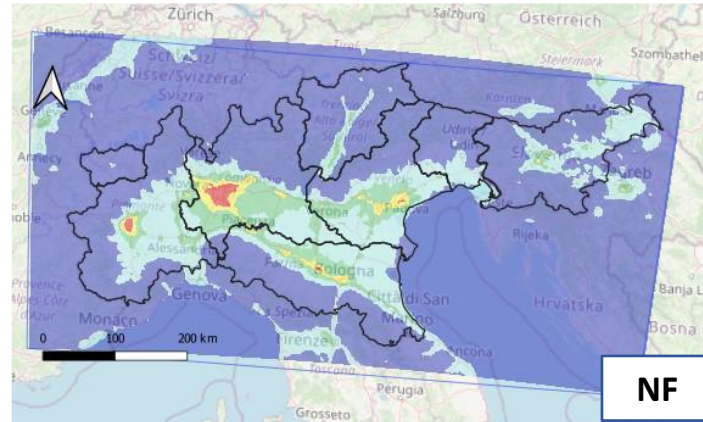
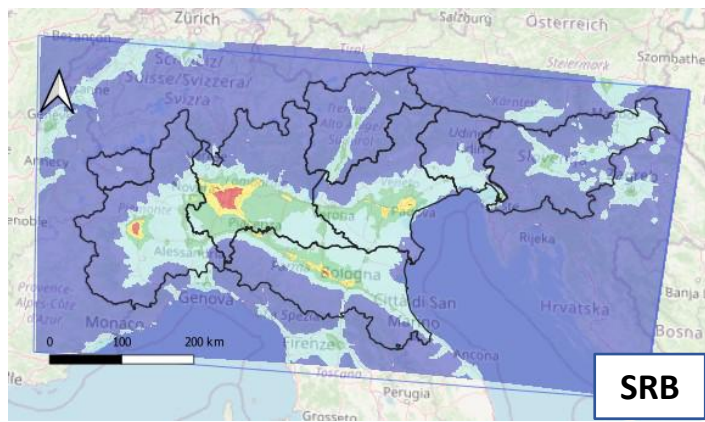


# RISULTATI (1)

## PM10 – Media Annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

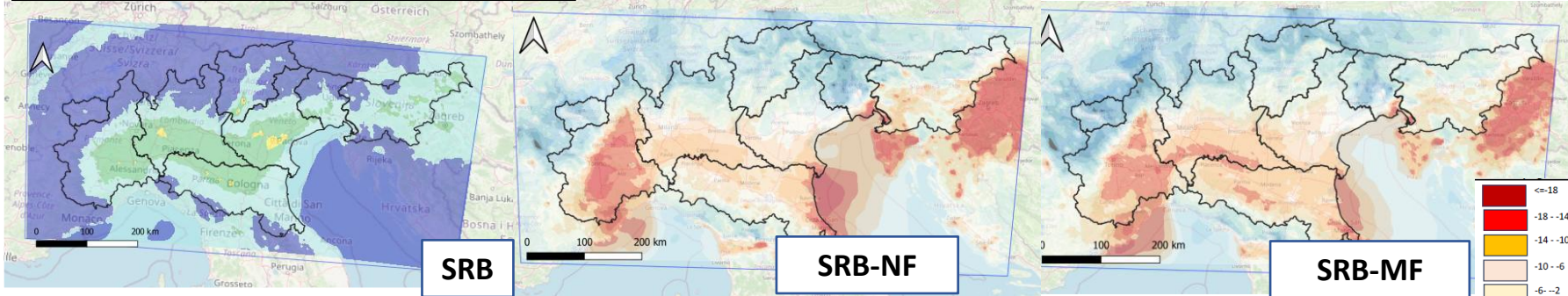


## NO2 – Media Annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



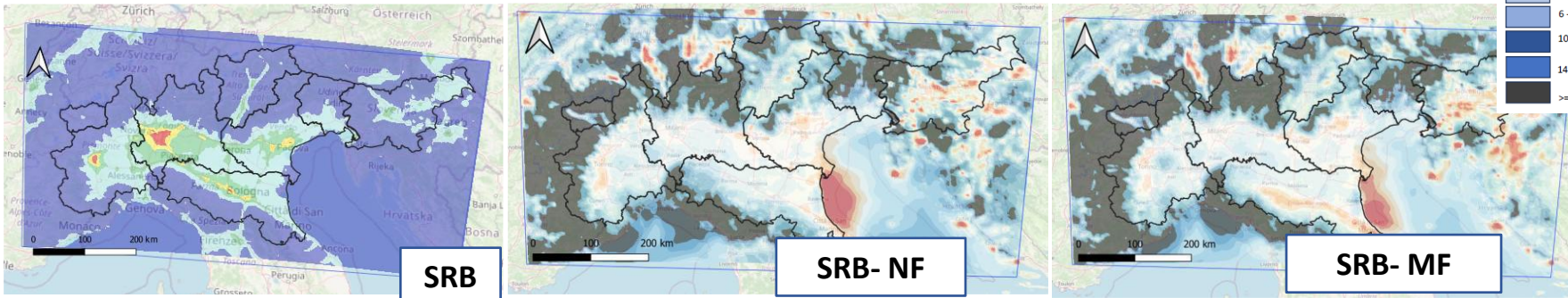
# RISULTATI (2)

