



Regione Toscana

CNR-IBIMET / LaMMA



Progetto "MODIVASET-2"

**Convenzione tra Regione Toscana e CNR-IBIMET per il
completamento del progetto relativo all'applicazione dei
modelli diffusionali nell'ambito dei piani di risanamento della
qualità dell'aria con particolare attenzione al bacino
Firenze-Prato-Pistoia (MODIVASET)**

Rapporto intermedio

Autori:

Caterina Busillo

Francesca Calastrini

Giovanni Gualtieri

15 aprile 2008

Indice

Introduzione	3
1. Implementazione della modellistica meteodiffusionale e specifiche di applicazione	5
1.1 Configurazione del sistema di modelli RAMS-CALMET-CALGRID	5
1.2 Dominio di studio	6
1.3 Periodo di applicazione	7
1.4 Applicazione dei modelli meteo RAMS e CALMET	7
1.5 Dati di emissione	9
1.5.1 Definizione degli scenari emissivi	10
1.5.2 Le sorgenti puntuali	10
1.5.3 Le sorgenti areali o diffuse	11
1.5.4 Le sorgenti lineari	12
1.6 Ulteriori modifiche introdotte nel codice originale del modello CALGRID v. 1.6b	12
2. Applicazione dei modelli ed analisi dei risultati	14
2.1 Descrizione dei <i>run</i> eseguiti	14
2.2 Le mappe di concentrazione sul territorio	14
2.2.1 Descrizione delle mappe	14
2.2.2 Analisi dei risultati	15
2.3 Andamento delle serie storiche di concentrazione nelle stazioni chimiche	17
2.3.1 Descrizione delle serie storiche	17
2.3.2 Analisi dei risultati	18
Conclusioni	24
Bibliografia	26
Appendice: elaborazioni grafiche	27
Scenario 0: scenario base o attuale	28
Scenario 1: scenario futuro " <i>business as usual</i> "	58
Confronti di scenario	88

Introduzione

Questo rapporto documenta le attività svolte dal CNR-IBIMET/LaMMA nell'ambito della convenzione stipulata con la Regione Toscana per il completamento del progetto "MODIVASET" relativo all'applicazione dei modelli diffusionali nell'ambito dei piani di risanamento della qualità dell'aria con particolare attenzione al bacino Firenze-Prato-Pistoia. Il progetto in esame – denominato "MODIVASET-2" – coinvolge altri Soggetti, quali il Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco" dell'Università di Firenze e il Dipartimento provinciale di Firenze dell'agenzia regionale ARPAT.

Nell'ambito del precedente progetto "MODIVASET", è stato messo a punto sulla realtà regionale un sistema integrato di modelli che, partendo dai dati dell'archivio RAMS e dall'Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione in aria ambiente (IRSE), si interfaccia coi modelli CALMET, CALPUFF e CALGRID. In particolare, sono state predisposte una serie di *routine* che permettono la gestione integrata dei dati dell'archivio RAMS e dei dati IRSE, finalizzate all'applicazione dei modelli diffusionali CALPUFF e CALGRID. Il modello CALGRID è stato inoltre opportunamente modificato, sia allo scopo di poter essere utilizzato per la stima dei soli inquinanti inerti, che per lavorare in modalità *long-term*.

Nell'ambito della presente convenzione si è scelto, contrariamente a quanto fatto in precedenza, unicamente l'utilizzo della catena modellistica RAMS-CALMET-CALGRID, di fatto quindi prevedendo come strumento diffusionale l'applicazione del solo modello CALGRID, peraltro utilizzato solo in modalità inerte.

Gli inquinanti presi in esame sono stati il PM₁₀ (solo di origine primaria) e l'NO_x.

Il dominio spaziale è stato analogo a quello del progetto MODIVASET, e ha quindi compreso il bacino aerografico Firenze-Prato-Pistoia nonché l'area industriale empolesse. Anche le caratteristiche del grigliato di calcolo dei modelli sono state analoghe a quelle della precedente convenzione, essendo caratterizzate da 49x40 celle quadrate di lato pari a 1 Km.

La base meteorologica di riferimento è stata la stessa ricostruita per il progetto MODIVASET, ossia quella fornita dal modello RAMS, relativamente all'anno 2002, opportunamente riscalata alla risoluzione di lavoro (1x1 Km²) attraverso la successiva applicazione del modello diagnostico CALMET.

CALGRID è stato applicato in modalità *long-term* per il periodo di un anno solare, corrispondente all'anno 2002. Proseguendo peraltro quanto già fatto nel corso della precedente convenzione, anche in questo caso è stato necessario introdurre nel codice originale del modello una serie di modifiche, tra le quali in primo luogo la possibilità di

leggere più *file* di *input* meteo ("CALMET.DAT") ordinati in sequenza cronologica – di grande comodità nel caso di *run* così lunghi -, nonché quella di produrre in uscita, oltre alle mappe delle medie di concentrazione su intervalli temporali a scelta, anche quelle dei valori massimi sui medesimi intervalli.

Il principale obiettivo del progetto MODIVASET-2 è quello di valutare gli effetti sui livelli di qualità dell'aria di una serie di azioni ed interventi sulle sorgenti di emissione partendo dai livelli attuali e considerando le previsioni di scenari di sviluppo economico, territoriale, energetico e del sistema della mobilità dei prossimi anni. L'applicazione della modellistica diffusionale condotta nel presente lavoro ha avuto pertanto lo scopo di proporre e confrontare scenari di modificazione della qualità dell'aria sulla base delle mutazioni di scenari emissivi, elaborati sulla base-dati regionale costituita dall'archivio IRSE.

Gli scenari emissivi presi a riferimento sono stati i seguenti:

- Scenario 0 o scenario base (stato attuale), riferito allo stato delle emissioni IRSE consolidato all'anno 2003;
- Scenario 1 o scenario futuro "business as usual", riferito allo stato delle emissioni IRSE modificate per l'anno 2010–2012 sulla base di variazioni statistiche previsionali;
- Scenario 2 o scenario futuro pianificato, riferito allo stato delle emissioni IRSE modificate per l'anno 2010–2012, e sulla base delle previsioni di ulteriori sviluppi del quadro emissivo previsti dalle azioni ed interventi oggi progettati o in corso di realizzazione e che è possibile ipotizzare realizzati nel periodo temporale indicato.

Nel lavoro sono state prese in esame tutte le diverse tipologie di sorgenti presenti sul territorio (puntuali, lineari ed areali) e valutato il differente apporto da esse causato all'inquinamento atmosferico nell'area di studio al variare degli scenari emissivi considerati. Poiché le diverse tipologie disaggregate di sorgente ammontano a 7, le combinazioni di calcolo complessive di CALGRID sono state 42 (2x3x7).

1. Implementazione della modellistica meteodiffusionale e specifiche di applicazione

1.1 Configurazione del sistema di modelli RAMS-CALMET-CALGRID

Per il presente lavoro è stato applicato nell'area di studio il sistema integrato di modelli RAMS-CALMET-CALGRID, la cui struttura funzionale, illustrata in Fig. 1, risulta del tutto analoga a quella implementata nell'ambito del precedente progetto MODIVASET [2].

Il sistema è basato sull'utilizzo dei campi meteorologici forniti dal modello RAMS [13], sulla loro rielaborazione attraverso il postprocessore CALMET [10], e infine sull'impiego del modello diffusionale CALGRID [11] per la stima delle concentrazioni.

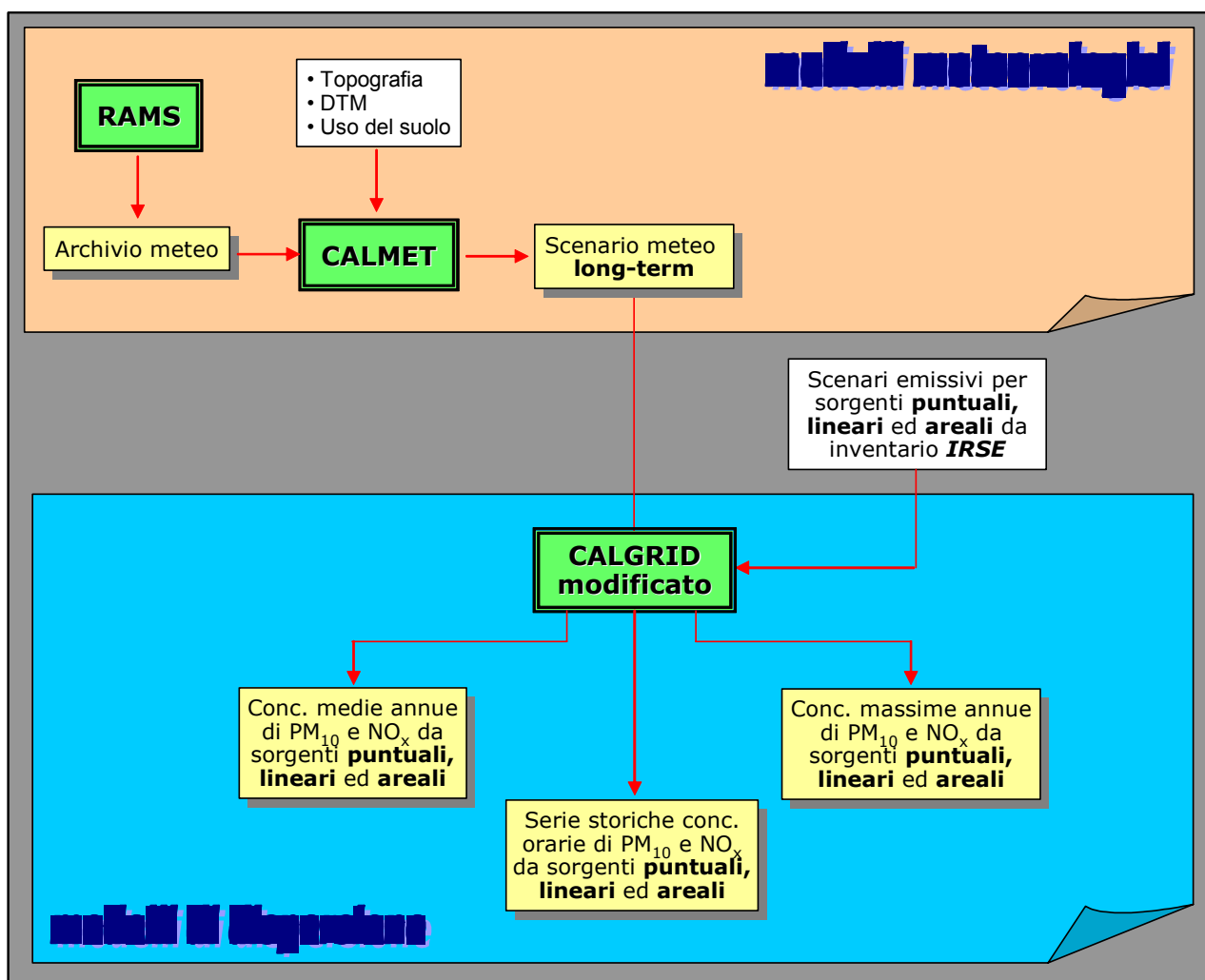


Fig. 1 – Schema del sistema integrato di modelli meteodiffusionali RAMS-CALMET-CALGRID implementato nel presente lavoro.

Oltre alle stime dell'archivio meteorologico RAMS [3], in ingresso al postprocessore CALMET è necessario introdurre tutti i dati topografici e geofisici (DTM e classificazione di uso-suolo) del dominio di studio, il che consente in ultimo la predisposizione dello scenario meteo di riferimento. Poiché la base-dati di partenza (archivio RAMS) è costituita da un intero anno di dati con cadenza oraria, l'applicazione di CALMET in sequenza ad esso è stata condotta in modalità *long-term*, producendo pertanto uno scenario della lunghezza di un anno, con passo orario. Lo scenario di lungo periodo relativo all'anno 2002 costituisce lo scenario meteo di riferimento nell'ambito del presente lavoro. C'è inoltre da aggiungere che tale scenario – per quanto segnatamente attiene alle stime dell'archivio RAMS – costituisce la base meteo di riferimento dell'intero Progetto, essendo stata messa a disposizione di tutti i *Partner*.

L'applicazione della modellistica diffusionale prevede in ingresso, oltre allo scenario meteorologico, anche quello emissivo. In tal caso, in accordo con le finalità generali del progetto, è stata prevista la possibilità di definire più scenari emissivi in ingresso ai modelli diffusionali, allo scopo di valutare l'incidenza che hanno sulla qualità dell'aria le diverse ipotesi emissive formulate in sede di pianificazione a partire dallo scenario iniziale (attuale). La sezione diffusionale della modellistica implementata ha previsto l'applicazione – sempre in modalità *long-term* – del modello CALGRID la stima delle concentrazioni dovute a tutte le tipologie di sorgenti (puntuali lineari ed areali) attive nell'area di studio.

Gli inquinanti presi in esame sono stati il PM₁₀ (unicamente la componente primaria) e l'NO_x.

C'è da aggiungere che, analogamente a quanto fatto nell'ambito del progetto MODIVASET, anche nel caso in esame il modello CALGRID è stato applicato in modalità inerte, ossia disattivando completamente l'opzione relativa alle trasformazioni chimiche. Anche nel presente lavoro, peraltro, è stato necessario introdurre nel codice originale del modello CALGRID una serie di modifiche, tra le quali in primo luogo la possibilità di leggere più *file* di *input* meteo ("CALMET.DAT") ordinati in sequenza cronologica – di grande comodità nel caso di *run* così lunghi -, nonché quella di produrre in uscita, oltre alle mappe delle medie di concentrazione su intervalli temporali a scelta, anche quelle dei valori massimi sui medesimi intervalli.

1.2 Dominio di studio

L'area oggetto di studio è ovviamente la stessa del progetto MODIVASET: essa è costituita principalmente dal bacino aerografico comprendente le città di Firenze, Prato

e Pistoia, ma include anche il tratto della valle dell'Arno che da Firenze si apre a sudovest verso Empoli (Fig. 2).

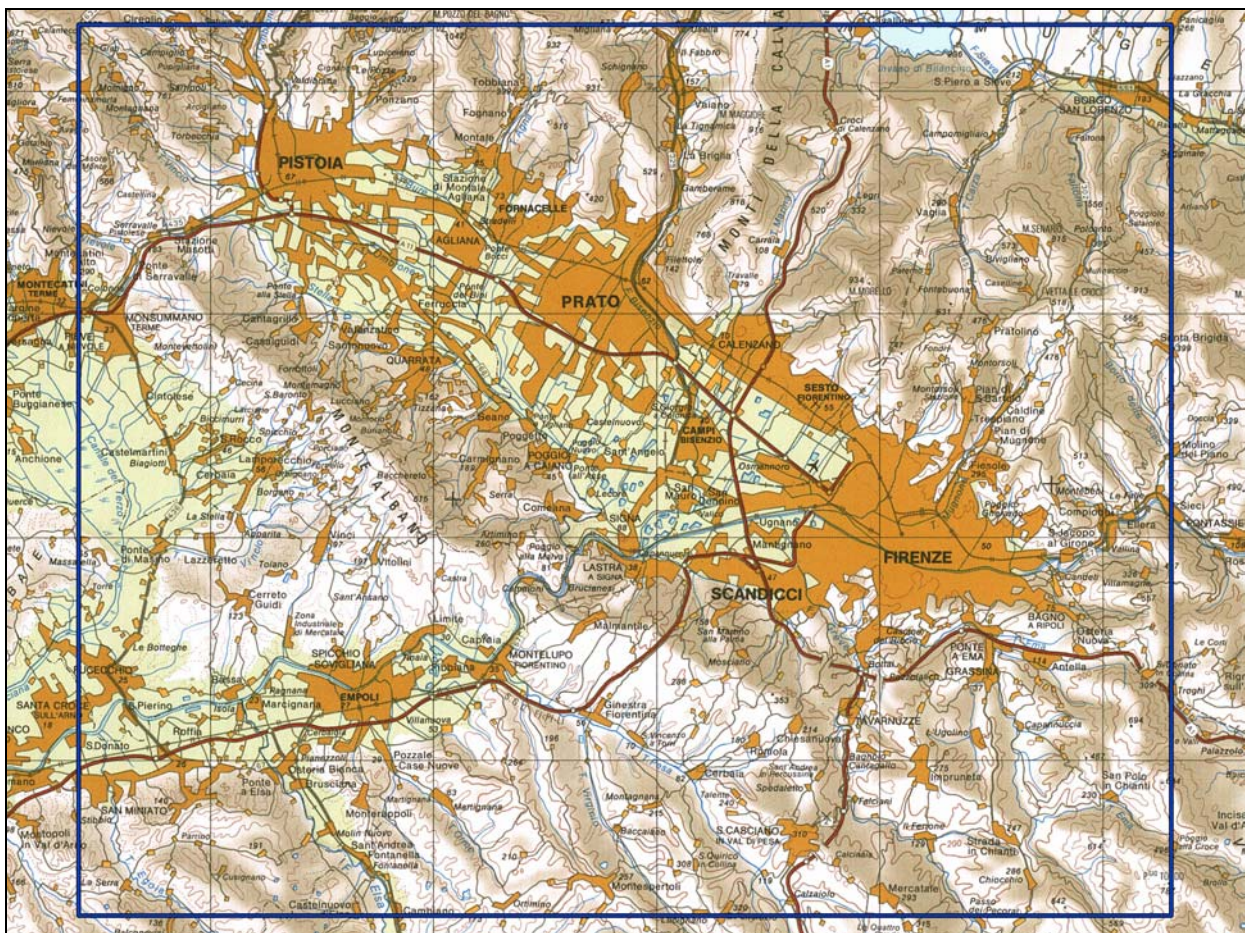


Fig. 2 – Mappa topografica dell'area di studio nella quale è stata applicata la catena di modelli RAMS-CALMET-CALGRID.

1.3 Periodo di applicazione

L'applicazione nell'area di studio del sistema modellistico RAMS-CALMET-CALGRID implementato nel presente lavoro è stata condotta in modalità *long-term*, attraverso una serie di *run* con cadenza oraria estesi ad un periodo complessivo di un anno; segnatamente, i dati elaborati sono riferiti all'anno 2002.

1.4 Applicazione dei modelli meteo RAMS e CALMET

La base meteorologica del presente lavoro, così come la schematizzazione finale di calcolo, risultano del tutto analoghe a quelle utilizzate nell'ambito della precedente Convenzione. Il punto di partenza è sempre rappresentato dalle stime dell'Archivio meteorologico RAMS (Fig. 1), costituito in totale da 45x55 profili verticali, che ricoprono il territorio regionale con passo di 4x4 Km² attraverso 12 livelli verticali [3].

Per l'utilizzo del postprocessore CALMET - e quindi del successivo modello diffusionale CALGRID -, l'area di studio è stata schematizzata attraverso un grigliato costituito da 40x49 celle quadrate, caratterizzate da una risoluzione di 1 Km; l'estensione complessiva è pertanto di 40x49 Km². In verticale, il grigliato è di tipo "terrain-following", e presenta delle quote la cui altezza non varia nel tempo; in particolare, gli strati verticali considerati sono complessivamente 12, in modo da descrivere i bassi strati dell'atmosfera fino a circa 3200 m dal suolo. In particolare, i profili dell'Archivio RAMS che risultano compresi all'interno dell'area di studio sono in numero pari a 12x10=120. Attraverso una specifica interfaccia [4], le stime delle variabili meteo RAMS sono state infine convertite nei formati letti in ingresso da CALMET.

