

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

L. VITALI, L. CIANCARELLA, I. CIONNI, G. CREMONA, A. PIERSANTI, G. RIGHINI
ENEA – Unità Tecnica Modelli, Metodi e Tecnologie per le Valutazioni Ambientali
Laboratorio Qualità dell'Aria
Centro Ricerche "E. Clementel", Bologna



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

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

L. VITALI, L. CIANCARELLA, I. CIONNI, G. CREMONA, A. PIERSANTI, G. RIGHINI
ENEA – Unità Tecnica Modelli, Metodi e Tecnologie per le Valutazioni Ambientali
Laboratorio Qualità dell'Aria
Centro Ricerche "E. Clementel", Bologna

RINGRAZIAMENTI

Il presente studio è stato svolto nell'ambito delle attività dell'Unità Tecnica Modelli, Metodi e Tecnologie per le Valutazioni Ambientali di ENEA previste dall'Accordo di Collaborazione per l'avvio delle Reti Speciali di cui al D.Lgs. 155/2010, sottoscritto nell'agosto 2011 dal Ministero dell'Ambiente per la Tutela del Territorio e del Mare, CNR, ENEA e ISS.

I Rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina
<http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/rapporti-tecnici>

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia.

The technical and scientific contents of these reports express the opinion of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

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

L. VITALI, L. CIANCARELLA, I. CIONNI, G. CREMONA, A. PIERSANTI, G. RIGHINI

Riassunto

La rappresentatività spaziale e temporale dei siti di monitoraggio delle concentrazioni di inquinanti in atmosfera è un parametro fondamentale nella scelta della dislocazione delle stazioni di misura e nelle valutazioni di esposizione della popolazione ai livelli di concentrazione misurati. In generale, la rappresentatività spaziale di un sito è definita in letteratura in relazione alla variabilità dei livelli di concentrazione nell'intorno del sito stesso. In questo studio è stato sviluppato ed applicato un metodo di stima quantitativa della rappresentatività basato sull'analisi dell'evoluzione temporale di campi di concentrazione, ossia sul confronto, nel tempo, di valori di concentrazione misurati in un sito con quelli misurati in un intorno più vasto. La metodologia è stata applicata utilizzando i campi di concentrazioni prodotti dal modello nazionale MINNI con passo temporale orario e risoluzione spaziale di 4km. È stata definita, sviluppata in ambiente NCL e calcolata una specifica funzione che, dato un sito di misura, descrive la frequenza con cui nel tempo è minore di una soglia fissata la differenza fra i valori di concentrazione simulati nel sito e quelli simulati in ciascun punto del dominio.

La metodologia è stata applicata all'analisi di rappresentatività dei siti delle Reti Speciali di misura della qualità dell'aria (D.Lgs. 155/2010, art. 6 e 8) selezionate per la misura dell'ozono e della speciazione chimica del materiale particolato PM10 e PM2.5. Sono stati utilizzati i campi modellistici di concentrazione relativi agli anni meteorologici 2003, 2005 e 2007, e al corrispondente inventario emissivo ISPRA; inoltre sono stati utilizzati campi elaborati a partire dal database emissivo GAINS-Italia all'anno 2005 e all'anno di scenario 2015. Per tutti i siti di misura è stato effettuato anche uno studio della variabilità stagionale della rappresentatività spaziale, basato sul confronto delle serie temporali delle stagioni estiva ed invernale.

L'analisi dei risultati ottenuti ha consentito di definire le condizioni ottimali di applicabilità della metodologia sviluppata ed i suoi limiti, derivanti soprattutto dal fatto che la risoluzione spaziale trattata non può superare quella del dataset di concentrazione a disposizione. Il metodo ha inoltre mostrato ottime potenzialità poiché, basandosi direttamente sull'analisi dei campi di concentrazione, consente di studiare sia inquinanti primari che inquinanti secondari, e fornisce inoltre un'accurata definizione dell'area di rappresentatività di un sito e della sua forma.

Parole chiave: inquinamento atmosferico, reti di monitoraggio, rappresentatività spaziale, modello di qualità dell'aria, NCL.

ABSTRACT

Spatial and temporal representativeness of air quality monitoring sites is a critical parameter when choosing location of sites and assessing effects on population to long term exposure to air pollution. According to literature, the spatial representativeness of a monitoring site is related to the variability of pollutants concentrations around the site.

In this work a method was implemented to quantitatively assess representativeness using the temporal evolution of simulated concentration fields. The rationale relies on the comparison between concentration time series registered at the site of interest and those registered in the surroundings. Concentration fields derived from the national air quality model MINNI, covering entire Italian territory with 4 km spatial resolution and hourly temporal resolution, were analysed.

A peculiar function was set up for exploring, for a specific monitoring site, the difference between concentration values simulated at the site and those simulated in the surroundings, and describing the frequency of occurrences of comparable values in relation to a specific threshold. Recursive mapping of results was carried out by NCL scripting.

The methodology was applied to detect the spatial representativeness of official Italian National Network of Special Purpose Monitoring Stations (according to the law D.Lgs. 155/2010, art. 6 and 8) focusing on ozone, PM10 and PM2.5. Simulated concentration fields related to meteorological years 2003, 2005, 2007 and corresponding ISPRA emission inventories were processed; moreover, GAINS-Italy 2005 and 2015 (scenario analysis) emission estimates were used. In-depth analysis was carried out about the seasonal variability of representativeness considering summer and winter seasons.

Results have clearly demonstrated the relevant capability of this methodology to assess both extension and shape of the area of representativeness. Moreover, due to the direct analysis of concentration fields, it can be applied both on primary and secondary pollutants. Spatial resolution and detail of results derives from the resolution of input data.

Key words: air pollution, monitoring networks, spatial representativeness, air quality model, NCL.

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	7
2	DESCRIZIONE, SVILUPPO E APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA DI ANALISI.....	10
2.1	I campi di concentrazione utilizzati per le analisi	10
2.2	Sviluppo della procedura di analisi	11
2.3	Applicazione della procedura di analisi ai siti di interesse.....	12
3	RISULTATI	14
3.1	Rappresentatività Spaziale al variare dell'inquinante considerato	14
3.2	Rappresentatività Spaziale al variare della tipologia delle stazioni.....	15
3.3	Rappresentatività Spaziale al variare della statistica temporale utilizzata per il confronto.....	17
3.4	Rappresentatività Spaziale al variare delle condizioni meteorologiche ed emissive.....	20
3.5	Rappresentatività Spaziale al variare del solo scenario emissivo.....	23
3.6	Rappresentatività Spaziale e stagionalità	25
3.7	Analisi dettagliata della Rappresentatività Spaziale delle stazioni di interesse.....	31
3.7.1	Rappresentatività spaziale dei siti di fondo rurale per la misura del PM2.5	32
3.7.2	Rappresentatività spaziale dei siti di fondo rurale per la misura dell'ozono.....	35
4	CONCLUSIONI.....	45
5	BIBLIOGRAFIA CITATA.....	47

1 INTRODUZIONE

Tra i metadati che caratterizzano una stazione di misura delle concentrazioni di inquinanti in atmosfera, la rappresentatività spaziale rappresenta un parametro di grande importanza. E' attraverso tale informazione che viene stimata l'area attorno al sito per la quale si può con buona approssimazione ritenere che sia rappresentativo il dato misurato. In fase di valutazione della qualità dell'aria, tale parametro è quindi di fondamentale importanza sia per la pianificazione di nuove reti di monitoraggio sia per una corretta interpretazione dei dati misurati. Ad esempio, la stima delle aree di rappresentatività dovrebbe essere alla base della scelta della dislocazione dei siti di una nuova rete e della valutazione della densità di punti necessaria per descrivere la variabilità delle concentrazioni in un'area. Inoltre, è a partire da valutazioni di rappresentatività spaziale che è possibile effettuare valutazioni di esposizione della popolazione ai livelli di concentrazione misurati. Oltre che per l'interpretazione dei dati misurati, l'informazione relativa alla rappresentatività spaziale del sito riveste un ruolo cruciale qualora tali dati vengano utilizzati a supporto di studi modellistici. Perché i dati misurati possano essere correttamente confrontati con i dati simulati da un modello o essere utilmente integrati in esso tramite tecniche di assimilazione dati, è necessario che l'area di rappresentatività del punto di misura sia maggiore o almeno uguale alle dimensioni delle celle di calcolo.

In generale, la rappresentatività spaziale di un sito di misura è definita in letteratura facendo riferimento alla variabilità dei livelli di concentrazione nell'intorno del sito. Tale approccio è usato ad esempio in Larssen et al. (1999) per definire l'area di rappresentatività di una stazione come "l'area nella quale la concentrazione non differisce da quella misurata nel sito più di un certo valore specificato". In Spangl et al. (2007) la variabilità delle concentrazioni è usata nel confronto tra due siti: "una stazione di monitoraggio è rappresentativa di un sito se, su un intervallo di tempo specificato, la differenza fra le concentrazioni è al di sotto di un determinato valore di soglia". Simile a quest'ultima e frequentemente citata in letteratura è anche la definizione di Nappo et al. (1982), la cui proposta si presta particolarmente ad essere funzionale al confronto tra dati misurati e dati simulati da Modelli Chimici di Trasporto. Secondo Nappo "un punto di misura è rappresentativo di un'area (o di un volume) più vasti quando è maggiore del 90 % la probabilità che nel tempo la differenza quadratica tra il valore misurato nel sito e quello misurato nell'area sia minore di una certa soglia".

Dato che le concentrazioni di un certo inquinante in un punto dipendono da numerosi fattori, quali soprattutto i flussi alla superficie (emissioni e deposizioni), il trasporto, la dispersione e le trasformazioni chimiche, ne segue che la rappresentatività spaziale di un sito, oltre a variare nel tempo (variabilità stagionale e/o giornaliera), può variare significativamente anche al variare dell'inquinante di interesse.

Diverse sono le metodologie che possono essere applicate per lo studio della rappresentatività spaziale dei siti di misura e il tema è attualmente oggetto di approfondimento e dibattito nella comunità scientifica europea, che non ha ancora identificato una o più metodologie di riferimento, in particolare per applicazioni modellistiche in supporto alle politiche sulla qualità dell'aria. Nel recente meeting di FAIRMODE (Utrecht, Maggio 2012, <http://fairmode.ew.eea.europa.eu/fol065026/news-events-68960/5th-plenary>), tra le raccomandazioni indirizzate alla Commissione Europea per la Revisione della Politica Europea sulla Qualità dell'Aria, si legge che:

"The location, characterization and representativeness of a measurement station in a monitoring network is of fundamental relevance for the evaluation of model results and when using network output as model input data. It is well recognized that current station classification and

characterization is not harmonized across the EU with some consequences for data interpretation and use.”

L'analisi di rappresentatività delle stazioni di monitoraggio risulta perciò un argomento di grande attualità e interesse tecnico-scientifico.

Nell'agosto 2011 è stato firmato da MATTM, CNR, ENEA, ISS un Accordo di Collaborazione finalizzato all'avvio delle Reti Speciali di misura della qualità dell'aria (in adempimento degli articoli 6 e 8 del D.Lgs. 155/2010). Tale accordo prevede l'avvio e la manutenzione di una rete di monitoraggio per la misura della concentrazione dell'O₃ e dei suoi precursori, dei sette idrocarburi policiclici aromatici (IPA) di interesse tossicologico, del mercurio e di altri metalli pesanti (arsenico, cadmio, nichel) e della speciazione chimica del materiale particolato (PM). Nell'ambito di tale accordo, uno dei compiti di ENEA è realizzare una valutazione circa la rappresentatività spaziale di ciascuna stazione scelta e circa i bacini geografici a cui possono essere riferiti i dati rilevati da ciascuna stazione. Come attività preliminare è stata prevista una valutazione, basata sullo stato dell'arte della ricerca scientifica, delle principali metodologie proposte per l'analisi della rappresentatività spaziale. In particolare è stata prevista la valutazione dei seguenti approcci metodologici: metodi statistici basati su fattori oggettivi; metodi basati sull'uso di dati emissivi spazializzati; metodi basati sull'analisi temporale di campi 3D prodotti da modelli Euleriani; metodi che prevedono l'analisi statistica di backward trajectories, calcolate da modelli Lagrangiani.

Sulla base di tale valutazione si provvederà alla scelta della migliore tra le diverse metodologie tenendo conto da un lato dell'aggiornamento dal punto di vista scientifico, dall'altro dell'adattabilità alla specificità del contesto italiano, della valorizzazione dei dati a disposizione e dell'applicabilità del metodo a diversi tipi di siti e al maggior numero di inquinanti. Verrà quindi applicata la metodologia scelta e verranno calcolate le aree di rappresentatività per tutti i siti della Rete delle Stazioni Speciali per tutti gli inquinanti.

Il presente Rapporto Tecnico illustra la valutazione di un metodo basato sull'analisi dell'evoluzione temporale di campi di concentrazione. Altri due Rapporti Tecnici illustrano rispettivamente la valutazione di un metodo di stima basato su fattori oggettivi (Piersanti et al. 2013, RT/2013/1/ENEA) e di un metodo basato sull'uso di dati di emissione spazializzati (Cremona et al. 2013, RT/2013/2/ENEA). Un prossimo Rapporto Tecnico presenterà l'analisi di metodi che prevedono l'elaborazione statistica di backward trajectories.

La metodologia, qui sviluppata e valutata, si fonda sulla verifica della condizione di rappresentatività formulata da Nappo et al. (1982), ossia sul confronto, nel tempo, tra i valori di concentrazione misurati in un sito e quelli misurati in un intorno più vasto.

Un tale approccio richiede la conoscenza dei campi di concentrazione 4D (campi tridimensionali, nella loro evoluzione temporale), almeno in un intorno del sito in esame. In assenza di specifiche ed intensive campagne sperimentali ad hoc (con diversi punti di misura dislocati nell'area di interesse, Kuhlbusch et al., 2006), la metodologia può essere applicata a campi di concentrazioni prodotti da simulazioni modellistiche, che per loro natura producono campi 4D. Sono stati utilizzati a tal fine i campi di concentrazione forniti dal Modello Nazionale MINNI, che mette a disposizione, per diversi anni meteorologici e per diversi scenari emissivi, i campi di concentrazione di tutti gli inquinanti soggetti a limiti di legge, con passo temporale orario e a risoluzione spaziale di 4km. In particolare sono stati utilizzati i campi relativi agli anni meteorologici 2003, 2005 e 2007 (con corrispondenti inventari emissivi ISPRA). Inoltre, a verifica della tenuta “prognostica” del criterio di rappresentatività, sono stati utilizzati anche i campi di concentrazione di scenario all'anno 2015, elaborati a partire dal database emissivo GAINS. E' stata messa a punto una procedura per il calcolo della rappresentatività basata sui confronti tra i dati di concentrazione estratti a livello orario (dal database di MINNI) in un punto e nelle celle circostanti.

Tra le metodologie valutate, quella qui descritta si presenta come la più adatta a trattare la rappresentatività di siti di misura di inquinanti secondari, dato che si basa direttamente su un confronto tra i dati di concentrazione. Per tale motivo essa è stata applicata, per una sua valutazione, ai siti della Rete delle Stazioni Speciali selezionati per la misura dell'ozono e della speciazione chimica del materiale particolato PM10 e PM2.5.

Nella valutazione delle estensioni delle aree di rappresentatività stimate attraverso questa metodologia, è stato assunto come riferimento quanto emerso in un recente sondaggio (Balaguer and Denby, 2012) promosso dal Forum Europeo FAIRMODE (<http://fairmode.ew.eea.europa.eu/>). Scopo del sondaggio è stata la raccolta del parere di esperti su valori indicativi di rappresentatività, da associare alle diverse tipologie di stazione per la misura (relativa a diverse medie temporali) di diversi inquinanti. E' pertanto parso utile confrontare il range dei valori emersi da tale sondaggio con i risultati ottenuti dall'applicazione della presente metodologia, anche se occorre tener presente che questi ultimi rappresentano una valutazione quantitativa basata su di un'analisi oggettiva, mentre il sondaggio, che ha avuto certamente il merito di aprire in ambito europeo una discussione comune sulla tematica della rappresentatività spaziale, essendo basato su pareri soggettivi, ha fornito per ora solo una raccolta di stime indicative.

L'organizzazione del Rapporto Tecnico prevede al paragrafo 2 la descrizione dettagliata della metodologia: l'algoritmo nel quale è stata tradotta la condizione di Nappo e lo sviluppo della procedura di analisi necessaria per la sua applicazione. Nel paragrafo 3 verranno invece discussi i risultati ottenuti. L'insieme di tutte le analisi effettuate ha fornito non solo uno studio della rappresentatività spaziale di tutti i siti di interesse ma anche una valutazione della variabilità di tale stima al variare dell'inquinante studiato e delle condizioni di analisi (§ 3.1-3.6). In particolare è stato studiato l'effetto della stagionalità e della variabilità meteorologica ed emissiva. A partire da tali risultati e tenendo conto della variabilità emersa dai confronti, si sono definiti i limiti e le condizioni ottimali di applicazione della metodologia proposta. Per tali condizioni è stato effettuato uno studio più dettagliato della rappresentatività spaziale, integrando i risultati ottenuti con una più approfondita analisi territoriale del sito in ambiente GIS (§ 3.7).

2 DESCRIZIONE, SVILUPPO E APPLICAZIONE DELLA PROCEDURA DI ANALISI

La metodologia sviluppata, per la definizione dell'area di rappresentatività attraverso l'analisi dei campi di concentrazione, consiste nella verifica della condizione formulata da Nappo et al. (1982): 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.

Come soglia di variazione delle concentrazioni si è scelto di imporre il valore percentuale del 20%. Tale soglia è stata ipotizzata anche da Janssen et al. (2008) ed è già stata utilizzata da ENEA per lo studio di rappresentatività delle Stazioni Speciali basato su fattori oggettivi (Piersanti et al., 2013). La stessa soglia del 20% è stata proposta anche nell'ambito del già citato sondaggio promosso dal Forum Europeo FAIRMODE (Balaguer and Denby, 2012). In tale studio la soglia del 20% è stata proposta perché compatibile con gli obiettivi di qualità che la Direttiva Europea 2008/50/EC impone sui dati di concentrazione misurati.

La condizione di Nappo è stata tradotta in algoritmo nel modo seguente.

Sia dato un sito di coordinate $(X_{\text{sito}}, Y_{\text{sito}})$ di cui si voglia studiare la rappresentatività spaziale e sia $C(X_{\text{sito}}, Y_{\text{sito}}, Z_0, t)$ la serie temporale degli N_t valori di concentrazione di un certo inquinante simulati in tale punto al suolo ($z=Z_0$). Per ogni punto generico di coordinate (x, y) , con serie temporale delle concentrazioni simulate $C(x, y, Z_0, t)$, è possibile definire una funzione $f_{\text{sito}}(x, y)$ che descrive la frequenza con cui nel tempo la differenza tra i valori simulati in (x, y) e in $(X_{\text{sito}}, Y_{\text{sito}})$ è minore della soglia fissata del 20% (Equazione 1). In altre parole, punto per punto del dominio, viene conteggiato il numero di volte in cui, nel tempo, è soddisfatta la condizione $\Delta C/C < 0.2$ (dove ΔC è la differenza di concentrazione tra quel punto e il sito in esame) e se ne calcola la frequenza temporale.

$$f_{\text{sito}}(x, y) = \frac{\sum_{i=1}^{N_t} \text{flag}}{N_t}, \quad \text{conflag} = \begin{cases} 1, & \frac{|C(X_{\text{sito}}, Y_{\text{sito}}, Z_0, t_i) - C(x, y, Z_0, t_i)|}{C(X_{\text{sito}}, Y_{\text{sito}}, Z_0, t_i)} < 0.2 \\ 0, & \frac{|C(X_{\text{sito}}, Y_{\text{sito}}, Z_0, t_i) - C(x, y, Z_0, t_i)|}{C(X_{\text{sito}}, Y_{\text{sito}}, Z_0, t_i)} > 0.2 \end{cases}$$

EQUAZIONE 1. FUNZIONE CHE DESCRIVE LA FREQUENZA NEL TEMPO DEL RISPETTO DELLA CONDIZIONE $\Delta C/C < 0.2$

La funzione $f_{\text{sito}}(x, y)$ avrà valori compresi tra 0 (condizione $\Delta C/C < 0.2$ mai soddisfatta) ed 1 (condizione $\Delta C/C < 0.2$ sempre soddisfatta) e fornisce una stima della rappresentatività nel tempo, ossia della frequenza nel tempo di verifica della condizione di omogeneità spaziale. Il sito in esame è rappresentativo del punto di coordinate (x, y) secondo Nappo, se in quel punto è soddisfatta la relazione: $f_{\text{sito}}(x, y) > 0.9$.

2.1 I campi di concentrazione utilizzati per le analisi

Per questo studio sono stati utilizzati gli outputs del Modello Nazionale MINNI (<http://www.minni.org/>), che mette a disposizione, per diversi anni meteorologici e per diversi scenari emissivi, i campi di concentrazione di tutti gli inquinanti normati con passo temporale orario e a risoluzione spaziale di 20km (su un dominio nazionale) e di 4km (su 5 domini macroregionali, Figura 1).

In particolare sono stati utilizzati i campi a risoluzione di 4 km relativi agli anni meteorologici 2003, 2005 e 2007, e ad inventari emissivi ISPRA rispettivamente 2003, 2005, 2007 (come totali nazionali, spazializzati con proxies 2005). Sono stati inoltre utilizzati anche i campi di

concentrazione elaborati a partire dal database emissivo GAINS all'anno 2005 e all'anno di scenario 2015, con meteorologia 2005.

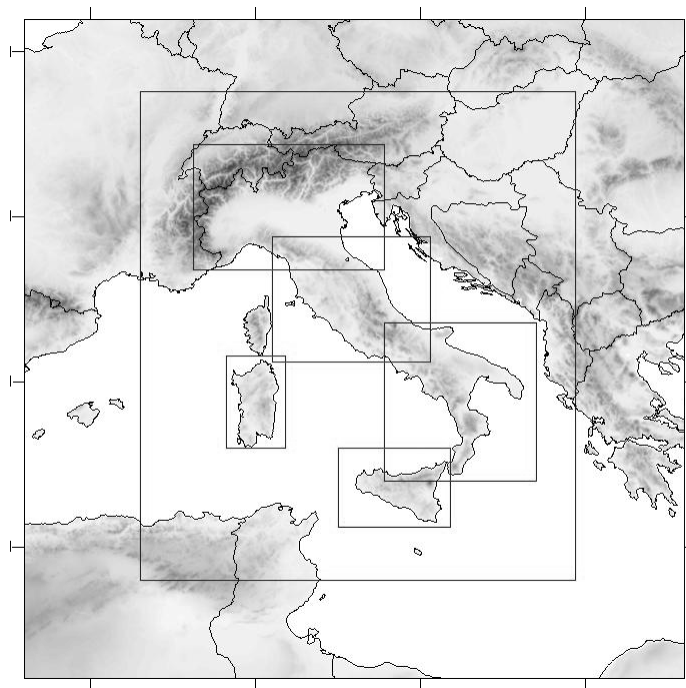


FIGURA 1. DOMINIO NAZIONALE (RISOLUZIONE 20KM X 20KM) E DOMINI MACROREGIONALI (RISOLUZIONE 4KM X 4KM) DEL SISTEMA MODELLISTICO ATMOSFERICO DI MINNI.

Si è scelto di testare la metodologia, particolarmente adatta a trattare gli inquinanti secondari, applicandola all'analisi di rappresentatività delle Stazioni Speciali selezionate per la misura dell'ozono e della speciazione chimica del materiale particolato PM10 e PM2.5.

Per ciascuna delle stazioni analizzate è stata calcolata la funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ di Equazione 1 per tutti i punti griglia del dominio macroregionale di appartenenza del sito in esame.

