



**LA RAPPRESENTATIVITA' SPAZIALE DELLE  
RETI DI MONITORAGGIO  
attraverso l'analisi dei campi di concentrazione  
stimati dal sistema modellistico WRF-CAMx**

*C.Busillo, F. Calastrini, F. Guarnieri*

*14 FEBBRAIO 2014*

# Indice

<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>1. La rappresentatività spaziale delle stazioni di monitoraggio</b>	<b>4</b>
1.1 Il metodo adottato	4
1.2 La base dati utilizzata	4
1.3 La rete di monitoraggio regionale	6
<b>2. Risultati</b>	<b>8</b>
2.1 La rappresentatività spaziale per NO <sub>2</sub>	8
2.2 La rappresentatività spaziale per PM <sub>10</sub>	17
2.3 La rappresentatività spaziale per O <sub>3</sub>	26
<b>Conclusioni</b>	<b>31</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>32</b>

## **Introduzione**

La rappresentatività spaziale delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria è comunemente definita in letteratura sulla base della variazione temporale dei livelli di concentrazione nell'intorno del sito in esame [4].

La conoscenza di questo parametro è utile per la valutazione dei siti di misura nell'installazione di una nuova rete di monitoraggio, di una ricollocazione di stazioni, o nella scelta di un numero inferiore di stazioni nella riorganizzazione di reti già esistenti. Un altro importante ambito di applicabilità riguarda la valutazione dell'esposizione della popolazione alle sostanze inquinanti misurate dalle stazioni di monitoraggio: infatti i dati misurati, essendo puntuali, devono essere correttamente interpretati e attribuiti ad aree omogenee nell'intorno del sito di misura.

Sebbene il tema inerente alla rappresentatività spaziale sia rilevante, in ambito europeo non è stata ancora individuata una metodologia di riferimento. In questo contesto ENEA, per conto del Ministero dell'Ambiente, ha realizzato uno studio volto ad esaminare diversi approcci metodologici, rappresentativi dello stato dell'arte della ricerca scientifica. In particolare sono stati analizzati quattro metodi: il primo si basa su fattori oggettivi [3], il secondo su dati emissivi spazializzati [1], il terzo sul confronto di livelli di concentrazione nell'intorno del sito utilizzando stime modellistiche [5], il quarto sull'utilizzo delle back-trajectories [6].

In questo lavoro, richiesto dalla Regione Toscana, per lo studio della rappresentatività spaziale delle stazioni di misura sarà utilizzato l'approccio che prevede il confronto dei livelli di concentrazione nell'intorno del sito di misura, sulla base delle stime ottenute dal sistema di modelli WRF-CAMx.

Dopo una presentazione del metodo e della base-dati utilizzati, vengono discussi i risultati ottenuti per gli inquinanti NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> e O<sub>3</sub>.

# 1. La rappresentatività spaziale delle stazioni di monitoraggio

## 1.1 Il metodo adottato

In linea con l'approccio metodologico proposto da ENEA [5], per la valutazione dell'area di rappresentatività di un determinato sito si fa riferimento alla seguente definizione: "un punto di misura è rappresentativo di un'area più vasta quando è maggiore del 90% la probabilità che nel tempo la differenza tra il valore misurato nel sito e quello misurato nell'area sia minore di una certa soglia" [2].

In pratica, supponendo di dividere l'area di interesse con un grigliato regolare, per ogni sito  $s$  individuato dalle coordinate  $(x_s, y_s)$ , viene considerata la serie temporale dei valori di concentrazione di un dato inquinante, di lunghezza  $T$ . Per ogni cella del dominio di calcolo di coordinate  $(x, y)$  e per ogni istante temporale  $i$ , viene calcolato un indice di frequenza  $f_i$ , nel seguente modo:

$$f_i = \begin{cases} 1, & \text{se } \frac{|Conc(x_s, y_s, t_i) - Conc(x, y, t_i)|}{Conc(x_s, y_s, t_i)} \leq \text{soglia} \\ 0, & \text{se } \frac{|Conc(x_s, y_s, t_i) - Conc(x, y, t_i)|}{Conc(x_s, y_s, t_i)} > \text{soglia} \end{cases}$$

Per valutare la rappresentatività spaziale del sito in esame si sommano le frequenze ottenute per ogni istante temporale:

$$R_s(x, y) = \sum_{i=1}^T f_i$$

Se  $R_s(x, y)$  è superiore a 0.9 allora il sito  $s$  è rappresentativo per la cella  $(x, y)$ .

La scelta della soglia per  $f_i$  è determinante: in questo lavoro ne verranno esaminate tre, pari a 0.2 ; 0.25 ; 0.3.

## 1.2 La base dati utilizzata

In linea di principio, il metodo preso in esame dovrebbe essere applicato ad un sito nel cui intorno sono state effettuate numerose misure, per un periodo sufficientemente lungo. In pratica si tratta di un procedimento molto oneroso, per cui la sua applicabilità è molto limitata.

Tuttavia, se in luogo dei dati misurati si utilizzano le stime modellistiche dei livelli di concentrazione, questo metodo risulta invece attuabile.

La base dati utilizzata in questo lavoro è costituita dalle stime di concentrazione dei principali inquinanti, ottenute dal sistema di modelli WRF-CAMx, applicato al territorio della regione Toscana.

Il sistema di modelli, sviluppato dal Consorzio LaMMA su incarico della Regione Toscana, si basa sul modello prognostico WRF, che fornisce l'input meteorologico, e sul modello CAMx, per la simulazione della chimica e del trasporto degli inquinanti in atmosfera. Le emissioni sono fornite dall'inventario regionale IRSE, attraverso una specifica interfaccia, mentre sul territorio esterno alla regione le emissioni, come anche le condizioni iniziali e al contorno, sono ottenute dal modello nazionale MINNI, fornite da ENEA. Il dominio di calcolo copre l'intera regione Toscana con un grigliato di 110x124 celle, ad una risoluzione di 2 Km: il periodo temporale corrisponde all'anno 2007, con passo orario.

Attualmente è disponibile la simulazione relativa all'input emissivo IRSE aggiornato al 2007, ma a breve saranno disponibili l'anno 2010 (IRSE 2010, anno 2010) e l'anno 2007 a fronte dei nuovi fattori emissivi introdotti nell'ultimo aggiornamento dell'inventario regionale (IRSE 2010, anno 2007).

Dato che la rappresentatività spaziale può variare notevolmente al variare dell'inquinante, sono stati presi in esame tre inquinanti, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, O<sub>3</sub>, che attualmente presentano valori di concentrazione critici.

Un altro fattore da prendere in considerazione è la statistica temporale da utilizzare: serie storiche su base oraria, su base giornaliera o valori massimi giornalieri della media mobile su 8 ore. In questo studio, attenendosi anche alle statistiche utilizzate in ambito normativo per i diversi inquinanti, sono state analizzate le serie storiche su base giornaliera per NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub> e le serie dei valori massimi giornalieri della media mobile su 8 ore per l'ozono. Per quest'ultimo inquinante, oltre alle serie sul periodo temporale di un anno, sono state considerate anche le serie relative al semestre aprile-settembre, periodo critico per l'ozono.

Il metodo è stato applicato variando la soglia della funzione  $f_i$ : in pratica sono state applicate tre soglie pari a 0.2 ; 0.25 ; 0.3.

### 1.3 La rete di monitoraggio regionale

La rete di monitoraggio della Regione Toscana è costituita da 31 stazioni, di cui 4 ancora in fase di installazione. Nel presente studio sono state prese in esame solo le 24 stazioni di fondo, sia rurali/periferiche che urbane, mentre le stazioni di traffico o industriali non sono state considerate in quanto la variabilità spaziale è maggiore della risoluzione spaziale delle stime modellistiche. Infatti bisogna tenere presente che il metodo adottato è applicabile nel caso in cui la variabilità del sito in esame non sia superiore a quella dell'output modellistico.

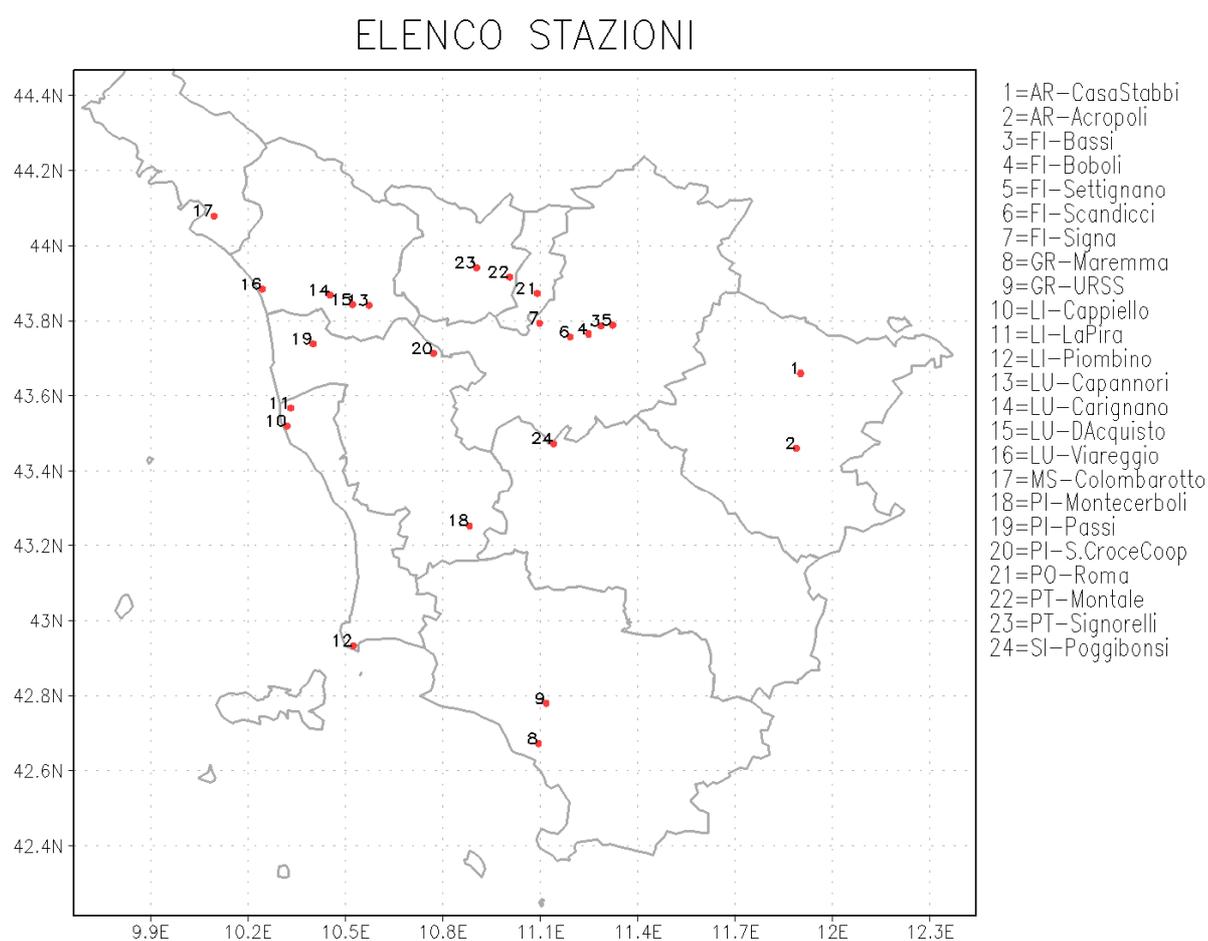


Fig.1 – Mappa delle stazioni di fondo della rete regionale.

Delle 24 centraline di fondo 5 sono rurali, 2 periferiche, 17 urbane: in 23 di queste è misurato il biossido di azoto, in 21 PM10 e in 10 l'ozono. Nella tabella, per ciascuna stazione, sono riportate le coordinate, la tipologia, la zona, gli inquinanti misurati.

Tab.1 – Tabella delle stazioni di fondo della rete regionale.

ID	STAZIONE	TIPO	ZONA	x_utm	y_utm	INQUINANTE
1	AR-Casa Stabbi	rurale	fondo	733892	4838110	PM10, NO2, O3
2	AR-Acropoli	urbana	fondo	733640	4815960	PM10, NO2, O3
3	FI-Bassi	urbana	fondo	683990	4850610	PM10, NO2
4	FI-Boboli	urbana	fondo	680952	4848140	PM10
5	Fi-Settignano	rurale	fondo	686911	4850970	NO2, O3
6	FI-Scandicci	urbana	fondo	676454	4847110	PM10, NO2
7	FI-Signa	urbana	fondo	668776	4851040	PM10, NO2, O3
8	GR-Maremma	rurale	fondo	671622	4726428	NO2, O3
9	GR-URSS	urbana	fondo	673276	4738310	PM10, NO2
10	LI-Cappiello	urbana	fondo	606741	4819300	PM10, NO2
11	LI-La Pira	urbana	fondo	607533	4824660	PM10, NO2
12	LI-Piombino	urbana	fondo	624377	4754390	PM10, NO2
13	LU-Capannori	urbana	fondo	626441	4855290	PM10, NO2
14	Lu-Carignano	rurale	fondo	616716	4858240	NO2, O3
15	LU-D'Acquisto	urbana	fondo	622324	4855420	PM10, NO2
16	LU-Viareggio	urbana	fondo	599909	4859670	PM10, NO2
17	MS-Colombarotto	urbana	fondo	587781	4881070	PM10, NO2
18	Pi-Montecerboli	periferica	fondo	652796	4790390	PM10, NO2, O3
19	PI-Passi	urbana	fondo	612792	4843710	PM10, NO2, O3
20	PI-S.Croce Coop	periferica	fondo	642650	4841440	PM10, NO2, O3
21	PO-Roma	urbana	fondo	668005	4859760	PM10, NO2
22	PT-Montale	rurale	fondo	661057	4864410	PM10, NO2, O3
23	PT-Signorelli	urbana	fondo	652831	4866960	PM10, NO2
24	SI-Poggibonsi	urbana	fondo	673173	4815450	PM10, NO2

## 2. Risultati

Applicando le funzioni descritte nel § 1.1, implementate con il codice MATLAB, per un dato sito di misura, è stata calcolata per ogni cella del dominio la funzione  $R_s(x, y)$ , ossia il valore compreso tra 0 e 1 che indica se tale cella è rappresentata dal sito in esame. La rappresentatività spaziale di un sito si considera estesa alle celle del dominio in cui il valore di  $R_s(x, y)$  supera 0.9. Come abbiamo visto, tale rappresentatività può variare al variare dell'inquinante, della statistica considerata, del periodo temporale (es. un anno, una stagione, etc.).

In questo lavoro sono stati presi in esame tre inquinanti; per NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub> come statistica di riferimento è stata utilizzata la media giornaliera, per un anno, mentre per l'ozono è stata utilizzata la statistica relativa al massimo giornaliero della media mobile su 8 ore, per un anno e per il semestre aprile-settembre.

Per la determinazione della funzione rappresentatività sono state individuate tre diverse soglie, pari a 0.2 ; 0.25 ; 0.3, quindi in totale sono stati analizzati 12 casi.

Per gli inquinanti NO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub> sono state prese in esame tutte le 24 stazioni della rete regionale, mentre per l'ozono le 10 stazioni in cui viene misurato.

Di seguito sono riportate le mappe della rappresentatività spaziale elaborate per ciascun sito: i risultati per i tre inquinanti sono esaminati nei seguenti paragrafi.

### 2.1 La rappresentatività spaziale per NO<sub>2</sub>

Le mappe relative alla rappresentatività spaziale dei 24 siti di misura, al variare delle tre soglie scelte (0.2 ; 0.25 ; 0.3) sono presentate di seguito. Le prime 7 stazioni sono collocate in aree rurali o periferiche, mentre le seguenti 17 in aree urbane.

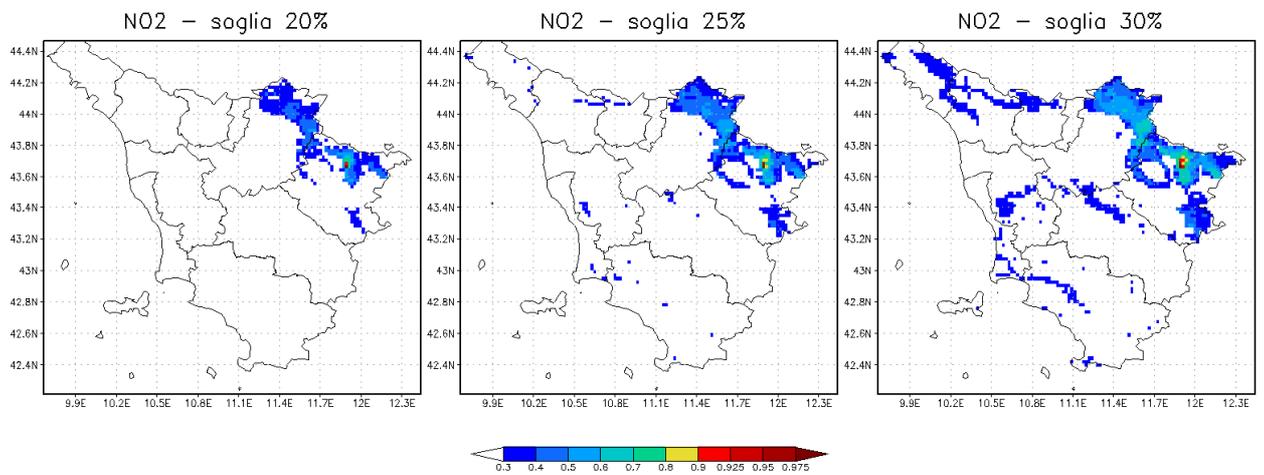
La rappresentatività spaziale per i siti di misura di NO<sub>2</sub> è molto bassa, aumenta all'aumentare della soglia ed è più alta nelle stazioni rurali o periferiche.