Per una più completa visione del presente lavoro, in Fig. 3 viene riproposto l'andamento anemologico ricostruito nell'ambito del progetto MODIVASET sulla base delle stime RAMS, elaborando per alcuni punti dell'area di studio le rose dei venti a 10 m s.l.s. su base annua.

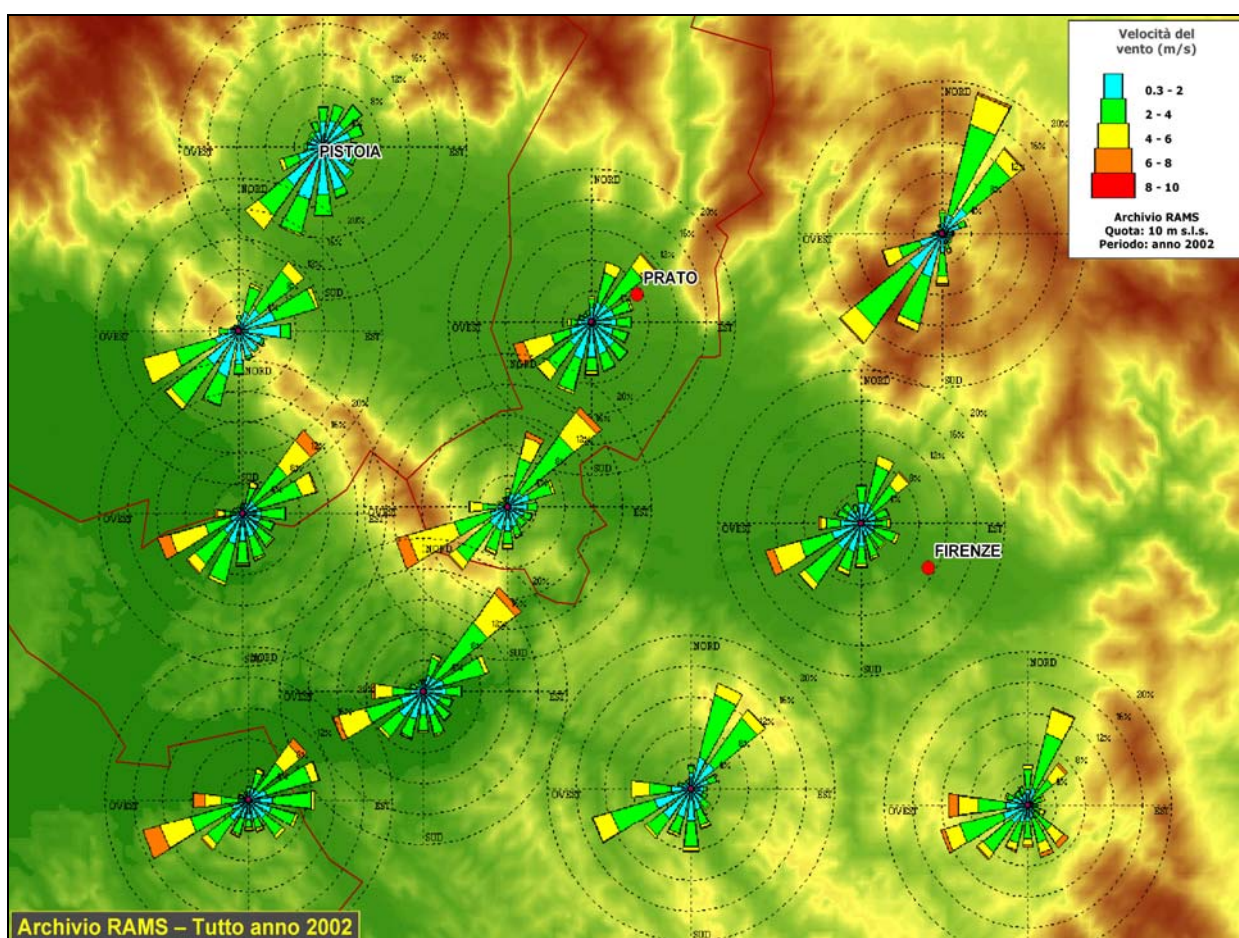


Fig. 3 - Rappresentazione delle rose dei venti a 10 m nell'area di studio elaborate a partire dalle stime dell'Archivio meteorologico RAMS su base annua (anno 2002).

L'applicazione di CALMET ha richiesto la preparazione dello specifico *file* descrittivo delle caratteristiche geofisiche dell'area di studio. Allo scopo sono stati utilizzati dati quali il modello digitale del terreno (DTM) e la classificazione di uso del suolo, caratterizzati naturalmente dal medesimo passo di 1 Km. In particolare, per quanto riguarda il DTM sono stati utilizzati e successivamente rielaborati i dati acquisiti dall'EROS Data Center dell'USGS [12], mentre per l'uso-suolo sono stati utilizzati e ricampionati i dati di classificazione "Corine Land Cover" aggiornati all'anno 2000 relativi al secondo livello di disaggregazione (14 classi totali) [1].

La simulazione annua di CALMET nel periodo considerato è stata suddivisa temporalmente su base bimestrale, dando luogo in definitiva a 6 *file* di uscita "CALMET.DAT", che pertanto costituiscono nell'insieme lo scenario meteo *long-term* di riferimento.

1.5 Dati di emissione

Gli inquinanti oggetto di studio nel presente lavoro sono gli ossidi di azoto (NO_x) e la componente primaria delle polveri fini (PM₁₀).

I dati di emissione utilizzati si riferiscono all'inventario regionale IRSE realizzato dalla Regione Toscana [9], e sono aggiornati all'anno 2003.

Le quote di rilascio fornite dall'inventario corrispondono ai livelli emissivi stimati su base cumulata annua. Per ricavare i valori su base oraria richiesti in ingresso dal modello diffusionale, per tutte le tipologie di sorgenti prese in esame è stato necessario disaggregare temporalmente tali livelli emissivi annui attraverso la metodologia delle variabili *proxy* temporali utilizzata all'interno dello stesso inventario.

Nel dettaglio, le sorgenti emissive prese in esame sono state le seguenti:

1. sorgenti puntuali ("PUNT"): maggiori impianti industriali;
2. sorgenti lineari ("LIN"): tratte di traffico veicolare di maggiore rilevanza (autostrade e superstrade);
3. sorgenti diffuse tipo "IND" ("DIFF IND"): sorgenti industriali classificate come diffuse;
4. sorgenti diffuse tipo "RIS" ("DIFF RIS"): sorgenti domestiche (riscaldamento/climatizzazione) classificate come diffuse;
5. sorgenti diffuse tipo "MOB" ("DIFF MOB"): sorgenti veicolari (traffico) classificate come diffuse;
6. sorgenti diffuse tipo "ALT" ("DIFF ALT"): altre sorgenti generiche classificate come diffuse.

1.5.1 Definizione degli scenari emissivi

Il principale obiettivo del progetto in esame è quello di valutare gli effetti sulle condizioni di qualità dell'aria di una serie di azioni ed interventi sulle sorgenti di emissione partendo dai livelli attuali e considerando le previsioni di scenari di sviluppo economico, territoriale, energetico e del sistema della mobilità dei prossimi anni. L'applicazione della modellistica diffusionale condotta nel presente lavoro ha avuto pertanto lo scopo di proporre e confrontare scenari di modificazione della qualità dell'aria sulla base delle mutazioni di scenari emissivi, elaborati sulla base-dati regionale costituita dall'archivio IRSE.

Gli scenari emissivi presi a riferimento sono stati i seguenti:

- Scenario 0 o scenario base (stato attuale), relativo allo stato delle emissioni IRSE consolidato all'anno 2003;
- Scenario 1 o scenario futuro "business as usual", relativo allo stato delle emissioni IRSE modificate per l'anno 2010–2012 sulla base di variazioni statistiche previsionali;
- Scenario 2 o scenario futuro pianificato, relativo allo stato delle emissioni IRSE modificate per l'anno 2010–2012, e sulla base delle previsioni di ulteriori sviluppi del quadro emissivo previsti dalle azioni ed interventi oggi progettati o in corso di realizzazione e che è possibile ipotizzare realizzati nel periodo temporale indicato.

1.5.2 Le sorgenti puntuali

I dati emissivi relativi alle sorgenti puntuali presi in esame nel presente lavoro si riferiscono ai maggiori impianti industriali attivi nell'area di studio.

In Tab. 1 è riportato l'elenco degli stabilimenti, le loro coordinate geografiche, il numero di camini e le sostanze inquinanti emesse. Tali sorgenti ammontano nel complesso a 15 stabilimenti e ad 82 camini.

C'è da osservare che nell'insieme il quadro delle sorgenti puntuali riassunto in Tab. 1 corrisponde allo scenario emissivo attuale (o "Scenario 0", come descritto in § 1.5.1); la corrispondente ubicazione geografica è mostrata in Fig. 4. Nelle Figg. 33 e 62, viceversa, è mostrata la loro ubicazione a fronte degli scenari 1 e 2, rispettivamente.

Tab. 1 – Elenco degli stabilimenti presenti nell'area di studio che costituiscono le sorgenti puntuali dello scenario emissivo attuale (o "Scenario 0").

N.	Nome	Localita'	X UTM	Y UTM	N. Camini	Inquinanti
1	NUOVO PIGNONE	Firenze	679191	4853143	5	NOx
2	SUN CHEMICAL	Firenze	678805	4853521	1	PM ₁₀
3	VETROARREDO	Firenze	679655	4853821	11	NOx, PM ₁₀
4	COLOROBRIA.	Vinci (FI)	655375	4844851	16	NOx, PM ₁₀
5	INDUSTRIE BITOSSI A	Vinci (FI)	655525	4844181	13	NOx, PM ₁₀
6	SYROM 90	Vinci (FI)	653215	4845501	1	NOx, PM ₁₀
7	ZIGNAGO VETRO	Empoli (FI)	653055	4842141	13	NOx, PM ₁₀
8	CARTIERE ETRURIA	Empoli (FI)	654865	4836911	1	NOx, PM ₁₀
9	INDUSTRIE BITOSSI	Montelupo F. (FI)	661249	4843634	7	NOx, PM ₁₀
10	RIFINIZIONE S.STEFANO	Prato	666345	4860744	3	NOx, PM ₁₀
11	BUZZI UNICEM	Calenzano (PO)	675255	4858461	4	NOx, PM ₁₀
12	G.I.D.A. - IMPIANTO DEPURAZIONE	Baciacavallo (PO)	667263	4857152	1	NOx, PM ₁₀
13	BREDA C. FERROVIARIE	Pistoia	652895	4865361	3	NOx, PM ₁₀
14	C.I.S. - IMPIANTO TERMODISTR. RIFIUTI	Montale (PT)	662045	4864111	1	NOx, PM ₁₀
15	RADICIFIL	Pistoia	656785	4863591	2	NOx, PM ₁₀

1.5.3 Le sorgenti areali o diffuse

Le sorgenti diffuse dell'inventario IRSE sono definite come tutte quelle sorgenti che non includono le puntuali e le lineari. Le emissioni di tali sorgenti sono ottenute sulla base delle singole categorie di attività presenti nel territorio considerato, e sono spazialmente riferite alla scala comunale. Per le applicazioni della modellistica diffusionale esse vengono sottoposte ad un procedimento di disaggregazione spaziale su reticolo a maglie quadrate: nel caso del presente lavoro, per poter essere utilizzate direttamente dal modello CALGRID, esse sono state disaggregate su un grigliato di celle quadrate di 1 Km di lato, ovviamente sovrapposto a quello di calcolo del modello stesso.

Come già riportato in § 1.5, le sorgenti diffuse sono state disaggregate in quattro differenti tipologie, in modo da consentire di valutare gli impatti sulla qualità dell'aria generati singolarmente da ciascuna. Nello specifico, esse includono le sorgenti industriali d'entità minore (che non rientrano tra le sorgenti puntuali), quelle domestiche (riscaldamento/climatizzazione), le sorgenti veicolari di minore rilevanza (che non rientrano tra le sorgenti lineari), ed infine tutte le altre sorgenti assimilabili alle diffuse.

Nelle Figg. 5÷8 e 11÷14 sono rappresentate, rispettivamente per NO_x e PM₁₀, le mappe delle emissioni totali annue delle quattro tipologie di sorgenti diffuse presenti nell'area di studio. In particolare, tali figure si riferiscono alle emissioni dello scenario 0; quelle relative allo scenario 1 sono le Figg. 34÷37 (NO_x) e 40÷43 (PM₁₀), mentre infine quelle relative allo scenario 2 sono le Figg. 63÷66 (NO_x) e 69÷72 (PM₁₀).

Va osservato che tutte le restituzioni su base cartografica realizzate nel presente lavoro sono state ottenute utilizzando come ambiente GIS il *software* MapInfo [8]. La rappresentazione grafica in ambiente MapInfo del reticolo di celle a maglie quadrate corrispondenti alle emissioni areali è stata invece ottenuta sviluppando uno specifico programma realizzato utilizzando il *software* MapBasic [7], che costituisce il linguaggio di sviluppo di MapInfo.

1.5.4 Le sorgenti lineari

Le sorgenti classificate come "lineari" dall'inventario IRSE comprendono tutte le tratte più importanti degli spostamenti veicolari, e quindi di fatto tutte quelle di tipo autostradale e superstradale. Nell'area in esame, esse includono in particolare il tratto locale dell'Autostrada del Sole (A1), la Firenze-mare (A11) e la superstrada Firenze-Pisa-Livorno.

Allo scopo di poter essere utilizzate direttamente in ingresso al modello CALGRID, le sorgenti lineari sono state disaggregate spazialmente sul reticolo di calcolo a maglie quadrate del modello, e quindi in pratica assimilate a delle particolari sorgenti diffuse comprendenti unicamente le tratte di traffico autostradali e superstradali. Pertanto, pur se classificate come "lineari", tali sorgenti nel presente lavoro sono state di fatto trattate come delle particolari sorgenti diffuse.

Le mappe delle emissioni totali annue relative alle sorgenti lineari presenti nell'area di studio sono illustrate, rispettivamente, nelle Figg. 9 (NO_x) e 15 (PM₁₀) per quanto concerne lo scenario 0; quelle relative allo scenario 1 sono le Figg. 38 (NO_x) e 44 (PM₁₀), mentre infine quelle relative allo scenario 2 sono le Figg. 67 (NO_x) e 73 (PM₁₀).

1.6 Ulteriori modifiche introdotte nel codice originale del modello CALGRID v. 1.6b

Analogamente a quanto fatto nell'ambito del progetto MODIVASET, anche nel corso del presente lavoro si è reso necessario introdurre all'interno del codice originale del modello CALGRID utilizzato (versione 1.6b) una serie di modifiche funzionali, finalizzate

sia a facilitarne l'utilizzo che ad ampliare la gamma delle possibili elaborazioni grafiche in uscita.

Le principali modifiche introdotte nel codice originale di CALGRID rispetto a quelle della precedente Convenzione hanno riguardato in primo luogo la possibilità di leggere più *file* di *input* meteo ("CALMET.DAT") ordinati in sequenza cronologica – di grande comodità nel caso di *run* così lunghi -, nonché quella di produrre in uscita, oltre alle mappe delle medie di concentrazione su intervalli temporali a scelta, anche quelle dei valori massimi sui medesimi intervalli.

In dettaglio, le ulteriori modifiche introdotte nel codice originale di CALGRID v. 1.6b sono così riassumibili:

- opzioni di *run*:
 - possibilità di effettuare il *restart* del modello attraverso il salvataggio a fine *run* del file delle concentrazioni in uscita in un opportuno file ("ICON.DAT") da utilizzare per l'inizializzazione del *run* successivo;
- lettura *file* di *input*:
 - possibilità di leggere più *file* di *input* meteo ("CALMET.DAT") ordinati in sequenza cronologica;
- scrittura *file* di *output*:
 - possibilità di creare mappe dei massimi di concentrazione e/o di deposizione secca per specie e per *layer* in formato SURFER [6] su intervalli temporali a scelta dell'utente (1 ora, 24 ore, intero *run*).

2. Applicazione dei modelli ed analisi dei risultati

2.1 Descrizione dei *run* eseguiti

Assumendo come invariante lo scenario meteorologico, costituito dalle stime relative all'anno 2002 dell'Archivio RAMS a 4 Km riscalate ad 1 Km mediante il postprocessore CALMET (§ 1.4), l'applicazione del modello CALGRID è stata fatta prendendo in esame tutte le diverse combinazioni di calcolo previste dal Progetto, quali in particolare:

- inquinanti (2):
 - PM₁₀ (primario)
 - NO_x
- scenari emissivi (3):
 - base (attuale)
 - futuro "business as usual"
 - futuro pianificato
- tipologia sorgenti (7):
 - puntuali
 - lineari
 - diffuse tipo "IND"
 - diffuse tipo "RIS"
 - diffuse tipo "MOB"
 - diffuse tipo "ALT"
 - totali (puntuali + lineari + diffuse)

In definitiva, le combinazioni di calcolo di CALGRID sono state 42 (2x3x7), anche se i *run* del modello sono stati opportunamente compattati in 3 complessivi allo scopo di ridurre al minimo i tempi d'esecuzione.

2.2 Le mappe di concentrazione sul territorio

2.2.1 Descrizione delle mappe

Per ognuna delle combinazioni di calcolo precedentemente descritte (§ 2.1), e quindi per ciascun inquinante, scenario emissivo e tipologia di sorgente, sono state elaborate attraverso CALGRID le mappe delle concentrazioni medie annue presenti nell'area di studio. In particolare, le Figg. 17÷23 e 25÷31 illustrano gli andamenti

relativi allo scenario 0, rispettivamente per NO_x e PM₁₀, le Figg. 46÷52 (NO_x) e 54÷60 (PM₁₀) quelli dello scenario 1.

Per una descrizione più esaustiva delle stime di concentrazione sul territorio, oltre alle mappe delle medie annue sono state elaborate – segnatamente, considerando in aggregato tutte le tipologie di sorgenti presenti – quelle delle concentrazioni massime annue. In particolare, esse sono rappresentate nelle Figg. 24 (NO_x) e 32 (PM₁₀) per quanto concerne lo scenario 0, nelle Figg. 53 (NO_x) e 61 (PM₁₀) relativamente allo scenario 1.

Di particolare utilità pratica nell'interpretazione dei risultati finali del Progetto sono infine le mappe che riassumono i termini del confronto tra gli scenari emissivi futuri rispetto a quello di base. In particolare, ponendo come base di riferimento lo Scenario 0, le Figg. 91 e 92 illustrano le differenze relative, rispettivamente per NO_x e PM₁₀, nelle concentrazioni medie annue stimate dal modello a seguito degli interventi previsti dallo Scenario 1. Le mappe sono state ottenute prendendo in esame tutte le sorgenti d'emissione presenti nell'area di studio.