## PM10 – Media Annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



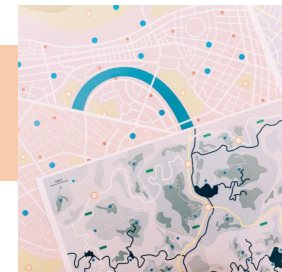
Diminuzione in aree montane (VDA, FVG, TA)

## NO2 – Media Annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Aumenti in Pianura nelle grandi aree urbane

STRATEGIE FUTURE DEVONO CONSIDERARE ANCHE INDICATORI CLIMATICI PER EVITARE EVENTUALI SOTTOSTIME



# ANALISI MULTIVARIATA



Si tratta di una tecnica di analisi multivariata che ha come principale obiettivo quello di “ridurre” i fattori in gioco (che nella PCA sono chiamati componenti) nella descrizione di un determinato fenomeno.

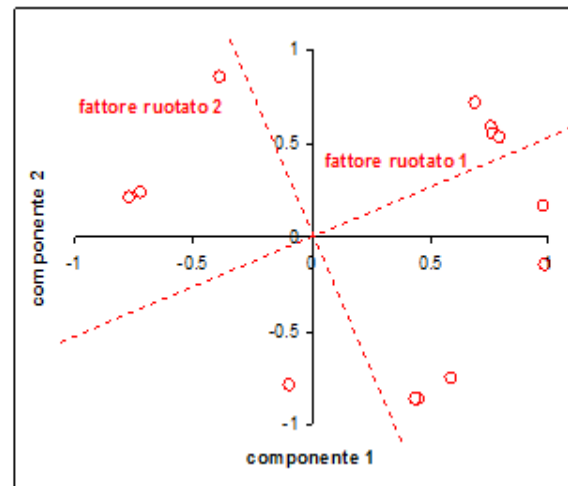
Con l’analisi fattoriale, è possibile studiare il numero di fattori e, in molti casi, identificare cosa rappresentano concettualmente

$$F1 = w_{11}X_1 + w_{12}X_2 + \dots + w_{1k}X_k$$

$$F2 = w_{21}X_1 + w_{22}X_2 + \dots + w_{2k}X_k$$

$w_i$  sono coefficienti fattoriali

In alcuni casi la soluzione ricavata in base all’estrazione delle componenti principali non risulta del tutto soddisfacente ai fini dell’interpretazione delle componenti stesse. In questi casi è possibile passare dalla soluzione PCA a quella di una analisi fattoriale (FA).



La VARIMAX è una rotazione ortogonale che porta a massimizzare la varianza spiegata dai nuovi assi “ruotati” verso le variabili che avevano il peso fattoriale più alto rispetto alle componenti originarie.

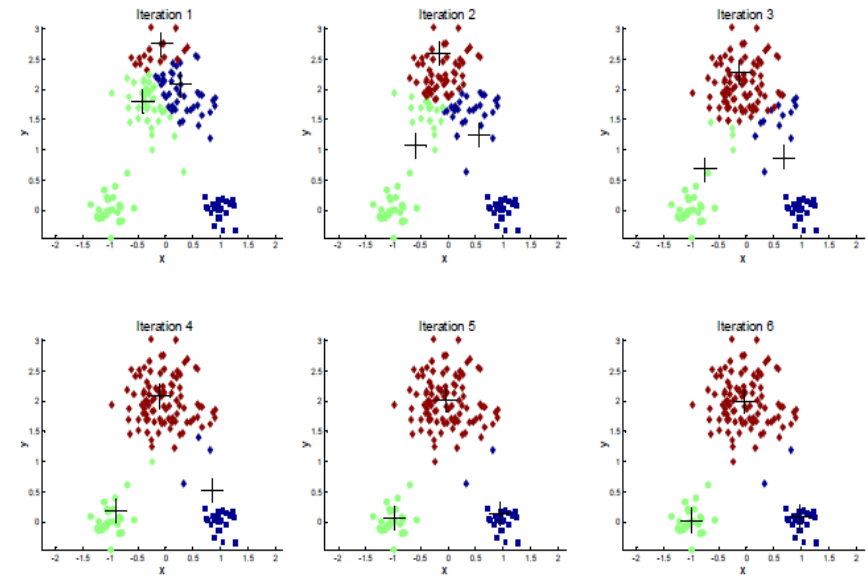
# ANALISI CLUSTER

- L'obiettivo di una analisi dei Cluster è quello di segmentare l'insieme degli oggetti che si sta studiando e di raggrupparne le unità che si somigliano (ovvero che presentano caratteristiche di concentrazione dei parametri di qualità simili)

Distanza Euclidea

$$d_2(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^q (\mathbf{x}_{ik} - \mathbf{x}_{jk})^2}$$

- Il metodo delle k-medie (K-means) è il più diffuso metodo di segmentazione della famiglia dei metodi non gerarchici. Ogni caso viene assegnato al cluster con la distanza minore tra il caso ed il centro del cluster (centroide).



