

RAPPRESENTATIVITÀ SPAZIALE DI MISURE DI QUALITÀ DELL'ARIA

Valutazione di un metodo di stima basato sull'uso
di dati emissivi spazializzati

G. CREMONA, L. CIANCARELLA, A. CAPPELLETTI, A. CIUCCI, A. PIERSANTI, G. RIGHINI, L. VITALI
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'uso
di dati emissivi spazializzati

G. CREMONA, L. CIANCARELLA, A. CAPPELLETTI, A. CIUCCI, A. PIERSANTI, G. RIGHINI, L. VITALI

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'uso di dati emissivi spazializzati

G. CREMONA, L. CIANCARELLA, A. CAPPELLETTI, A. CIUCCI, A. PIERSANTI, G. RIGHINI, L. VITALI

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 letteratura, la rappresentatività spaziale di un sito è definita in generale in relazione alla variabilità dei livelli di concentrazione nell'intorno del sito stesso. Poiché la distribuzione spaziale della concentrazione in atmosfera di inquinanti primari è fortemente correlata alla distribuzione delle corrispondenti emissioni, in questo studio è stata definita una metodologia per l'analisi della rappresentatività spaziale delle stazioni di monitoraggio stimando la variabilità spaziale delle emissioni in riferimento al sito considerato. È stata svolta un'analisi dei gradienti orizzontali delle emissioni di alcuni inquinanti primari (frazione primaria di PM10 e PM2.5, IPA, arsenico, cadmio, nichel e frazione primaria del mercurio): minore risulta la variabilità emissiva, maggiore è l'area di rappresentatività della stazione di misura per l'inquinante valutato.

La metodologia è stata applicata per lo studio della rappresentatività spaziale dei siti delle Reti Speciali di misura della qualità dell'aria (D.Lgs. 155/2010, art. 6 e 8), usando il modello nazionale MINNI, che copre tutto il territorio nazionale con dati emissivi spazializzati su un grigliato regolare di 4 km di risoluzione. La metodologia originale sviluppata comprende una fase iniziale preparatoria con aggregazione spaziale, temporale, chimica e granulometrica dei campi 3D di emissioni utilizzati dal Sistema Modellistico Atmosferico. In seguito, il calcolo della variabilità emissiva è svolto in ambiente GIS, con l'applicazione di funzioni statistiche di prossimità sugli strati raster delle emissioni, utilizzando un filtro mobile. Lo studio è stato effettuato per l'anno di riferimento 2005 con analisi di sensitività rispetto all'inventario emissivo utilizzato (ISPRA, GAINS-Italia) e all'intervallo temporale di riferimento (anno, estate, inverno). Le stazioni analizzate ricadono nei domini macroregionali del Nord e Centro Italia e sono classificate come fondo urbano e fondo rurale.

Il metodo ha mostrato potenzialità interessanti per l'individuazione rapida di aree a maggiore variabilità emissiva, utile per la progettazione di nuove reti di monitoraggio e per una stima quantitativa approssimata della rappresentatività di stazioni esistenti. I limiti principali derivano dalla risoluzione del dataset di input e dalla possibile applicazione ai soli inquinanti primari.

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

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.

As the spatial distribution of primary pollutants concentration is strongly correlated to the allocation of corresponding emissions, in this work a methodology is presented to assess spatial representativeness of monitoring sites by analysing the spatial variation of emissions around a site. An analysis of horizontal gradients of several pollutants emissions was carried out: the rationale is that, if the variability of emissions around a site is low, the spatial representativeness of this site is high consequently.

The methodology was applied to detect spatial representativeness of official Italian National Network of Special Purpose Monitoring Stations (according to the law D.Lgs. 155/2010, art. 6 and 8). Products of the national air quality model MINNI, covering entire Italian territory with emission data of 4 km spatial resolution, were processed. The methodology comprises an initial phase for treatment of 3D fields derived from the Atmospheric Modelling System. A second phase involves calculation and analysis of emission variability in GIS environment using a neighbourhood statistical function. The reference year 2005 was considered, with sensitivity analysis concerning the emission inventory (ISPRA, GAINS-Italy) and the temporal interval (whole year, summer and winter seasons). Sites under consideration are located in Northern and Central Italian domains and are classified as urban background or rural background.

The methodology has shown significant capability for quick detection of areas with highest emission variability. This approach could be useful to plan new monitoring networks and to approximately estimate spatial representativeness of existing monitoring sites. Major constraints arise from resolution of model input data and applicability to primary pollutants only.

Key words: air pollution, monitoring networks, spatial representativeness, air quality model, GIS, primary pollutants.

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	7
2	DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA	10
2.1	Dati di emissione in input	11
2.2	Elaborazione modellistica delle emissioni	12
2.3	Elaborazioni GIS.....	14
3	APPLICAZIONE DEL METODO E RISULTATI.....	17
3.1	Domini modellistici.....	19
3.1.1	PM2.5	19
3.1.2	IPA	23
3.1.3	Arsenico	26
3.2	Stazioni di monitoraggio	28
3.2.1	Stazioni urbane.....	28
3.2.2	Stazioni rurali	32
3.2.3	Schivenoglia.....	33
3.2.3.1	PM2.5	33
3.2.3.2	IPA	34
3.2.3.3	Arsenico	35
3.2.3.4	Cadmio	36
3.2.3.5	Nichel	37
3.2.3.6	Mercurio.....	38
3.2.4	Ripatransone.....	39
3.2.4.1	PM2.5	39
3.2.4.2	IPA	40
3.2.4.3	Arsenico	41
3.2.4.4	Cadmio	42
3.2.4.5	Nichel	43
3.2.5	Montelibretti - mercurio	44
4	LIMITI E INCERTEZZE.....	45
5	CONCLUSIONI.....	46
6	BIBLIOGRAFIA CITATA	48
7	APPENDICE: MAPPE.....	48

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/foI065026/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 di stima basato su dati emissivi spazializzati. Altri due Rapporti Tecnici illustrano rispettivamente la valutazione di un metodo basato su fattori oggettivi (Piersanti et al. 2013, RT/2013/1/ENEA) e di un metodo basato sull'analisi temporale di campi di concentrazione (Vitali et al. 2013, RT/2013/3/ENEA). Un prossimo Rapporto Tecnico presenterà l'analisi di metodi che prevedono l'elaborazione statistica di backward trajectories, attività attualmente in corso.

La metodologia, qui descritta e valutata, si basa sull'analisi della variabilità spaziale delle emissioni inquinanti nel territorio intorno alle stazioni di monitoraggio, per una valutazione qualitativa della rappresentatività spaziale delle stazioni stesse.

L'ipotesi di partenza è che la distribuzione spaziale delle concentrazioni in atmosfera sia fortemente correlata alla distribuzione delle corrispondenti emissioni, in particolare per gli inquinanti primari. L'emissione di inquinanti può quindi essere considerata una variabile “surrogato” della concentrazione, adeguata per stimare la rappresentatività di un sito di misura delle concentrazioni. Si tratta di un approccio modellistico semplificato, che non tiene conto dell'intera complessità fisico-chimica della dispersione degli inquinanti in atmosfera, ma presenta il vantaggio di utilizzare dati frequentemente disponibili con buona copertura territoriale (gli inventari delle emissioni) senza l'onere teorico e computazionale di un procedimento modellistico completo.

Su questa base, è stata svolta un'analisi dei gradienti orizzontali emissivi di alcuni inquinanti primari, dei quali è previsto il monitoraggio nell'ambito delle Reti Speciali (frazione primaria di PM₁₀ e PM_{2.5}, IPA, metalli pesanti, frazione primaria del mercurio), stimando la variabilità spaziale delle emissioni a partire dal sito considerato: minore risulta tale variabilità emissiva e maggiore sarà l'area di rappresentatività della stazione di misura per l'inquinante valutato.

L'approccio parte dalla letteratura scientifica per giungere a un'applicazione originale, nella conoscenza degli autori.

Sono stati utilizzati i campi di emissione messi a disposizione dal Modello Nazionale MINNI, a risoluzione spaziale di $4 \times 4 \text{ km}^2$. La copertura nazionale del geodatabase permette uno studio esaustivo della variabilità emissiva del territorio italiano, con focus sulle stazioni delle Reti Speciali. L'applicazione include inoltre uno studio di sensitività rispetto ai parametri di input più rilevanti: la fonte dei dati emissivi (con l'utilizzo degli inventari nazionali delle emissioni ISPRA 2005 e GAINS-Italia 2005) e l'intervallo temporale di integrazione (anno, estate, inverno).

Dopo un pretrattamento del database emissivo 3D, l'analisi di variabilità delle emissioni è stata effettuata in ambiente GIS ESRI, con l'utilizzo di algoritmi statistici di prossimità per il calcolo del parametro di variabilità e la successiva produzione di mappe sul territorio nazionale con zoom su alcune stazioni delle Reti Speciali.

L'organizzazione del Rapporto Tecnico prevede al paragrafo 2 la descrizione dettagliata della metodologia: l'elaborazione modellistica dei dati in ingresso e l'algoritmo di analisi spaziale della variabilità. Nel paragrafo 3 verranno invece presentati i risultati ottenuti dall'analisi della variabilità emissiva, sui domini modellistici utilizzati e nel dettaglio intorno alle stazioni di monitoraggio.

2 DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

Le emissioni inquinanti sono, insieme alla meteorologia, i fattori che determinano l'inquinamento atmosferico, attraverso processi fisici e chimici. Questi sono rappresentati in forma matematica dai modelli di dispersione degli inquinanti. Tuttavia, un modello completo è generalmente complesso, in particolare nel calcolo della dinamica atmosferica (sistemi di equazioni differenziali alle derivate parziali) e della chimica atmosferica (trattamento individuale di decine-centinaia di specie e reazioni chimiche in atmosfera).

Per ridurre la complessità teorica e applicativa dei modelli completi, esistono diversi approcci modellistici semplificati, tra i quali l'utilizzo diretto dei valori di emissione per la stima delle concentrazioni di inquinanti. In questo modo, si utilizza in maniera qualitativa la relazione fra emissioni e concentrazioni, ottenendo indicazioni approssimate ma utili e risparmiando risorse di sviluppo e di calcolo.

In questa ottica, la relazione presenta uno studio della rappresentatività spaziale di siti di monitoraggio della qualità dell'aria, effettuato con l'utilizzo di un database di emissioni di inquinanti in atmosfera. In particolare, vengono analizzate le Reti Speciali di misura della qualità dell'aria (D.Lgs. 155/2010, art. 6), attraverso il grigliato emissivo del modello nazionale MINNI, che copre tutto il territorio nazionale con un grigliato regolare di 4 km di lato (nella versione ad alta risoluzione).

La metodologia utilizzata consiste nel calcolo della variabilità delle emissioni intorno a ciascuna stazione di monitoraggio: un valore alto indica emissioni molto variabili, quindi limitata rappresentatività spaziale della stazione, mentre un valore basso indica emissioni poco variabili, quindi elevata rappresentatività spaziale della stazione.

L'approccio seguito parte dalla letteratura scientifica, per giungere a un'applicazione originale, nella conoscenza degli autori. In Henne et al. (2010) si suggerisce l'uso congiunto di valore emissivo e gradiente orizzontale delle emissioni, ma in concreto si utilizza la popolazione come proxy delle emissioni. Nel presente studio, la disponibilità di un data base a scala chilometrica di emissioni spazializzate con il modello nazionale MINNI, sia diffuse che puntuali, ha permesso di applicare questa metodologia in maniera più rigorosa di quanto descritto in Henne et al. (2010).

La limitazione principale della metodologia è sulla tipologia degli inquinanti: possono essere analizzate solo specie primarie, direttamente emesse dalle sorgenti. Ciò deriva immediatamente dall'ipotesi della relazione diretta fra emissioni e concentrazioni, che non è verificata per gli inquinanti secondari, generati in atmosfera da processi chimico-fisici, la cui rappresentazione è esclusa dall'approccio semplificato scelto. Nel caso specifico delle Reti Speciali, gli inquinanti monitorati classificabili come puramente primari sono i metalli pesanti (arsenico, cadmio, nichel), che provengono solo da attività antropiche o risospensione di materiale terrigeno. Nel caso di PM10, PM2.5, IPA e mercurio, esiste una parte primaria e una secondaria, per cui la metodologia è stata applicata, con la consapevolezza di ottenere risultati più approssimati, perché le emissioni sono solo una parte dell'inquinante sospeso in atmosfera. Infine, le Reti Speciali misurano anche l'O₃, che è puramente secondario, quindi non adatto alla metodologia usata.

Nella relazione vengono presentati i dati in input (§ 2.1 e 2.2), gli algoritmi di aggregazione dei dati (§ 2.2) e di calcolo della variabilità emissiva (§ 2.3). I risultati sono presentati sui domini di MINNI prescelti (§ 3.1), con la successiva valutazione della rappresentatività spaziale delle stazioni esaminate (§ 3.2) e delle incertezze delle metodologie (§ 4).

2.1 Dati di emissione in input

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

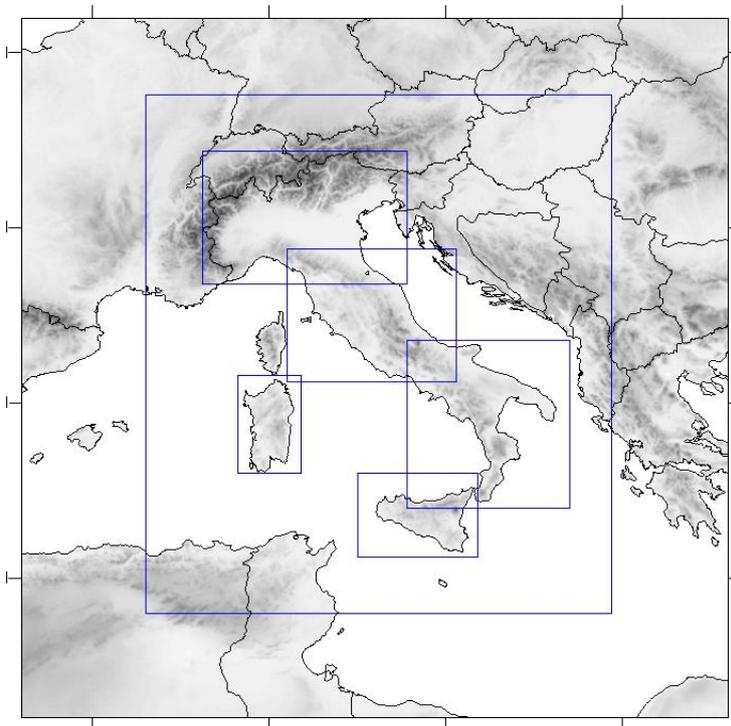


FIGURA 1 - DOMINIO NAZIONALE (RISOLUZIONE 20X20 KM²) E DOMINI MACROREGIONALI (RISOLUZIONE 4X4 KM²) DEL SISTEMA MODELLISTICO ATMOSFERICO DI MINNI.

Come evidenziato nel Piano Operativo di Dettaglio (§ 2.3.2), la base dati MINNI più adeguata allo studio ha le seguenti caratteristiche:

- risoluzione 4 km: adatta ad approfondimenti su stazioni urbane e rurali (laddove la risoluzione di 20 km esclude a priori le urbane);
- anno di riferimento 2005: il riferimento più aggiornato su cui ISPRA ha effettuato la spazializzazione a livello provinciale dell'inventario nazionale delle emissioni e su cui ENEA ha effettuato l'armonizzazione degli inventari nazionale e regionali attraverso GAINS-Italia.

Di conseguenza, lo studio è stato effettuato sui 2 diversi input emissivi disponibili per il 2005:

- **ei.ISPRA**: inventario nazionale di fonte ISPRA, scalatura a livello provinciale di fonte ISPRA, elaborazione modellistica di ENEA;
- **ei.GAINS**: inventario nazionale di fonte ISPRA con armonizzazione su base regionale di fonte ENEA, scalatura a livello provinciale di fonte ISPRA, elaborazione modellistica di ENEA.

Per i 2 input emissivi 2005, nel seguito del testo sono utilizzati gli acronimi ei.ISPRA e ei.GAINS.

Si sottolinea che per ei.GAINS la scalatura a livello provinciale è stata effettuata a scopo modellistico, per disporre di una base dati spazializzata coerentemente con ei.ISPRA, da cui partire con il elaborazione del Sistema Modellistico Atmosferico (SMA nel seguito del testo). Tale

scalatura ha utilizzato la ripartizione top-down utilizzata in ISPRA (2009), con la produzione di un inventario nazionale con totali emissivi diversi da ei.ISPRA ma con la stessa distribuzione su base provinciale.

Per un'analisi della variabilità temporale della rappresentatività delle stazioni di monitoraggio, sono stati studiati 3 intervalli temporali sulla base dati ei.ISPRA: l'intero anno, la stagione estiva (giugno-luglio-agosto) e la stagione invernale (dicembre-gennaio-febbraio). Per ei.GAINS, lo studio è stato effettuato sull'anno.

Lo studio è stato ripetuto per 2 domini macroregionali a 4 km di risoluzione: Nord Italia (NI nel seguito) e Centro Italia (CI nel seguito).

La Tabella 1 riassume tutte le basi dati su cui è stato effettuato lo studio di rappresentatività.

2005, 4 km, NI e CI		PM10	PM2.5	IPA	Arsenico	Cadmio	Nickel	Mercurio
ei.ISPRA	anno	x	x	x	x	x	x	x
	estate	x	x	x	x	x	x	x
	inverno	x	x	x	x	x	x	x
ei.GAINS	anno	x	x					

TABELLA 1 - SINTESI DI TUTTE LE ANALISI EFFETTUATE.

2.2 Elaborazione modellistica delle emissioni

Nel SMA, il trattamento dell'inventario delle emissioni è effettuato da Emission Manager (Arianet, 2012), pre-processore che, a partire dall'inventario emissivo annuale, consente la preparazione dell'input emissivo per la simulazione di dispersione in atmosfera: campi orari, disaggregati sulla griglia di calcolo mediante layers tematici e profili di modulazione temporale, con speciazione chimica e riclassificazione granulometrica degli inquinanti.

In particolare, Emission Manager utilizza in input le seguenti informazioni:

- inventario delle emissioni: un catalogo di sorgenti emissive, organizzato per inquinante, categoria emissiva, riferimento amministrativo (es., provincia) o anagrafico (es., nome impianto)
- cartografia: layer geografici (utilizzo del suolo, confini amministrativi, geometria delle sorgenti) per la georeferenziazione dell'inventario emissivo
- orografia: modello digitale del terreno per la spazializzazione tridimensionale sul grigliato di calcolo delle concentrazioni
- modulazione temporale: profili relativi a ciascuna attività emissiva, per la distribuzione dell'emissione annuale in mesi, giorni della settimana e ore del giorno
- speciazione chimica e granulometrica: profili relativi a ciascuna attività emissiva e alle specie inquinanti aggregate, per l'input al modello atmosferico secondo la classificazione chimica e granulometrica richiesta.

Va precisato che i due input emissivi ei.ISPRA e ei.GAINS sono preparati per le simulazioni di qualità dell'aria secondo il meccanismo fotochimico SAPRC99 (Carter, 2000) ed il modello di aerosol AERO3 (Binkowski and Roselle, 2003), integrati con l'approccio modellistico EMEP (Gusev et al., 2005) per i POP. In sintesi, i metalli pesanti sono considerati come inerti, mentre sono riportate reazioni chimiche a carico di PM10, PM2.5, IPA e mercurio.

Il trattamento geometrico è specifico per le emissioni diffuse, iniettate direttamente nel dominio di calcolo, e per le emissioni puntiformi, che sono inserite tal quali nel modello di dispersione, che

distribuisce gli inquinanti nelle celle verticali del dominio sulla base della dinamica del pennacchio (“plume rise”).

La Figura 2 visualizza lo schema delle attività di Emission Manager, con specifico riferimento agli input di MINNI sul dominio nazionale.

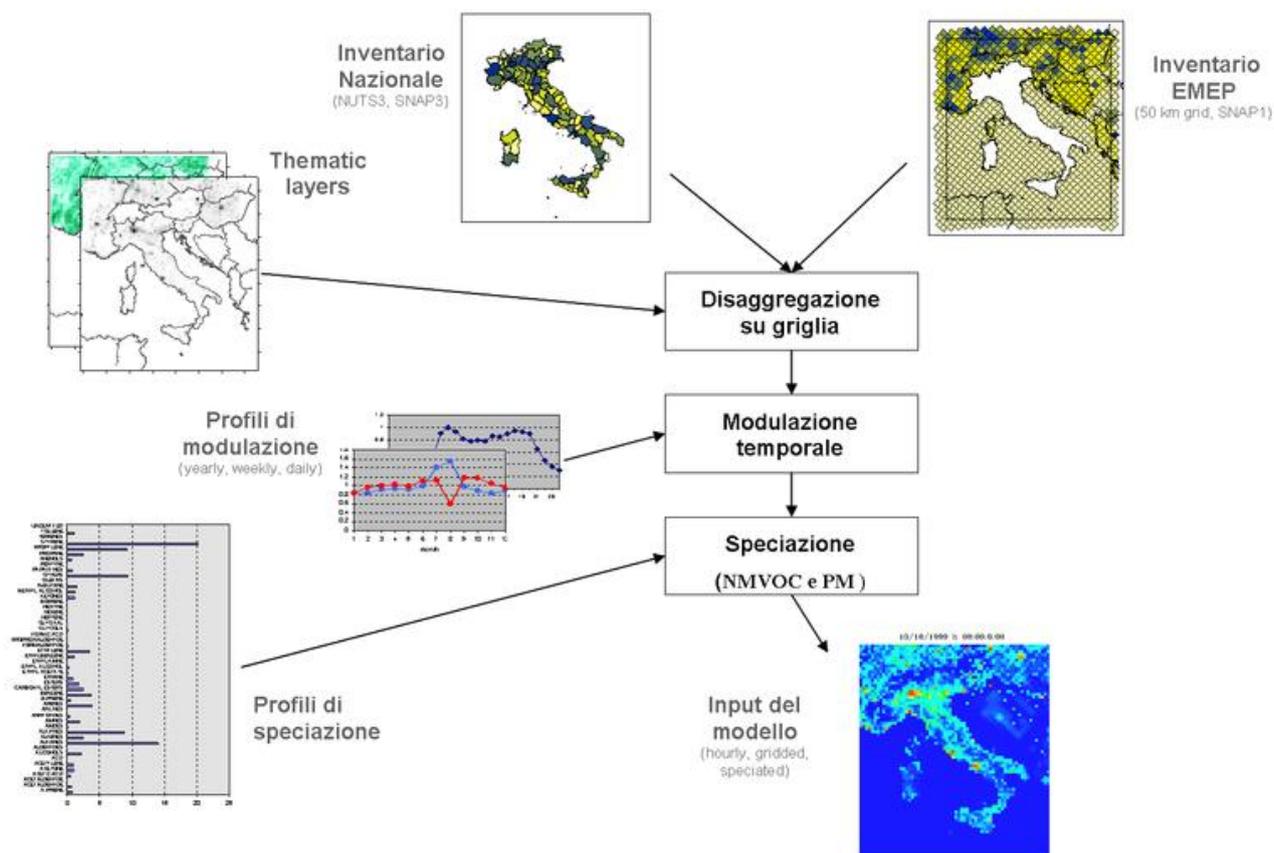


FIGURA 2 - SCHEMA DEL TRATTAMENTO MODELLISTICO DELLE EMISSIONI.

Nel database del SMA, le emissioni diffuse grigliate sono archiviate in file in formato NetCDF, quadridimensionali (x, y, z, tempo); le emissioni puntuali sono invece archiviate in formato binario specifico, con conservazione delle coordinate esatte. Pertanto, l’utilizzo delle emissioni grigliate nello studio ha richiesto una prima fase di proiezione delle emissioni puntuali sul grigliato tridimensionale delle emissioni diffuse, con la somma delle emissioni dei punti ricadenti all’interno di ogni cella 4x4 km² del dominio, attraverso un codice fortran sviluppato appositamente.

Per entrambe le geometrie emissive, i file sono disponibili per ogni giorno dell’anno di simulazione, a risoluzione oraria. Quindi, una volta uniformati i file di emissioni diffuse e puntuali, un’ulteriore aggregazione ha prodotto file NetCDF bidimensionali (x, y) di emissioni totali, integrati nel tempo sul periodo di riferimento (anno, estate, inverno) e sulla dimensione verticale. Le procedure di aggregazione fanno parte del sistema ASQUA (Piersanti et al., 2012), sono basate sul linguaggio NCL (<http://www.ncl.ucar.edu/>) e sono state adattate agli inquinanti trattati. In particolare sono state realizzate procedure dedicate per PM, IPA e mercurio, con somma delle componenti specieate normalmente utilizzate nel modello di dispersione.

In output, la procedura produce 2 file NetCDF di emissioni (1 file per le diffuse, 1 file per le puntuali), per ognuno dei 46 casi di Tabella 1, per un totale di 92 griglie NetCDF.

2.3 Elaborazioni GIS

I file NetCDF di emissioni grigliate, descritti nel paragrafo precedente, sono stati importati, organizzati ed elaborati in ambiente GIS (Geographic Information Systems); in Figura 3 è illustrato il flusso di lavoro seguito. Sono stati inoltre raccolti e tematizzati in GIS altri strati informativi del territorio utili all'interpretazione dei dati: limiti amministrativi, rete stradale, copertura del territorio, orografia.

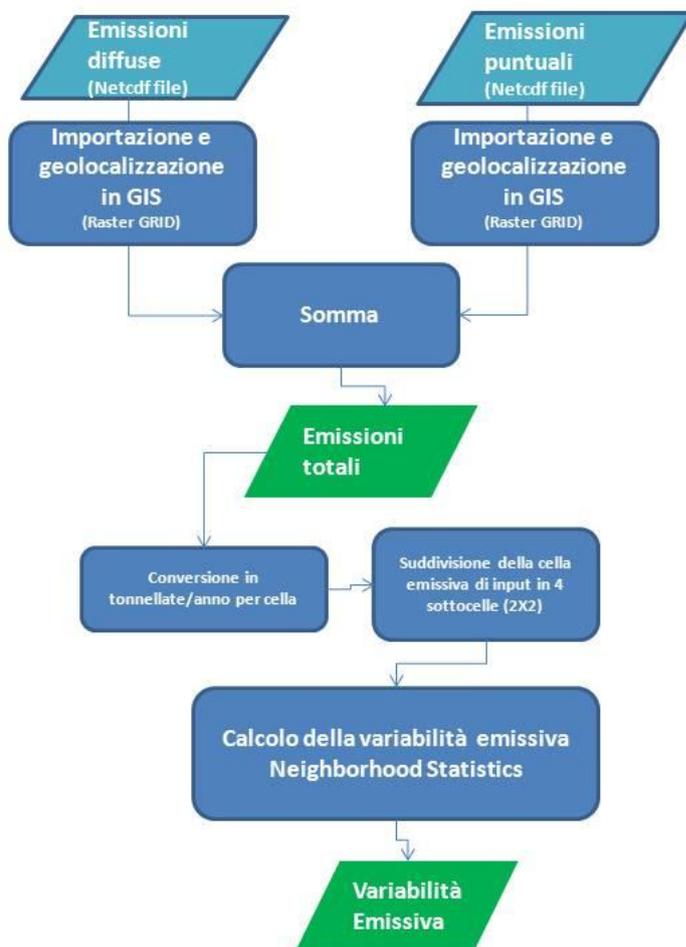


FIGURA 3 - SCHEMA CONCETTUALE DELLE ELABORAZIONI EFFETTUATE IN AMBIENTE GIS.

I campi emissivi provenienti dal modello sono stati importati tramite la funzione "MakeNetCDFRasterLayer" che permette di tradurre i file NetCDF in rasterfiles GRID (formato proprietario del software ArcGIS® 9.2 utilizzato).

I file ottenuti sono stati georiferiti e confrontati con tematismi aventi proiezione geografica nota, per verificarne l'esattezza dell'ubicazione. Le operazioni di overlay sono state usate per il confronto con le altre basi informative vettoriali ed eventualmente per ereditarne le informazioni se necessario. In particolare, i layer utilizzati sono i siti della Rete delle Stazioni Speciali e le sorgenti emissive puntuali, queste ultime così come quantificate e localizzate da ISPRA nell'inventario nazionale 2005. Lo scopo principale è stato acquisire, per le sorgenti emissive puntuali, i dati emissivi annuali provenienti direttamente dall'inventario e confrontarli, sia come posizione sia come valore emissivo, con i dati post-processati dall'Emission Manager (§ 2.2).

Per ogni dominio, anno, inventario e inquinante le due basi informative di emissioni diffuse e puntuali sono state sommate tramite operazioni di Map Algebra che permettono l'applicazione di operatori matematici e funzioni algebriche sui dati raster GRID; sono state così ottenute mappe di emissioni totali in unità di misura $\mu\text{g}/\text{m}^2$, successivamente trasformata in tonnellate/cella per

periodo. La cella emissiva di 4 km di lato è stata in seguito suddivisa in 4 sottocelle con lato pari a 2 km, nelle quali il valore emissivo viene distribuito omogeneamente, con un aumento puramente geometrico della risoluzione del raster, finalizzato al miglioramento del calcolo del range emissivo (vedi nel seguito).

In Figura 4, a titolo di esempio, è illustrato il raster GRID delle emissioni totali di PM10 per il dominio NI integrate sull'intero anno, su base dati ei.ISPRA.

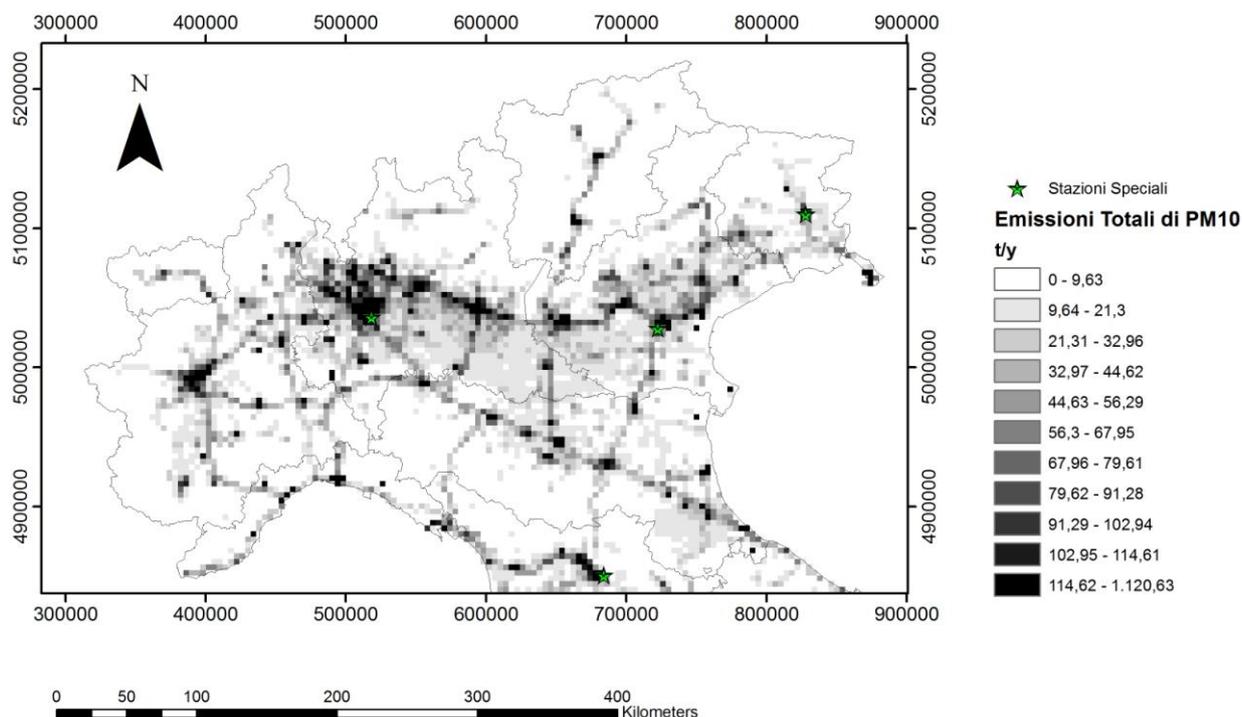


FIGURA 4 - PM10: EMISSIONI TOTALI PER IL DOMINIO NI INTEGRATE SULL'ANNO. ei.ISPRA.

Da ogni copertura delle emissioni totali è stata prodotta ed analizzata la mappa di distribuzione delle variabilità emissiva.

La funzione usata è definita “neighborhood statistics”, nell’implementazione di ESRI (ArcMAP - Spatial Analyst). Tale funzione statistica di intorno permette di applicare un filtro mobile all’intera copertura raster, con varie dimensioni e forme, e di effettuare diverse operazioni sulla serie di valori estratta (vedi Figura 5). Si è scelto di calcolare la differenza fra il valore massimo e il valore minimo (funzione RANGE) della serie dei valori presenti in un intorno di ogni cella del raster, di ampiezza 3x3 celle. Tale serie conta quindi 9 valori (la cella centrale e le 8 circostanti). Il valore della differenza viene attribuito alla cella centrale del filtro. Con questo calcolo, ogni cella esprime l’entità della variabilità dell’emissione nell’intorno della cella stessa: un valore alto del range significa che nell’intorno ci sono valori molto diversi fra loro, mentre un valore basso del range indica valori fra loro simili.

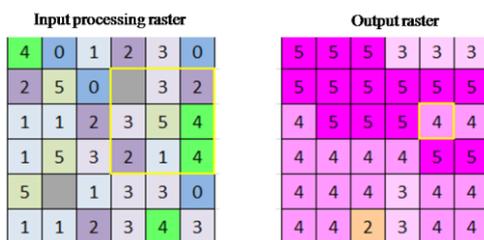


FIGURA 5 - FILTRO MOBILE DI CALCOLO DI NEIGHBORHOOD STATISTICS SU UNA GRIGLIA RASTER (DA WEBHELP.ESRI.COM).

Il risultato è una griglia raster di range emissivo, in cui il valore di ciascuna cella è una funzione dei valori di emissione in input, compresi in un intorno specificato della cella considerata. L'aumento di risoluzione da 4 a 2 km del raster in input si riflette sul raster in output, con un effetto di "smoothing" sui risultati, dovuto alla presenza di gruppi di valori fra loro identici nell'intorno: ciò contribuisce a ridurre la variabilità all'interno della serie dei valori, e di conseguenza il range, con la produzione di un raster di output più uniforme, con massimi e minimi meno pronunciati.

In Figura 6 è illustrato il raster GRID del range emissivo calcolato a partire dai campi emissivi di PM10 presentati in Figura 4.

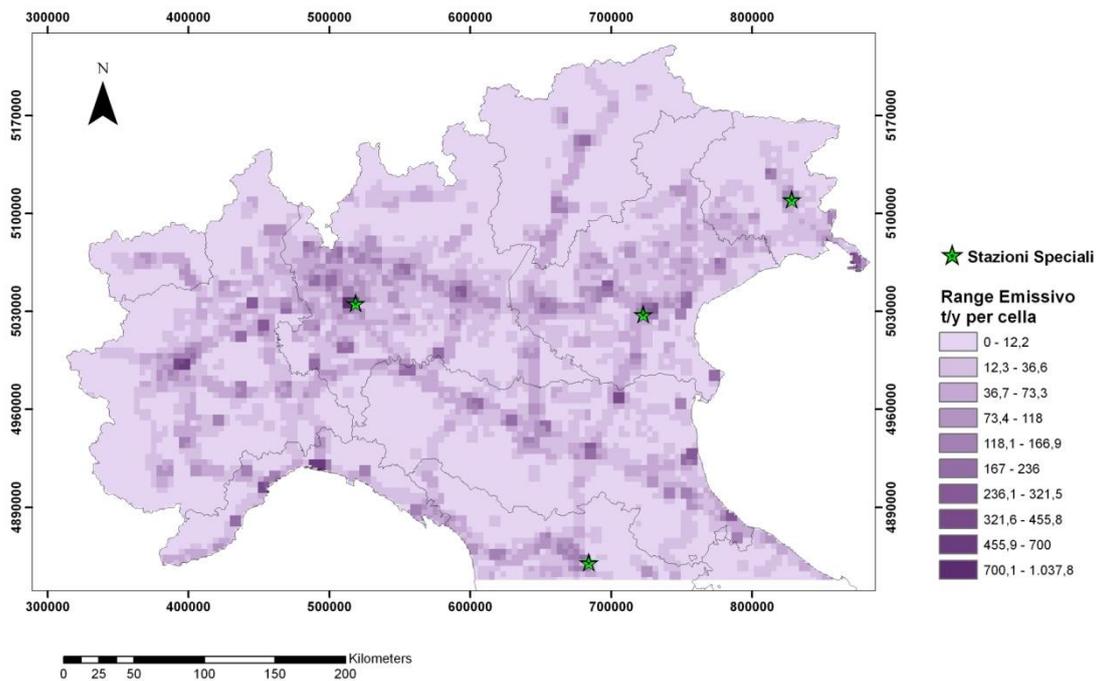


FIGURA 6 - PM10: RANGE EMISSIVO PER IL DOMINIO NI. ei.ISPRA, ANNO.

In tutte le mappe di range emissivo prodotte e tematizzate, la classificazione dei valori è di tipo "natural break", con una maggiore suddivisione in classi negli intervalli di maggiore concentrazione dei dati. La classificazione è stata scelta dopo un'analisi qualitativa degli istogrammi di distribuzione dei dati sui 46 dataset, da cui risulta in generale una forma esponenziale, con alta occorrenza di valori bassi che diminuisce drasticamente per i valori alti. Per questo, la classificazione è più fitta per valori bassi del range emissivo, per diventare sempre più lasca al crescere del valore.

3 APPLICAZIONE DEL METODO E RISULTATI

Come anticipato nel paragrafo 2, lo studio della variabilità delle emissioni, al fine della stima della rappresentatività delle stazioni di monitoraggio, è stato effettuato su:

- inquinanti primari: frazione primaria di PM10 e PM2.5, IPA, arsenico, cadmio, nichel, frazione primaria di mercurio
- 2 diversi input emissivi disponibili per il 2005: ei.ISPRA e ei.GAINS
- 3 intervalli temporali: anno, estate (giugno-luglio-agosto) e inverno (dicembre-gennaio-febbraio)
- 2 domini modellistici: Nord Italia (NI) e Centro Italia (CI).

L'utilizzo di ei.GAINS è limitato ai soli inquinanti disponibili nella corrispondente base dati, ossia PM10 e PM2.5, e all'intervallo annuale.

La Tabella 1 a pag.12 riassume tutte le 46 basi dati su cui è stato effettuato lo studio di rappresentatività (23 per NI e 23 per CI). L'insieme delle mappe risultanti è riportato nell'appendice dedicata, in coda al presente documento, da cui sono state estratte e commentate alcune mappe nel seguito della relazione.

Nel seguente paragrafo 3.1, vengono presentate alcune mappe esemplificative sui domini NI e CI, per un esame sull'intera estensione spaziale dei dataset a disposizione. Nelle mappe, le stazioni sono indicate con una stella verde; la Tabella 2 riporta l'elenco delle stazioni utilizzate nello studio, che misurano gli inquinanti in analisi, mentre la Figura 1 illustra la loro localizzazione.

LOCALIZZAZIONE	DENOMINAZIONE	CODICE	X	Y	TIPO	ZONA	INQUINANTE
Roma	Stazione ISS	120	791760	4645162	traffico	urbana	PM10, PM2.5
Roma	Villa Ada	1205820	790763	4648273	fondo	urbana	IPA
Milano	Milano Pascal_Città Studi	301568	518106	5036115	fondo	urbana	PM10, PM2.5, IPA
Milano	Milano Senato	301537	515433	5035238	traffico	urbana	IPA
Pordenone	Pordenone centro	609303	783429	5096361	traffico	urbana	IPA
Schivenoglia (MN)	Schivenoglia	302072	663579	4986921	fondo	rurale	PM2.5, IPA, Metalli (incluso Hg)
Padova	PD_Mandria	502808	722450	5028088	fondo	urbana	PM10, PM2.5, IPA
Udine	UD_Via Cairoli	603001	827964	5110129	fondo	urbana	PM10, PM2.5
Firenze	Fi_Bassi	904809	683982	4850607	fondo	urbana	PM10, PM2.5, IPA
Montelibretti (RM)	Montelibretti	-	800795	4667230	fondo	rurale	Hg
Ascoli Piceno	Ripatransone	1104411	890094	4771057	fondo	rurale	PM2.5, IPA, Metalli

TABELLA 2 - ELENCO DELLE STAZIONI SPECIALI PRESENTI NEI DOMINI ANALIZZATI.