2.2.2 Analisi dei risultati

Scenario 0

Prendendo in esame la distribuzione spaziale delle concentrazioni al suolo stimate da CALGRID in corrispondenza dello Scenario 0 per l'insieme delle sorgenti considerate, si evidenzia come gli andamenti medi annui degli inquinanti presi in esame (PM₁₀ primario ed NO_x) presentino una distribuzione spaziale sostanzialmente simile, a parte la scala dei valori (Figg. 23 e 31). Le concentrazioni più elevate si raggiungono nel comprensorio empolesse e segnatamente ad Ovest di Empoli, nonché nell'area compresa tra Firenze Nord e Sesto Fiorentino; l'area pratese ed ancor più quella pistoiese risultano invece meno interessate da fenomeni d'inquinamento. In termini numerici, le più elevate concentrazioni medie annue di NO_x risultano dell'ordine di 35 µg/m³, mentre le corrispondenti del PM₁₀ primario non superano i 3 µg/m³.

L'esame dei contributi emissivi alle concentrazioni medie annue di NO_x (Figg. 17÷23) mette in luce come l'apporto principale sia quello dovuto alle sorgenti puntuali (grandi industrie) e in seconda battuta alle sorgenti diffuse comprendenti il traffico veicolare; in quest'ultimo caso (Fig. 20) le concentrazioni più alte si raggiungono nelle aree urbane di Firenze e Prato. Per quanto riguarda il PM₁₀ primario (Figg. 25÷31), la maggiore incidenza è decisamente quella delle grandi sorgenti industriali ubicate

nell'area del comprensorio empoiese (Fig. 25); un apporto inferiore, sebbene geograficamente molto più esteso, è quello dovuto alla mobilità veicolare urbana (Fig. 28). Per entrambi gli inquinanti considerati, il contributo alle concentrazioni medie annue delle altre tipologie di sorgenti appare assai modesto se non del tutto trascurabile; fanno in parte eccezione il contributo ai livelli di NO_x dovuto alle sorgenti domestiche e a quelle autostradali, nonché quello al PM_{10} dovuto alle sorgenti domestiche ed a quelle classificate come altre tipologie.

Scenario 1

La distribuzione spaziale delle concentrazioni medie annue al suolo stimate a fronte dello Scenario 1 porta a trarre per entrambi gli inquinanti le medesime conclusioni tracciate per lo Scenario 0, sia considerando l'insieme delle sorgenti esaminate (Figg. 52 e 60) che i singoli apporti forniti da ciascuna di esse.

Per una valutazione più puntuale delle differenze che nella qualità dell'aria scaturiscono a seguito degli interventi previsti dallo Scenario 1, rispetto allo Scenario 0, di particolare utilità sono le mappe che riassumono i termini del confronto tra i due scenari emissivi considerati (Figg. 91 e 92). Esaminando i delta relativi all' NO_x (Fig. 91), si osserva una generalizzata riduzione delle concentrazioni medie annue, di modesta entità per quanto riguarda le sorgenti puntuali ($\sim 10\div 15\%$), segnatamente nel comprensorio empoiese, e più pronunciate per le altre tipologie di sorgenti; su gran parte del territorio di studio si osservano riduzioni comprese tra il 25 e il 35%: in particolare, le zone che beneficiano degli abbattimenti maggiori (35%) sono quella di Scandicci e quella compresa tra Agliana e Fornacelle ad Ovest di Prato. Per quanto riguarda il PM_{10} primario (Fig. 92), l'analisi delle differenze relative tra lo Scenario 1 e lo Scenario 0 presenta, diversamente dall' NO_x , sia delle riduzioni che degli incrementi d'inquinamento. In particolare, a beneficiare delle riduzioni più pronunciate è l'area di Firenze (15%), mentre al contrario risulta penalizzata da un aumento delle concentrazioni sia la zona a Nordovest di Pistoia ($\sim 10\div 15\%$) che quella a Sud di Monsummano Terme (5%).

2.3 Andamento delle serie storiche di concentrazione nelle stazioni chimiche

2.3.1 Descrizione delle serie storiche

Oltre alle mappe delle concentrazioni annue (medie e massime) sul territorio, i risultati prodotti da CALGRID hanno previsto la ricostruzione degli andamenti delle serie temporali orarie in corrispondenza di alcuni punti particolarmente rappresentativi dell'area di studio, coincidenti con alcune stazioni di monitoraggio degli inquinanti gestite da ARPAT (Tab. 2).

Va osservato che la validità di tali confronti è limitata in quanto CALGRID fornisce un valore di concentrazione medio lungo lo strato verticale più prossimo al suolo (0÷20 m), mentre le stazioni chimiche forniscono un valore riferito alla quota di posizionamento del sensore (circa 2÷3 metri dal suolo); inoltre le stime del modello sono riferite ad un'area di 1x1 Km², pari alla risoluzione di calcolo, mentre le misure sono puntuali.

Tab. 2 – Elenco delle stazioni chimiche ARPAT nell'area di studio prese a riferimento per il confronto delle stime prodotte dai modelli.

N.	Nome stazione	Località	Provincia	Ubicazione	UTM WGS84 fuso 32	
					X (m)	Y (m)
1	BASSI	Firenze	FI	v. Bassi	683990	4850606
2	BOBOLI	Firenze	FI	v. Boboli	680952	4848140
3	GRAMSCI	Firenze	FI	v.le Gramsci	682787	4849063
4	MOSSE	Firenze	FI	v. Ponte alle Mosse	679472	4850389
5	ROSSELLI	Firenze	FI	v.le Rosselli	680037	4849530
6	BUOZZI	Scandicci	FI	v. Buozzi	676454	4847103
7	BOCCACCIO	Calenzano	FI	v. Boccaccio Loc. Settimello	674931	4857407
8	RIDOLFI	Empoli	FI	v. Ridolfi	656912	4842395
9	PRATELLE	Montelupo F.	FI	v. del lavoro Loc. Pratelle	666827	4843365
10	MILANI	Montelupo F.	FI	v. don Milani	662698	4843776
11	FERRUCCI	Prato	PO	v. Ferrucci	669078	4860017
12	FONTANELLE	Prato	PO	v. Soffici-Fontanelle	667061	4857199
13	STROZZI	Prato	PO	v. Strozzi	668127	4861058
14	ZAMENHOF	Pistoia	PT	v. Zamenhof	653571	4865830
15	MONTALE	Montale	PT	v. Pacinotti	661057	4864403

Va infine ricordato che CALGRID stima unicamente la componente primaria del PM₁₀, mentre le centraline misurano il quantitativo totale di questo inquinante.

Nelle Tabb. 3÷8 è riportato, suddiviso per scenario emissivo e per inquinante, il quadro dei confronti tra le stime del modello CALGRID e i dati misurati dalle stazioni chimiche, assumendo come indicatore riassuntivo la concentrazione media annua. In particolare, rispettivamente per NO_x e PM₁₀, le Tabb. 3 e 4 si riferiscono allo scenario 0, le Tabb. 5 e 6 allo scenario 1, e le Tabb. 7 e 8 allo scenario 2.

Infine, le Tabb. 9 e 10 riassumono, rispettivamente per NO_x e PM₁₀ primario, il quadro comparato delle concentrazioni medie annue stimate da CALGRID per i 3 scenari emissivi del Progetto, nonché le differenze relative rispetto allo scenario 0 attese nei recettori una volta approntati gli interventi previsti nell'ambito degli scenari futuri 1 e 2.

2.3.2 Analisi dei risultati

Scenario 0

Prendendo in esame le concentrazioni al suolo stimate da CALGRID in corrispondenza delle celle in cui ricadono le 15 stazioni chimiche considerate, gli andamenti medi annui dello Scenario 0 dovuti a tutte le sorgenti di emissione forniscono per gli NO_x valori generalmente dell'ordine di 2÷3 volte inferiori a quelli misurati (Tab. 3). Nello specifico, le concentrazioni medie più elevate sono stimate in corrispondenza delle stazioni di Mosse e Bassi, a Firenze, mentre quelle più basse si hanno nel pistoiese, segnatamente presso la stazione di Zamenhof a Pistoia e quella di Montale.

Per quanto riguarda le concentrazioni di PM₁₀, gli andamenti della componente primaria stimati da CALGRID in corrispondenza dei 15 recettori risultano generalmente inferiori di un ordine di grandezza rispetto alle concentrazioni di PM₁₀ totale misurate dalle stazioni (Tab. 4). In questo caso, i valori medi più elevati sono stimati presso la stazione di Ridolfi ad Empoli e secondariamente presso quella di Mosse a Firenze, mentre quelle più basse si hanno ancora nelle due stazioni dell'area pistoiese di Zamenhof e Montale, oltre che presso la stazione di Fontanelle ad Ovest di Prato.

Scenario 1

L'analisi delle concentrazioni medie annue presso i recettori stimate a fronte dello Scenario 1 per tutte le sorgenti di emissione mostra per gli NO_x valori qualitativamente analoghi a quelli dello Scenario 0 (Tab. 5); in questo caso, tuttavia, oltre che presso la stazione di Mosse a Firenze, i valori più elevati si riscontrano

presso quella di Ridolfi ad Empoli, mentre le stazioni coi valori più bassi si confermano le due stazioni dell'area pistoiese di Zamenhof e Montale.

Per quanto riguarda le concentrazioni di PM_{10} , anche a fronte dello Scenario 1 la stazione coi livelli più elevati rimane quella di Ridolfi ad Empoli, e secondariamente quella di Strozzi a Prato (Tab. 6).

Il modo più immediato per valutare i benefici alla qualità dell'aria derivanti dall'adozione dei provvedimenti previsti dallo Scenario 1 rispetto allo Scenario 0 è ovviamente quello di analizzare le differenze relative, riassunte nelle Tabb. 9 e 10. Per quanto riguarda in particolare l' NO_x (Tab. 9), presso tutte le stazioni i valori stimati dal modello fanno registrare una riduzione, che generalmente è dell'ordine del 30÷35%; riduzioni intorno al 20% si hanno nelle stazioni di Milani e Pratelle a Montelupo F. e di Boccaccio a Calenzano, mentre le più basse si registrano nella stazione di Ridolfi ad Empoli (~13%).

Per quanto riguarda il PM_{10} (Tab. 10), come evidenziato nell'analisi delle mappe di concentrazione (§ 2.2.2), le differenze relative tra lo Scenario 1 e lo Scenario 0 non mostrano lo stesso andamento monotono che caratterizza l' NO_x , nel senso che a riduzioni delle concentrazioni su gran parte dell'area di studio fanno da contraltare dei localizzati incrementi d'inquinamento. In particolare, le riduzioni più marcate si hanno nell'area di Firenze (15÷18%), mentre nelle altre stazioni le concentrazioni si riducono solo del 3÷7%; fanno eccezione in questo senso le due stazioni dell'area pistoiese: presso Montale i valori rimangono sostanzialmente inalterati, mentre addirittura presso la stazione di Zamenhof a Pistoia si ha un incremento stimato di circa il 7%.

Tab. 3 – Sintesi delle concentrazioni medie annue di NO_x stimate dal modello CALGRID (Scenario 0) nelle stazioni di riferimento contrapposte ai dati di NO_x misurati.

N.	Nome stazione	NO _x : stime modello CALGRID (Scen. 0)		NO _x : dati misurati	
		Media annua (µg/m ³)	Dati Validi (%)	Media annua (µg/m ³)	Dati Validi (%)
1	BASSI	30.08	97.8	48.16	93.94
2	BOBOLI	24.09	97.8	37.65	91.93
3	GRAMSCI	25.74	97.8	121.20	93.29
4	MOSSE	35.04	97.8	119.00	82.58
5	ROSSELLI	27.95	97.8	195.95	86.32
6	BUOZZI	25.64	97.8	71.02	94.62
7	BOCCACCIO	26.01	97.8		
8	RIDOLFI	24.34	97.8	76.29	94.22
9	PRATELLE	15.05	97.8	38.60	93.22
10	MILANI	14.07	97.8	33.05	95.37
11	FERRUCCI	19.43	97.8	74.16	94.05
12	FONTANELLE	16.48	97.8	49.70	58.63
13	STROZZI	20.35	97.8	65.10	95.83
14	ZAMENHOF	13.65	97.8		
15	MONTALE	13.09	97.8		

Tab. 4 – Sintesi delle concentrazioni medie annue di PM₁₀ primario stimate dal modello CALGRID (Scenario 0) nelle stazioni di riferimento contrapposte ai dati di PM₁₀ totale misurati..

N.	Nome stazione	PM ₁₀ primario: stime modello CALGRID (Scen. 0)		PM ₁₀ totale: dati misurati	
		Media annua (µg/m ³)	Dati Validi (%)	Media annua (µg/m ³)	Dati Validi (%)
1	BASSI	2.89	97.8	42.6	81.9
2	BOBOLI	2.42	97.8	37.6	77.0
3	GRAMSCI	2.54	97.8	52.0	71.8
4	MOSSE	3.24	97.8	38.3	44.4
5	ROSSELLI	2.72	97.8	47.4	78.9
6	BUOZZI	2.48	97.8	42.7	77.8
7	BOCCACCIO	2.74	97.8	38.1	44.9
8	RIDOLFI	4.53	97.8	26.0	92.6
9	PRATELLE	2.41	97.8	46.7	41.4
10	MILANI	2.04	97.8	31.1	44.1
11	FERRUCCI	2.67	97.8	30.3	97.3
12	FONTANELLE	1.95	97.8	39.5	46.8
13	STROZZI	3.01	97.8	55.4	80.5
14	ZAMENHOF	1.98	97.8	21.7	87.1
15	MONTALE	1.68	97.8	53.6	92.6

Tab. 5 – Sintesi delle concentrazioni medie annue di NO_x stimate dal modello CALGRID (Scenario 1) nelle stazioni di riferimento contrapposte ai dati di NO_x misurati.

N.	Nome stazione	NO _x : stime modello CALGRID (Scen. 1)		NO _x : dati misurati	
		Media annua (µg/m ³)	Dati Validi (%)	Media annua (µg/m ³)	Dati Validi (%)
1	BASSI	19.68	97.8	48.16	93.94
2	BOBOLI	15.79	97.8	37.65	91.93
3	GRAMSCI	16.76	97.8	121.20	93.29
4	MOSSE	25.31	97.8	119.00	82.58
5	ROSSELLI	18.86	97.8	195.95	86.32
6	BUOZZI	17.02	97.8	71.02	94.62
7	BOCCACCIO	20.10	97.8		
8	RIDOLFI	21.07	97.8	76.29	94.22
9	PRATELLE	12.16	97.8	38.60	93.22
10	MILANI	11.28	97.8	33.05	95.37
11	FERRUCCI	13.01	97.8	74.16	94.05
12	FONTANELLE	10.95	97.8	49.70	58.63
13	STROZZI	13.77	97.8	65.10	95.83
14	ZAMENHOF	9.38	97.8		
15	MONTALE	8.92	97.8		

Tab. 6 – Sintesi delle concentrazioni medie annue di PM₁₀ primario stimate dal modello CALGRID (Scenario 1) nelle stazioni di riferimento contrapposte ai dati di PM₁₀ totale misurati..

N.	Nome stazione	PM ₁₀ primario: stime modello CALGRID (Scen. 1)		PM ₁₀ totale: dati misurati	
		Media annua (µg/m ³)	Dati Validi (%)	Media annua (µg/m ³)	Dati Validi (%)
1	BASSI	2.37	97.8	42.6	81.9
2	BOBOLI	2.02	97.8	37.6	77.0
3	GRAMSCI	2.11	97.8	52.0	71.8
4	MOSSE	2.76	97.8	38.3	44.4
5	ROSSELLI	2.28	97.8	47.4	78.9
6	BUOZZI	2.10	97.8	42.7	77.8
7	BOCCACCIO	2.54	97.8	38.1	44.9
8	RIDOLFI	4.40	97.8	26.0	92.6
9	PRATELLE	2.31	97.8	46.7	41.4
10	MILANI	1.96	97.8	31.1	44.1
11	FERRUCCI	2.48	97.8	30.3	97.3
12	FONTANELLE	1.81	97.8	39.5	46.8
13	STROZZI	2.82	97.8	55.4	80.5
14	ZAMENHOF	2.12	97.8	21.7	87.1
15	MONTALE	1.67	97.8	53.6	92.6

Tab. 7 – Sintesi delle concentrazioni medie annue di NO_x stimate dal modello CALGRID (Scenario 2) nelle stazioni di riferimento contrapposte ai dati di NO_x misurati.

N.	Nome stazione	NO _x : stime modello CALGRID (Scen. 2)		NO _x : dati misurati	
		Media annua (µg/m ³)	Dati Validi (%)	Media annua (µg/m ³)	Dati Validi (%)
1	BASSI	-	97.8	48.16	93.94
2	BOBOLI	-	97.8	37.65	91.93
3	GRAMSCI	-	97.8	121.20	93.29
4	MOSSE	-	97.8	119.00	82.58
5	ROSSELLI	-	97.8	195.95	86.32
6	BUOZZI	-	97.8	71.02	94.62
7	BOCCACCIO	-	97.8		
8	RIDOLFI	-	97.8	76.29	94.22
9	PRATELLE	-	97.8	38.60	93.22
10	MILANI	-	97.8	33.05	95.37
11	FERRUCCI	-	97.8	74.16	94.05
12	FONTANELLE	-	97.8	49.70	58.63
13	STROZZI	-	97.8	65.10	95.83
14	ZAMENHOF	-	97.8		
15	MONTALE	-	97.8		

Tab. 8 – Sintesi delle concentrazioni medie annue di PM₁₀ primario stimate dal modello CALGRID (Scenario 2) nelle stazioni di riferimento contrapposte ai dati di PM₁₀ totale misurati..

N.	Nome stazione	PM ₁₀ primario: stime modello CALGRID (Scen. 2)		PM ₁₀ totale: dati misurati	
		Media annua (µg/m ³)	Dati Validi (%)	Media annua (µg/m ³)	Dati Validi (%)
1	BASSI	-	97.8	42.6	81.9
2	BOBOLI	-	97.8	37.6	77.0
3	GRAMSCI	-	97.8	52.0	71.8
4	MOSSE	-	97.8	38.3	44.4
5	ROSSELLI	-	97.8	47.4	78.9
6	BUOZZI	-	97.8	42.7	77.8
7	BOCCACCIO	-	97.8	38.1	44.9
8	RIDOLFI	-	97.8	26.0	92.6
9	PRATELLE	-	97.8	46.7	41.4
10	MILANI	-	97.8	31.1	44.1
11	FERRUCCI	-	97.8	30.3	97.3
12	FONTANELLE	-	97.8	39.5	46.8
13	STROZZI	-	97.8	55.4	80.5
14	ZAMENHOF	-	97.8	21.7	87.1
15	MONTALE	-	97.8	53.6	92.6

Tab. 9 – Quadro comparativo delle concentrazioni medie annue di NO_x stimate dal modello CALGRID per i 3 scenari emissivi e differenze relative rispetto allo scenario 0.