# RISULTATI (1)

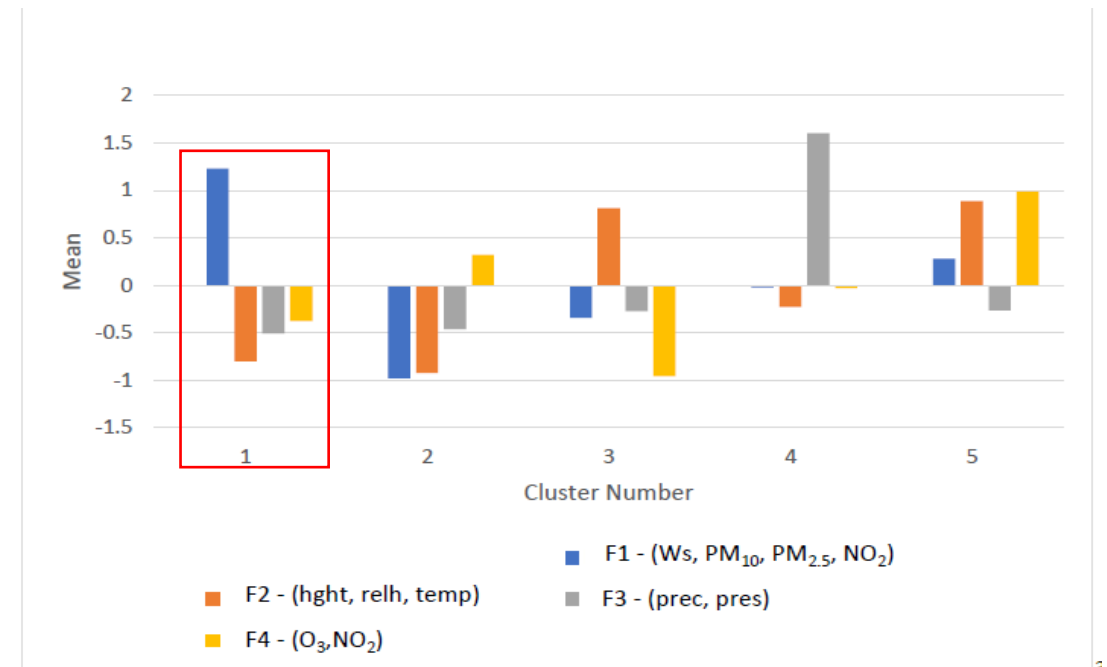
## PCA/FA

- La PCA ha individuato 4 fattori principali che spiegano il 75% della variabilità, a partire da un dataset di concentrazioni e parametri meteorologici. Si nota come nel FA1 vento e inquinanti siano correlati significativamente

Rotated Component Matrix				
Component Delta 2050-2015				
	1	2	3	4
hght	-0.085	0.930	0.023	0.025
pres	0.094	0.175	-0.662	-0.180
Relh	0.127	-0.803	0.315	-0.049
Ws	-0.510	0.304	0.271	-0.119
Temp	0.112	0.907	-0.173	-0.011
Prec	-0.045	-0.112	0.756	-0.162
PM <sub>10</sub>	0.948	0.002	0.013	0.091
PM <sub>2.5</sub>	0.949	-0.003	0.011	0.097
NO <sub>2</sub>	0.788	0.032	-0.126	-0.269
O <sub>3</sub>	0.031	0.046	-0.007	0.959
Eigenvalue	2.82	2.62	1.084	0.981
% of Variance	28.27	26.73	10.84	9.80
Cumulative %	28.27	55.00	65.84	75.64

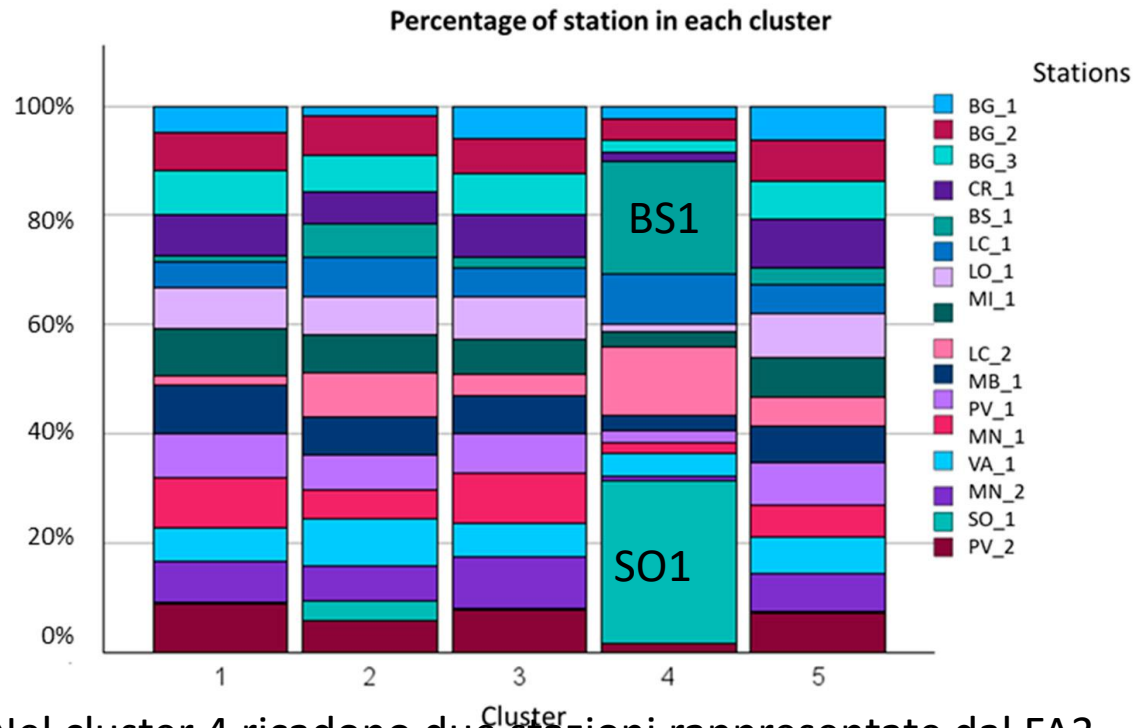
## CLUSTER K-MEANS

- L'analisi cluster ha permesso di raggruppare le stazioni con pattern simili, evidenziando una differenza tra area montana e urbana con livelli di inquinamento differenti