2.2 Sviluppo della procedura di analisi

Per condurre l'esplorazione dei campi $C(x,y,z,t)$ del data base di MINNI e la produzione dei campi $f_{\text{sito}}(x,y)$ relativi allo studio di rappresentatività di ciascuno dei siti è stata creata una procedura di elaborazione dati dedicata. E' stata predisposta una procedura Linux che consente all'utente di selezionare tutte le caratteristiche dell'analisi di rappresentatività da effettuare e di mandare quindi in esecuzione un codice di calcolo scritto in linguaggio NCL (Jonson et al., 2010; Zender, 2008).

In particolare attraverso la procedura Linux vengono definiti:

- ✓ le coordinate del sito da studiare ($X_{\text{sito}}, Y_{\text{sito}}$) e il conseguente dominio macroregionale di interesse
- ✓ l'inquinante
- ✓ i campi della simulazione MINNI da utilizzare (anno meteorologico e scenario emissivo)
- ✓ le date di inizio e di fine dell'analisi (nel caso l'utente voglia effettuare uno studio di rappresentatività non sull'intero anno ma, ad esempio, su una stagione per valutare la variabilità stagionale)
- ✓ la statistica temporale da utilizzare per il confronto (è possibile basare lo studio non solo sul confronto delle serie dei dati orari, ma anche sul confronto di opportune statistiche temporali di interesse, ad esempio media giornaliera o massimo giornaliero delle medie mobili su 8 ore)
- ✓ il valore di soglia da utilizzare nell'analisi (nel caso l'utente decida di studiare l'effetto della scelta di una soglia diversa dal 20%).

In output la procedura produce un file (in formato NetCDF) contenente il campo $f_{\text{sito}}(x,y)$ e un file contenente la sua corrispondente visualizzazione.

Globalmente la procedura sviluppata, flessibile e user-friendly, fornisce un nuovo importante strumento di esplorazione e di analisi mirata dell'ampio data base prodotto nell'ambito del progetto MINNI.

2.3 Applicazione della procedura di analisi ai siti di interesse

Attraverso una procedura Linux, sviluppata per la sottomissione ricorsiva della procedura di base (§ 2.2), sono stati calcolati i campi $f_{\text{sito}}(x,y)$ per ciascuno dei siti della Rete delle Stazioni Speciali selezionati per la misura dell'ozono e del materiale particolato. Tali stazioni sono riportate in Tabella 1, con le rispettive caratteristiche. Il campo "codice" riporta il valore del codice nazionale di identificazione della stazione, tranne che nel caso della Stazione ISS, priva di codice nazionale e quindi codificata con il valore 120. Le coordinate X e Y sono espresse in proiezione UTM, fuso 32, datum WGS84, unità di misura metri. I campi "tipo" e "zona" fanno riferimento alla classificazione EoI.

LOCALIZZAZIONE	DENOMINAZIONE	CODICE	X	Y	TIPO	ZONA	INQUINANTE
Roma	Stazione ISS	120	791760	4645162	traffico	urbana	PM10, PM2.5
Dernice (AL)	Dernice Costa	100614	504170	4956650	fondo	rurale	O ₃
Milano	Milano Pascal_Città Studi	301568	518106	5036115	fondo	urbana	PM10, PM2.5
Schivenoglia (MN)	Schivenoglia	302072	663579	4986921	fondo	rurale	PM2.5, O ₃
Mezzolombardo (TN)	Piana Rotaliana	402212	663059	5118088	fondo	rurale	O ₃
Padova	PD_Mandria	502808	722450	5028088	fondo	urbana	PM10, PM2.5
Udine	UD_Via Cairoli	603001	827964	5110129	fondo	urbana	PM10, PM2.5
Molinella (BO)	San Pietro Capofiume	803717	708042	4947786	fondo	rurale	O ₃
Firenze	Fi_Bassi	904809	683982	4850607	fondo	urbana	PM10, PM2.5
Chitignano (AR)	AR_Casa Stabbi	905108	733911	4838161	fondo	rurale	O ₃
Ascoli Piceno	Ripatransone	1104411	890094	4771057	fondo	rurale	PM2.5
Roma	Castel di Guido	1205803	770990	4642661	fondo	rurale	O ₃
Guardiaregia (CB)	Guardiaregia	1407075	961843	4600017	fondo	rurale	O ₃
Monte Sant'Angelo (FG)	Monte Sant'Angelo	1607175	1078340	4635994	fondo	rurale	O ₃
Taranto	Taranto via Machiavelli	1607377	1197498	4514622	industriale	urbana	PM10, PM2.5
Lecce	Santa Maria Cerrate	1607576	1273385	4518735	fondo	rurale	PM2.5
Cosenza	Città dei Ragazzi	1807877	1124947	4376788	fondo	urbana	PM10, PM2.5
Seulo (CA)	CENSE0	2009239	518568	4410493	fondo	rurale	O ₃

TABELLA 1. ELENCO DELLE STAZIONI SPECIALI SELEZIONATE PER LA MISURA DELL'OZONO E DEL MATERIALE PARTICOLATO.

Per tutti i siti di Tabella 1, lo studio della rappresentatività è stato ripetuto variando le basi dati e i parametri in input: analisi annuali, analisi stagionali, diverse statistiche temporali per il confronto, diversi campi di concentrazione utilizzati (relativi a diversi anni meteorologici e/o scenari emissivi). Una sintesi di tutte le analisi effettuate è presentata in Tabella 2.

		9 Stazioni per la misura di O ₃		10 Stazioni per la misura del PM _{2.5}		7 Stazioni per la misura del PM ₁₀	
		valori orari	massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore	valori orari	medie giornaliere	valori orari	medie giornaliere
meteo 2003	anno	x	x	x	x	x	x
emissioni ISPRA 2003	stagioni		x		x		x
meteo 2005	anno	x	x	x	x	x	x
emissioni ISPRA 2005	stagioni		x		x		x
meteo 2007	anno	x	x	x	x	x	x
emissioni ISPRA 2007	stagioni		x		x		x
meteo 2005	anno	x	x	x	x	x	x
emissioni GAINS 2005							
meteo 2005	anno	x	x	x	x	x	x
emissioni GAINS 2015							

TABELLA 2. SINTESI DI TUTTE LE ANALISI EFFETTUATE

Sono stati così prodotti circa 500 elaborati in formato NetCDF, che sono stati analizzati e valutati singolarmente.

3 RISULTATI

L'insieme di tutte le analisi effettuate, ossia la disponibilità delle funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ (frequenza temporale di verifica della condizione $\Delta C/C < 0.2$) calcolate in tutte le diverse configurazioni di Tabella 2, ha fornito non solo uno studio della rappresentatività spaziale di tutti i siti di interesse ma anche una valutazione della variabilità di tale stima al variare dell'inquinante studiato, della tipologia della stazione, e, a parità di inquinante e stazione, al variare delle condizioni di analisi: statistica temporale utilizzata per il confronto, effetto della variabilità meteorologica e della variabilità emissiva, stagionalità.

Tra tutti i risultati a disposizione, nei prossimi paragrafi (§ 3.1-3.6) verranno presentati alcuni esempi per mostrare le caratteristiche salienti di tutti i confronti effettuati. A partire da tali risultati e tenendo conto della variabilità emersa dai confronti, si sono definiti i limiti e le condizioni ottimali di applicazione della metodologia proposta. Per tali condizioni ottimali si è effettuato uno studio più dettagliato della rappresentatività spaziale, studiando le funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ in ambiente GIS (Geographic Information Systems), integrandole con una più approfondita analisi territoriale del sito in esame (§ 3.7).

Nelle mappe l'area in cui è verificata la condizione $f_{\text{sito}}(x,y) > 0.9$ verrà rappresentata da quattro classi in scala di rosa, che dal fucsia al bianco indicano valori della funzione via via crescenti (il bianco indica che, nel confronto delle serie temporali, la condizione $\Delta C/C < 0.2$ è verificata più del 97.5 % dei casi).

3.1 Rappresentatività Spaziale al variare dell'inquinante considerato

Per valutare come, nello stesso punto, la rappresentatività spaziale vari al variare dell'inquinante considerato, si è presa in considerazione la Stazione di Schivenoglia, unico sito scelto sia per la misura dell'ozono che della composizione chimica del materiale particolato PM2.5. In Figura 2 sono presentate le funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ calcolate, per il sito di Schivenoglia, analizzando rispettivamente i campi di materiale particolato PM2.5 (a sinistra) e ozono (a destra). Le funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ sono state calcolate utilizzando per il confronto le serie annuali dei rispettivi indicatori di legge, ossia le medie giornaliere per il materiale particolato e i massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore per l'ozono. A titolo di esempio sono presentati i risultati relativi all'anno 2005.

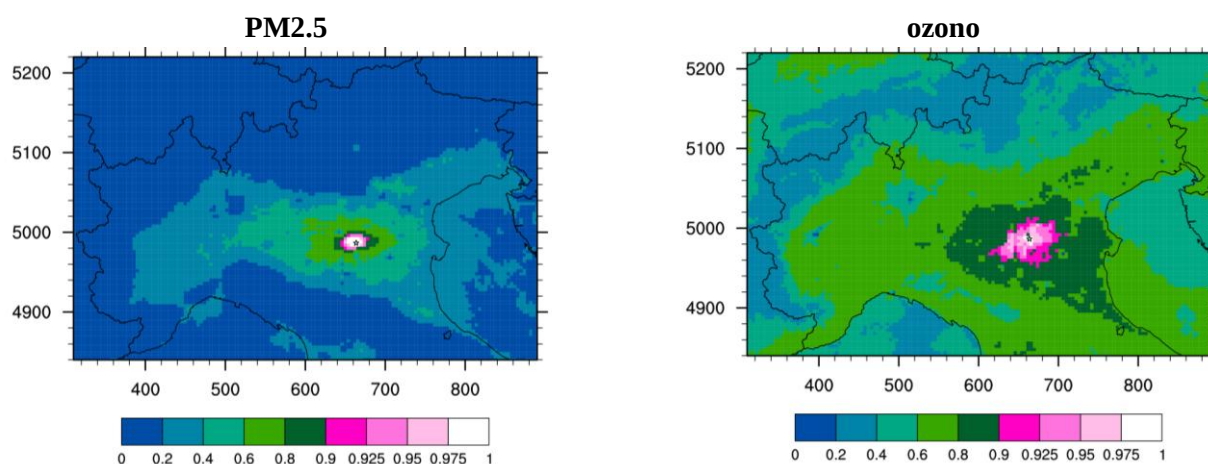


FIGURA 2. FUNZIONI $F_{\text{SITO}}(X,Y)$ CALCOLATE PER IL SITO DI SCHIVENOGLIA.

CAMPI MINNI UTILIZZATI: METEOROLOGIA 2005 E EMISSIONI DA INVENTARIO ISPRA 2005.

SINISTRA: PM2.5 (CONFRONTO DELLE SERIE ANNUALI DELLE MEDIE GIORNALIERE).

DESTRA : OZONO (CONFRONTO DELLE SERIE ANNUALI DEI MASSIMI GIORNALIERI DELLE MEDIE MOBILI SU 8 ORE).

Come atteso, fissato il sito, la rappresentatività spaziale varia al variare dell'inquinante considerato. In particolare, in accordo con il citato sondaggio FAIRMODE (Balaguer and Denby, 2012), la misura dell'ozono è caratterizzata da un'area di rappresentatività più vasta rispetto a quella del Materiale Particolato. Non solo è più vasta la zona caratterizzata da alti valori di $f_{\text{sito}}(x,y)$ (in particolare l'area in cui è verificata la condizione $f_{\text{sito}}(x,y) > 0.9$), ma si osserva anche che tale funzione degrada molto più lentamente verso valori più bassi, mantenendo valori maggiori di 0.8 in un'area molto vasta attorno al sito e valori maggiori di 0.6 in quasi tutto il dominio del Nord Italia. Fanno eccezione alcune zone, corrispondenti da un lato ai maggiori rilievi montuosi e dall'altro alle principali aree urbane; in particolare sono ben visibili i "buchi di rappresentatività" relativi alle aree urbane di Milano e di Torino.

3.2 Rappresentatività Spaziale al variare della tipologia delle stazioni

E' noto come la rappresentatività spaziale della misura di un certo inquinante vari al variare della tipologia della stazione di monitoraggio in esame. Le analisi effettuate nell'ambito di questo studio hanno consentito di verificare tale ipotesi relativamente alle stazioni di misura del materiale particolato PM_{2.5}, per il quale l'insieme delle 10 stazioni selezionate (vedi Tabella 1) comprende 3 stazioni rurali di fondo, 5 stazioni urbane di fondo, 1 stazione urbana industriale e 1 stazione urbana di traffico. Solo un sottoinsieme di questo gruppo (le stazioni urbane) è stato selezionato per la misura del PM₁₀. La sensitività della rappresentatività spaziale alla tipologia della stazione non è invece stata valutata per l'ozono, poiché le stazioni selezionate nell'ambito della rete sono tutte dello stesso tipo, rurali di fondo.

In Figura 3 è presentato un confronto tra le funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ calcolate per quattro siti di misura del PM_{2.5} rappresentativi delle quattro diverse tipologie a disposizione: Schivenoglia (come esempio di stazione rurale di fondo), Udine via Cairoli (come esempio di stazione urbana di fondo), Taranto via Machiavelli (unica stazione urbana industriale) e Stazione ISS a Roma (unica stazione urbana di traffico). Le funzioni sono state calcolate utilizzando per il confronto le serie annuali delle medie giornaliere, a partire dai campi MINNI 2005.

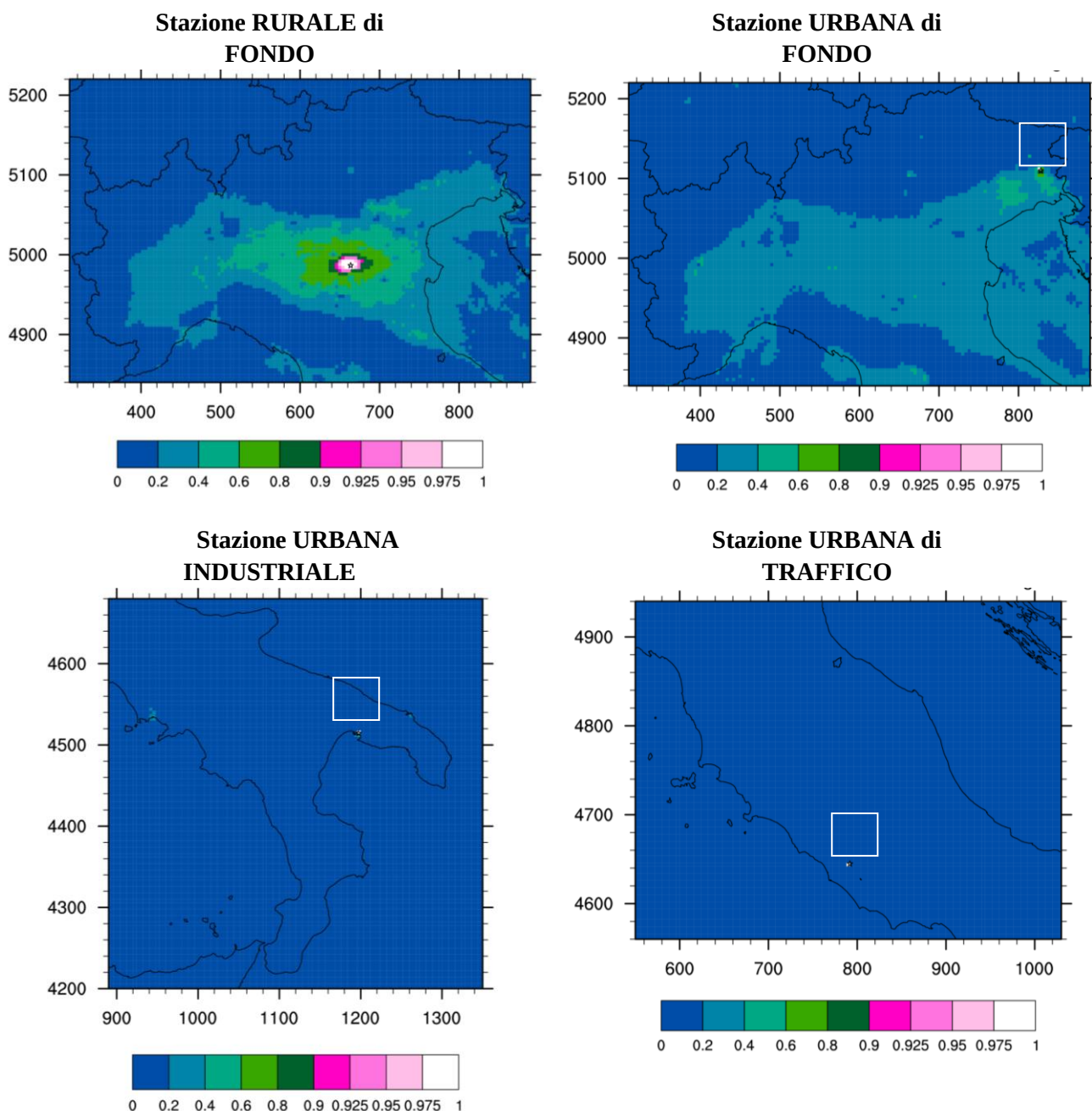


FIGURA 3. FUNZIONI $f_{\text{sito}}(X,Y)$ PER LO STUDIO DI RAPPRESENTATIVITÀ DEI SITI DI MISURA DI PM_{2.5}, CALCOLATE PER DIVERSE TIPOLOGIE DI STAZIONI: RURALE DI FONDO (IN ALTO A SINISTRA), URBANA DI FONDO (IN ALTO A DESTRA), URBANA INDUSTRIALE (IN BASSO A SINISTRA), URBANA DI TRAFFICO (IN BASSO A DESTRA). CAMPI MINNI UTILIZZATI: METEOROLOGIA 2005 E EMISSIONI DA INVENTARIO ISPRA 2005. CONFRONTO DELLE SERIE ANNUALI DELLE MEDIE GIORNALIERE.

I confronti presentati in Figura 3 confermano chiaramente che la rappresentatività spaziale dei siti di misura di un certo inquinante (in questo caso il materiale particolato PM_{2.5}) dipende dalla tipologia della stazione. In particolare, come atteso, l'area di rappresentatività diminuisce passando da siti di fondo rurali a siti di fondo urbani. Nell'esempio in Figura 3 l'area di rappresentatività stimata a Udine via Cairoli ($f_{\text{sito}}(x,y) > 0.9$) è di appena una cella, e la funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$, allontanandosi dal sito, diminuisce rapidamente assumendo presto valori minori di 0.4 (rappresentatività temporale minore del 40%). Risultati analoghi si ottengono anche per le altre stazioni urbane di fondo, non riportate per brevità. Nei due siti urbani, uno industriale e uno di traffico, la rappresentatività spaziale appare addirittura sotto-griglia, ossia non risolta dalla risoluzione spaziale a disposizione.

La funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ assume valori molto bassi (indicativi di una rappresentatività temporale al massimo del 20%) immediatamente fuori dalla cella di appartenenza della stazione.

I risultati ottenuti sono in accordo con quanto emerso da Balaguer and Denby (2012) e, nel caso dell'utilizzo dei campi MINNI (a risoluzione spaziale massima di 4km), consentono l'applicabilità di questa metodologia solo ai siti rurali di fondo.

3.3 Rappresentatività Spaziale al variare della statistica temporale utilizzata per il confronto

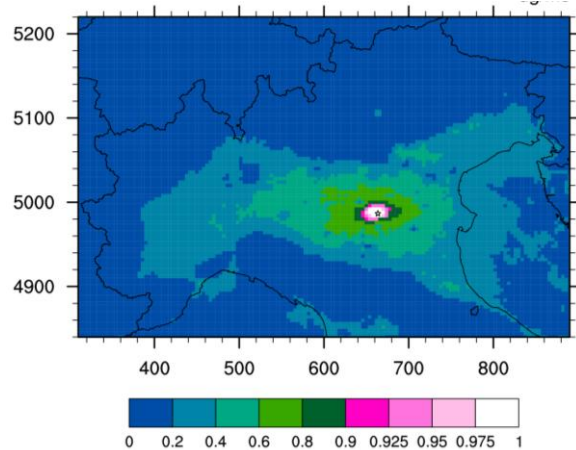
Per lo studio della rappresentatività spaziale dei siti della Rete delle Stazioni Speciali è parso opportuno scegliere come statistiche temporali da utilizzare nei confronti, i rispettivi indicatori di legge di ciascun inquinante, ossia le medie giornaliere per il materiale particolato e i massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore per l'ozono. Tale scelta fornisce infatti la stima più appropriata di rappresentatività spaziale di stazioni dedicate a monitorare la qualità dell'aria nel quadro normativo.

Rimane comunque di interesse scientifico lo studio della variabilità della rappresentatività spaziale al variare dell'indicatore temporale utilizzato per il confronto. L'insieme dei casi analizzati in questo studio (Tabella 2) ha consentito di effettuare in questo senso diversi confronti: per i diversi siti a disposizione le funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ calcolate utilizzando le serie temporali dei valori orari sono state confrontate, sia per il materiale particolato sia per l'ozono, con quelle ottenute utilizzando le serie temporali dei rispettivi indicatori di legge.

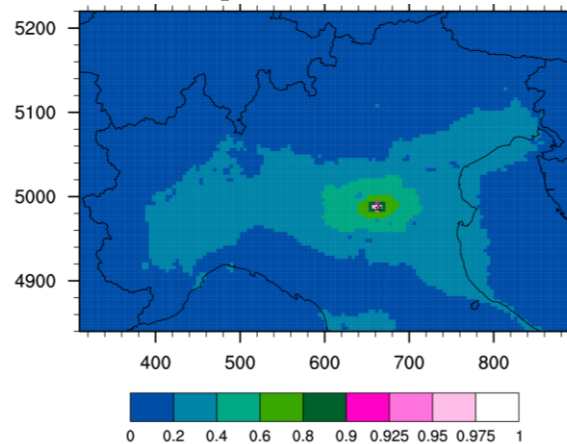
In Figura 4 vengono presentate le funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ ottenute per il PM2.5 utilizzando rispettivamente le serie annuali delle medie giornaliere (a sinistra) e le serie annuali dei valori orari (a destra). I confronti vengono presentati solo per le tre stazioni rurali di fondo, le uniche per cui la stima di rappresentatività, basata sui campi MINNI a 4 km di risoluzione, non scende sottogriglia. Si osserva che, per tutte le stazioni, la rappresentatività spaziale calcolata su base oraria è minore di quella calcolata su base giornaliera, in particolare i valori della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ diminuiscono più rapidamente nelle aree vicine ai siti. Tale risultato è atteso ed è emerso anche da Balaguer and Denby (2012); infatti, minore è il periodo temporale su cui sono mediati i dati, maggiore è la variabilità nelle serie temporali e minore quindi la rappresentatività spaziale che ci si attende.

Tale effetto appare ancor più evidente dai confronti delle funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ ottenute per l'ozono. In Figura 5 vengono presentati tre casi di confronto delle funzioni, calcolate utilizzando rispettivamente le serie annuali dei massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore (a sinistra) e le serie annuali dei valori orari (a destra). Tra tutti i risultati a disposizione si è scelto di presentare quelli relativi a tre siti, collocati in domini geografici differenti. Nel caso dei massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore, la rappresentatività spaziale è molto maggiore di quella calcolata su base oraria, non solo nell'intorno della stazione ma in tutto il dominio. Tale risultato era atteso perché nel primo caso il confronto è effettuato su valori più elevati e, trattandosi di massimi giornalieri, non necessariamente registrati nello stesso momento. La diminuzione dei valori delle funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ nel passaggio al calcolo su base oraria avviene ovunque, ma appare particolarmente evidente soprattutto per i siti del Nord, dove, peraltro, le funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ assumono in entrambi i casi valori mediamente più bassi, rispetto a quanto avvenga per i siti situati negli altri domini. Tale risultato è spiegato dalla maggiore variabilità osservata per i campi di ozono su tale dominio, come illustrato in Figura 6 dove è presentata la mappa della media annuale della concentrazione di ozono calcolata sulla base degli stessi campi MINNI 2005.