N.	Nome stazione	NO _x : Conc. media annua (µg/m ³)			NO _x : Diff. relativa (%)	
		Scen. 0	Scen. 1	Scen. 2	Scen. 1 vs. Scen. 0	Scen. 2 vs. Scen. 0
1	BASSI	30.08	19.68	-	-34.6	-
2	BOBOLI	24.09	15.79	-	-34.5	-
3	GRAMSCI	25.74	16.76	-	-34.9	-
4	MOSSE	35.04	25.31	-	-27.8	-
5	ROSSELLI	27.95	18.86	-	-32.5	-
6	BUOZZI	25.64	17.02	-	-33.6	-
7	BOCCACCIO	26.01	20.10	-	-22.7	-
8	RIDOLFI	24.34	21.07	-	-13.4	-
9	PRATELLE	15.05	12.16	-	-19.2	-
10	MILANI	14.07	11.28	-	-19.8	-
11	FERRUCCI	19.43	13.01	-	-33.0	-
12	FONTANELLE	16.48	10.95	-	-33.5	-
13	STROZZI	20.35	13.77	-	-32.4	-
14	ZAMENHOF	13.65	9.38	-	-31.3	-
15	MONTALE	13.09	8.92	-	-31.8	-

Tab. 10 – Quadro comparativo delle concentrazioni medie annue di PM₁₀ stimate dal modello CALGRID per i 3 scenari emissivi e differenze relative rispetto allo scenario 0.

N.	Nome stazione	PM ₁₀ : Conc. media annua (µg/m ³)			PM ₁₀ : Diff. relativa (%)	
		Scen. 0	Scen. 1	Scen. 2	Scen. 1 vs. Scen. 0	Scen. 2 vs. Scen. 0
1	BASSI	2.89	2.37	-	-18.0	-
2	BOBOLI	2.42	2.02	-	-16.5	-
3	GRAMSCI	2.54	2.11	-	-16.9	-
4	MOSSE	3.24	2.76	-	-14.8	-
5	ROSSELLI	2.72	2.28	-	-16.2	-
6	BUOZZI	2.48	2.10	-	-15.3	-
7	BOCCACCIO	2.74	2.54	-	-7.3	-
8	RIDOLFI	4.53	4.40	-	-2.9	-
9	PRATELLE	2.41	2.31	-	-4.1	-
10	MILANI	2.04	1.96	-	-3.9	-
11	FERRUCCI	2.67	2.48	-	-7.1	-
12	FONTANELLE	1.95	1.81	-	-7.2	-
13	STROZZI	3.01	2.82	-	-6.3	-
14	ZAMENHOF	1.98	2.12	-	+7.1	-
15	MONTALE	1.68	1.67	-	-0.6	-

Conclusioni

Scopo del presente lavoro è stato quello di valutare gli effetti sulla qualità dell'aria di una serie di interventi sulle sorgenti di emissione partendo dai livelli attuali e considerando le previsioni di scenari di sviluppo economico, territoriale, energetico e del sistema della mobilità dei prossimi anni. Lo studio è stato incentrato sul bacino aerografico Firenze-Prato-Pistoia e sull'area industriale empoiese, ed ha preso in esame il PM_{10} (solo di origine primaria) e l' NO_x . Allo scopo è stato configurato ed applicato sull'area di studio il sistema integrato di modelli RAMS-CALMET-CALGRID: la base meteorologica è stata fornita dal modello prognostico RAMS, i cui campi sono stati successivamente riscaldati alla risoluzione di lavoro attraverso l'applicazione del modello diagnostico CALMET; CALGRID è stato applicato in modalità *long-term* per il periodo di un anno solare, corrispondente all'anno 2002, con passo temporale di un'ora.

L'applicazione della modellistica diffusionale condotta nel presente lavoro ha avuto pertanto lo scopo di confrontare scenari di modificazione della qualità dell'aria sulla base delle mutazioni di scenari emissivi, elaborati sulla base-dati regionale costituita dall'archivio IRSE. Gli scenari emissivi presi a riferimento sono stati tre: lo Scenario 0 o scenario base (stato attuale), lo Scenario 1 o scenario futuro "*business as usual*", ed infine lo Scenario 2 o scenario futuro pianificato.

Nel capitolo 1 viene fornita una descrizione di tutte le specifiche di configurazione ed applicazione della modellistica meteo-diffusionale implementata nel presente lavoro, oltre che fornito un quadro esaustivo di tutti i dati di *input* utilizzati.

Nel capitolo 2 vengono illustrati e discussi i risultati ottenuti dalle simulazioni, elaborati sia attraverso le mappe di isoconcentrazione dei valori medi annui che mediante le serie storiche ricostruite in corrispondenza di quindici stazioni chimiche prese a riferimento.

In appendice sono presentate tutte le mappe di concentrazione degli inquinanti stimate da CALGRID ed elaborate sulla base delle diverse combinazioni di calcolo previste dal Progetto (42).

I principali risultati che scaturiscono dal presente lavoro sono così riassumibili:

- sia per lo Scenario 0 che per lo Scenario 1, e per entrambi gli inquinanti esaminati, le concentrazioni più elevate si raggiungono nel comprensorio empoiese e nell'area compresa tra Firenze Nord e Sesto Fiorentino;

- sempre considerando entrambi gli scenari 0 ed 1, i maggiori contributi emissivi alle concentrazioni dei due inquinanti esaminati sono quelli dovuti alle grandi sorgenti industriali e in seconda battuta mobilità veicolare urbana; assai modesto se non del tutto trascurabile appare l'apporto delle altre tipologie di sorgenti, se si eccettuano i modesti contributi dovuti alle sorgenti domestiche e a quelle autostradali;
- per quanto riguarda l'NO_x, l'adozione degli interventi previsti dallo Scenario 1 comporta, rispetto allo Scenario 0, una generalizzata riduzione delle concentrazioni medie annue, di modesta entità per quanto riguarda le grandi sorgenti industriali (~10÷15%), segnatamente nel comprensorio empoiese, e più pronunciate per le altre tipologie di sorgenti; su gran parte del territorio di studio si osservano riduzioni comprese tra il 25 e il 35%: le zone che beneficiano degli abbattimenti maggiori (35%) sono quella di Scandicci e quella compresa tra Agliana e Fornacelle;
- per quanto riguarda il PM₁₀ primario, l'analisi delle differenze relative tra lo Scenario 1 e lo Scenario 0 presenta, diversamente dall'NO_x, sia delle riduzioni che degli incrementi d'inquinamento: a beneficiare delle riduzioni più pronunciate è l'area di Firenze (15%), mentre al contrario risulta penalizzata da un aumento delle concentrazioni sia la zona a Nordovest di Pistoia (~10÷15%) che quella a Sud di Monsummano Terme (5%).

Bibliografia

1. **APAT** (2004): *CLC2000 Italy*.
2. **Busillo C, Calastrini F., Gualtieri G.** (2005): *Convenzione tra Regione Toscana e CNR-IBIMET per lo sviluppo e l'applicazione di modelli meteorodiffusionali nell'ambito dei piani di risanamento della qualità dell'aria, con particolare attenzione al bacino Firenze-Prato-Pistoia*. Rapporto finale – Progetto "MODIVASET", Convenzione Regione Toscana del 17/06/2004 - LAMMA, Firenze, 23 Dicembre 2005.
3. **Calastrini F., Gualtieri G.** (2002): *Realizzazione, aggiornamento ed upgrade dell'archivio regionale di dati meteorologici estratti dalle previsioni del modello RAMS* – Convenzione Regione Toscana del 27/08/2002 - LaMMA, Firenze, 20 Novembre 2002.
4. **Calastrini F., Gualtieri G.** (2003): *Realizzazione di una interfaccia tra i dati dell'archivio RAMS e il preprocessore meteo CALMET finalizzata all'applicazione dei modelli diffusionali CALPUFF e CALGRID* - Convenzione Regione Toscana del 27/08/2002 - LAMMA, Firenze, 27 Marzo 2003.
5. **Calastrini F., Gualtieri G.** (2004): *Configurazione sul territorio regionale del modello CALGRID e applicazione su un caso-studio per la stima dell'inquinamento da ozono* – Convenzione Regione Toscana del 27/08/2002 - LaMMA, Firenze, 10 Febbraio 2004.
6. **Golden Software, Inc.** (1999): *Surfer version 7.00* – Golden, CO, USA.
7. **MapInfo Corporation** (1995): *MapBasic versione 4.0* – Troy, NY, USA.
8. **MapInfo Corporation** (2002): *MapInfo Professional versione 7.0* – Troy, NY, USA.
9. **Regione Toscana** (2004): *Inventario Regionale delle Sorgenti di Emissione in aria ambiente. Aggiornamento all'anno 2003* - Direzione Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali, Settore "Qualità dell'aria, rischi industriali, prevenzione e riduzione integrata dell'inquinamento", Firenze, Aprile 2004.
10. **Scire J.S., Robe F.R., Fermau M.E., Yamartino R.J.** (1999): *A User's Guide for the CALMET Meteorological Model (version 5.0)* – Earth Tech Inc., Concord, MA, USA.
11. **Scire J.S., Yamartino R.J., Charmichael G.R., Chang Y.S.** (1989): *CALGRID: A Mesoscale Grid Model – Volume II: User's Guide* – California Air Resource Board, Sacramento, CA, USA.
12. **USGS / EROS Data Center**: *dati SRTM a 70m del territorio italiano* - Sioux Falls, SD, USA.
13. **Walko R. L., Tremback C. J.** (2001): *RAMS – Regional Atmospheric Modeling System Version 4.3/4.4 – Guida per l'utente*.

Appendice:
elaborazioni grafiche

Scenario 0:
scenario base o attuale

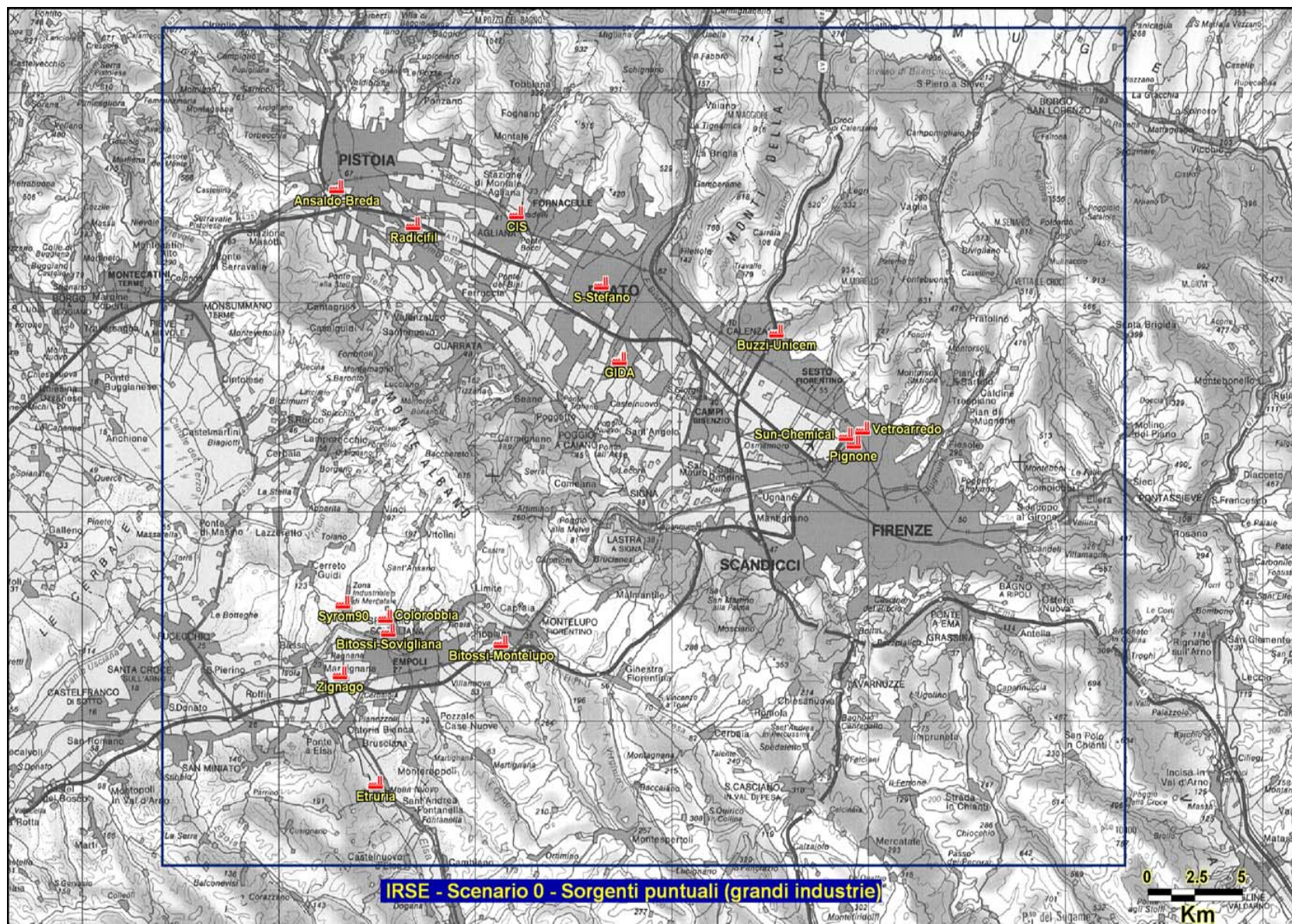


Fig. 4 - Ubicazione delle sorgenti puntuali (grandi industrie, tipo "PUNT") all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

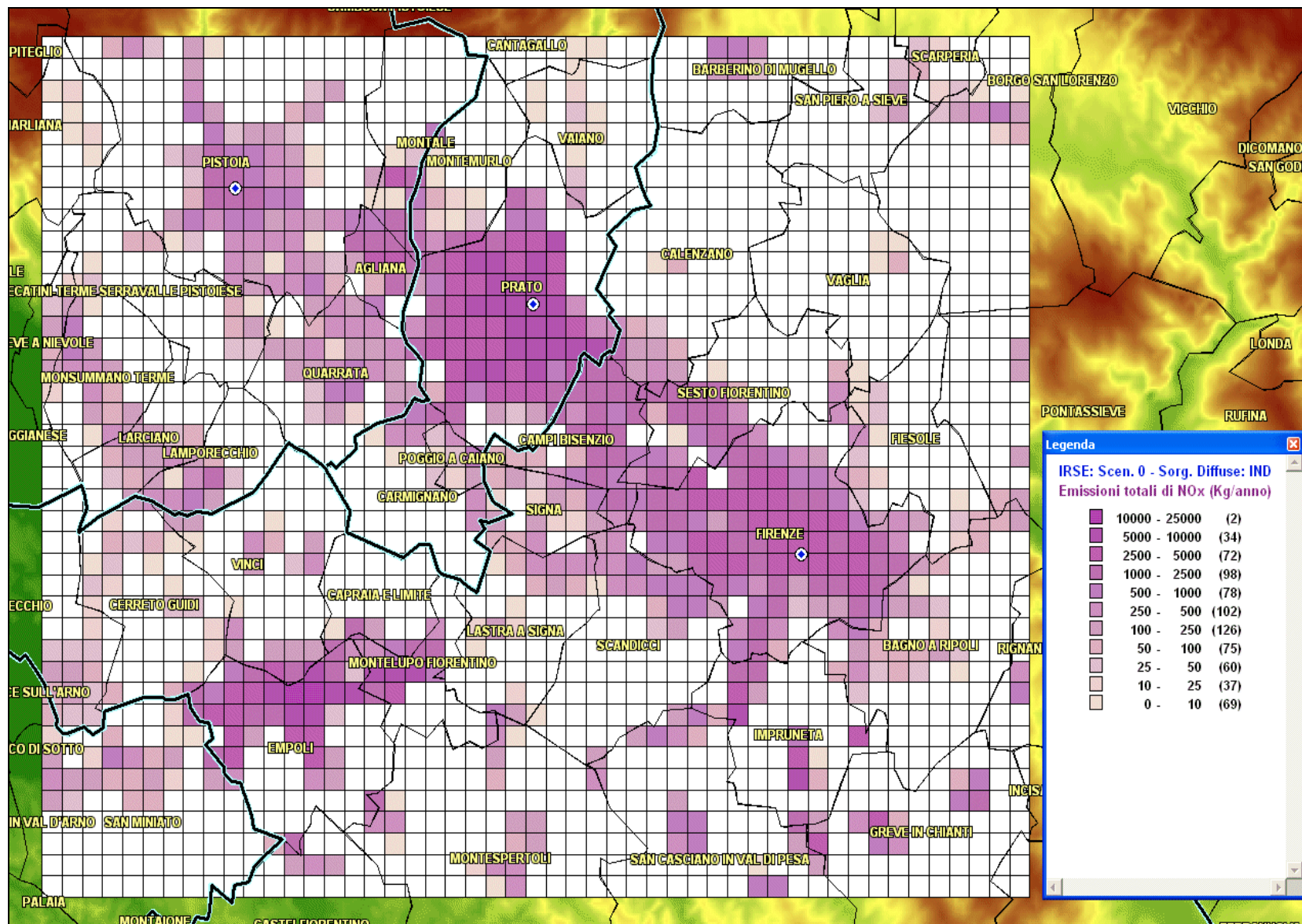


Fig. 5 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di NO_x da sorgenti industriali classificate come diffuse (tipo "DIFF_IND") nell'area di studio (Scenario 0).