Le stazioni che rappresentano aree relativamente più ampie sono Pisa-Montecerboli, Pistoia-Montale, Pisa-S.Croce, Arezzo-Casastabbi, Grosseto-Maremma, mentre Lucca-Carignano e Firenze -Settignano sono rappresentative di un'area molto limitata, anche al crescere della soglia.

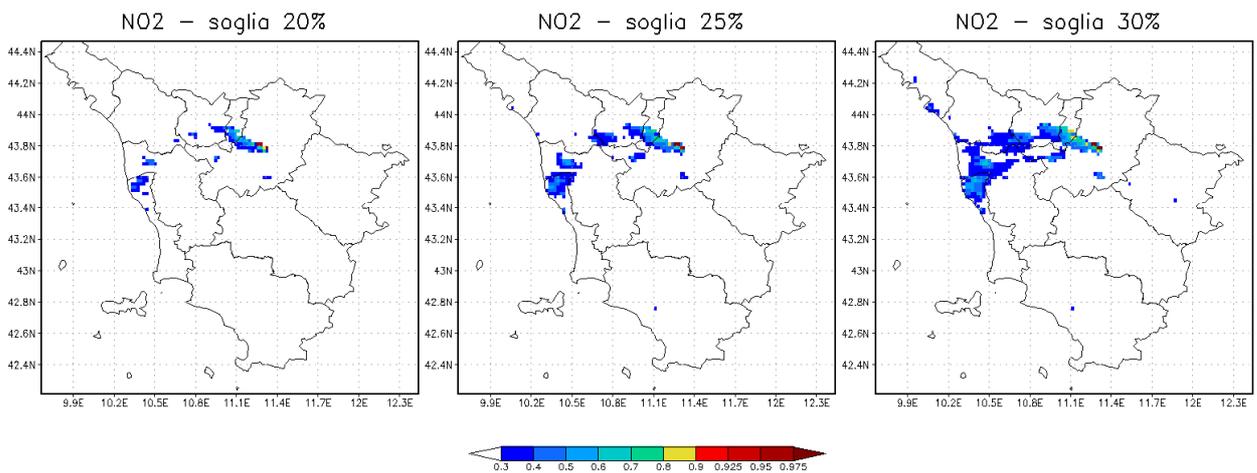
In generale le stazioni urbane sono rappresentative di aree ancora minori. Fanno eccezione la stazione di Firenze-Bassi, Prato-Roma, Livorno-La Pira, Lucca-D'Acquisto, Lucca-Capannori, e, in misura minore, Firenze-Boboli e Firenze-Signa. La rappresentatività delle altre 10 stazioni è inferiore alla risoluzione del modello e quindi non deducibile attraverso questa specifica applicazione del metodo.