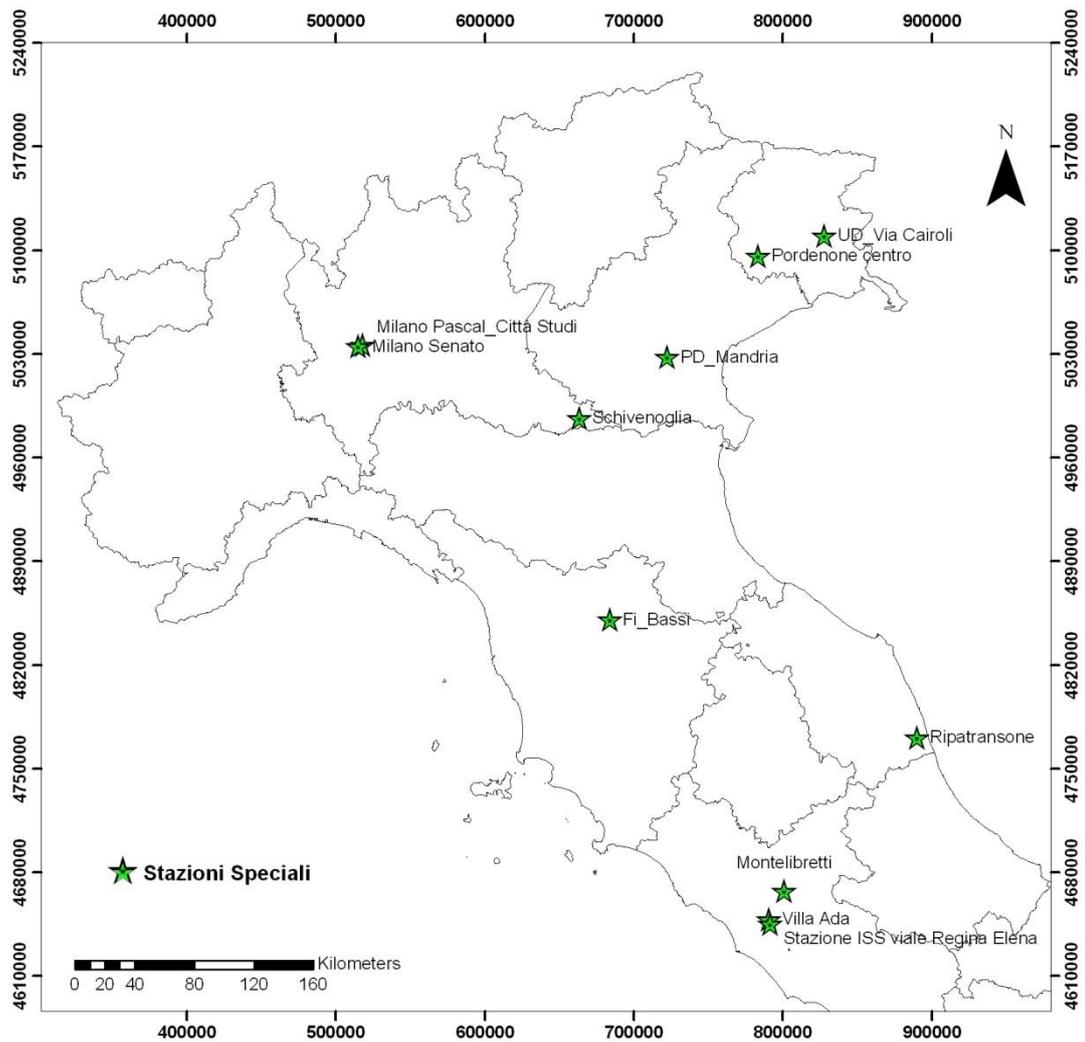


FIGURA 1 - LOCALIZZAZIONE DELLE STAZIONI INTERESSATE DALLO STUDIO.

Successivamente (§3.2), vengono presentate tutte le mappe prodotte con zoom su 3 stazioni di riferimento (Schivenoglia, Ripatransone e Montelibretti), con le motivazioni di questa selezione delle stazioni.

3.1 Domini modellistici

3.1.1 PM2.5

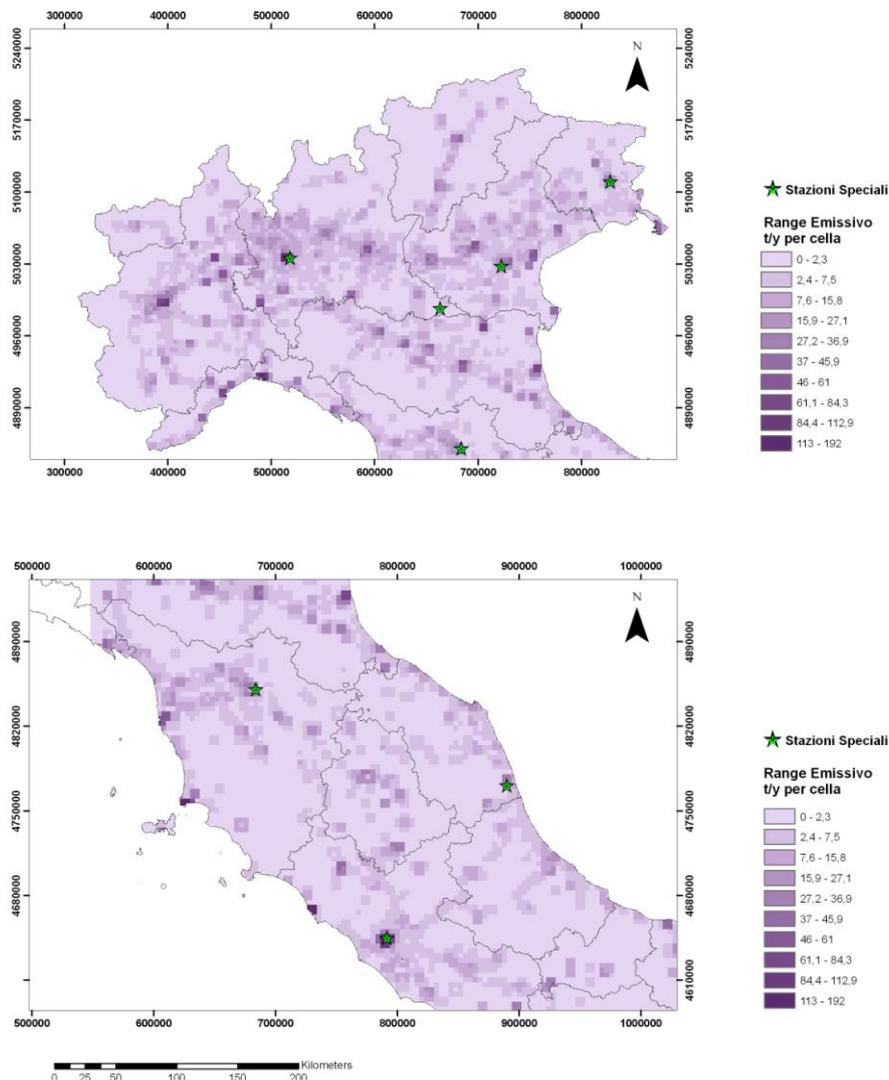


FIGURE 8.A, .B - PM2.5: RANGE EMISSIVO NI (IN ALTO) E CI (IN BASSO), ei.ISPRA, ANNO.

Le Figure 8.a e .b mostrano la variabilità delle emissioni annuali di PM2.5, nei due domini, con inventario ei.ISPRA. La scala dei colori è la stessa nelle due figure, per un confronto omogeneo fra domini: in questo senso, NI mostra maggiore variabilità di CI, in conseguenza della maggiore entità e diffusione spaziale delle emissioni. Si notano i valori massimi sulle grandi aree urbane (Torino, Milano, Genova, Roma) e portuali (Trieste, Piombino, Civitavecchia), dove le attività fortemente emissive sono concentrate in poche celle. E' interessante notare che emergono zone di alta variabilità in alcune confluenze di grandi strade (ad esempio, A6 e A10 presso Savona, A4 e A26 presso Vicolungo, A12 e superstrada Firenze-Pisa-Livorno presso Livorno), come risultato dell'alta intensità emissiva delle sorgenti lineari stradali con alti flussi di traffico.

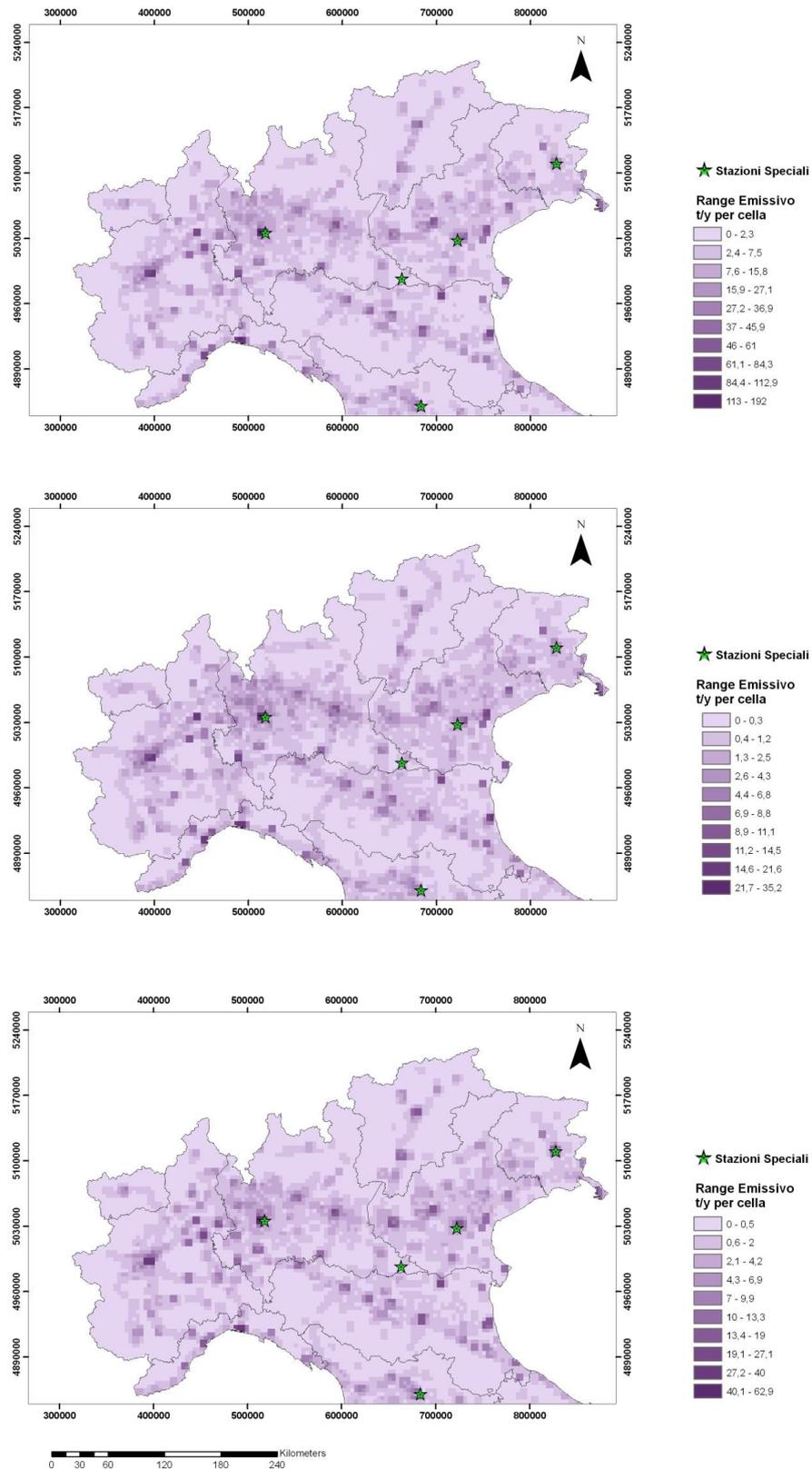


FIGURE 8.C, .D, .E - PM2.5: RANGE EMISSIVO NI, ei.ISPRA, ANNO-ESTATE-INVERNO (DALL'ALTO IN BASSO).

Le Figure 8.C, .D e .E mostrano la variabilità delle emissioni di PM2.5 su NI, nei tre periodi considerati. La scala dei colori è diversa nelle 3 figure, perché i valori di ciascun layer raster sono molto diversi in entità e distribuzione. Infatti, i campi di variabilità sono ottenuti a partire da totali

emissivi di entità diverse, anche perché integrati su un arco temporale più o meno lungo, rispettivamente per l'intero anno e le stagioni. Per rendere più facile il confronto fra dataset piuttosto diversi nei valori assoluti e valorizzare l'analisi delle differenze nelle distribuzioni dei valori all'interno di ciascun dataset, si è scelto di applicare sulla classificazione "natural break" utilizzata (§ 2.3), la stessa gradazione cromatica e lo stesso numero di classi nelle 3 figure. La differenza assoluta fra i dataset, che risulta meno evidente dalla rappresentazione cromatica, si evince molto bene dalla lettura dei valori di legenda. In compenso, è meno evidente la differenza assoluta fra i dataset, dato che non c'è un'unica classificazione grafica.

In particolare, si apprezza subito che le 3 mappe sono quasi uguali, cioè c'è una sostanziale uniformità della distribuzione spaziale della variabilità emissiva nei 3 periodi; in estate, la "spalmatura" è leggermente maggiore, con massimi e minimi meno evidenti che negli altri periodi.

Dall'esame delle 3 classificazioni, si evidenzia invece che la variabilità è in assoluto maggiore sull'anno (massimo maggiore, intervalli più grandi) e minore in estate (viceversa), con l'inverno in situazione intermedia. Nel caso dell'anno, l'intervallo temporale più lungo rende la distribuzione dei valori più ampia. Nel caso dell'estate, l'abbassamento generale dei valori, conseguenza delle minori emissioni di PM2.5 (per l'assenza di combustione per riscaldamento) rende la distribuzione dei valori più ristretta.

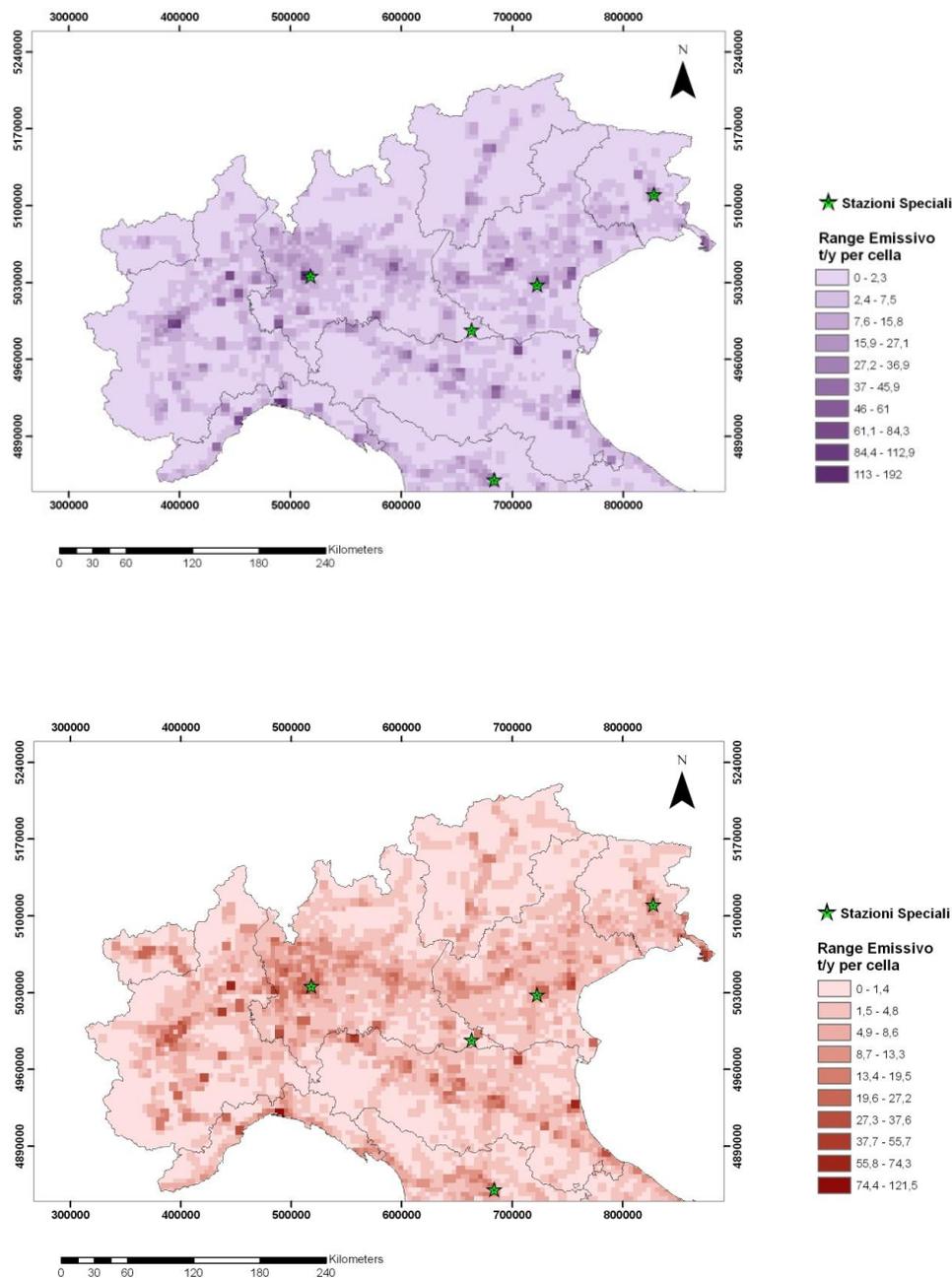


FIGURE 8.F, .G - PM2.5: RANGE EMISSIVO NI, ei.ISPRA (IN ALTO) E ei.GAINS (IN BASSO), ANNO.

Le Figure 8.F e .G mostrano la variabilità delle emissioni annuali di PM2.5 su NI, con i due inventari emissivi considerati (ei.ISPRA e ei.GAINS). Anche qui, la scala dei colori è diversa nelle 2 figure, per le motivazioni già esposte. Inoltre, la base della scala cromatica è diversa (viola rispetto a rosso), per evidenziare la diversa fonte dei dati. Si nota che ei.GAINS ha valori assoluti inferiori ma confrontabili con ei.ISPRA, mentre le distribuzioni sul dominio, in particolare delle celle dei valori massimi, sono praticamente uguali, come conseguenza della identica distribuzione top-down del totale nazionale sulle province. Cambia leggermente la collocazione dei valori minimi: ei.GAINS mostra una distribuzione più diffusa, con una maggiore evidenza delle valli alpine e delle aree meno antropizzate della pianura padana, probabilmente come effetto grafico della distribuzione più ristretta rispetto a ei.ISPRA: i massimi sono inferiori e meno distanti dai minimi, a causa dei diversi valori dell'inventario, quindi i minimi sono più evidenti.

3.1.2 IPA

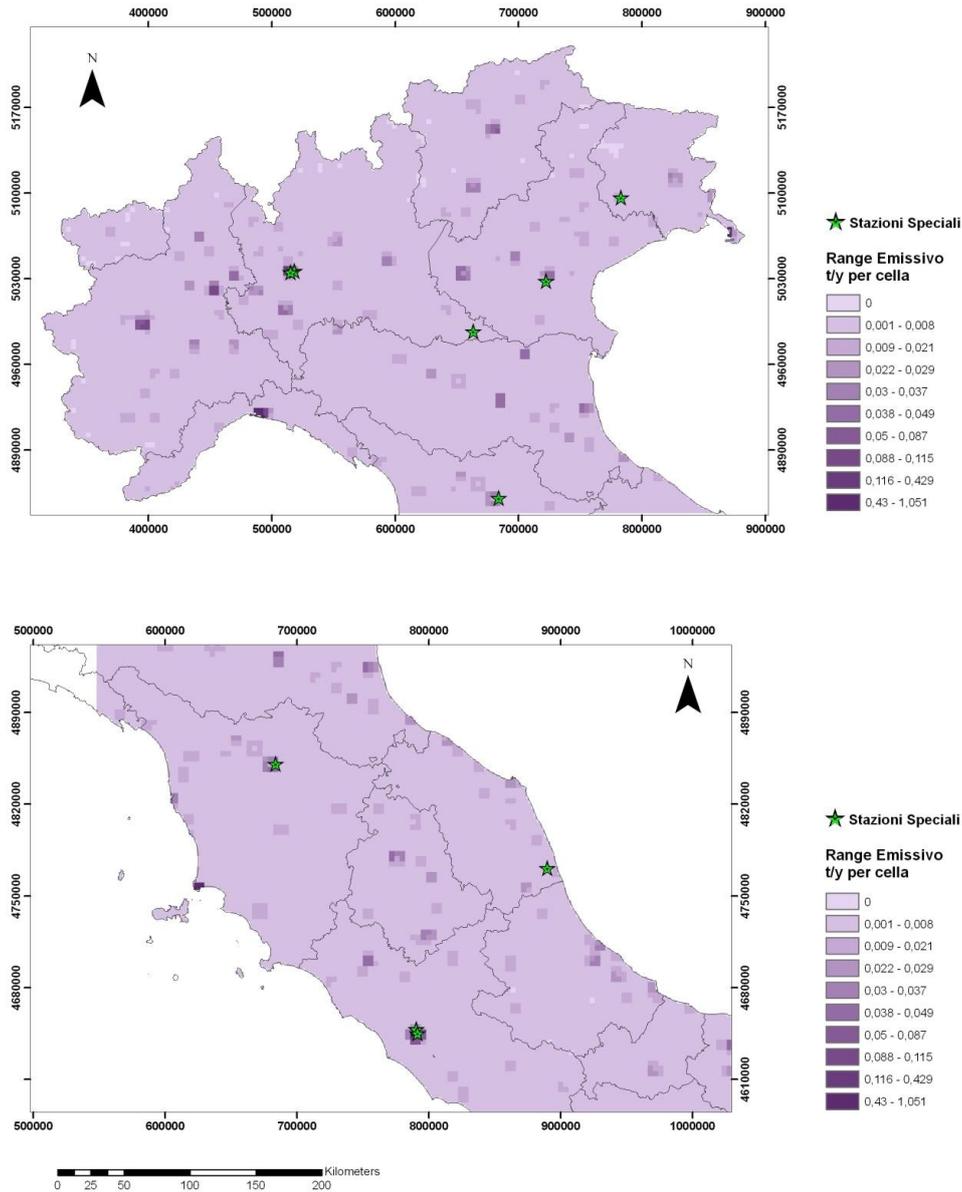


FIGURE 9.A, .B - IPA: RANGE EMISSIVO NI (IN ALTO) E CI (IN BASSO), ei.ISPRA, ANNO.

Le Figure 9.A e .B mostrano la variabilità delle emissioni annuali di IPA, nei due domini, con inventario ei.ISPRA. La scala dei colori è la stessa nelle due figure, per un confronto omogeneo fra domini. Maggiore variabilità emissiva si nota sostanzialmente solo sulle aree urbane, dove in poche celle si concentrano attività fortemente emissive (motori a benzina pre-Euro, combustione di legna), con punte di variabilità a Torino, Genova e Trieste. Importante anche l'effetto delle acciaierie, responsabili dei massimi a Genova e Piombino. Fuori dai centri urbani, la variabilità emissiva è di fatto nulla.

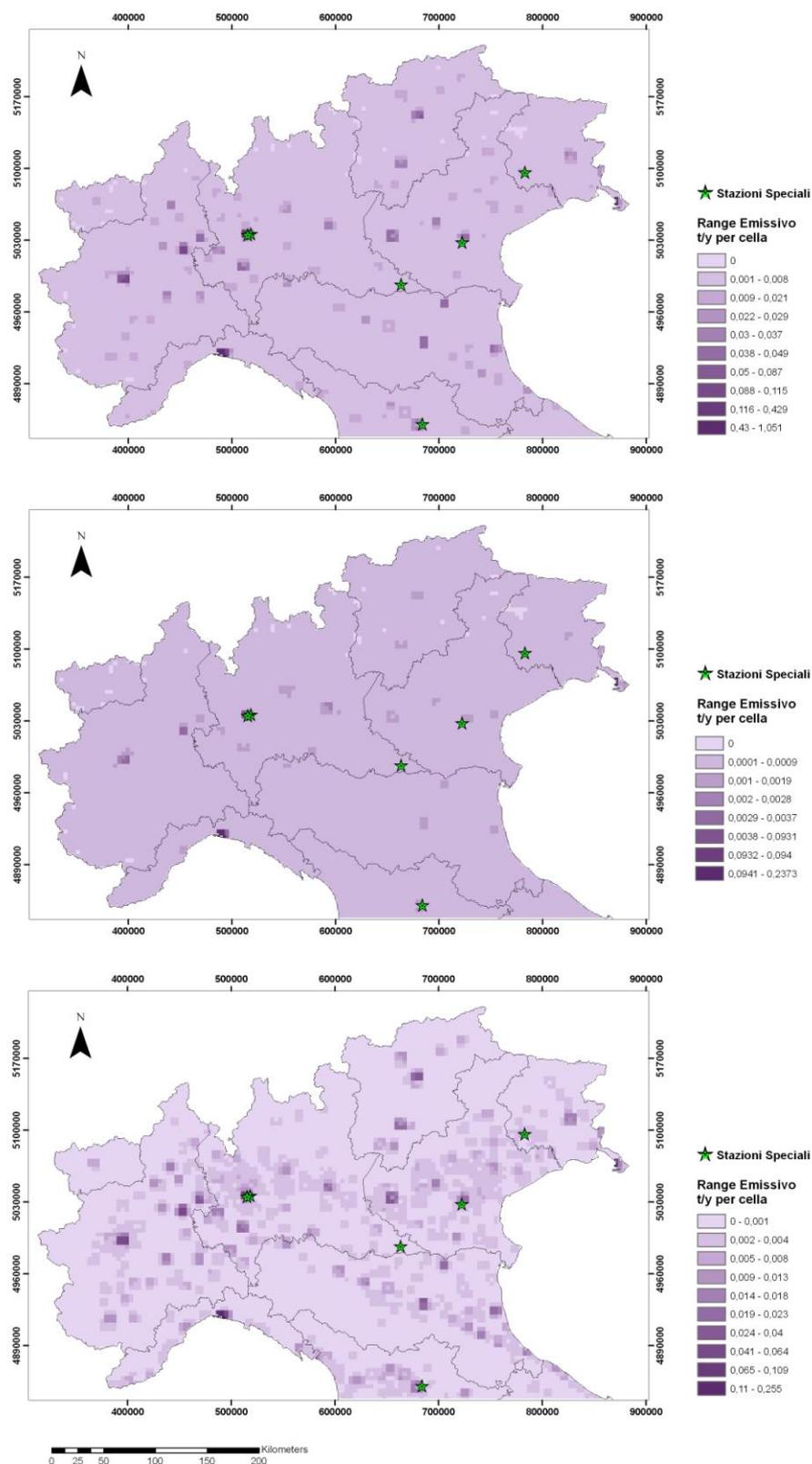


FIGURE 9.C, .D, .E - IPA: RANGE EMISSIVO NI, ei.ISPRA, ANNO-ESTATE-INVERNO (DALL'ALTO IN BASSO).

Le Figure 9.C, .D e .E mostrano la variabilità delle emissioni di IPA su NI, nei tre periodi considerati. La scala dei colori è diversa nelle 3 figure, secondo le motivazioni espresse per il PM2.5.

In estate, la variabilità è quasi ovunque molto bassa, con l'eccezione di poche celle in aree urbane; la classificazione natural break distingue 8 classi, che rispecchiano gli 8 valori numerici possibili per il range sulla cella: in altre parole, l'input emissivo è così uniforme che la variabilità emissiva assume soltanto 8 valori su tutto il dominio.

Viceversa, la mappa invernale è più variegata, con la comparsa di macchie scure (alta variabilità emissiva) in molte aree urbane. La distribuzione appare simile a quella del PM2.5, con maggiore frammentazione delle aree visibili (range > 0.001 t/periodo) dovuta alla spazializzazione, concentrata sulle aree urbanizzate e trascurabile sulle grandi strade. Il cambiamento della distribuzione è dovuto alla combustione di legna per riscaldamento civile, assente in estate.

Si nota che il picco di variabilità è simile tra estate e inverno, a testimoniare che i valori emissivi massimi (e i range di conseguenza) sono formati da sorgenti attive tutto l'anno, cioè le acciaierie, a Genova e Trieste.

3.1.3 Arsenico

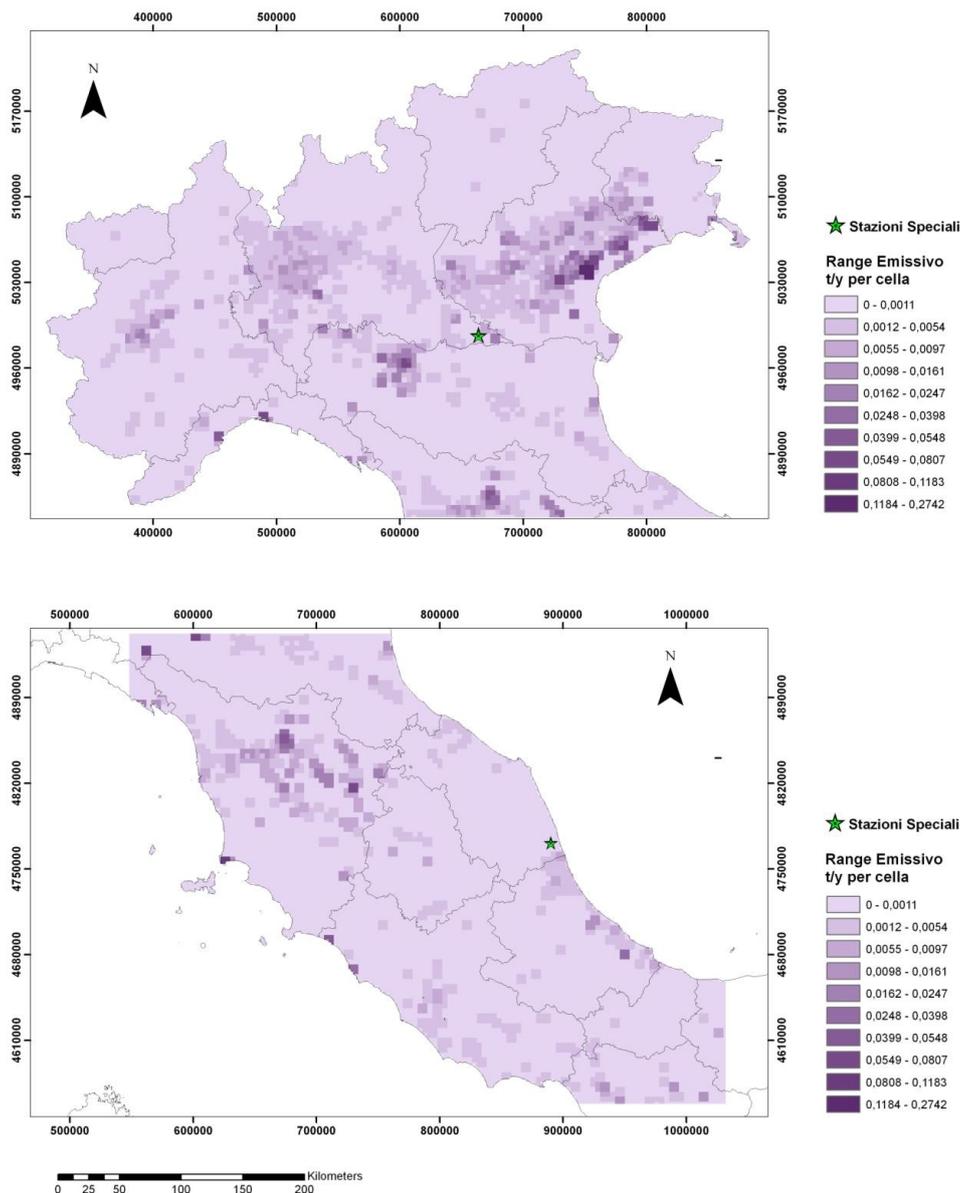


FIGURE 10.A, .B - ARSENICO: RANGE EMISSIVO NI (IN ALTO) E CI (IN BASSO), ei. ISPRA, ANNO.

Le Figure 10.A e .B mostrano la variabilità delle emissioni annuali di arsenico, nei due domini, con inventario ei. ISPRA. La scala dei colori è la stessa nelle due figure, per un confronto omogeneo fra domini. I valori massimi sono concentrati in alcune zone, di estensione anche notevole come la fascia tra Mestre e Portogruaro e l'area di Parma. Le emissioni di arsenico sono dovute essenzialmente alla produzione del vetro e alle centrali termoelettriche alimentate a carbone, distribuite in ei. ISPRA e Emission Manager in parte sui punti esatti di emissione (es., la centrale di Fusina (VE)) e in parte sulle aree industriali delle province di riferimento (es., Parma): ecco perché si vedono hot-spot di 2-3 celle (intorno alle puntuali) e fasce di 10-15 celle (nelle aree industriali delle province coinvolte).

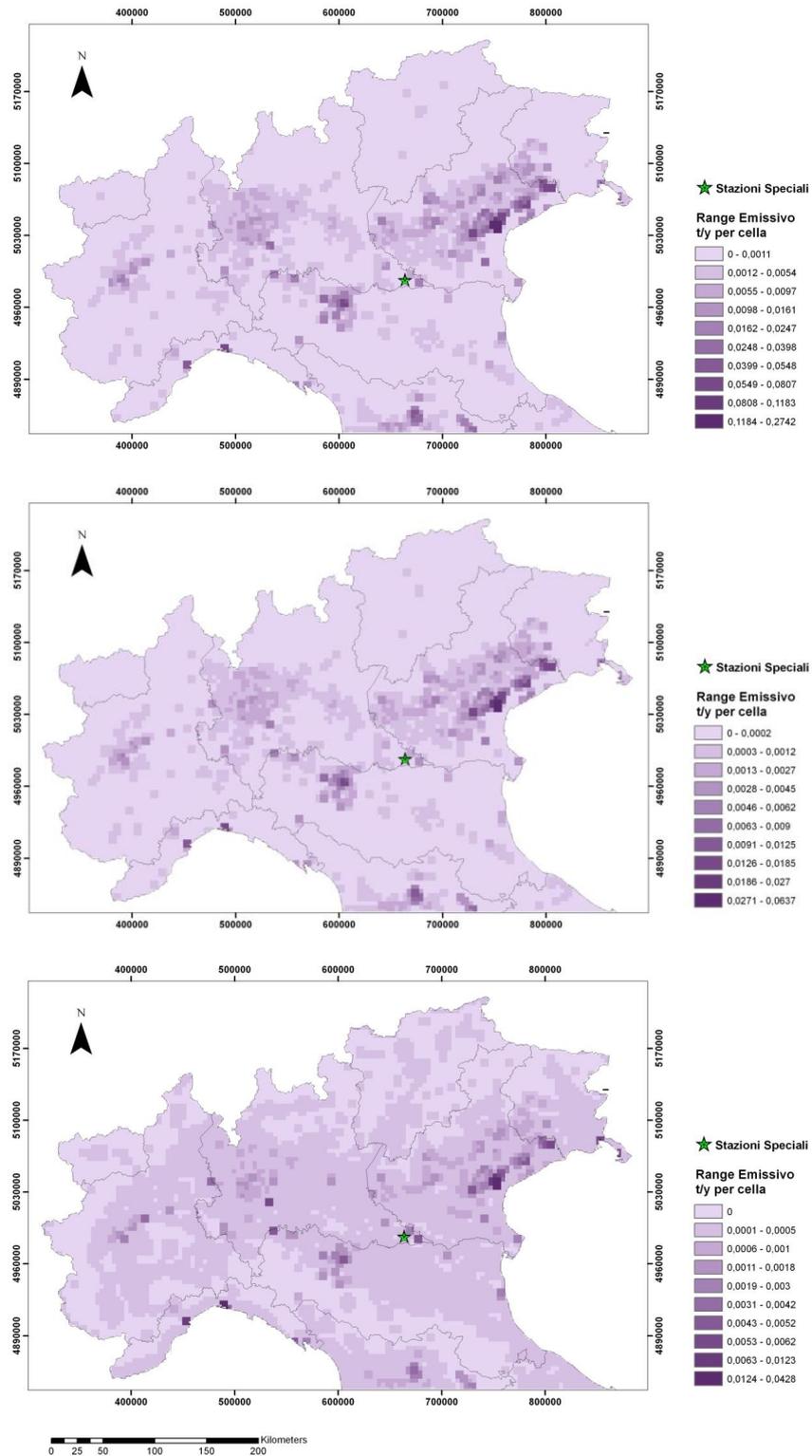


FIGURE 10.C, .D, .E - ARSENICO: RANGE EMISSIVO NI, ei.ISPRA, ANNO-ESTATE-INVERNO (DALL'ALTO IN BASSO).

Le Figure 10.C, .D e .E mostrano la variabilità delle emissioni di arsenico su NI, nei tre periodi considerati. La scala dei colori è diversa nelle 3 figure, per i motivi già spiegati. Le mappe annuale e estiva sono quasi uguali: se ne deduce che la variabilità emissiva è guidata dal periodo estivo. Ciò viene confermato dalla minore ampiezza della distribuzione dei valori invernali rispetto agli estivi.

3.2 Stazioni di monitoraggio

Nell'analisi di dettaglio delle stazioni di monitoraggio e delle aree limitrofe, si è seguito un criterio qualitativo nel valutare la rappresentatività. Basandosi sulle caratteristiche del tematismo cromatico (classificazione "natural break, vedi § 2.3), l'area di rappresentatività della stazione ha valori di variabilità emissiva compresi nei primi 3 intervalli cromatici (in ordine crescente). Con valori superiori, il gradiente emissivo è giudicato oltre soglia, quindi la cella non appartiene all'area di rappresentatività della stazione. Si precisa che il criterio è qualitativo e ottimizzato per una valutazione "relativa", in cui sono valorizzate le differenze dei valori all'interno del dataset; non sono state utilizzate soglie assolute, per la difficoltà di reperire dati adeguati in letteratura.

3.2.1 Stazioni urbane

Una prima serie di considerazioni di dettaglio è stata effettuata sulle stazioni urbane di fondo, estrapolando dall'elenco completo le 4 stazioni comprese nel dominio NI, riportate per comodità nella seguente Tabella 3.

LOCALIZZAZIONE	DENOMINAZIONE	CODICE	X	Y	TIPO	ZONA	INQUINANTE
Milano	Milano Pascal_Città Studi	301568	518106	5036115	fondo	urbana	PM10, PM2.5, IPA
Padova	PD_Mandria	502808	722450	5028088	fondo	urbana	PM10, PM2.5, IPA
Udine	UD_Via Cairoli	603001	827964	5110129	fondo	urbana	PM10, PM2.5
Firenze	Fi_Bassi	904809	683982	4850607	fondo	urbana	PM10, PM2.5, IPA

TABELLA 3 - ELENCO DELLE STAZIONI DI FONDO URBANO NEL DOMINIO NI.

Per ciascuna stazione, l'analisi di variabilità è stata effettuata sulle emissioni di PM10, sia su base ei.ISPRA (sugli intervalli annuale, estivo, invernale) che ei.GAINS (sull'intervallo annuale).

Nella Figura 11 sono riportate le 4 mappe di variabilità emissiva nella zona di Milano-Pascal Città Studi. Benché di fondo, la stazione è all'interno di un'area a forte variabilità emissiva, con valori che per ei.ISPRA annuale sono superiori a 114 t/y, in un'area di 96 km². La situazione si ripropone sugli intervalli stagionali, con valori inferiori del range dovuti all'intervallo temporale di integrazione delle emissioni più breve. La mappa dell'ei.GAINS presenta un quadro leggermente diverso: i valori di variabilità sono inferiori (dell'ordine delle 20 t/y) e distribuiti in modo discontinuo nell'area urbana di Milano, ma comunque in diverse celle (tra cui la cella di appartenenza della stazione) sono apprezzabilmente più alti che nel circondario extraurbano. In sintesi, è evidente che la stazione è in una zona di forti gradienti emissivi, per cui la valutazione della rappresentatività della misura del PM10 deve limitarsi alla sola cella di appartenenza, alla risoluzione utilizzata.

La situazione è analoga per la stazione di Padova-Mandria (Figura 12). La stazione è ubicata ai limiti dell'area urbana di Padova, in una zona di urbanizzazione discontinua, quindi verosimilmente suburbana (secondo i criteri EoI). La mappa annuale della variabilità mostra che la stazione è all'estremo sud-ovest di un'area di 96 km² con valori alti, sia in ei.ISPRA che in ei.GAINS. Le mappe stagionali mostrano invece valori bassi, anche in questo caso dovuti all'intervallo temporale di integrazione delle emissioni più breve, con differenze minime rispetto all'area extraurbana. In definitiva, le indicazioni quantitative sono contrastanti nell'intero anno rispetto alle stagioni, tuttavia appare chiaro che su base annuale la stazione è al confine fra una zona (sud-ovest) di celle con valori medi e una zona (nord-est) di celle con valori-alti di variabilità emissiva: essa non può considerarsi rappresentativa delle aree extraurbane con bassa variabilità emissiva, ed è da approfondire la rappresentatività dell'area urbana (più alta a sud-ovest, più bassa a nord-est) con un aumento di risoluzione del grigliato emissivo.

La stazione di Firenze-Bassi (Figura 13) ripropone elementi delle due stazioni precedenti: valori di range più alti sull'anno che nelle 2 stagioni, distribuzione disuniforme sull'urbanizzato con valori mediamente più elevati che fuori città; ne deriva una stima di rappresentatività limitata alla sola cella di appartenenza, alla risoluzione utilizzata. Udine-Via Cairoli (Figura 14) mostra invece valori generalmente più bassi e continui sull'area urbana, che indicano una discreta rappresentatività della situazione urbana, in particolare della zona sud-est, che ha minore variabilità emissiva.

La valutazione sui siti di fondo urbano fornisce due importanti indicazioni generali. In primo luogo, la variabilità emissiva nei centri urbani è alta, in conseguenza della concentrazione delle emissioni in poche decine di km², circondati da aree con basse emissioni, e della disuniformità della distribuzione delle emissioni all'interno del centro urbano stesso. In secondo luogo, il dataset grigliato a risoluzione di 4 km mostra limiti importanti sulle aree urbane, dove le mappe tematizzate sono molto discontinue, con la presenza di forti differenze di range tra celle adiacenti. In coerenza con quanto già evidenziato in altre sedi, un aumento della risoluzione del SMA fornirebbe un importante miglioramento della descrizione dell'inquinamento in area urbana, ivi compresa la valutazione della rappresentatività spaziale con la presente metodologia. Pertanto, si ritiene che sulle aree urbane l'utilizzo di emissioni spazializzate su griglia 4x4 km² non sia adeguato alla valutazione della rappresentatività spaziale di stazioni di fondo.