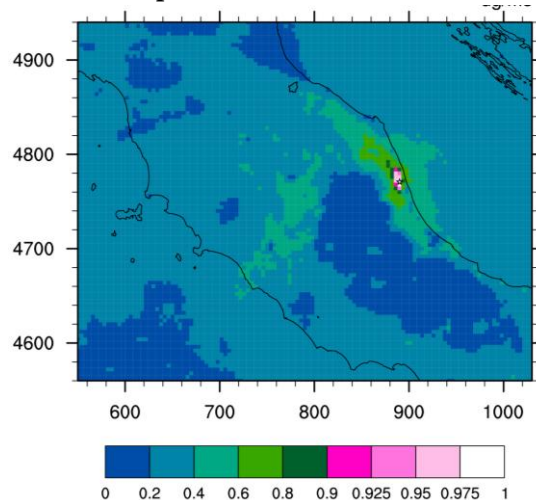
Statistica temporale: MEDIE GIORNALIERE



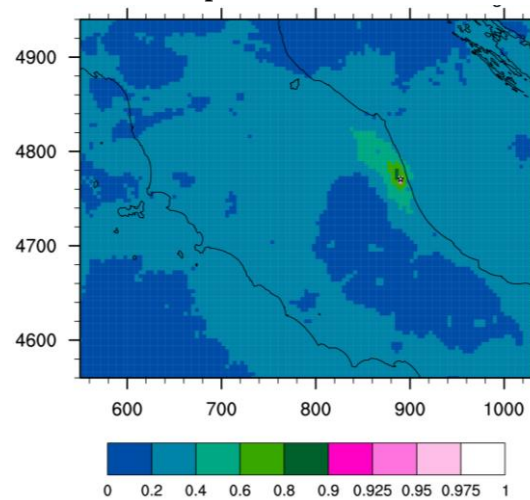
Statistica temporale: VALORI ORARI



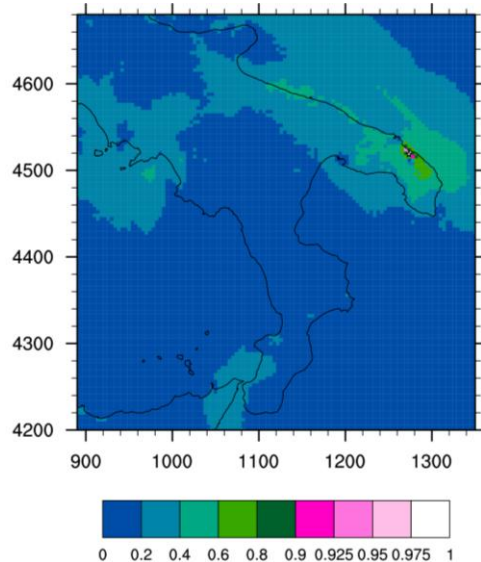
Statistica temporale: MEDIE GIORNALIERE



Statistica temporale: VALORI ORARI



Statistica temporale: MEDIE GIORNALIERE



Statistica temporale: VALORI ORARI

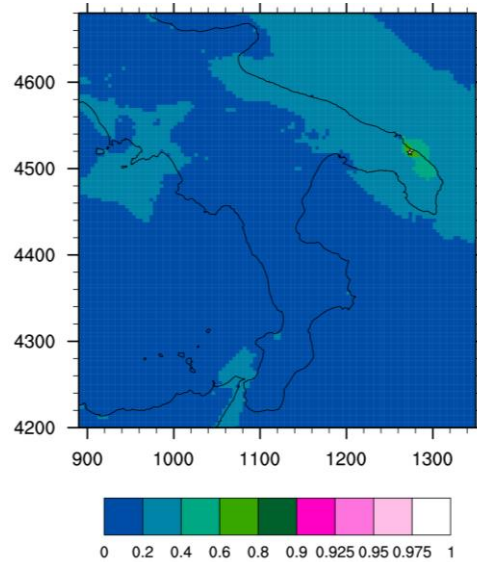
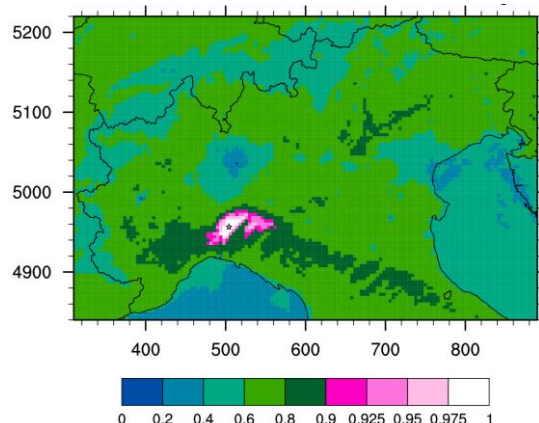


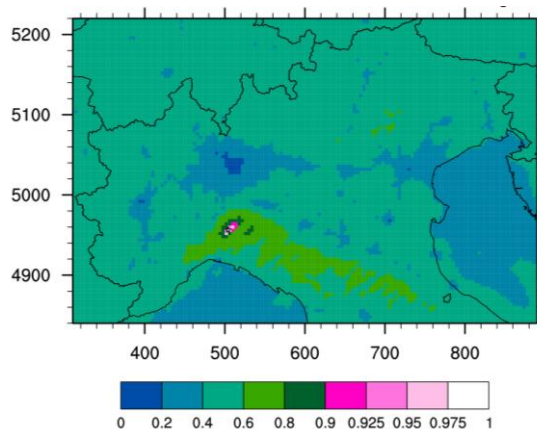
FIGURA 4. FUNZIONI $F_{\text{STO}}(X,Y)$ OTTENUTE PER IL PM2.5 UTILIZZANDO LE SERIE ANNUALI DELLE MEDIE GIORNALIERE (A SINISTRA) O LE SERIE ANNUALI DEI VALORI ORARI (A DESTRA).

**RISULTATI OTTENUTI PER LE TRE STAZIONI RURALI DI FONDO:
SCHIVENOGLIA (IN ALTO), RIPATRANSONE (AL CENTRO), SANTA MARA CERRATE (IN BASSO).
CAMPI MINNI UTILIZZATI: METEOROLOGIA 2005 E EMISSIONI DA INVENTARIO ISPRA 2005.**

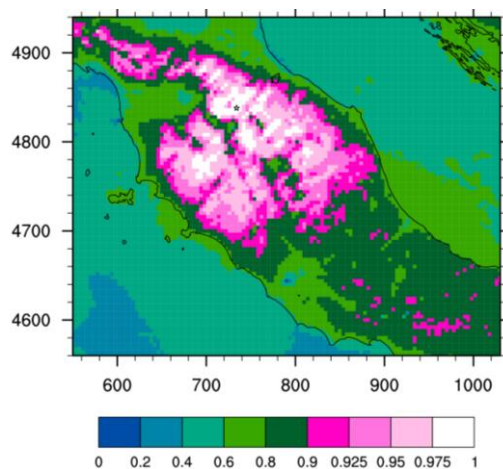
**Statistica temporale: MASSIMI GIORNALIERI
DELLE MEDIE MOBILI SU 8 ORE**



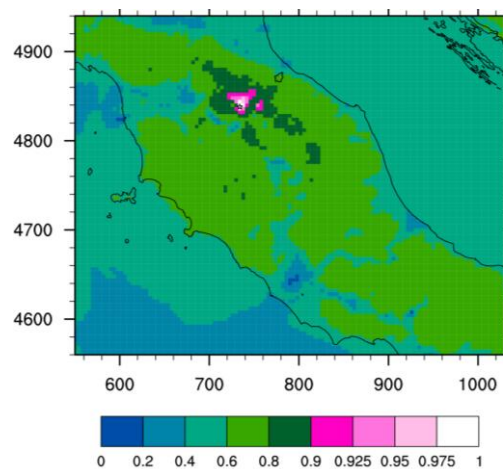
Statistica temporale: VALORI ORARI



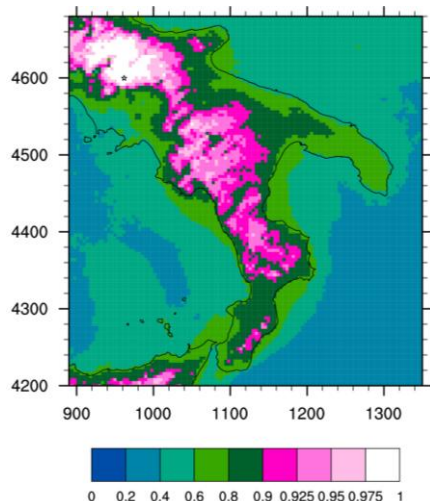
**Statistica temporale: MASSIMI GIORNALIERI
DELLE MEDIE MOBILI SU 8 ORE**



Statistica temporale: VALORI ORARI



**Statistica temporale: MASSIMI GIORNALIERI
DELLE MEDIE MOBILI SU 8 ORE**



Statistica temporale: VALORI ORARI

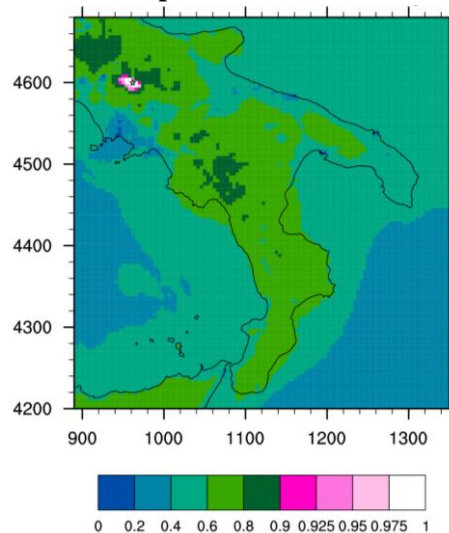


FIGURA 5. FUNZIONI $F_{\text{SITO}}(X,Y)$ OTTENUTE PER L'OZONO UTILIZZANDO LE SERIE ANNUALI DEI MASSIMI GIORNALIERI DELLE MEDIE MOBILI SU 8 ORE(A SINISTRA) O LE SERIE ANNUALI DEI VALORI ORARI (A DESTRA).

RISULTATI OTTENUTI PER TRE DELLE STAZIONI A DISPOSIZIONE, COLLOCATE IN DOMINI DIVERSI: DERNICE COSTA (IN ALTO), AREZZO CASA STABBI (AL CENTRO), GUARDIAREGIA (IN BASSO). CAMPI MINNI UTILIZZATI: METEOROLOGIA 2005 E EMISSIONI DA INVENTARIO ISPRA 2005.

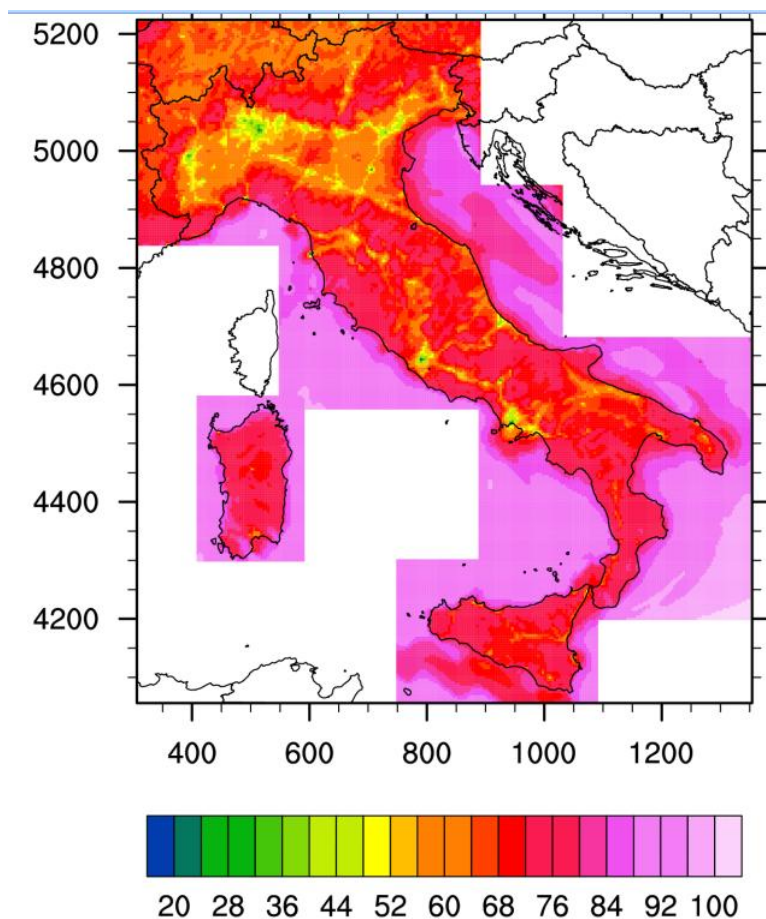


FIGURA 6. MEDIA ANNUALE DELLA CONCENTRAZIONE DI OZONO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).
CAMPI MINNI UTILIZZATI PER IL CALCOLO: METEOROLOGIA 2005/EMISSIONI DA INVENTARIO ISPRA 2005.

3.4 Rappresentatività Spaziale al variare delle condizioni meteorologiche ed emissive

La disponibilità dei campi di concentrazione prodotti da MINNI per diverse annualità (campi meteorologici e totali emissivi nazionali) ha consentito di valutare la variabilità della rappresentatività spaziale al variare delle condizioni sia meteorologiche che emissive.

A titolo di esempio, in Figura 7 e Figura 8 sono presentati, nei primi tre riquadri dei pannelli, i confronti tra le funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ ottenute per il sito di Schivenoglia, rispettivamente per PM_{2.5} e per ozono, utilizzando i campi di concentrazione MINNI relativi a tre diverse annualità: 2003, 2005, 2005. Le annualità si riferiscono a diverse condizioni meteorologiche e a diversi totali emissivi su scala nazionale; la scalatura dei totali emissivi su scala provinciale è stata ottenuta invece con le medesime proxy dell'anno di riferimento (2005). Infatti, solo ad intervalli quinquennali ISPRA elabora un inventario provinciale, mentre nelle annualità intermedie viene prodotto solo l'inventario nazionale. Nelle elaborazioni con il modello nazionale MINNI, la spazializzazione dell'input emissivo a 4km di risoluzione avviene a partire dal dato emissivo provinciale che, negli anni intermedi ai quinquenni, viene scalato da ENEA con le medesime proxy dell'anno di riferimento.

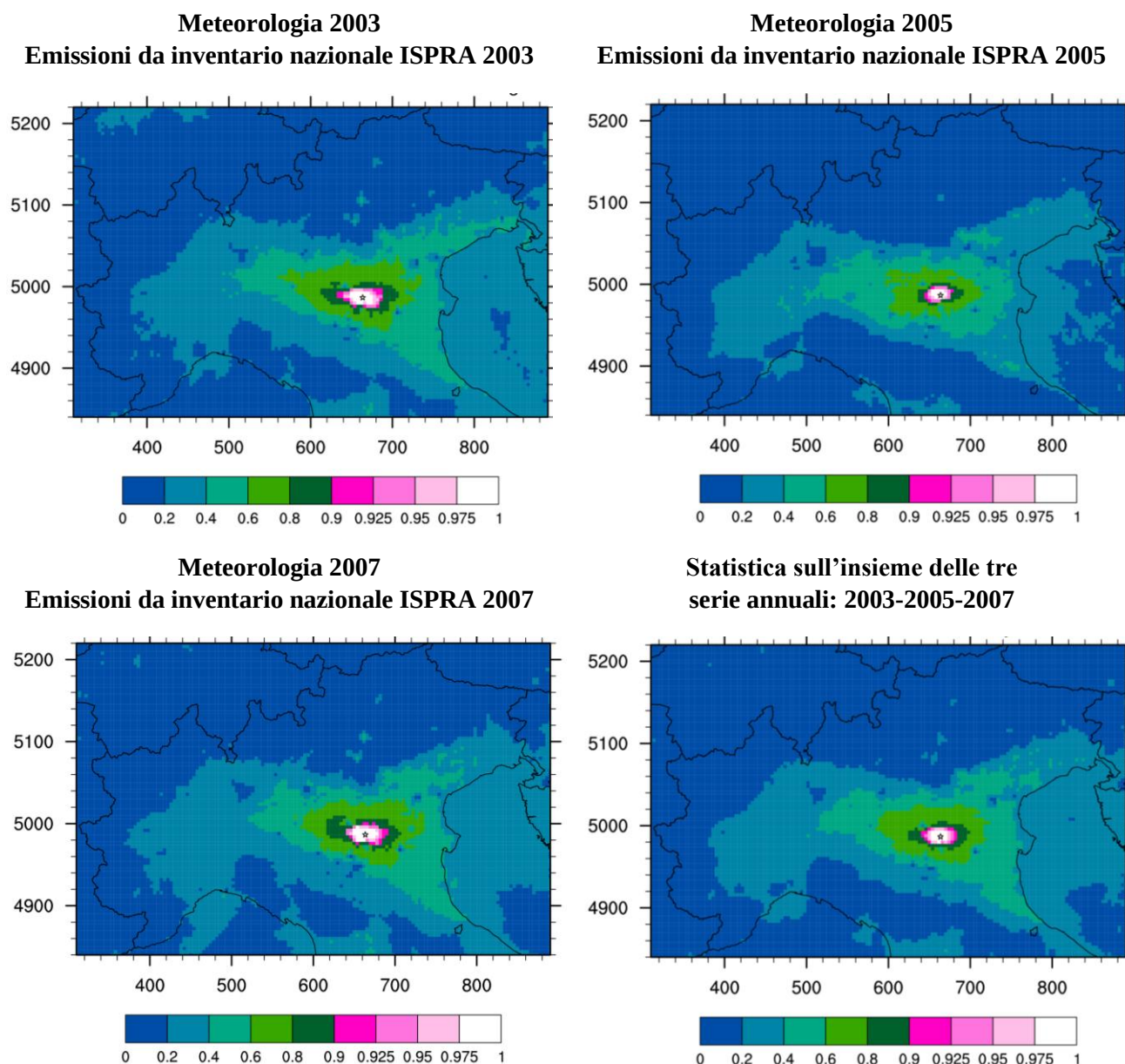


FIGURA 7. FUNZIONI $F_{\text{sito}}(X,Y)$ RELATIVE AL SITO DI SCHIVENOGLIA OTTENUTE PER IL PM_{2.5} SULLE SERIE ANNUALI RELATIVE AGLI ANNI 2003 (IN ALTO A SINISTRA), 2005 (IN ALTO A DESTRA), 2007 (IN BASSO A SINISTRA) E SULL'INSIEME DELLE TRE SERIE ANNUALI (IN BASSO A DESTRA). STATISTICA TEMPORALE UTILIZZATA: MEDIE GIORNALIERE.

Dai confronti presentati in Figura 7 e Figura 8 si osserva una generale coerenza tra le funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ calcolate sulla base dei campi prodotti per le diverse annualità: si osservano patterns simili nell'andamento delle funzioni, gli stessi intervalli di variabilità dei valori, generale corrispondenza delle zone caratterizzate dalla verifica della condizione $f_{\text{sito}}(x,y) > 0.9$. Ciò nonostante è riscontrabile, come ci si poteva attendere, una certa variabilità imputabile ai diversi campi di concentrazione utilizzati per l'analisi. In particolare si osserva una maggiore somiglianza tra i risultati ottenuti sui campi 2003 e 2007, rispetto a quelli ottenuti sui campi 2005. Tale risultato è coerente con quanto emerso da uno studio (Finardi, 2011) effettuato nell'ambito dell'ultima Convenzione fra MATTM ed ENEA ("SVILUPPO, VERIFICA E NUOVE APPLICAZIONI DEL SISTEMA MODELLISTICO MINNI A SUPPORTO DELLE POLITICHE DI QUALITÀ DELL'ARIA NAZIONALI E DEI PIANI E PROGRAMMI DI RISANAMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA REGIONALI"). Da tale studio, che ha avuto come oggetto l'analisi dell'influenza sulla qualità dell'aria della variazione meteorologica interannuale, è emersa,

sia all'interno di un inquadramento climatologico sia attraverso un'analisi dettagliata dei campi prodotti da MINNI, una maggiore somiglianza tra le condizioni meteorologiche registrate negli anni 2003 e 2007 rispetto alle condizioni dell'anno 2005. In particolare, il 2003 e il 2007 sono anni caratterizzati da anomalie termiche elevate, mentre il 2005 mostra un'anomalia termica inferiore a 0.5 °C ed è un anno mediamente più freddo.

L'effetto delle condizioni meteorologiche sembra pertanto incidere sulla rappresentatività spaziale più di quanto non incidano le diverse condizioni emissive. Tale risultato è coerente con quanto ricordato sopra, ossia col permanere del medesimo fattore distributivo delle emissioni sulla scala provinciale.