RURALE/PERIFERICA FONDO

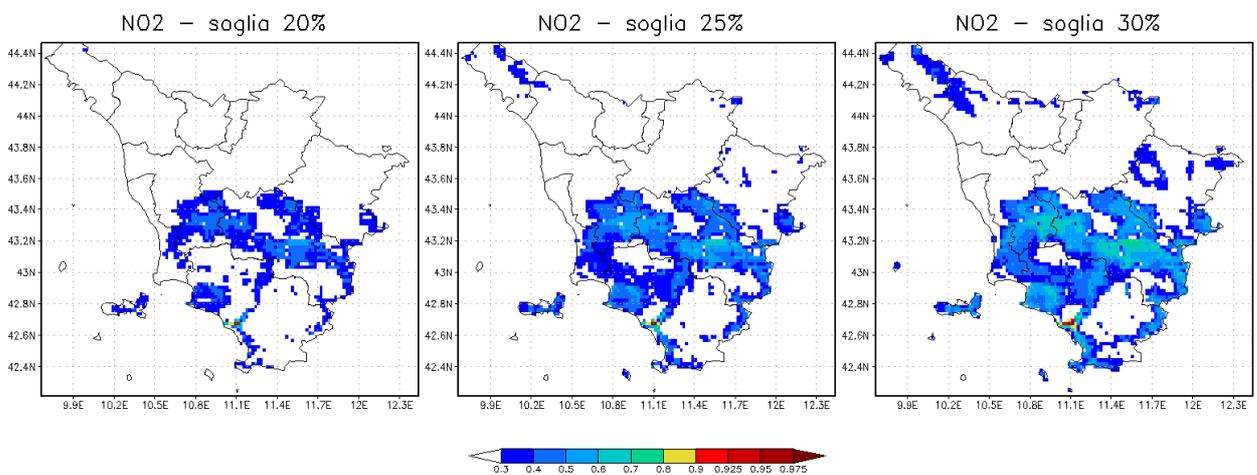
AR – Casa Stabbi



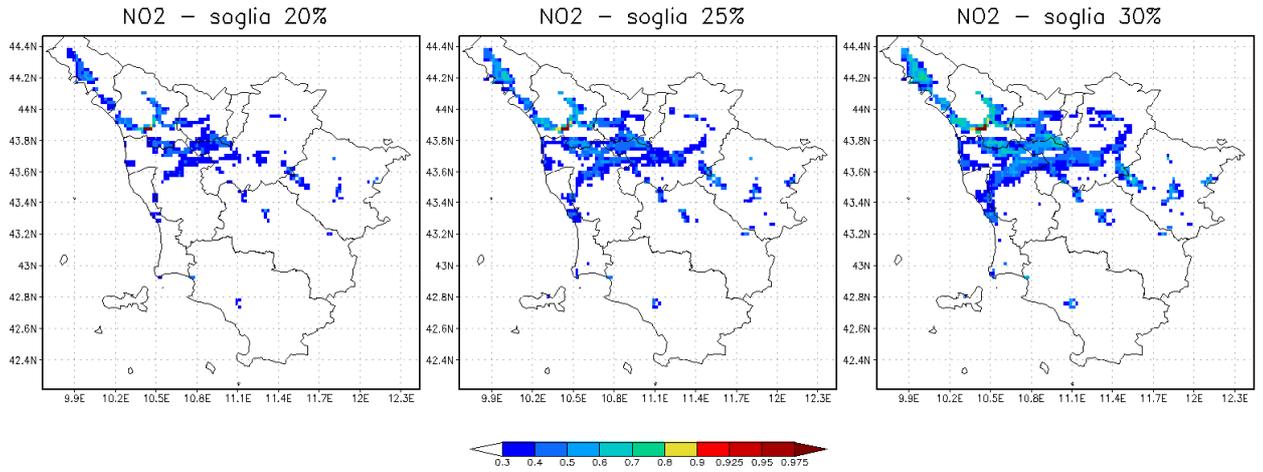
FI – Settignano



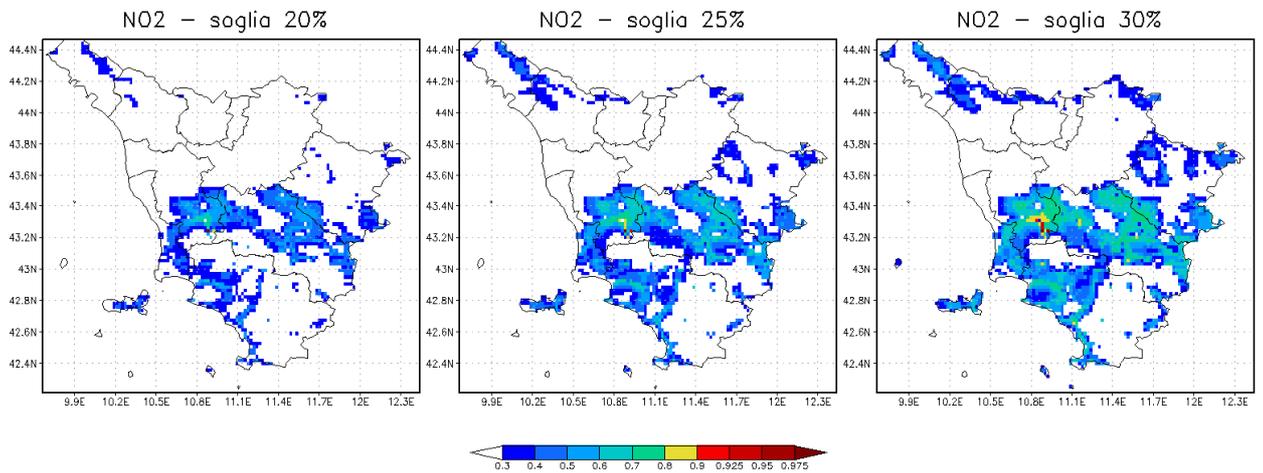
GR – Maremma



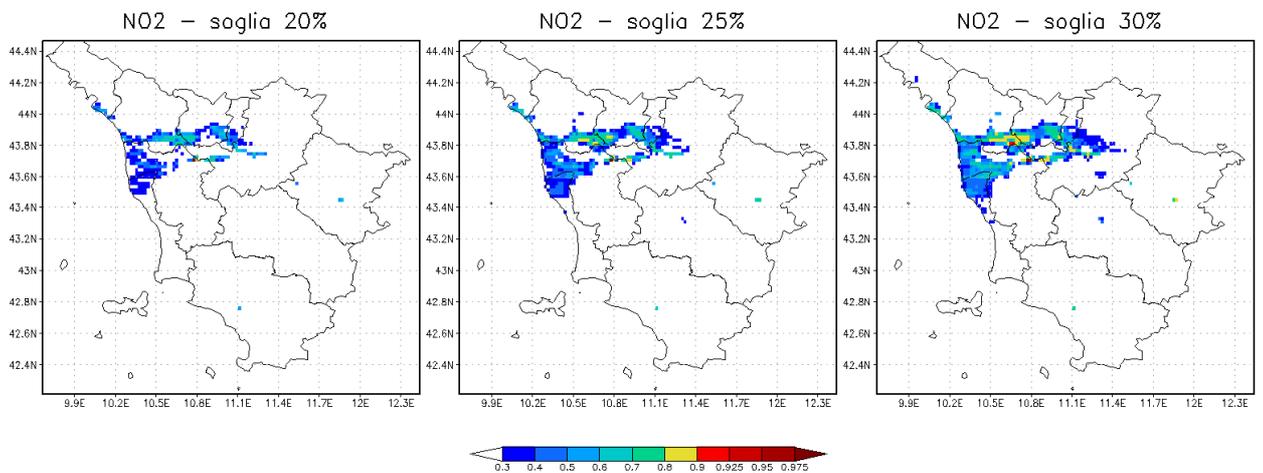
### LU–Carignano



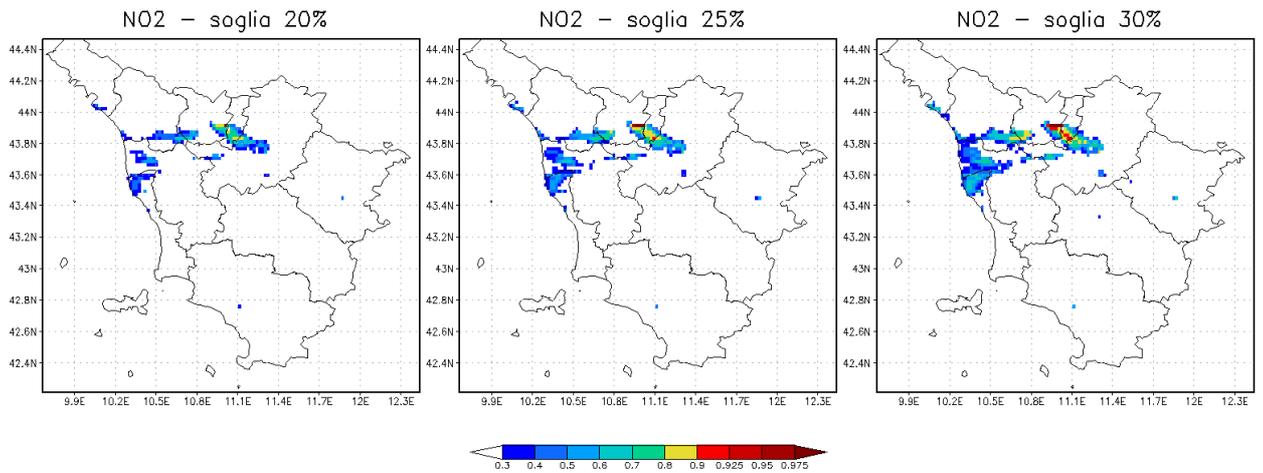
### PI–Montecerboli



### PI–S.Croce Coop

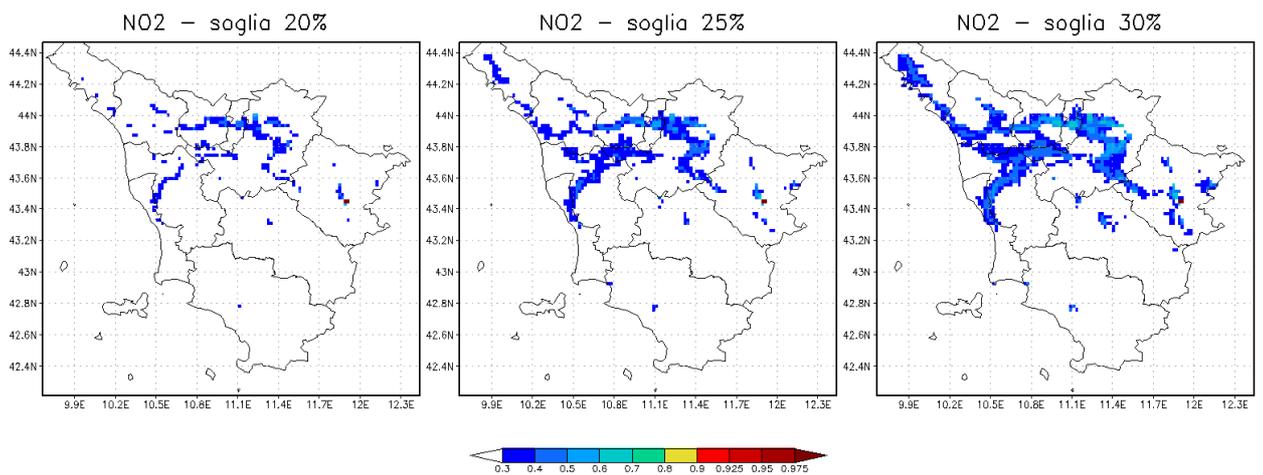


### PT–Montale

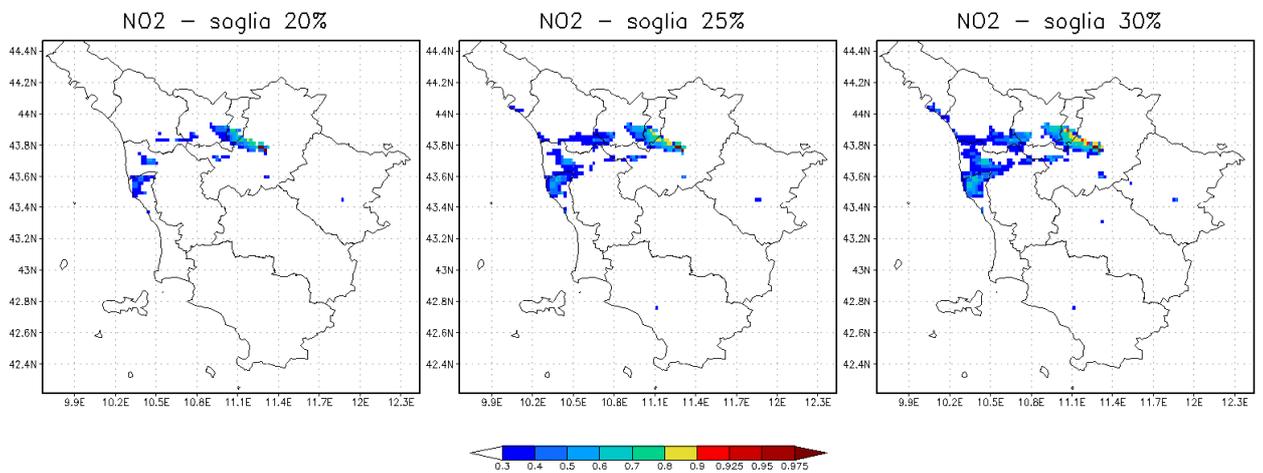


### URBANE FONDO

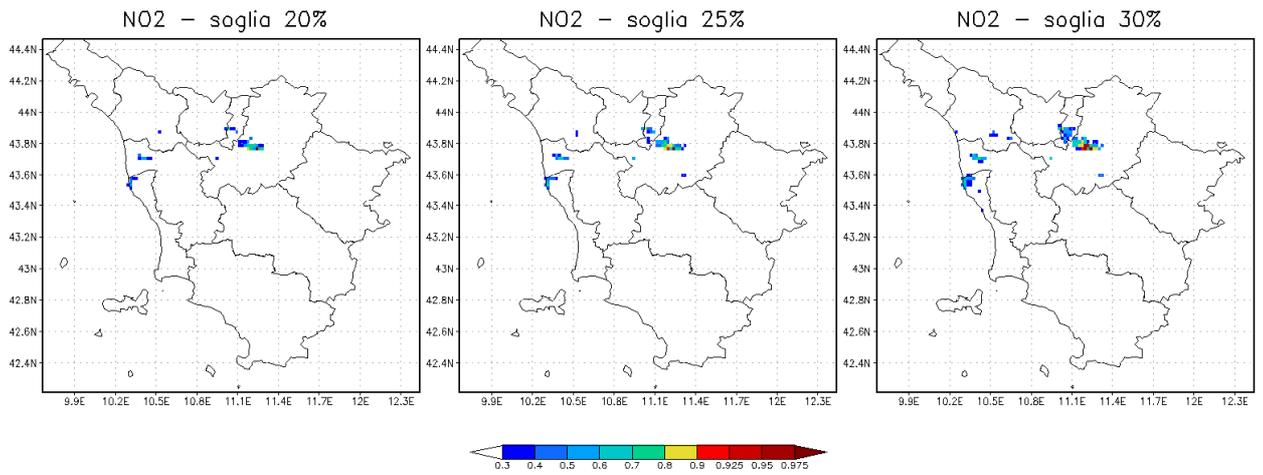
### AR–Acropoli



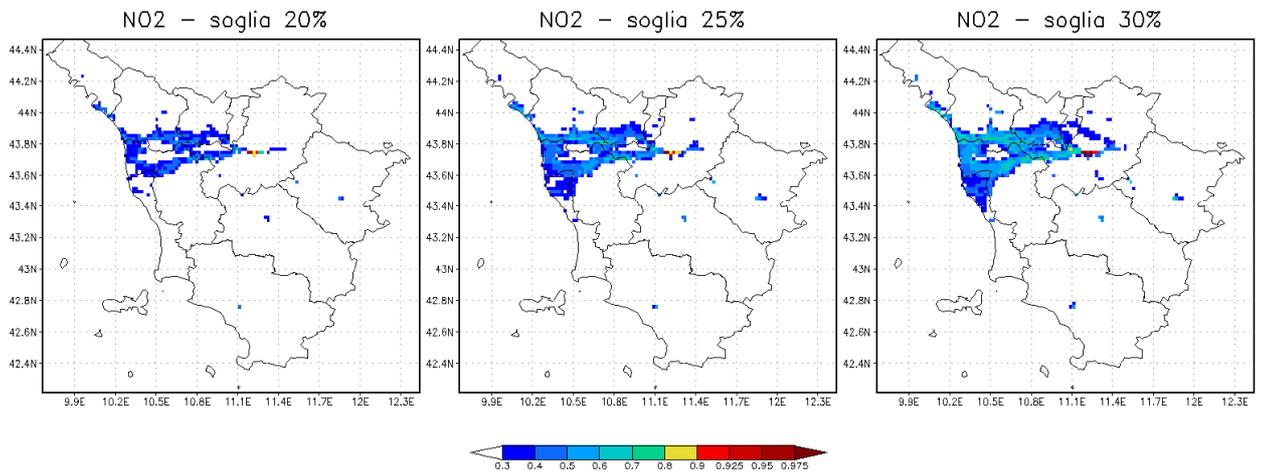
### FI–Bassi



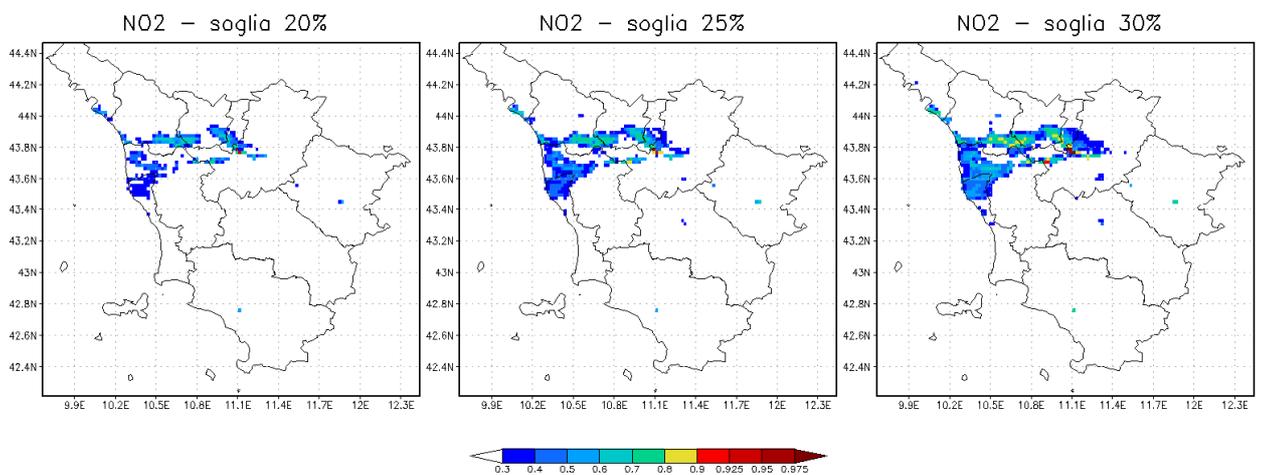
### FI-Boboli



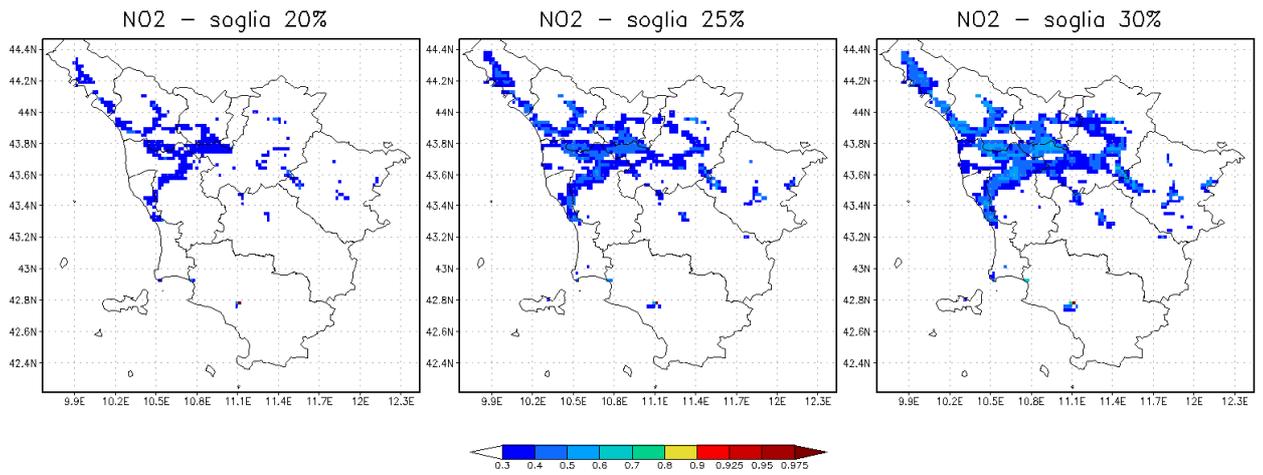
### FI-Scandicci



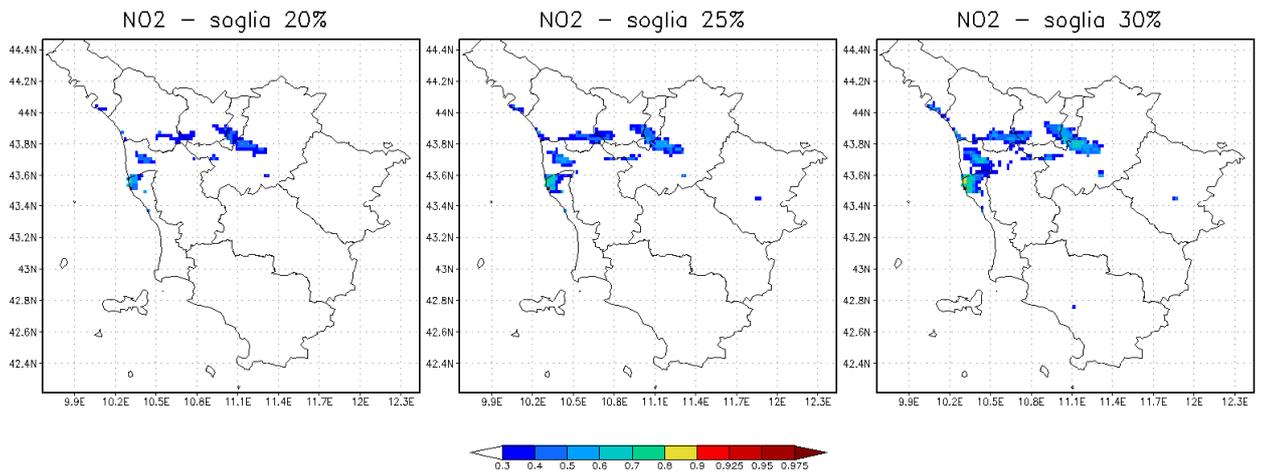
### FI-Signa



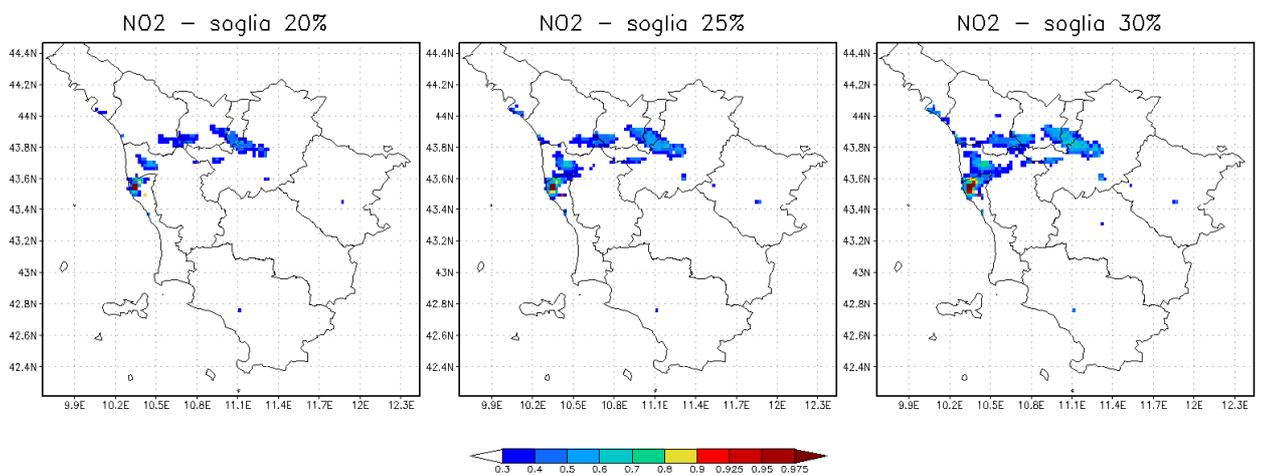
### GR-URSS



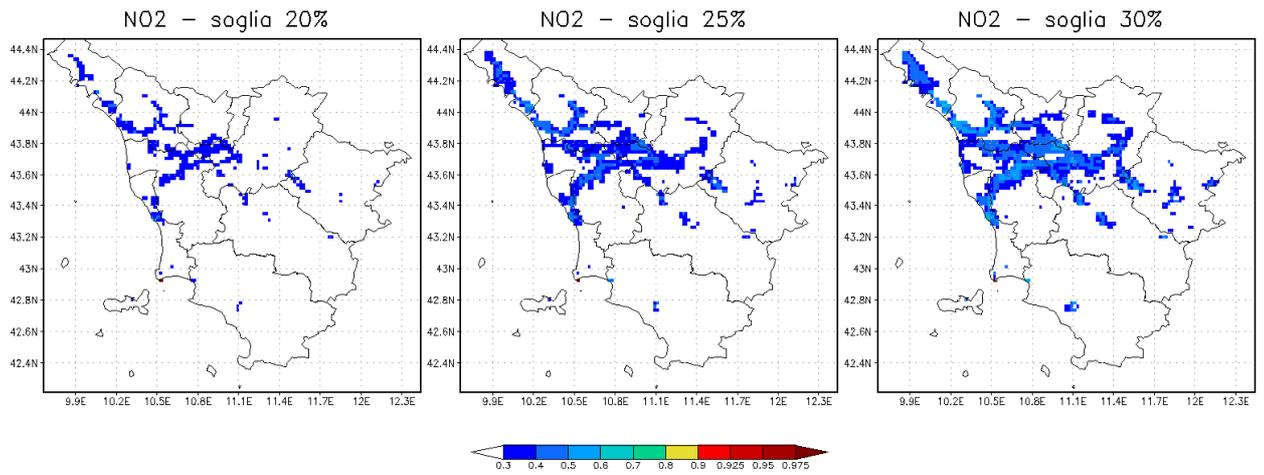
### LI-Cappiello



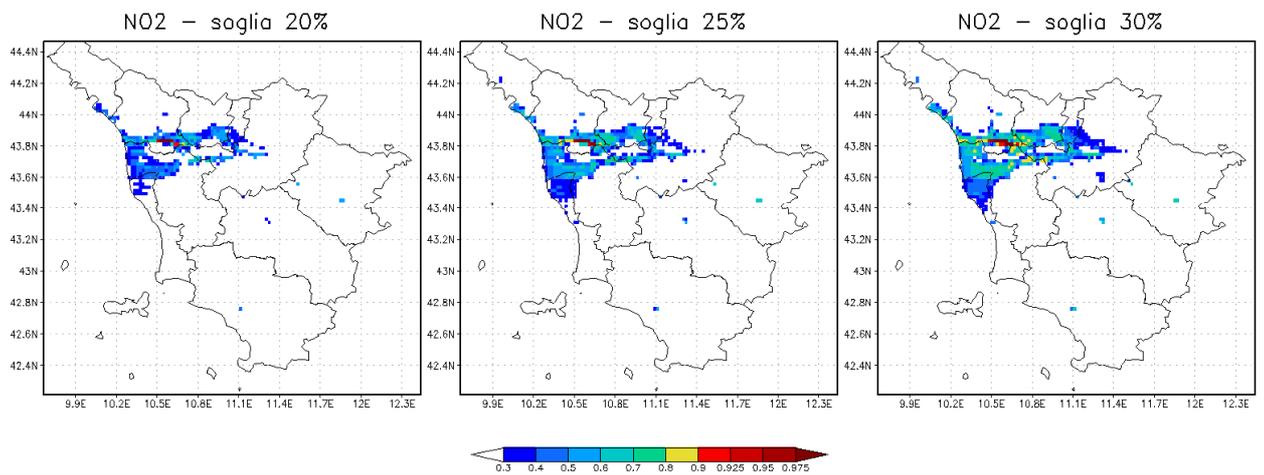
### LI-La Pira



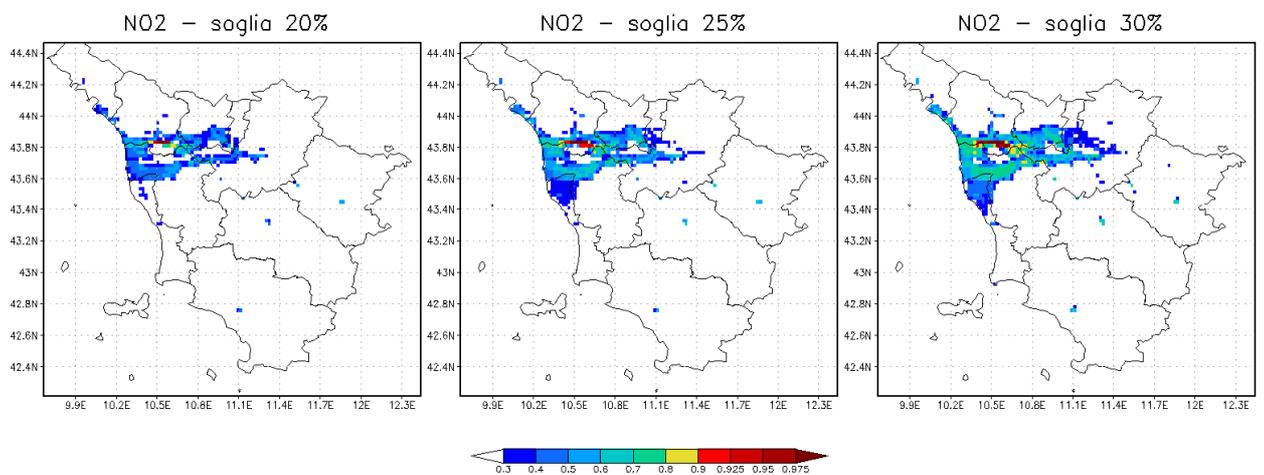
### LI-Piombino



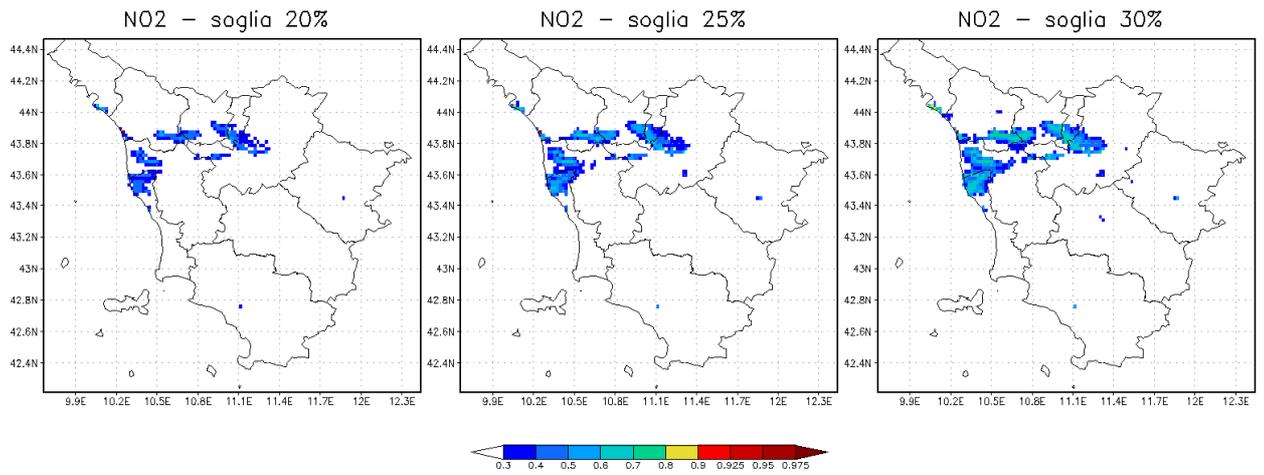
### LU-Capannori



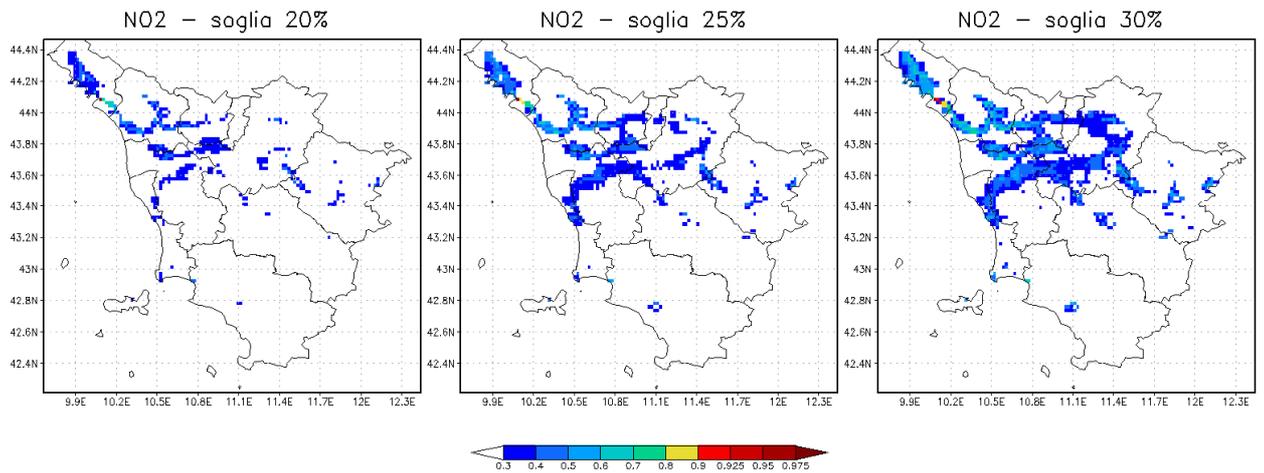
### LU-DAcquisto



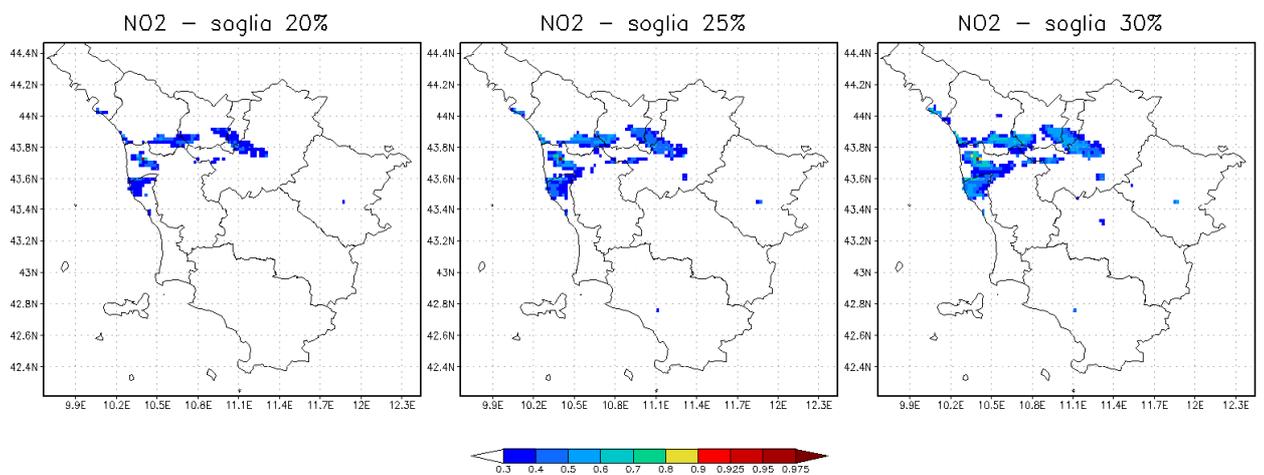
## LU-Viareggio



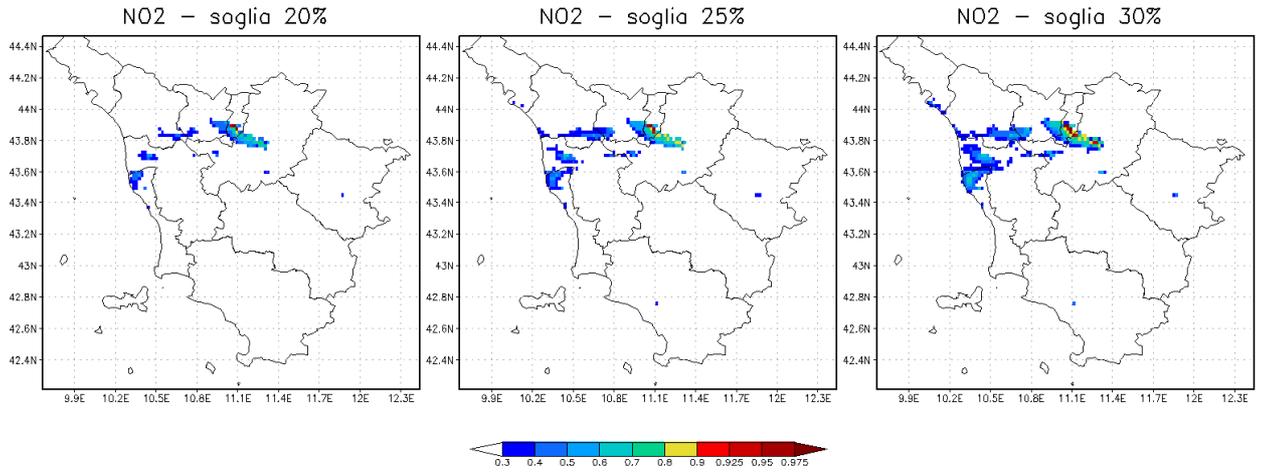
## MS-Colombarotto



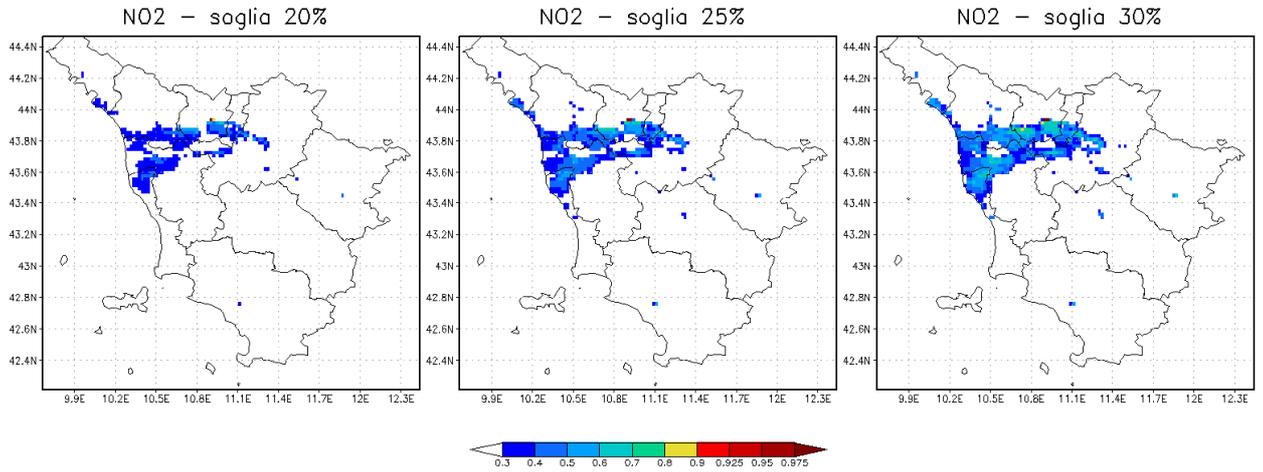
## PI-Passi



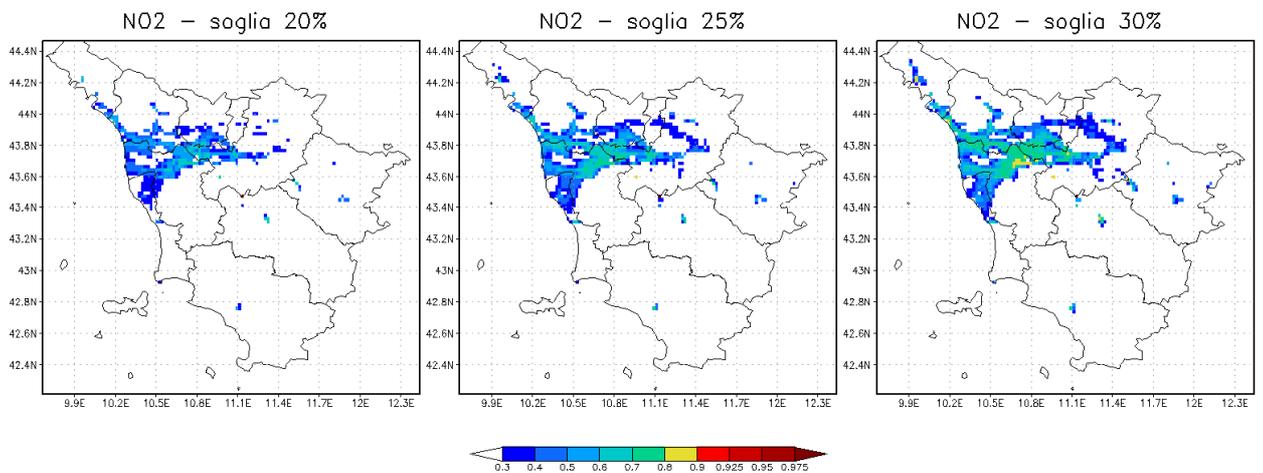
### PO-Roma



### PT-Signorelli



### SI-Poggibonsi



## 2.2 La rappresentatività spaziale per PM10

Lo stesso approccio adottato per il biossido di azoto è stato utilizzato per analizzare i risultati della rappresentatività spaziale delle stazioni di misura di PM10: anche in questo caso sono state prese in considerazione tutte le 24 stazioni di fondo della rete e sono state considerate le stesse tre soglie.