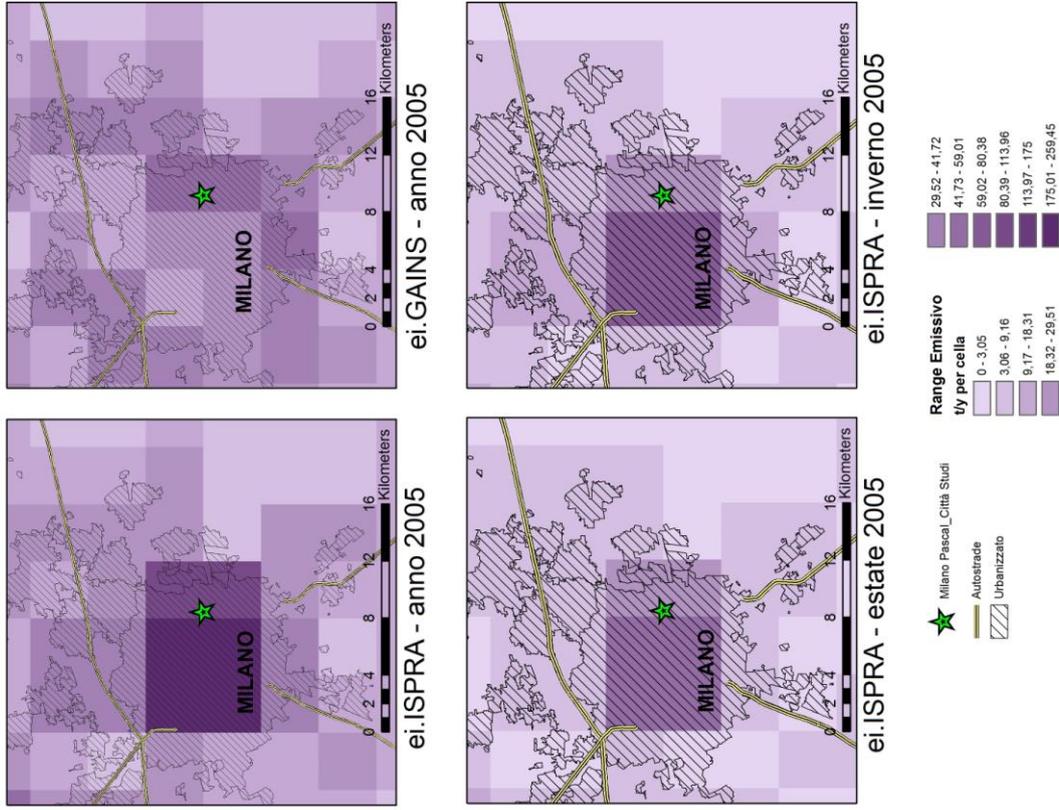


FIGURA 11 - RANGE EMISSIVO DI PM10 PER LA STAZIONE DI MILANO – PASCAL.

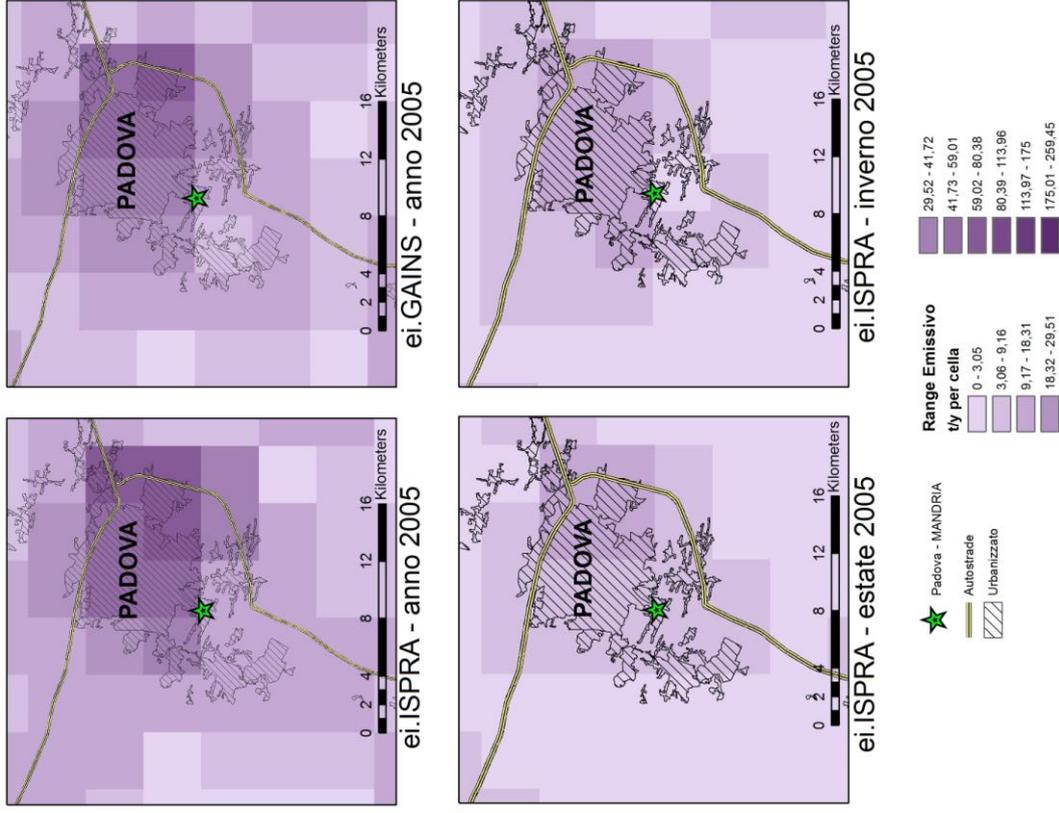
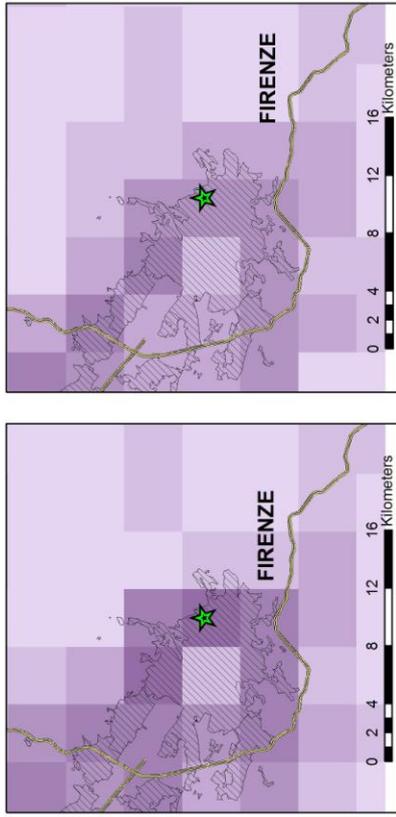
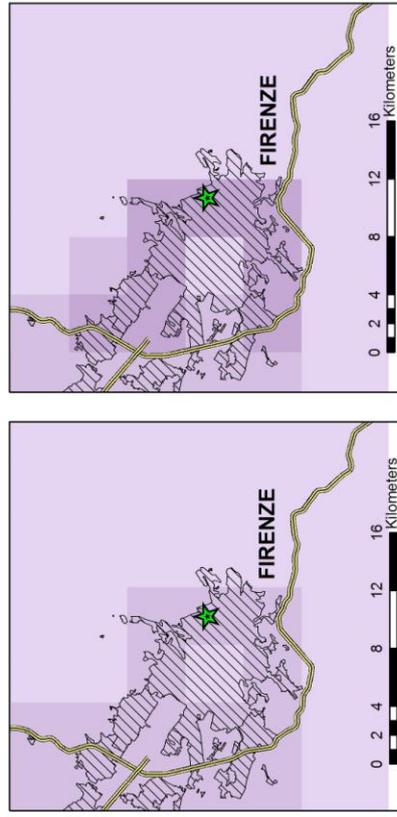


FIGURA 12 - RANGE EMISSIVO DI PM10 PER LA STAZIONE DI PADOVA – MANDRIA.



ei.GAINS - anno 2005

ei.ISPRA - anno 2005



ei.ISPRA - inverno 2005

ei.ISPRA - estate 2005

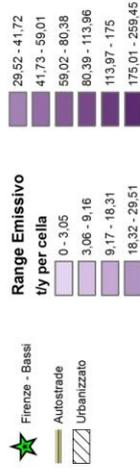
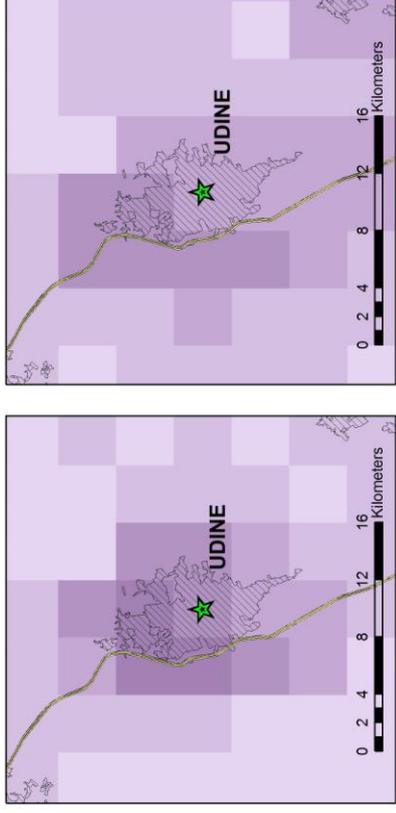
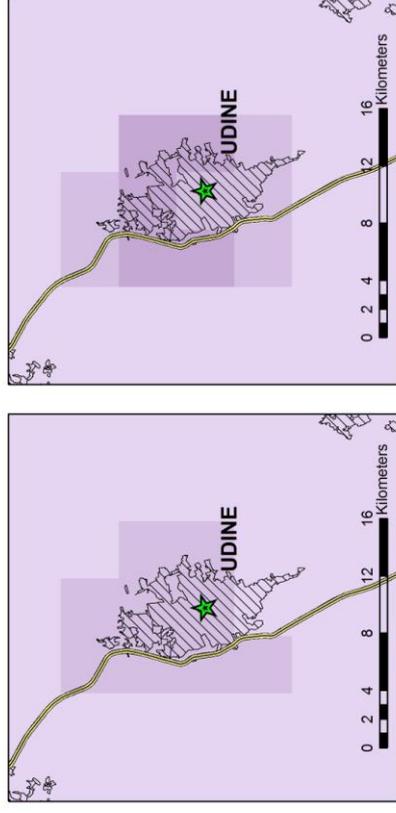


FIGURA 13 - RANGE EMISSIVO DI PM10 PER LA STAZIONE DI FIRENZE – BASSI.



ei.GAINS - anno 2005

ei.ISPRA - anno 2005



ei.ISPRA - inverno 2005

ei.ISPRA - estate 2005

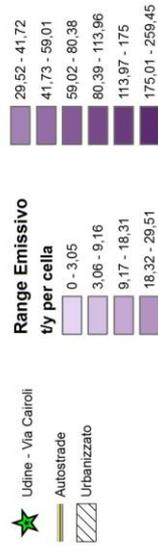


FIGURA 14 - RANGE EMISSIVO DI PM10 PER LA STAZIONE DI UDINE – VIA CAIROLI.

3.2.2 Stazioni rurali

Tra le stazioni di fondo rurale che misurano PM, IPA e metalli pesanti, all'interno dei domini NI e CI, utilizzati nello studio, sono comprese Schivenoglia, Ripatransone e Montelibretti (Tabella 4). Queste sono state analizzate nel dettaglio nel presente paragrafo, con la presentazione delle mappe di distribuzione delle emissioni totali e della relativa variabilità in un intorno di circa 50 km dalla stazione, per tutti gli inquinanti analizzati. Le mappe sono riferite a ei.ISPRA su base annuale. L'esame congiunto degli strati raster delle emissioni e del range emissivo permette considerazioni integrate sul parametro emissivo e sulla statistica spaziale di variabilità relativa ad esso.

Le mappe presentano alcuni strati informativi cartografici utili all'interpretazione: la posizione (fucsia) e l'entità (azzurro) delle emissioni puntuali dell'inventario, i tracciati delle autostrade (verde) e i contorni delle aree urbane più estese di 10 km² (retinato nero), ricavati dai tematismi ISTAT (2005).

LOCALIZZAZIONE	DENOMINAZIONE	CODICE	X	Y	TIPO	ZONA	INQUINANTE
Schivenoglia (MN)	Schivenoglia	302072	663579	4986921	fondo	rurale	PM2.5, IPA, Metalli (incluso Hg)
Ascoli Piceno	Ripatransone	1104411	890094	4771057	fondo	rurale	PM2.5, IPA, Metalli
Montelibretti (RM)	Montelibretti	-	800795	4667230	fondo	rurale	Hg

TABELLA 4 - STAZIONI UTILIZZATE NELL'ANALISI DI DETTAGLIO.

Per l'analisi delle altre stazioni, si veda il commento nel paragrafo 4.

3.2.3 Schivenoglia

3.2.3.1 PM2.5

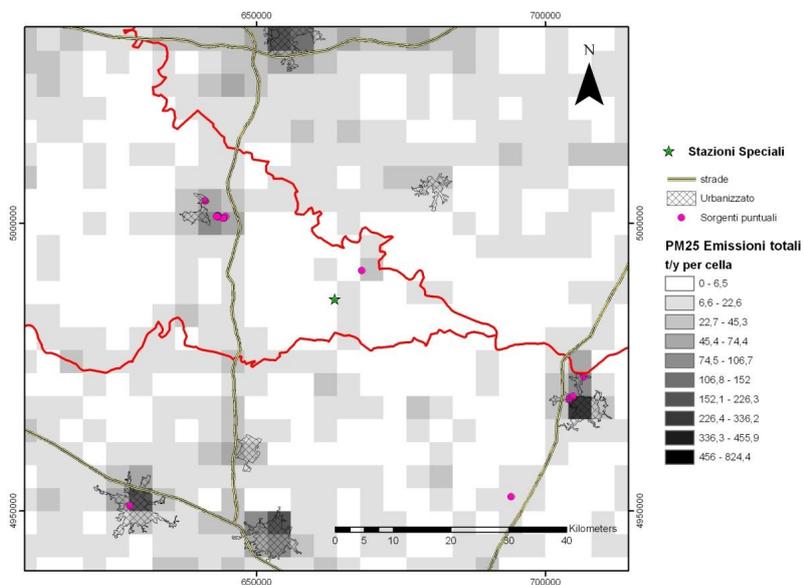


FIGURA 15 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI DI PM2.5.

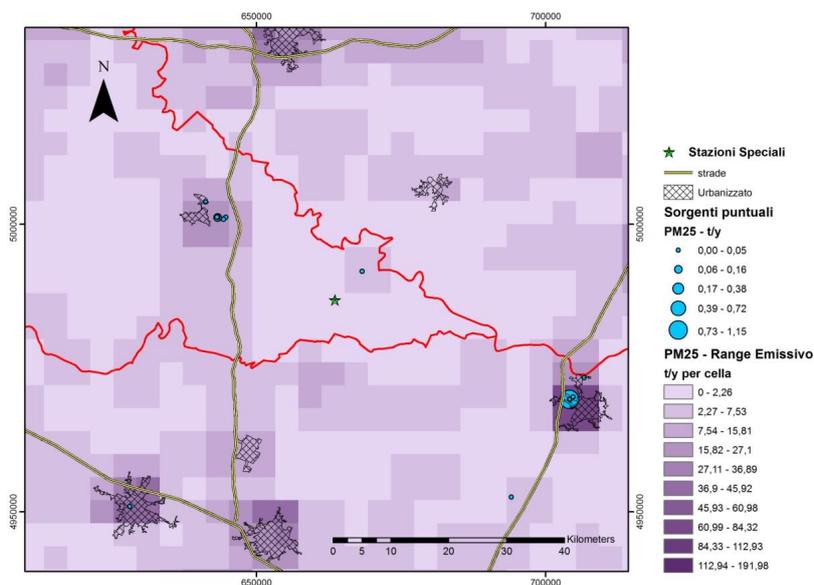


FIGURA 16 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO DI PM2.5.

Schivenoglia è in una zona con emissioni di PM2.5 uniformemente basse (Figura 15). Le celle più vicine con picchi emissivi sono nelle aree urbane di Mantova, a distanza di circa 25 km a nord-ovest, e di Ferrara, a 50 km. Di conseguenza, la mappa della variabilità mostra che la stazione è nell'area più chiara, estesa per decine di km² intorno. I primi due intervalli della scala cromatica occupano buona parte della mappa, mentre le celle più scure sono pochissime e localizzate sui capoluoghi di provincia (Verona, Mantova, Ferrara, Modena, Reggio Emilia). Si può quindi affermare che la rappresentatività della misura del PM2.5 è elevata, dell'ordine di 10³ km² in tutte le direzioni, valore coerente col posizionamento rurale della stazione. La stazione non è rappresentativa delle aree urbane dei capoluoghi di provincia compresi nella mappa.

3.2.3.2 IPA

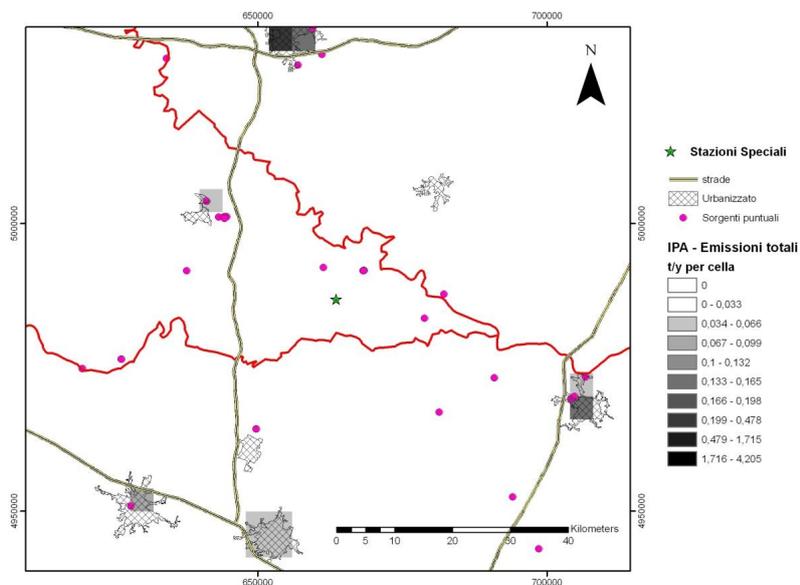


FIGURA 17 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI DI IPA.

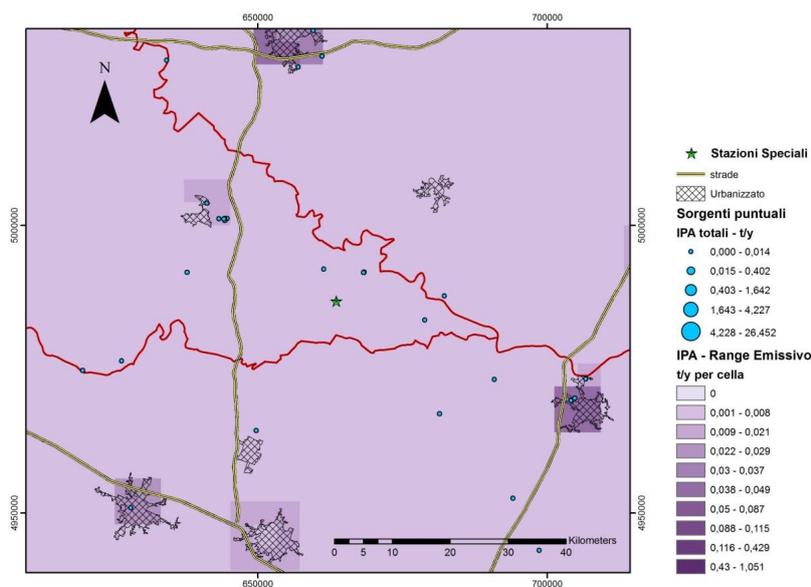


FIGURA 18 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO DI IPA.

Per gli IPA valgono le considerazioni generali espresse per il PM_{2.5}: la zona ha emissioni dovunque molto basse (Figura 17), eccetto che nelle grandi aree urbane, tra le quali i valori più alti sono a Verona, Ferrara e Reggio Emilia. Di conseguenza, la variabilità emissiva è bassissima, quasi ovunque nel secondo intervallo della scala cromatica. Si può quindi affermare che la rappresentatività della misura degli IPA è elevata, dell'ordine di 10³ km² in tutte le direzioni, valore coerente col posizionamento rurale della stazione. La stazione non è rappresentativa delle aree urbane di Verona e Ferrara.

3.2.3.3 ARSENICO

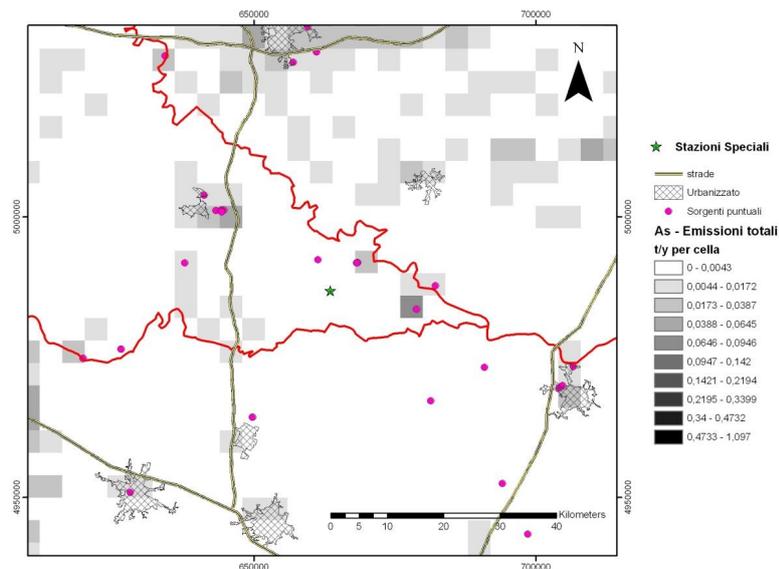


FIGURA 19 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI DI ARSENICO.

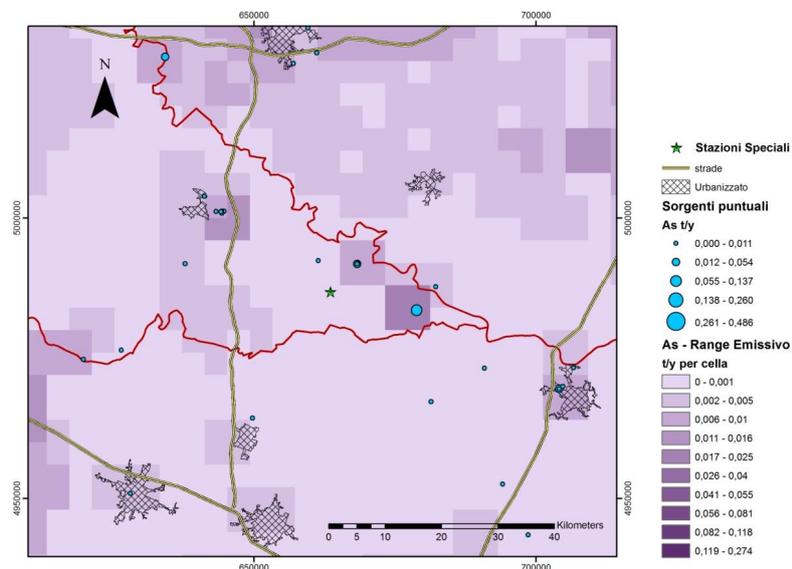


FIGURA 20 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO DI ARSENICO.

Per l'arsenico, esistono nelle vicinanze della stazione delle sorgenti puntuali relativamente importanti, ossia le centrali termoelettriche di Ostiglia (a circa 5 km a nord-est) e Sermide (a circa 15 km a est), il cui effetto è visibile nella mappa di variabilità, con 2 "macchie" entrambe di 4 celle vicine alla stazione. Anche su Mantova appaiono 3 celle scure, con valori dell'ordine di 0,0015 t/y. Altre zone in intervalli cromatici superiori al secondo sono a Verona e in alcune celle del circondario e al bordo ovest della mappa, nella provincia di Reggio Emilia. Negli altri punti della mappa, la variabilità è emissiva è bassa, quasi ovunque nel secondo intervallo della scala cromatica. In questa situazione, l'analisi del grigliato emissivo va integrata con l'analisi del grigliato della meteorologia e delle concentrazioni, per capire se e quanto le emissioni influenzano le concentrazioni presso la stazione. Per tale motivo si può affermare che la rappresentatività della stazione è in generale elevata, dell'ordine di 10^3 km^2 in quasi tutte le direzioni, valore coerente col posizionamento rurale della stazione, tuttavia la presenza di importanti sorgenti entro i 25 km in 3 diverse direzioni km indica la necessità di approfondimenti con altre metodologie.

3.2.3.4 CADMIO

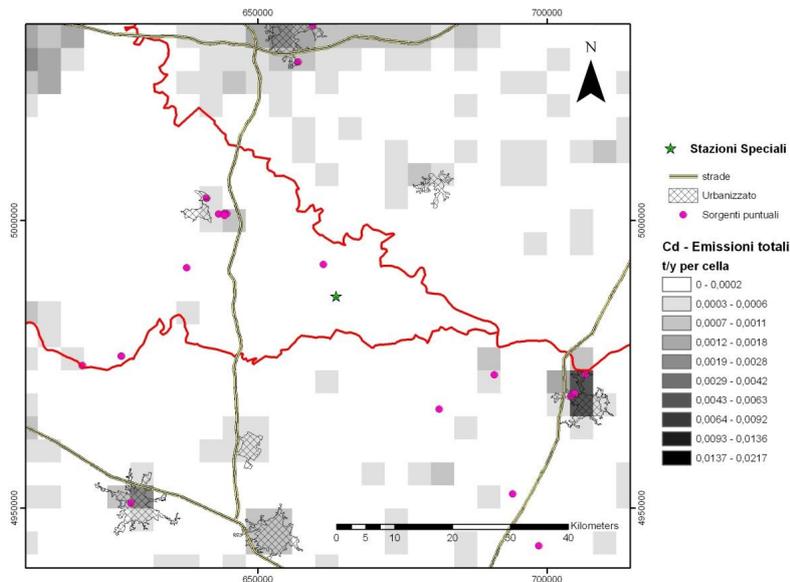


FIGURA 21 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI DI CADMIO.

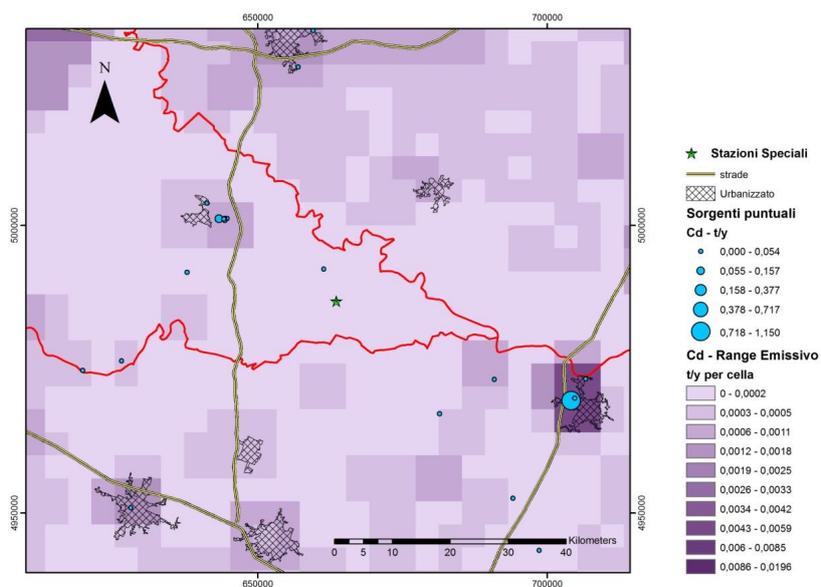


FIGURA 22 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO DI CADMIO.

Per il cadmio, la mappa della variabilità mostra che la stazione è nell'area più chiara, estesa per decine di km² intorno. I primi tre intervalli della scala cromatica occupano buona parte della mappa; le celle più scure sono a Ferrara, per la presenza del polo petrolchimico, a Verona e al bordo nord-ovest della mappa, in provincia di Brescia. Si può quindi affermare che la rappresentatività della misura del cadmio è elevata, dell'ordine di 10³ km² in tutte le direzioni, valore coerente col posizionamento rurale della stazione. La stazione non è rappresentativa dell'area urbana di Ferrara.

3.2.3.5 NICHEL

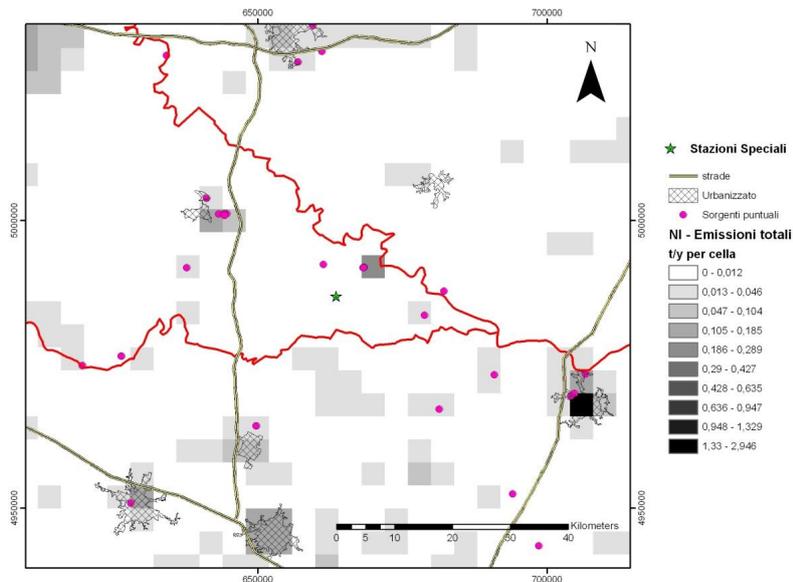


FIGURA 23 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI DI NICHEL.

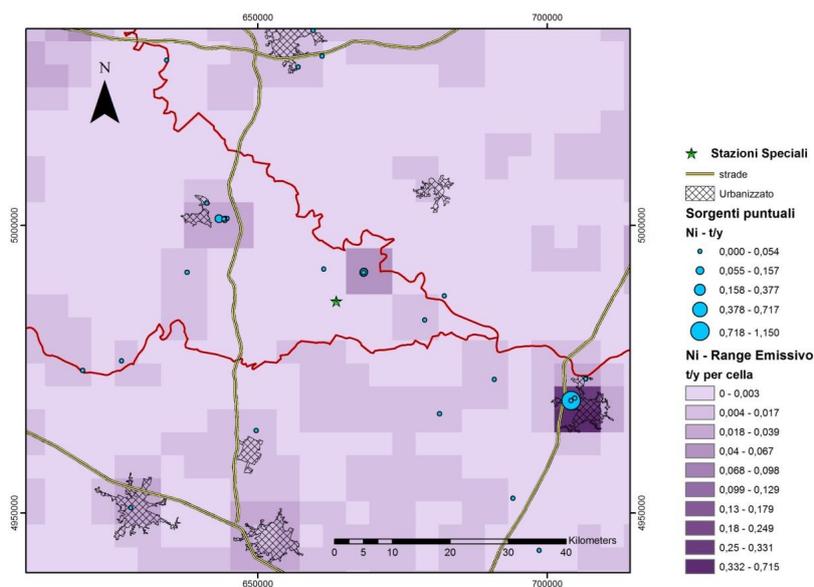


FIGURA 24 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO DI NICHEL.

Per il nichel, nelle vicinanze è presente una sorgente puntuale importante, ossia la centrale termoelettrica di Ostiglia, a circa 5 km a nord-est, che produce una “macchia” di variabilità di 4 celle dell’ordine di 0,005 t/y. L’altro picco di variabilità è a Ferrara, a che qui su 4 celle. Negli altri punti della mappa, la variabilità è emissiva è bassa, quasi ovunque nei primi 3 intervalli della scala cromatica. Si può affermare che la rappresentatività della stazione è in generale elevata, dell’ordine di 10^3 km^2 in quasi tutte le direzioni, con l’importante eccezione dell’area della centrale di Ostiglia, la cui vicinanza potrebbe dare ricadute sulla stazione di Schivenoglia, da approfondire con altre metodologie.

3.2.3.6 MERCURIO

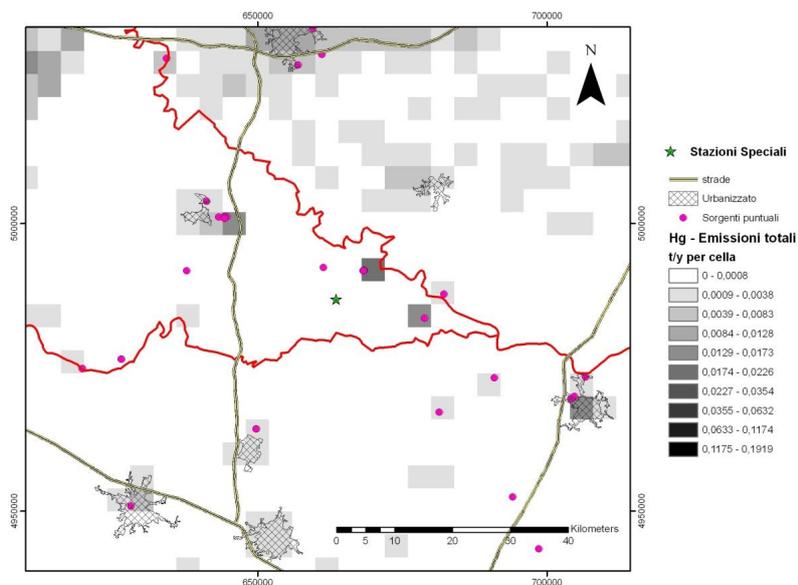


FIGURA 25 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI DI MERCURIO.

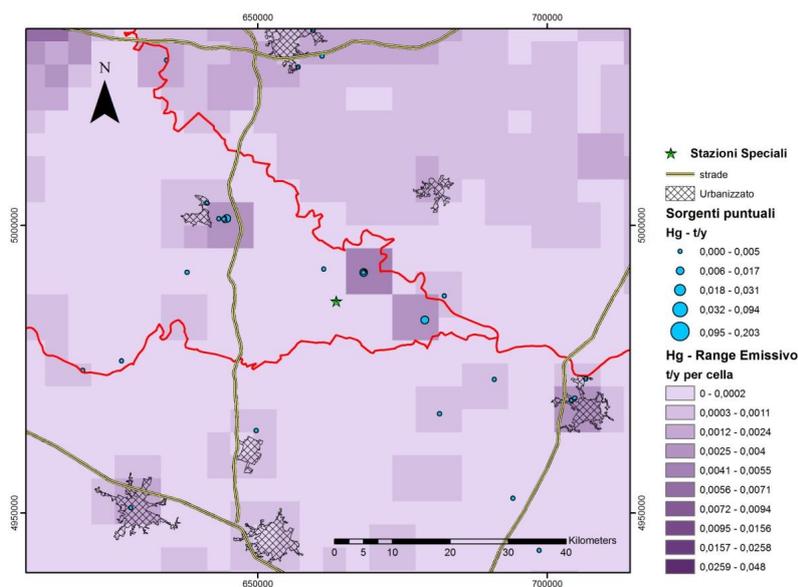


FIGURA 26 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO DI MERCURIO.

Per il mercurio, valgono le considerazioni espresse per l'arsenico. Si può affermare che la rappresentatività della stazione è in generale elevata, dell'ordine di 10^3 km^2 in quasi tutte le direzioni, valore coerente col posizionamento rurale della stazione, tuttavia la presenza di importanti sorgenti entro i 25 km in 3 diverse direzioni km indica la necessità di approfondimenti con altre metodologie.

3.2.4 Ripatransone

3.2.4.1 PM2.5

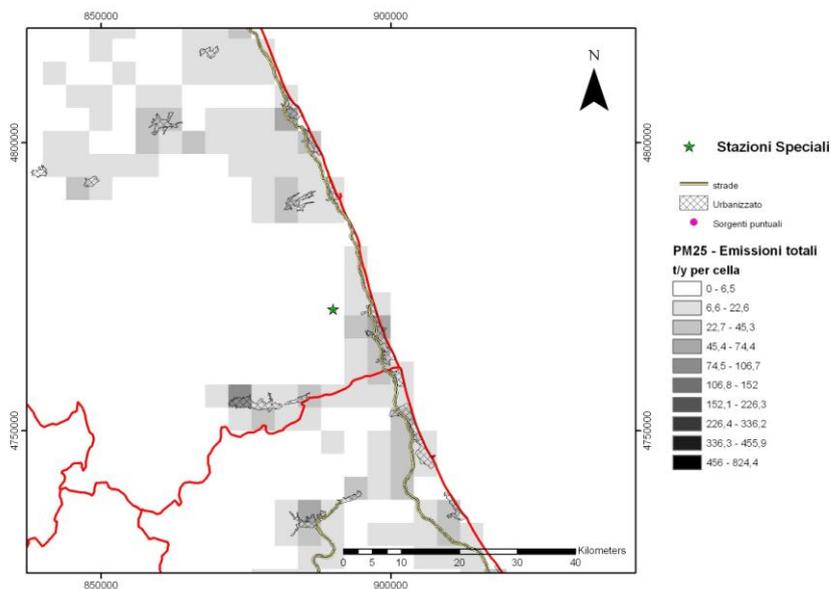


FIGURA 27 - RIPATRANSONE: EMISSIONI DI PM2.5.

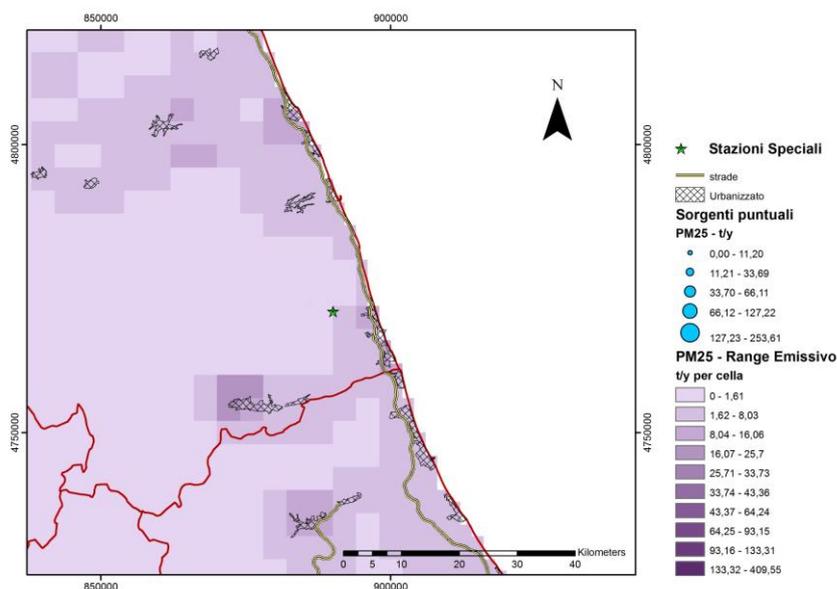


FIGURA 28 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO DI PM2.5.

La stazione di Ripatransone è situata in area costiera, ai limiti di una zona con emissioni di PM2.5 uniformemente basse (Figura 27, area bianca). Nella mappa si possono vedere le aree di maggiore apporto: la zona costiera, più intensamente urbanizzata e attraversata dall'asse autostradale A14, e le aree urbanizzate nell'interno. Ne segue che il range emissivo è maggiore nelle zone più emmissive citate sopra, restando entro i primi 3 intervalli cromatici ovunque, tranne che a Ascoli Piceno (30 km a sud-ovest). Si può affermare che la rappresentatività della stazione è in generale elevata, dell'ordine di 10^3 km² in tutte le direzioni, valore coerente col posizionamento rurale della stazione. La stazione non è rappresentativa dell'area urbana di Ascoli Piceno.

3.2.4.2 IPA

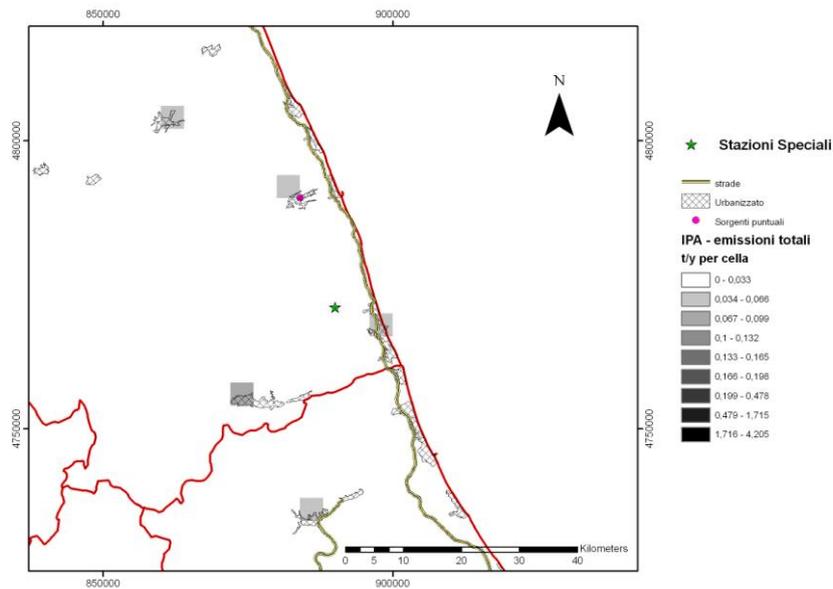


FIGURA 29 - RIPATRANSONE: EMISSIONI DI IPA.