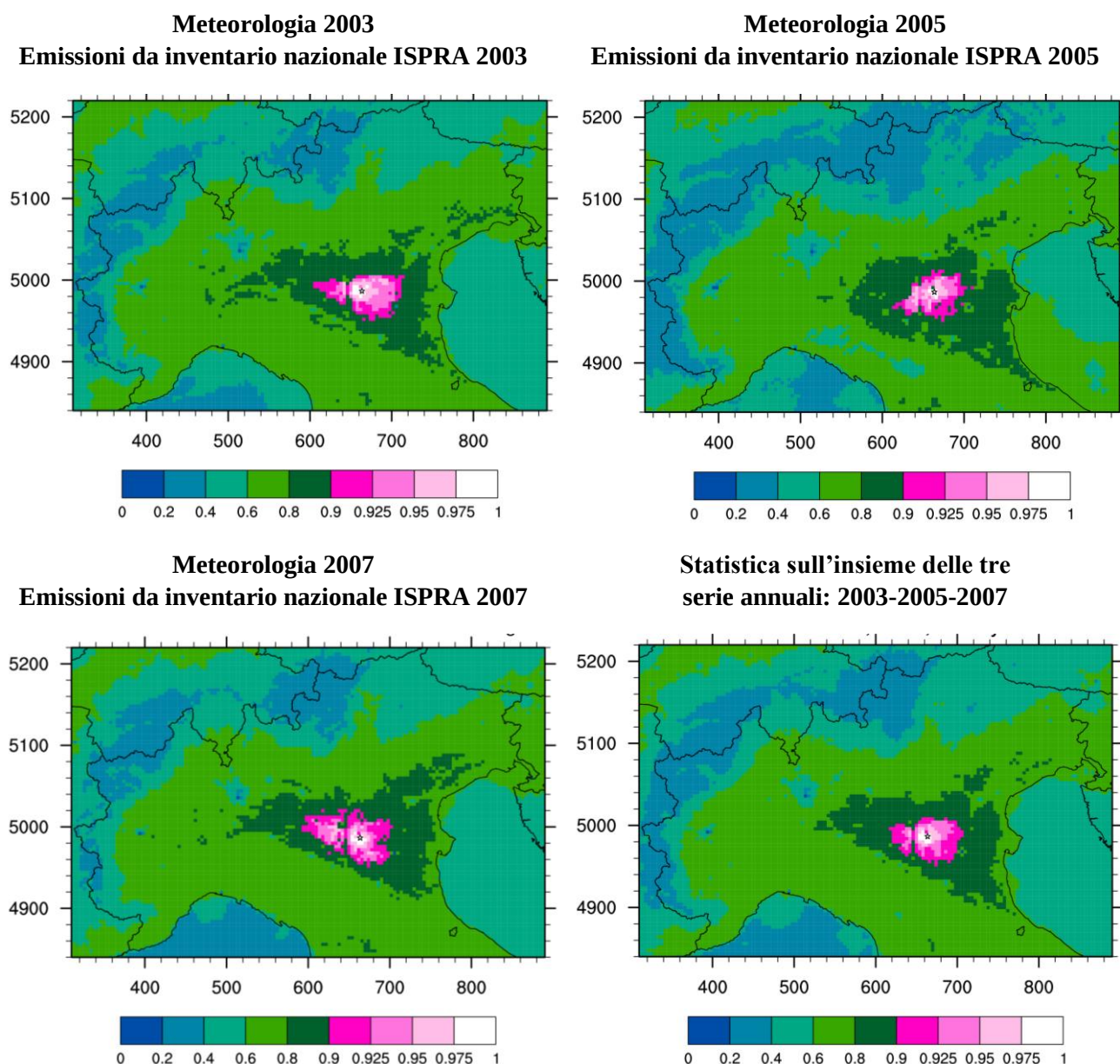


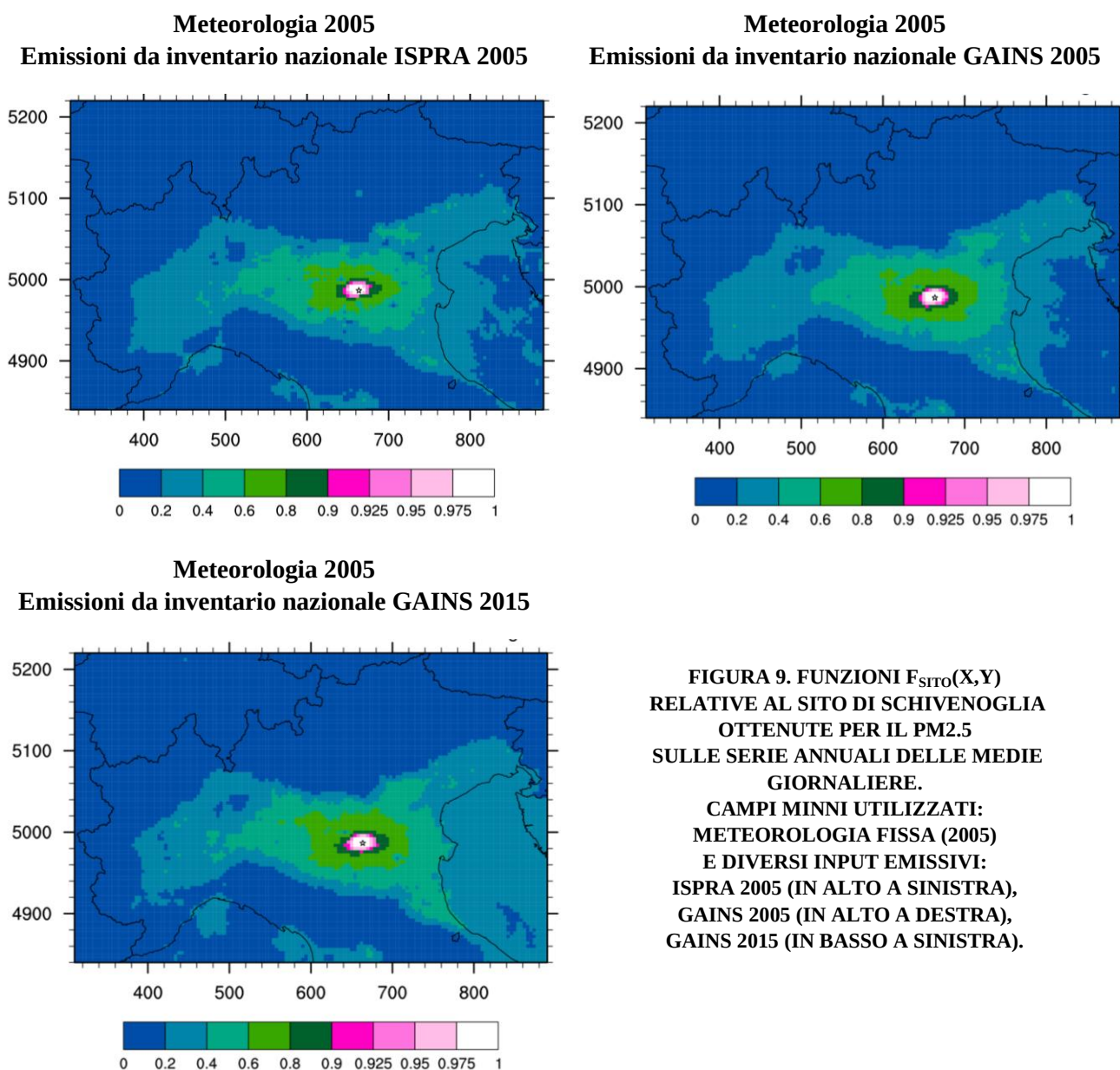
FIGURA 8. FUNZIONI $F_{\text{sito}}(X,Y)$ RELATIVE AL SITO DI SCHIVENOGLIA OTTENUTE PER L'OZONO SULLE SERIE ANNUALI RELATIVE AGLI ANNI 2003 (IN ALTO A SINISTRA), 2005 (IN ALTO A DESTRA), 2007 (IN BASSO A SINISTRA) E SULL'INSIEME DELLE TRE SERIE ANNUALI (IN BASSO A DESTRA). STATISTICA TEMPORALE UTILIZZATA: MASSIMI GIORNALIERI DELLE MEDIE MOBILI SU 8 ORE.

Alla luce di quanto emerso dai confronti presentati in questo paragrafo e anche dai risultati ottenuti per gli altri siti (le cui mappe non sono riportate per brevità), si è ritenuto che, come miglior stima della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$, fosse opportuno confrontare le serie temporali sull'insieme delle tre

annualità a disposizione. Nel calcolo dell'Equazione 1 il confronto è stato pertanto esteso a tutti i dati orari (o giornalieri) di tutti e tre gli anni a disposizione. Per effettuare tale statistica inter-annuale è stata sviluppata una procedura ad hoc e alle elaborazioni di Tabella 2 è stata aggiunta questa ulteriore analisi che, per ciascun sito e per ciascun inquinante, ha prodotto quella che è stata scelta come miglior stima della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ (riportata, per Schivenoglia, nel quarto riquadro dei pannelli di Figura 7 e Figura 8). Sono stati dunque prodotti e analizzati altri 150 elaborati.

3.5 Rappresentatività Spaziale al variare del solo scenario emissivo

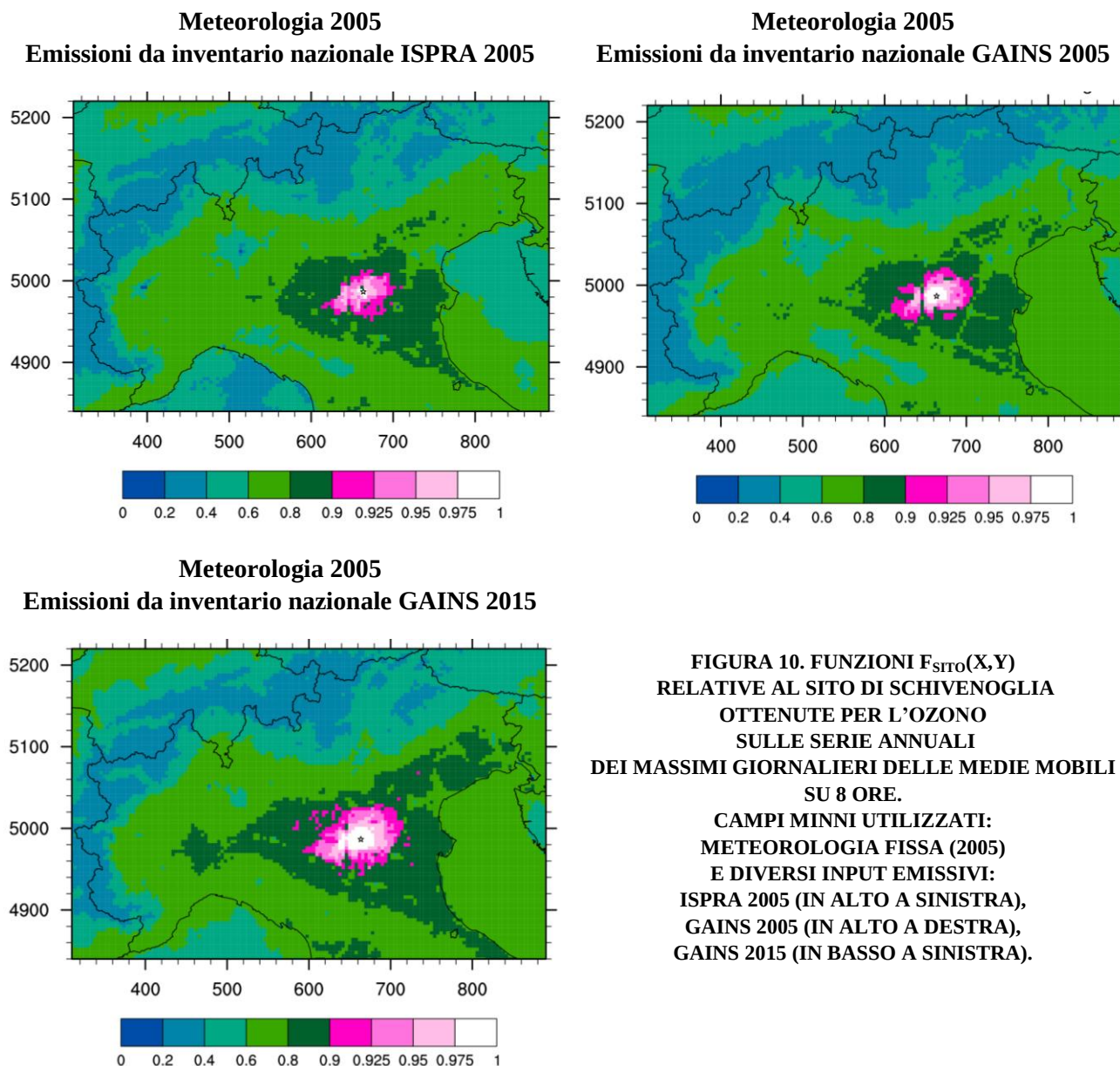
La variabilità della rappresentatività spaziale al variare delle sole condizioni emissive è stata studiata, per l'annualità 2005, confrontando i risultati ottenuti a partire da campi di concentrazione calcolati con diversi input emissivi: l'inventario ISPRA 2005 e l'inventario GAINS 2005 (Ciancarella et al., 2011). Inoltre, per una stima delle variazioni attese in futuro, le funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ sono state calcolate anche su un anno di scenario elaborato, a meteorologia fissa (2005), a partire dall'inventario GAINS 2015.



I confronti tra le funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$, calcolate a partire dai diversi campi di concentrazione, sono presentati in Figura 9 e Figura 10, rispettivamente per il PM2.5 e per l'ozono. Anche in questo caso si è scelto di presentare, a titolo di esempio, il confronto dei risultati ottenuti per il sito di

Schivenoglia, selezionato nell'ambito della Rete delle Stazioni Speciali sia per la misura dell'ozono che della composizione chimica del Materiale Particolato.

Come già previsto dall'analisi presentata nel paragrafo 3.4, la variazione dell'input emissivo (come totale su scala nazionale) non porta a variazioni significative sia nel pattern che nei valori delle funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$. Si osserva sia per il PM2.5 sia, soprattutto, per l'ozono un generale lieve aumento dei valori assunti dalle funzioni nel passaggio dalle elaborazioni ISPRA alle elaborazioni GAINS, in particolare all'elaborazione di scenario 2015. Si riscontra pertanto nelle elaborazioni GAINS un lieve aumento dell'estensione dell'area caratterizzata dalla verifica della condizione $f_{\text{sito}}(x,y) > 0.9$. La scarsa influenza delle diverse condizioni emissive sulla stima della rappresentatività spaziale può essere spiegata, come al paragrafo 3.4, dal fatto che le diverse simulazioni differiscono solo per i totali emissivi nazionali, mentre permane il medesimo fattore distributivo su scala provinciale.



Complessivamente, sia per il sito di Schivenoglia che per tutti gli altri siti, non si è riscontrata una variazione significativa della rappresentatività spaziale al variare dell'input emissivo (inteso come totale nazionale). In particolare la variabilità osservata appare inferiore alla variabilità "intrinseca", dovuta alla variabilità meteorologica (il cui effetto può essere mediato, ampliando la statistica su tutti gli anni a disposizione, vedi § 3.4). La stima dell'area di rappresentatività basata sull'inventario ISPRA rappresenta comunque una valutazione "conservativa" rispetto alla stima basata sugli scenari

GAINS, che porta a prevedere aree di verifica della condizione $f_{\text{sito}}(x,y) > 0.9$ generalmente più estese.

3.6 Rappresentatività Spaziale e stagionalità

Per tutti i siti di misura, sia del materiale particolato che dell'ozono, è stato effettuato uno studio della variabilità stagionale della rappresentatività spaziale, tramite il calcolo delle funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ a partire dalle serie temporali estese alle stagioni invece che all'anno intero. Alcuni esempi dei risultati ottenuti sono presentati in Figura 11 e Figura 15, dove si è scelto di mostrare i campi ottenuti per le due stagioni estreme: estate (a sinistra) e inverno (a destra).

I risultati ottenuti per il PM2.5 sono presentati in Figura 11 e Figura 12 rispettivamente per tre diverse tipologie di stazioni urbane e per le tre stazioni rurali a disposizione.

Sia per la Stazione ISS a Roma (unica stazione urbana di traffico) sia per Taranto via Machiavelli (unica stazione urbana industriale) l'area di rappresentatività spaziale appare sotto-griglia e la funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ assume valori molto bassi immediatamente fuori dalla cella di appartenenza della stazione: entrambi i risultati confermano l'analisi effettuata su base annuale. Come esempio di stazione urbana di fondo è stata scelta la stessa Udine via Cairoli, di cui è stata presentata, in Figura 3, la rappresentatività su base annuale. In questo caso, come anche nelle altre stazioni di fondo urbano (non presentate), si osserva una netta variabilità stagionale della rappresentatività spaziale. Essa è maggiore in estate, quando, come è noto, si osserva in media una diminuzione delle concentrazioni di PM2.5 (vedi Figura 13 dove sono messi a confronto i campi di concentrazione di PM2.5 mediati rispettivamente sulle stagioni estiva ed invernale dell'anno 2005). In particolare, poiché la riduzione delle concentrazioni in estate interessa soprattutto le aree urbane, in prossimità dei siti urbani si registrano generalmente minori gradienti di concentrazione. Rispetto all'analisi annuale, in estate l'area di rappresentatività stimata ($f_{\text{sito}}(x,y) > 0.9$) aumenta, e la funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ diminuisce meno rapidamente allontanandosi dal sito. Risultati opposti si osservano in inverno.

Anche nei siti rurali (Figura 12) la rappresentatività spaziale appare maggiore in estate che in inverno, anche se, rispetto a quanto osservato per i siti urbani, in questo caso la variabilità stagionale appare meno evidente, in modo particolare per il sito di Ripatransone (Figura 12, al centro). Nel sito di Schivenoglia (Figura 12, in alto) si osserva più che altro una variazione della "forma" nella funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$, che, in inverno è più fortemente anti-correlata alla distribuzione delle aree urbanizzate, caratterizzate nella stagione invernale da un significativo aumento dei livelli di concentrazione (Figura 13). Tra i siti rurali la stazione di Santa Maria Cerrate (Figura 12, in basso) è quella che presenta la maggiore variabilità stagionale dell'area di rappresentatività spaziale che in inverno appare limitata a Sud dalla zona urbanizzata di Lecce.

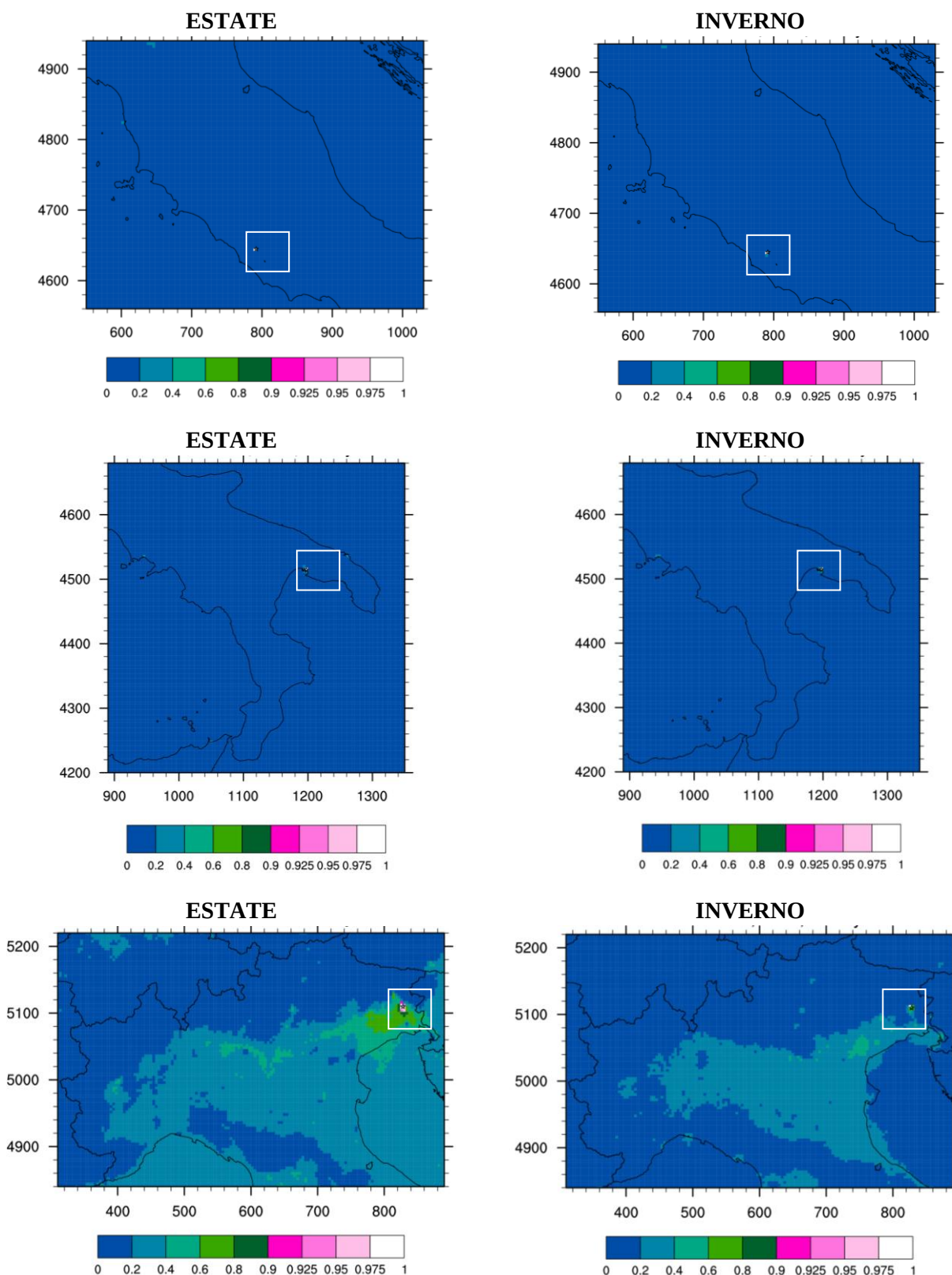


FIGURA 11. FUNZIONI $F_{SITO}(X,Y)$ OTTENUTE PER IL PM2.5, UTILIZZANDO LE SERIE TEMPORALI DEI VALORI ESTIVI (A SINISTRA) O INVERNALI (A DESTRA). RISULTATI OTTENUTI PER DIVERSE TIPOLOGIE DI STAZIONI URBANE: URBANA DI TRAFFICO (IN ALTO), URBANA INDUSTRIALE (AL CENTRO), URBANA DI FONDO (IN BASSO). CONFRONTO DELLE MEDIE GIORNALIERE EFFETTUATO SULL'INSIEME DELLE TRE ANNUALITÀ A DISPOSIZIONE (2003-2005-2007).

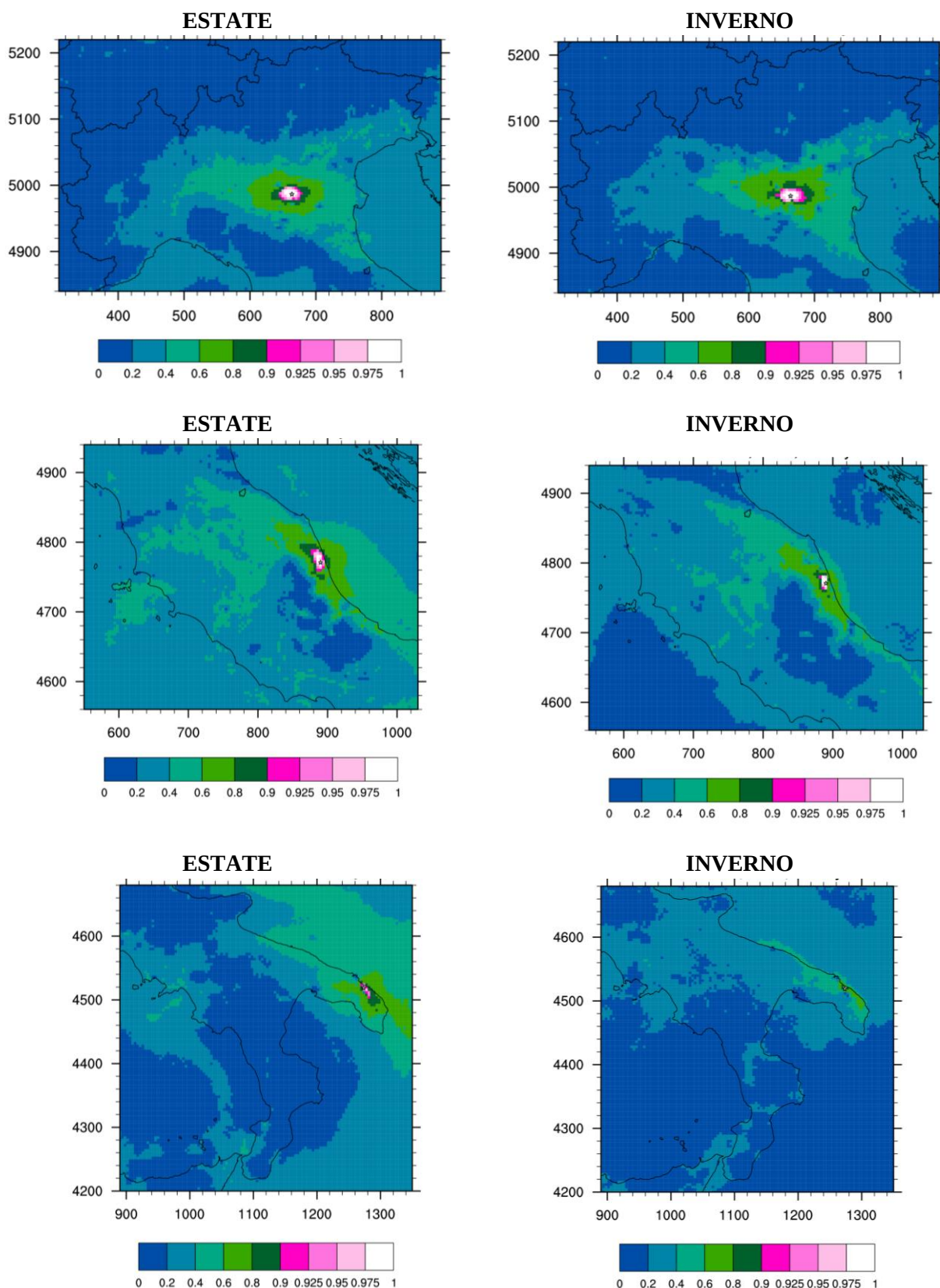


FIGURA 12. FUNZIONI $F_{SITO}(X,Y)$ OTTENUTE PER IL PM2.5, UTILIZZANDO LE SERIE TEMPORALI DEI VALORI ESTIVI (A SINISTRA) O INVERNALI (A DESTRA). RISULTATI OTTENUTI PER LE TRE STAZIONI RURALI A DISPOSIZIONE: SCHIVENOGLIA (IN ALTO), RIPATRANSONE (AL CENTRO), SANTA MARA CERRATE (IN BASSO). CONFRONTO DELLE MEDIE GIORNALIERE EFFETTUATO SULL'INSIEME DELLE TRE ANNUALITÀ A DISPOSIZIONE (2003-2005-2007).