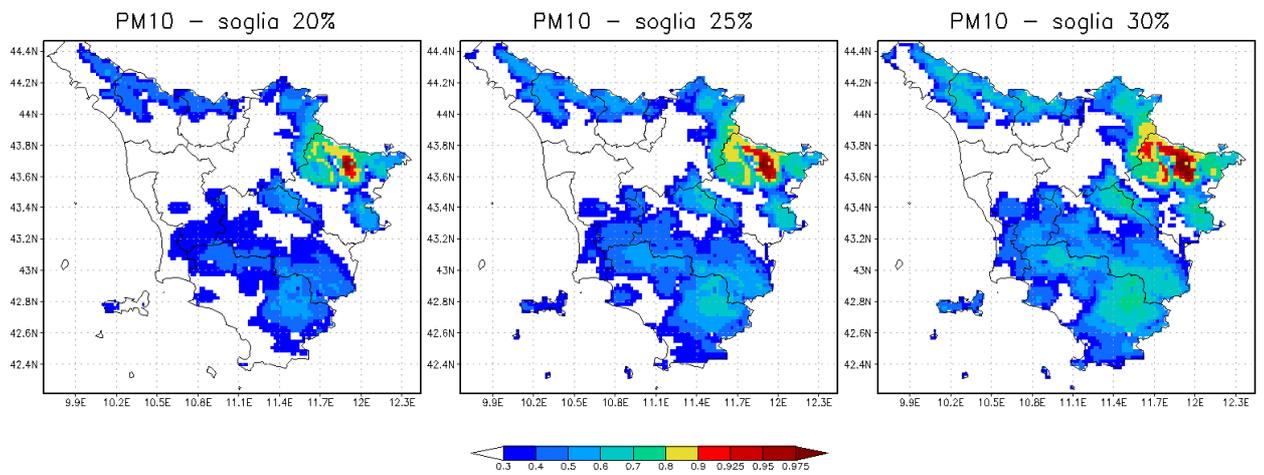
La rappresentatività spaziale per questo inquinante è decisamente maggiore rispetto al caso del biossido di azoto. In particolare le stazioni rurali/periferiche di Arezzo-Casastabbi, Grosseto-Maremma, Pisa-Montecerboli, Pisa-S.Croce mostrano delle aree molto estese, ben delineate anche con la soglia più bassa, pari a 0.2. Lucca-Carignano e Firenze –Settignano (che non hanno misuratori di PM10) mostrano aree più piccole. La stazione Pistoia-Montale invece è in controtendenza rispetto alla buona rappresentatività mostrata per le concentrazioni di NO<sub>2</sub>, ha una variabilità spaziale molto alta, anche all'aumentare della soglia. Da notare che, in conseguenza all'introduzione di nuovi fattori emissivi nell'ambito dell'ultimo aggiornamento dell'inventario IRSE, si hanno maggiori emissioni primarie di PM10. E' possibile quindi ipotizzare differenze anche sostanziali nelle mappe di rappresentatività spaziale utilizzando le simulazioni ottenute dal sistema di modelli WRF-CAMx con i valori di emissione aggiornati.

Anche le stazioni urbane mostrano una discreta rappresentatività spaziale, ad eccezione dei siti Grosseto-URSS, Livorno-Piombino, Lucca-Viareggio, Pistoia-Signorelli e Siena-Poggibonsi. Per quest'ultime, come per Pistoia-Montale, il metodo non è utilizzabile per individuare le aree rappresentative.