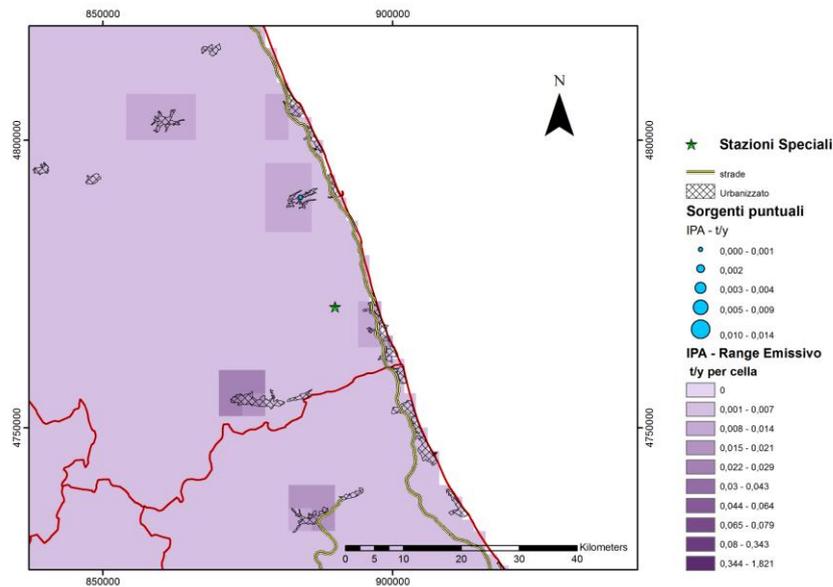


FIGURA 30 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO DI IPA.

Nella Figura 29 appare chiaro le emissioni di IPA sono legate esclusivamente ai centri abitati e all'unica sorgente puntuale (peraltro con emissioni modeste) esistente nella zona, nell'abitato di Fermo. Ne segue che il range emissivo della Figura 30 è molto basso e uniforme, tranne che a Ascoli Piceno e a Teramo (40 km a sud-). Si può affermare che la rappresentatività della stazione è in generale elevata, dell'ordine di 10^3 km² in tutte le direzioni, valore coerente col posizionamento rurale della stazione. La stazione non è rappresentativa delle aree urbane di Ascoli Piceno e Teramo.

3.2.4.3 ARSENICO

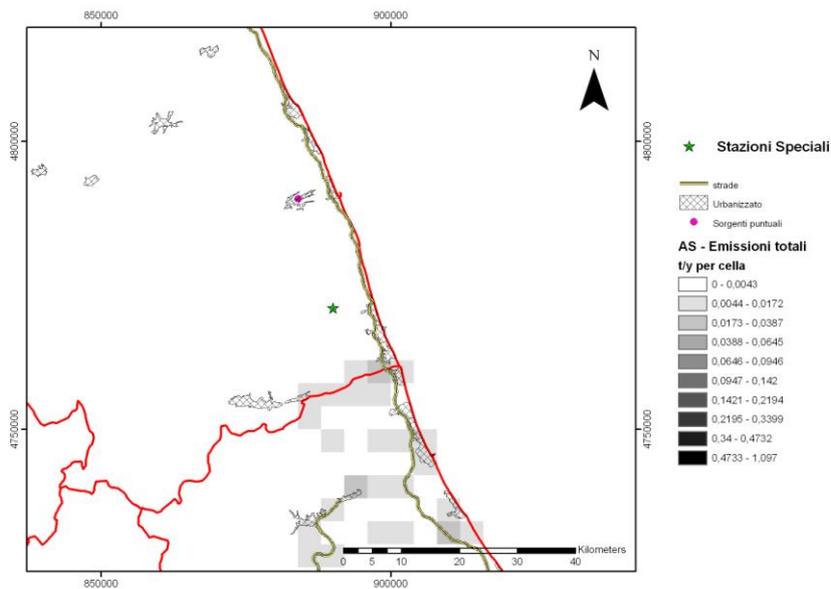


FIGURA 31 - RIPATRANSONE: EMISSIONI DI ARSENICO.

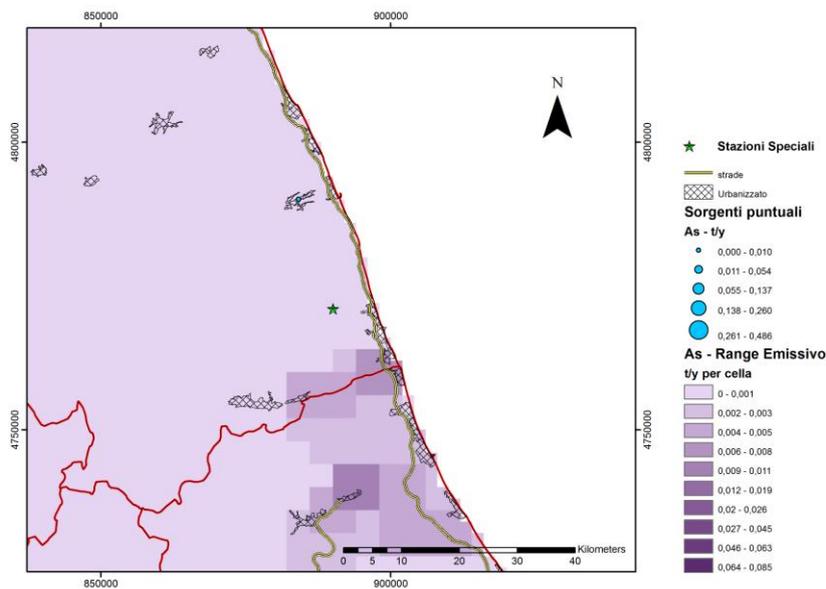


FIGURA 32 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO DI ARSENICO.

Le emissioni di arsenico, Figura 31, sono basse e concentrate a sud della stazione, nel territorio abruzzese, lungo le valli appenniniche con insediamenti industriali. Nella mappa della variabilità, Figura 32, si riflettono le aree emissive a sud, con l'apparire di due "macchie" (sopra il secondo intervallo cromatico), una di 10 celle già a 10 km circa dalla stazione, lungo la valle del Tronto, e una di 20 celle a 40km, in provincia di Teramo. Si può affermare che la rappresentatività della stazione è in generale elevata, dell'ordine di 10^3 km² in tutte le direzioni, tranne che verso sud, dove non è rappresentativa della valle del Tronto e di parte della provincia di Teramo.

3.2.4.4 CADMIO

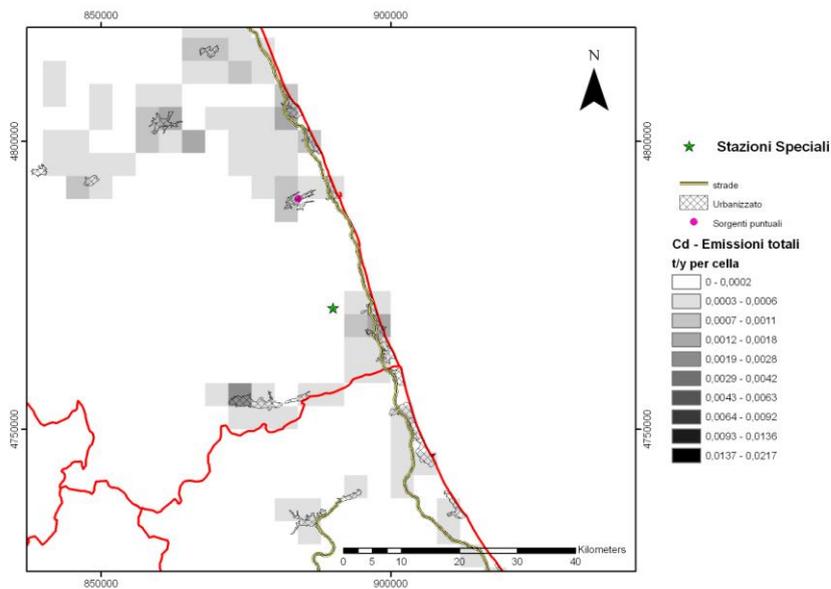


FIGURA 33 - RIPATRANSONE: EMISSIONI DI CADMIO.

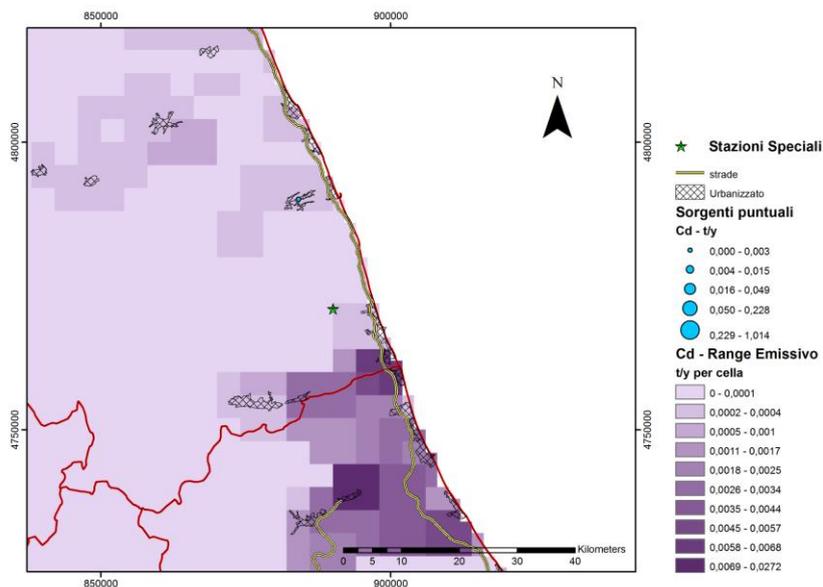


FIGURA 34 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO DI CADMIO.

Per il cadmio, valgono considerazioni molto simili all'arsenico, a cui si rimanda. In questo caso, la zona a sud ha valori di range che toccano i massimi della scala cromatica Si può affermare che la rappresentatività della stazione è in generale elevata, dell'ordine di 10^3 km^2 in tutte le direzioni, tranne che verso sud, dove non è rappresentativa della valle del Tronto e della zona collinare abruzzese.

3.2.4.5 NICHEL

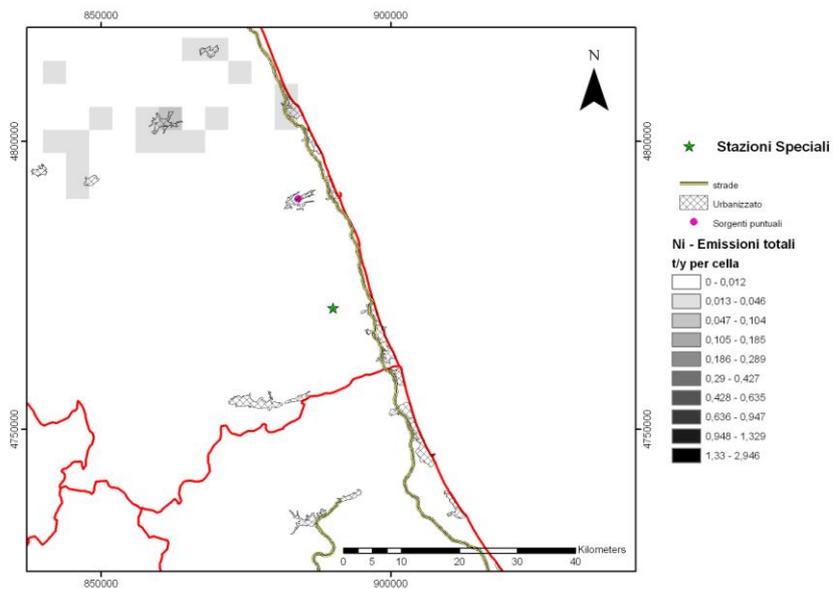


FIGURA 35 - RIPATRANSONE: EMISSIONI DI NICHEL.

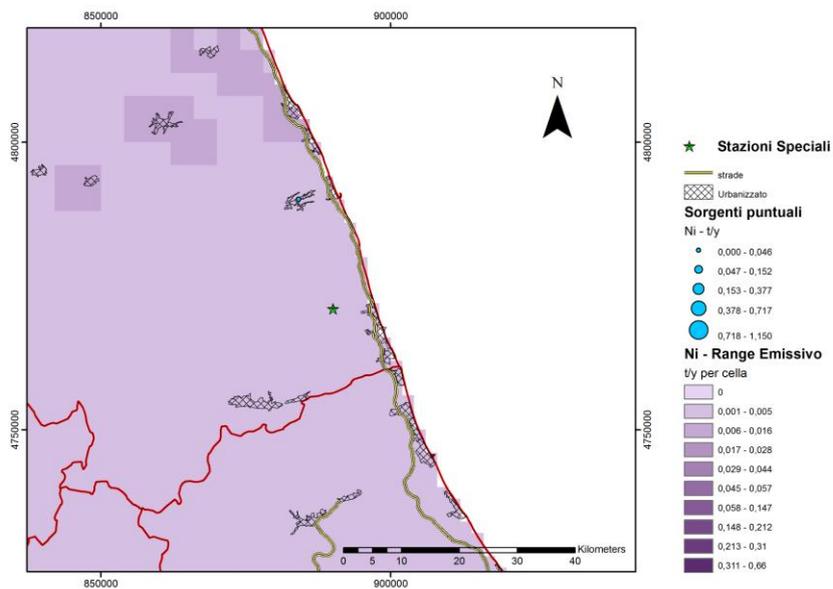


FIGURA 36 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO DI NICHEL.

Le emissioni di nichel, molto basse, sono concentrate nella parte nord della mappa, con conseguente variabilità bassissima. Si può affermare che la rappresentatività della stazione è in generale elevata, dell'ordine di 10^3 km^2 in tutte le direzioni.

3.2.5 Montelibretti - mercurio

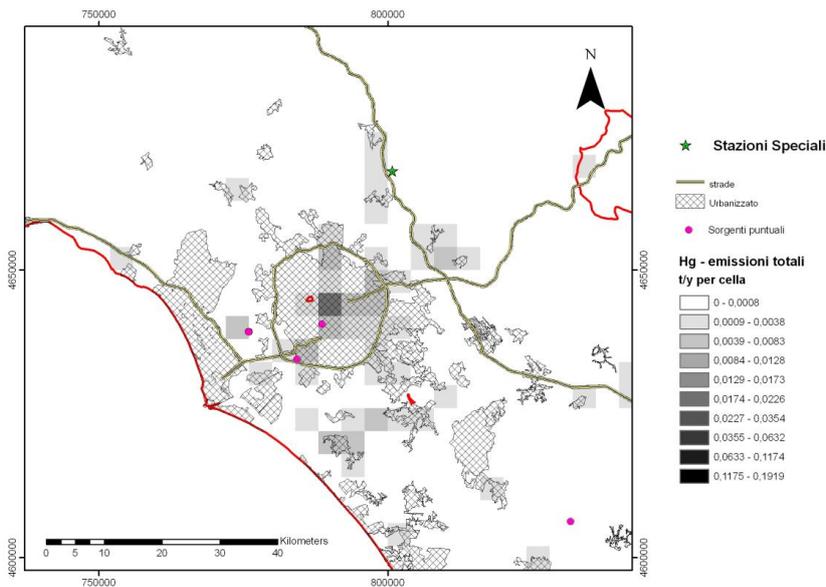


FIGURA 37 - MONTELIBRETTI: EMISSIONI DI MERCURIO.

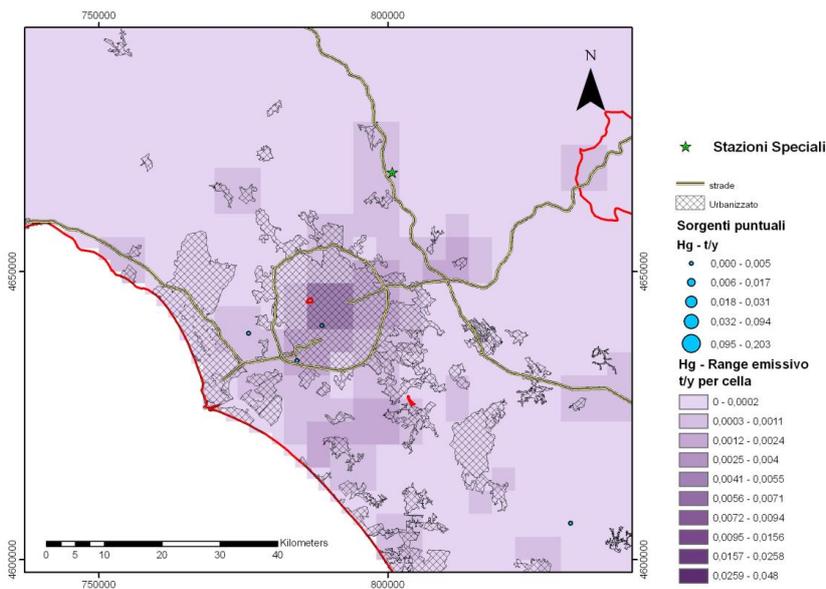


FIGURA 38 - MONTELIBRETTI: RANGE EMISSIVO DI MERCURIO.

Montelibretti è posta appena fuori dall'area urbana di Roma, le cui emissioni di mercurio su cella distano circa 20 km. La mappa della variabilità mostra valori molto bassi (primi 3 intervalli della scala cromatica) quasi ovunque, tranne 4 celle sul centro di Roma e a sud di esso. Si può quindi affermare che Montelibretti ha un'elevata rappresentatività dell'area circostante, dell'ordine di 10^3 km², in linea con la localizzazione rurale della stazione, e non è rappresentativa escludendo la zona centrale della città di Roma.

4 LIMITI E INCERTEZZE

Il presente studio ha alcuni limiti metodologici e applicativi, di seguito elencati.

L'esclusione dei processi chimico-fisici di trasporto e trasformazione degli inquinanti in atmosfera, con l'ipotesi di relazione diretta fra emissioni e concentrazioni, comporta un'approssimazione importante nel calcolo della rappresentatività delle stazioni di monitoraggio. La quantificazione di questa approssimazione, non effettuata nel presente studio, è possibile, applicando il metodo al Sistema Modellistico di MINNI in parallelo su 2 database relativi alla stessa simulazione di dispersione: da una parte le emissioni in input, dall'altra le concentrazioni in output.

Un'altra limitazione intrinseca della metodologia è l'applicabilità ai soli inquinanti primari, dato che non sono rappresentati i processi che originano gli inquinanti secondari. Nel caso di PM10, PM2.5, IPA e mercurio, esiste una parte primaria e una secondaria, per cui la metodologia è stata applicata, con la consapevolezza di ottenere risultati più approssimati che nel caso degli inquinanti solo primari. Anche in questo caso, la quantificazione dell'approssimazione non è stata effettuata ma è possibile, come spiegato in precedenza.

Poichè nel Piano Operativo di Dettaglio dell'Accordo di Programma è previsto che questa metodologia sia applicata solo ad alcuni siti, si è scelto di calcolare la variabilità emissiva sui domini NI e CI. Gli altri 3 domini del SMA, che completano la copertura del territorio nazionale, non sono stati esaminati per diversi motivi. Il dominio Sud Italia non è stato trattato per limiti di risorse, ma potrà essere ripreso nell'attività relativa al WP 2.6 dell'Accordo di Programma, nel caso che la presente metodologia venga selezionata come la migliore per la valutazione della rappresentatività spaziale delle stazioni di monitoraggio. Il dominio della Sardegna non comprende Stazioni Speciali con misura degli inquinanti primari. Il dominio della Sicilia non comprende Stazioni Speciali. Di conseguenza, le Stazioni Speciali su cui la metodologia è applicabile, perché di fondo rurale con misura degli inquinanti primari (Monte Sant'Angelo e Santa Maria Cerrate), ma che non sono comprese nei domini NI e CI, non sono state trattate nello studio.

Sulle aree urbane, l'utilizzo di emissioni spazializzate su griglia 4x4 km² non appare adeguato alla valutazione della rappresentatività spaziale di stazioni di fondo, mentre l'applicazione su griglie a maggiore risoluzione è una interessante direzione di approfondimento.

La valutazione qualitativa della rappresentatività, basata sulla distribuzione dei valori di range emissivo nei dataset utilizzati, può essere integrata da una valutazione quantitativa, con la normalizzazione dell'indicatore di rappresentatività e l'utilizzo di un valore soglia unico, come già evidenziato in altri WP di sperimentazione di metodologie per la rappresentatività. In particolare, la sinergia con il WP2.3 (metodo di stima basato sull'uso di dati di concentrazione del MINNI) appare promettente, per la stessa tipologia della base dati (campi modellistici grigliati) e la complementarietà degli approcci.

5 CONCLUSIONI

La rappresentatività spaziale delle stazioni appartenenti alle Reti Speciali per la misura della qualità dell'aria in Italia è stata valutata in questo studio, utilizzando dati emissivi spazializzati con copertura nazionale. Il geodatabase in input è costituito dai campi di emissione del Modello Nazionale MINNI, che elabora l'inventario nazionale delle emissioni per alimentare il modello di dispersione in atmosfera.

La metodologia utilizzata valuta la rappresentatività spaziale in base alla variabilità delle emissioni intorno a ciascuna stazione di monitoraggio, nell'ipotesi che esista una relazione inversa fra i 2 parametri: un valore alto di variabilità emissiva implica limitata rappresentatività, mentre un valore basso indica elevata rappresentatività.

La relazione approfondisce le potenzialità e i limiti di questa ipotesi approssimata, tra cui l'applicabilità alle sole specie inquinanti primarie. In generale, l'approccio seguito parte dalla letteratura scientifica, per giungere a un'applicazione originale, che nella conoscenza degli autori è la prima con copertura di livello nazionale.

Nel caso specifico delle Reti Speciali, la metodologia è stata applicata a PM10 (frazione primaria), PM2.5 (frazione primaria), IPA, arsenico, cadmio, nichel, mercurio (frazione primaria). L'applicazione include uno studio di sensitività rispetto ai due principali parametri di input: l'inventario delle emissioni 2005 (ISPRA e GAINS) e l'intervallo temporale di studio (anno, estate, inverno). L'analisi è stata effettuata sui domini macroregionali del Nord Italia e del Centro Italia, con successivo approfondimento delle stazioni di fondo urbano e rurale, trattate singolarmente.

L'applicazione ha richiesto lo sviluppo di procedure ad hoc per l'aggregazione spaziale, temporale, chimica e granulometrica dei file raster 3D di emissioni utilizzati dal Sistema Modellistico Atmosferico. Il calcolo della variabilità è svolto in ambiente GIS, con l'applicazione di funzioni statistiche di prossimità sugli strati raster delle emissioni, utilizzando un filtro mobile.

Sui domini macroregionali, per PM2.5 e IPA, la variabilità assume i valori massimi sulle grandi aree urbane, dove le attività fortemente emissive sono concentrate in poche celle; per gli IPA, le acciaierie creano picchi emissivi che si riflettono in zone di alta variabilità. Fuori dai centri urbani, la variabilità è apprezzabile sugli assi autostradali per il PM2.5. L'arsenico mostra una distribuzione particolare, legata alle sorgenti industriali (centrali termoelettriche a carbone, vetrerie), sia concentrate che diffuse.

Rispetto ai 3 periodi considerati, la variabilità è in generale maggiore sull'anno, in termini di valore assoluto, a causa del maggiore intervallo di integrazione dei dati emissivi. La distribuzione sui domini non varia sostanzialmente fra estate e inverno, con peculiarità invernale per PM2.5 e IPA dovuta alla presenza del riscaldamento domestico.

Per il PM2.5, l'utilizzo dell'inventario GAINS risulta in valori assoluti inferiori ma confrontabili con l'inventario ISPRA, mentre le distribuzioni sul dominio, in particolare delle celle dei valori massimi, sono praticamente uguali, come conseguenza della identica distribuzione top-down del totale nazionale sulle province.

L'analisi di dettaglio è stata effettuata dapprima su 4 stazioni di fondo urbano, dove sono presenti picchi di variabilità emissiva che si traducono in aree di rappresentatività molto limitate, dell'ordine di pochi km². Ciò indica che l'applicazione della metodologia non è possibile per le stazioni urbane, a causa dei limiti di risoluzione del dataset utilizzato.

Successivamente, sono state analizzate tutte le tre stazioni di fondo rurale che registrano gli inquinanti primari.

Schivenoglia mostra valori mediamente elevati di rappresentatività spaziale, dell'ordine di 10^3 km^2 per tutti gli inquinanti. Sono escluse dall'area di rappresentatività alcune aree urbane, dipendentemente dall'inquinante. Nei casi di arsenico, nichel e mercurio, la presenza di importanti sorgenti entro i 25 km di distanza indica la necessità di approfondimenti con altre metodologie.

Ripatransone mostra valori mediamente elevati di rappresentatività spaziale, dell'ordine di 10^3 km^2 per tutti gli inquinanti. Sono escluse dall'area di rappresentatività alcune aree urbane, dipendentemente dall'inquinante. Nei casi di arsenico e cadmio, sono escluse dall'area di rappresentatività le aree a sud della stazione, a partire da una distanza di circa 10 km.

Montelibretti, che misura solo il mercurio, ha un'elevata rappresentatività dell'area circostante, dell'ordine di 10^3 km^2 , escludendo la zona centrale della città di Roma.

Complessivamente il metodo ha mostrato, alla luce di questa sua prima applicazione, potenzialità interessanti. Applicato a un dataset emissivo con copertura regionale-nazionale, esso consente di individuare rapidamente le aree di maggiore variabilità emissiva all'interno del dominio. Il metodo si presta ad esempio alla progettazione di reti di monitoraggio "ex-novo", nella valutazione delle aree di maggiore rappresentatività assoluta comprese nel territorio di interesse. Ciò è fondamentale per un corretto posizionamento delle stazioni di fondo rurale, che per definizione devono rappresentare l'inquinamento di larga scala, e di conseguenza essere poste in aree di elevata rappresentatività. Il metodo permette quindi di ottenere una mappa completa dell'indicatore scelto per la rappresentatività, con validità generale per il dominio-territorio considerato, sfruttando appieno le informazioni fornite da un database territoriale con copertura estensiva come il modello MINNI.

Inoltre, il metodo consente una stima quantitativa approssimata della rappresentatività di stazioni esistenti: si conferma che in area urbana le stazioni di fondo rappresentano aree al di sotto del limite imposto dalla risoluzione di 4 km del dataset in input, mentre in area rurale la rappresentatività raggiunge l'ordine dei 10^3 km^2 .

6 BIBLIOGRAFIA CITATA

Arianet (2012), Emission Manager. Processing system for model-ready emission input. Software manual.

Binkowski, F.S. and Roselle, S.J., (2003), Models-3 community multiscale air quality (CMAQ) model aerosol component 1. Model description. *Journal of Geophysical Research*, 108 (D6) 4183.

Carter, W.P.L. (2000), Documentation of the SAPRC-99 chemical mechanism for VOC reactivity assessment. Final Report to California Air Resources Board, Contract No. 92-329, and (in part) 95-308. May 8, 2000.

Gusev, A., Mantseva, E., Shatalov, V. and Strukov, B. (2005), Regional Multicompartment Model MSCE-POP. EMEP/MSCE-E Technical Report 5/2005.

Henne, S., Brunner, D., Folini, D., Solberg, S., Klausen, J. and Buchmann B. (2010), Assessment of parameters describing representativeness of air quality in-situ measurement sites. *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 3561-3581.

ISPRA (2009), La disaggregazione a livello provinciale dell'inventario nazionale delle emissioni. Anni 1990-1995-2000-2005. Rapporti 92/2009 ISPRA. ISBN 978-88-448-0392-6.

Larssen, S., Sluyter, R., and Helmis, C. (1999), Criteria for EUROAIRNET – The EEA Air Quality Monitoring and Information Network, Technical report 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.

Piersanti, A., Cremona, G., Righini, G., Ciancarella, L., Cionni, I., D'Isidoro M., Mircea, M. and Vitali, L. (2012), GIS-based procedure for evaluation of performances of the Italian atmospheric modelling system simulated data versus observed measurement. R. Seppelt, A.A. Voinov, S. Lange, D. Bankamp (Eds.): *International Environmental Modelling and Software Society (iEMSS) 2012 International Congress on Environmental Modelling and Software Managing Resources of a Limited Planet: Pathways and Visions under Uncertainty*, Sixth Biennial Meeting, Leipzig, Germany <http://www.iemss.org/society/index.php/iemss-2012-proceedings> ISBN: 978-88-9035-742-8

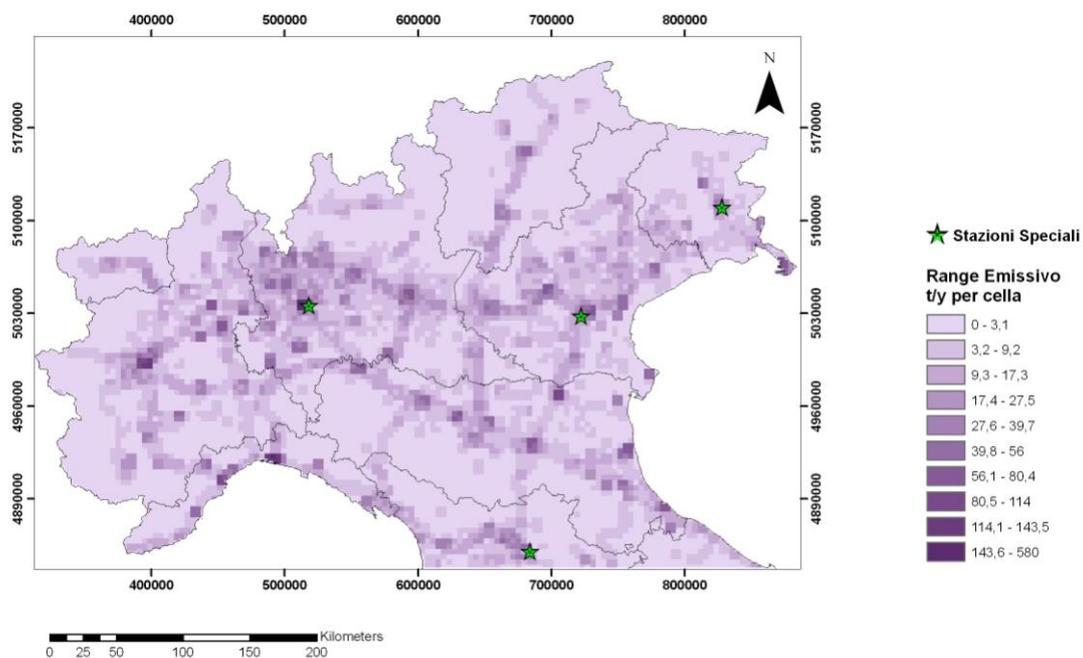
Spangl, W., Schneider, J., Moosmann, L. and Nagl C. (2007), Representativeness and classification of air quality monitoring stations – Final Report, Umweltbundesamt, Vienna, July 2007.

Vitali, L., Ciancarella, L., Cionni, I., Cremona, G., Piersanti, A., Righini G. (2013), Rappresentatività spaziale di misure di qualità dell'aria. Valutazione di un metodo di stima basato sull'analisi dei campi di concentrazione simulati dal Modello Nazionale MINNI, Rapporto Tecnico RT/2013/3/ENEA, ENEA.

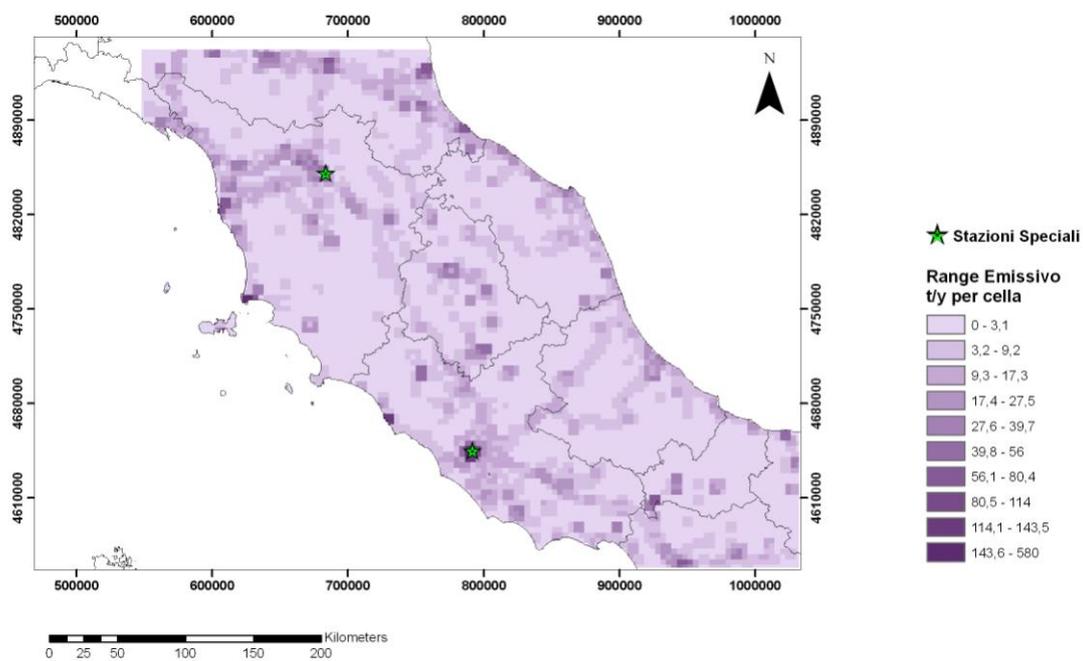
7 APPENDICE: MAPPE

MAPPA 1 - PM10: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	51
MAPPA 2 - PM10: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA.....	51
MAPPA 4 - PM10: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA.....	52
MAPPA 5 - PM10: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	52
MAPPA 6 - PM10: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA.....	53
MAPPA 7 - PM10: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	53
MAPPA 8 - PM10: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO GAINS	54
MAPPA 9 - PM10: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO GAINS.....	54
MAPPA 10 - PM2.5: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	55
MAPPA 11 - PM2.5: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA.....	55
MAPPA 12 - PM2.5: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	56
MAPPA 13 - PM2.5: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	56
MAPPA 14 - PM2.5: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	57
MAPPA 15 - PM2.5: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	57
MAPPA 16 - PM2.5: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO GAINS	58
MAPPA 17 - PM2.5: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO GAINS.....	58
MAPPA 18 - IPA: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	59
MAPPA 19 - IPA: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA.....	59
MAPPA 20 - IPA: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	60
MAPPA 21 - IPA: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA.....	60
MAPPA 22 - IPA: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	61
MAPPA 23 - IPA: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA.....	61
MAPPA 24 – ARSENICO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	62
MAPPA 25 – ARSENICO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA.....	62
MAPPA 26 – ARSENICO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	63
MAPPA 27 - ARSENICO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	63
MAPPA 28 – ARSENICO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	64
MAPPA 29 – ARSENICO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA.....	64
MAPPA 30 – CADMIO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	65
MAPPA 31 – CADMIO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA.....	65
MAPPA 32 – CADMIO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	66
MAPPA 33 – CADMIO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	66
MAPPA 34 – CADMIO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA.....	67
MAPPA 35 – CADMIO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	67
MAPPA 36 - NICHEL: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	68
MAPPA 37 - NICHEL: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA.....	68
MAPPA 38 - NICHEL: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	69
MAPPA 39 - NICHEL: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	69
MAPPA 40 - NICHEL: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	70
MAPPA 41 - NICHEL: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	70
MAPPA 42 - MERCURIO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	71
MAPPA 43 - MERCURIO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	71
MAPPA 44 - MERCURIO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA.....	72
MAPPA 45 - MERCURIO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	72
MAPPA 46 - MERCURIO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA.....	73
MAPPA 47 - MERCURIO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA	73
MAPPA 48 – SCHIVENOGLIA: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI ARSENICO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	74
MAPPA 49 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI ARSENICO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	74
MAPPA 50 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI CADMIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	75
MAPPA 51 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI CADMIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	75
MAPPA 52 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI MERCURIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	76
MAPPA 53 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI MERCURIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	76
MAPPA 54 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI NICHEL, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA.....	77
MAPPA 55 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI NICHEL, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA.....	77
MAPPA 56 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI IPA, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA.....	78
MAPPA 57 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI IPA, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA.....	78
MAPPA 58 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI PM2.5, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA.....	79
MAPPA 59 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI PM2.5, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	79
MAPPA 60 - RIPATRANSONE: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI ARSENICO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA.....	80
MAPPA 61 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI ARSENICO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA.....	80
MAPPA 62 - RIPATRANSONE: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI CADMIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA.....	81

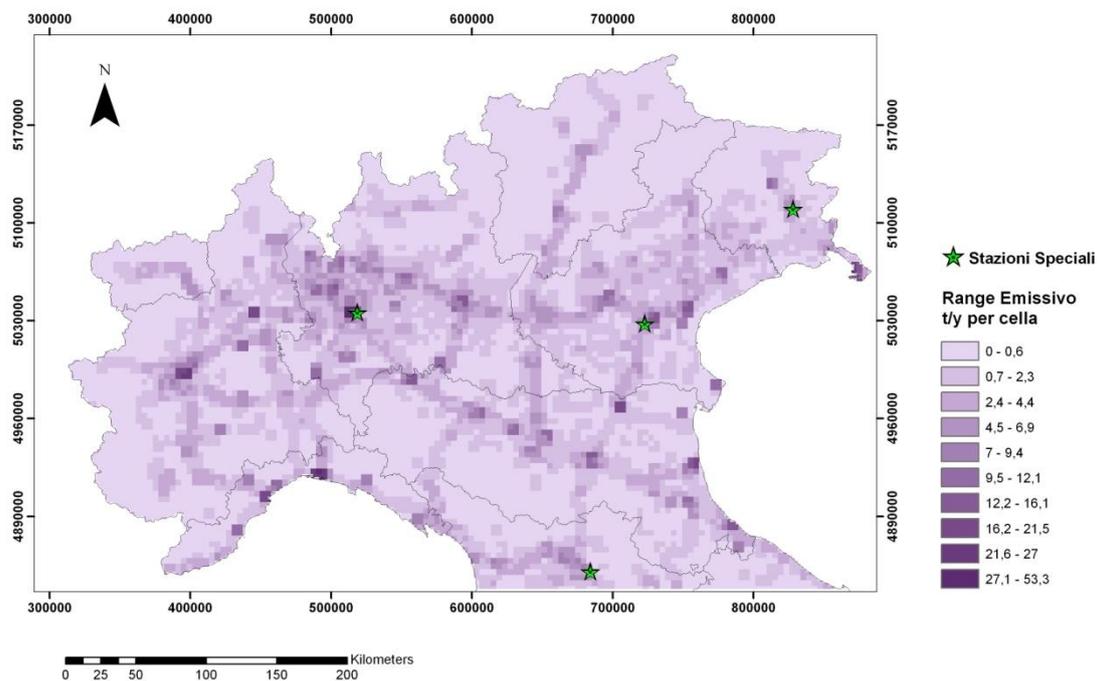
MAPPA 63 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI CADMIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA.....	81
MAPPA 64 - RIPATRANSONE: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI NICHEL, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	82
MAPPA 65 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI NICHEL, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	82
MAPPA 66 - RIPATRANSONE: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI IPA, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	83
MAPPA 67 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI IPA, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	83
MAPPA 68 - RIPATRANSONE: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI PM2.5, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	84
MAPPA 69 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI PM2.5, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	84
MAPPA 70 - MONTELIBRETTI: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI MERCURIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	85
MAPPA 71 - MONTELIBRETTI: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI MERCURIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA	85



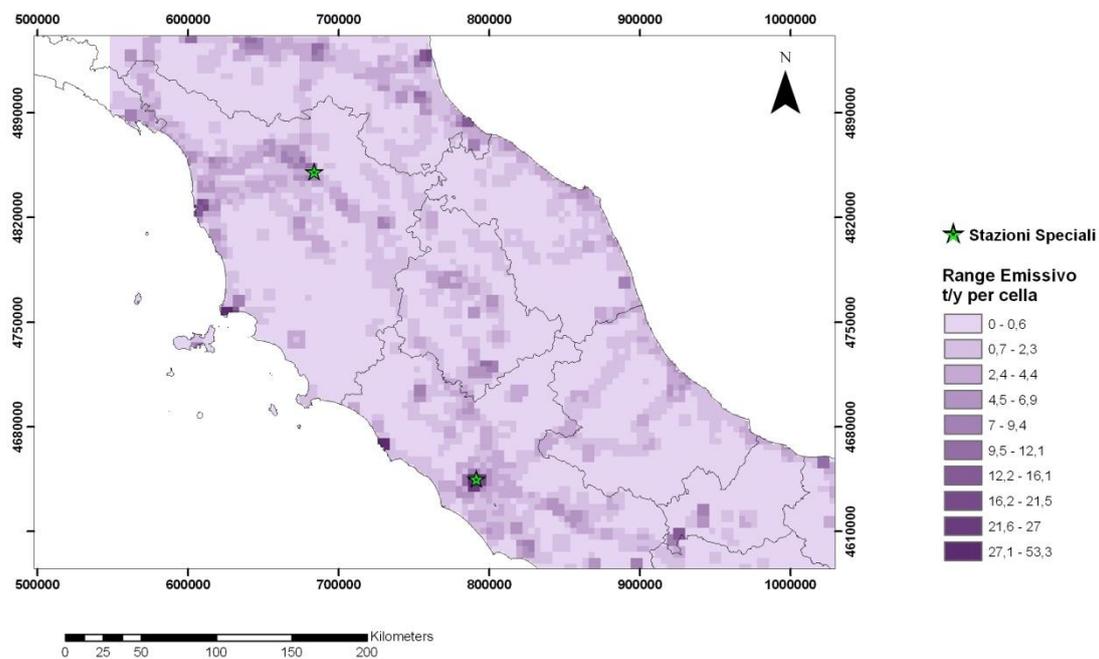
MAPPA 1 - PM10: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