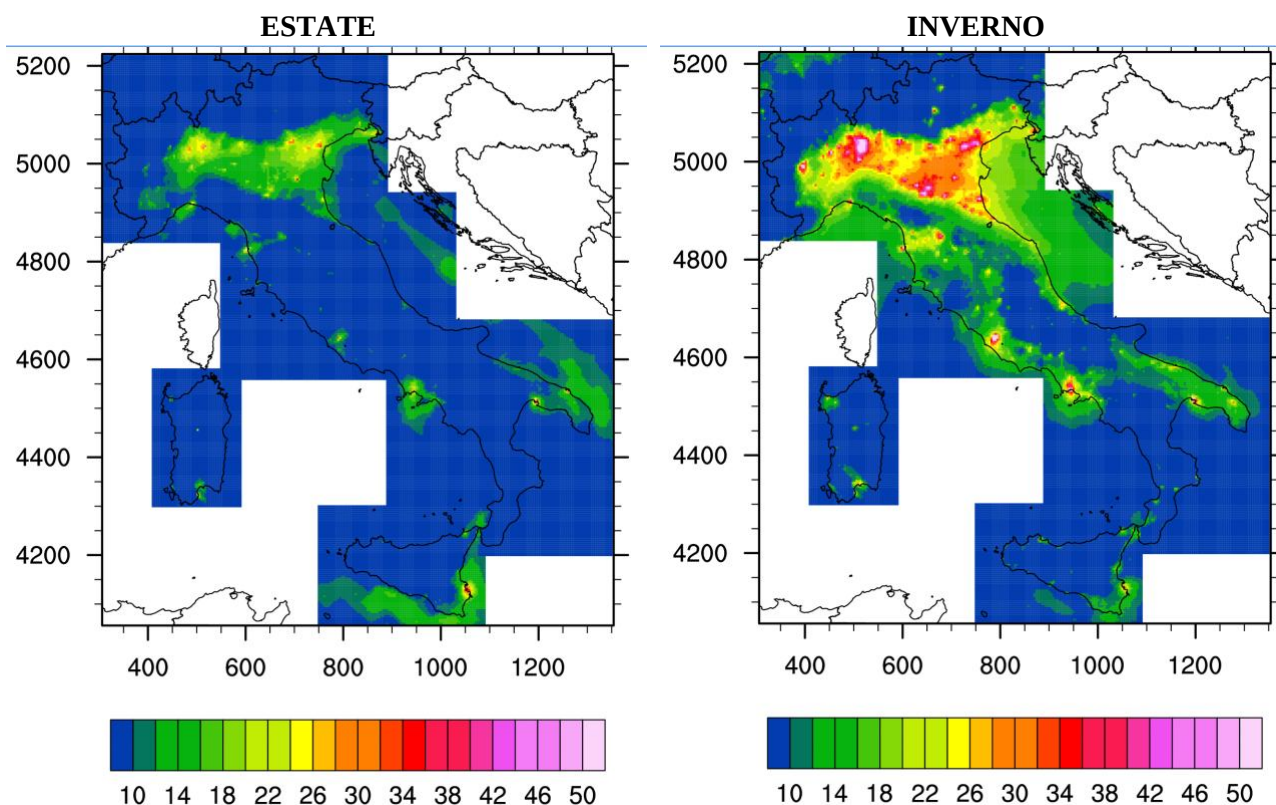


FIGURA 13. CAMPI DI CONCENTRAZIONE DI PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) SIMULATI DA MINNI PER L'ANNO 2005. MEDIA SUI MESI ESTIVI (A SINISTRA) E SUI MESI INVERNALI (A DESTRA).

In Figura 14 sono presentati i risultati ottenuti per il materiale particolato PM₁₀ nelle stesse stazioni urbane (di diversa tipologia) presentate per l'analisi di rappresentatività del PM_{2.5} (Figura 11). Non sono presentati risultati su siti rurali perché nessuna stazione di questa tipologia è stata selezionata per la misura del PM₁₀ nell'ambito della Rete delle Stazioni Speciali. I risultati ottenuti per il PM₁₀ confermano quanto già descritto per il PM_{2.5}. Nel sito di traffico (Stazione ISS a Roma) e in quello industriale (Taranto via Machiavelli) la rappresentatività spaziale non è risolta, né in estate né in inverno, dalla risoluzione spaziale dei campi di concentrazione a disposizione. Nei siti di fondo urbano la rappresentatività spaziale presenta una forte variabilità stagionale e l'area di rappresentatività spaziale, che è sottogriglia nei mesi invernali, aumenta in estate, non solo in prossimità del sito ma anche in un suo intorno più vasto.

In Figura 15 l'effetto della variabilità stagionale è studiato per l'ozono. Il confronto tra i campi $f_{\text{sito}}(x,y)$ ottenuti per le due stagioni estreme, l'estate (a sinistra) e inverno (a destra), è presentato, a titolo di esempio, per tre siti collocati in domini geografici differenti. La rappresentatività spaziale dell'ozono, studiata qui sulle serie temporali dei massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore e sull'insieme statisticamente più rappresentativo delle tre annualità a disposizione (2003-2005-2007), presenta una forte variabilità stagionale. La rappresentatività spaziale è decisamente maggiore in estate che in inverno; nella stagione estiva si osservano valori di concentrazione dell'ozono molto più elevati ma distribuiti secondo campi generalmente più omogenei, con conseguente riduzione dei gradienti spaziali di concentrazione (vedi Figura 16 dove sono messi a confronto i campi di concentrazione di ozono mediati rispettivamente sulle stagioni estiva ed invernale dell'anno 2005). La riduzione invernale della rappresentatività spaziale è particolarmente evidente soprattutto per i siti del Nord, dove, rispetto agli altri domini, in inverno si osserva una più evidente riduzione dei valori di concentrazione (Figura 16).

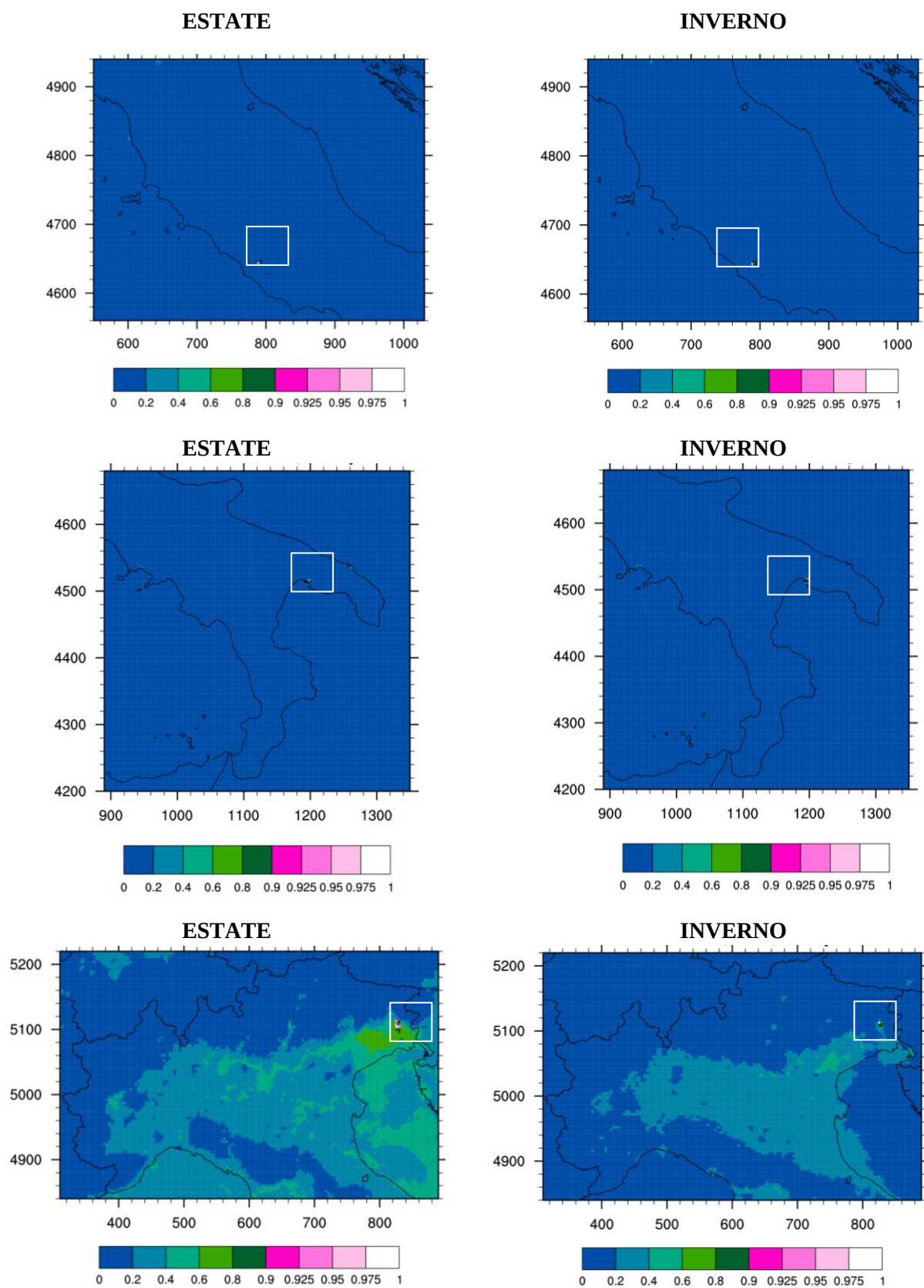


FIGURA 14. FUNZIONI $F_{SITO}(X,Y)$ OTTENUTE PER IL PM10, UTILIZZANDO LE SERIE TEMPORALI DEI VALORI ESTIVI (A SINISTRA) O INVERNALI (A DESTRA). RISULTATI OTTENUTI PER DIVERSE TIPOLOGIE DI STAZIONI URBANE: URBANA DI TRAFFICO (IN ALTO), URBANA INDUSTRIALE (AL CENTRO), URBANA DI FONDO (IN BASSO). CONFRONTO DELLE MEDIE GIORNALIERE EFFETTUATO SULL'INSIEME DELLE TRE ANNUALITÀ A DISPOSIZIONE (2003-2005-2007).

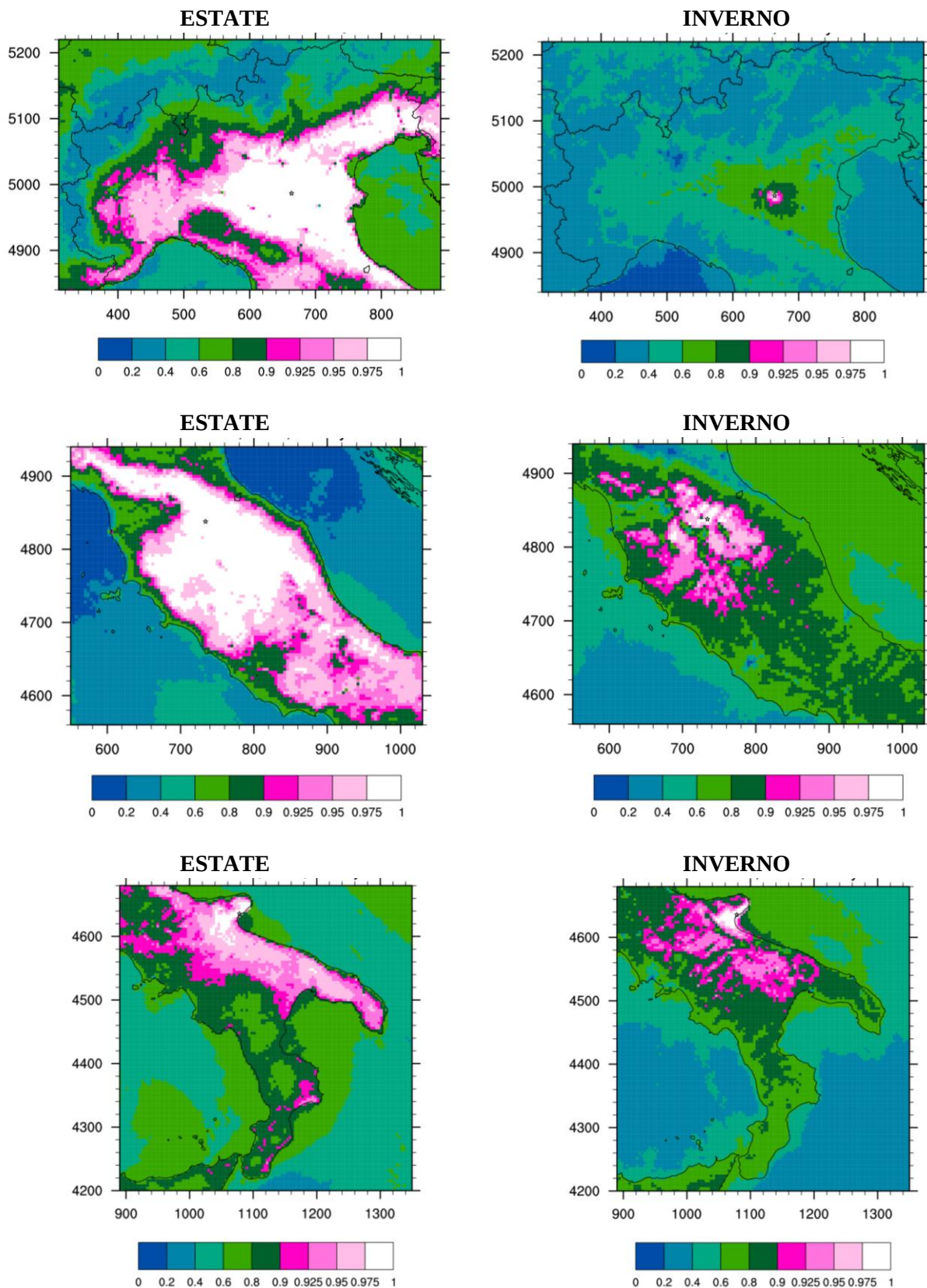


FIGURA 15. FUNZIONI $F_{SITO}(X,Y)$ OTTENUTE PER L'OZONO, UTILIZZANDO LE SERIE TEMPORALI DEI VALORI ESTIVI (A SINISTRA) O INVERNALI (A DESTRA). RISULTATI OTTENUTI PER TRE DELLE STAZIONI A DISPOSIZIONE, COLLOCATE IN DOMINI DIVERSI: SCHIVENOGLIA (IN ALTO), AREZZO CASA STABBI (AL CENTRO), MONTE SANT'ANGELO (IN BASSO). CONFRONTO DEI MASSIMI GIORNALIERI DELLE MEDIE MOBILI SU 8 ORE EFFETTUATO SULL'INSIEME DELLE TRE ANNUALITÀ A DISPOSIZIONE (2003-2005-2007).

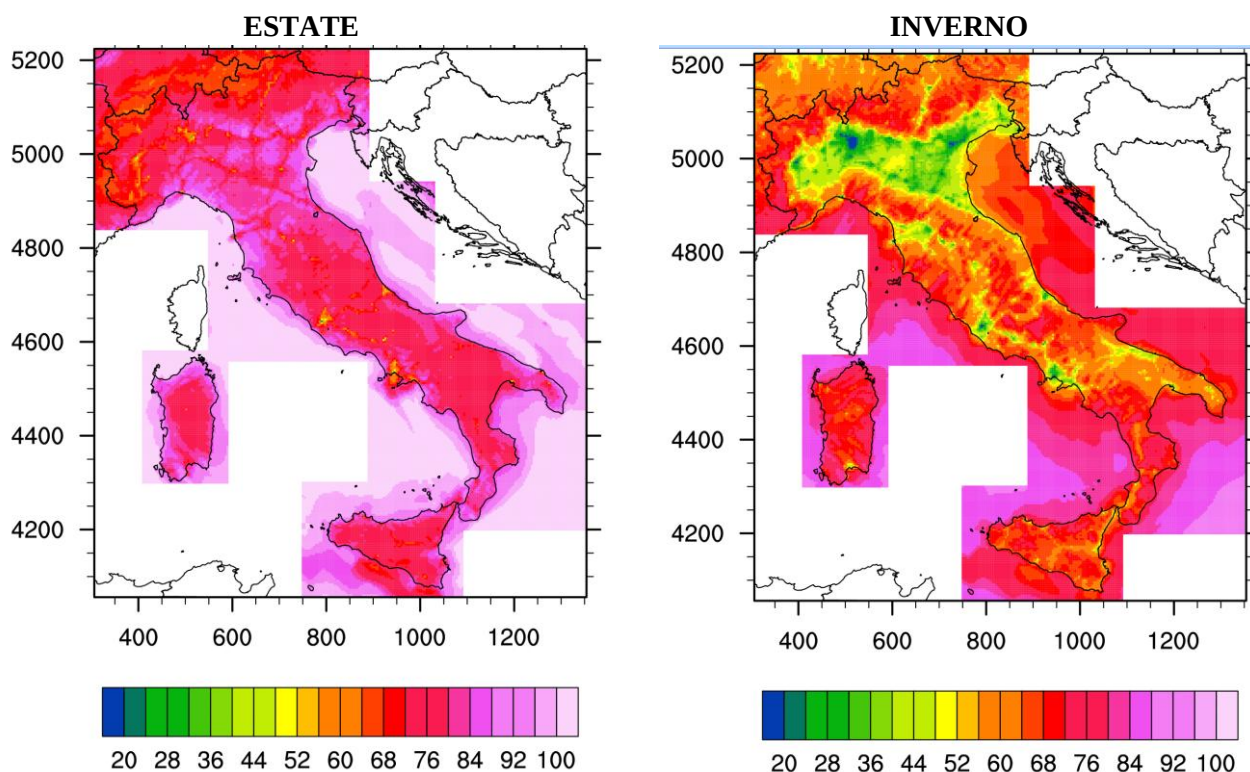


FIGURA 16. CAMPI DI CONCENTRAZIONE DI OZONO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) SIMULATI DA MINNI PER L'ANNO 2005. MEDIA SUI MESI ESTIVI (A SINISTRA) E SUI MESI INVERNALI (A DESTRA).

3.7 Analisi dettagliata della Rappresentatività Spaziale delle stazioni di interesse

L'insieme dei risultati ottenuti e descritti nei precedenti paragrafi (§ 3.1-3.6) ha consentito di definire i limiti e le condizioni ottimali di applicabilità di questa metodologia, basata sullo studio dell'evoluzione temporale dei campi di concentrazione.

Dal paragrafo 3.2 è emerso che, utilizzando come dati di input i campi di concentrazione MINNI a 4 km di risoluzione, le condizioni ottimali di applicabilità della metodologia limitano uno studio approfondito di rappresentatività per il PM2.5 ai soli siti di fondo rurale. Nell'ambito dei casi studiati la metodologia appare quindi adatta ai 3 siti di fondo rurale di misura del materiale particolato PM2.5 e ai 9 siti di fondo rurale di misura dell'ozono (elencati in Tabella 3).

LOCALIZZAZIONE	DENOMINAZIONE	CODICE	X	Y	TIPO	ZONA	INQUINANTE
Dernice (AL)	Dernice Costa	100614	504170	4956650	fondo	rurale	O ₃
Schivenoglia (MN)	Schivenoglia	302072	663579	4986921	fondo	rurale	PM2.5, O ₃
Mezzolombardo (TN)	Piana Rotaliana	402212	663059	5118088	fondo	rurale	O ₃
Molinella (BO)	San Pietro Capofiume	803717	708042	4947786	fondo	rurale	O ₃
Chitignano (AR)	AR_Casa Stabbi	905108	733911	4838161	fondo	rurale	O ₃
Ascoli Piceno	Ripatransone	1104411	890094	4771057	fondo	rurale	PM2.5
Roma	Castel di Guido	1205803	770990	4642661	fondo	rurale	O ₃
Guardiaregia (CB)	Guardiaregia	1407075	961843	4600017	fondo	rurale	O ₃
Monte Sant'Angelo (FG)	Monte Sant'Angelo	1607175	1078340	4635994	fondo	rurale	O ₃
Lecce	Santa Maria Cerrate	1607576	1273385	4518735	fondo	rurale	PM2.5
Seulo (CA)	CENSE0	2009239	518568	4410493	fondo	rurale	O ₃

TABELLA 3. ELENCO DELLE STAZIONI SPECIALI DI FONDO RURALE PER LA MISURA DELL'OZONO E DEL MATERIALE PARTICOLATO.

Per tutti i siti elencati in Tabella 3, tenendo conto della variabilità emersa da tutti i confronti effettuati, verrà presentato nel dettaglio lo studio della rappresentatività spaziale, in cui le statistiche temporali sono gli indicatori di legge di ciascun inquinante, ossia le medie giornaliere per il PM_{2.5} e i massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore per l'ozono (vedi § 3.3). Inoltre, come miglior stima della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ verrà presentata quella ottenuta dal confronto delle serie temporali sull'insieme delle tre annualità a disposizione (vedi § 3.4). Tale scelta infatti consente di mediare soprattutto sulla variabilità meteorologica, il cui effetto è risultato essere più importante rispetto alla variabilità emissiva. La stima così ottenuta, basata sui dati di inventario ISPRA rappresenta comunque una valutazione conservativa rispetto alla stima basata sugli scenari GAINS, che porta generalmente a prevedere aree di rappresentatività più estese, soprattutto per l'anno di scenario 2015 (vedi §3.5).

Verrà presentata la rappresentatività stimata su base annuale; questa risulta conservativa rispetto alla stima basata sui valori estivi, mentre si deve considerare che aree di rappresentatività più limitate sono generalmente previste per l'inverno (vedi § 3.6).

Per tutti i siti elencati in Tabella 3, le funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ calcolate secondo le impostazioni sopra descritte, sono state visualizzate e strutturate in ambiente GIS, integrandole con altri strati informativi del territorio:

- ✓ Cartografia di base: rete stradale principale, reticolo idrografico con corsi d'acqua classificati fino al sesto ordine, aree urbanizzate, limiti amministrativi di regioni, province e comuni.
- ✓ CORINE Land Cover: copertura del territorio aggiornata al 2006 dal progetto CORINE che include sia gli aspetti naturali sia quelli antropici.
- ✓ Orografia: Modello Digitale del Terreno da SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, 2000) con risoluzione di cella a 90 metri, tematismo derivato sull'illuminazione dei versanti.
- ✓ Sorgenti emissive puntuali: inventario ISPRA 2005, con georeferenziazione dei principali insediamenti emissivi nazionali e informazioni sulle quantità emesse nel 2005 per singoli inquinanti.

La rappresentazione spaziale e la gestione sinergica di tutti gli elementi raccolti ed elaborati hanno permesso una analisi più approfondita dei risultati e una loro interpretazione alla luce del contesto territoriale. Le elaborazioni effettuate rispettivamente per PM_{2.5} e per ozono vengono presentate nei prossimi paragrafi § 3.7.1 e § 3.7.2.

3.7.1 Rappresentatività spaziale dei siti di fondo rurale per la misura del PM_{2.5}

In Figura 17, Figura 18 e Figura 19 sono presentati gli studi di rappresentatività spaziale per i tre siti di fondo rurale selezionati per la misura del materiale particolato PM_{2.5}. Le funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$, calcolate confrontando le serie delle medie giornaliere sulle tre annualità a disposizione (2003-2005-2007), sono state visualizzate integrandole con alcuni significativi strati informativi del territorio: a parte i limiti amministrativi regionali, si è scelto di rappresentare le maggiori arterie stradali (autostrade e strade extra-urbane), le aree urbane più estese (con area > 10 km²) e le principali sorgenti emissive puntuali, rappresentate nelle figure da un punto marrone con diametro proporzionale alle emissioni primarie di PM_{2.5}.