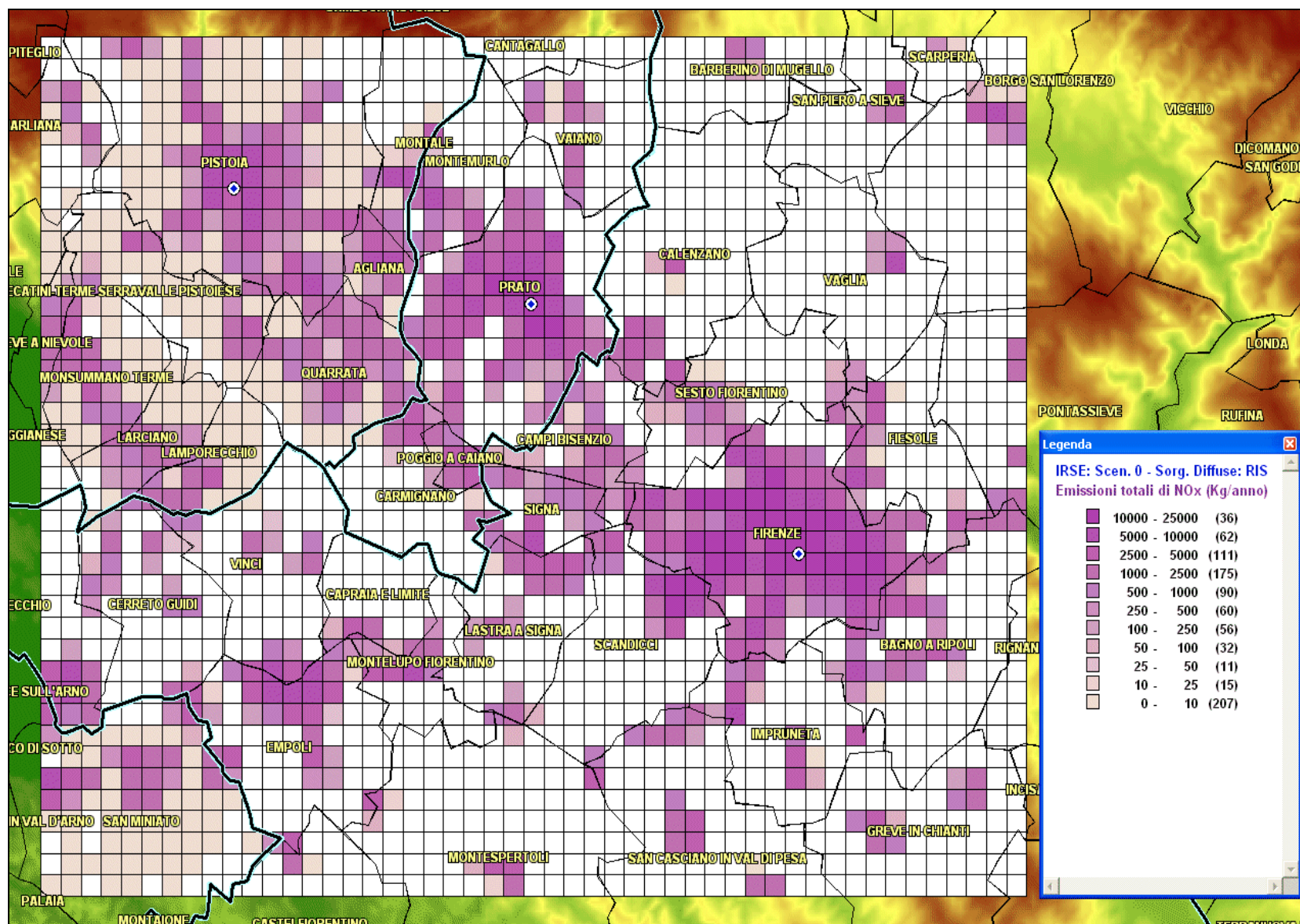


Fig. 6 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di NO_x da sorgenti domestiche (riscaldamento/climatizzazione) classificate come diffuse (tipo "DIFF_RIS") nell'area di studio (Scenario 0).

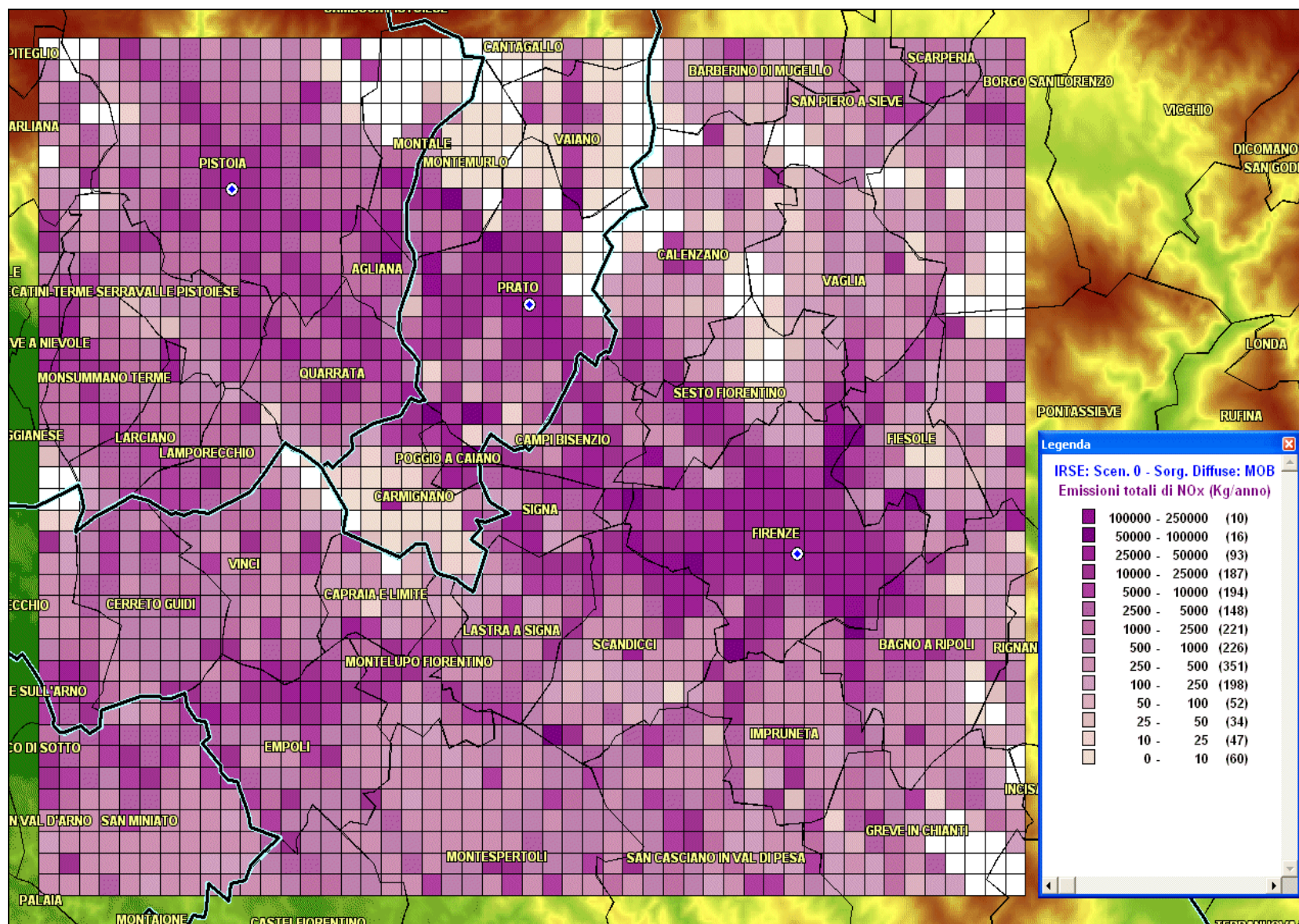


Fig. 7 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di NO_x da sorgenti veicolari (traffico) classificate come diffuse (tipo "DIFF_MOB") nell'area di studio (Scenario 0).

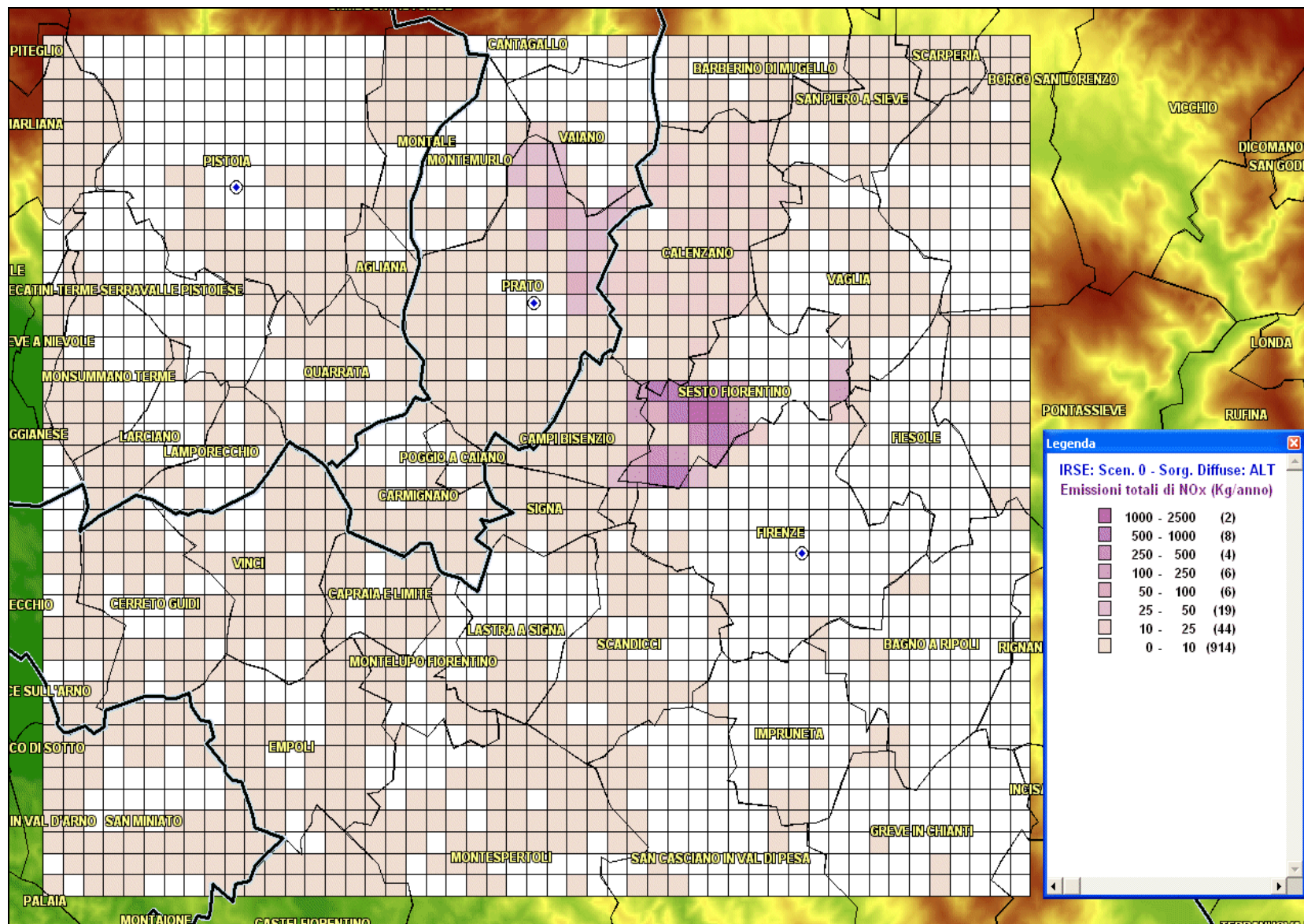


Fig. 8 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di NO_x da altre sorgenti generiche classificate come diffuse (tipo "DIFF_ALT") nell'area di studio (Scenario 0).

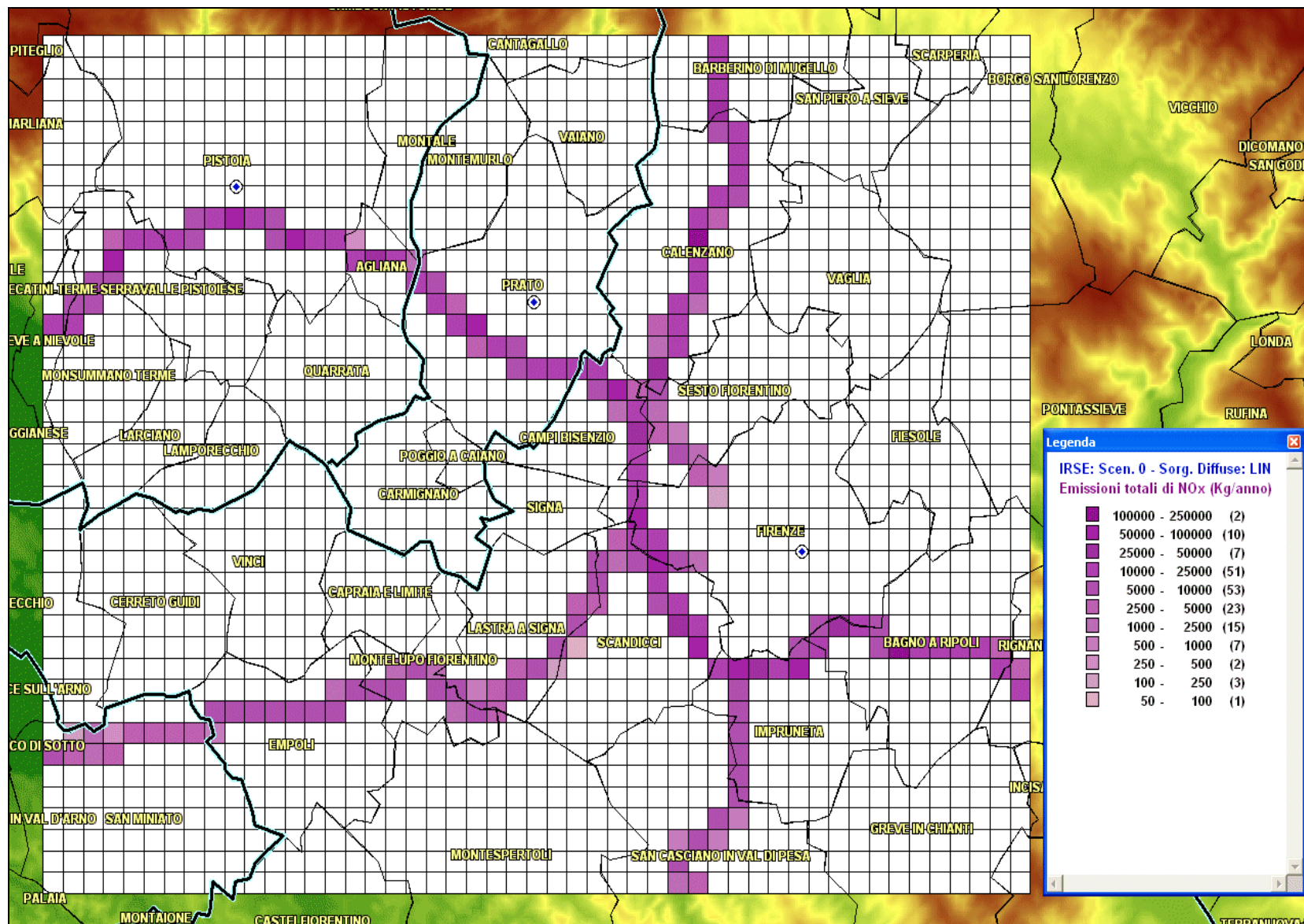


Fig. 9 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di NO_x da sorgenti lineari (grandi arterie stradali, tipo "LIN") nell'area di studio (Scenario 0).

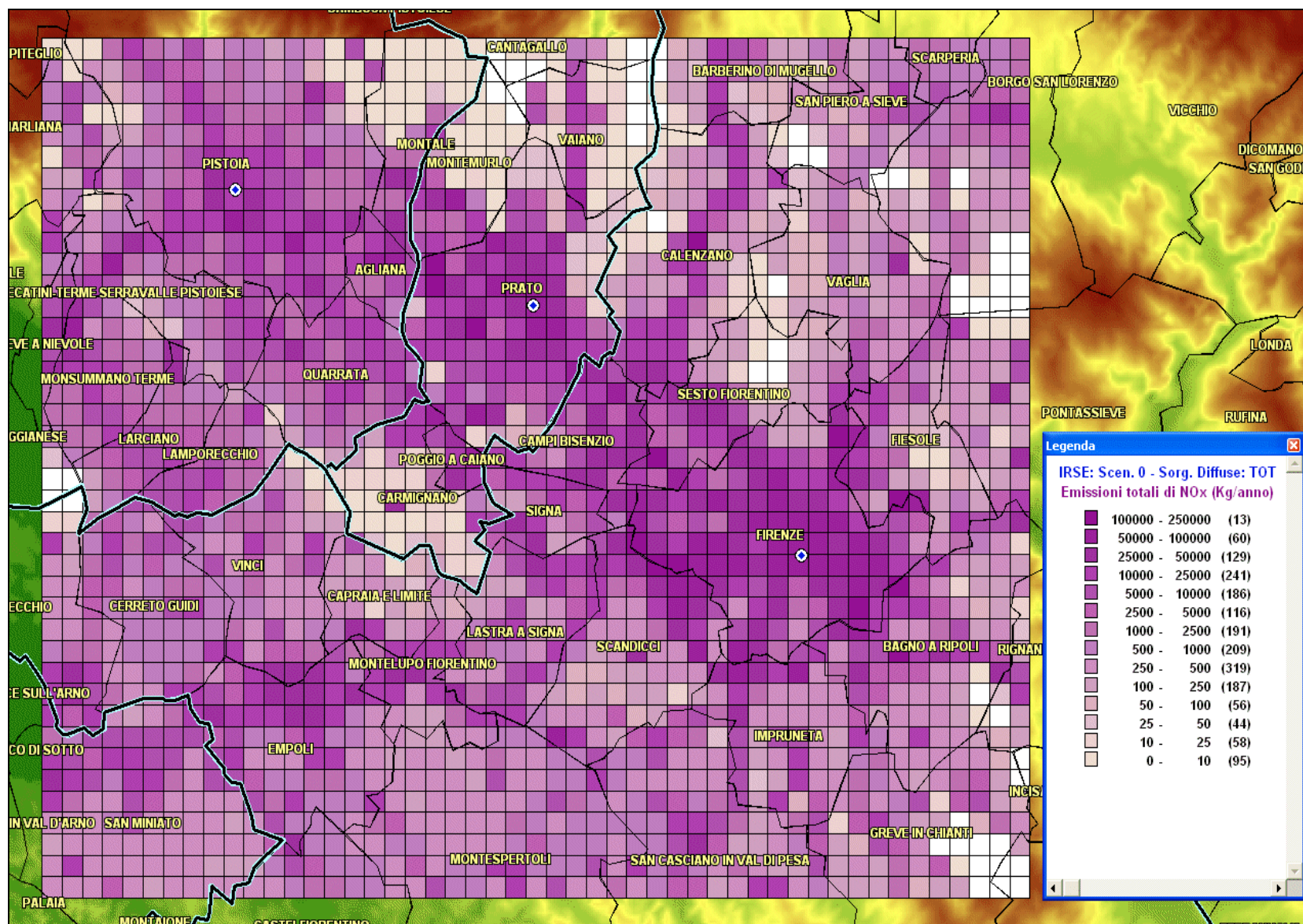


Fig. 10 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di NO_x di tutte le sorgenti (lineari e diffuse) nell'area di studio (Scenario 0).