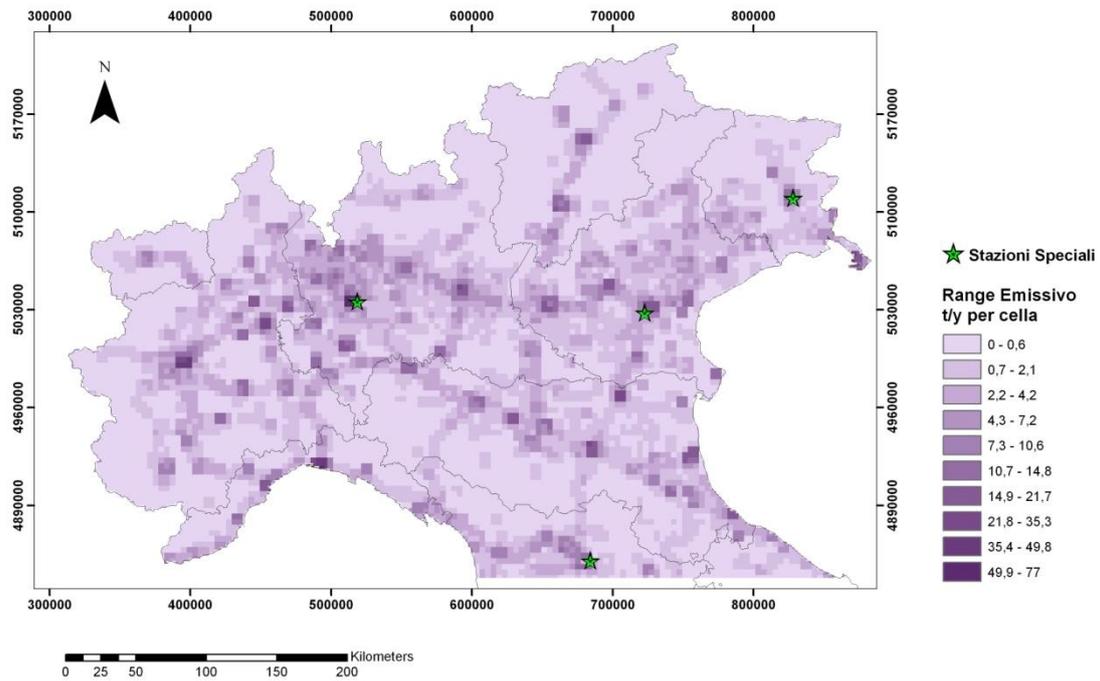
MAPPA 2 - PM10: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



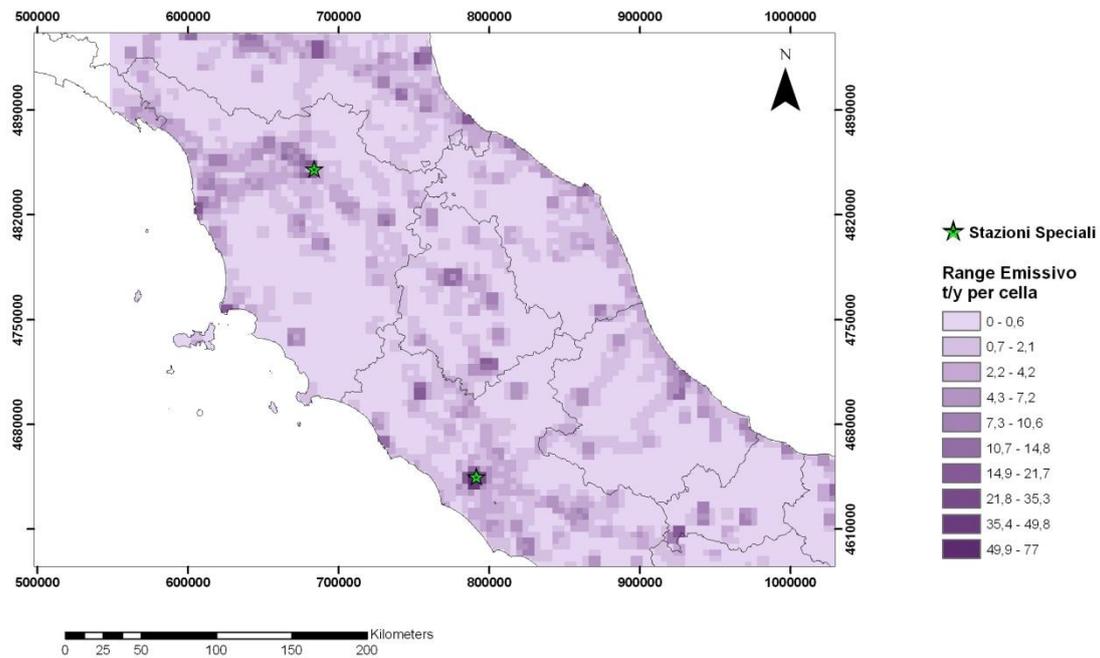
MAPPA 3 - PM10: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



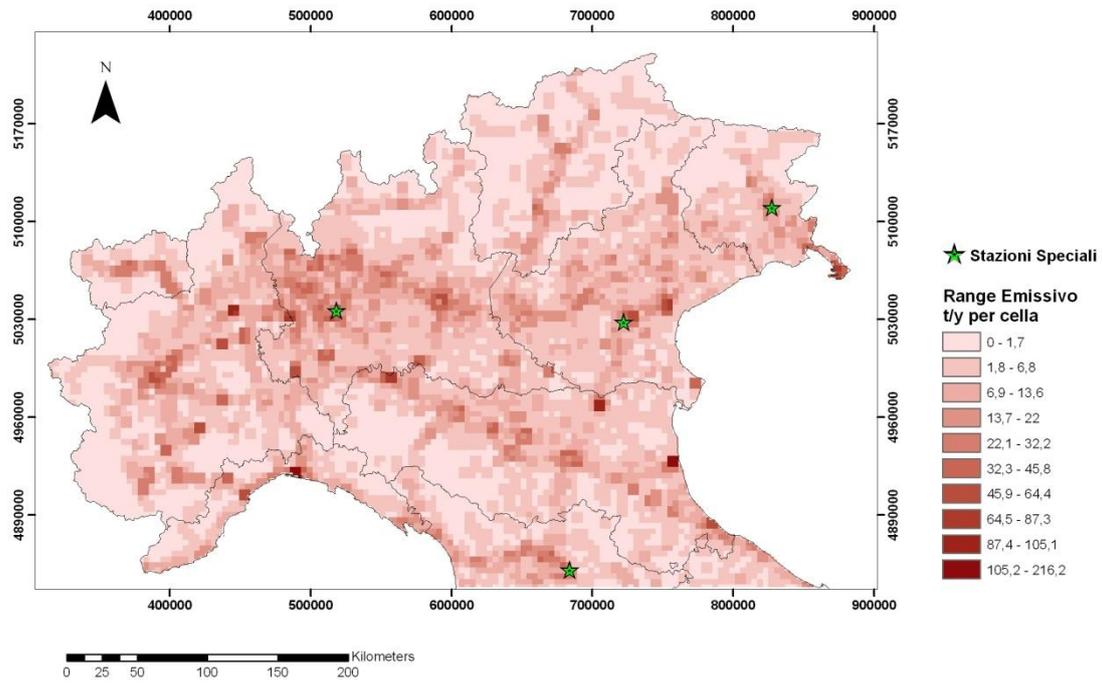
MAPPA 4 - PM10: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



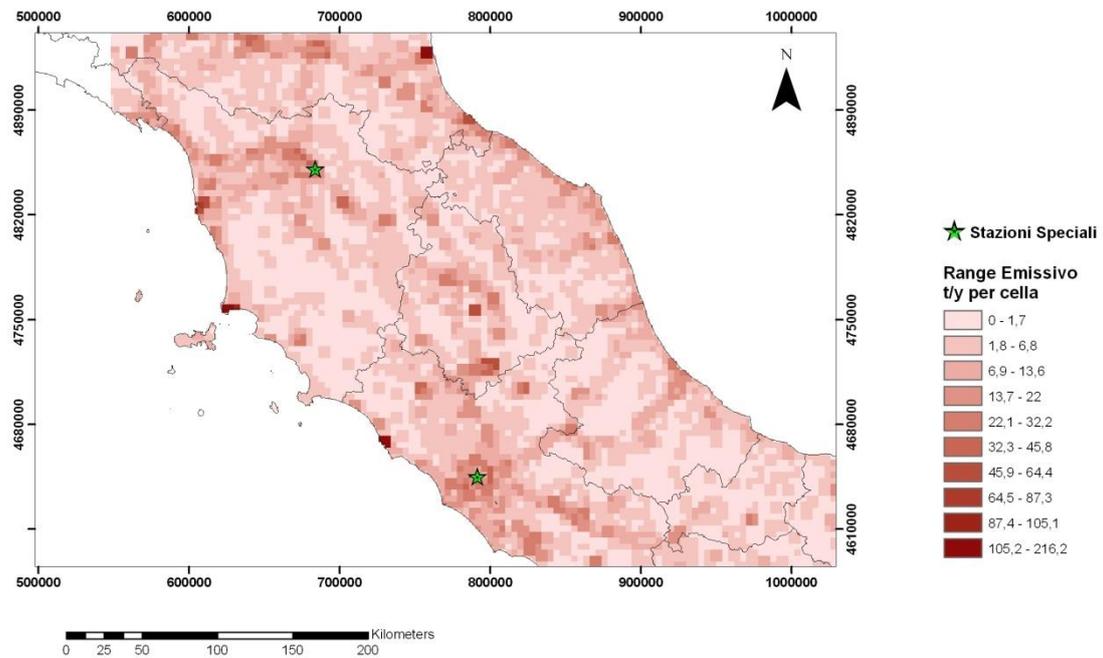
MAPPA 5 - PM10: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



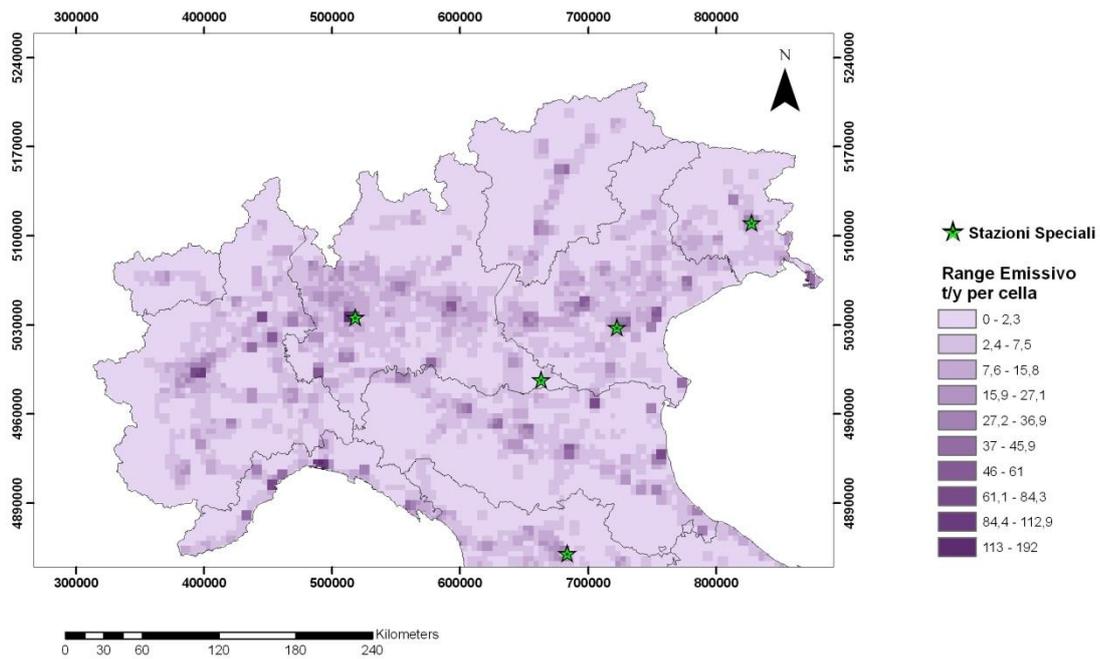
MAPPA 6 - PM10: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



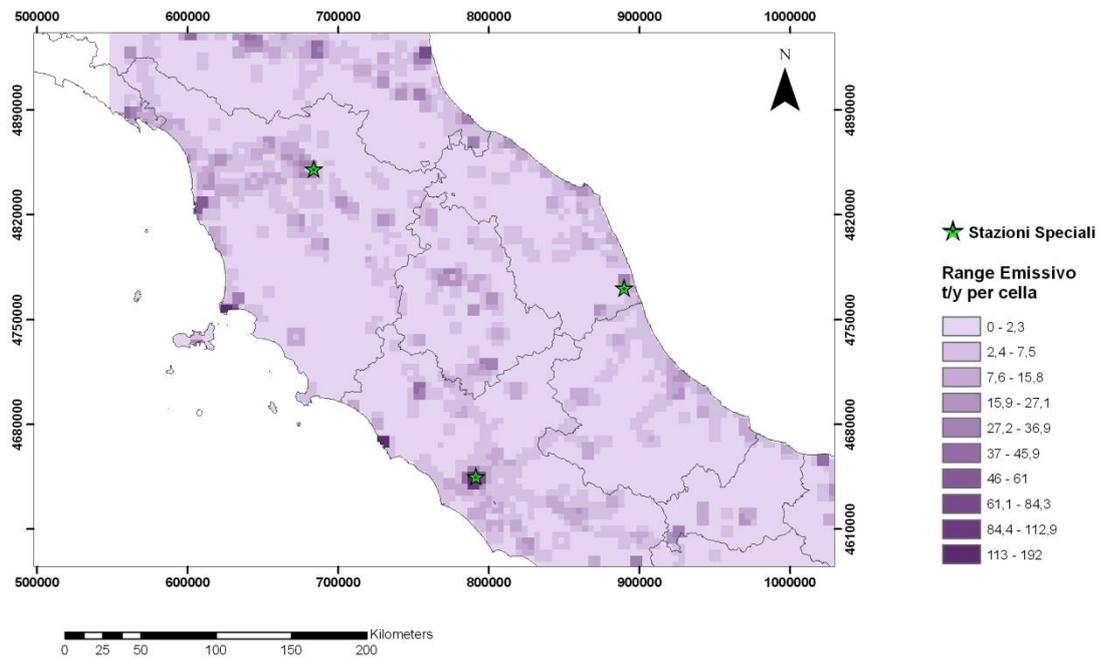
MAPPA 7 - PM10: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO GAINS



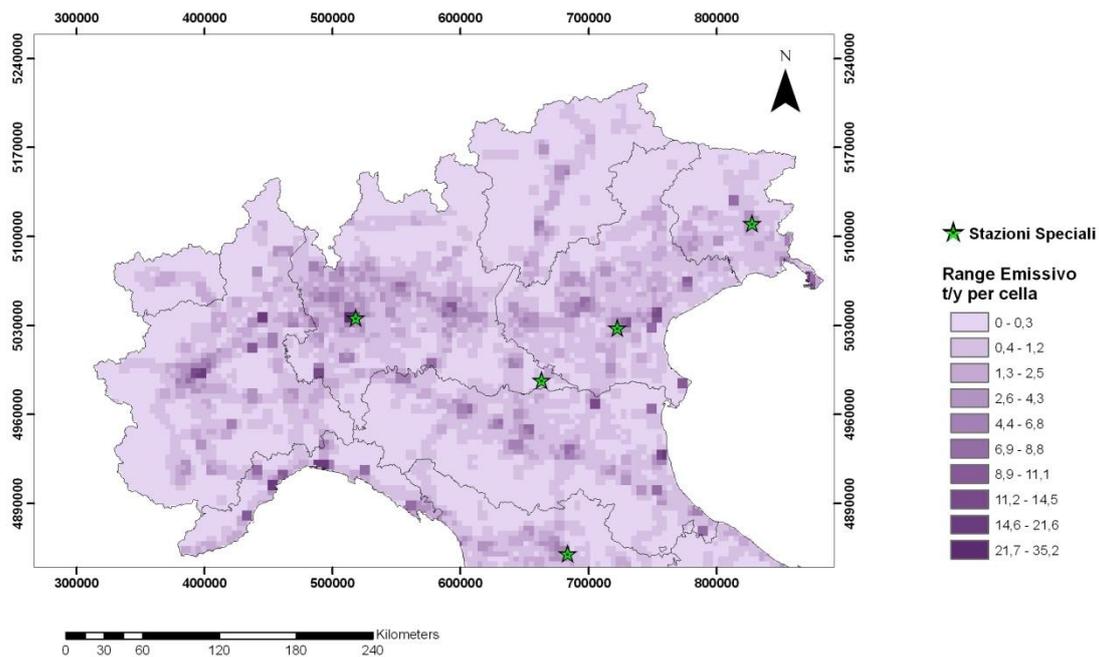
MAPPA 8 - PM10: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO GAINS



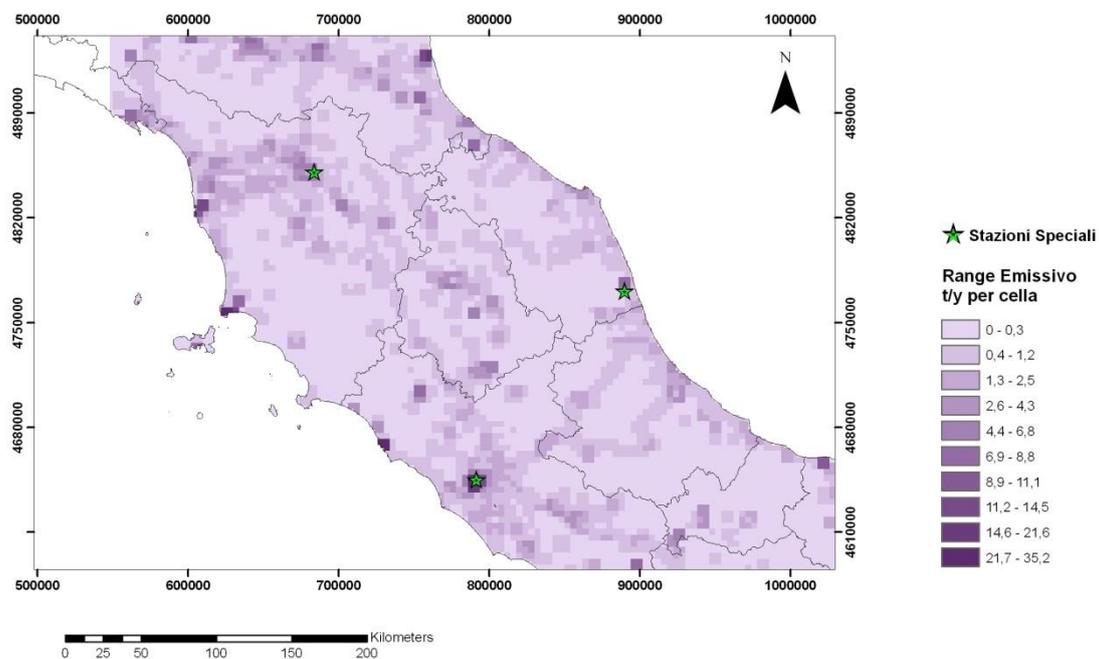
MAPPA 9 - PM2.5: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



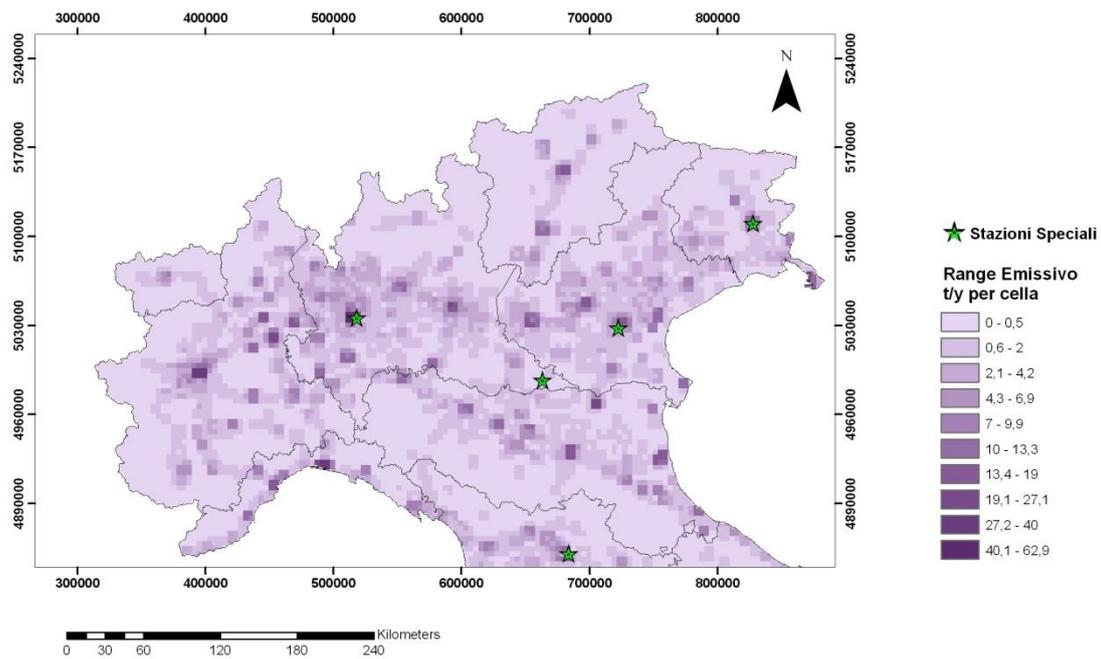
MAPPA 10 - PM2.5: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



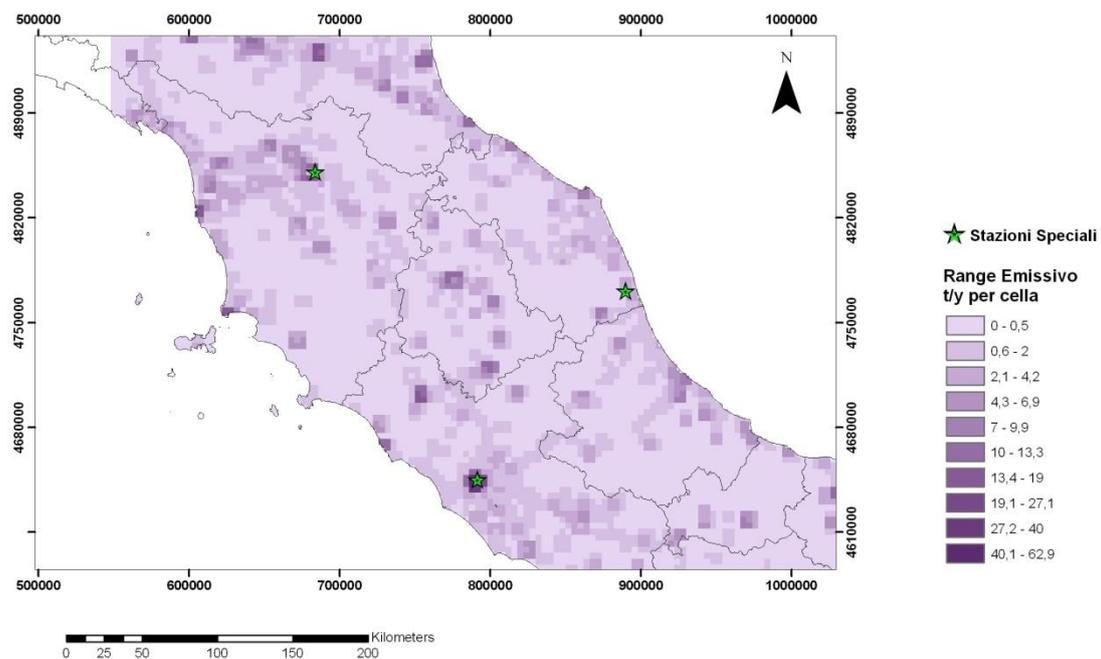
MAPPA 11 - PM2.5: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



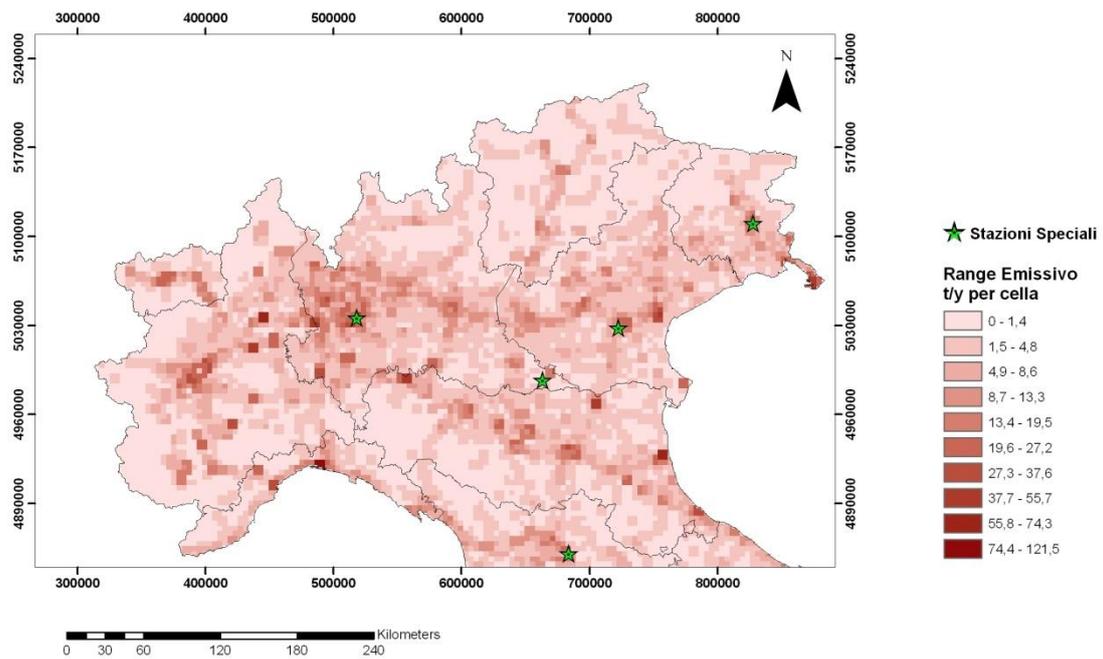
MAPPA 12 - PM2.5: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



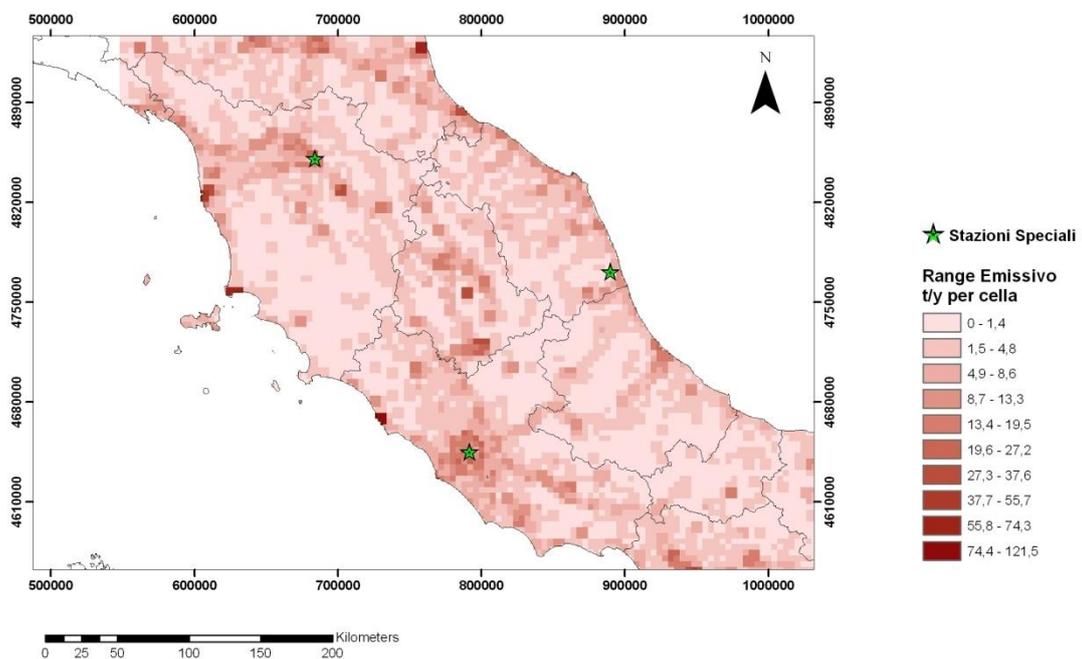
MAPPA 13 - PM2.5: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



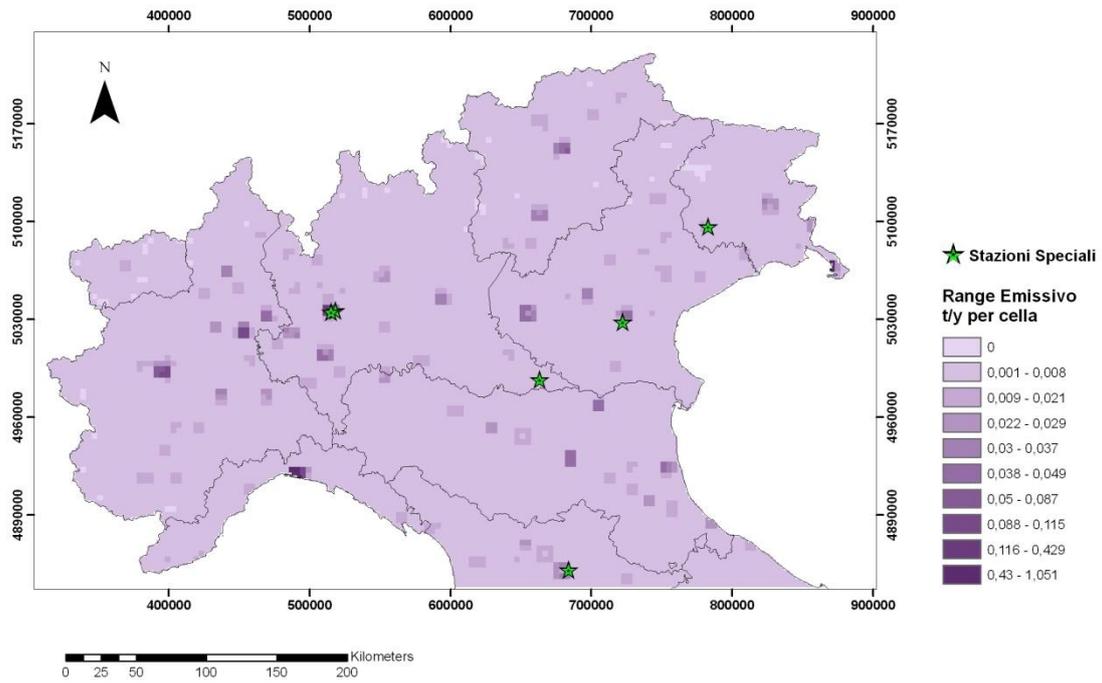
MAPPA 14 - PM2.5: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



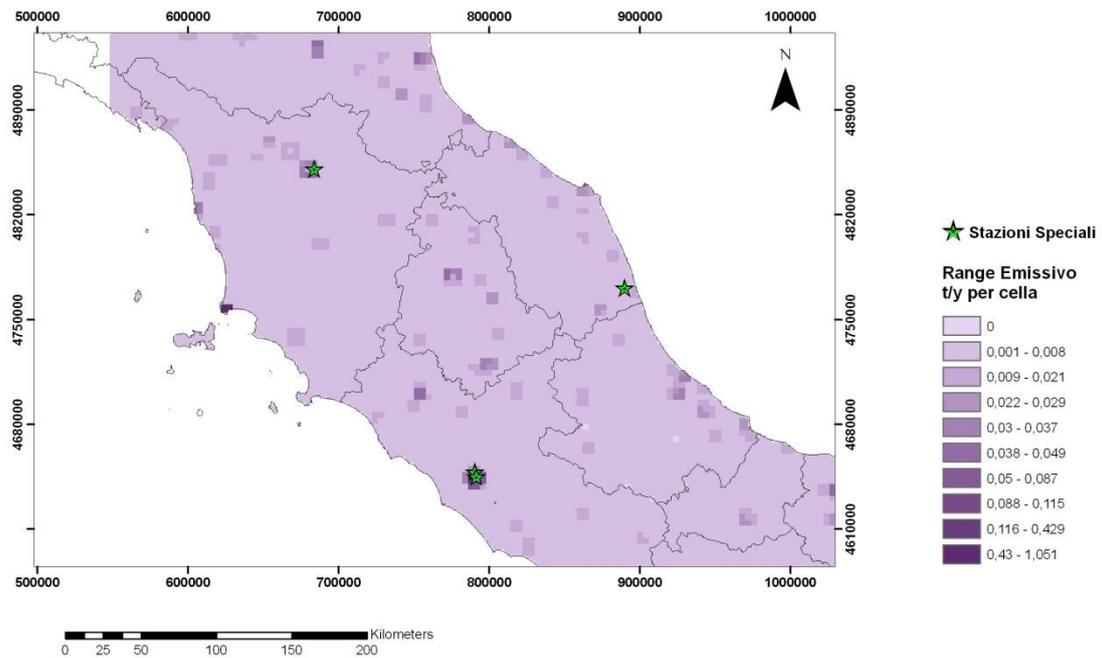
MAPPA 15 - PM2.5: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO GAINS



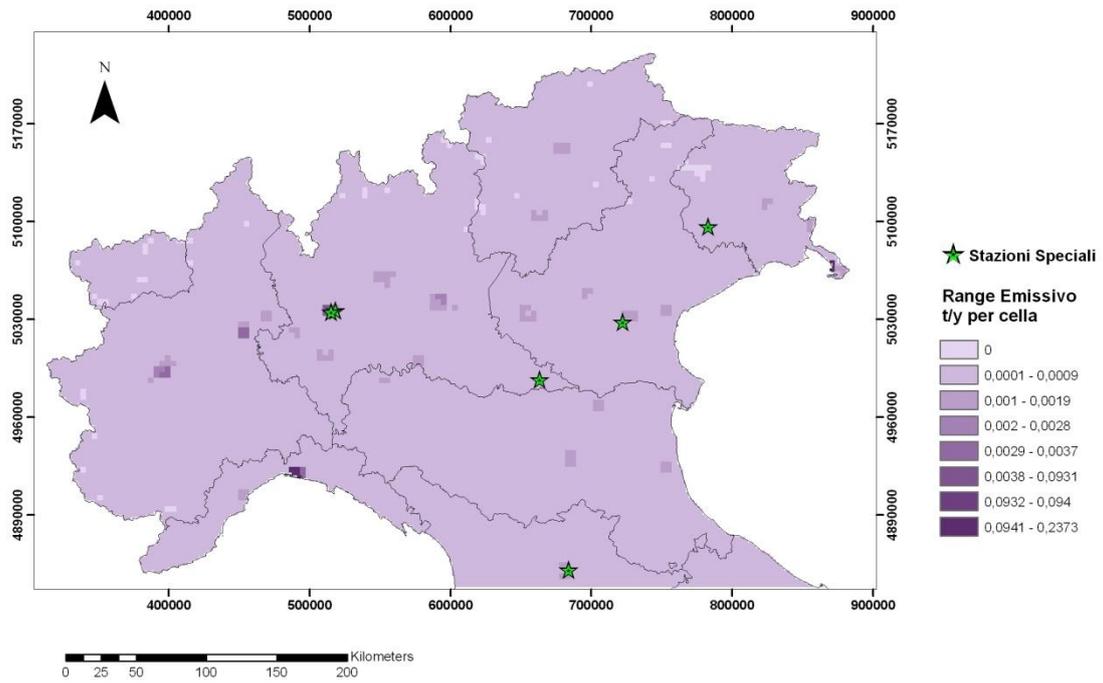
MAPPA 16 - PM2.5: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO GAINS



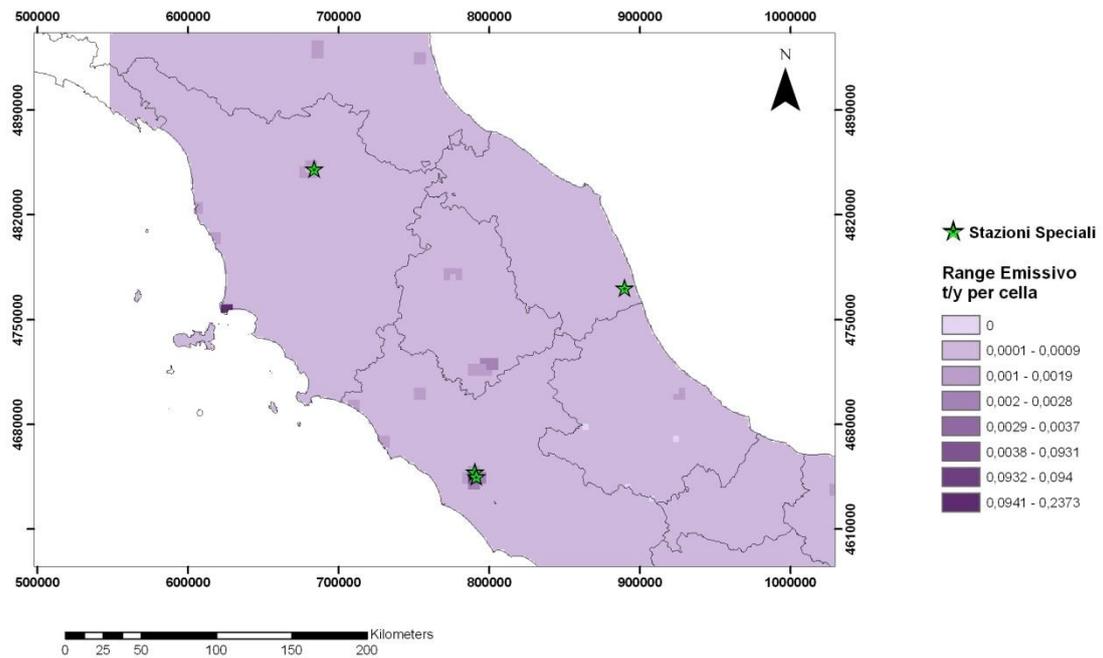
MAPPA 17 - IPA: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



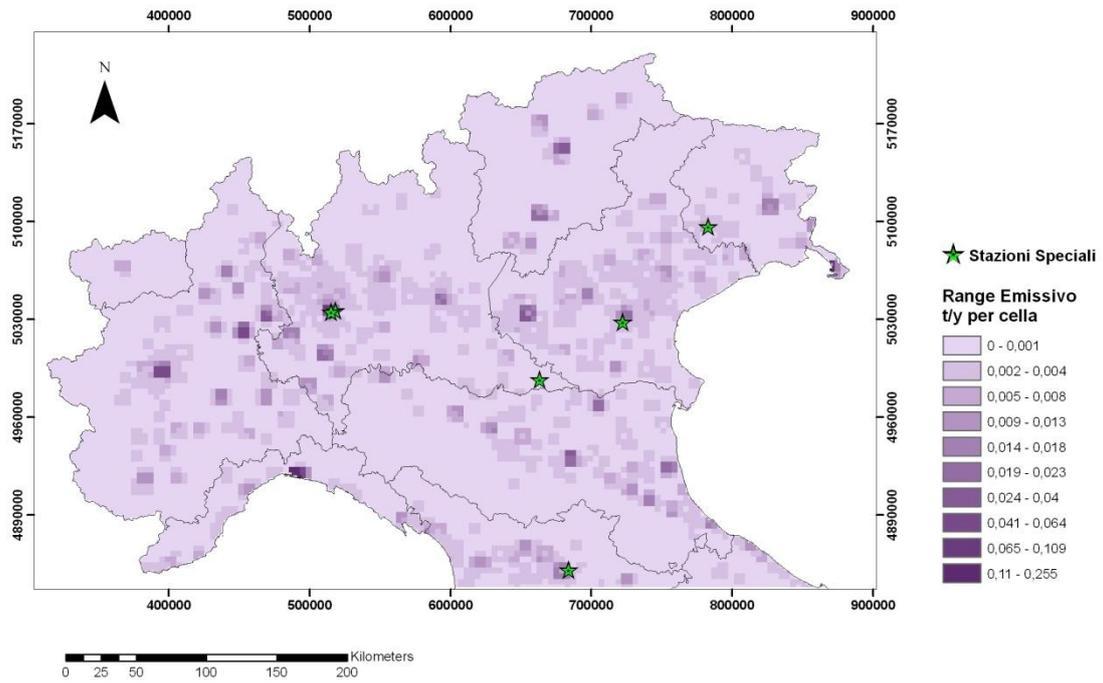
MAPPA 18 - IPA: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



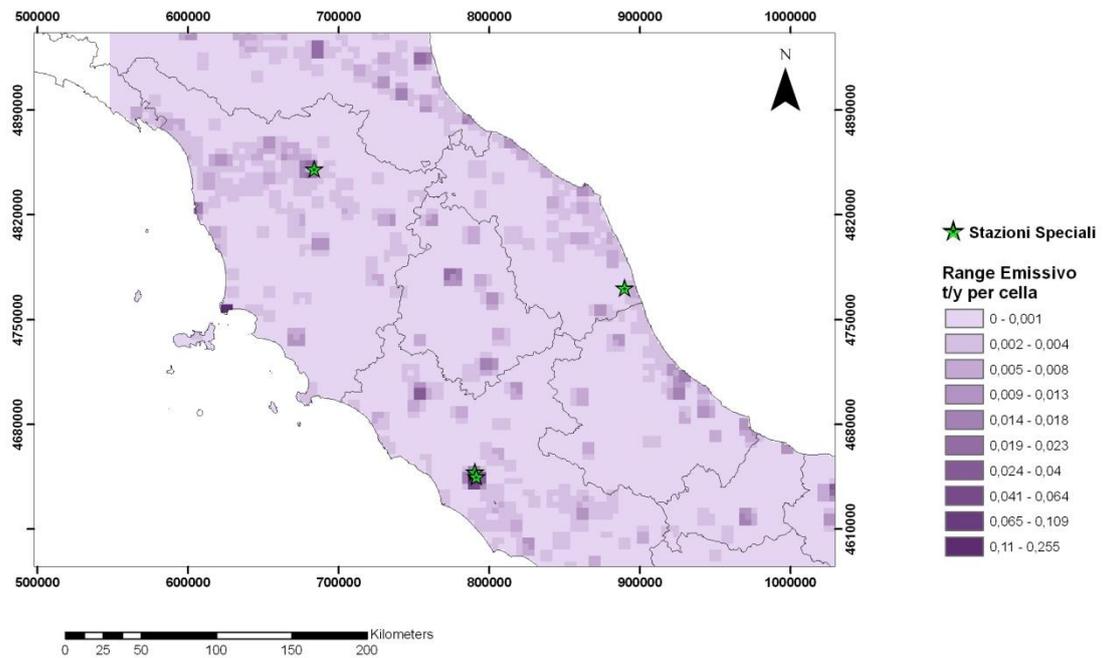
MAPPA 19 - IPA: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