La visualizzazione integrata delle funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ ha consentito un'analisi dettagliata non solo delle dimensioni ma anche della forma dell'area di verifica della condizione $f_{\text{sito}}(x,y) > 0.9$ (rappresentata nelle figure dalle quattro classi in scala di rosa). Pertanto in seguito, più che fornire il solo dato quantitativo (facilmente deducibile dalle mappe presentate) dell'area di rappresentatività, verrà descritta in dettaglio l'analisi dei risultati ottenuti in relazione alla collocazione geografica della stazione e alle caratteristiche del territorio circostante.

In Figura 17 è presentata l'analisi per il sito di Schivenoglia. L'area di rappresentatività ($f_{\text{sito}}(x,y) > 0.9$) ha una estensione orizzontale massima di 44 km e verticale di 20 km e il sito è approssimativamente al centro di tale area. All'interno dell'area, circa 7 km a Nord-Est del sito, si segnala la presenza di una sorgente puntuale (la centrale di Ostiglia) caratterizzata comunque da valori emissivi (circa 30 ton/anno) non particolarmente elevati rispetto ai massimi dell'inventario, e che comunque non determinano significativi gradienti di concentrazione. Il sito è sufficientemente distante dalle grosse aree urbanizzate; le più vicine, Mantova e Legnago, sono distanti circa 25 km, rispettivamente a Nord-Ovest e a Nord-Est. In particolare, in corrispondenza dell'area urbanizzata di Mantova e delle sorgenti puntuali presenti nella stessa zona, si osserva una significativa diminuzione dei valori della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ (un "buco" con valori minori di 0.6, all'interno di un'area caratterizzata dalla fascia $0.6 < f_{\text{sito}}(x,y) < 0.8$). Complessivamente l'analisi della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ per Schivenoglia ha evidenziato un'area di rappresentatività sufficientemente estesa (44 km x 20 km) e approssimativamente simmetrica rispetto al punto di misura: tali caratteristiche fanno di Schivenoglia un stazione con proprietà di rappresentatività spaziale perfettamente in linea con quanto atteso per un sito di fondo rurale di misura del PM2.5. Ad esempio, in Balaguer and Denby (2012), per una stazione di fondo rurale è stato proposto un diametro di rappresentatività tra 7 km e 40 km (in media 22 km), relativamente alla misura di PM2.5 su media temporale giornaliera.

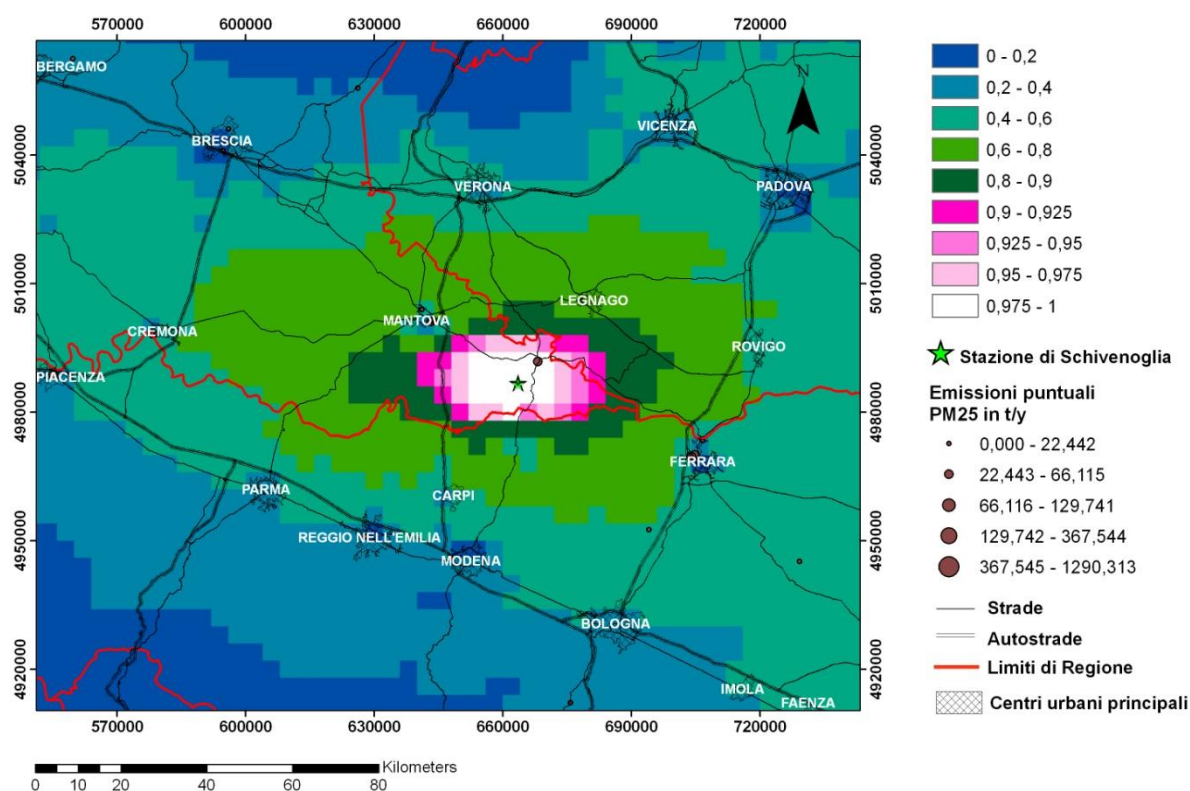


FIGURA 17. FUNZIONE $F_{\text{SITO}}(X,Y)$ RELATIVA ALLA MISURA DI PM2.5 NEL SITO DI SCHIVENOGLIA. IN ROSSO I CONFINI REGIONALI, IN NERO LA RETE STRADALE, IN GIALLO LA RETE AUTOSTRADALE, IN RETINATO LE MAGGIORI AREE URBANIZZATE, IN MARRONE LE SORGENTI EMISSIVE PUNTUALI.

In Figura 18 è presentata l'analisi per il sito di Ripatransone. L'area di rappresentatività appare in questo caso asimmetrica rispetto al sito. In particolare è limitata a Est dalla linea di costa, lungo la quale è presente, a meno di 10 km dal sito, l'Autostrada Adriatica. Complessivamente l'area di rappresentatività orizzontale è di appena due celle della griglia MINNI, ossia 8 km. Le dimensioni dell'area sono maggiori in verticale (20 km) soprattutto a Nord e in particolare nella direzione Nord-Ovest; a Sud invece essa appare limitata dalla Strada Statale Salaria. A parte la rete stradale, non sono comunque presenti nella vicinanze altre significative fonti di emissioni: non vi sono grosse sorgenti puntuali e l'unica grande area urbanizzata della zona è Ascoli Piceno, circa 20 km a Sud-Ovest. I gradienti di concentrazione riscontrabili nella zona e responsabili della forma asimmetrica dell'area di rappresentatività sono attribuibili soprattutto alle peculiarità topografiche del sito, collocato tra la costa a Est e la dorsale appenninica a Ovest. La funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$, con la sua forma asimmetrica e in particolare con il suo andamento parallelo alla linea di costa, mantiene infatti le stesse features anche al variare della statistica temporale utilizzata per il confronto (Figura 4, al centro), delle stagioni (Figura 12, al centro) e anche delle condizioni meteorologiche e/o emissive (le cui mappe sono a disposizione, anche se non sono state inserite nel documento per brevità). Complessivamente il sito presenta, da questo studio, un'area di rappresentatività (8 km x 20 km) che può essere ritenuto appena sufficiente rispetto a quanto atteso per un sito di fondo rurale per la misura di PM2.5.

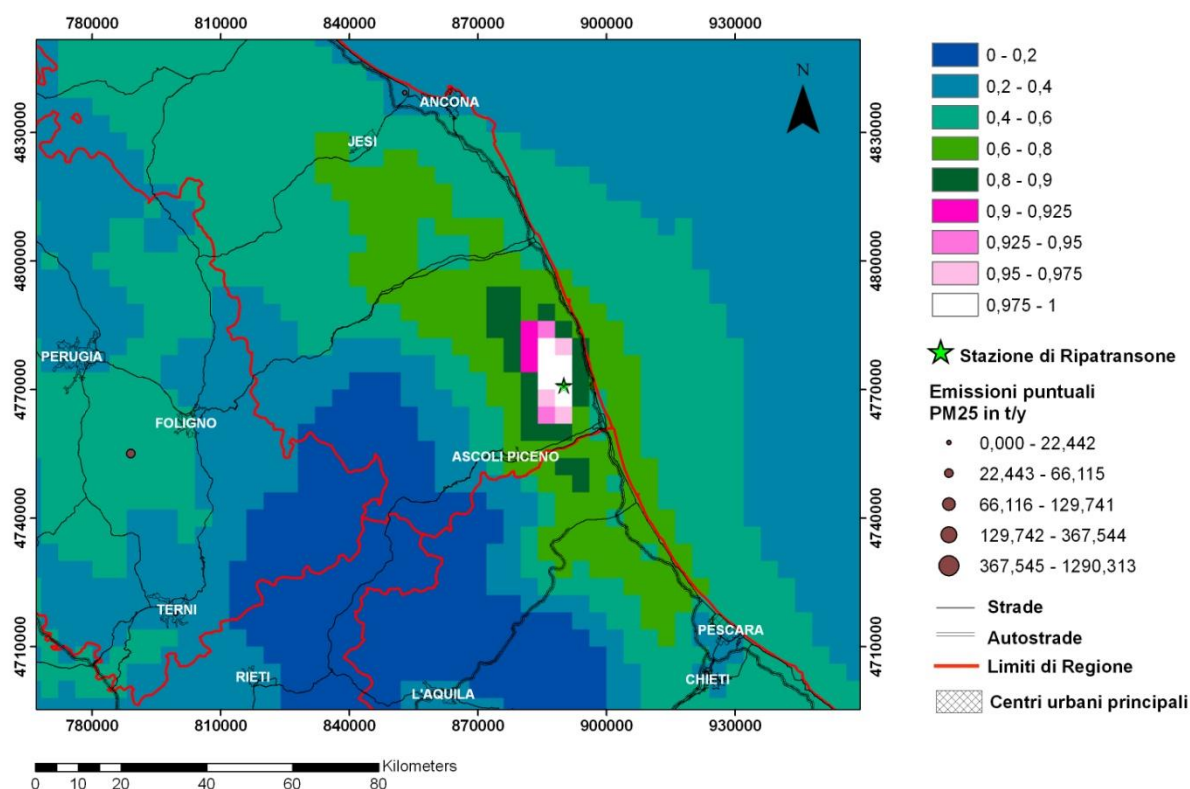


FIGURA 18. FUNZIONE $F_{\text{SITO}}(X,Y)$ RELATIVA ALLA MISURA DI PM2.5 NEL SITO DI RIPATRANSONE. GLI STRATI INFORMATIVI SONO ILLUSTRATI NELLA DIDASCALIA DI FIGURA 17.

In Figura 19 è presentata l'analisi di rappresentatività per il sito di Santa Maria Cerrate. A parte la cella di appartenenza del sito, la condizione $f_{\text{sito}}(x,y) > 0.9$ appare soddisfatta solo in un'altra cella a Nord-Ovest. Presenta un'estensione molto limitata anche l'area caratterizzata da valori medio-alti della funzione di frequenza ($0.8 < f_{\text{sito}}(x,y) < 0.9$). Il sito appare infatti circondato da importanti sorgenti emissive: a Nord-Ovest sono presenti, nell'area di Brindisi, diverse sorgenti puntuali (delle quali la più vicina, una centrale dell'ENEL, è a circa 15 km di distanza e presenta valori emissivi non trascurabili, dell'ordine di 200 ton/anno); a Ovest, a circa 3 km, corre la Strada Statale Brindisi-Lecce; infine a Sud-Est, a circa 12 km di distanza, si trova l'area urbanizzata di Lecce (il cui effetto nel limitare l'area di rappresentatività è particolarmente evidente nella stagione invernale, come già si è osservato al § 3.6). Inoltre a Est l'area di rappresentatività è limitata a circa 4 km dalla linea di costa. Complessivamente il sito presenta, secondo i risultati di questo studio, un'area di rappresentatività inadeguata per un sito di fondo rurale di misura del PM2.5. Si può comunque tenere conto che, rispetto ad un'analisi condotta sulle serie temporali annuali, valori più elevati della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$, e una conseguente maggiore estensione dell'area di rappresentatività, sono previsti per la stagione estiva (Figura 12 in basso a sinistra).

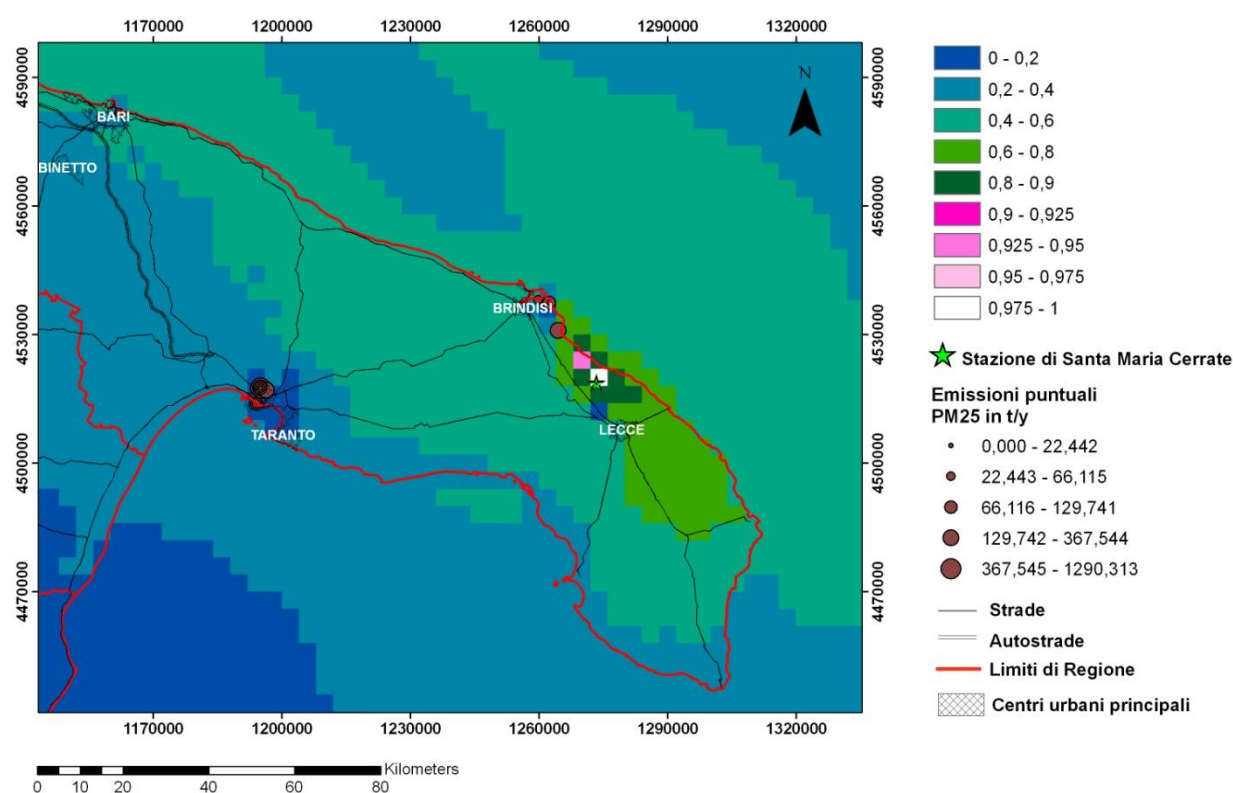


FIGURA 19. FUNZIONE $F_{\text{SITO}}(X,Y)$ RELATIVA ALLA MISURA DI PM2.5 NEL SITO DI SANTA MARIA CERRATE. GLI STRATI INFORMATIVI SONO ILLUSTRATI NELLA DIDASCALIA DI FIGURA 17.

3.7.2 Rappresentatività spaziale dei siti di fondo rurale per la misura dell'ozono

Vengono presentate di seguito le analisi di rappresentatività spaziale delle 9 stazioni di fondo rurale selezionate per la misura dell'ozono. Le funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$, calcolate confrontando sulle tre annualità a disposizione (2003-2005-2007) le serie dei massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore, vengono presentate con la stessa scala di colori utilizzata per il PM2.5 (§ 3.7.1), identificando in particolare l'area di verifica della condizione $f_{\text{sito}}(x,y) > 0.9$ con le stesse quattro classi in scala di rosa. Le funzioni sono state integrate con i medesimi strati informativi del territorio, ad eccezione delle sorgenti emissive puntuali rappresentate in questo caso con diametro proporzionale alle emissioni di NO_x .

Anche in questo caso, nelle discussioni che seguono si può tenere, come riferimento, quanto emerso da Balaguer and Denby (2012), che propongono per la misura dell'ozono (media mobile su 8 ore) per un sito di fondo rurale un diametro di rappresentatività tra 10 km e 100 km (in media 35 km).

In Figura 20 è presentata l'analisi della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ per il sito di Dernice Costa. L'area di rappresentatività ($f_{\text{sito}}(x,y) > 0.9$) presenta una forma molto irregolare, più estesa a Est che a Ovest, dove in particolare se ne osserva una interruzione in corrispondenza dell'Autostrada A7 (Milano-Genova). Ancora un'autostrada, la A21 (Torino-Piacenza), delimita una riduzione dei valori della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ verso Nord. L'area di rappresentatività si presenta invece molto estesa verso Est dove arriva a comprendere gran parte del sud della provincia di Piacenza. Si osserva però un'interruzione della continuità di questa zona nella regione di confine tra Piemonte, Emilia Romagna e Liguria; tale interruzione non sembra essere dovuta alla presenza di particolari fonti emissive ed è probabilmente attribuibile alla complessità orografica di questa area geografica. Limitandosi alla zona più vicina al sito di Dernice Costa si può identificare un'estensione orizzontale massima dell'area di rappresentatività di 24 km e un'estensione verticale massima di 40 km; si può inoltre notare che muovendosi dal sito la direzione massima di estensione dell'area di rappresentatività è verso Nord-Est (dove il punto appartenente all'area è più distante dal sito è a circa 30 km). Complessivamente, tenuto conto che il confronto è stato effettuato sulla serie dei massimi giornalieri delle medie mobili su 8 ore, l'estensione dell'area di rappresentatività del sito di Dernice Costa è il minimo che ci si possa attendere da una stazione di fondo rurale per la misura dell'ozono.

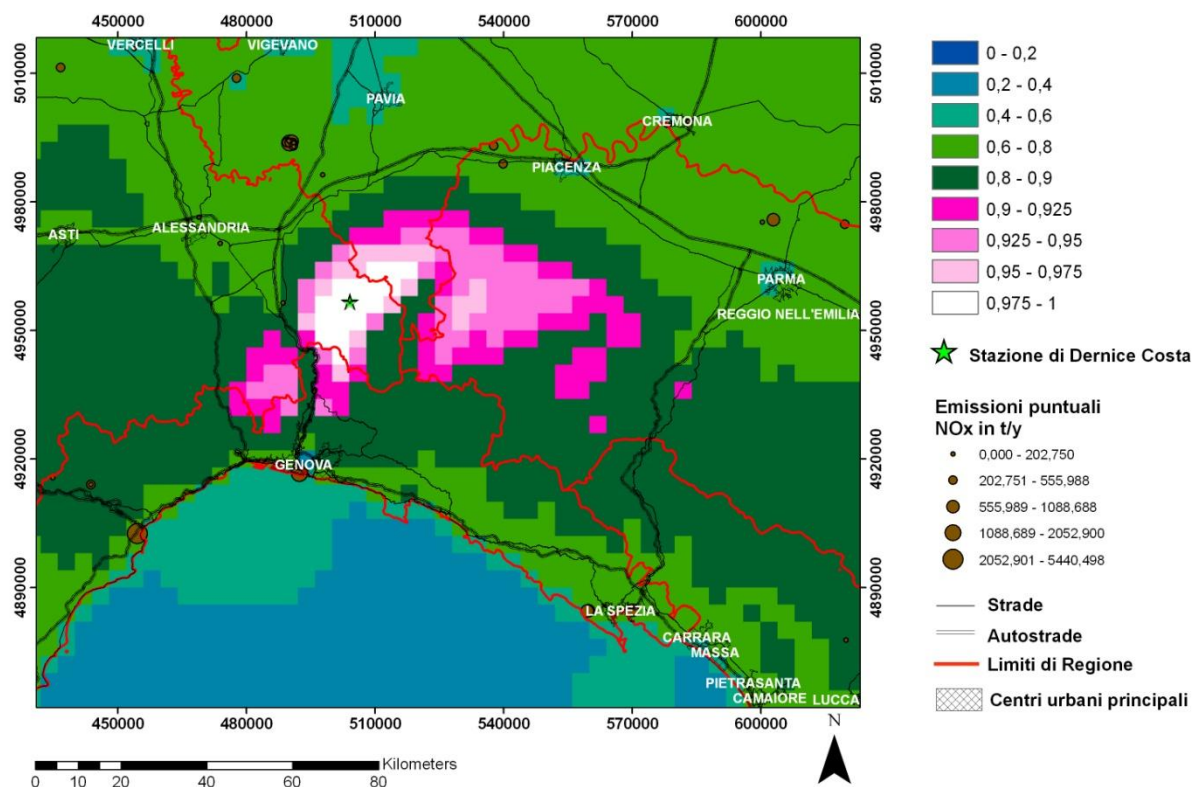


FIGURA 20. FUNZIONE $F_{\text{SITO}}(X,Y)$ RELATIVA ALLA MISURA DI OZONO NEL SITO DI DERNICE COSTA. GLI STRATI INFORMATIVI SONO ILLUSTRATI NELLA DIDASCALIA DI FIGURA 17.

In Figura 21 è presentata l'analisi per il sito di Schivenoglia. L'area di rappresentatività appare in questo caso abbastanza simmetrica rispetto al sito, anche se presenta complessivamente una forma più regolare verso Est. Le sorgenti puntuali di NO_x presenti nell'area (delle quali la centrale di Sermide, situata circa 15 km a sud-Est, risulta avere i massimi valori emissivi, dell'ordine di 700 ton/anno) non sembrano influire particolarmente sulle condizioni di rappresentatività, che invece risultano fortemente influenzate dalla presenza delle strade: l'Autostrada A22 (Brennero-Modena) determina a Ovest un restringimento dell'area di rappresentatività, la Strada Statale SS10 limita l'area a Nord, mentre l'Autostrada A13 (Bologna-Padova) la limita a Est. Anche i grossi centri urbanizzati fungono da limiti dell'area di rappresentatività o comunque identificano minimi locali della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ (particolarmente evidente è ad esempio il minimo riscontrabile nell'area urbanizzata di Ferrara, con il contiguo polo chimico-industriale). Complessivamente l'area di rappresentatività appare sufficientemente estesa, con dimensioni massime rispettivamente di 88 km in direzione Est-Ovest e di 52 km in direzione Nord-Sud. Il sito di Schivenoglia presenta quindi anche per l'ozono, come già per il PM2.5 (§ 3.7.1) proprietà di rappresentatività spaziale ben rispondenti con quanto atteso per un sito di fondo rurale.