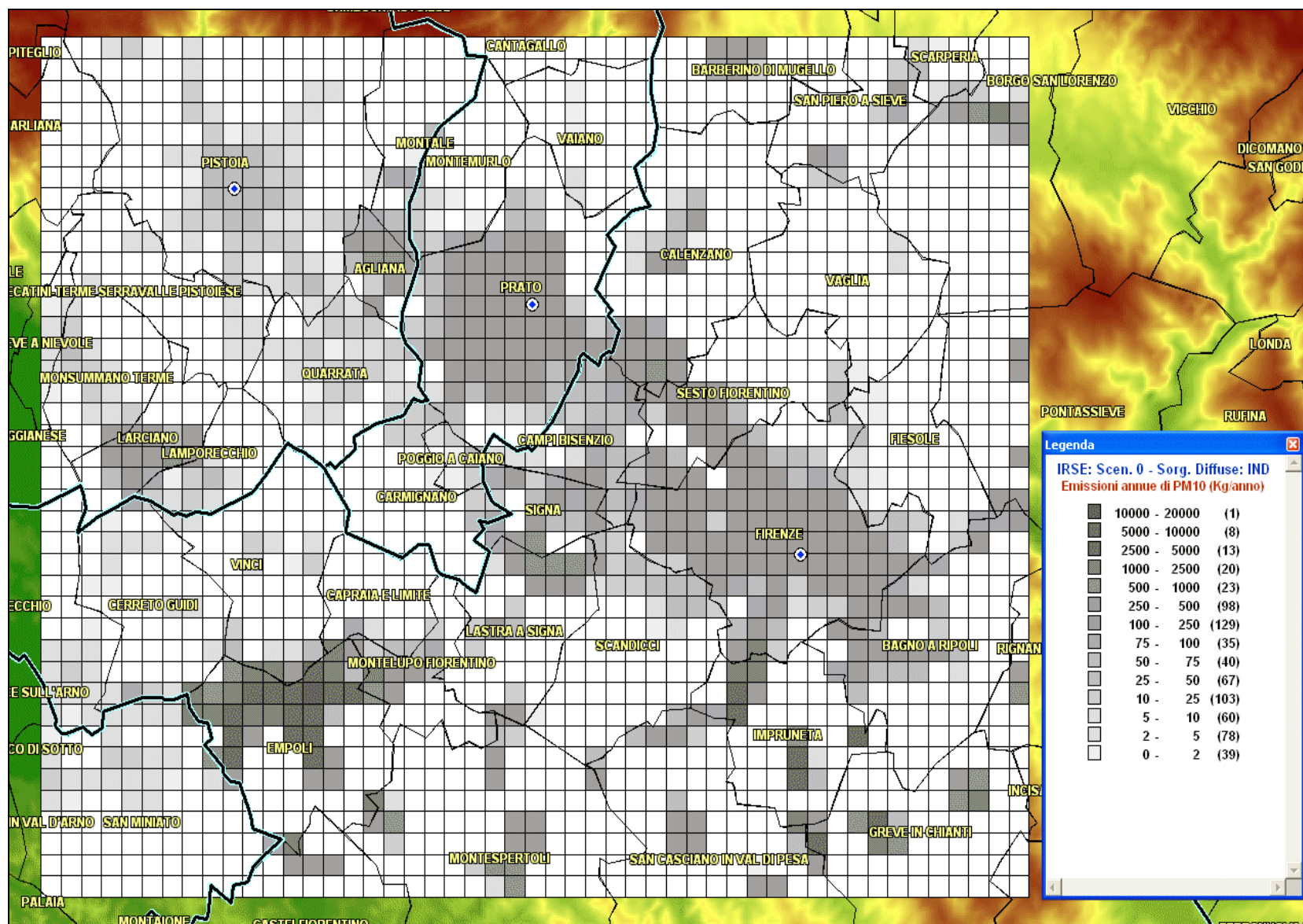


Fig. 11 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di PM₁₀ da sorgenti industriali classificate come diffuse (tipo "DIFF_IND") nell'area di studio (Scenario 0).

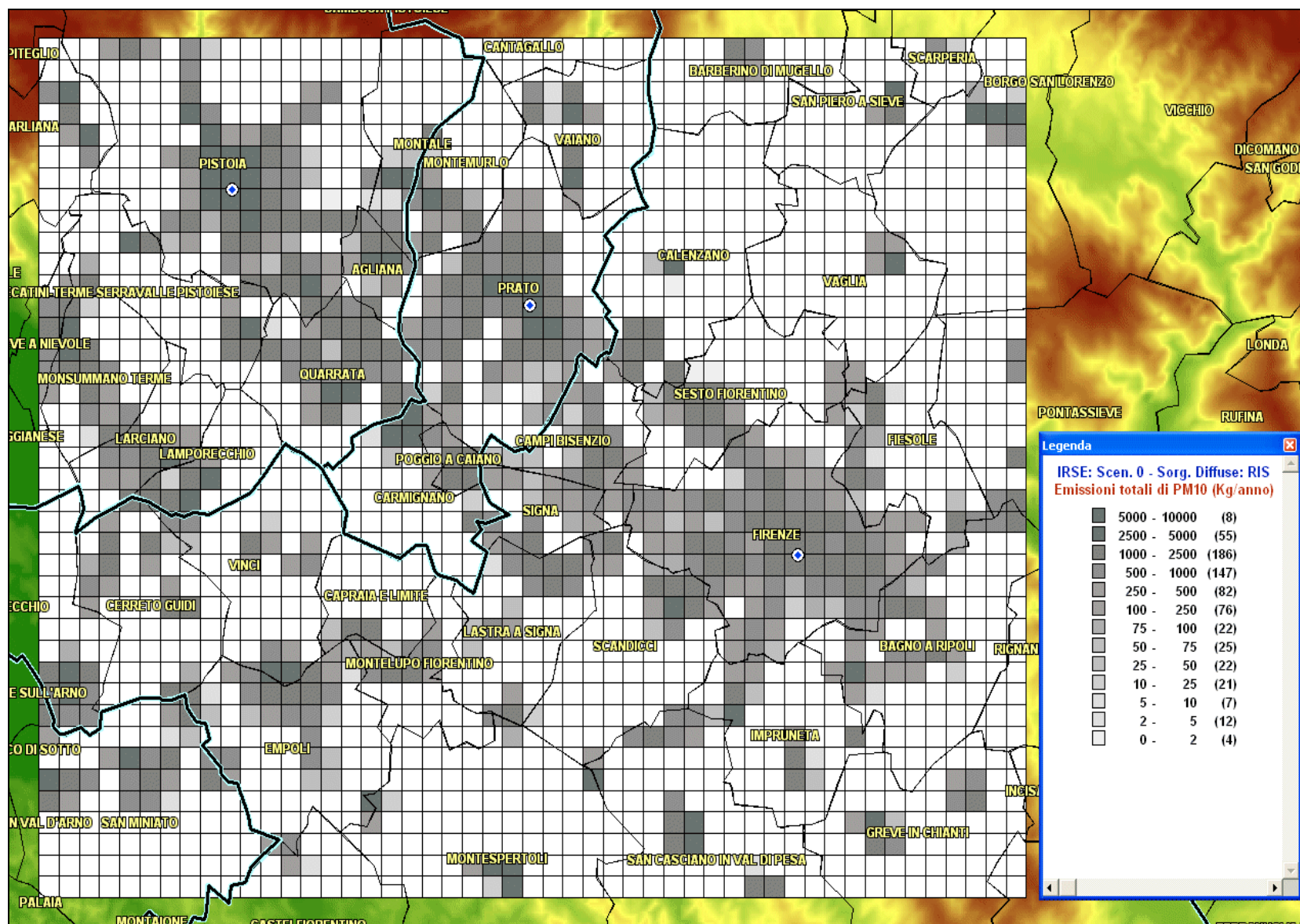


Fig. 12 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di PM₁₀ da sorgenti domestiche (riscaldamento/climatizzazione) classificate come diffuse (tipo "DIFF_RIS") nell'area di studio (Scenario 0).

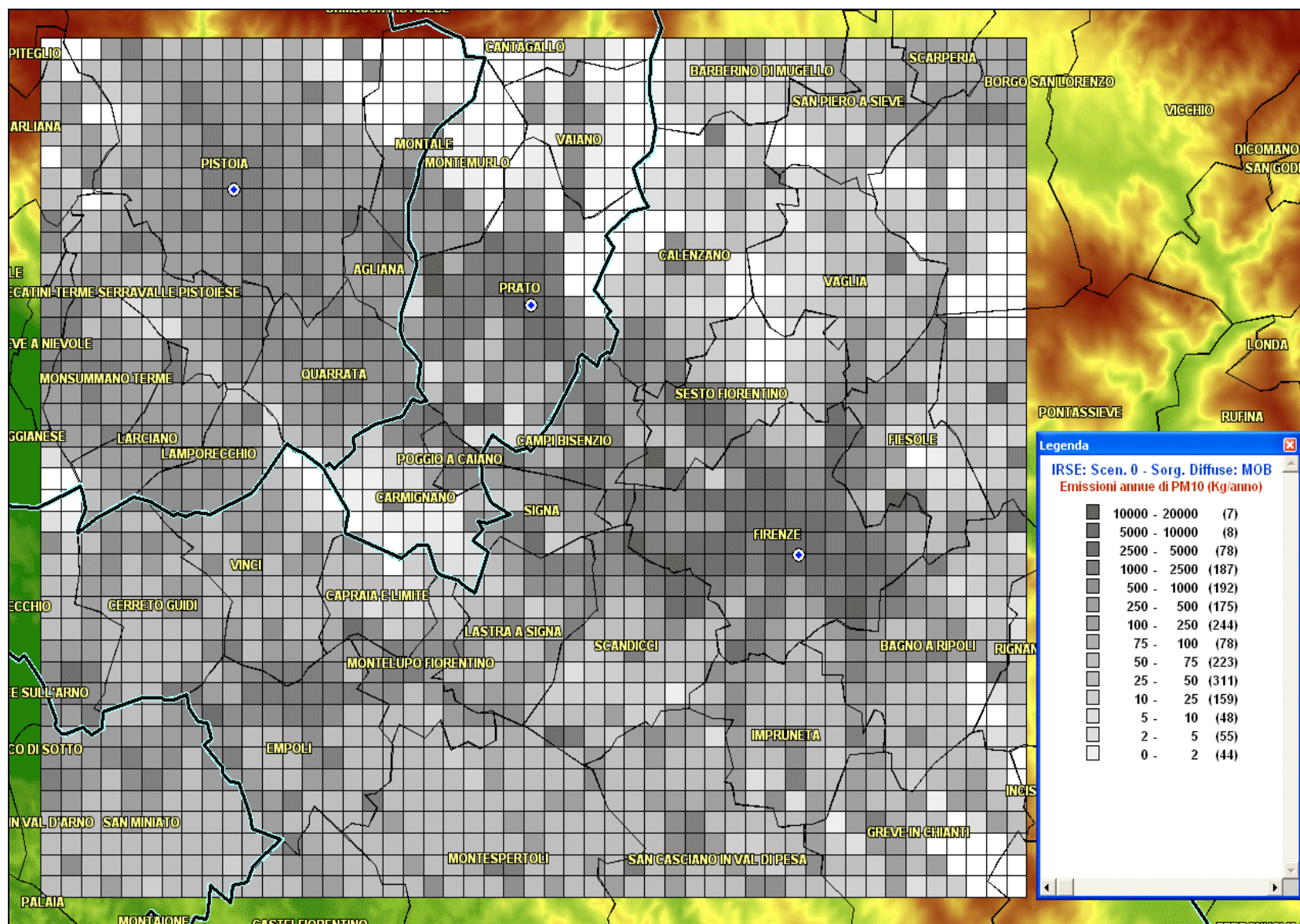


Fig. 13 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di PM₁₀ da sorgenti veicolari (traffico) classificate come diffuse (tipo "DIFF_MOB") nell'area di studio (Scenario 0).

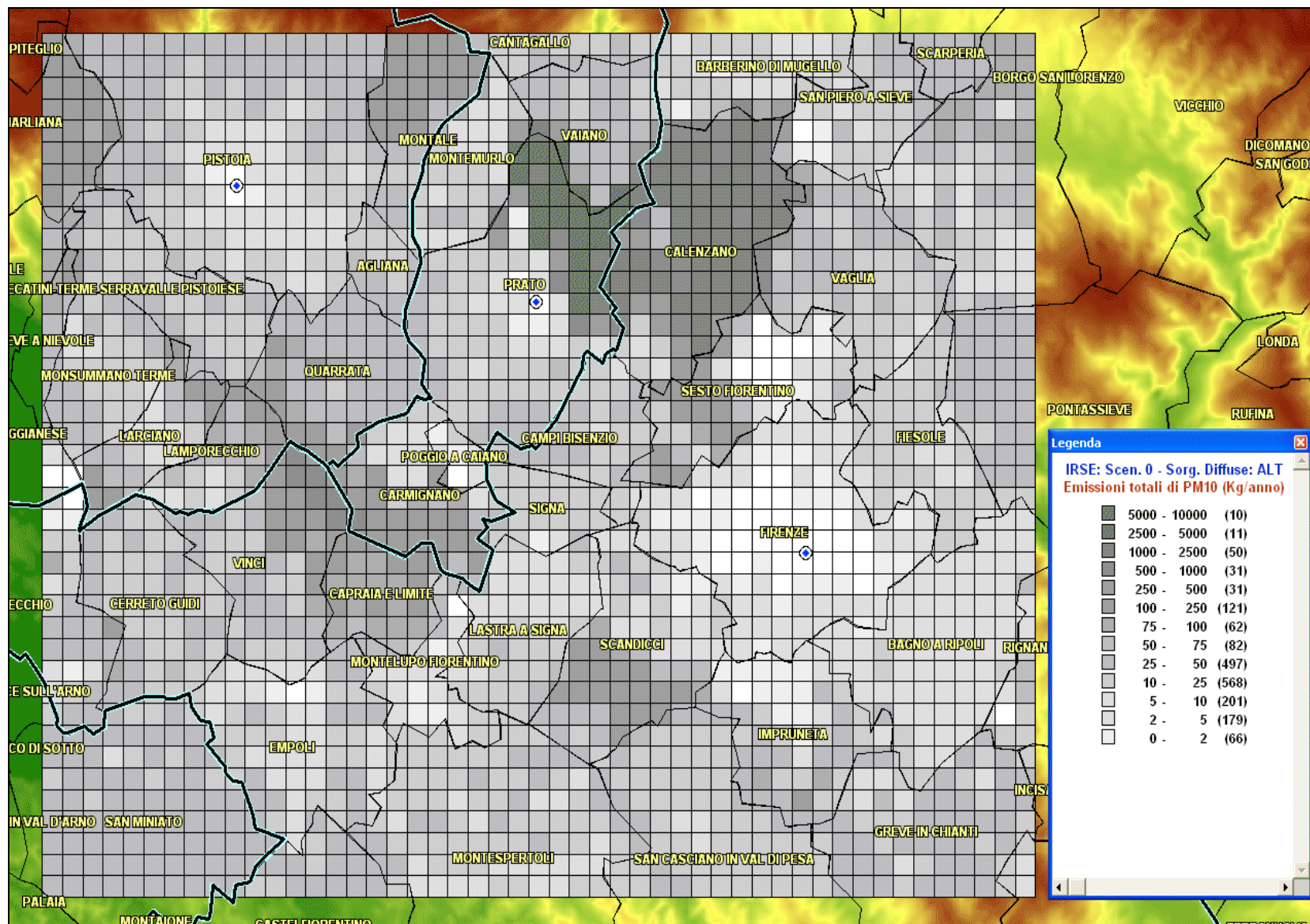


Fig. 14 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di PM₁₀ da altre sorgenti generiche classificate come diffuse (tipo "DIFF_ALT") nell'area di studio (Scenario 0).

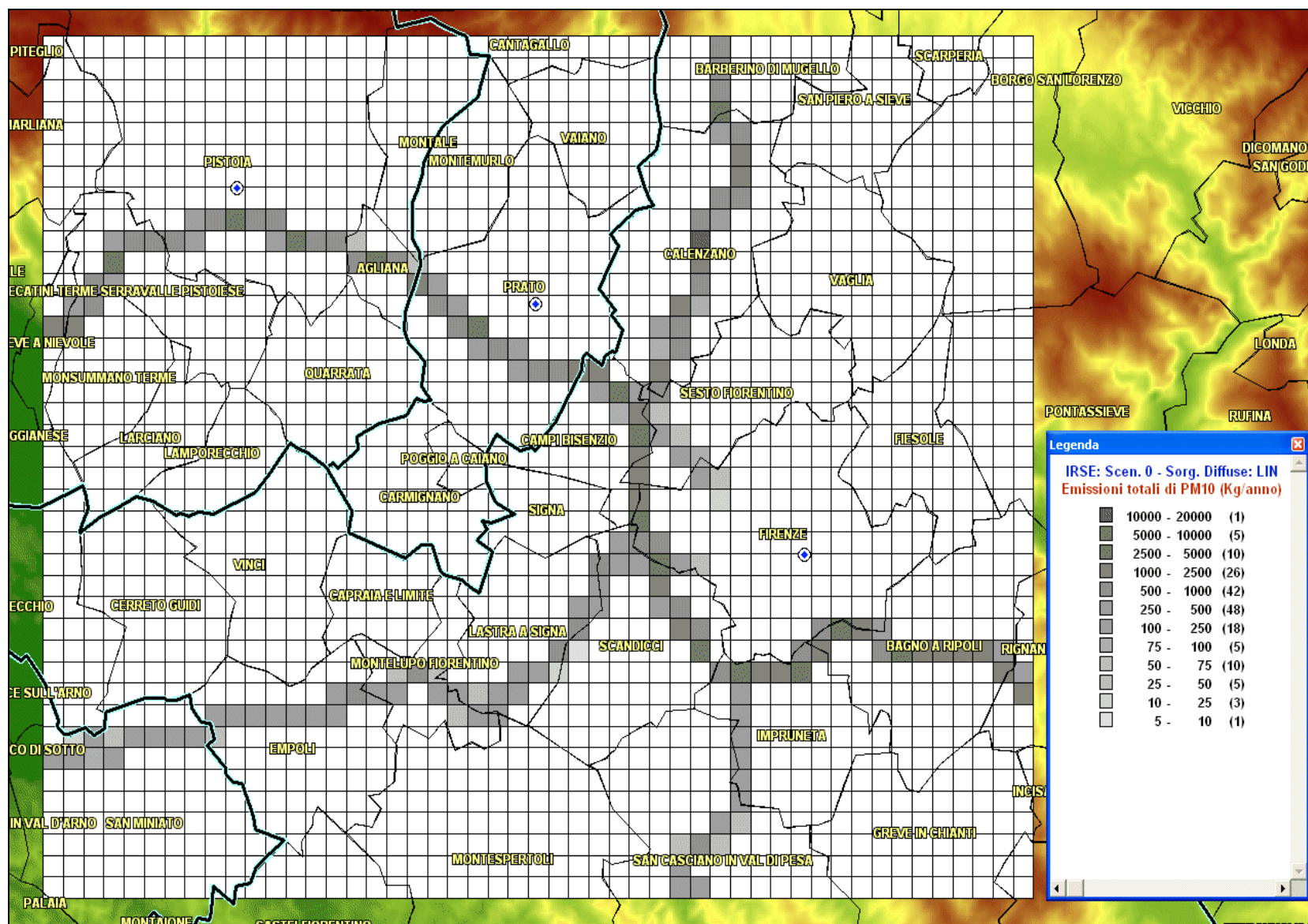


Fig. 15 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di PM₁₀ da sorgenti lineari (grandi arterie stradali, tipo "LIN") nell'area di studio (Scenario 0).