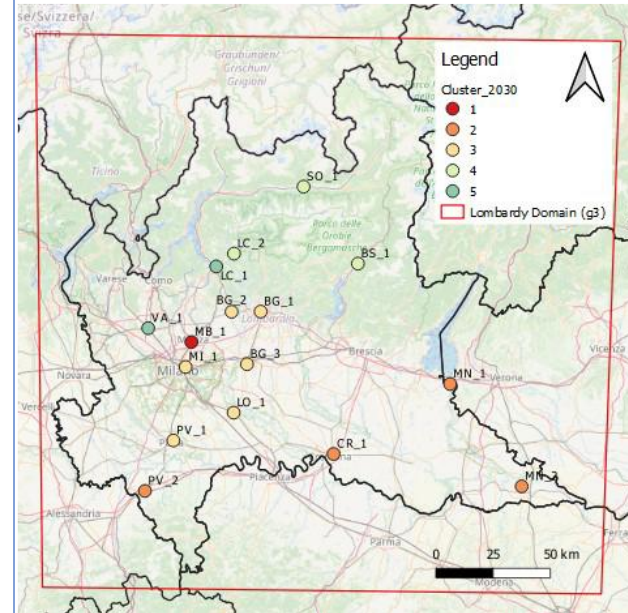
# RISULTATI (2)

## CLUSTER K-MEANS



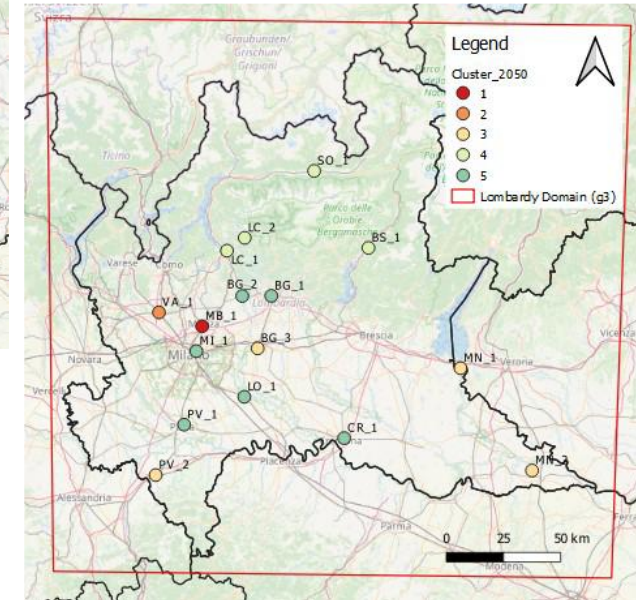
Nel cluster 4 ricadono due stazioni rappresentate dal FA3, quindi alte precipitazioni e diminuzione delle concentrazioni

## CLUSTER K-MEANS



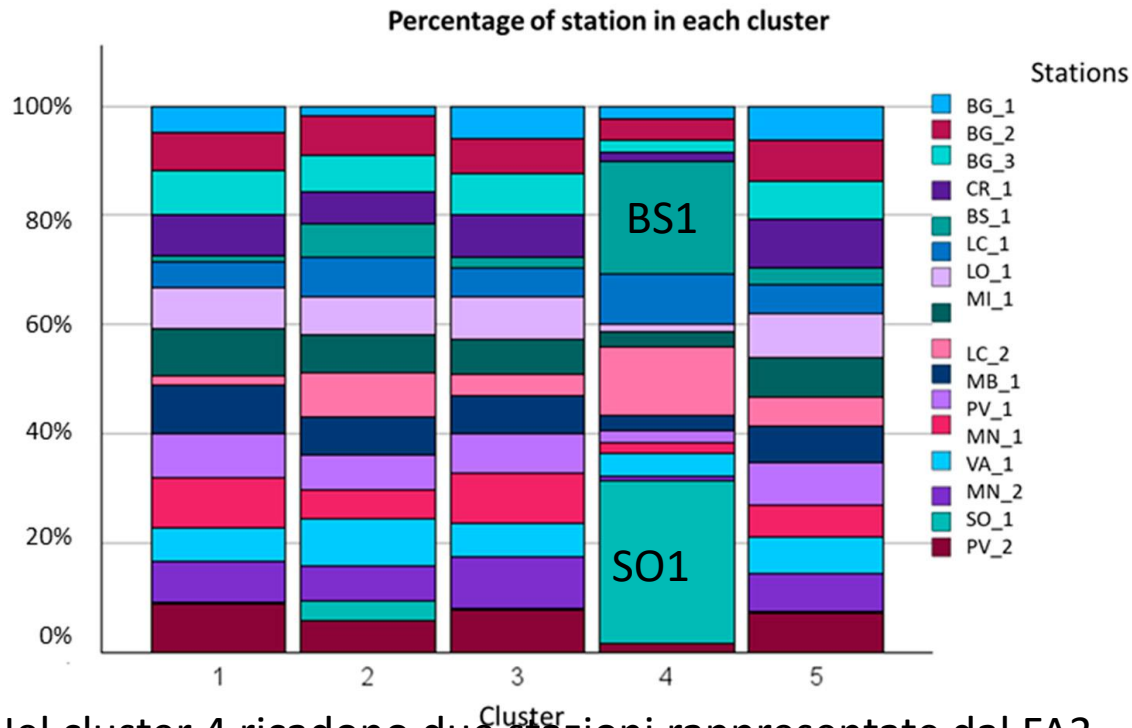
Cluster 4 è localizzato nelle aree montuose: maggiore precipitazioni e minore aumento di concentrazione