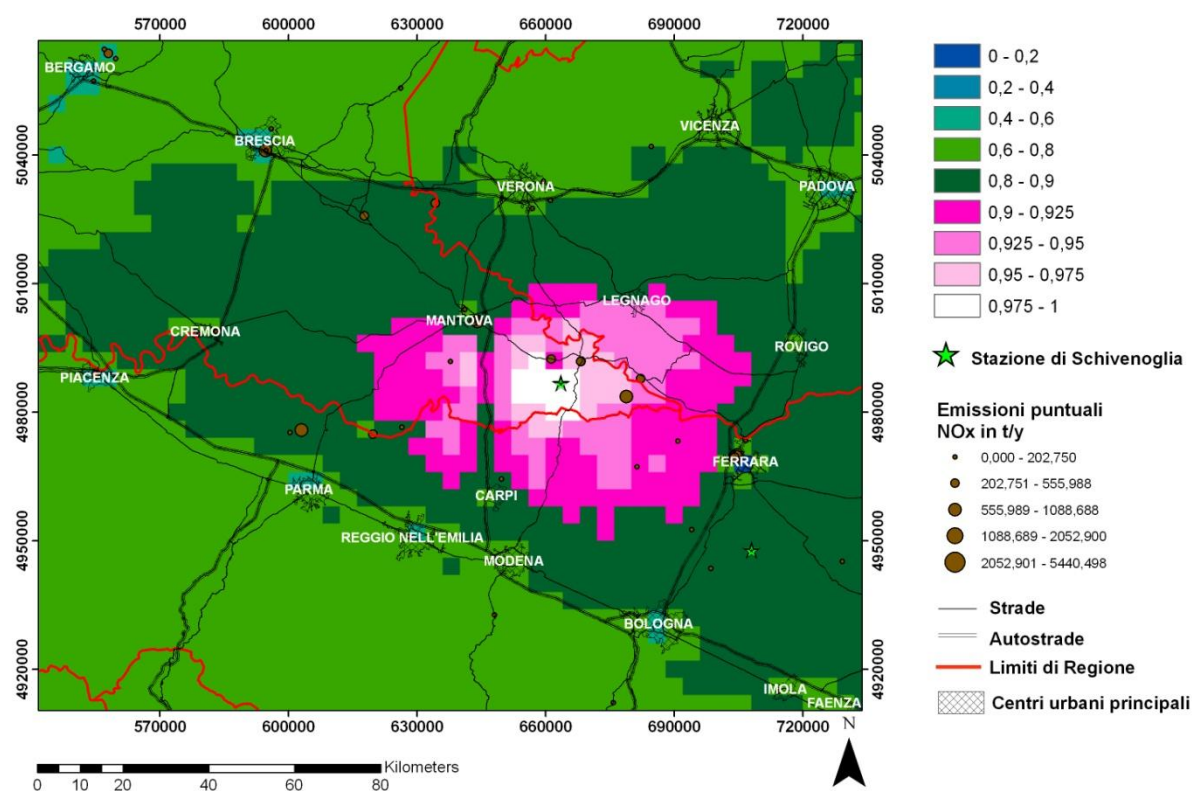


FIGURA 21. FUNZIONE $F_{\text{SITO}}(X,Y)$ RELATIVA ALLA MISURA DI OZONO NEL SITO DI SCHIVENOGLIA. GLI STRATI INFORMATIVI SONO ILLUSTRATI NELLA DIDASCALIA DI FIGURA 17.

In Figura 22 è presentata l'analisi della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ per il sito di Piana Rotaliana. L'area di rappresentatività presenta una forma decisamente irregolare, determinata da un lato dall'estrema complessità orografica della zona e dall'altro dalla presenza delle strade. I due effetti si sovrappongono e si amplificano a vicenda dato che in una regione così complessa la rete stradale e autostradale segue ovviamente il percorso delle valli principali. In particolare si può osservare come l'area di rappresentatività del sito si snodi lungo la valle dell'Adige, mantenendosi generalmente ad Ovest rispetto al percorso dell'Autostrada A22 (Brennero-Modena). Inoltre, mentre nella zona non sono presenti significative sorgenti emmissive puntuali, la presenza delle aree urbanizzate sembra avere un effetto non trascurabile sulla rappresentatività: sono ben visibili in figura i "buchi" di rappresentatività associati alle due aree di Trento e di Bolzano. Limitandosi alla zona più vicina al sito di Piana Rotaliana si può identificare un'area di rappresentatività con dimensioni massime rispettivamente di 16 km in direzione Est-Ovest e di 24 km in direzione Nord-Sud; muovendosi invece lungo la valle e seguendo verso Sud-Ovest la direzione di massima estensione dell'area di rappresentatività si può osservare che il punto più distante appartenente all'area è a circa 40 km dal sito. Complessivamente, a motivo soprattutto della complessità orografica, l'estensione dell'area di rappresentatività del sito di Piana Rotaliana è il minimo che ci si possa attendere da una stazione di fondo rurale per la misura dell'ozono.

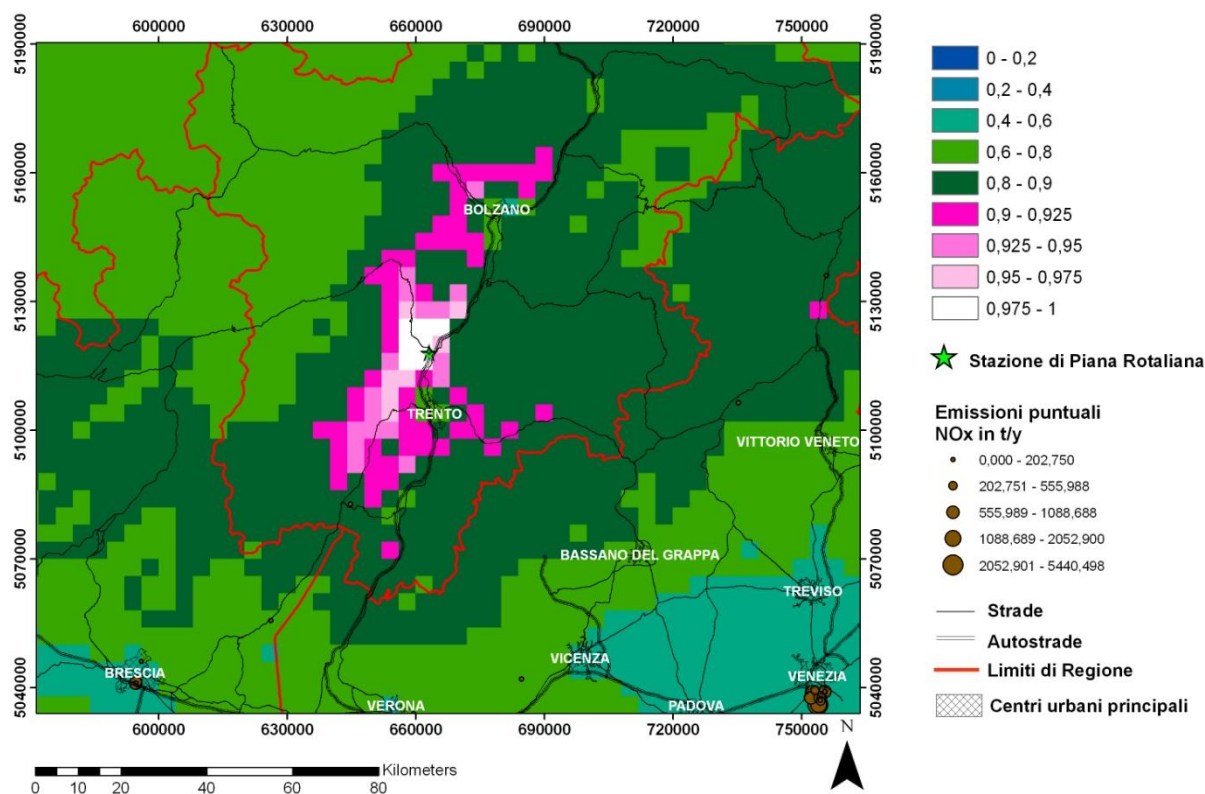


FIGURA 22. FUNZIONE $F_{\text{sito}}(X,Y)$ RELATIVA ALLA MISURA DI OZONO NEL SITO DI PIANA ROTALIANA. GLI STRATI INFORMATIVI SONO ILLUSTRATI NELLA DIDASCALIA DI FIGURA 17.

In Figura 23 è presentata l'analisi per il sito di San Pietro Capofiume. La forma dell'area di rappresentatività appare in questo caso abbastanza regolare anche se non simmetrica rispetto al sito. L'area infatti è delimitata a Sud dalla linea obliqua dell'Autostrada Adriatica A14, lungo la quale si possono osservare, in corrispondenza dei principali centri urbani, minimi locali della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$; è ben visibile in particolare il "buco" di rappresentatività associato all'area di Bologna. L'area urbanizzata di Ferrara, con il contiguo polo chimico-industriale, crea invece un vuoto di rappresentatività a Nord. L'Autostrada A13 (Bologna-Padova) attraversa l'area di rappresentatività, determinandone a Ovest solo un leggero restringimento. Globalmente l'area di rappresentatività appare sufficientemente estesa, con dimensioni massime attorno al sito rispettivamente di 64 km in direzione Est-Ovest e di 36 km in direzione Nord-Sud. Muovendosi invece nella direzione di massima estensione dell'area (parallelamente alla direzione dell'Autostrada Adriatica) i punti più distanti appartenenti all'area (rispettivamente il punto più a Nord-Ovest e il punto più a Sud-Est) sono entrambi a circa 50 km dal sito, portando complessivamente a 100 km l'estensione massima dell'area di rappresentatività in questa direzione. Complessivamente, dall'analisi effettuata, il sito di San Pietro Capofiume presenta proprietà di rappresentatività spaziale ben adeguate con quanto atteso per un sito di fondo rurale.

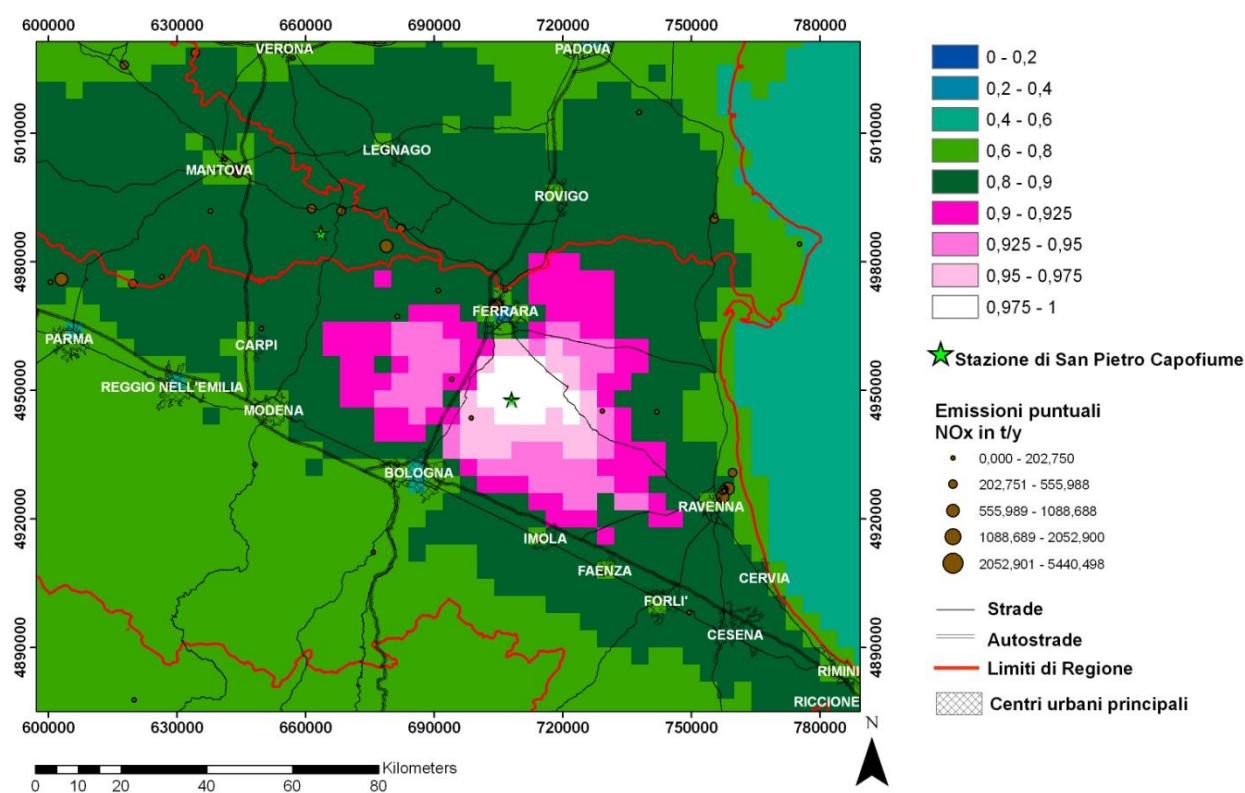


FIGURA 23. FUNZIONE $F_{\text{SITO}}(X,Y)$ RELATIVA ALLA MISURA DI OZONO NEL SITO DI SAN PIETRO CAPOFIUME. GLI STRATI INFORMATIVI SONO ILLUSTRATI NELLA DIDASCALIA DI FIGURA 17.

In Figura 24 è presentata la funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ per il sito di Arezzo Casa Stabbi. L'area caratterizzata dalla verifica della condizione $f_{\text{sito}}(x,y) > 0.9$ comprende gran parte delle celle rappresentate in figura. Come già osservato (§ 3.3) i campi di ozono presentano al Centro e al Sud d'Italia valori mediamente più elevati, accompagnati generalmente anche da minori gradienti (Figura 6). Sono pertanto attese, per i siti del Centro e del Sud, funzioni $f_{\text{sito}}(x,y)$ caratterizzate da valori più elevati e da una maggiore estensione dell'area di rappresentatività. Di tali condizioni, il sito di Arezzo Casa Stabbi rappresenta un chiaro esempio, con ottime proprietà di rappresentatività spaziale, perfettamente adeguate ad un sito di fondo rurale per la misura dell'ozono. I limiti dell'area di rappresentatività appaiono ben definiti a Nord e a Nord-Est (dove seguono la linea della dorsale appenninica), a Ovest (dove a circa 50 km di distanza si trova l'area urbanizzata di Firenze), a Sud-Ovest (lungo l'Autostrada del Sole A1 che corre, nella valle dell'Arno, ad una distanza dal sito tra 25 km e 35 km) e a Sud (dove a circa 20 km si trova l'area urbanizzata di Arezzo). A Sud-Est invece non si può parlare di confini o di un'area limitata ma solo, al più, di "buchi" di rappresentatività: i più vicini, risultano in corrispondenza di due piccoli centri urbani non rappresentati in figura (San Sepolcro e Città di Castello, rispettivamente circa a 20 km e a 30 km dal sito in direzione Sud-Est).

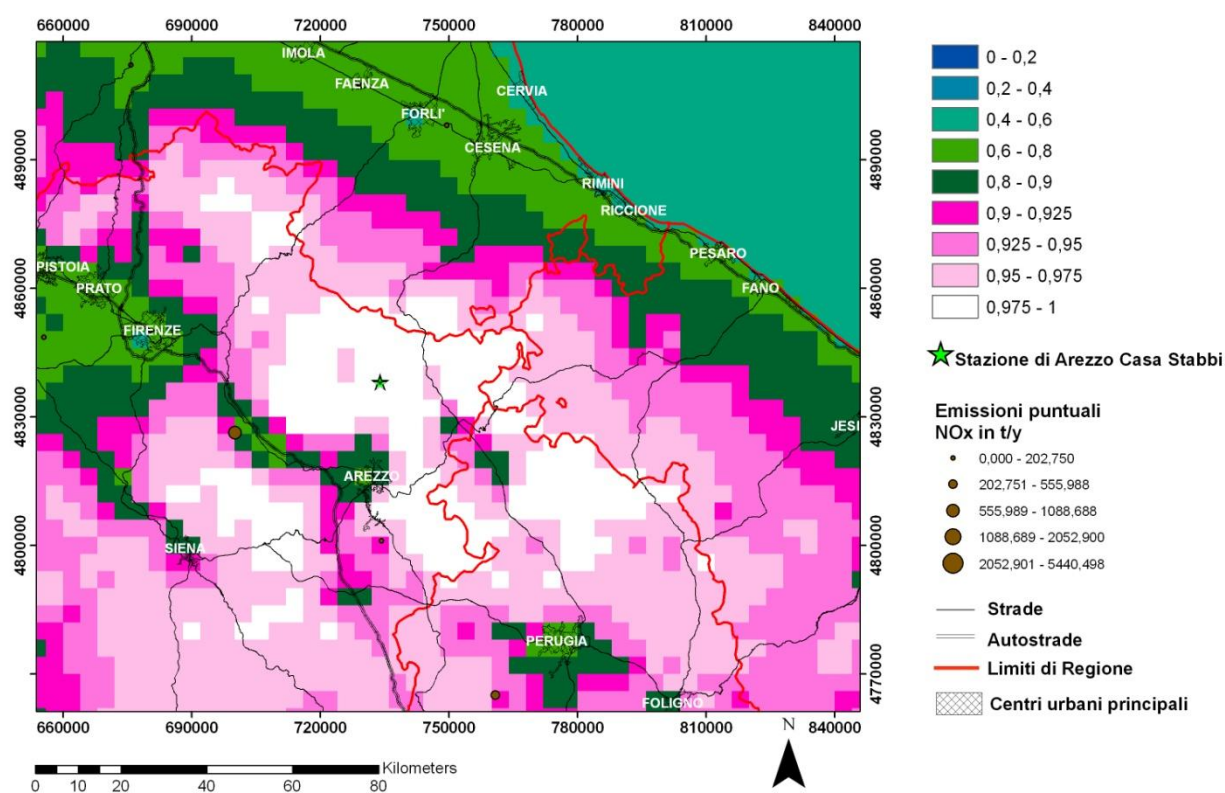


FIGURA 24. FUNZIONE $F_{\text{SITO}}(X,Y)$ RELATIVA ALLA MISURA DI OZONO NEL SITO DI AREZZO CASA STABBI. GLI STRATI INFORMATIVI SONO ILLUSTRATI NELLA DIDASCALIA DI FIGURA 17.

In Figura 25 è presentata l'analisi di rappresentatività per il sito di Castel di Guido. In prossimità del sito l'area di rappresentatività presenta un'estensione limitata sia orizzontalmente sia, in direzione Sud, anche verticalmente; il sito infatti è situato tra la costa, che limita l'area a Ovest e l'area urbanizzata di Roma, che la limita a Est. Inoltre la stazione appare circondata dalla rete autostradale: ad Ovest il sito si trova a poca distanza dalla A12 (Genova-Roma), a Sud corre la A91 (Roma-Fiumicino) e ad Est, a soli 10 km dal sito, passa il Grande Raccordo Anulare. L'area di rappresentatività, chiaramente asimmetrica rispetto al punto di misura, appare quindi tutta sviluppata verso Nord, con la forma dell'area e i "buchi" di rappresentatività che sembrano essere in questa zona legati più alle caratteristiche orografiche che alla presenza di eventuali sorgenti emmissive (fa eccezione a Nord-Est l'Autostrada del Sole A1). Nel complesso, soprattutto a motivo delle fonti emmissive presenti in prossimità del sito, l'estensione dell'area di rappresentatività del sito di Castel di Guido è il minimo che ci si possa attendere e la forma dell'area presenta caratteristiche non ottimali.

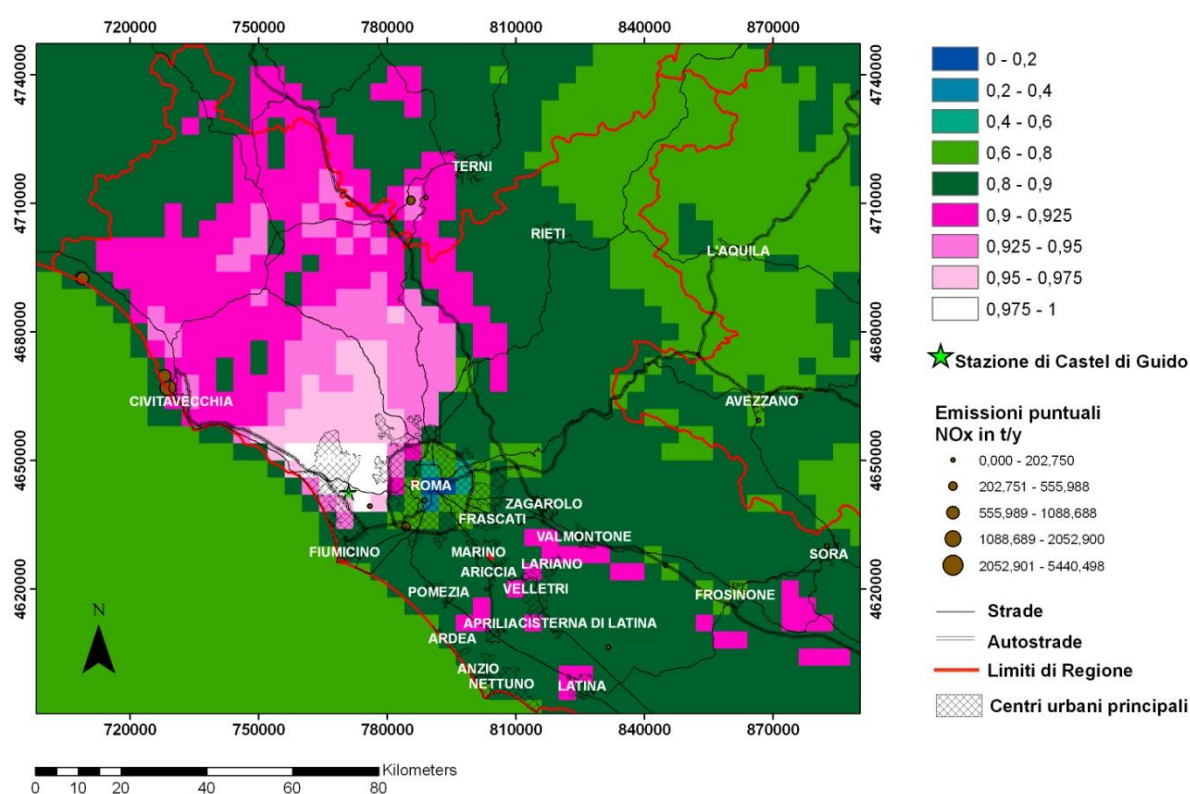


FIGURA 25. FUNZIONE $F_{\text{sito}}(X,Y)$ RELATIVA ALLA MISURA DI OZONO NEL SITO DI CASTEL DI GUIDO. GLI STRATI INFORMATIVI SONO ILLUSTRATI NELLA DIDASCALIA DI FIGURA 17.

In Figura 26 è presentata l'analisi di rappresentatività per il sito di Guardiaregia. Come per il sito di Arezzo Casa Stabbi, l'area caratterizzata dalla verifica della condizione $f_{\text{sito}}(x,y) > 0.9$ comprende gran parte delle celle rappresentate in figura. Il sito presenta pertanto ottime proprietà di rappresentatività spaziale, perfettamente adeguate per una stazione di fondo rurale per la misura dell'ozono. L'area di rappresentatività si estende in zona Appenninica, in un territorio caratterizzato da morfologia collinare, omogeneamente distribuito senza significative variazioni orografiche; l'area di rappresentatività è estesa soprattutto a Nord del sito dove raggiunge quasi la linea della costa Adriatica, seguendo poi verso Nord-Est il percorso dell'Autostrada Adriatica A14. A Nord-Ovest invece si apre un vuoto di rappresentatività in corrispondenza di un tratto dell'Autostrada A25 (Torano-Pescara) in prossimità del quale, a Sulmona, è situata anche una sorgente puntuale. Più vicino al sito, sempre in direzione Nord-Ovest, si osservano altri due "buchi" di rappresentatività, più piccoli (una cella ciascuno), a distanza rispettivamente di circa 25 km e 30 km; l'analisi della copertura del territorio (CORINE 2006, integrata nel progetto GIS, anche se non rappresentata in figura) ha consentito di identificare in corrispondenza di queste due celle rispettivamente le aree industriali di Pettoranello del Molise e Castelpetroso (cella più a Sud) e Sessano del Molise (cella più a Nord). Verso Sud l'area di rappresentatività appare ben delimitata e in particolare si osserva una netta riduzione dei valori della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ che potrebbe essere dovuta all'effetto della zona fortemente urbanizzata dell'intera provincia di Napoli. In misura minore è visibile anche l'effetto associato alla rete autostradale che approssimativamente delimita o restringe l'area di rappresentatività sia a Sud-Ovest (dove scorre l'ultimo tratto dell'Autostrada del Sole A1) sia a Sud-Est (lungo il tratto dell'Autostrada A16, Napoli-Canosa).