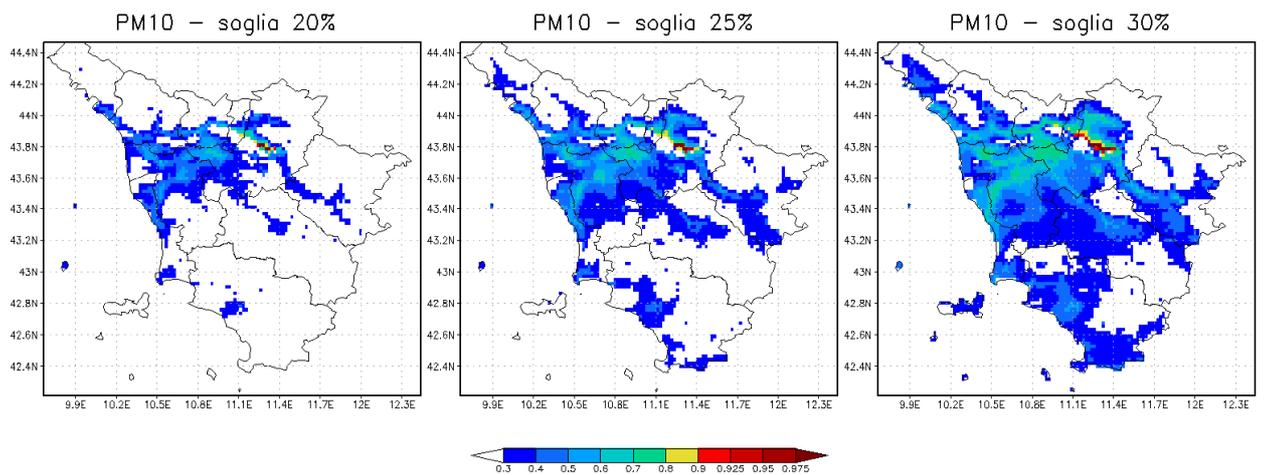
In generale, i risultati ottenuti con questo metodo per la rappresentatività spaziale relativamente al PM10 sono buoni, in particolare per le stazioni collocate in aree rurali o periferiche, ma anche per 12 stazioni urbane, a differenza di quanto mostrato per i valori di concentrazione di NO<sub>2</sub>, caratterizzati da una variabilità spaziale più alta.