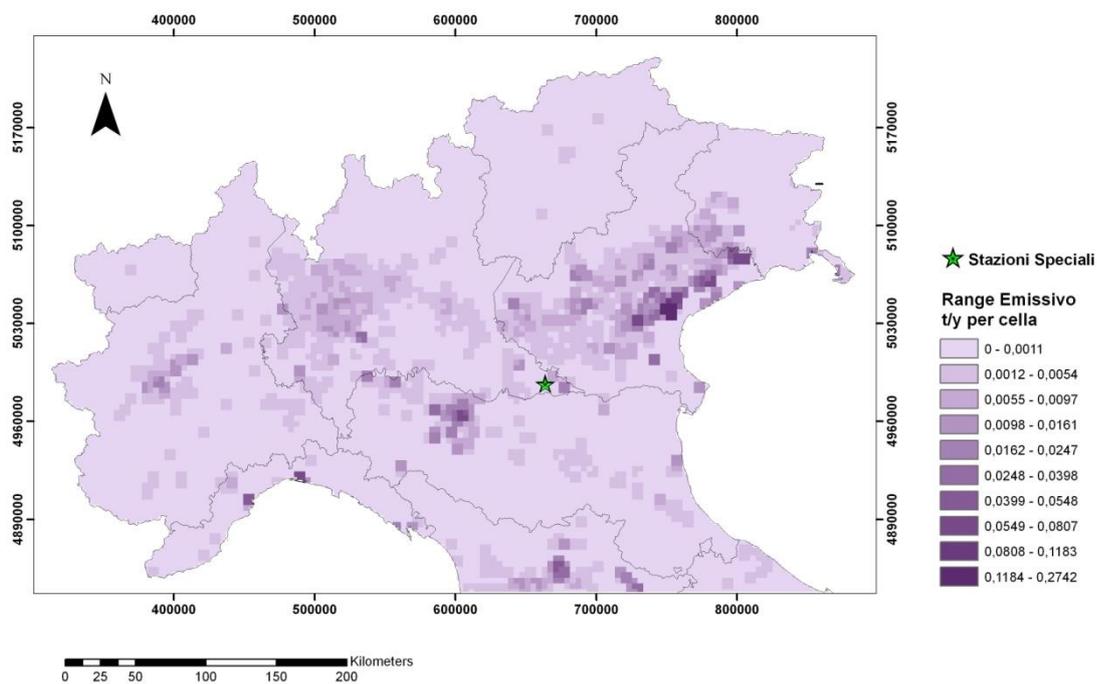
MAPPA 20 - IPA: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



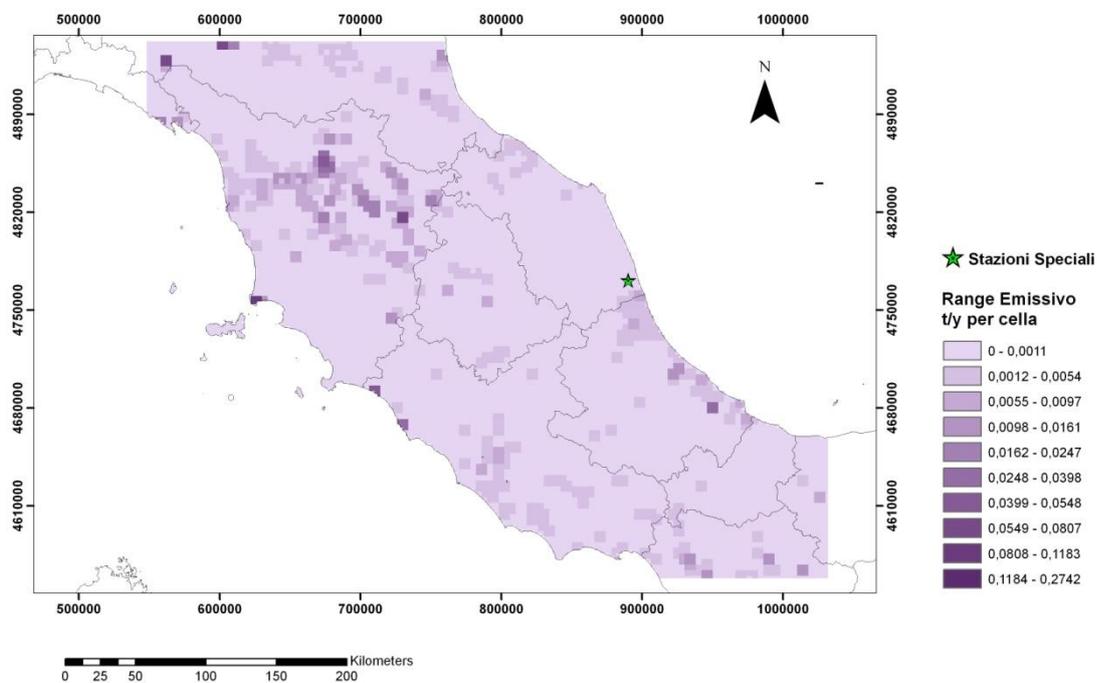
MAPPA 21 - IPA: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



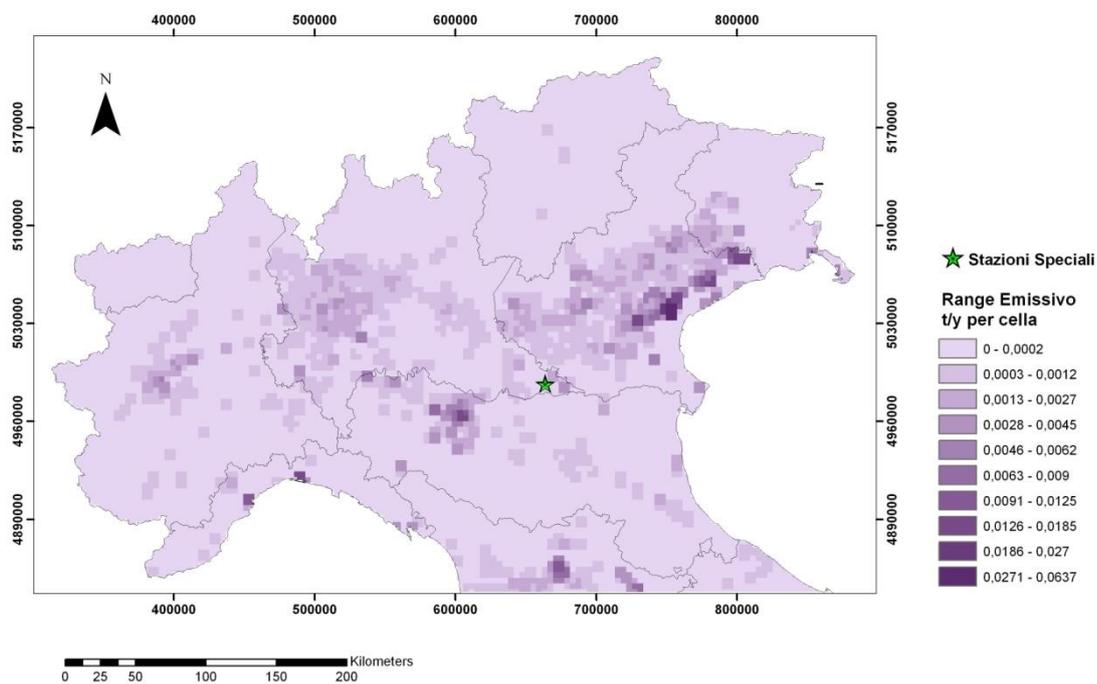
MAPPA 22 - IPA: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



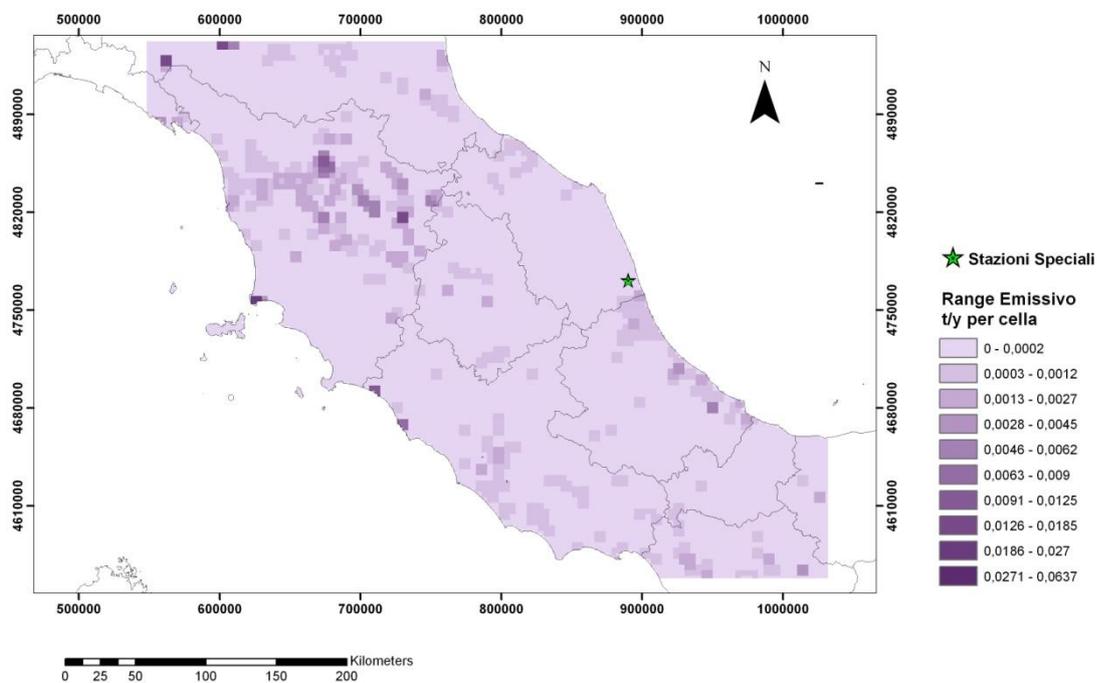
MAPPA 23 – ARSENICO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



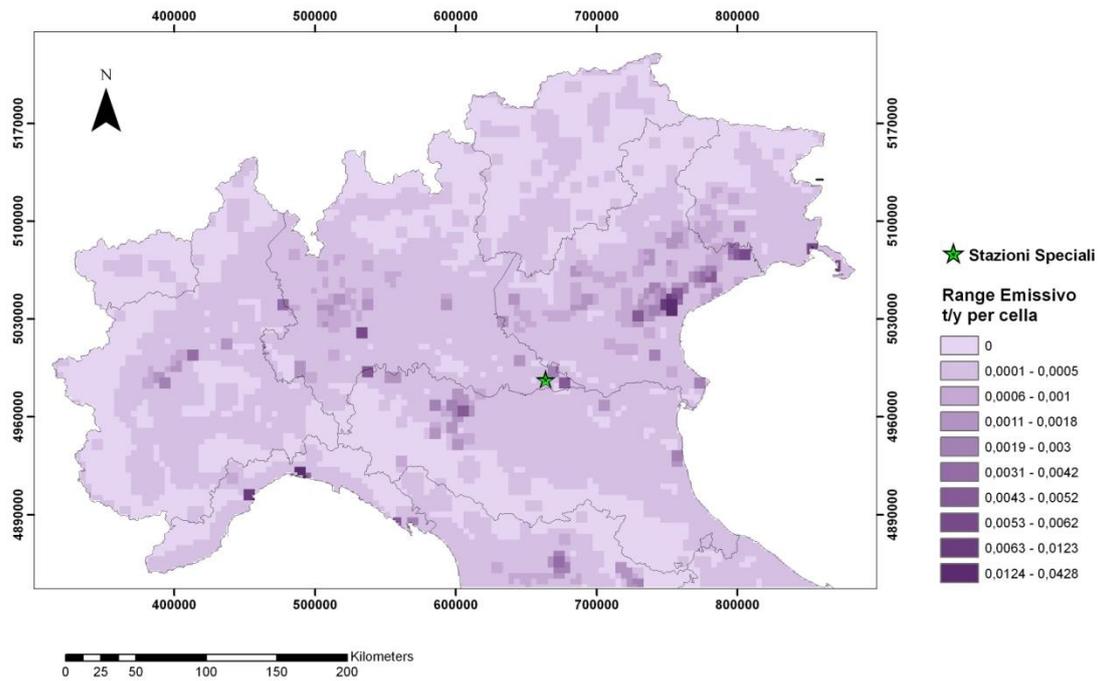
MAPPA 24 – ARSENICO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



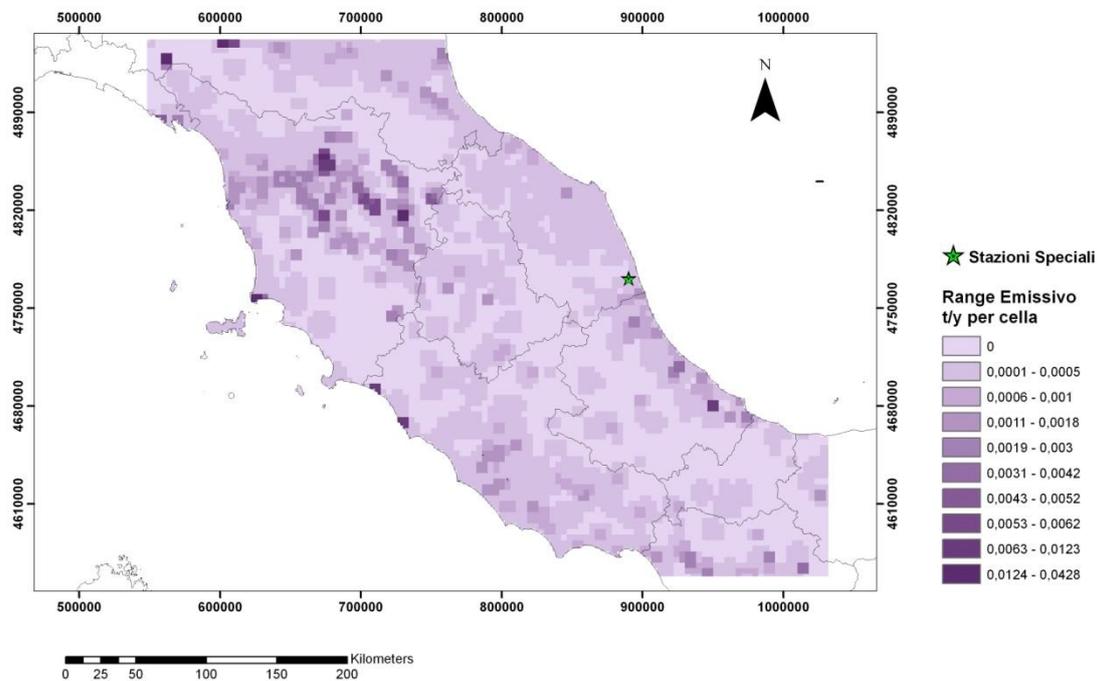
MAPPA 25 – ARSENICO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



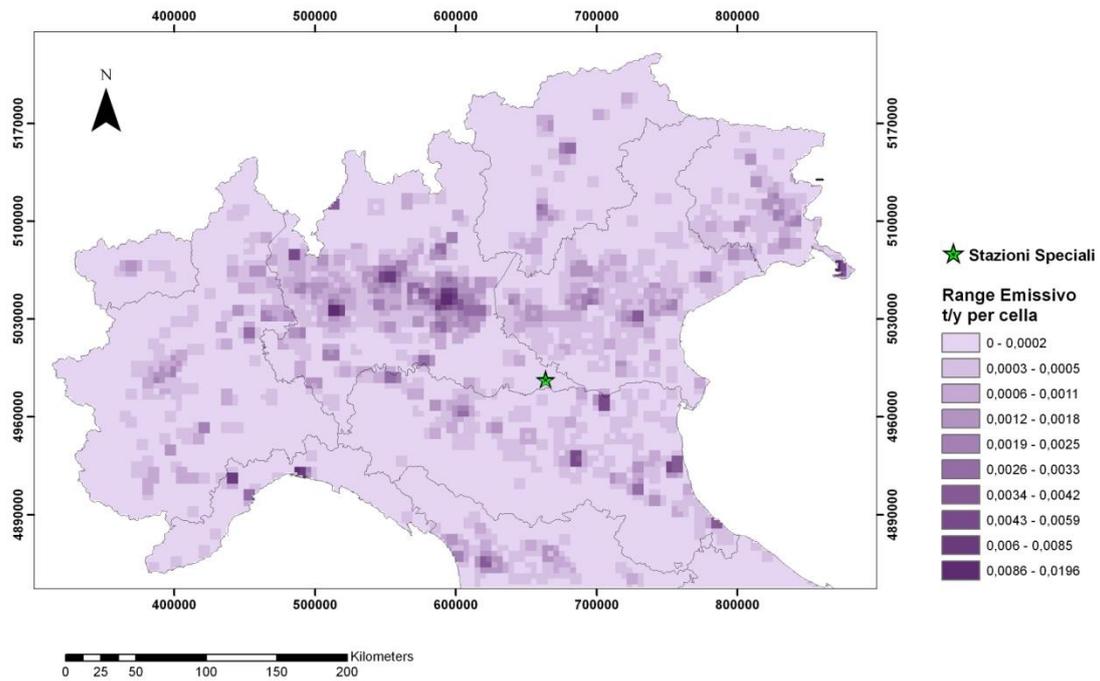
MAPPA 26 - ARSENICO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



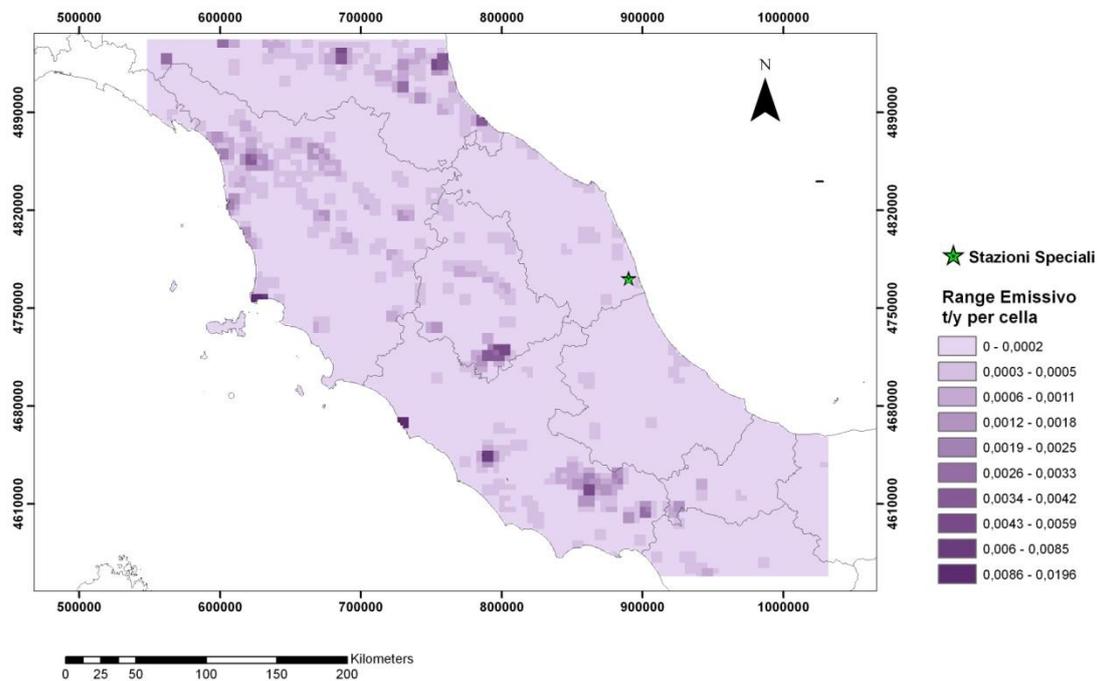
MAPPA 27 – ARSENICO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



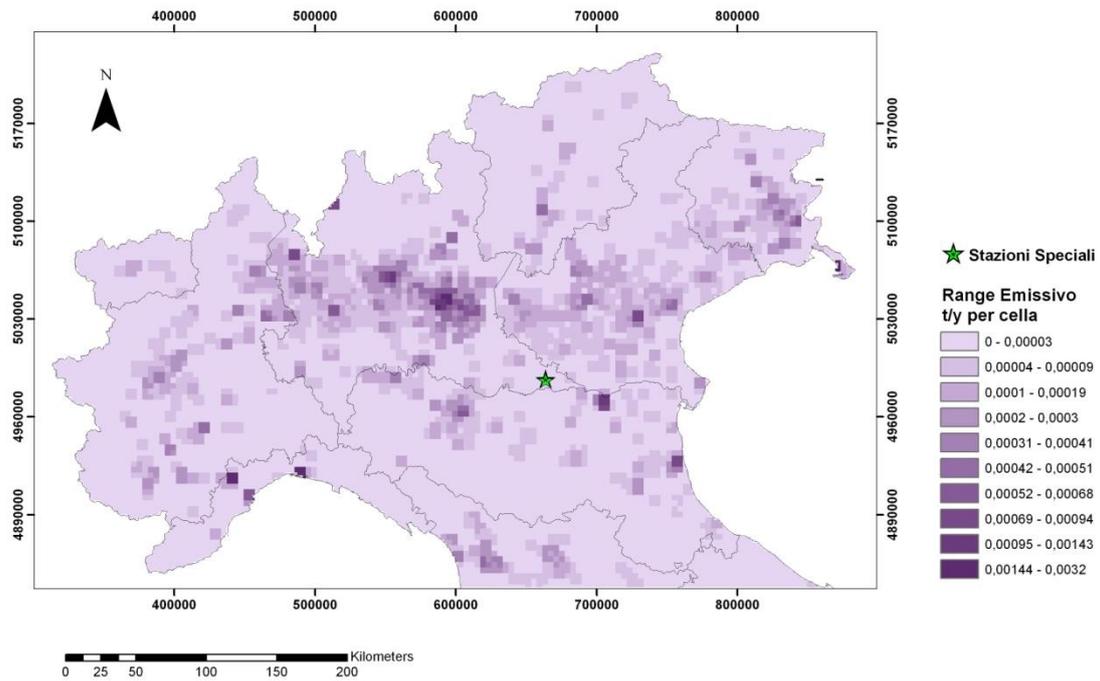
MAPPA 28 – ARSENICO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



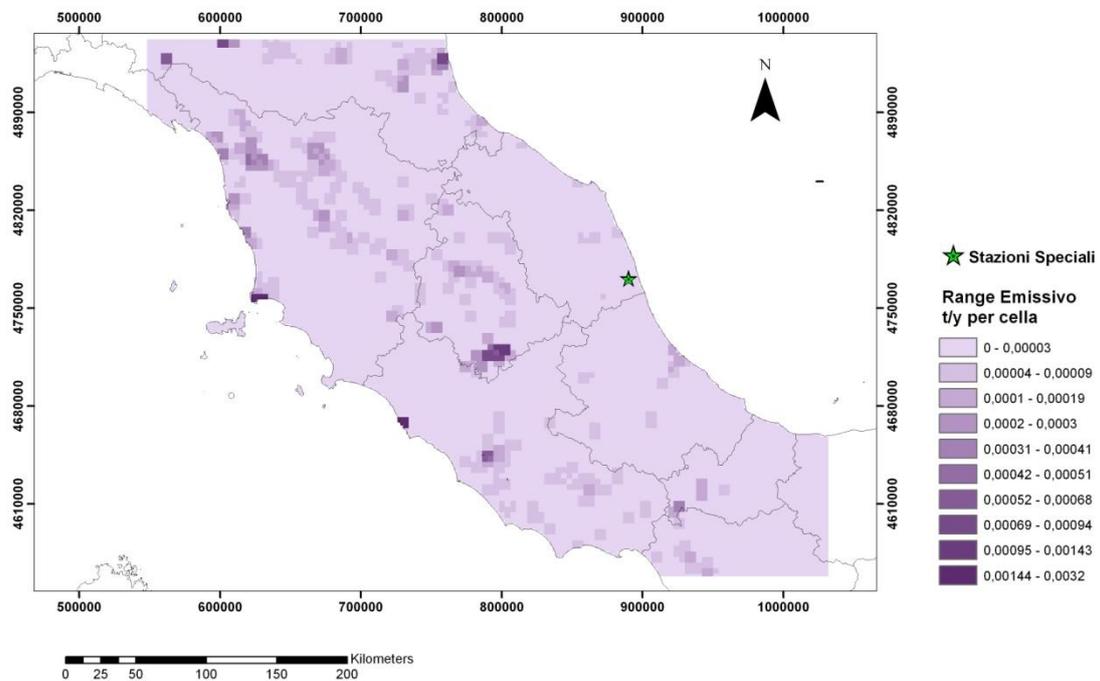
MAPPA 29 – CADMIO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



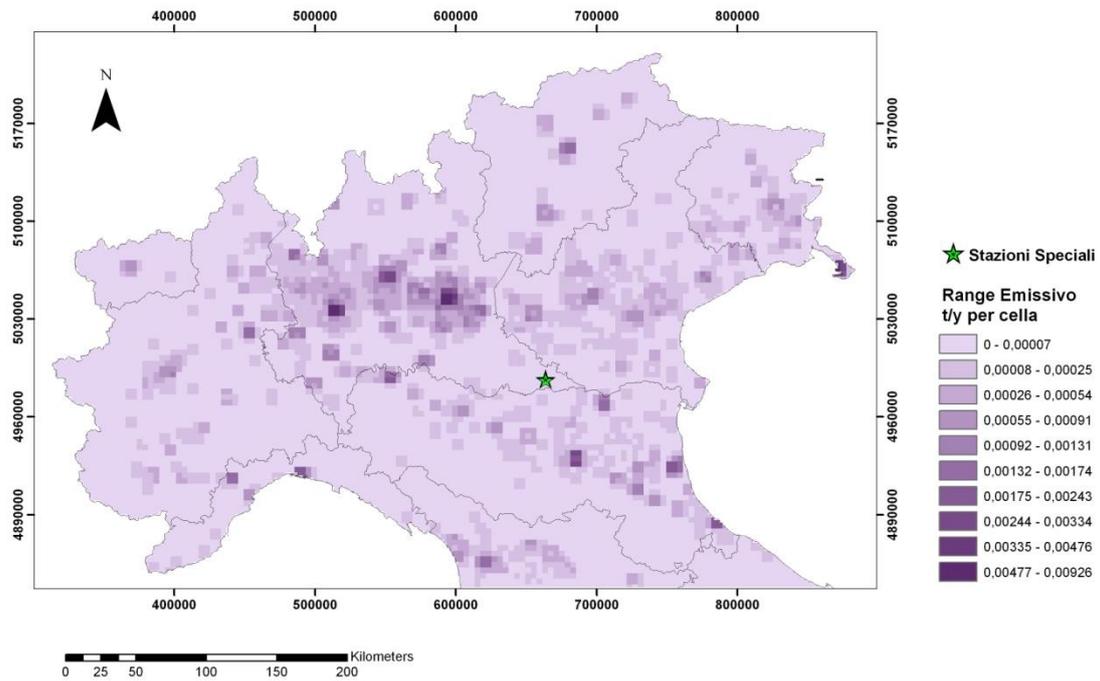
MAPPA 30 – CADMIO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



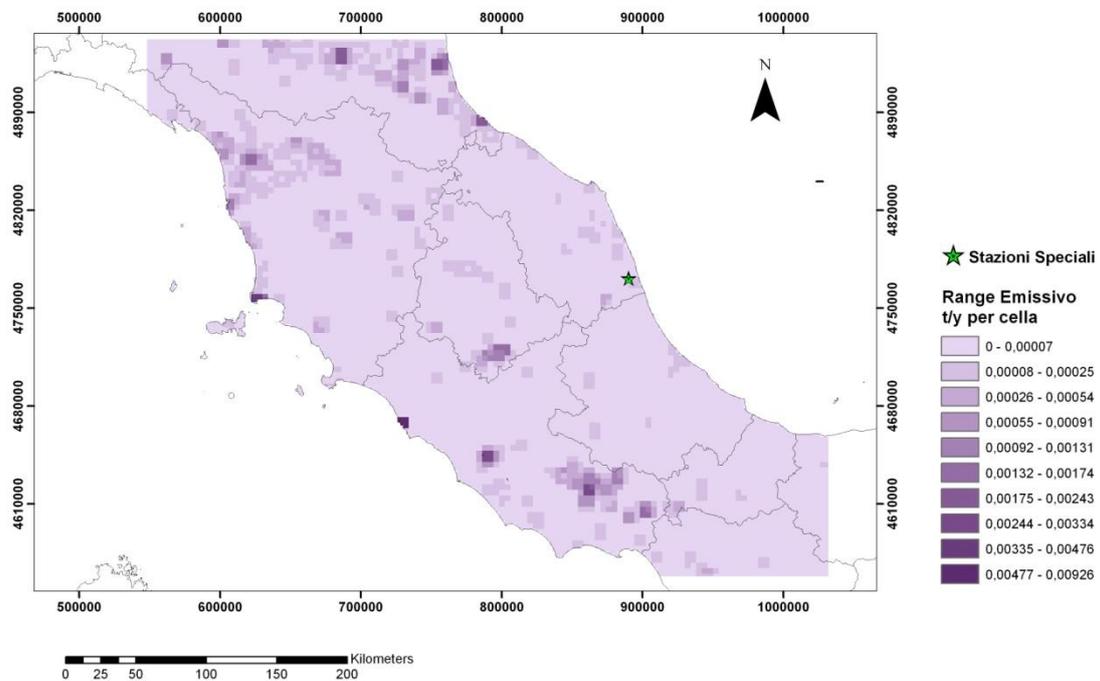
MAPPA 31 – CADMIO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



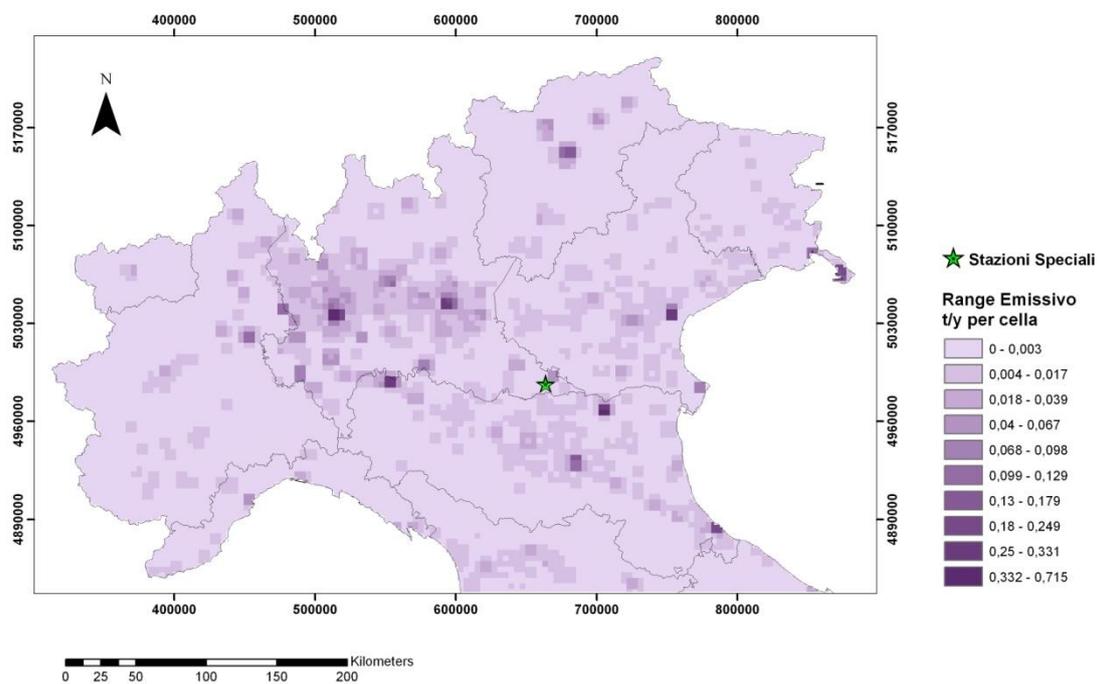
MAPPA 32 – CADMIO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



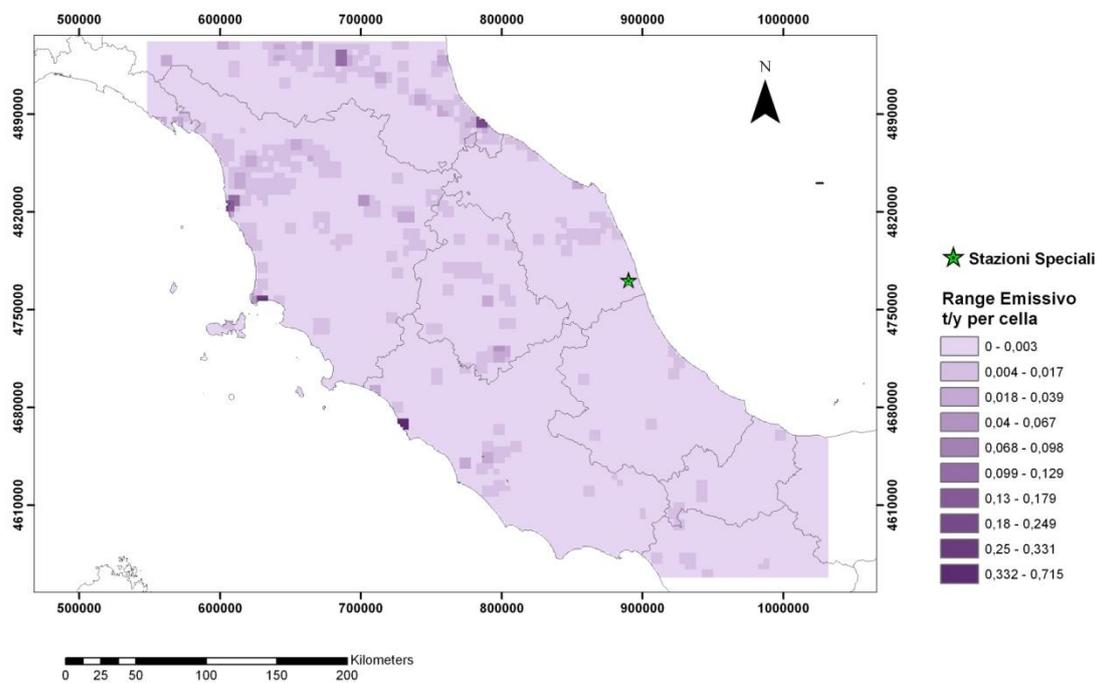
MAPPA 33 – CADMIO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



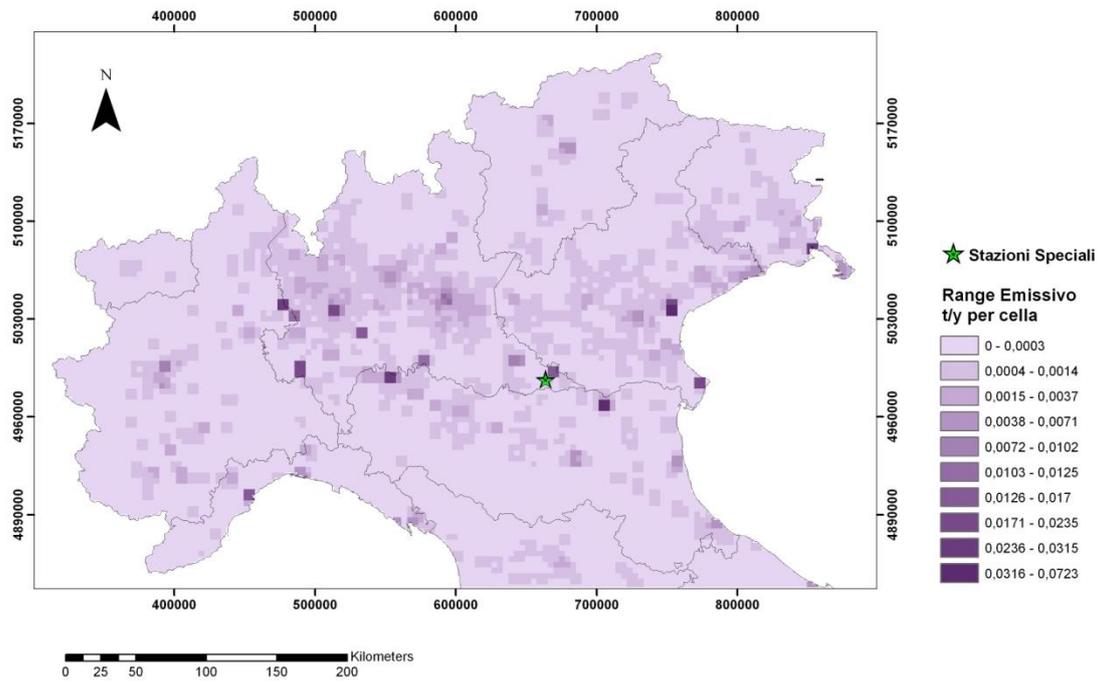
MAPPA 34 – CADMIO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



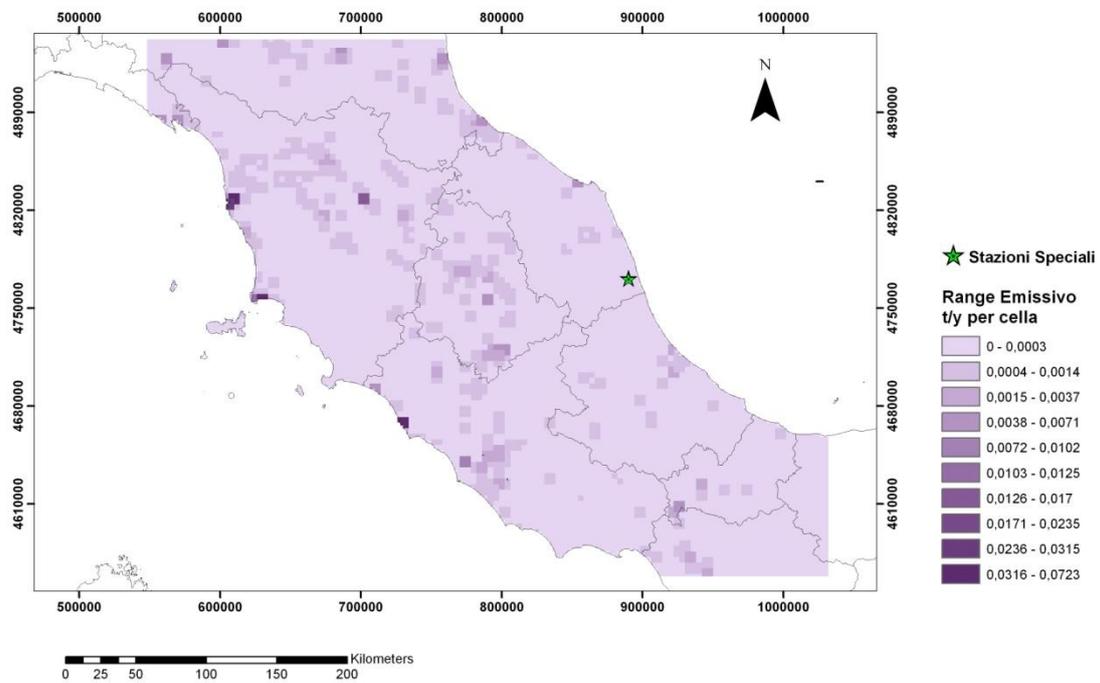
MAPPA 35 - NICHEL: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



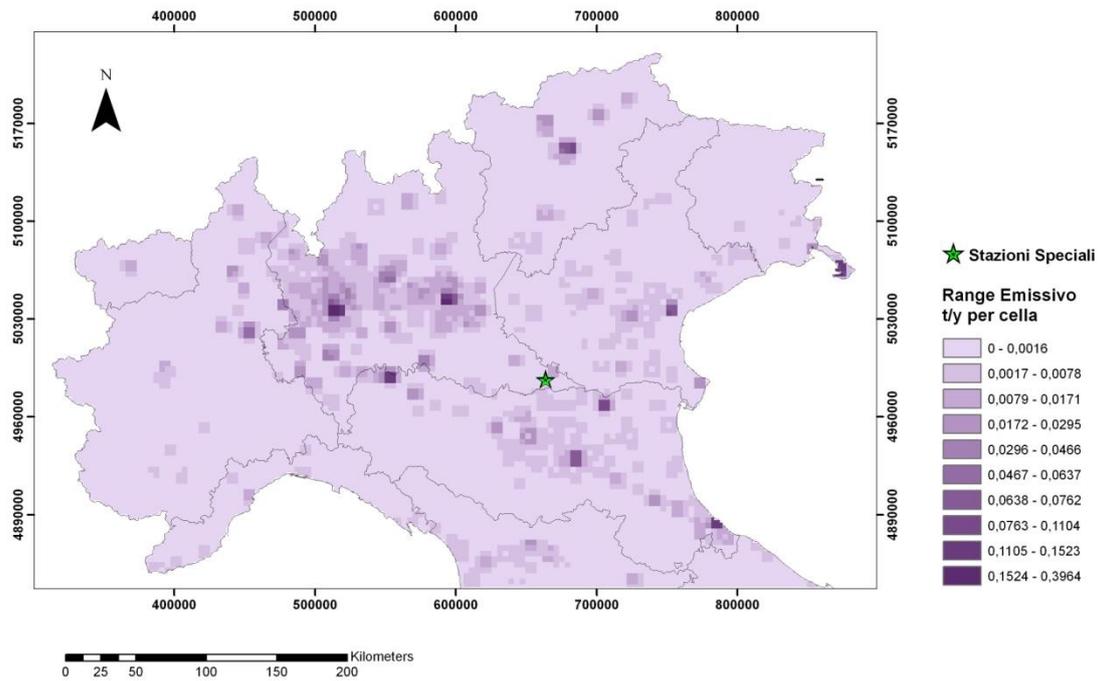
MAPPA 36 - NICHEL: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