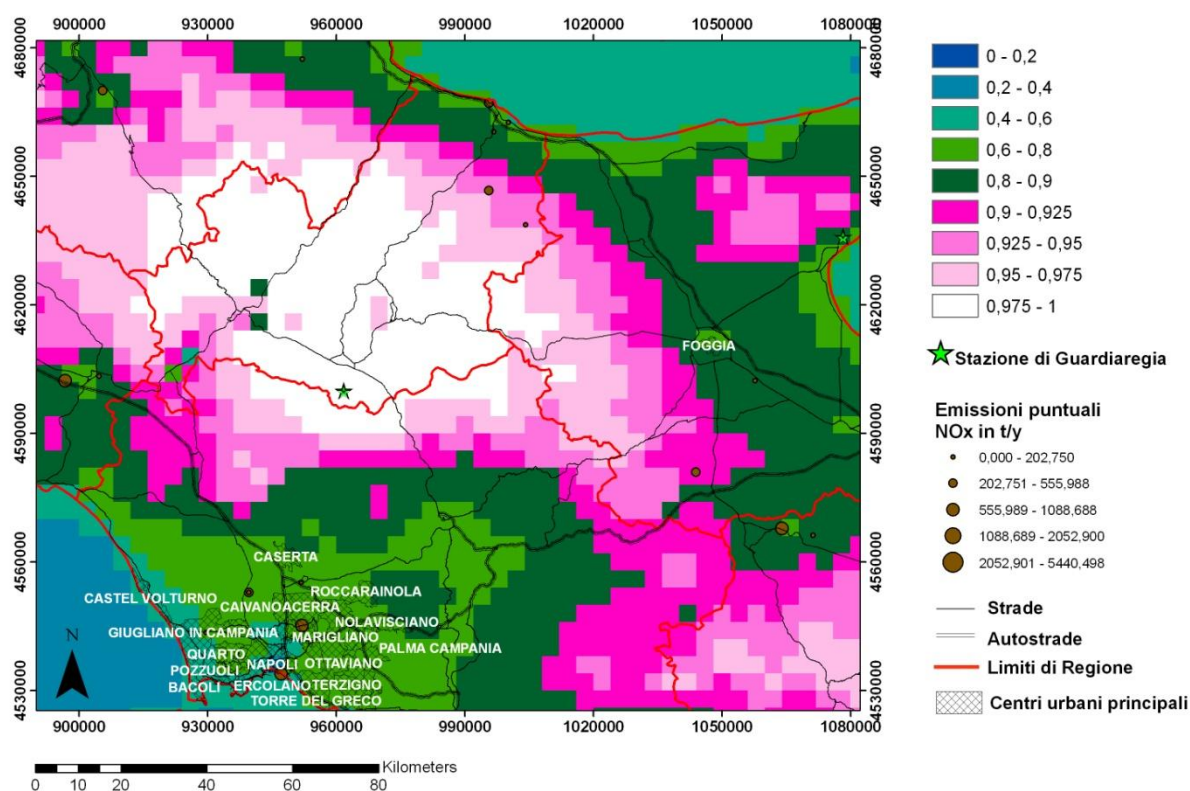


FIGURA 26. FUNZIONE $F_{\text{SITO}}(X,Y)$ RELATIVA ALLA MISURA DI OZONO NEL SITO DI GUARDIAREGIA. GLI STRATI INFORMATIVI SONO ILLUSTRATI NELLA DIDASCALIA DI FIGURA 17.

In Figura 27 è presentata l'analisi della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ per il sito di Monte Sant'Angelo. L'area di rappresentatività comprende anche in questo caso gran parte delle celle del dominio e pare delimitata essenzialmente da limiti geografici: la linea di costa e, a Sud, la zona appenninica. Interruzioni dell'area di rappresentatività o comunque minimi locali della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ si osservano in corrispondenza dei tratti autostradali dell'Autostrada Adriatica A14 e dell'Autostrada A16, Napoli-Canosa. Altri "buchi" di rappresentatività si osservano in corrispondenza dell'area urbanizzata di Foggia e delle sorgenti puntuali situate nel comune di Melfi. Complessivamente la stazione, pur essendo collocata in prossimità della costa (il che limita il raggio di rappresentatività in questa direzione) presenta ottime proprietà di rappresentatività spaziale, perfettamente adeguate con quanto atteso per una stazione di fondo rurale per la misura dell'ozono.

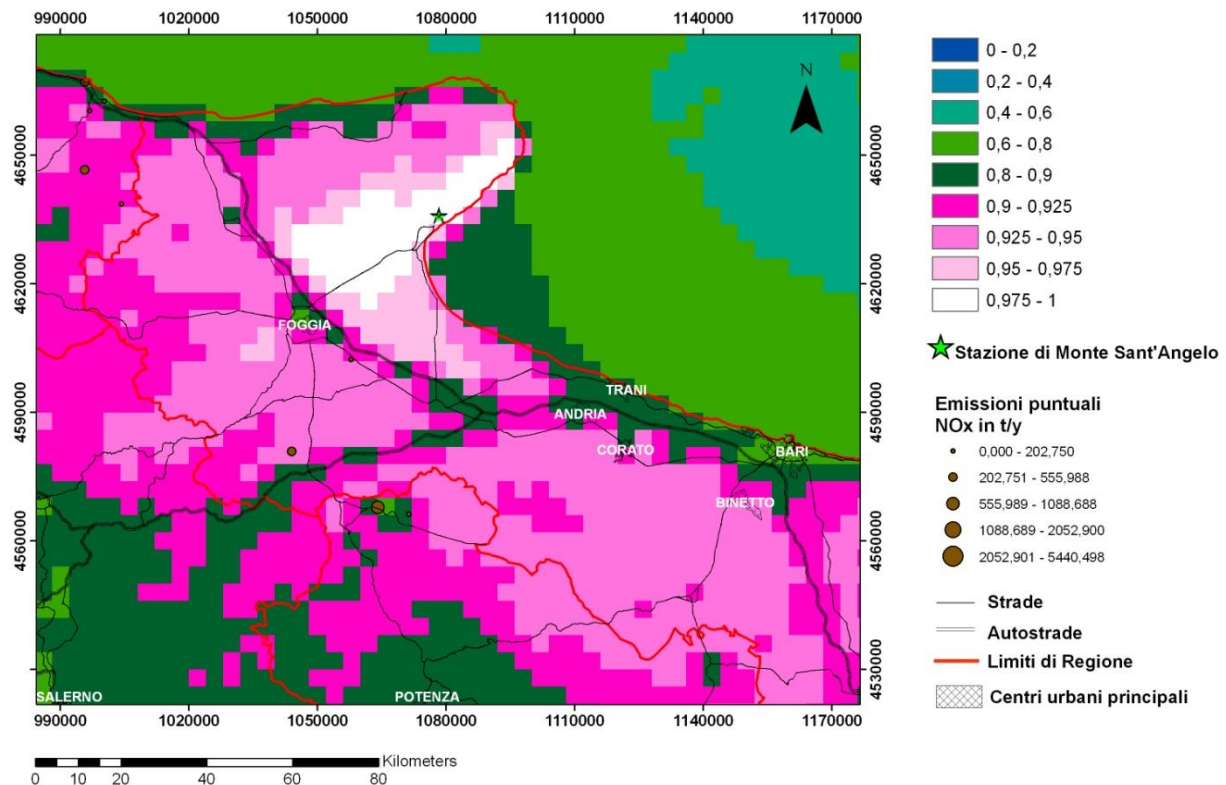


FIGURA 27. FUNZIONE $F_{\text{SITO}}(X,Y)$ RELATIVA ALLA MISURA DI OZONO NEL SITO DI MONTE SANT'ANGELO. GLI STRATI INFORMATIVI SONO ILLUSTRATI NELLA DIDASCALIA DI FIGURA 17.

In Figura 28 è presentata infine l'analisi della funzione $f_{\text{sito}}(x,y)$ per il sito di CENSE0, in Sardegna. L'area di rappresentatività comprende gran parte del territorio regionale, con valori della funzione che fondamentalmente diminuiscono solo in prossimità delle linee di costa. Una delle poche eccezioni riguarda il limite Sud-Ovest, che segue il percorso della Strada Statale SS131. Si osserva inoltre un "buco" di rappresentatività a Nord, in corrispondenza in una sorgente puntuale situata nel comune di Ottana. La stazione presenta globalmente ottime proprietà di rappresentatività spaziale, perfettamente adeguate a quanto atteso per una stazione di fondo rurale per la misura dell'ozono.

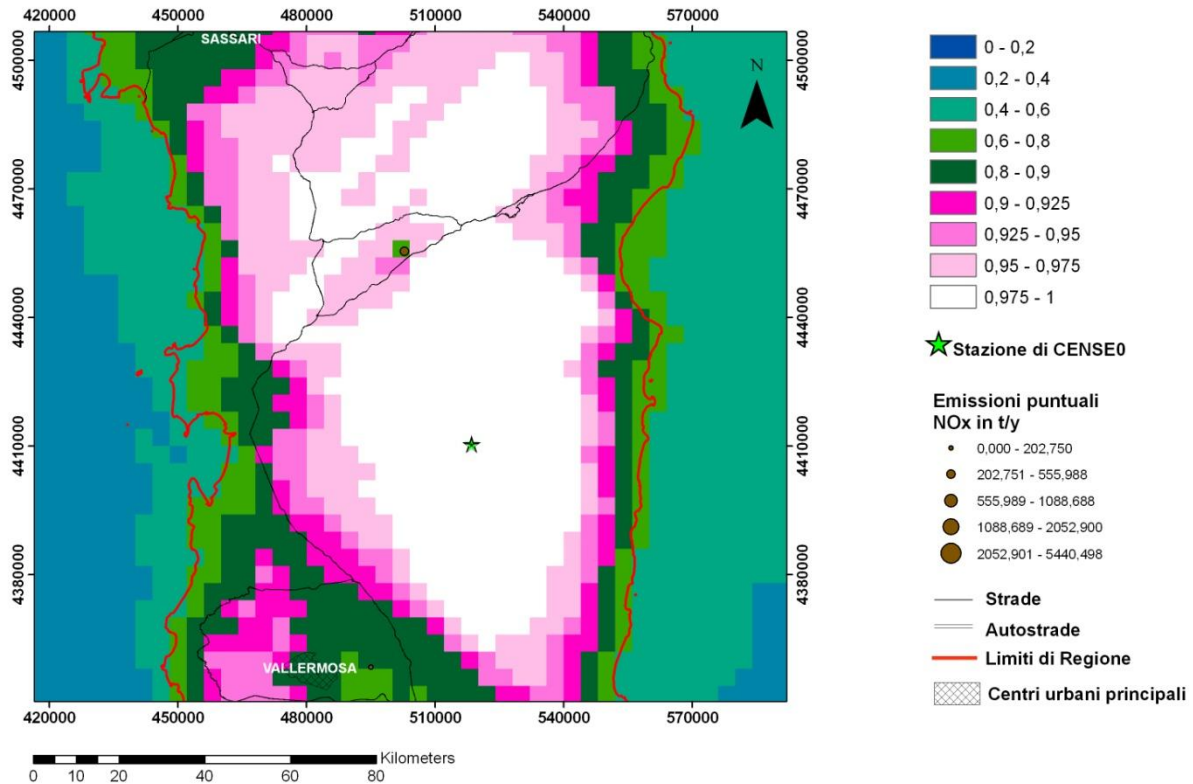


FIGURA 28. FUNZIONE $F_{\text{SITO}}(X,Y)$ RELATIVA ALLA MISURA DI OZONO NEL SITO DI CENSE0. GLI STRATI INFORMATIVI SONO ILLUSTRATI NELLA DIDASCALIA DI FIGURA 17.

4 CONCLUSIONI

Nella presente relazione è stato presentato uno studio di rappresentatività spaziale di stazioni di misura dell'inquinamento atmosferico basato sull'analisi dell'evoluzione temporale di campi di concentrazione. In particolare i campi 4D di concentrazione (campi 3D nella loro evoluzione temporale), necessari per le analisi, sono stati messi a disposizione dal Modello Nazionale MINNI che fornisce, su tutto il territorio nazionale e su base annuale, campi di concentrazione a risoluzione spaziale di 4km e con passo temporale orario.

La metodologia proposta, basandosi sul confronto diretto dei valori di concentrazione, è particolarmente adatta a trattare la rappresentatività di siti di misura di inquinanti secondari e, pertanto, si è scelto di valutarne i limiti e le potenzialità testandola sull'analisi di rappresentatività dei siti della Rete delle Stazioni Speciali selezionati per la misura dell'ozono e della speciazione chimica del materiale particolato.

L'estrema flessibilità della procedura sviluppata ha consentito di ripetere, per lo stesso sito, le analisi variando le basi dati e/o le configurazioni di input. L'insieme dei risultati a disposizione ha fornito quindi non solo uno studio della rappresentatività spaziale di tutti i siti di interesse, ma anche una valutazione della variabilità di tale stima al variare dell'inquinante studiato, della tipologia della stazione, e, a parità di inquinante e stazione, al variare delle condizioni di analisi: statistica temporale utilizzata per il confronto, effetto della variabilità meteorologica e della variabilità emissiva, stagionalità.

Lo studio ha confermato alcuni risultati attesi, perché noti dalla letteratura. Ad esempio, nell'unico sito selezionato sia per la misura della composizione chimica del materiale particolato sia per la misura dell'ozono, si è verificato che la misura dell'ozono è caratterizzata da un'area di rappresentatività più vasta rispetto a quella del materiale particolato. Inoltre, relativamente ai siti di misura del materiale particolato PM_{2.5}, per il quale sono stati previsti nell'ambito della Rete delle Stazioni Speciali siti di diversa tipologia, le analisi effettuate hanno confermato come la rappresentatività spaziale dipenda dalla tipologia della stazione. In particolare l'area di rappresentatività diminuisce passando da siti rurali a siti urbani e, nell'ambito di questi ultimi, passando da siti di fondo a siti industriali o di traffico. Anche se, per lo studio della rappresentatività spaziale dei siti della Rete delle Stazioni Speciali, è parso opportuno scegliere come statistiche temporali da utilizzare nei confronti, i rispettivi indicatori di legge di ciascun inquinante, è stato effettuato anche uno studio della variabilità della rappresentatività spaziale al variare dell'indicatore temporale utilizzato per il confronto. Le valutazioni effettuate hanno confermato che minore è il periodo temporale su cui sono mediati i dati, maggiore è la variabilità nelle serie temporali e minore quindi la rappresentatività spaziale stimata.

La disponibilità di campi di concentrazione per diverse intere annualità ha consentito inoltre di effettuare altre interessanti analisi, meno frequenti in letteratura. Ad esempio, disponendo dei campi di concentrazione prodotti da MINNI per diverse annualità (campi meteorologici e totali emissivi nazionali), è stato possibile valutare la variabilità della rappresentatività spaziale al variare delle condizioni meteorologiche ed emissive. Dai risultati ottenuti è emerso che l'effetto delle condizioni meteorologiche sembra incidere sulla rappresentatività spaziale più di quanto non incidano le diverse condizioni emissive, anche se tale risultato è probabilmente influenzato dal fatto che i dati MINNI, prodotti per le diverse annualità e utilizzati per il confronto, sono caratterizzati, dal punto di vista emissivo, solo da differenti totali nazionali, ma dal permanere del medesimo fattore distributivo sulla scala provinciale. Per l'annualità 2005 è stato inoltre possibile studiare la variabilità della rappresentatività spaziale al variare delle sole condizioni emissive, confrontando i risultati ottenuti a partire da campi di concentrazione calcolati con meteorologia fissa (2005) e con diversi input emissivi (intesi come totali nazionali): l'inventario ISPRA 2005, l'inventario GAINS

2005 e l'inventario di scenario GAINS 2015. Pur non avendo riscontrato una variazione significativa della rappresentatività spaziale al variare del solo input emissivo, generalmente la stima dell'area di rappresentatività basata sull'inventario ISPRA rappresenta una valutazione "conservativa" rispetto alla stima basata sugli scenari GAINS, che porta a prevedere aree di rappresentatività generalmente più estese, soprattutto per l'anno di scenario 2015. Per tutti i siti di misura, sia del materiale particolato che dell'ozono, è stato effettuato anche uno studio della variabilità stagionale della rappresentatività spaziale, basato sul confronto delle serie temporali estese alle stagioni invece che all'anno intero. Per motivazioni diverse, che trovano la loro origine nelle specifiche proprietà dei rispettivi campi di concentrazione e della loro variabilità stagionale, tutti i siti analizzati, sia quelli per la misura del materiale particolato sia quelli per la misura dell'ozono, presentano nella stagione estiva una rappresentatività spaziale maggiore che in quella invernale.

L'insieme dei risultati ottenuti ha consentito di definire le condizioni ottimali di applicabilità di questa metodologia, che è stata quindi utilizzata per studiare nel dettaglio 12 casi di interesse: i 9 siti di fondo rurale per la misura dell'ozono e i 3 siti di fondo rurale per la misura del materiale particolato PM2.5. Per tali siti le funzioni di frequenza, prodotte nelle condizioni ottimali dall'algoritmo di confronto, sono state visualizzate e strutturate in ambiente GIS, integrandole con altri strati informativi del territorio per una analisi più approfondita dei risultati e per una loro interpretazione alla luce del contesto territoriale. Solo in un caso, il sito per la misura del PM2.5 di Santa Maria Cerrate, l'area di rappresentatività stimata è parsa inadeguata. In tutti gli altri casi, i siti analizzati hanno presentato proprietà di rappresentatività spaziale corrispondenti, in diversa misura, con quanto atteso e comunemente proposto per ciascuna configurazione inquinante-tipologia del sito. L'area di rappresentatività, che lo studio ha consentito di analizzare sia in termini di dimensioni che in termini di forma, presenta però per i diversi siti proprietà più o meno ottimali: in alcuni casi la complessità orografica (come a Piana Rotaliana) o la vicinanza di sorgenti (come a Castel di Guido) o la concomitanza di entrambi i fattori (come a Dernice Costa) dà luogo ad aree di rappresentatività con forma non ottimale, irregolare e discontinua.

Complessivamente il metodo ha mostrato, alla luce di questa sua prima applicazione, ottime potenzialità. Infatti, basandosi direttamente sull'analisi dei campi di concentrazione, consente di studiare sia inquinanti primari che inquinanti secondari. Inoltre, come risulta evidente in questo studio, la sua estrema flessibilità consente non solo uno studio della rappresentatività spaziale di un sito ma anche una valutazione della variabilità di tale stima. Un altro importante valore aggiunto, chiaramente sottinteso nella discussione di tutti i risultati ottenuti, consiste nel fatto che il metodo fornisce, ad una certa risoluzione spaziale (la stessa dei campi di concentrazione utilizzati per il confronto), un'accurata definizione dell'area di rappresentatività e in particolare della sua forma, non necessariamente simmetrica e tanto meno circolare; l'informazione contenuta nei campi di frequenza è quindi chiaramente ben più ricca rispetto alla semplice stima di un diametro o di un'area di rappresentatività.

L'applicazione della metodologia ha consentito inoltre un nuovo, proficuo e innovativo utilizzo dei campi di concentrazione messi a disposizione dal Modello Nazionale MINNI. Ma affinché uno studio di variabilità spaziale sia solido, la risoluzione spaziale trattata deve mantenersi inferiore a quella del data base a disposizione. Questo studio ha confermato che, come ci si poteva attendere, utilizzando come dati di input i campi di concentrazione MINNI a 4 km di risoluzione, il metodo è sicuramente applicabile a siti di fondo rurale mentre per i siti di fondo urbano occorre valutare di volta in volta. Le ottime potenzialità della metodologia proposta e l'estrema flessibilità della procedura sviluppata, che potrà essere utilmente applicata anche a nuovi data base disponibili, potranno comunque consentire nuovi futuri sviluppi basati sull'applicazione della stessa metodologia a data base a più alta risoluzione, qualora resi disponibili dal Modello Nazionale MINNI.

5 BIBLIOGRAFIA CITATA

Balaguer N. C. and Denby B. R., (2012), A survey to elicit expert opinion on the spatial representativeness of ground based monitoring data.

<http://fairmode.ew.eea.europa.eu/monitoring-modelling-sg1/monitoring-representativeness-survey-results-v1.pdf>

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.

Ciancarella L., Briganti G., Calori G., Cappelletti A., Cionni I., Costa M., Cremona G., D'Elia I., D'Isidoro M., Finardi S., Mauri L., Mircea M., Pace G., Piersanti A., Racalbuto S., Radice P., Righini G., Vialetto G., Vitali L., Zanini G. (2011) National Italian Integrated Atmospheric Model on Air Pollution: sensitivity to emission inventories. Oral presentation. 14th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes (HARMO 14), 2-6 October 2011, Kos. ISBN 978-960-89650-9-5

EC, 2008. Direttiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 21 maggio 2008 relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale della Comunità Europea L. 152 del 11.06.2008.

Finardi S., (2011), Influenza sullo stato di qualità dell'aria della variazione meteorologica interannuale. ARIANET R2011.41. (V SAL, Prodotto P19 della Convenzione MATTM ed ENEA: "SVILUPPO, VERIFICA E NUOVE APPLICAZIONI DEL SISTEMA MODELLISTICO MINNI A SUPPORTO DELLE POLITICHE DI QUALITÀ DELL'ARIA NAZIONALI E DEI PIANI E PROGRAMMI DI RISANAMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA REGIONALI").

Janssen, S., Dumont, G., Fierens, F. and Mensink, C. (2008), Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE Land Cover data. *Atmospheric Environment* 42, 4884-4903.

Jonson J. E., Stohl A., Fiore A. M., Hess P., Szopa S., Wild O., Zeng G., Dentener F.J., Lupu A., Schultz M.G., Duncan B.N., Sudo K., Wind P., Schulz M., Marmer E., Cuvelier C., Keating T., Zuber A., Valdebenito A., Dorokhov V., De Backer H., Davies J., Chen G.H., Johnson B., Tarasick D.W., Stubi R., Newchurch M.J., von der Gathen P., Steinbrecht W., Claude H.A., (2010), Multi-model analysis of vertical ozone profiles *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 5759–5783.

Kuhlbusch T., John A., Hugo A., Peters A., von Klot S., Cyrys J., Wichmann H.E., Quass U., Bruckmann P., (2006), Analysis and design of local air quality measurements. EURAQHEM Final Report, European Commission.

Larssen, S., Sluyter, R. and Helmis, C. (1999), Criteria for EUROAIRNET – The EEA Air Quality Monitoring and Information Network, Technical report No. 12/1999, European Environment Agency.

Nappo, C. J., Caneill, J. Y., Furman, R. W., Gifford, F. A., Kaimal, J. C., Kramer, M. L., Lockhart, T. J., Pendergast, M. M., Pielke, R. A., Randerson, D., Shreffler, J. H. and Wyngaard, J. C. (1982), The Workshop on the Representativeness of Meteorological-Observations, June 1981, Boulder, Colorado, USA, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 63, 761–764, 1982.

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.

Spangl, W., Schneider, J., Moosmann, L. and Nagl C. (2007), Representativeness and classification of air quality monitoring stations – Final Report, Umweltbundesamt, Vienna, July 2007.

Zender C.S, (2008), Analysis of self-describing gridded geoscience data with netCDF Operators (NCO). Environmental Modelling & Software, Vol. 23, Issues 10–11, 1338–1342.

Edito dall' **ENEA**
Servizio Comunicazione

Lungotevere Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma

www.enea.it

Stampa: Tecnografico ENEA - CR Frascati
Pervenuto il 22.1.2013

Finito di stampare nel mese di gennaio 2013