RURALE/PERIFERICA FONDO

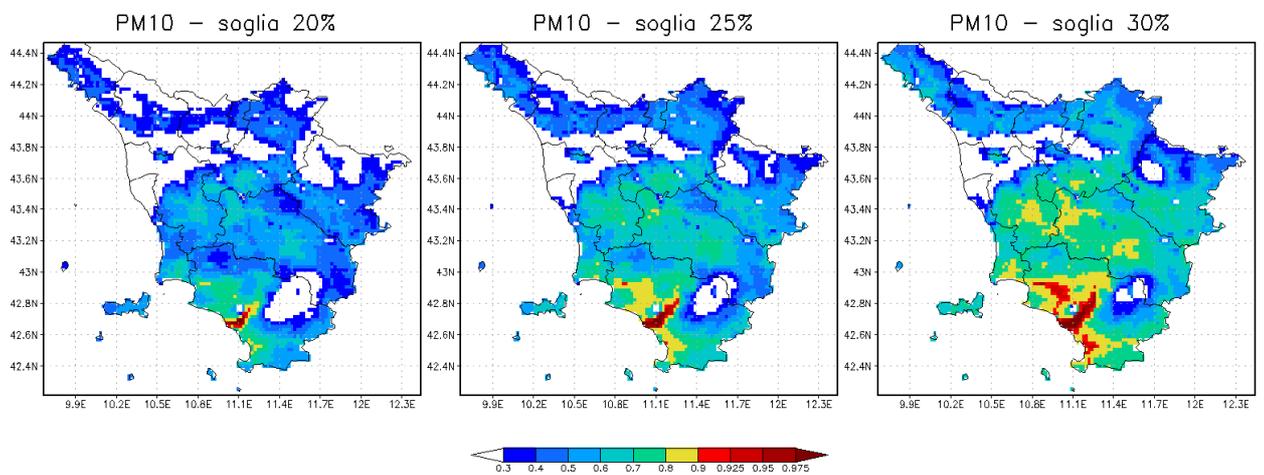
AR – Casa Stabbi



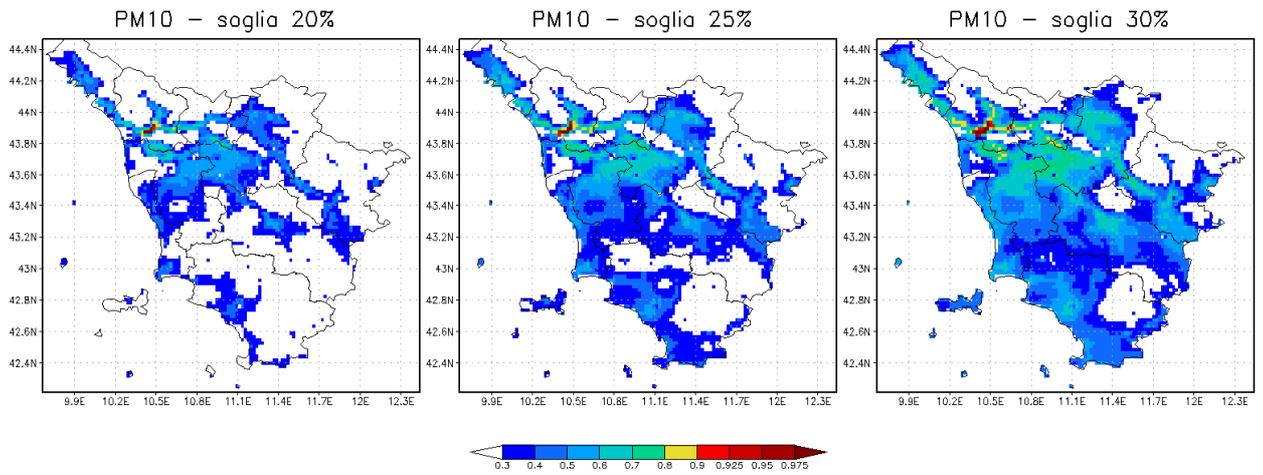
FI – Settignano



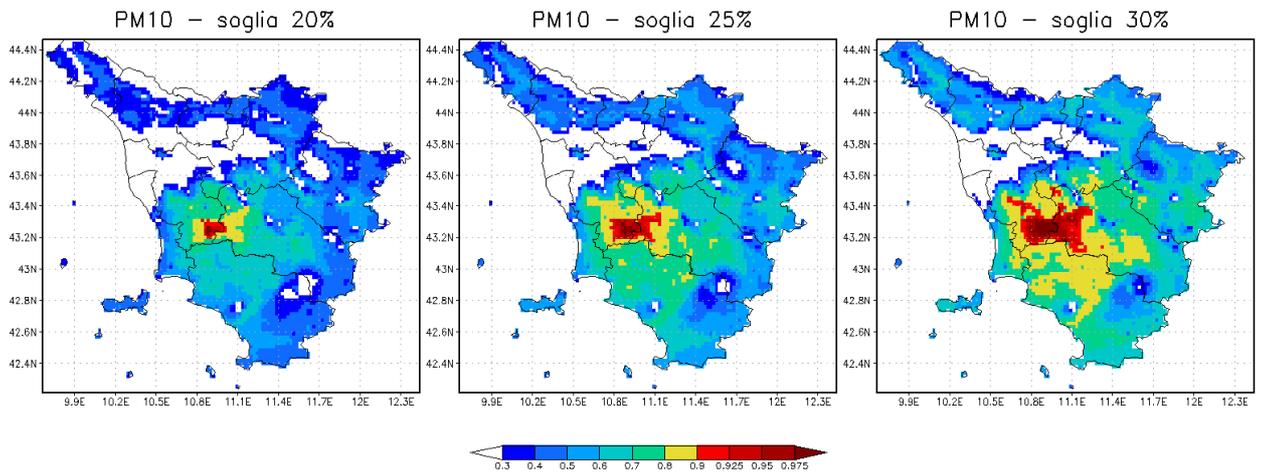
GR – Maremma



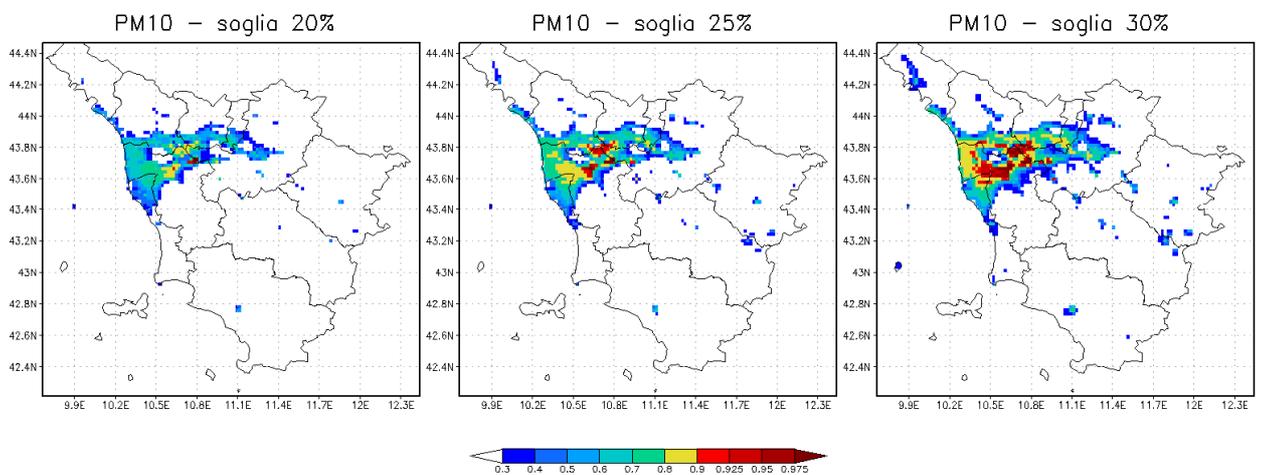
### LU – Carignano



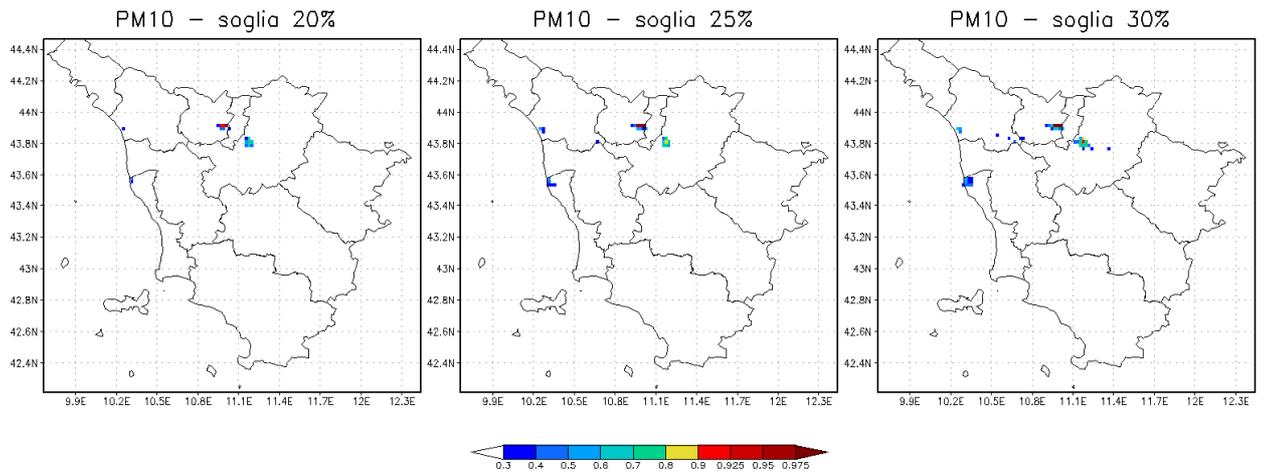
### PI – Montecerboli



### PI – S.Croce Coop

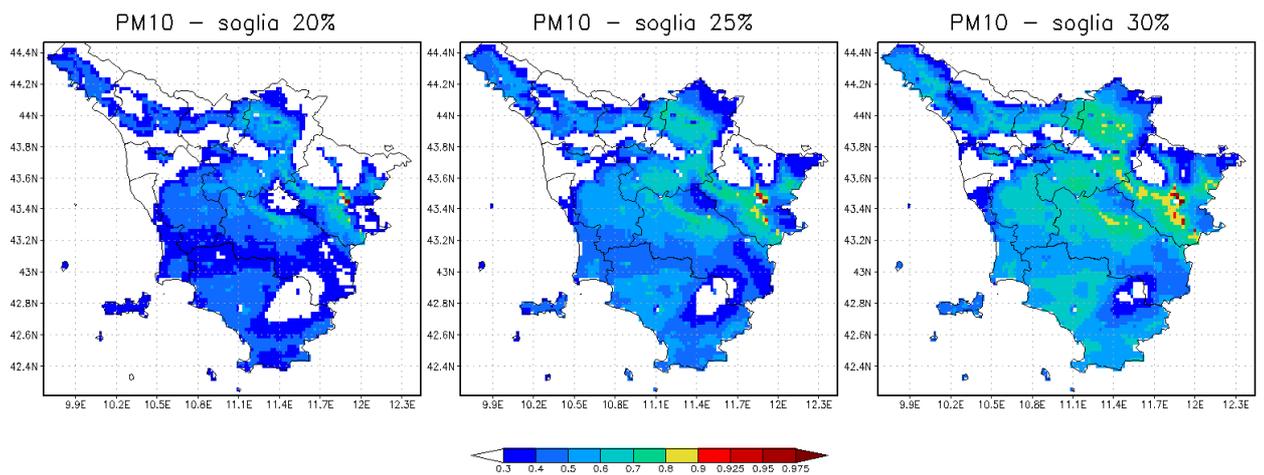


### PT–Montale

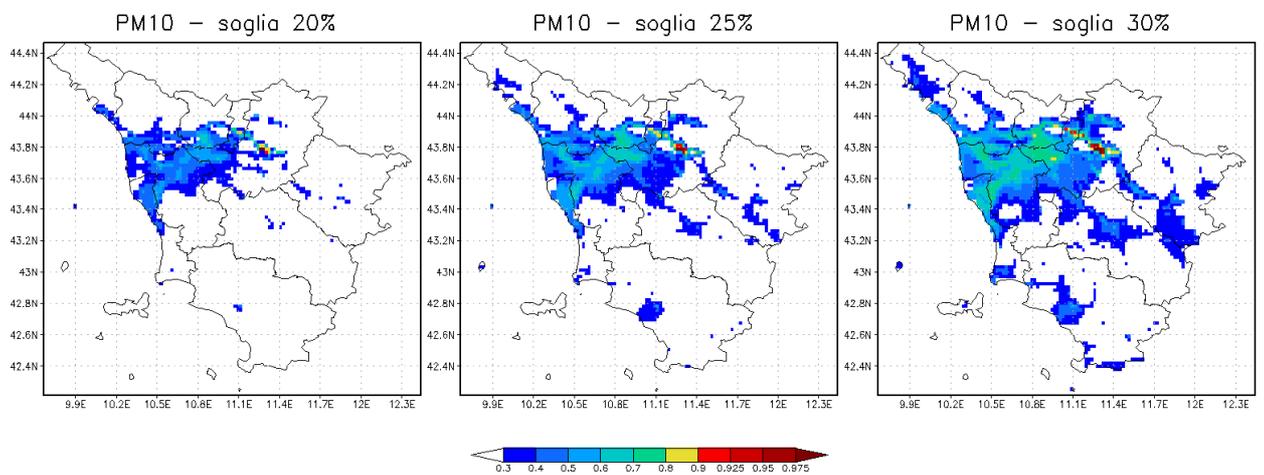


### URBANA FONDO

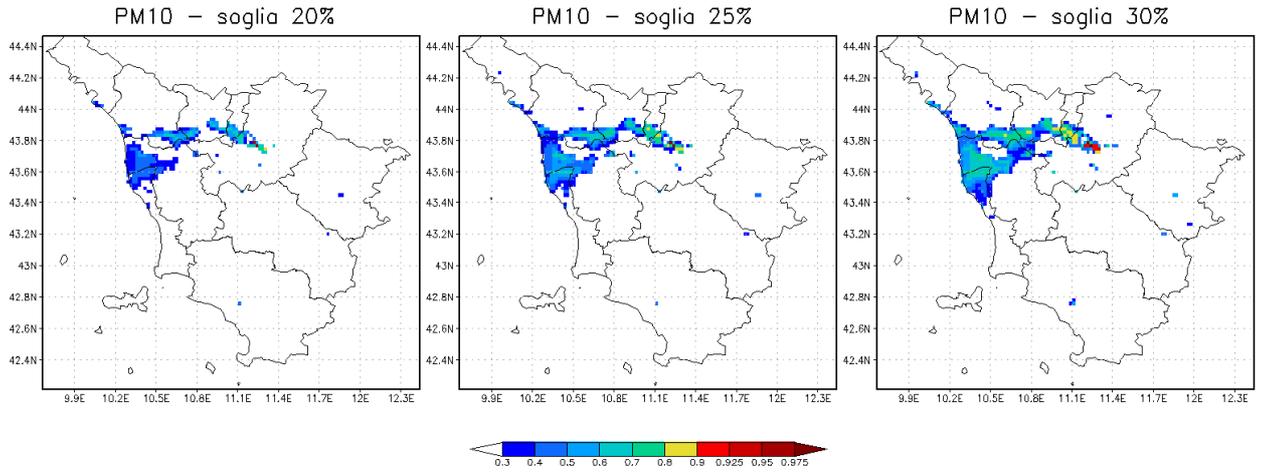
### AR–Acropoli



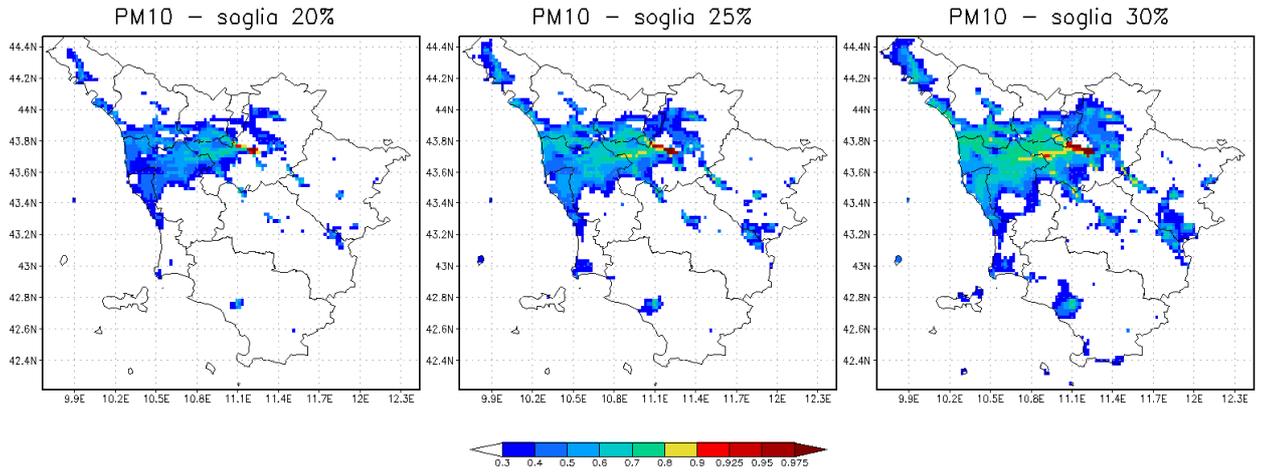
### FI–Bassi



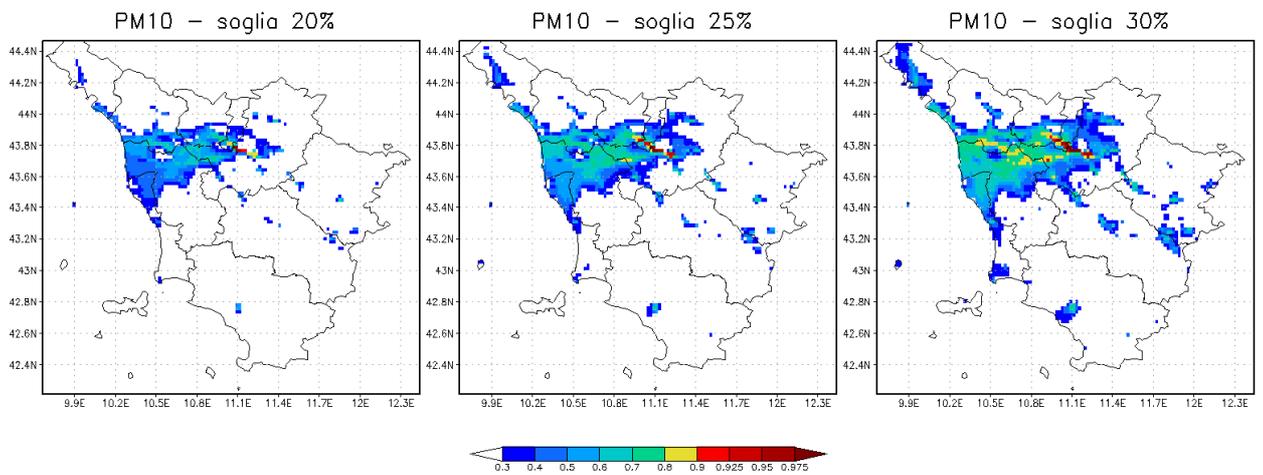
### FI-Boboli



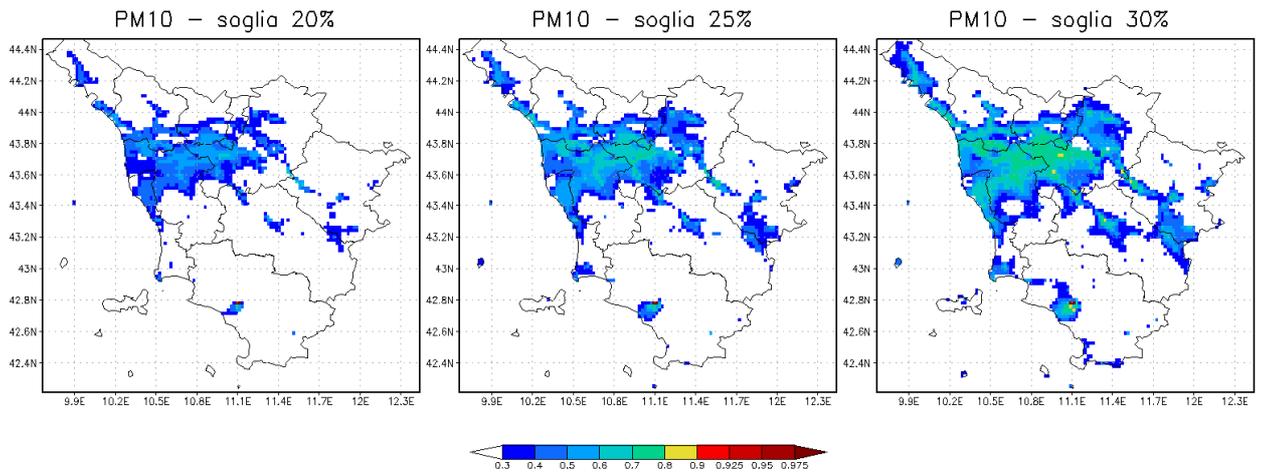
### FI-Scandicci



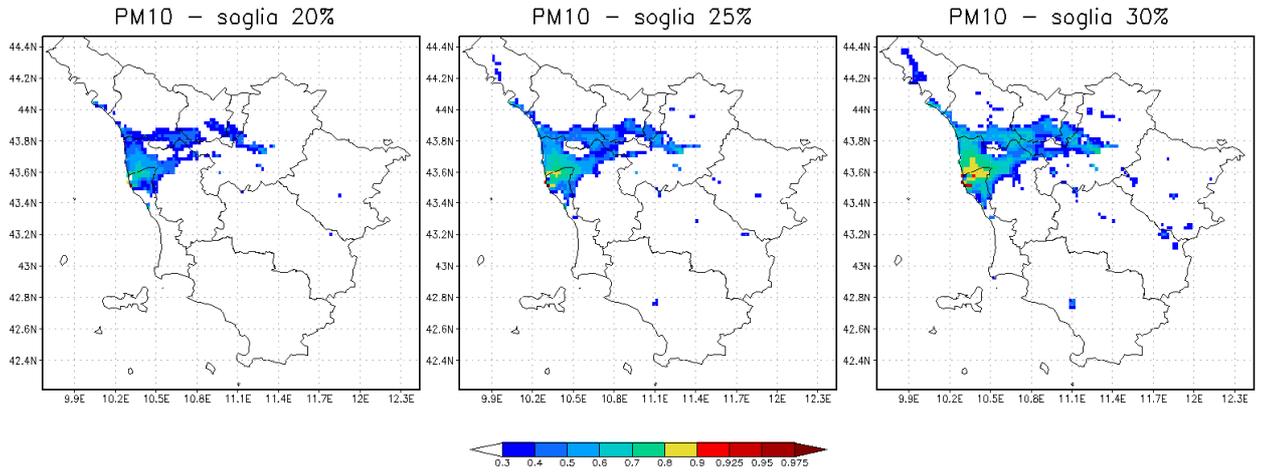
### FI-Signa



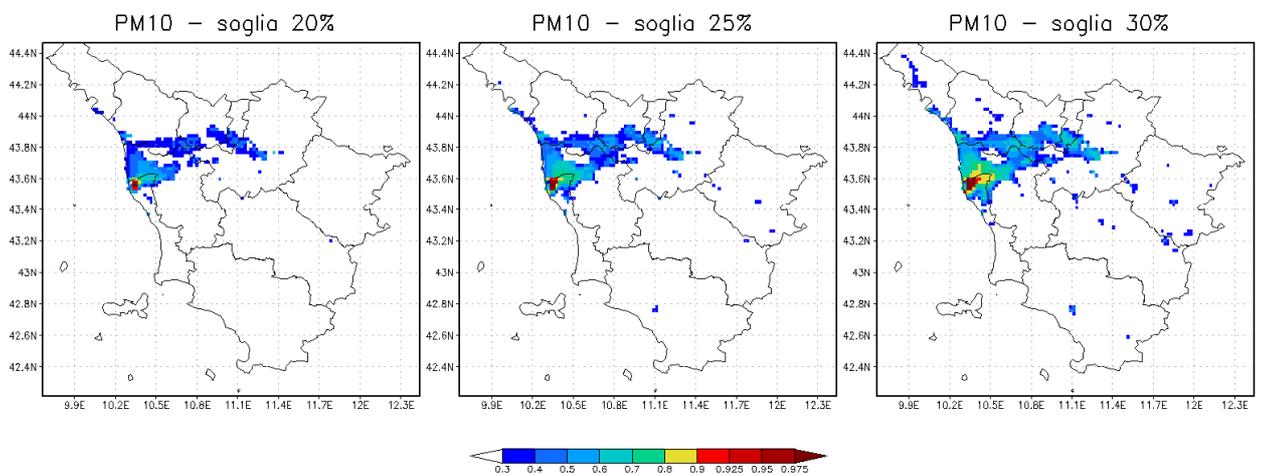
### GR – URSS



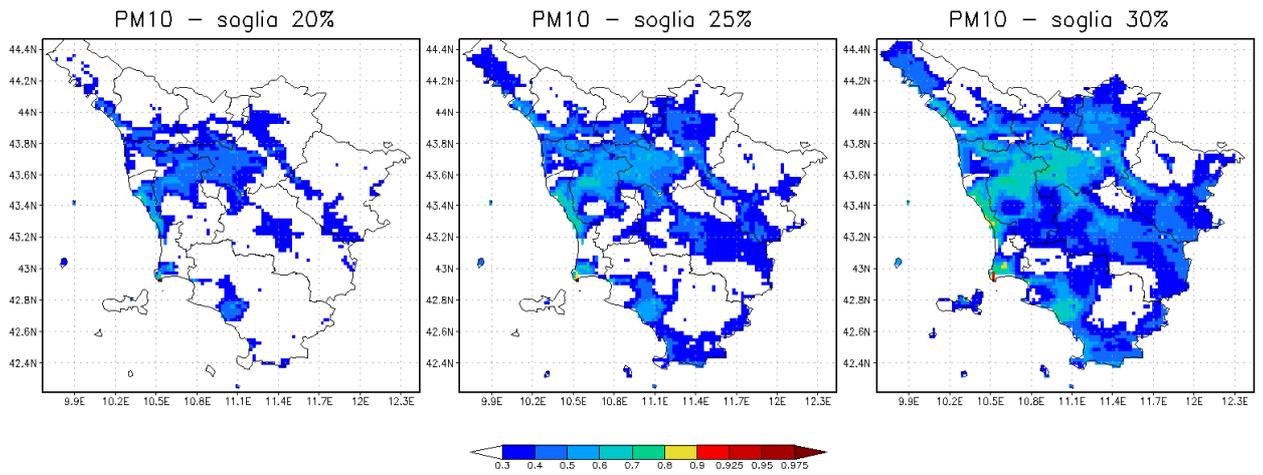
### LI – Capiello



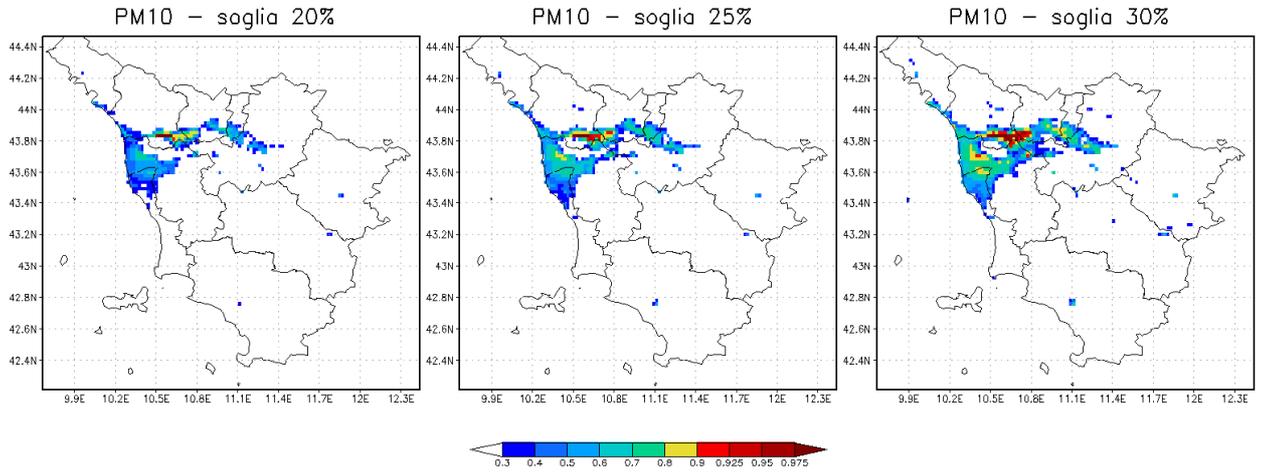
### LI – La Pira



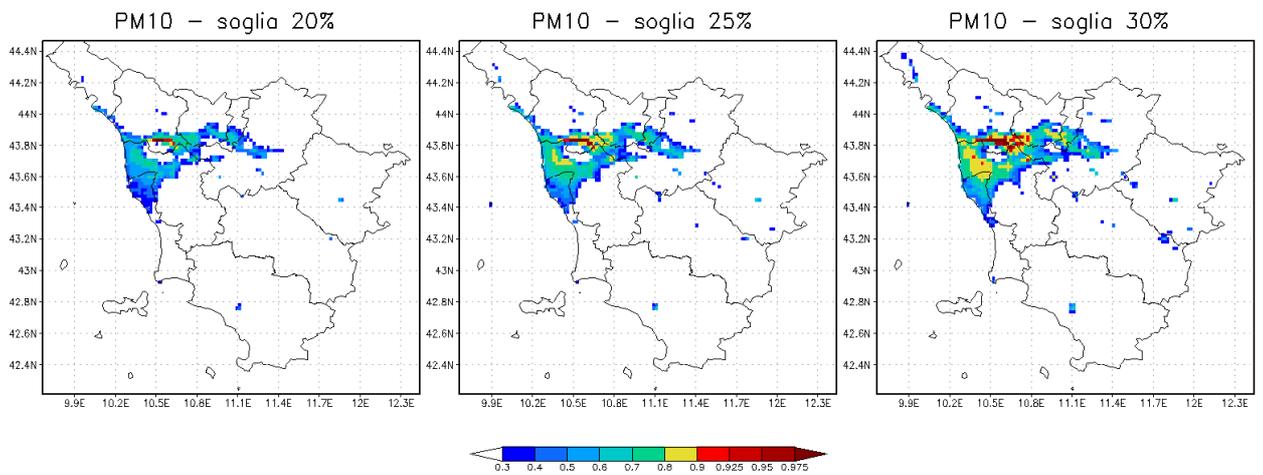
### LI-Piombino



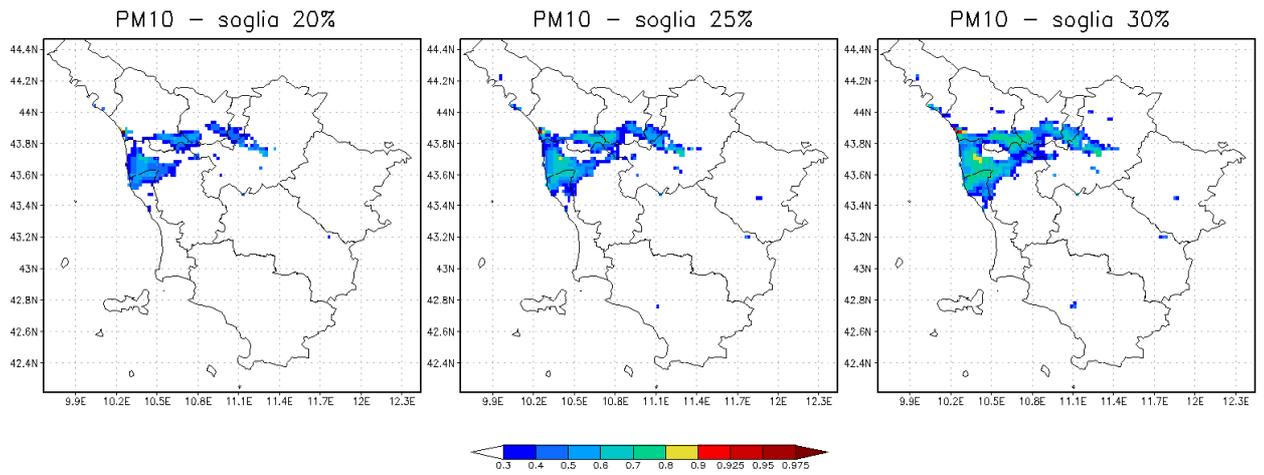
### LU-Capannori



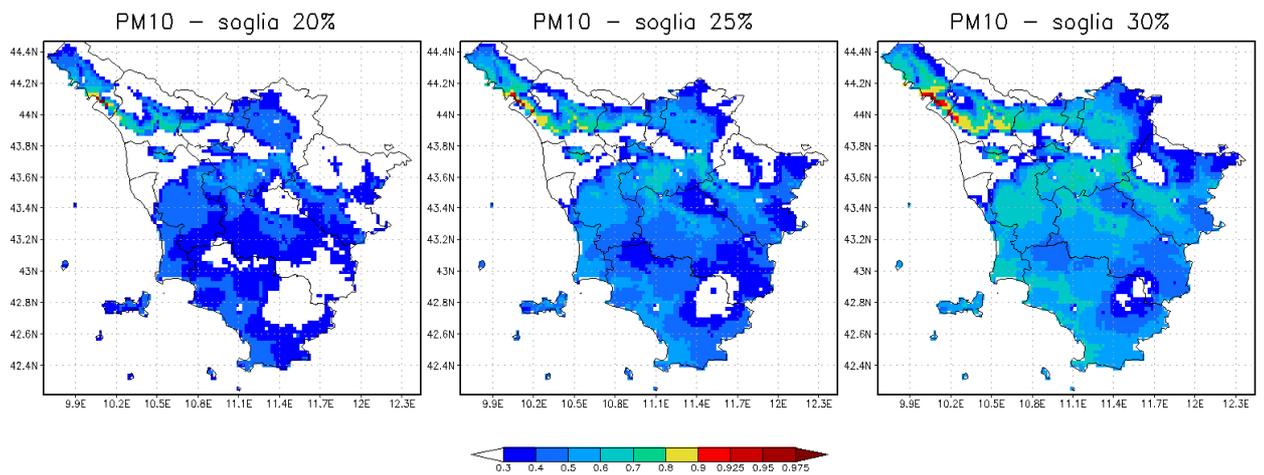
### LU-DAcquisto



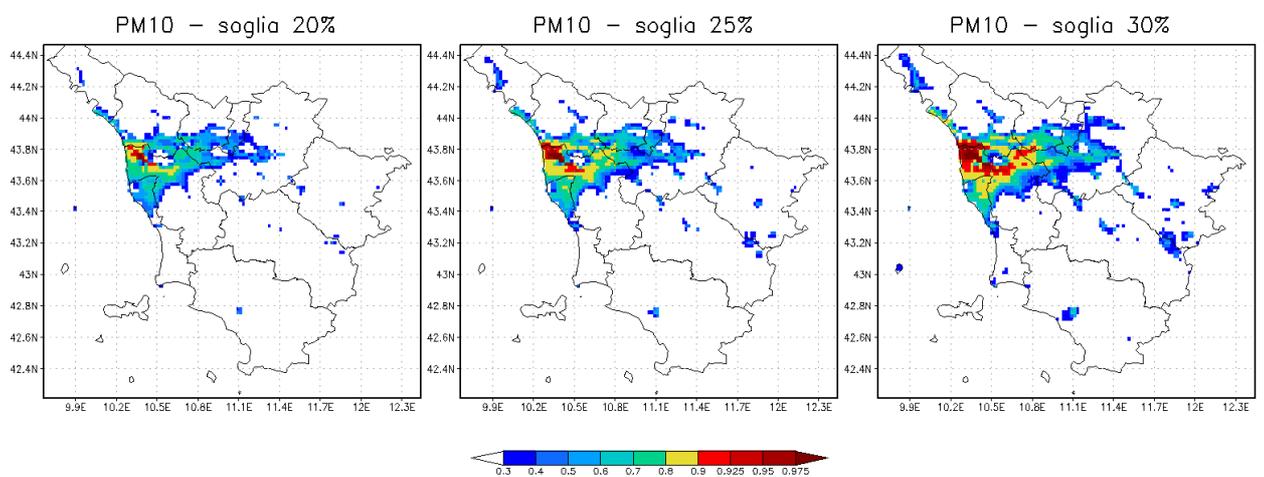
## LU–Viareggio



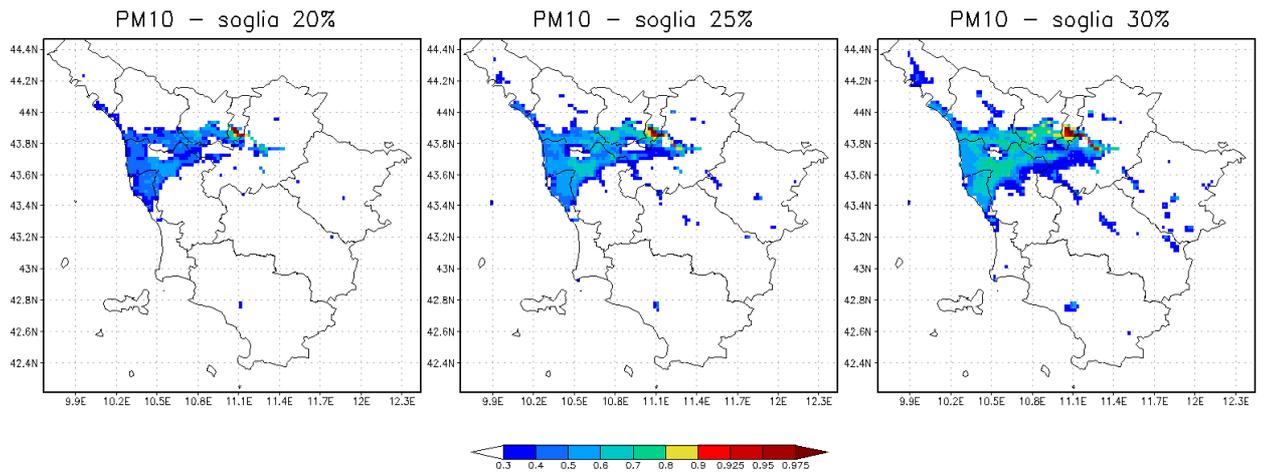
## MS–Colombarotto



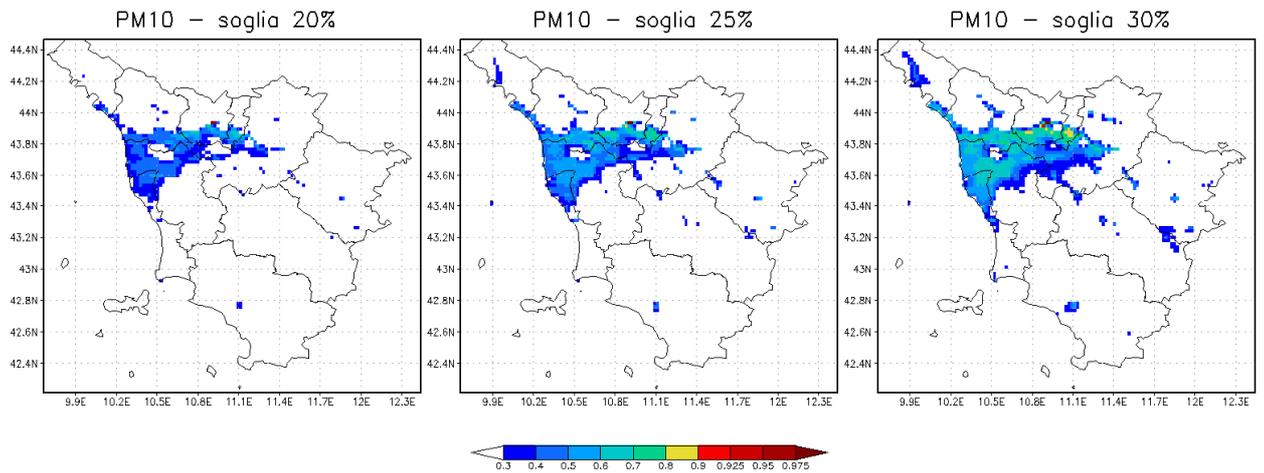
## PI–Passi



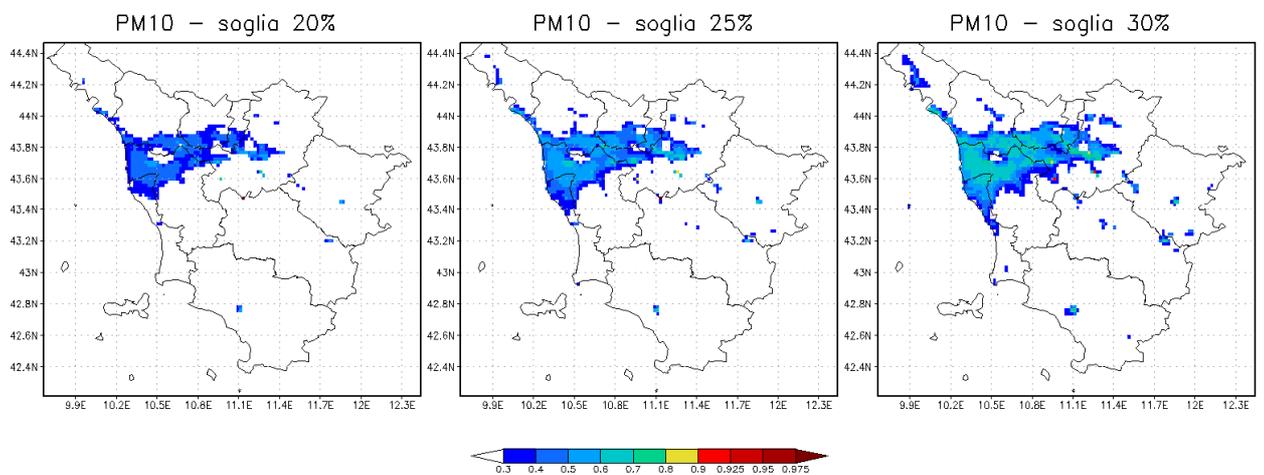
### PO-Roma



### PT-Signorelli



### SI-Poggibonsi

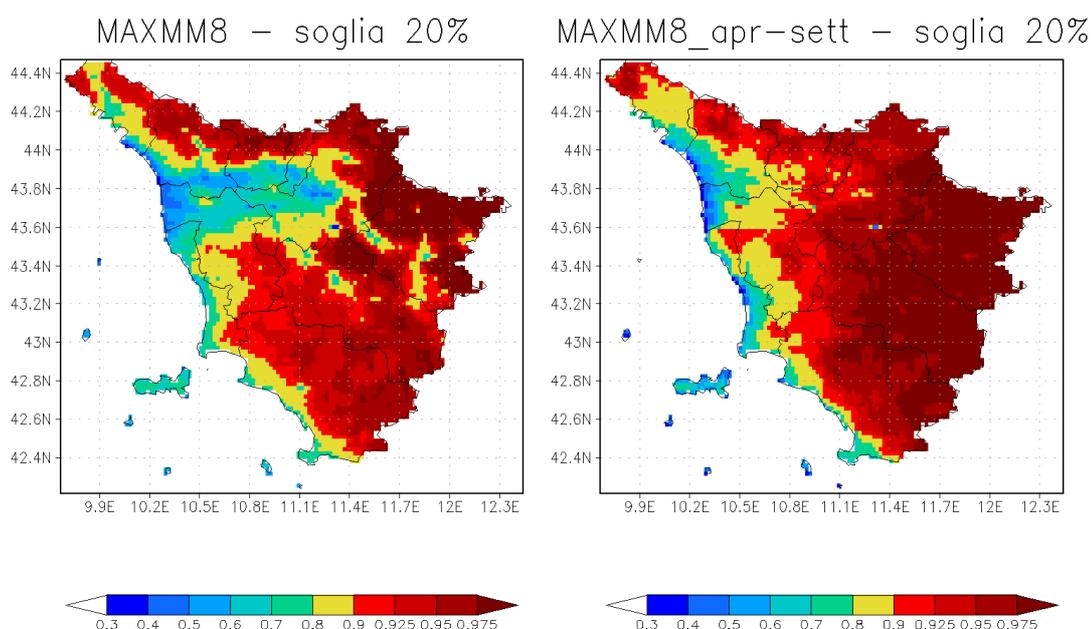