Cluster 1-5 rappresentativo delle aree di pianura: aumento di concentrazione



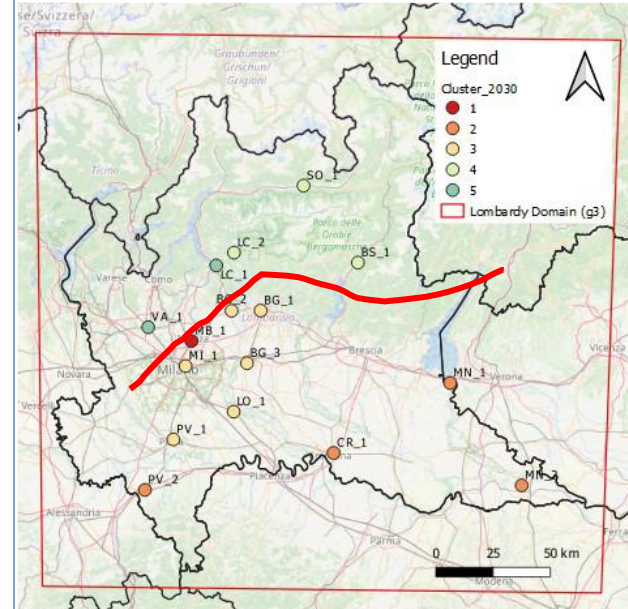
# RISULTATI (3)

## CLUSTER K-MEANS



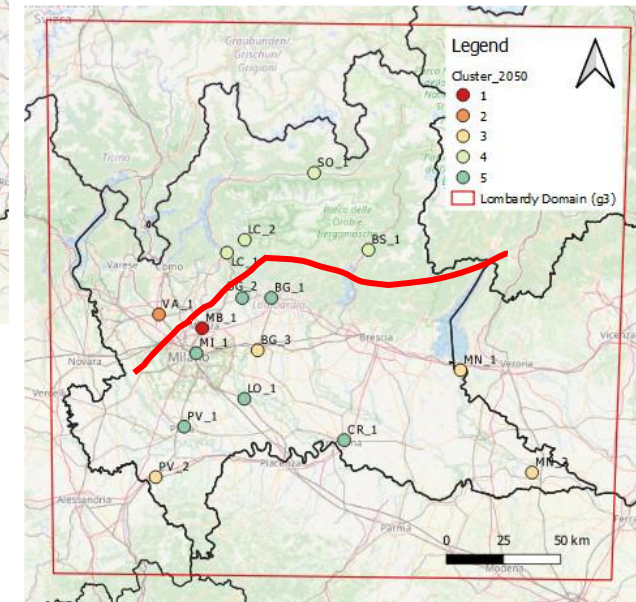
Nel cluster 4 ricadono due stazioni rappresentate dal FA3, quindi alte precipitazioni e diminuzione delle concentrazioni

## CLUSTER K-MEANS



Nella fascia prealpina-pianura le stazioni passano dal cluster 2 al 5 indicando un passaggio da meteo-dipendenza a concentrazione-dipendenza

Le stazioni montane restano nello stesso cluster dal 2030 al 2050



# L'impatto degli effetti dei cambiamenti climatici



- Valutare come i cambiamenti climatici (e quindi anche la variabilità meteorologica) possono influenzare la dispersione degli inquinanti



Table 1 - Definition of the "climate penalty" scenarios.

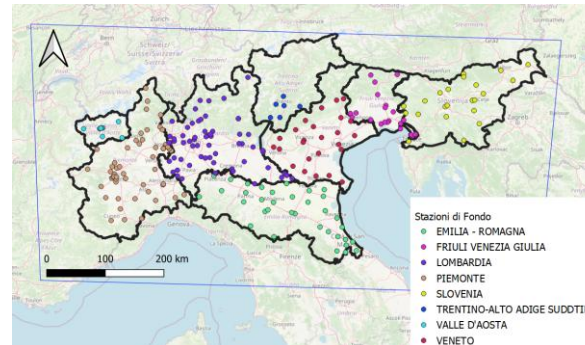
Name	Meteorology	Inventory
SRB (historical)	2015	2019-2021 constant
SC_NF	2030	2019-2021 constant
SC_MF	2050	2019-2021 constant
SC_MF_2050	2050	CLE 2050 projection