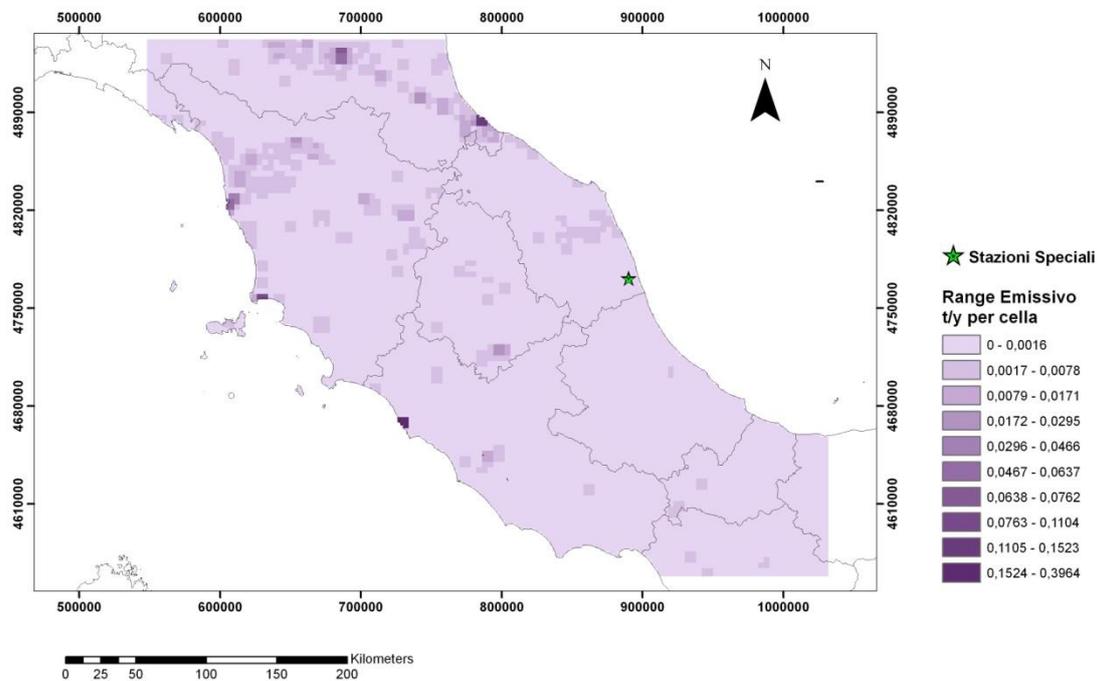
MAPPA 37 - NICHEL: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



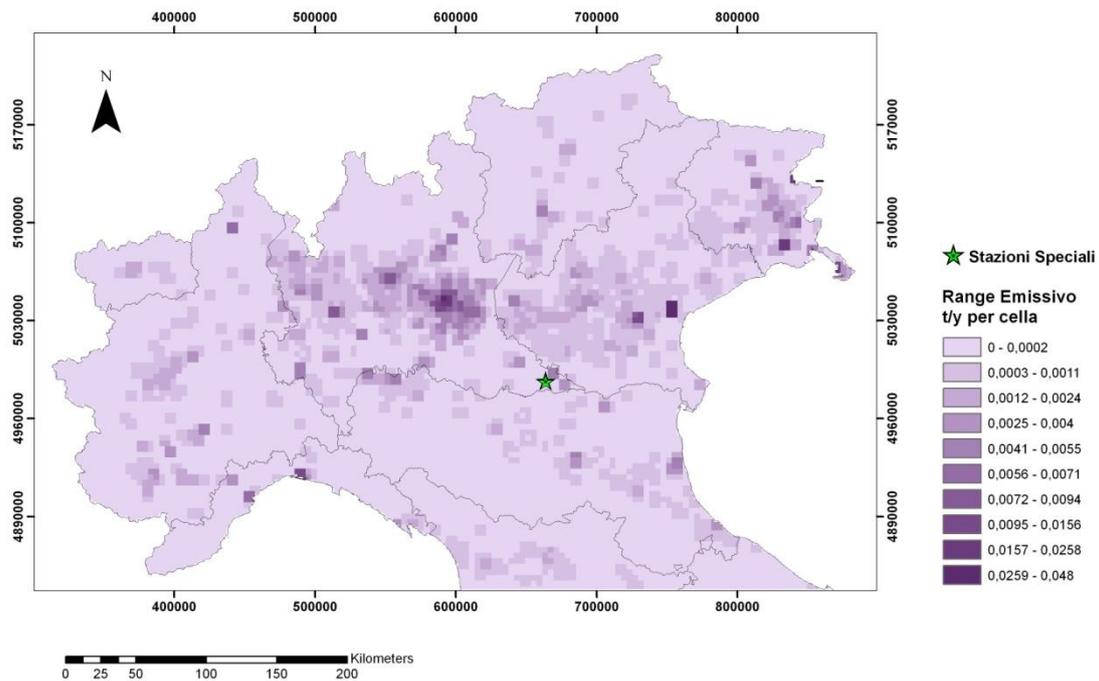
MAPPA 38 - NICHEL: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



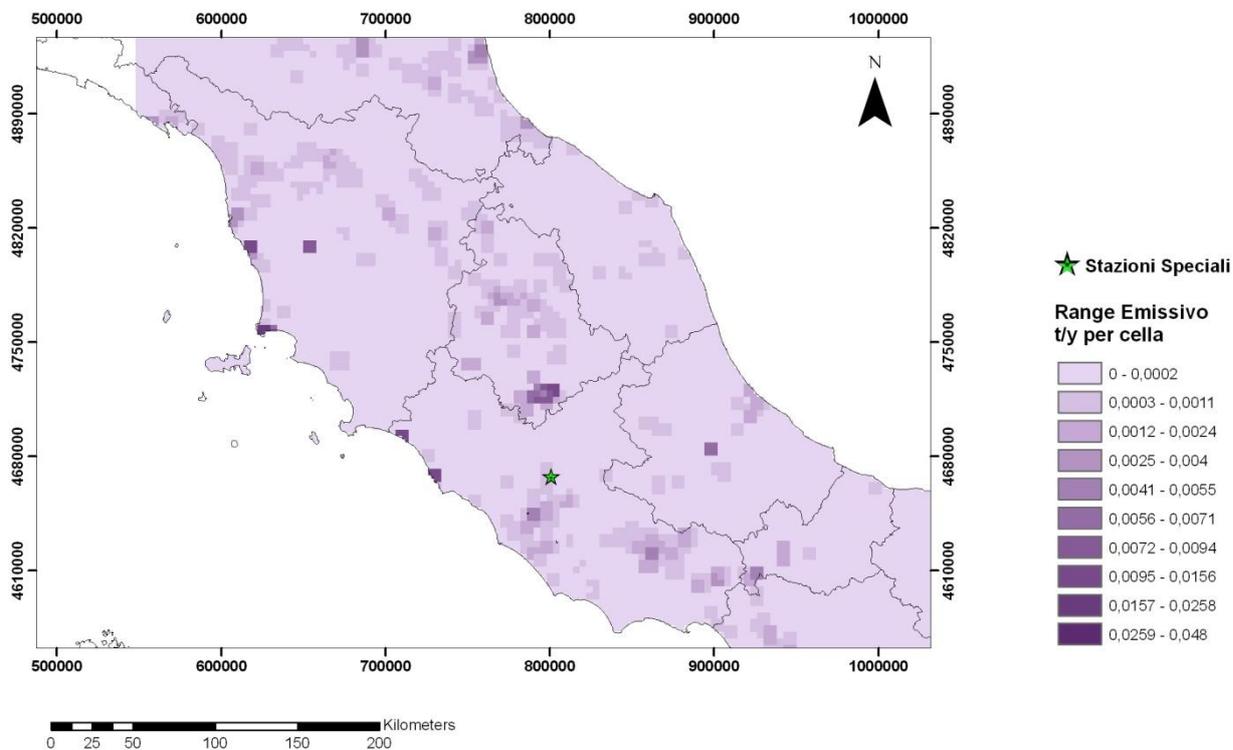
MAPPA 39 - NICHEL: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



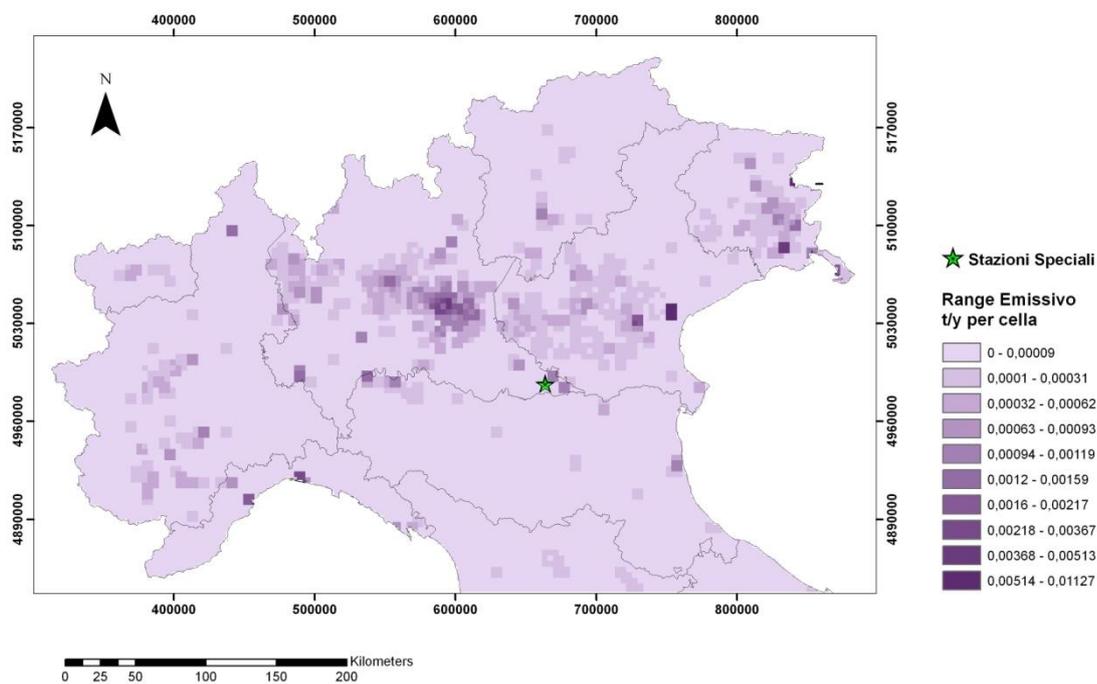
MAPPA 40 - NICHEL: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



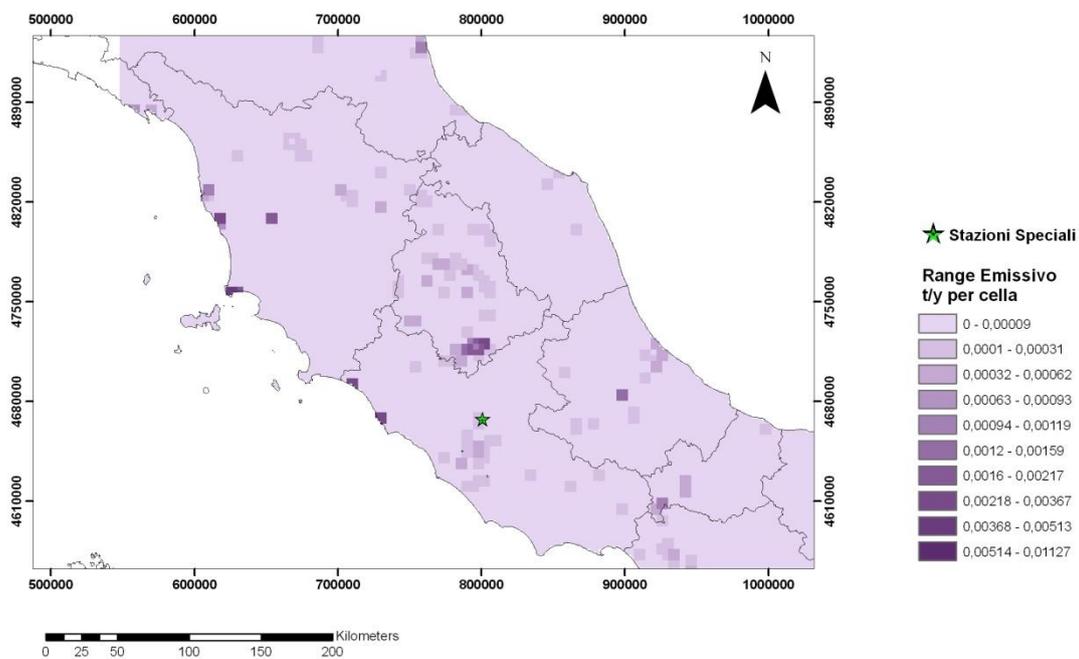
MAPPA 41 - MERCURIO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ANNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



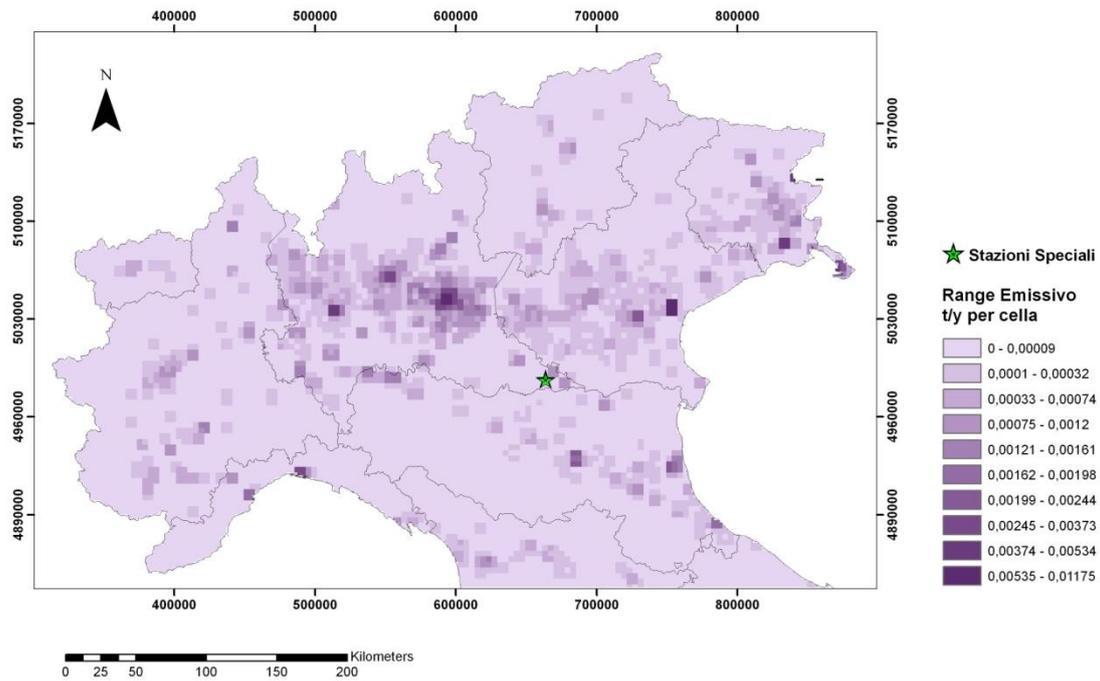
MAPPA 42 - MERCURIO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ANNO2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



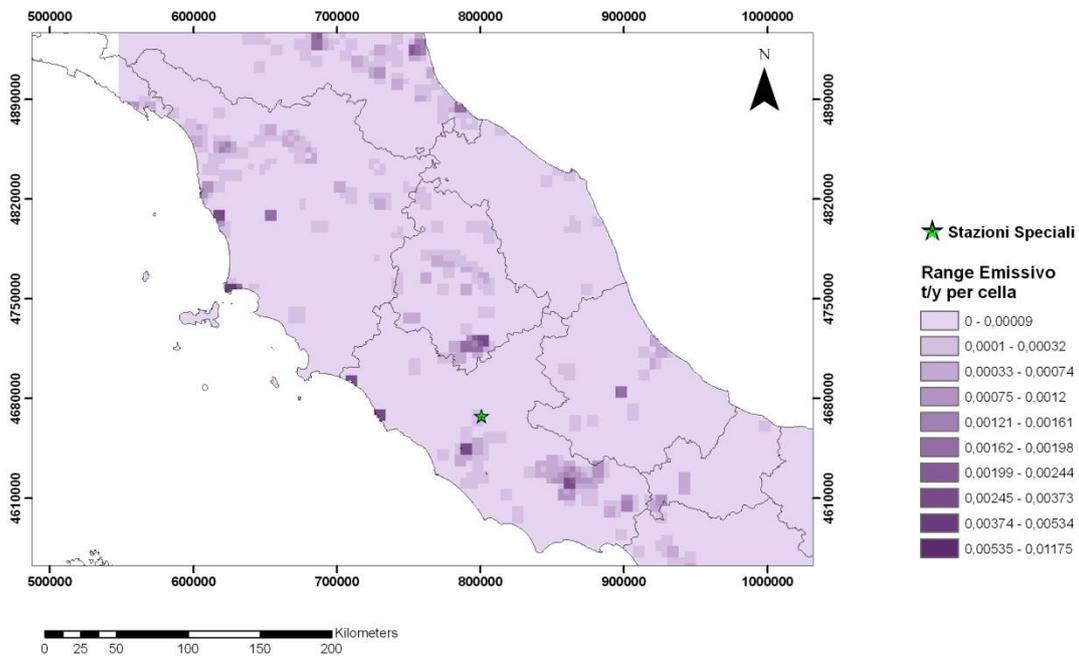
MAPPA 43 - MERCURIO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



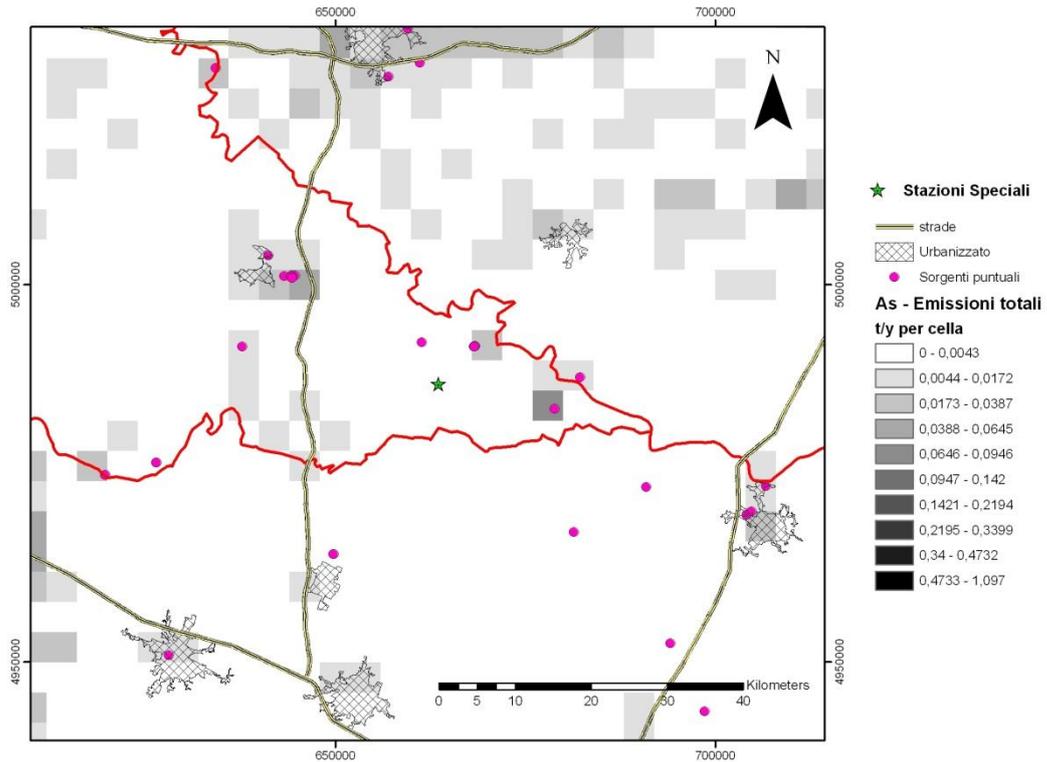
MAPPA 44 - MERCURIO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA ESTATE 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



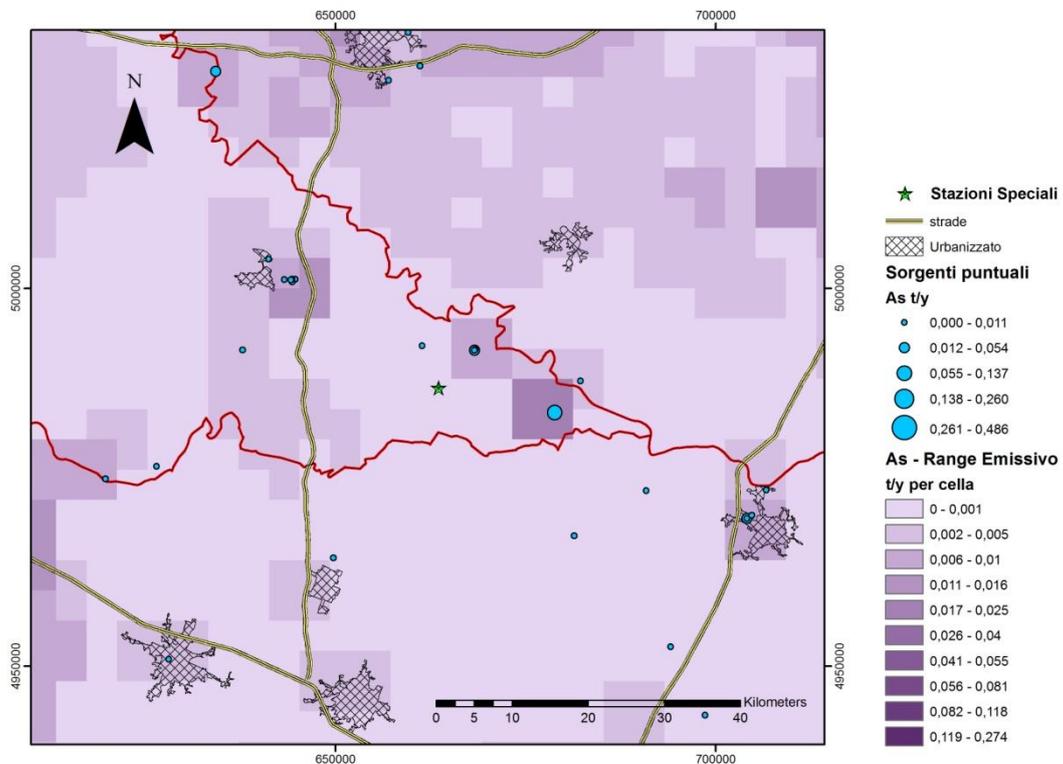
MAPPA 45 - MERCURIO: RANGE EMISSIVO NORD ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



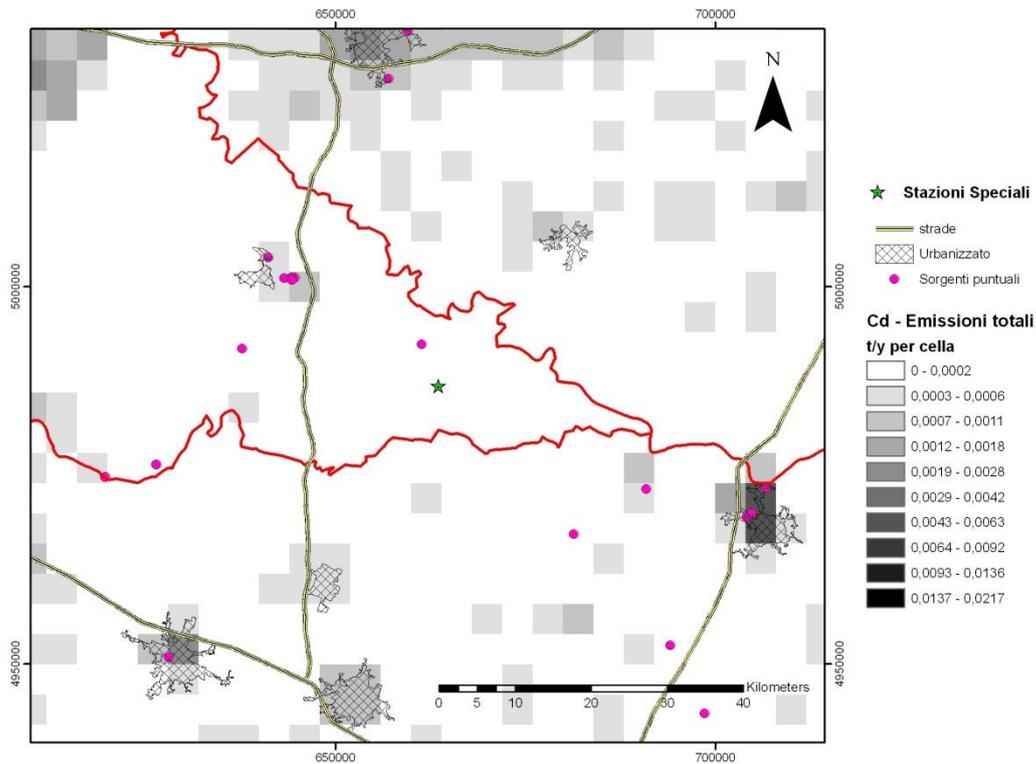
MAPPA 46 - MERCURIO: RANGE EMISSIVO CENTRO ITALIA INVERNO 2005, INVENTARIO EMISSIVO ISPRA



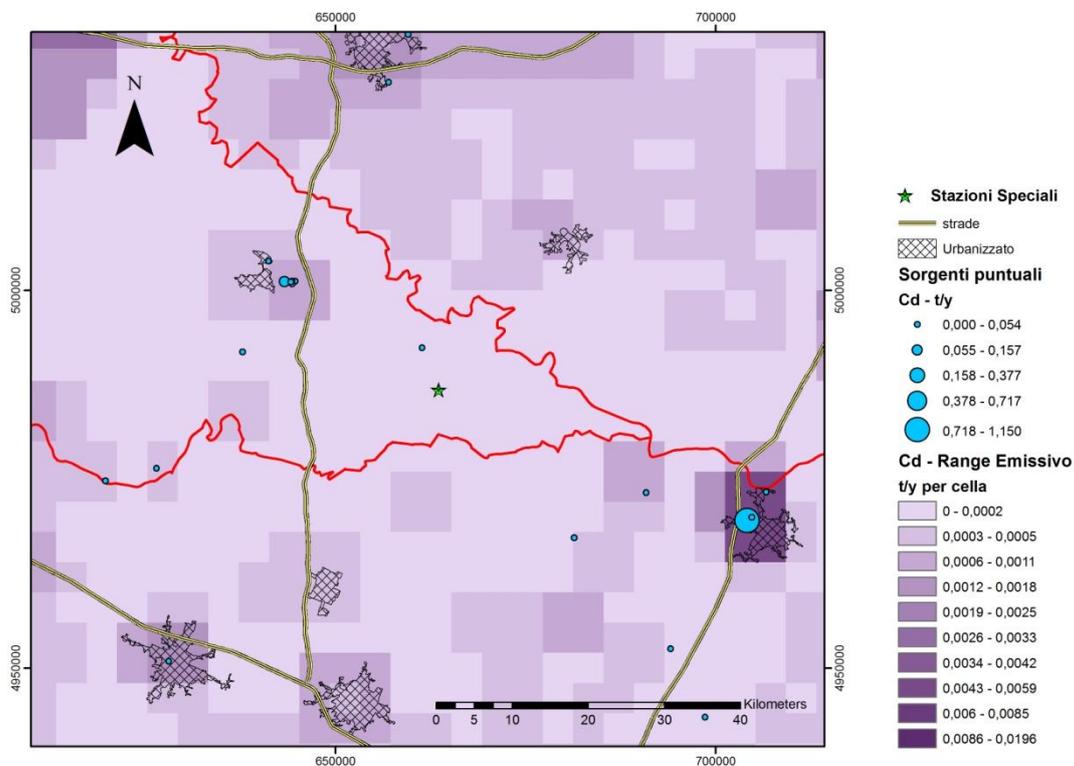
MAPPA 47 – SCHIVENOGLIA: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI ARSENICO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



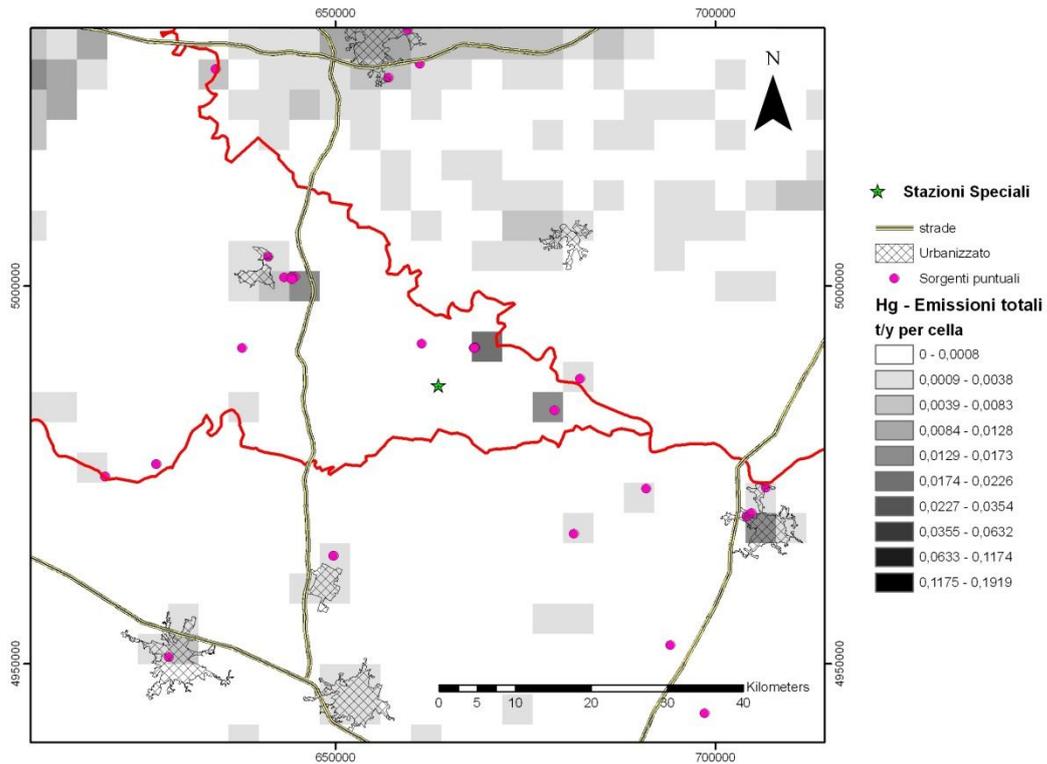
MAPPA 48 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI ARSENICO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



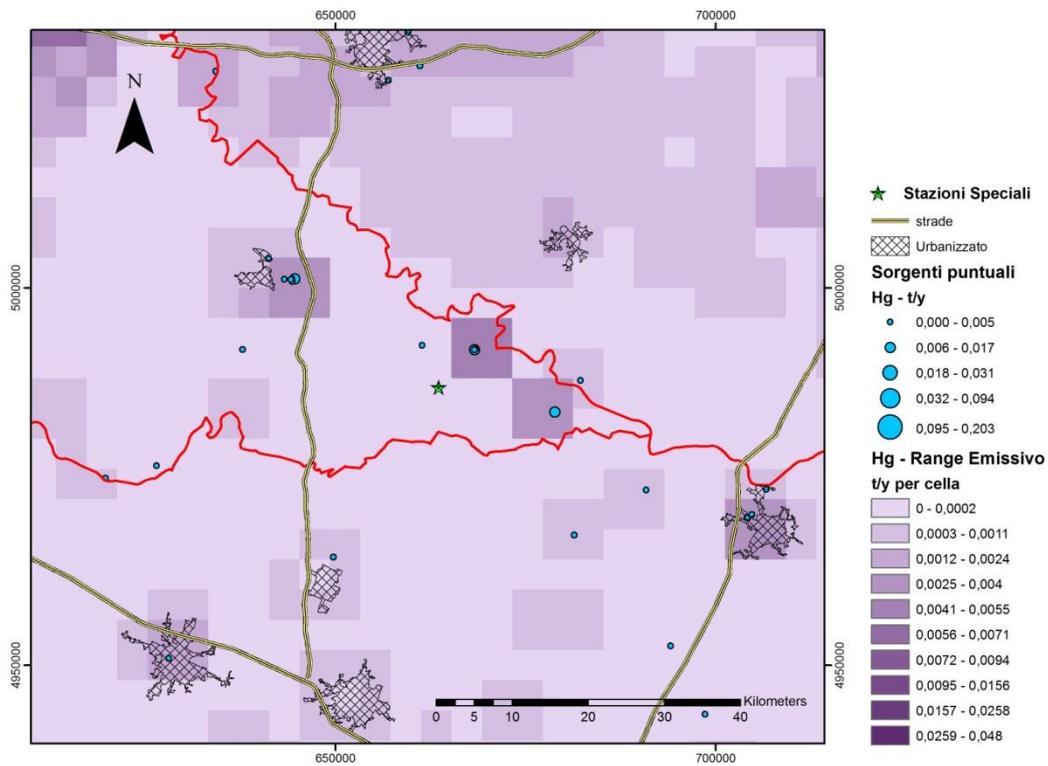
MAPPA 49 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI CADMIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



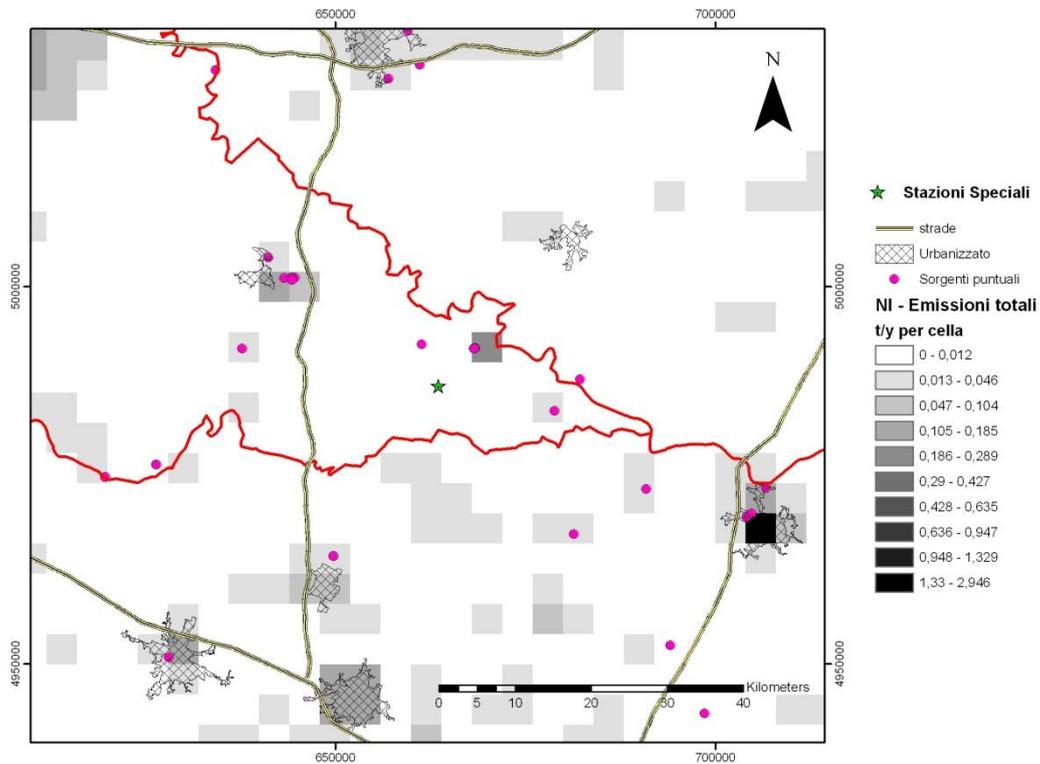
MAPPA 50 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI CADMIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



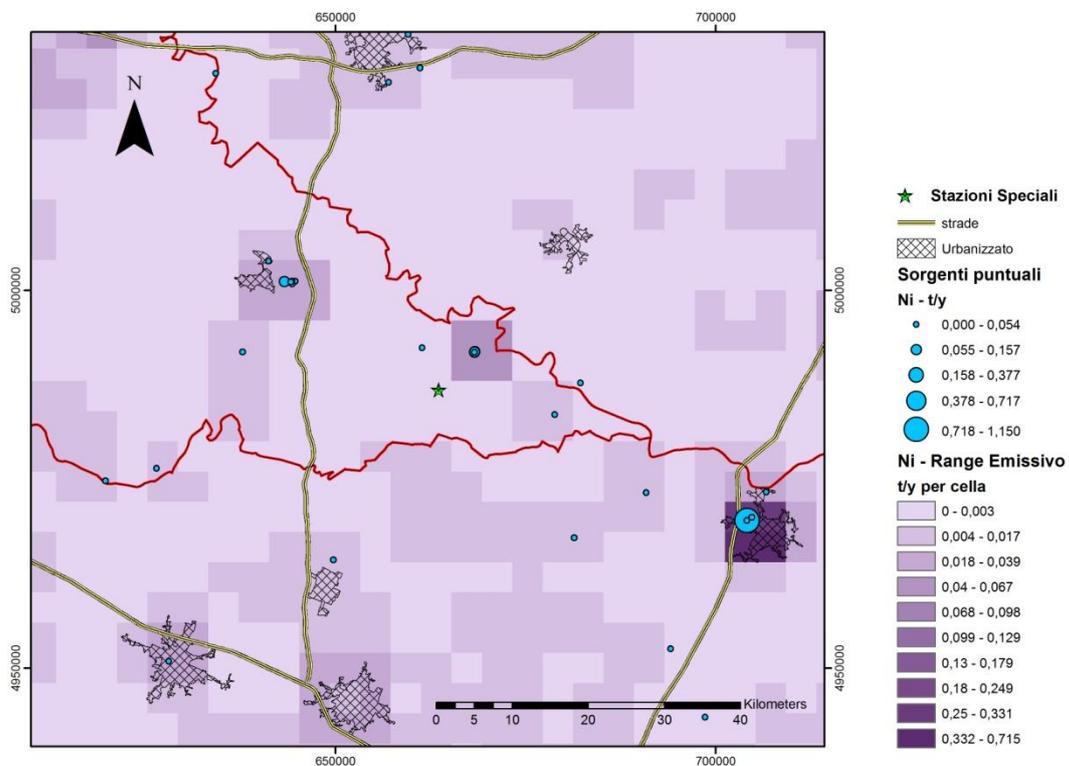
MAPPA 51 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI MERCURIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



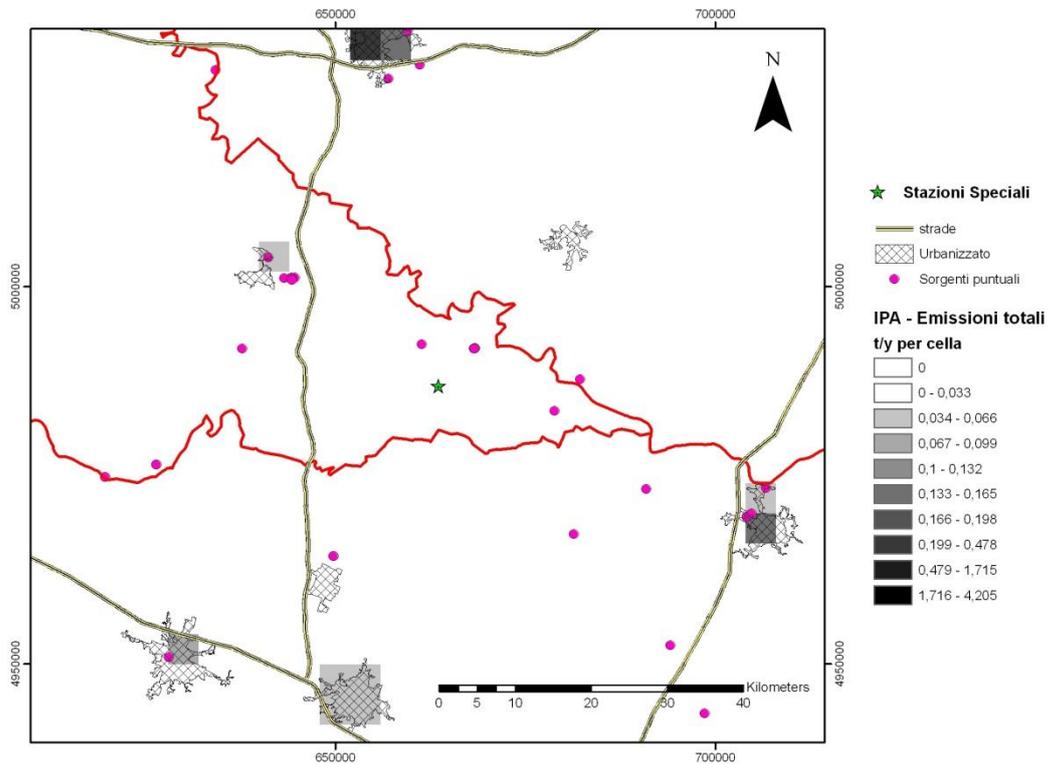
MAPPA 52 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI MERCURIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