## 2.3 La rappresentatività spaziale per O3

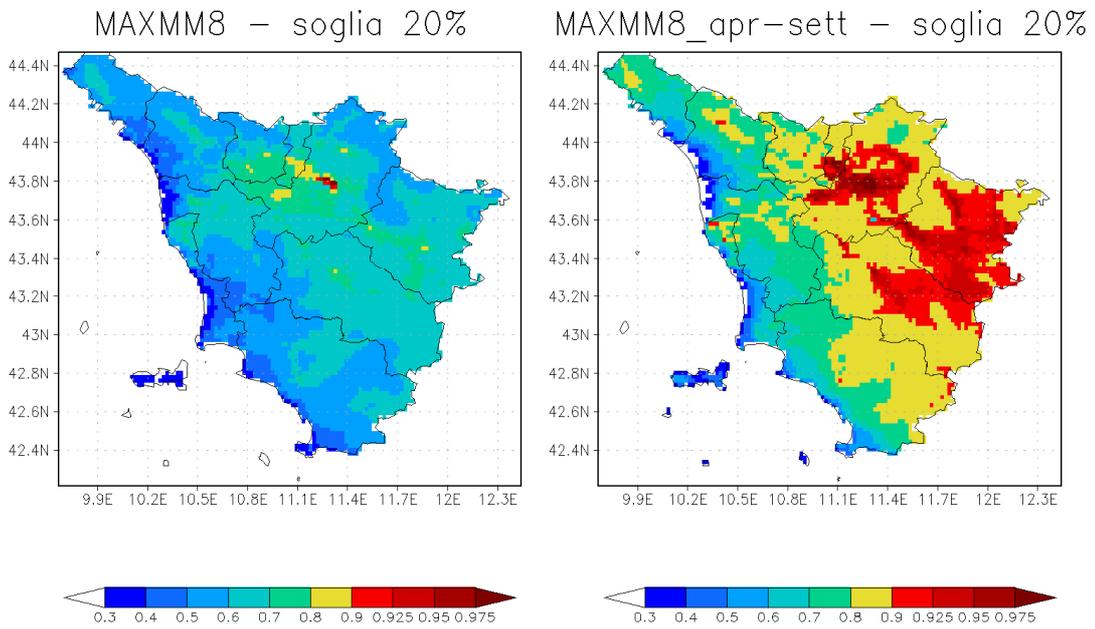
La statistica utilizzata per determinare la rappresentatività spaziale dell'ozono è il valore massimo giornaliero della media mobile su 8 ore. Anche in questo caso sono state effettuate prove con le tre soglie, ma già con la soglia più bassa pari a 0.2 le aree con valori superiori a 0.9 sono estese, quindi di seguito sono riportate solo le mappe relative alla prima soglia. Le stazioni prese in considerazione sono solo le 10 in cui sono presenti i misuratori di ozono, tutte rurali o periferiche. Per ogni stazione sono riportate due mappe, relative alla rappresentatività spaziale calcolata per il periodo di un anno e per il periodo del semestre aprile-settembre.

A differenza degli inquinanti trattati nei paragrafi precedenti, per l'ozono la rappresentatività spaziale è molto estesa per tutti i siti di misura nel semestre aprile-settembre. Analizzando le mappe relative a tutto l'anno si nota che le stazioni di Arezzo-Casastabbi, Grosseto-Maremma, Pisa-Montecerboli presentano aree sempre molto estese, anche se si distinguono le aree maggiormente antropizzate caratterizzate da valori molto bassi. Le stazioni di Firenze-Settignano, Firenze-Signa, Lucca-Carignano e Pistoia-Montale invece mostrano aree estese solo nel semestre caldo, mentre se si considera tutto l'anno le aree sono molto più circoscritte.