- Simulazioni annuali

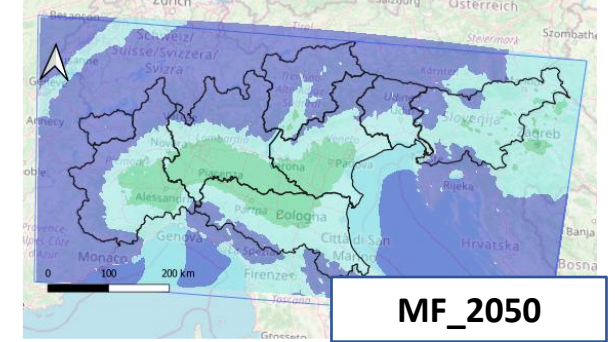
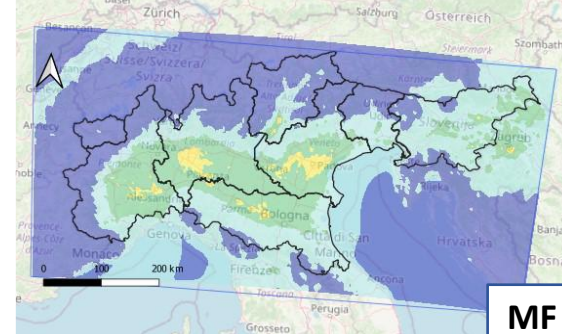
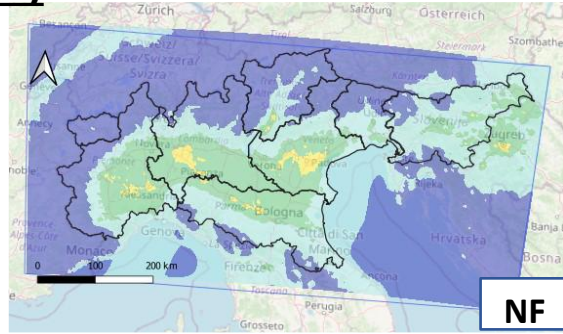
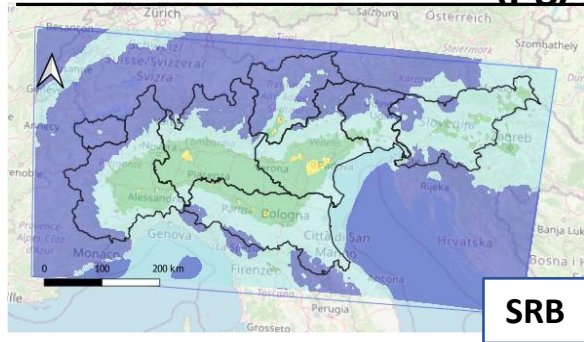


- Area di studio: Bacino Padano

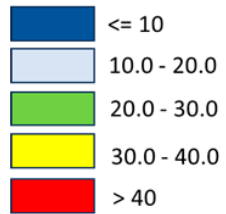
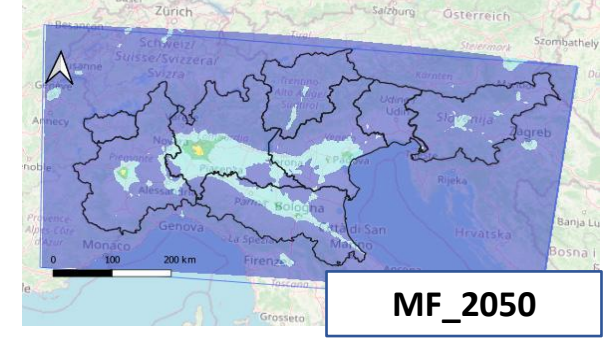
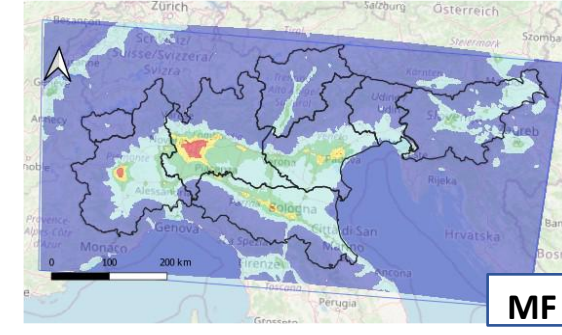
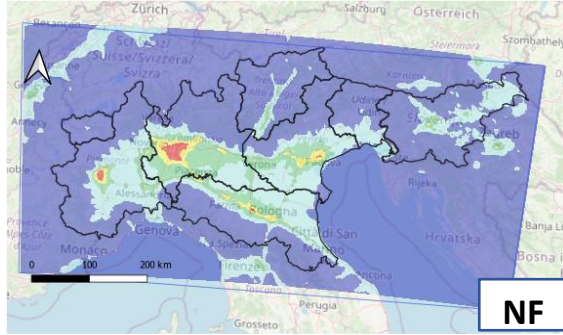
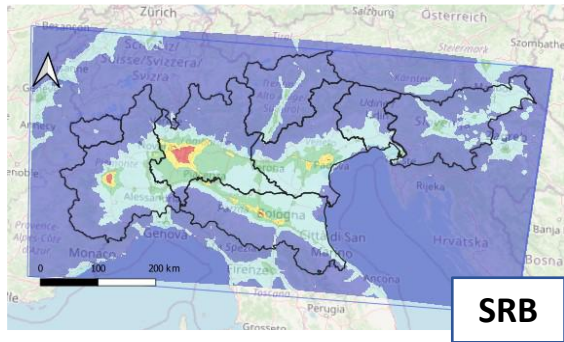