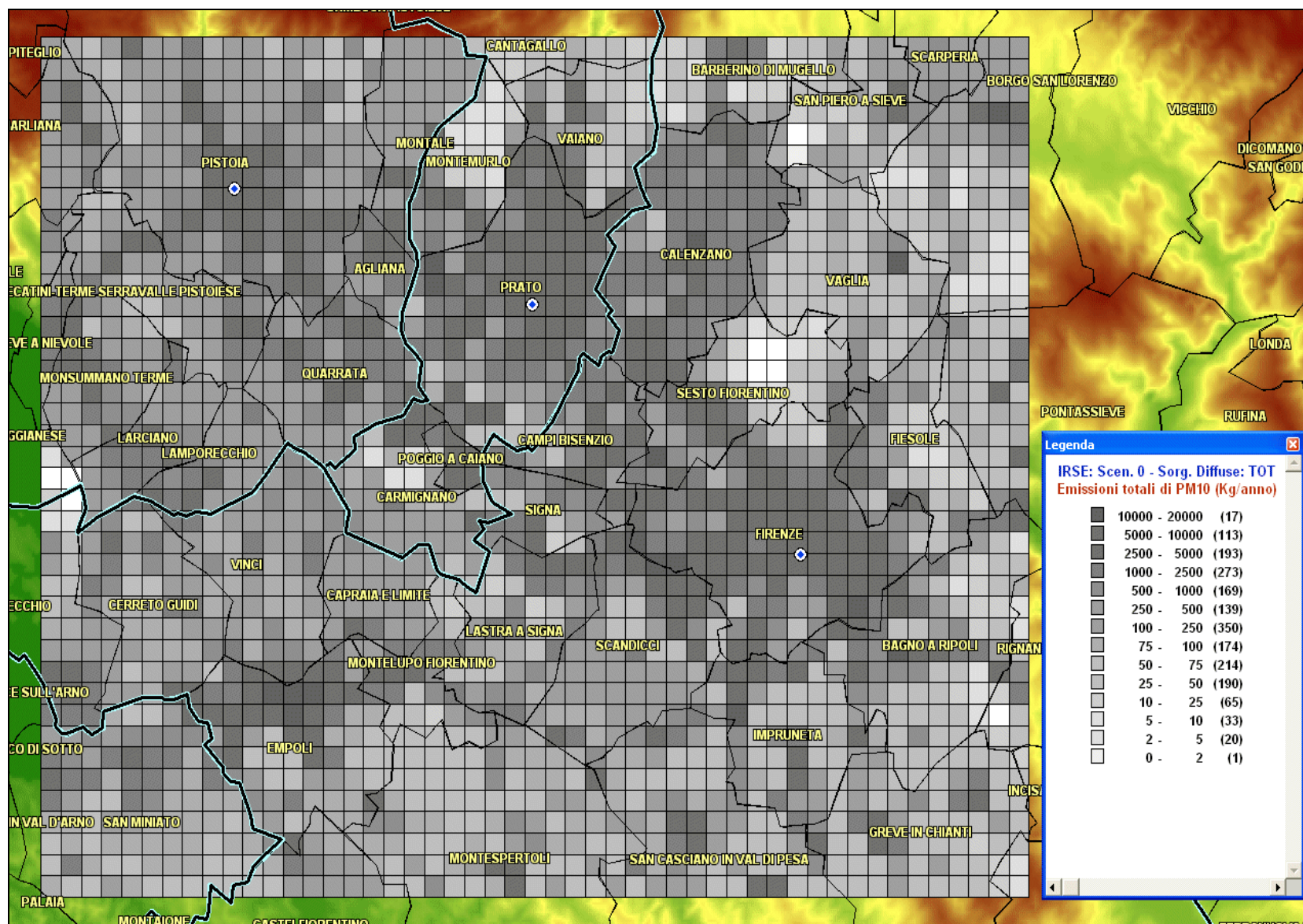


Fig. 16 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di PM₁₀ di tutte le sorgenti (lineari e diffuse) nell'area di studio (Scenario 0).

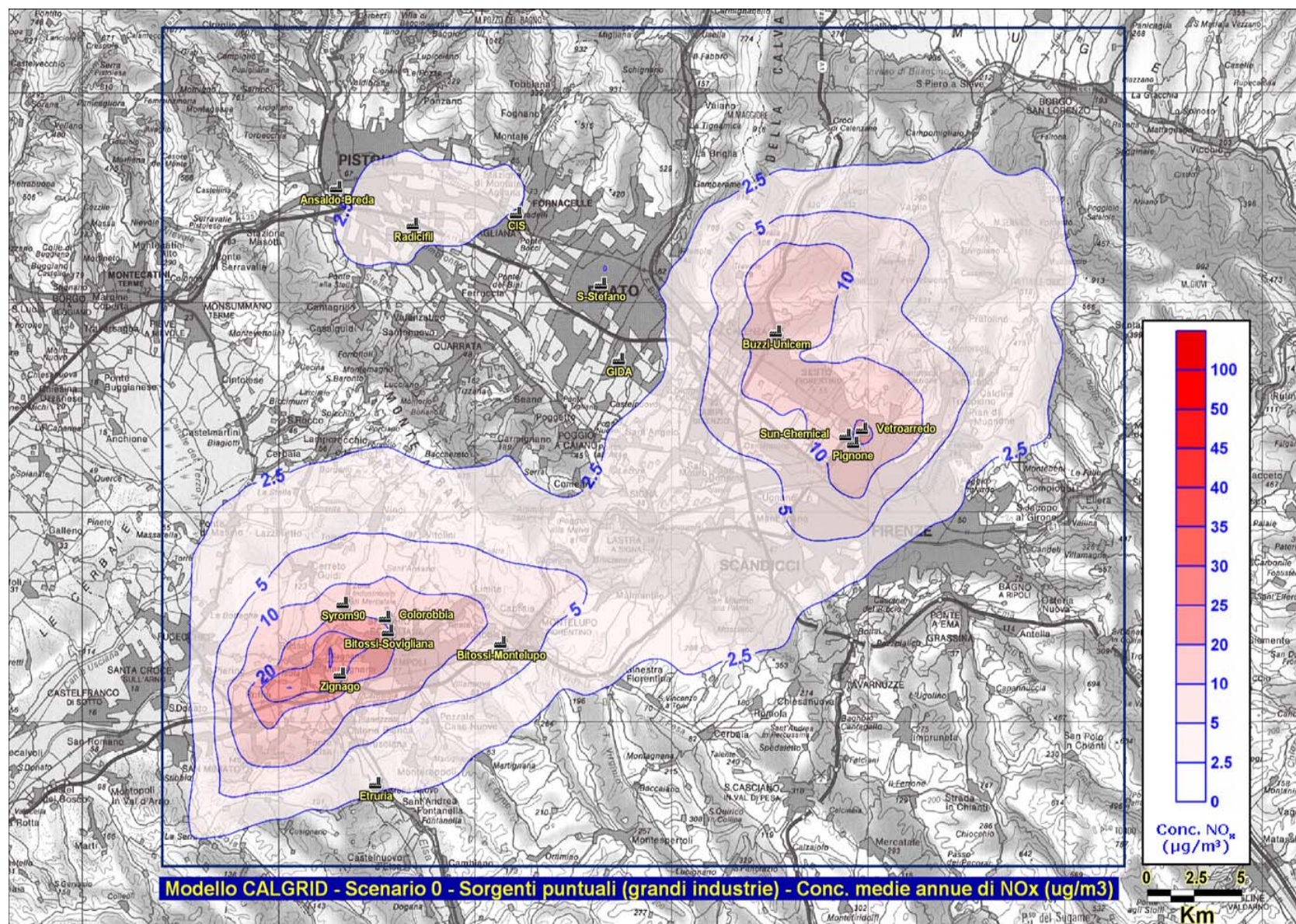


Fig. 17 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute alle sorgenti puntuali (grandi industrie, tipo "PUNT") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

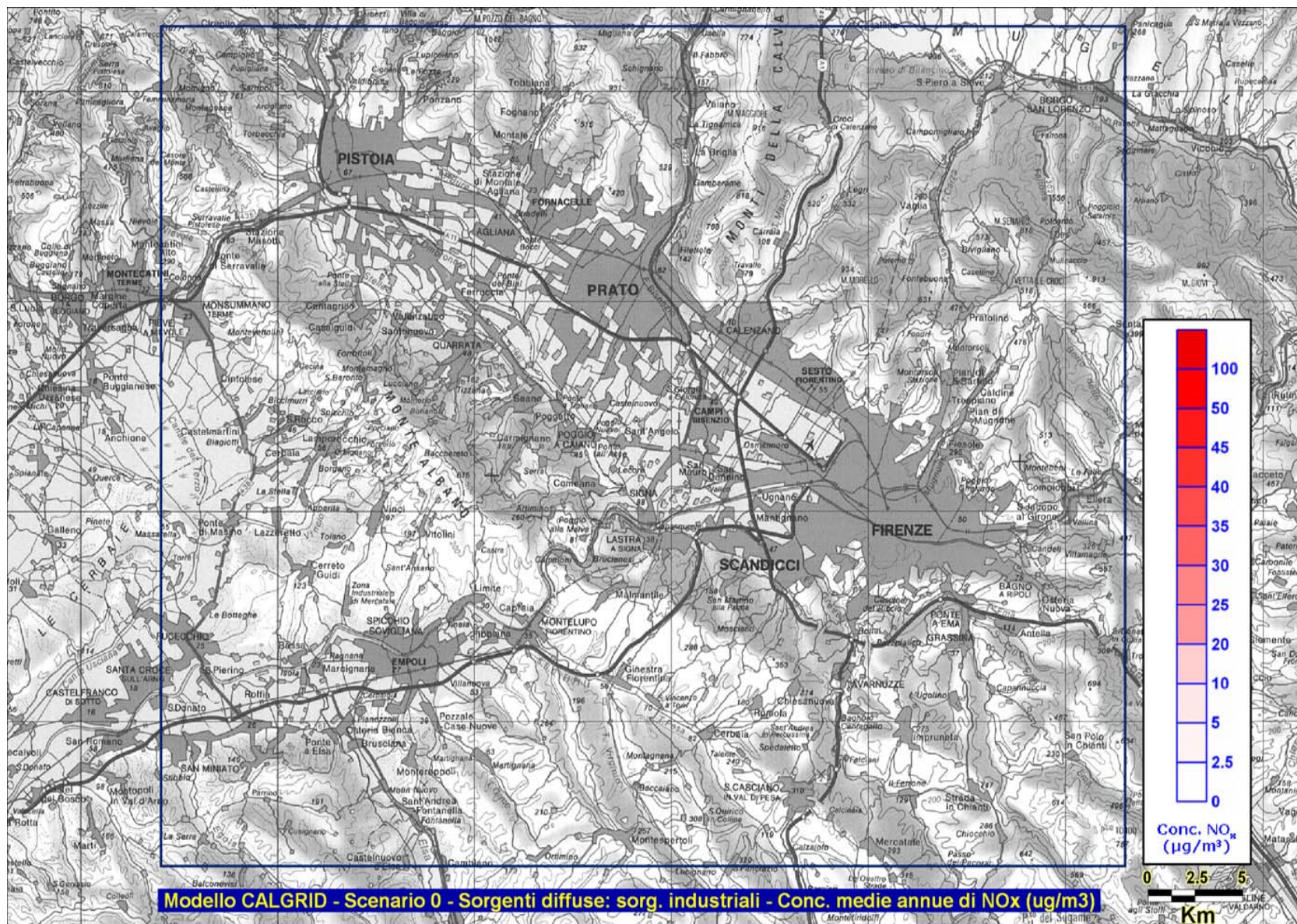


Fig. 18 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute alle sorgenti industriali classificate come diffuse (tipo "DIFF_IND") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

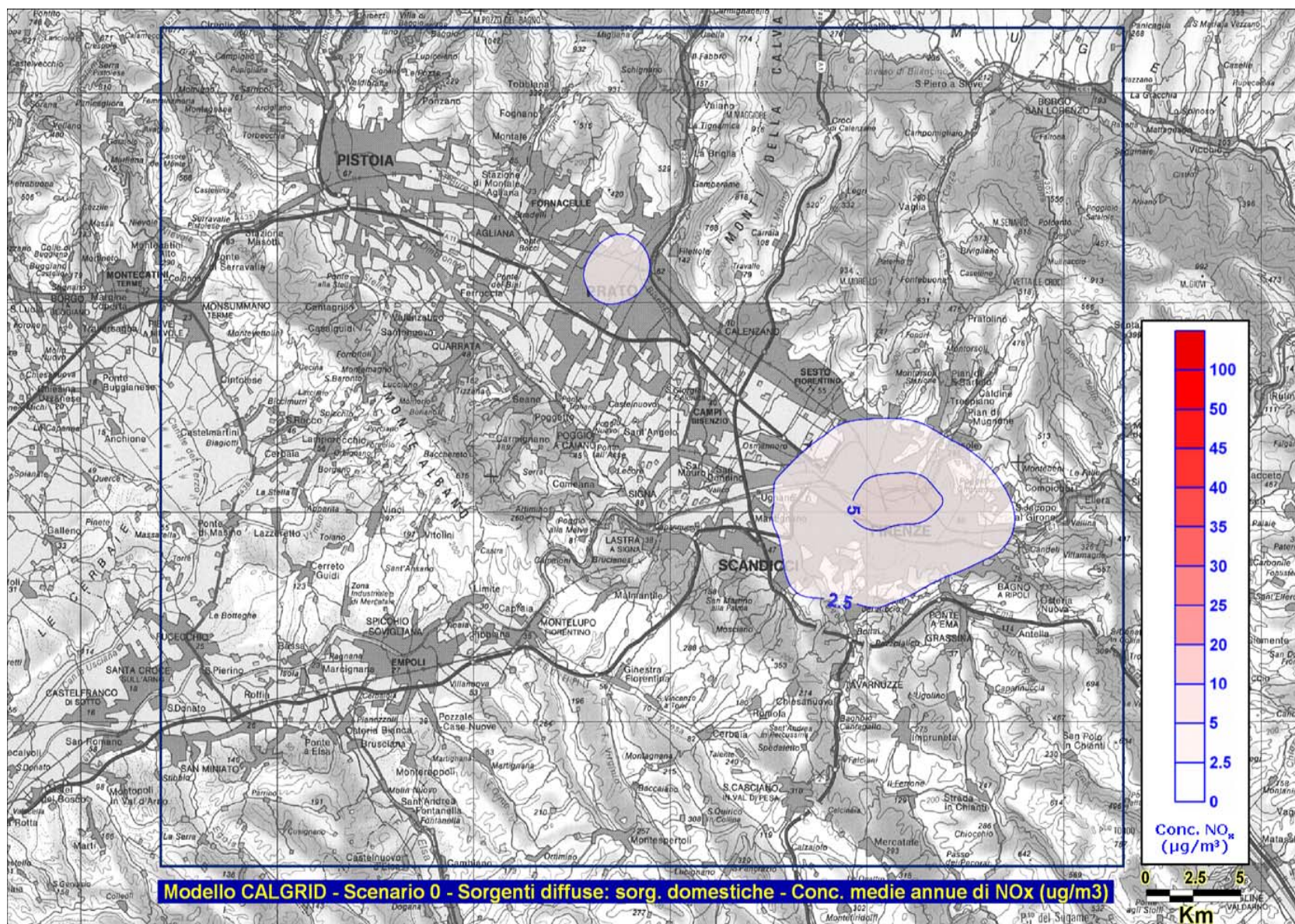


Fig. 19 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute alle sorgenti domestiche (riscaldamento/climatizzazione) classificate come diffuse (tipo "DIFF_RIS") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

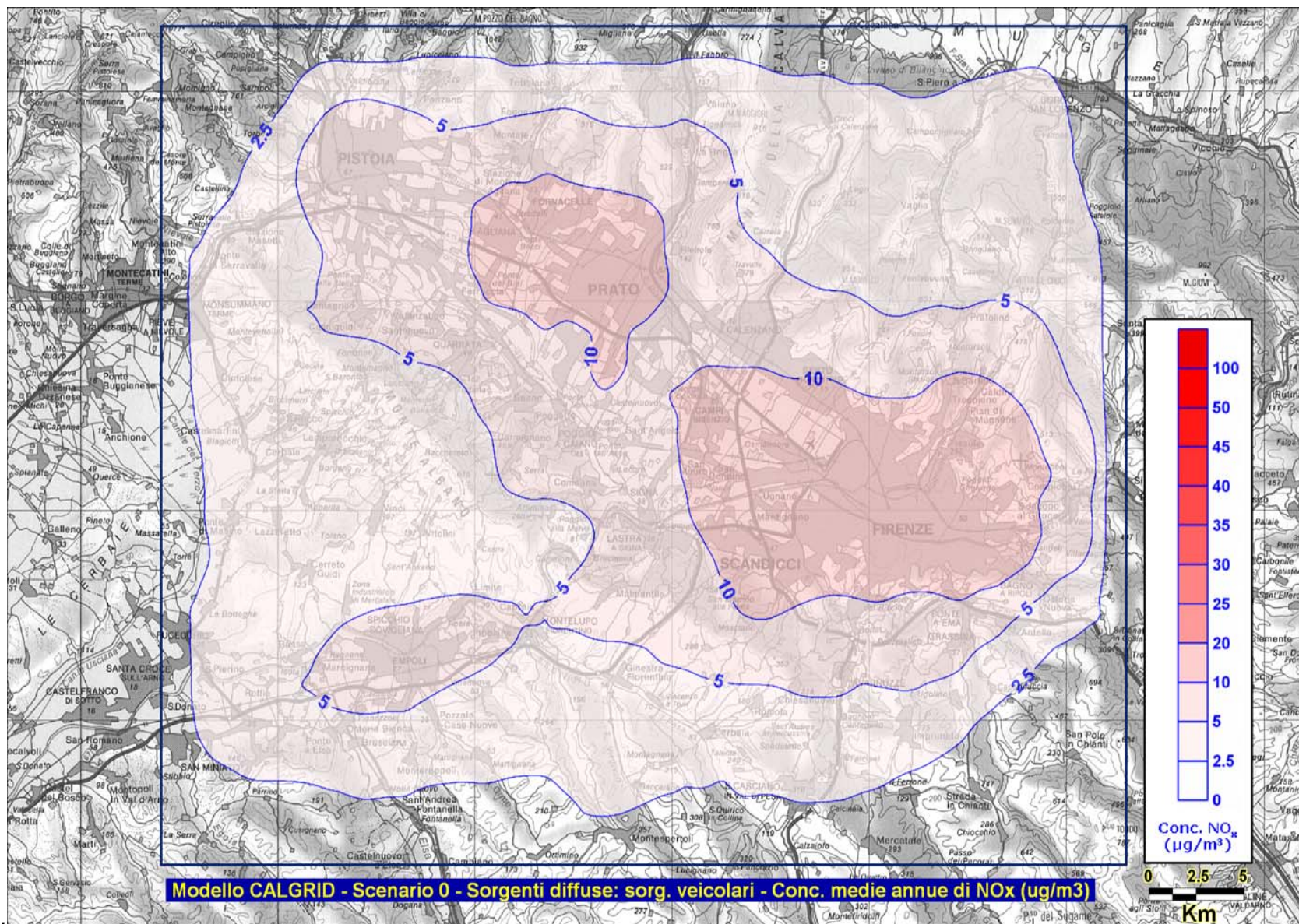


Fig. 20 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute alle sorgenti veicolari (traffico) classificate come diffuse (tipo "DIFF_MOB") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