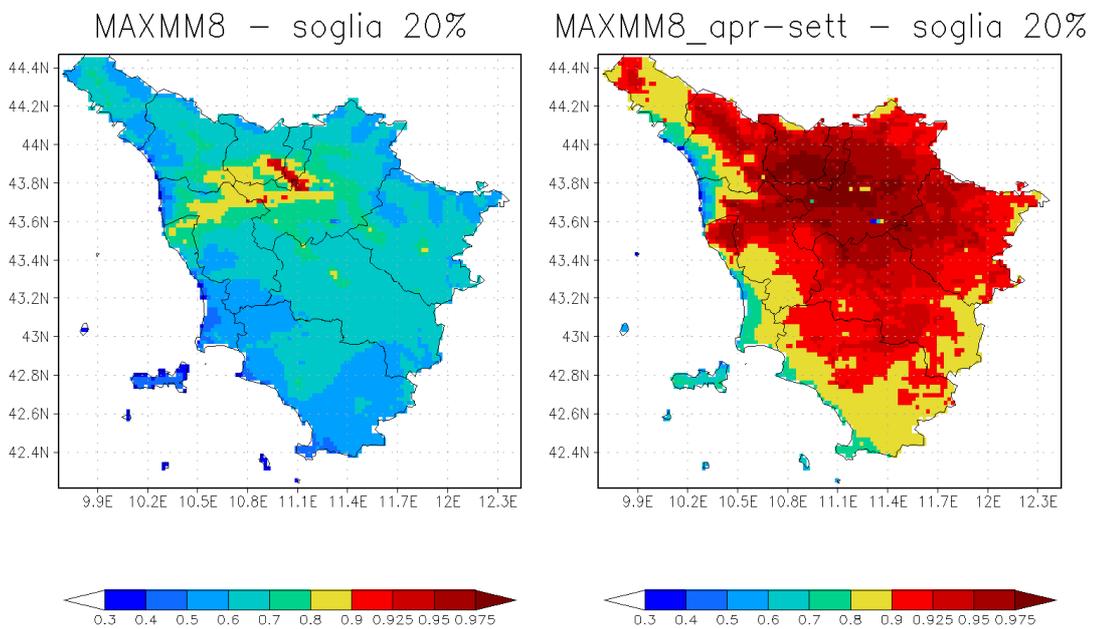
### AR – Casa Stabbi



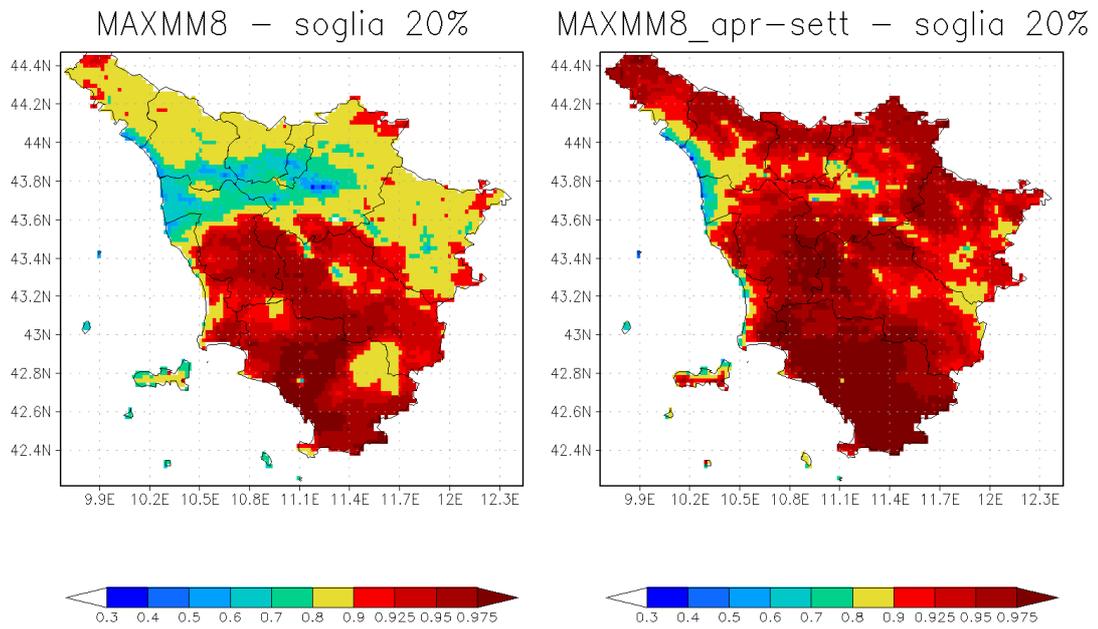
### FI-Settignano



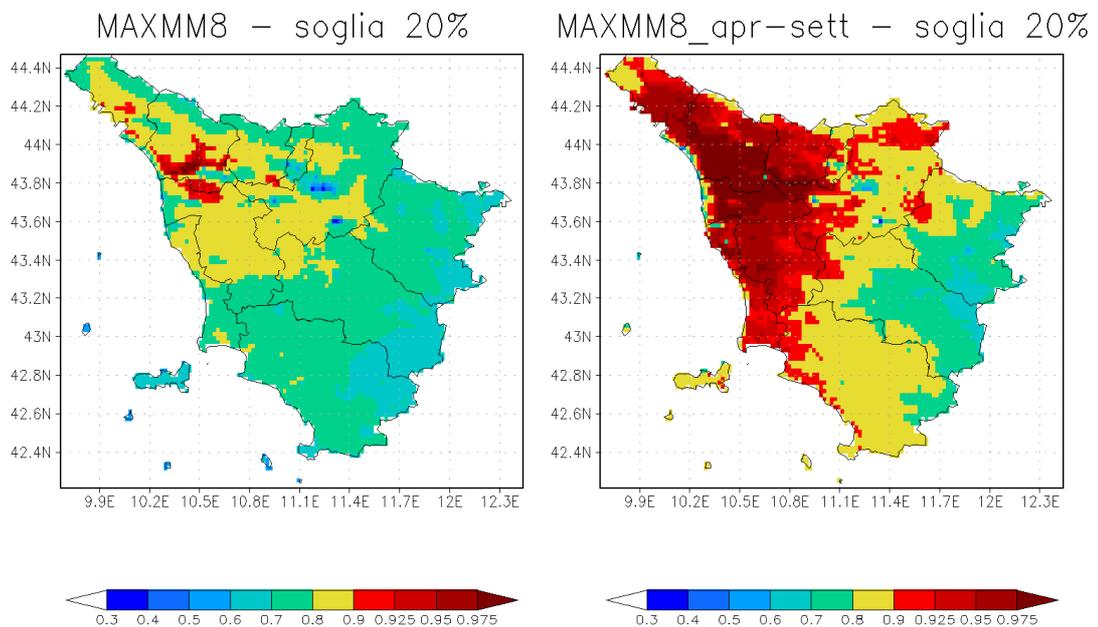
### FI-Signa



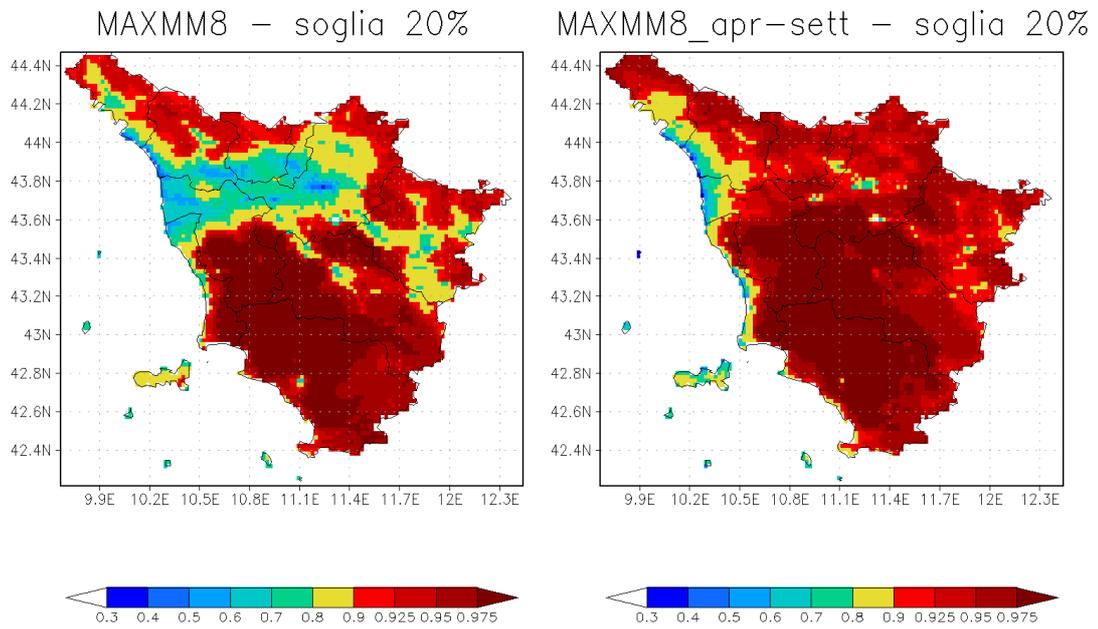
### GR-Maremma



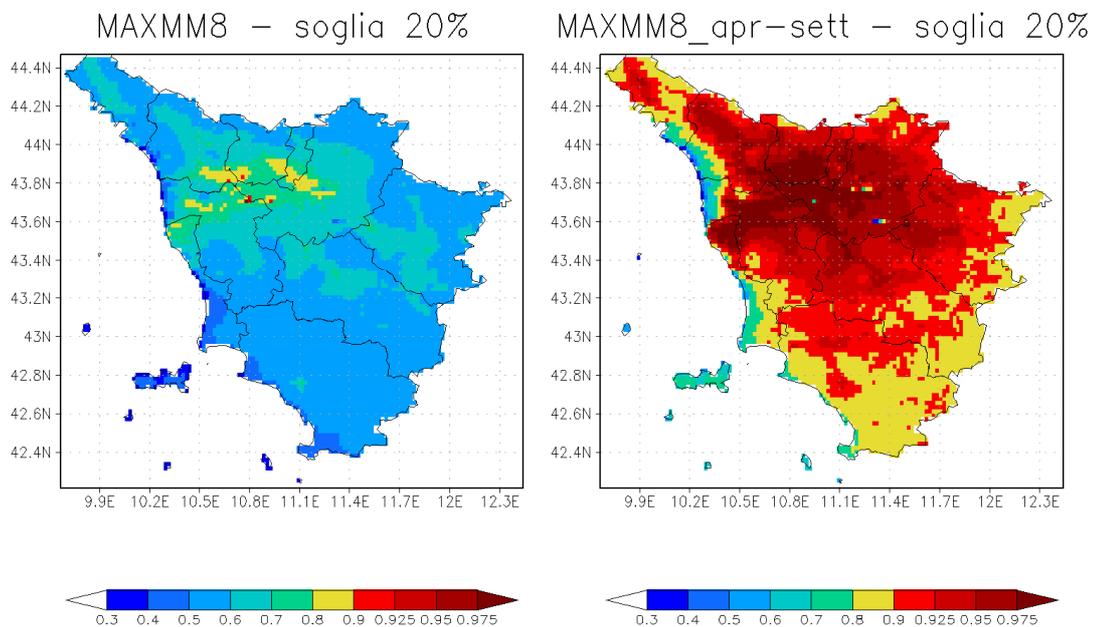
### LU-Carignano



### PI-Montecerboli

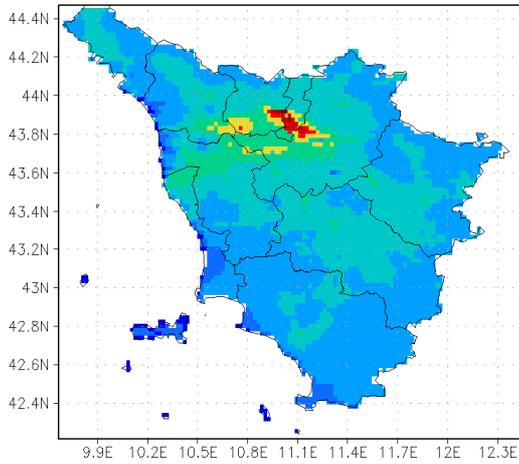


### PI-S.Croce Coop

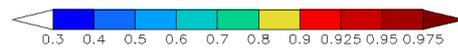
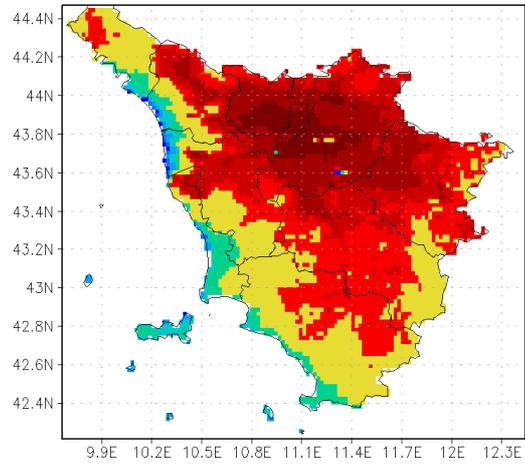


PT-Montale

MAXMM8 – soglia 20%



MAXMM8\_apr-sett – soglia 20%



## Conclusioni

In questo studio, finalizzato alla determinazione della rappresentatività spaziale dei siti di misura, è stata presentata una prima applicazione al territorio della regione Toscana di un metodo basato sull'uso di stime di concentrazione.

Come base dati sono state utilizzate le stime dei campi di concentrazione elaborati dal sistema di modelli WRF-CAMx, sulla base delle emissioni dell'inventario regionale IRSE, per l'anno di riferimento 2007.

Come siti di misura sono state considerate le 24 stazioni della rete regionale di monitoraggio, classificate come fondo, sia rurali/periferiche che urbane. Gli inquinanti presi in esame sono il biossido di azoto, il PM10, l'ozono.

Allo scopo sono state sviluppati alcuni algoritmi di calcolo, sulla base di funzioni numeriche proposte in letteratura, e adottate a livello sia nazionale che internazionale. In particolare, in questo studio sono stati analizzati i risultati variando alcuni valori-soglia, determinanti nell'applicazione di questo metodo.

La rappresentatività spaziale può variare, oltre che in funzione dell'inquinante, anche in base alla statistica temporale utilizzata: in questo studio, attenendosi alle statistiche utilizzate in ambito normativo per i diversi inquinanti, sono state analizzate le serie storiche su base giornaliera per il biossido di azoto e il PM10 e le serie dei valori massimi giornalieri della media mobile su 8 ore per l'ozono, relativamente all'intero anno e al semestre aprile-settembre.

Per ciascun inquinante sono poi state elaborate mappe georeferite, con cui si evidenziano le aree di rappresentatività delle stazioni di monitoraggio in esame.

Per quanto riguarda NO<sub>2</sub> e PM10, per i quali le mappe di rappresentatività sono state elaborate sulla base della stessa statistica, si nota una marcata differenza: sebbene in entrambi i casi le stazioni rurali/periferiche presentino risultati migliori rispetto alle stazioni urbane, nel caso del biossido di azoto il metodo adottato non sembra adeguato per molti siti, soprattutto urbani, caratterizzati da una variabilità spaziale alta. I risultati ottenuti per il PM10 sono in generale migliori, in particolare per le stazioni collocate in aree rurali o periferiche, ma anche per la maggior parte delle stazioni urbane.

I risultati migliori si ottengono per l'ozono: le mappe relative sia al periodo aprile-settembre che all'intero anno, evidenziano che la rappresentatività spaziale è molto estesa per tutti i siti di misura.

## Bibliografia

1. **Cremona G., Ciancarella L., Cappelletti A., Ciucci A., Piersanti A., Righini G., Vitali L.** (2013): Rappresentatività spaziale di misure di qualità dell'aria. Valutazione di un metodo di stima basato sull'uso di dati emissivi spazializzati, Rapporto Tecnico RT/2013/2/ENEA, ENEA.
2. **Nappo C. J., Caneill J. Y., Furman R. W., Gifford F. A et al.** (1982): The Workshop on the Representativeness of Meteorological-Observations, June 1981, Boulder, Colorado, USA, B. Am. Meteorol. Soc., 63, 761-764, 1982.
3. **Piersanti A., Ciancarella L., Cremona G., Righini G., Vitali L.** (2013): Rappresentatività spaziale di misure di qualità dell'aria. Valutazione di un metodo di stima basato su fattori oggettivi, Rapporto Tecnico RT/2013/1/ENEA, ENEA.
4. **Spangl W., Schneider J., Moosmann L., Nagl C.** (2007): Representativeness and classification of air quality monitoring stations Final Report, Umweltbundesamt, Vienna, July 2007.
5. **Vitali L., Ciancarella L., Cionni G., Cremona G., Piersanti A., Righini G.** (2013): Rappresentatività spaziale di misure di qualità dell'aria. Valutazione di un metodo di stima basato sull'analisi dei campi di concentrazione simulati dal modello nazionale MINNI, Rapporto Tecnico RT/2013/3/ENEA, ENEA.
6. **Vitali L., Cionni G., Cremona G., Piersanti A., Righini G., Ciancarella L.** (2013): Rappresentatività spaziale di misure di qualità dell'aria. Valutazione di un metodo di stima basato sull'uso di Backword Trajectories, Rapporto Tecnico RT/2013/15/ENEA, ENEA.