# CLIMATE PENALTY (1)

## PM10 – Media Annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



## NO2 – Media Annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



STRATEGIE FUTURE DEVONO CONSIDERARE ANCHE INDICATORI CLIMATICI PER EVITARE EVENTUALI SOTTOSTIME

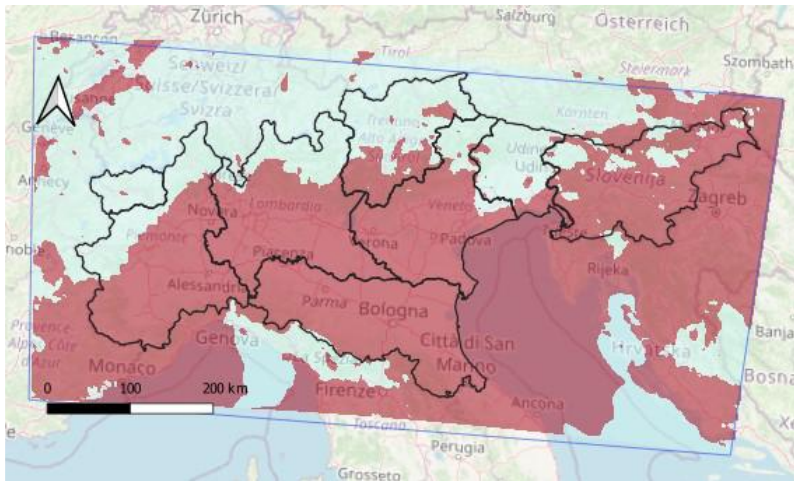


# QUANTIFICAZIONE DEL «CLIMATE PENALTY»

## PM10

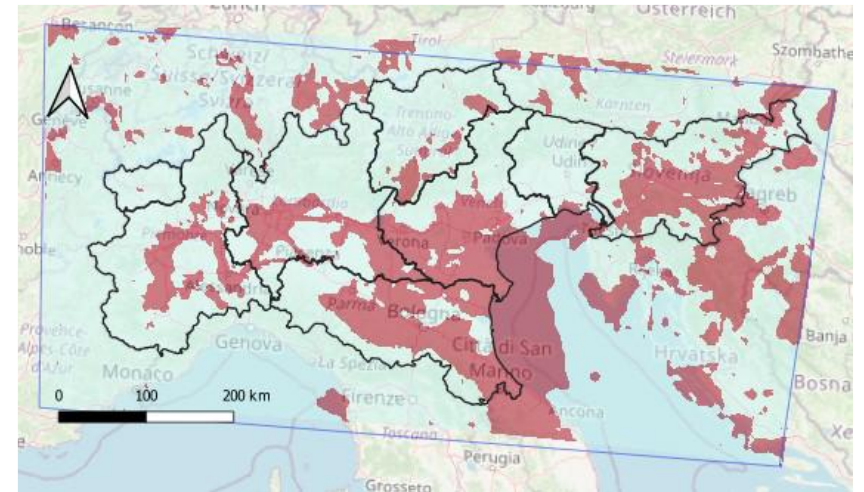
E' stato stimato un indicatore di «climate penalty», come confronto tra MF e MF\_2050, ovvero dove il peggioramento della qualità dell'aria è legato alla sola componente meteorologica con emissioni costanti (quindi senza alcuna variazione)

- PM10: criticità nella bassa Pianura



## NO2

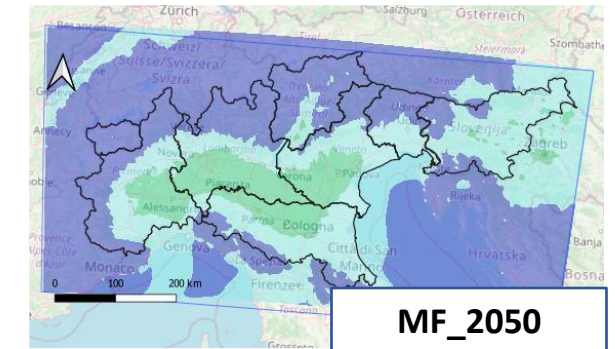
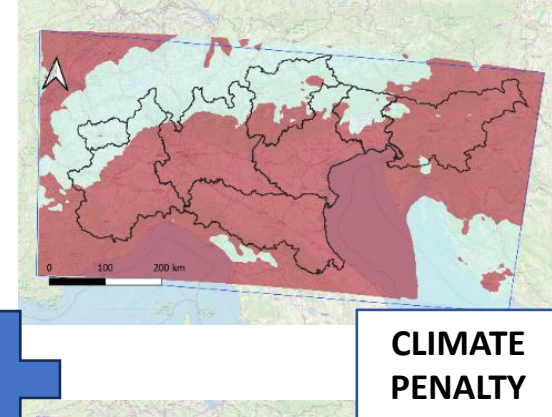
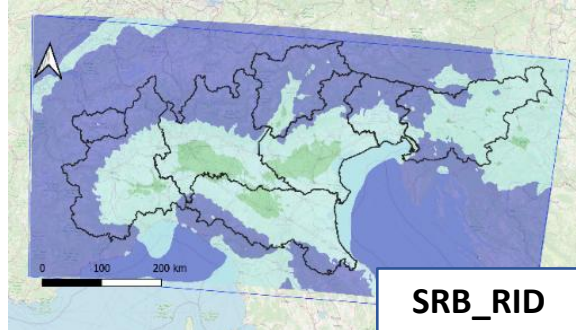
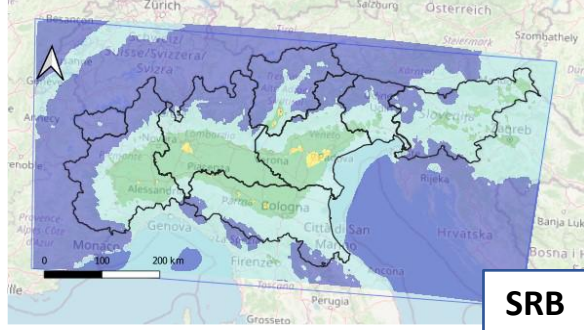
- NO2: lungo le maggiori zone di percorrenza da traffico