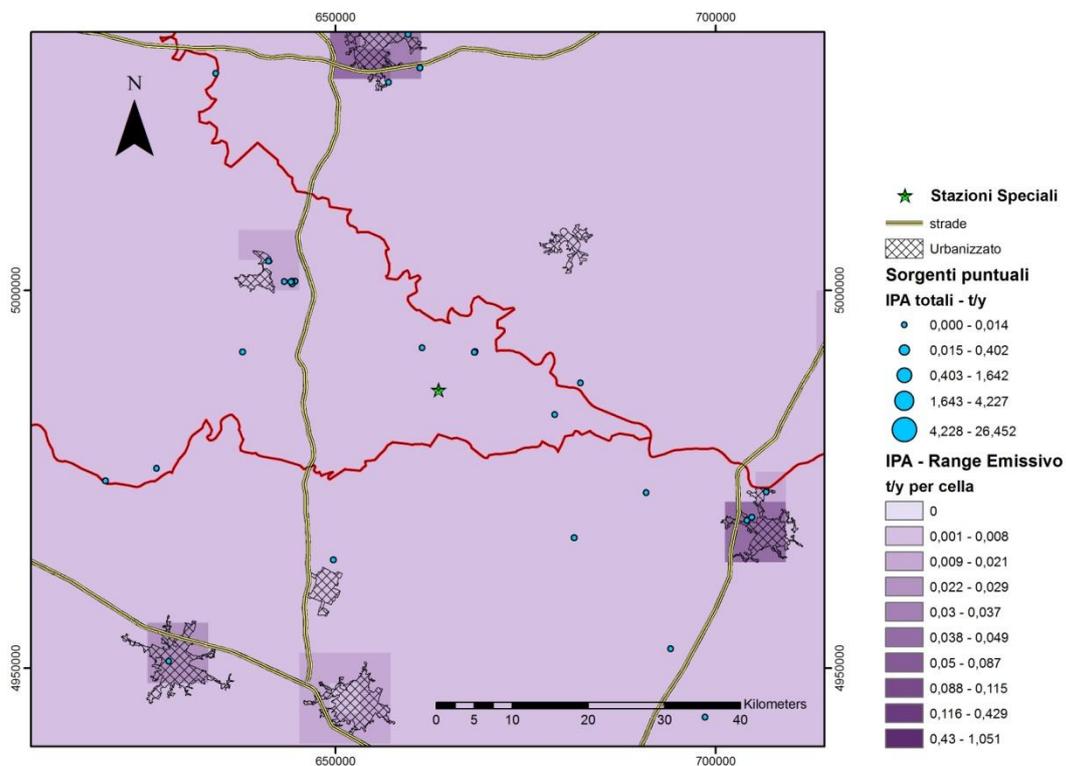
MAPPA 53 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI NICHEL, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



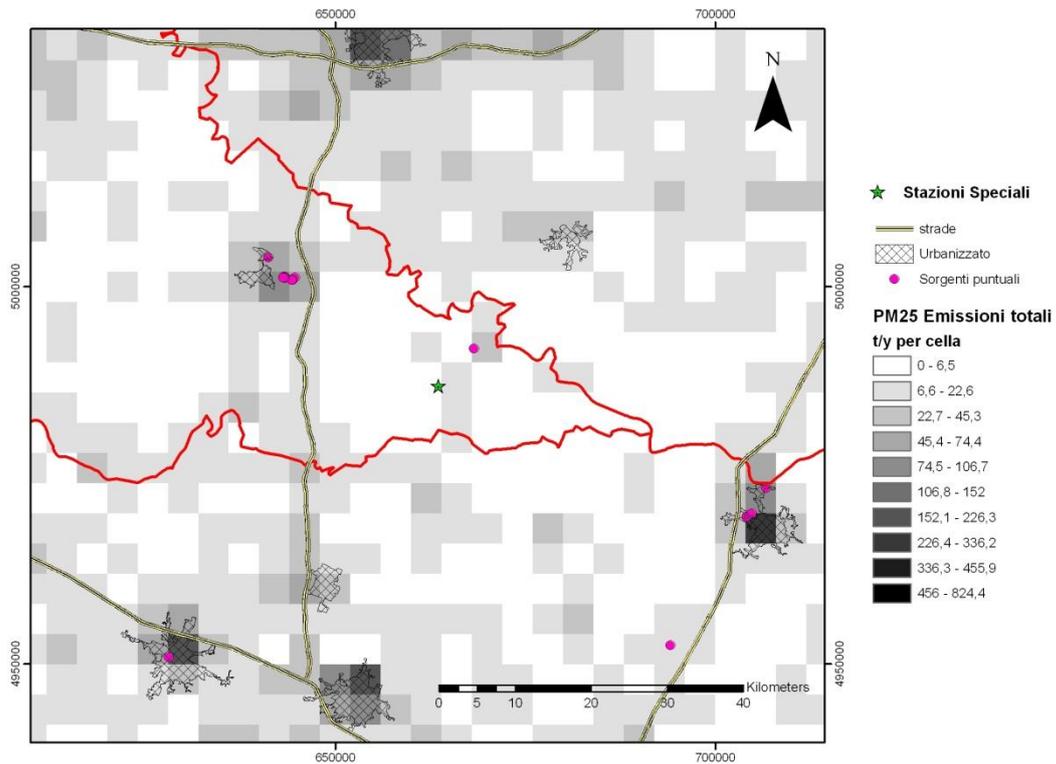
MAPPA 54 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI NICHEL, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



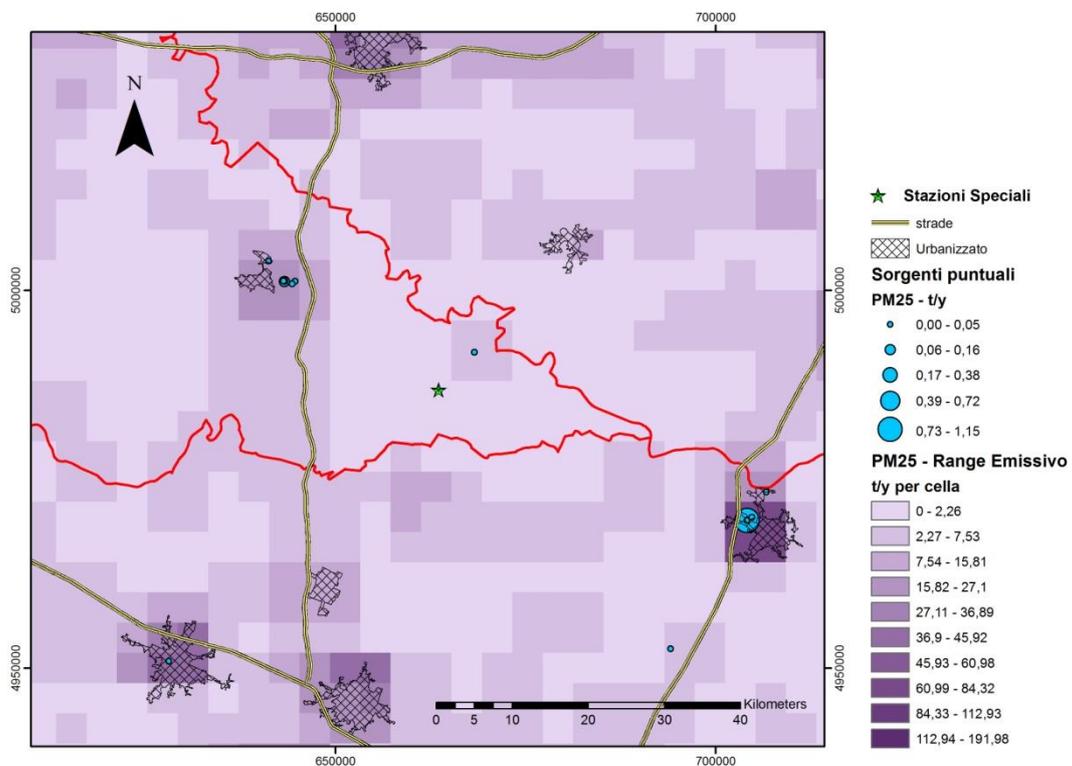
MAPPA 55 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI IPA, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



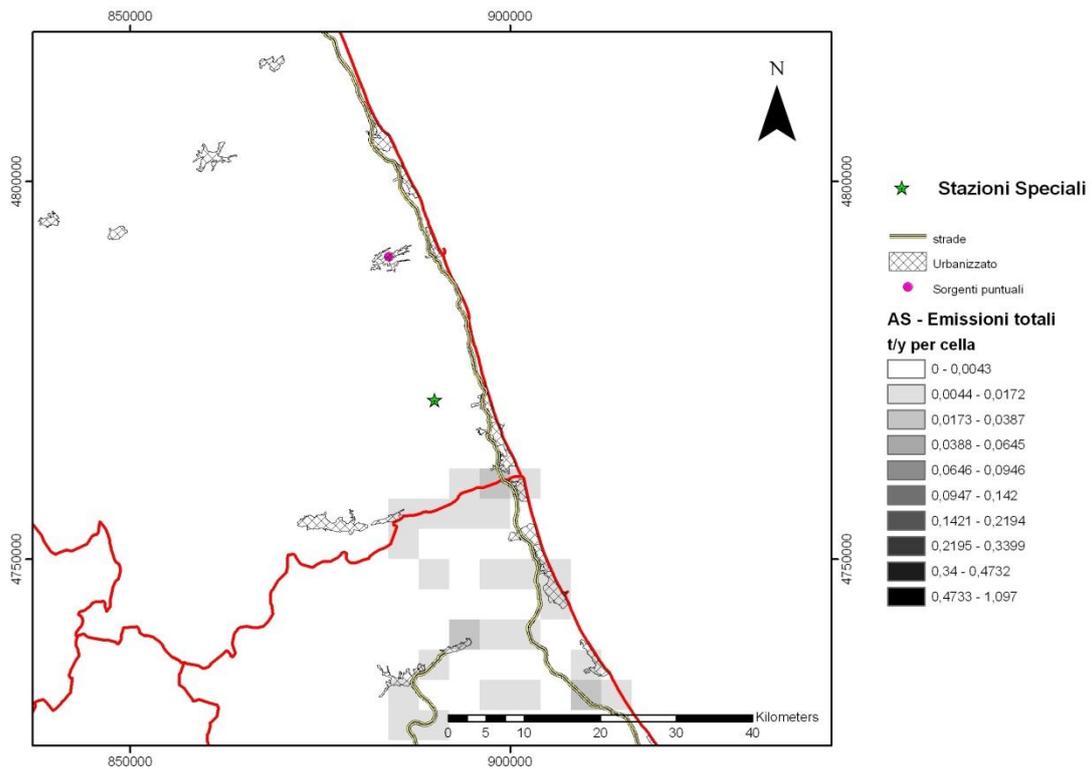
MAPPA 56 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI IPA, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



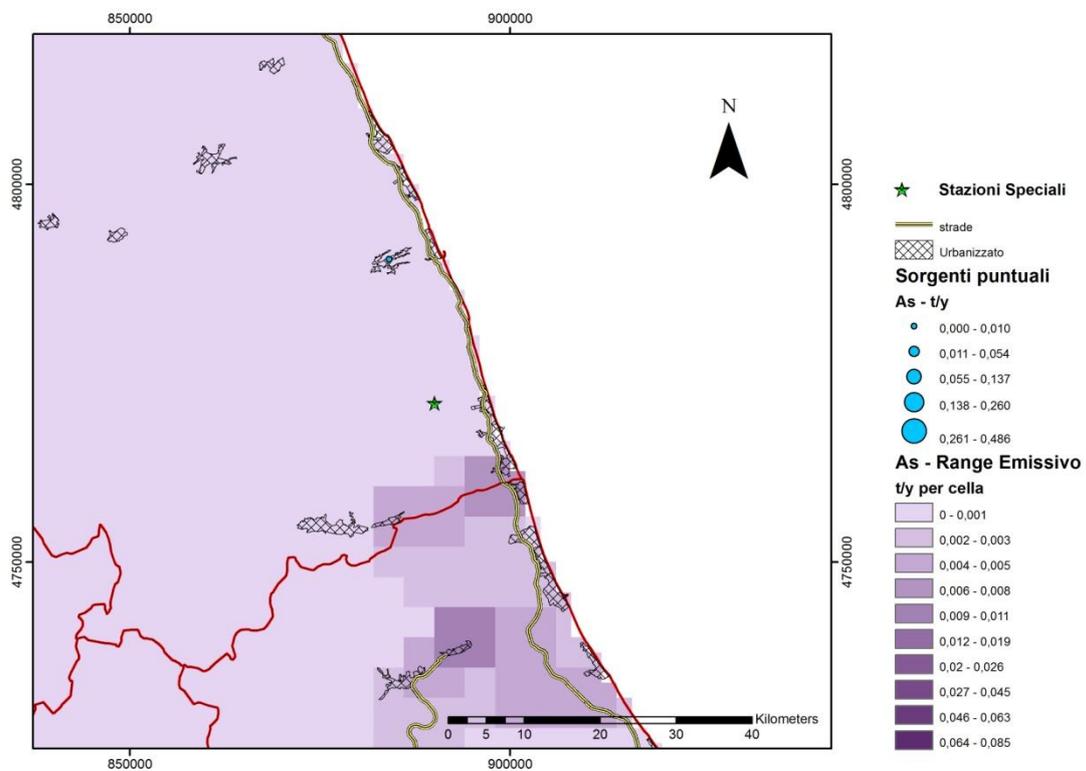
MAPPA 57 - SCHIVENOGLIA: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI PM2.5, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



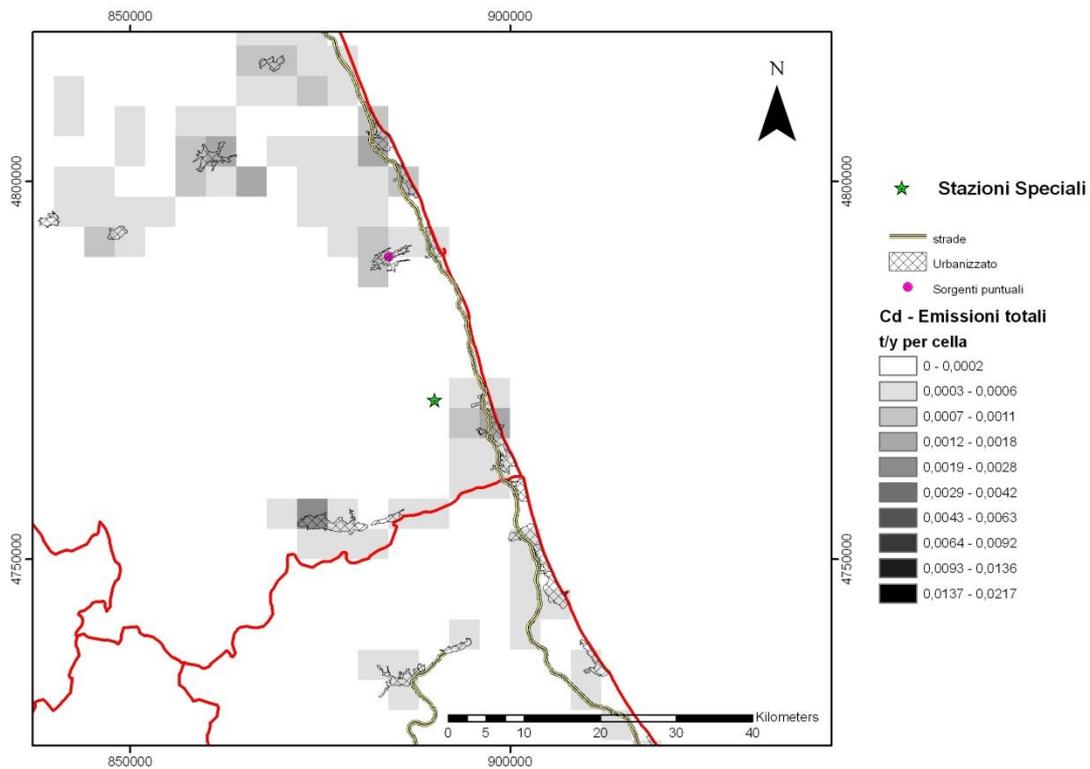
MAPPA 58 - SCHIVENOGLIA: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI PM2.5, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



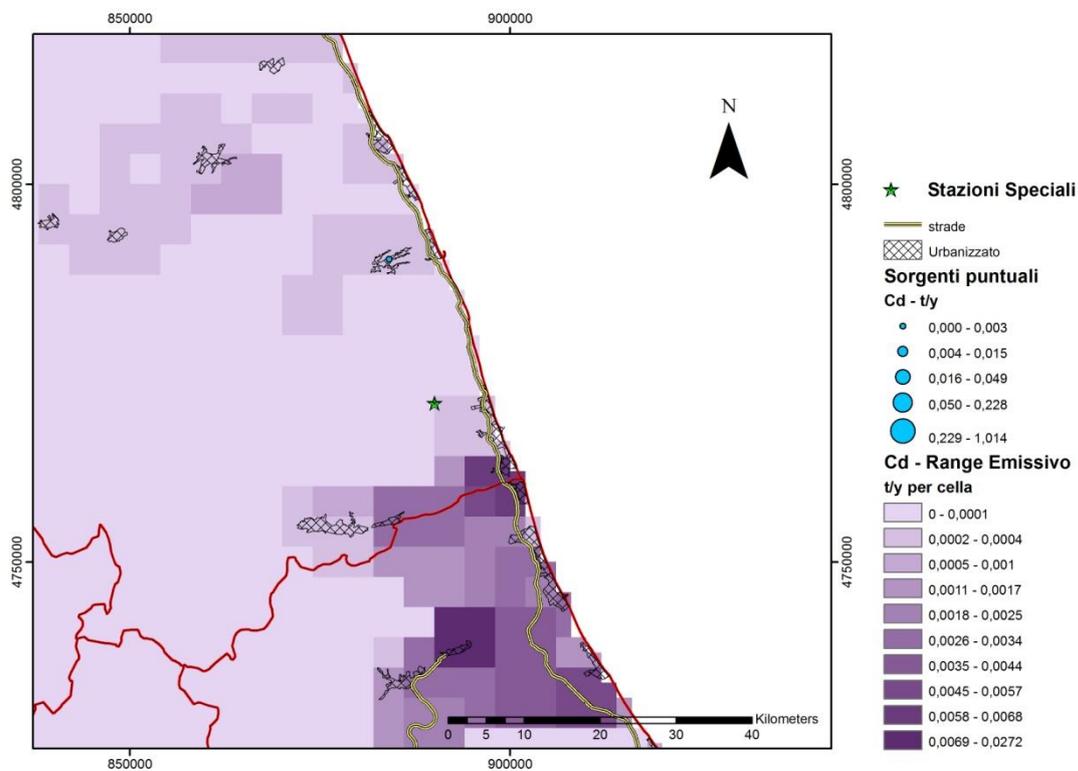
MAPPA 59 - RIPATRANSONE: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI ARSENICO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



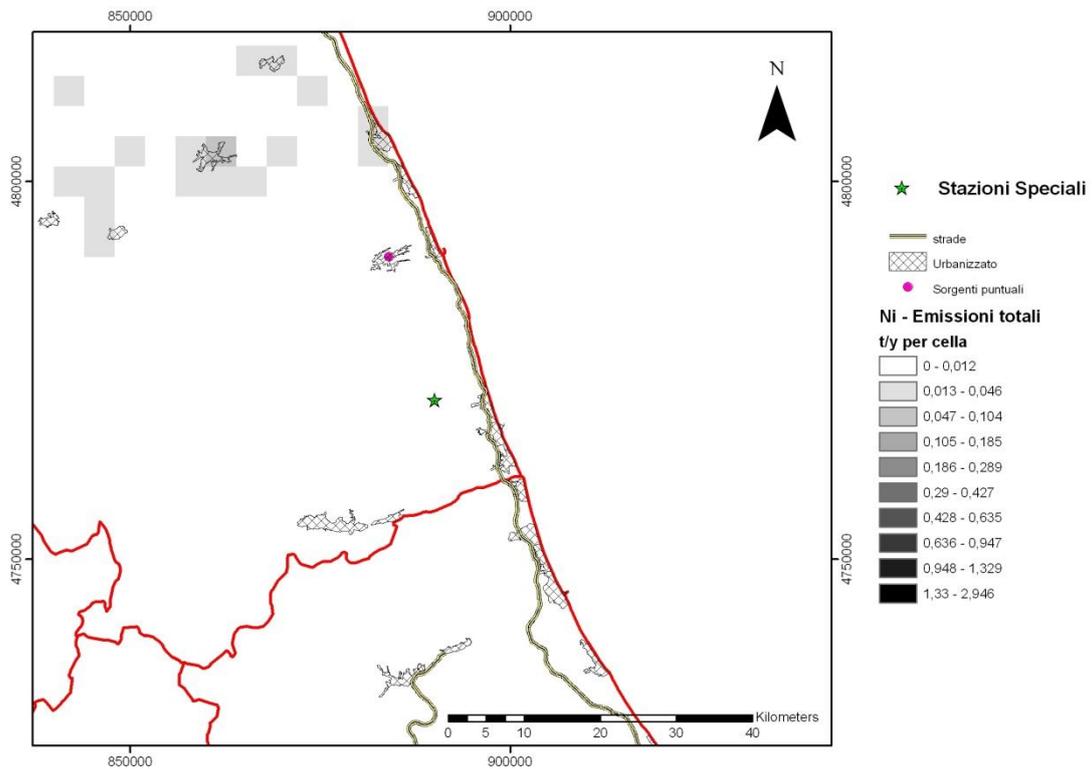
MAPPA 60 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI ARSENICO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



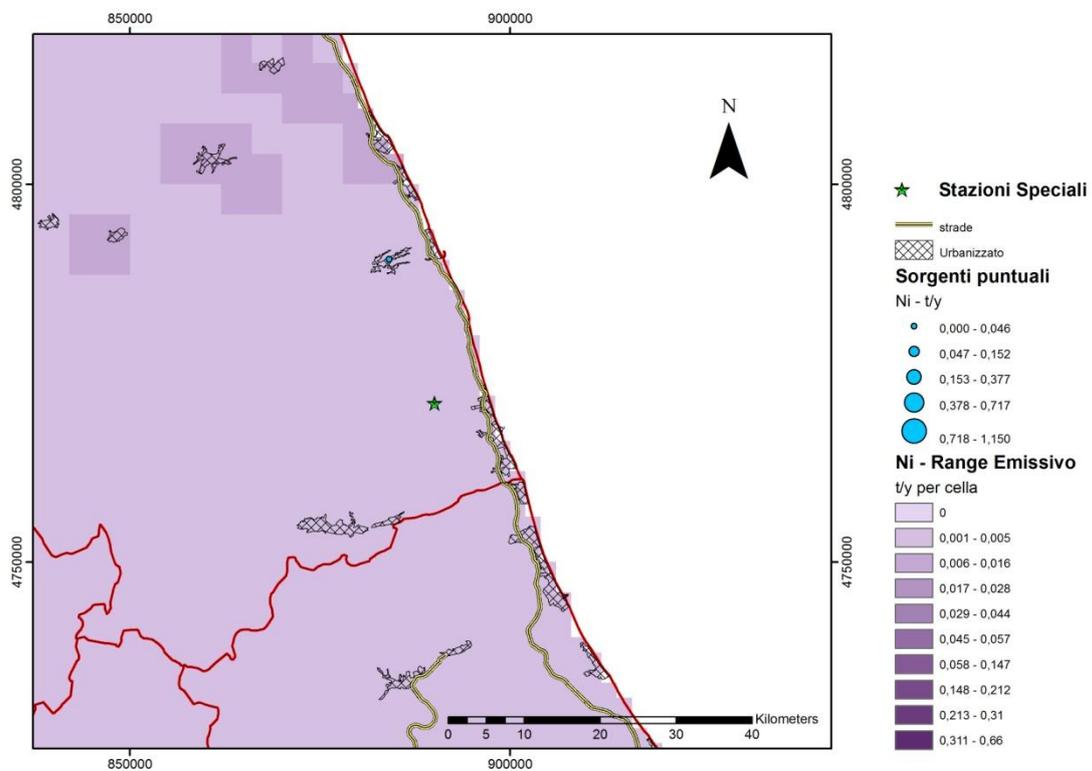
MAPPA 61 - RIPATRANSONE: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI CADMIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



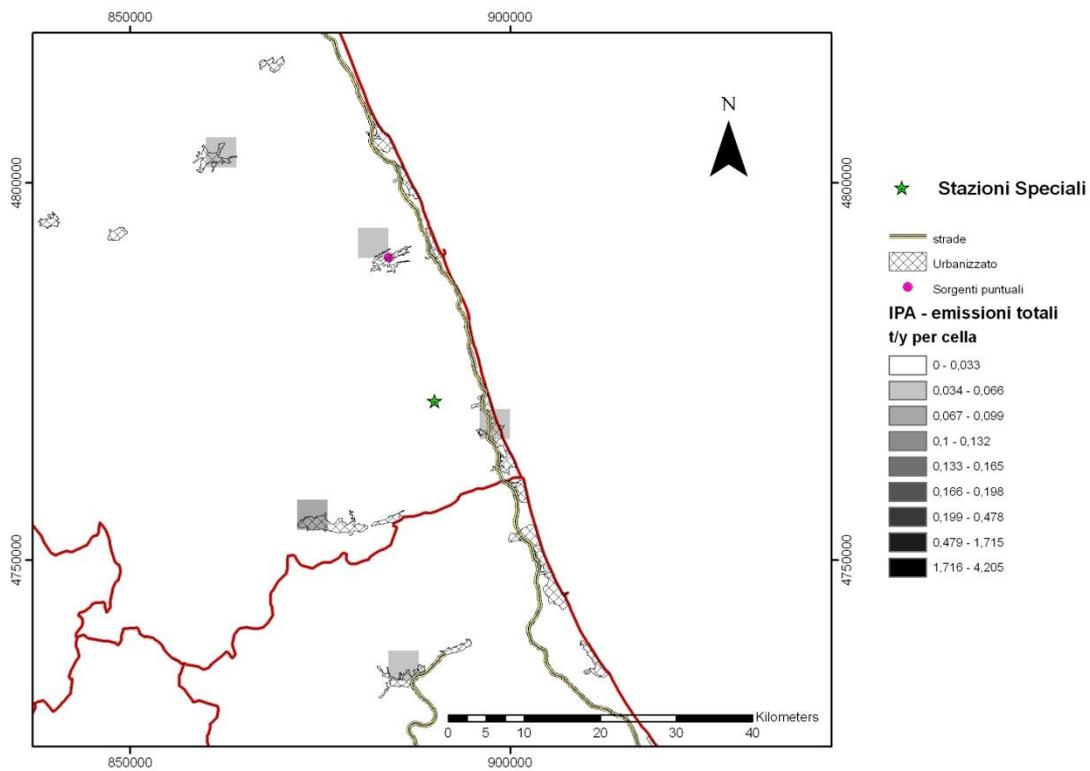
MAPPA 62 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI CADMIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



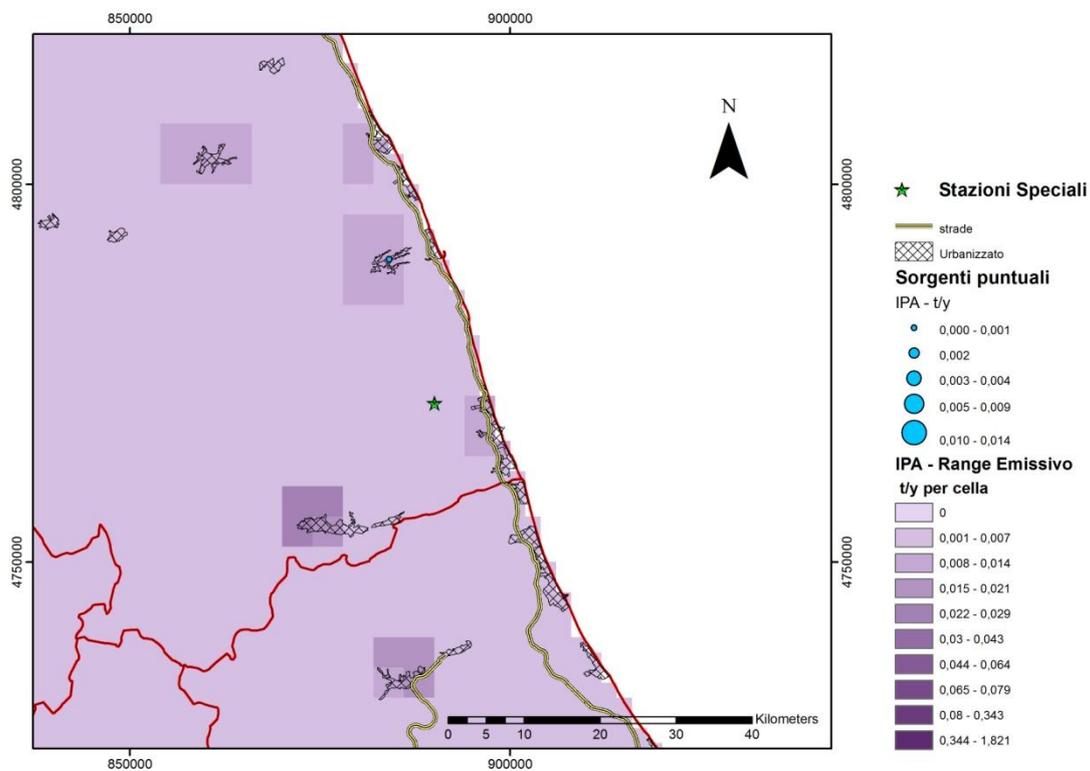
MAPPA 63 - RIPATRANSONE: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI NICHEL, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



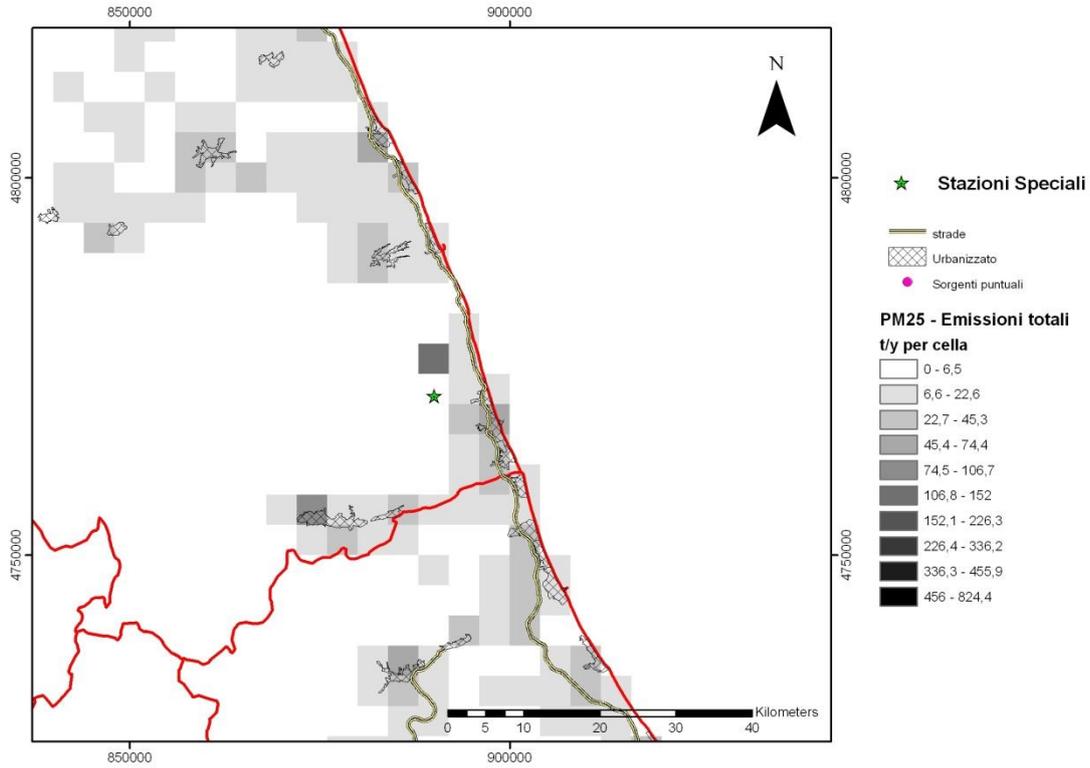
MAPPA 64 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI NICHEL, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



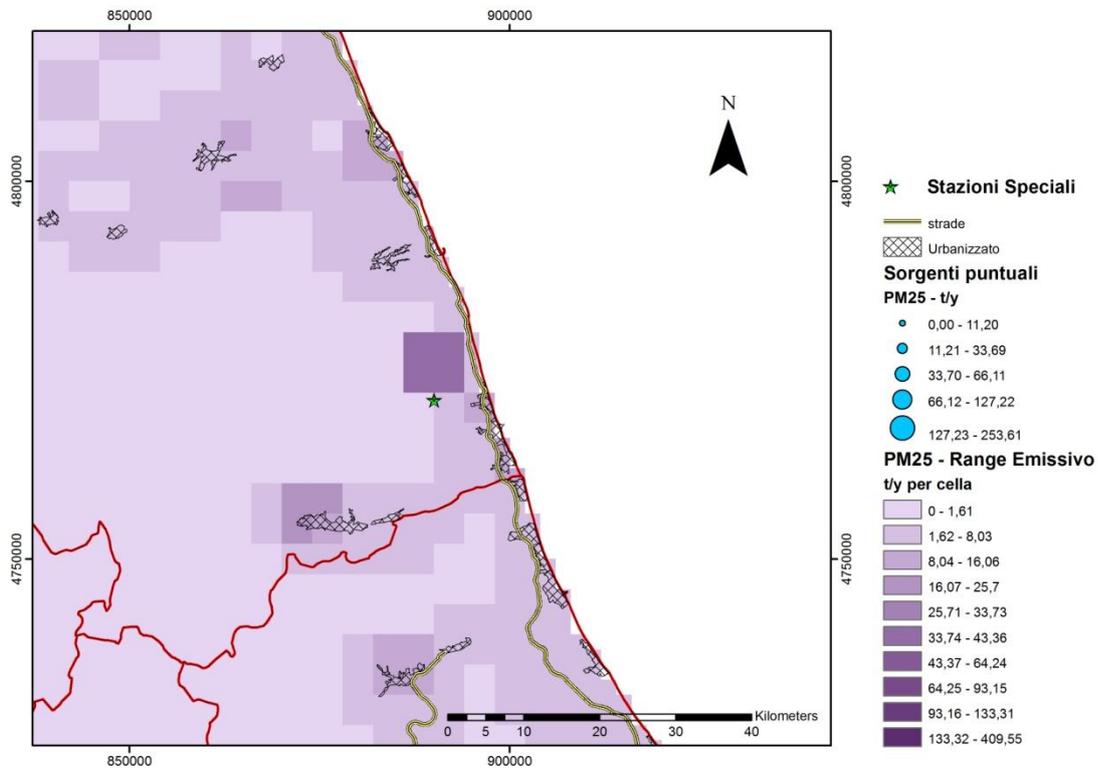
MAPPA 65 - RIPATRANSONE: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI IPA, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



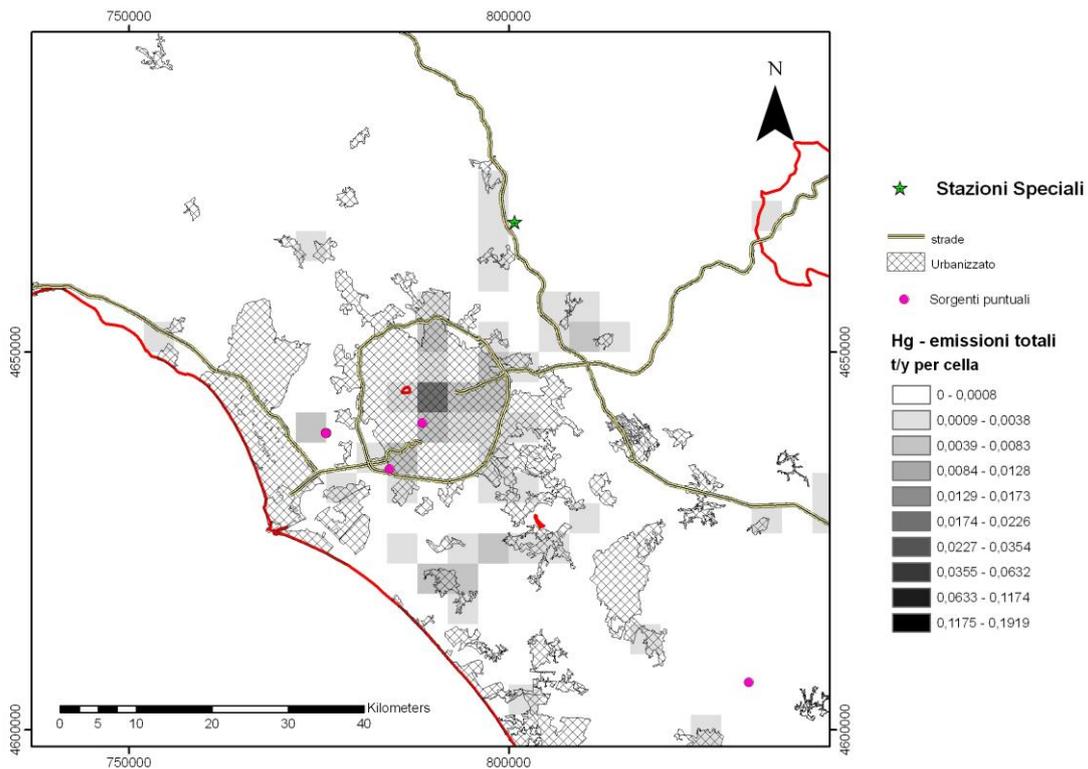
MAPPA 66 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI IPA, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



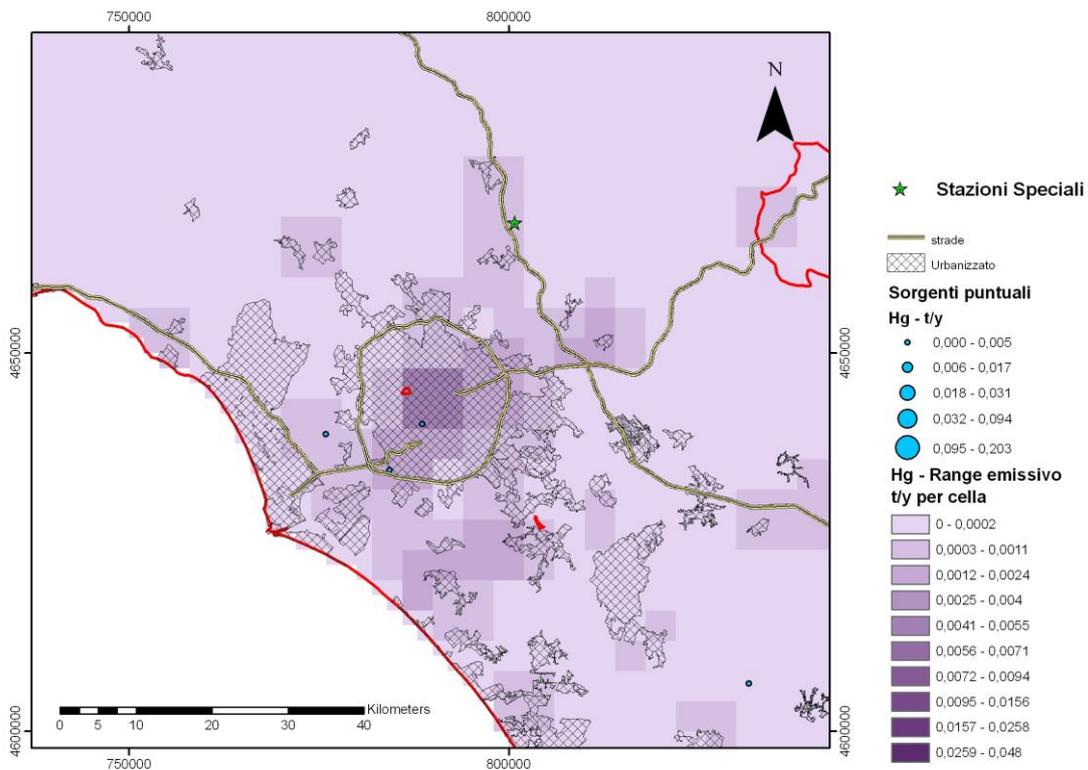
MAPPA 67 - RIPATRANSONE: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI PM2.5, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



MAPPA 68 - RIPATRANSONE: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI PM2.5, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



MAPPA 69 - MONTELIBRETTI: EMISSIONI TOTALI ANNUALI DI MERCURIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA



MAPPA 70 - MONTELIBRETTI: RANGE EMISSIVO ANNUALE DI MERCURIO, ANNO 2005, INVENTARIO ISPRA

Edito dall' **ENEA**
Servizio Comunicazione

Lungotevere Thaon di Revel, 76 - 00196 Roma

www.enea.it

Stampa: Tecnografico ENEA - CR Frascati
Pervenuto il 17.1.2013

Finito di stampare nel mese di gennaio 2013