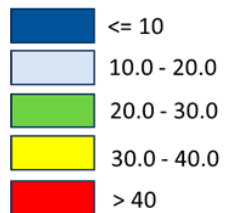
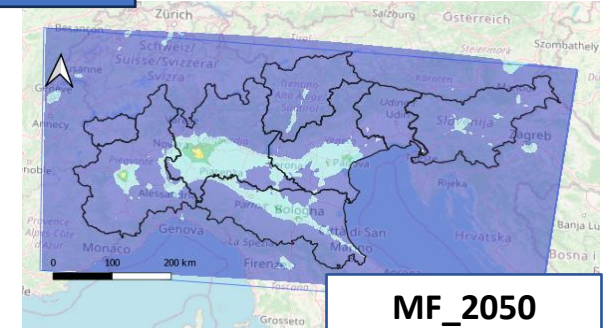
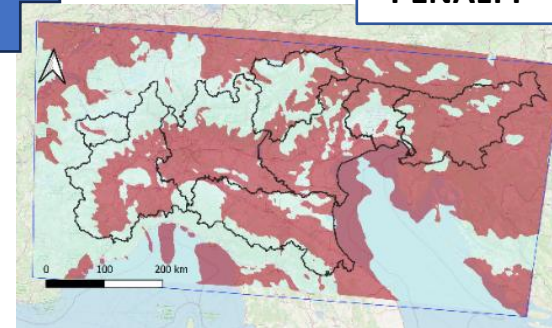
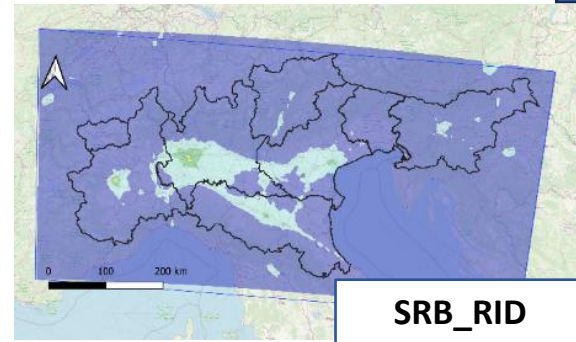
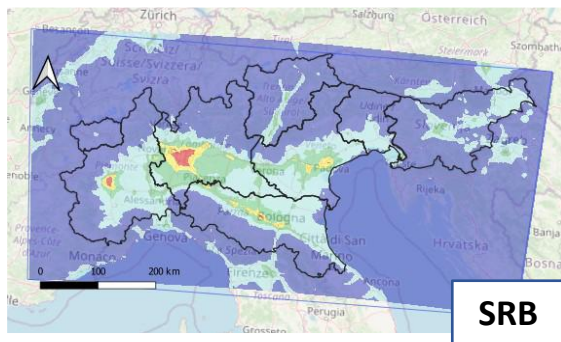
L'impatto della sola meteorologia potrebbe rendere parzialmente efficaci le misure di riduzione.

# CLIMATE PENALTY (2)

## PM10 – Media Annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



## NO2 – Media Annuale ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Con una meteo «storica» e con una meteo «under climate change» si osserva come ci sia un peggioramento della «previsione» della qualità dell'aria



# CONCLUSIONI

- Nella pianificazione, la nuova Direttiva 2881/2024 , richiede di considerare anche la variabilità meteorologica. Il cambiamento climatico può aggravare la qualità dell'aria nella pianura padana, aumentando il grado di incertezza degli scenari nei piani di qualità dell'aria.
  - Le simulazioni prevedono infatti aumenti dei principali inquinanti per effetto congiunto di:
    - minori precipitazioni
    - riduzione importante della ventilazione
    - aumento generale delle temperature
- La quantificazione delle aree di «climate penalty» può essere utile nei piani di QA per comprendere meglio i veri benefici delle misure di intervento



Article

## Future Meteorological Impact on Air Quality in the Po Valley

Loris Colombo , Alessandro Marongiu , Giulia Malvestiti and Guido Giuseppe Lanzani 

ARPA Lombardia, Regional Environmental Protection Agency of Lombardia, 20162 Milano, Italy;  
a.marongiu@arpalombardia.it (A.M.); g.malvestiti@arpalombardia.it (G.M.); g.lanzani@arpalombardia.it (G.G.L.)

\* Correspondence: lo.colombo@arpalombardia.it

<https://doi.org/10.3390/cli13090183>

# Tutti i modelli sono sbagliati, ma alcuni sono utili (Gauss)

## Grazie per l'attenzione!