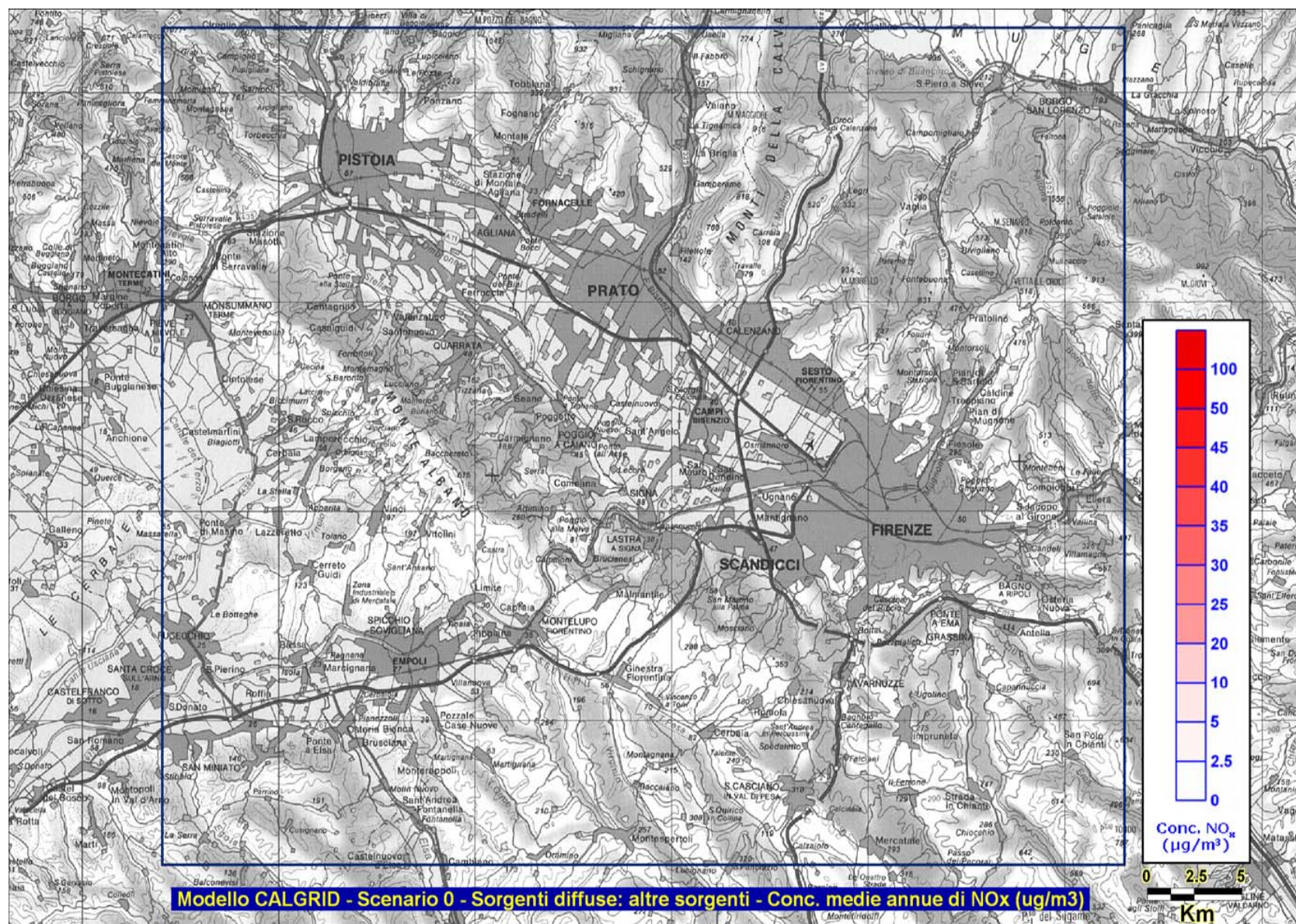


Fig. 21 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute alle altre sorgenti generiche classificate come diffuse (tipo "DIFF_ALT") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

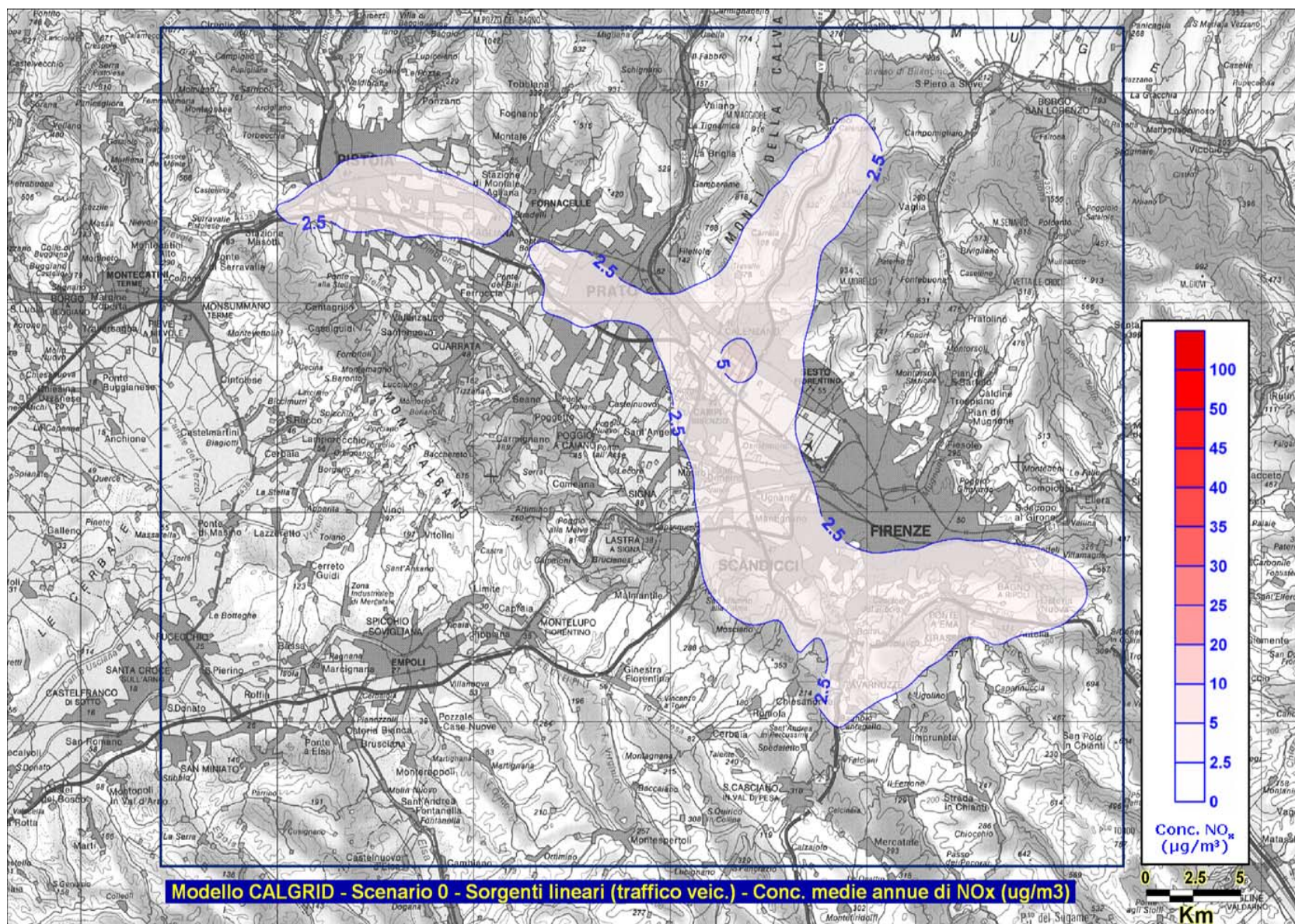


Fig. 22 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute alle sorgenti lineari (grandi arterie stradali, tipo "LIN") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

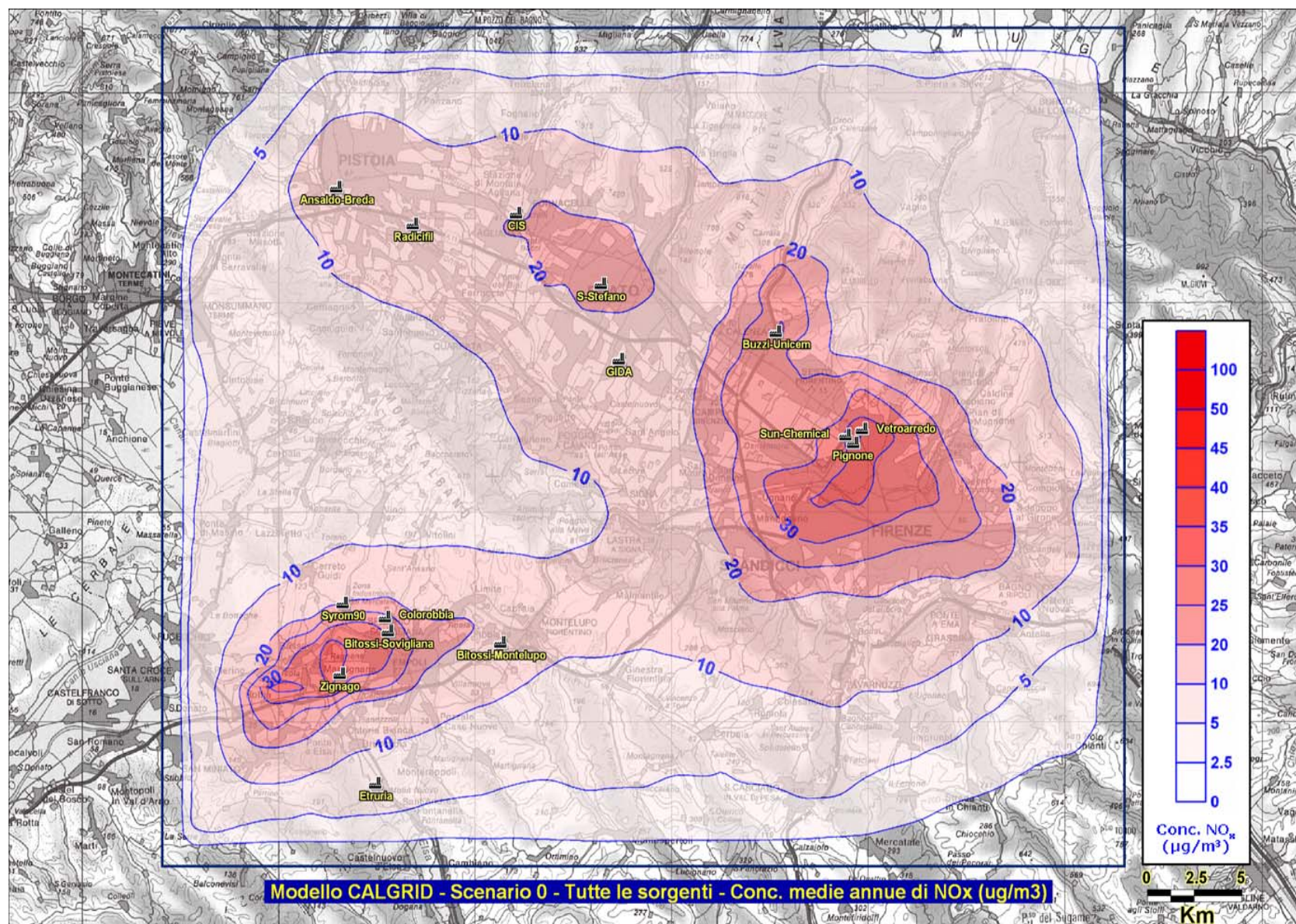


Fig. 23 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute a tutte le sorgenti (puntuali, lineari e diffuse) stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

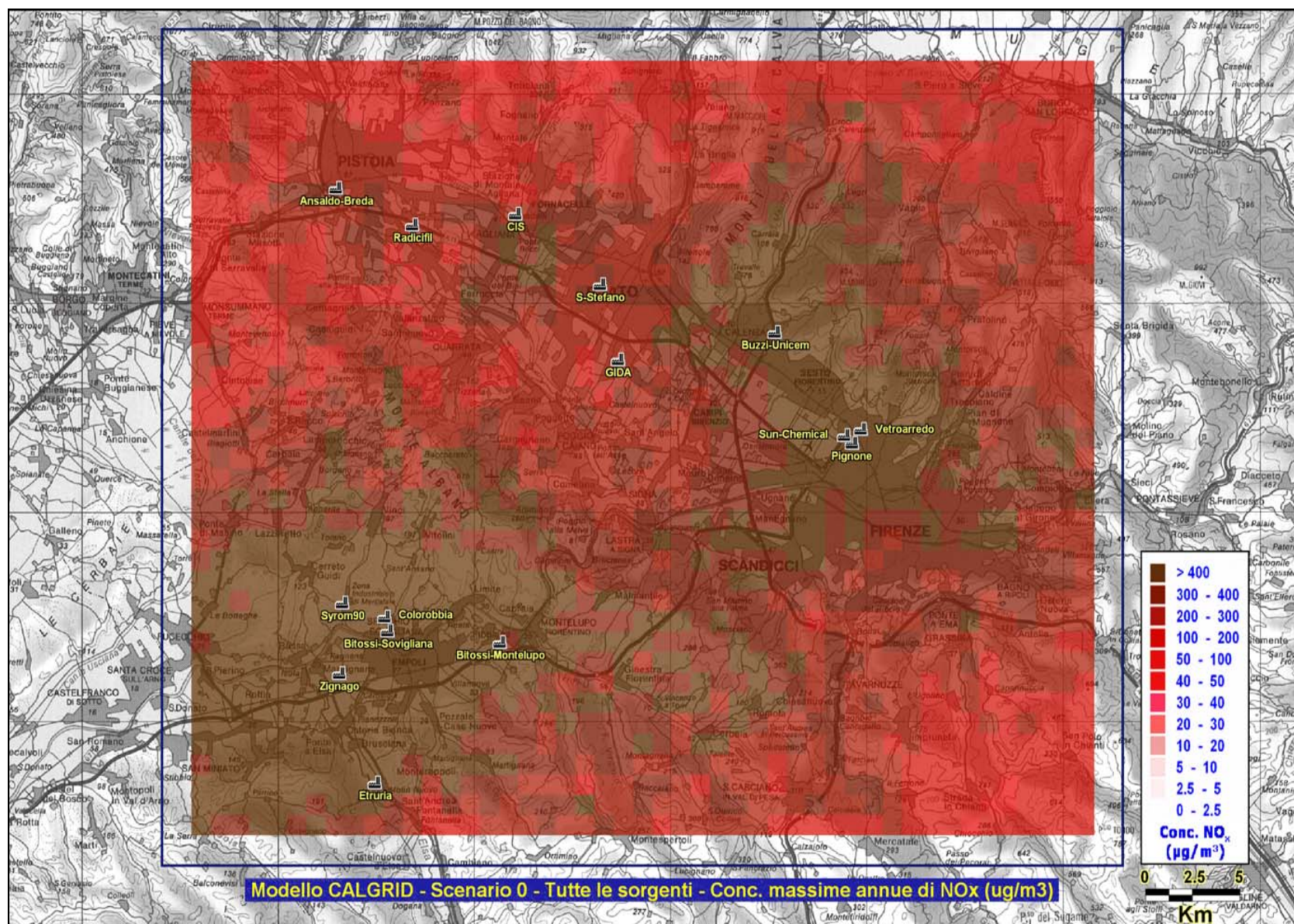


Fig. 24 - Mappa delle concentrazioni massime annue al suolo di NO_x dovute a tutte le sorgenti (puntuali, lineari e diffuse) stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

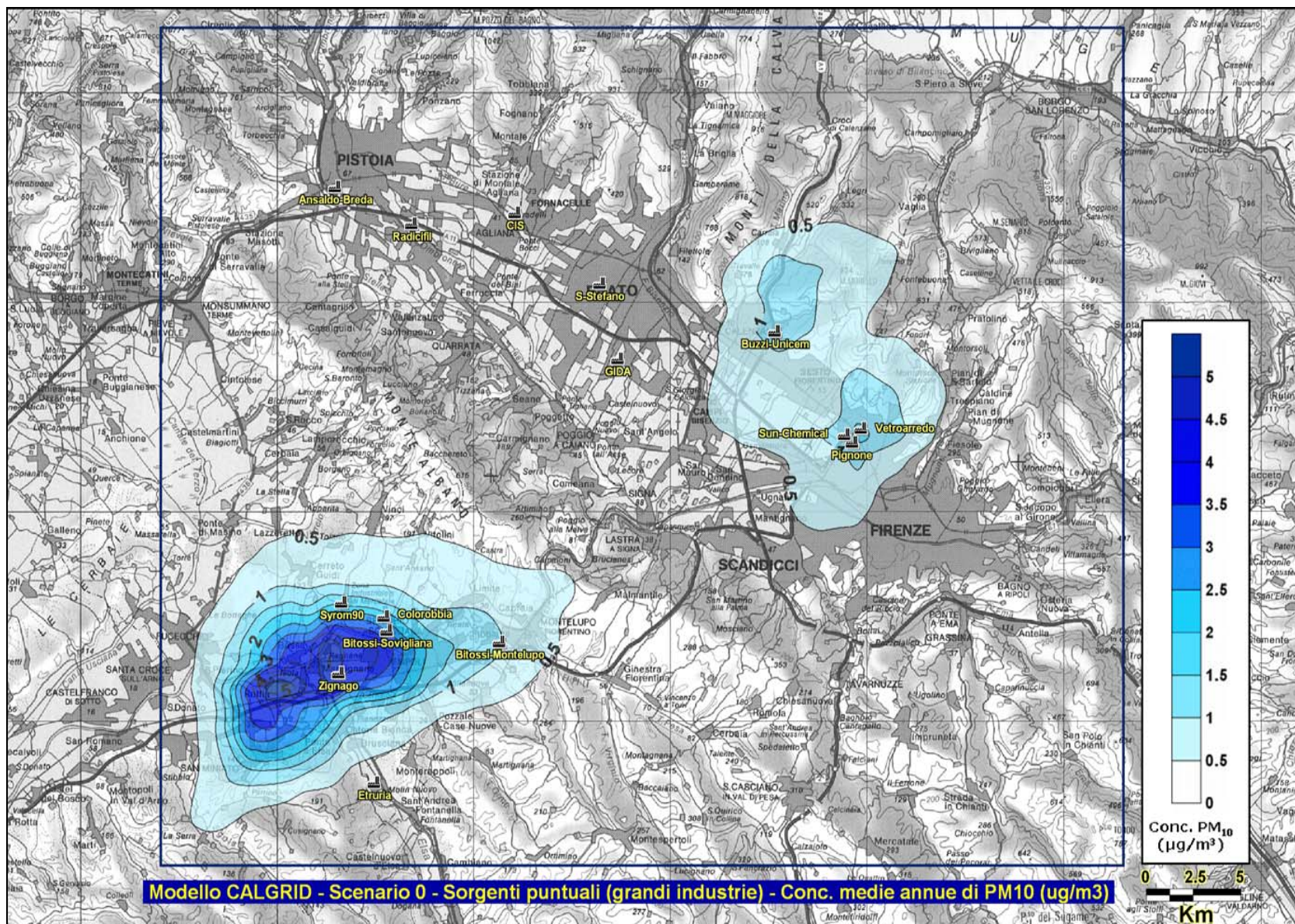


Fig. 25 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute alle sorgenti puntuali (grandi industrie, tipo "PUNT") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

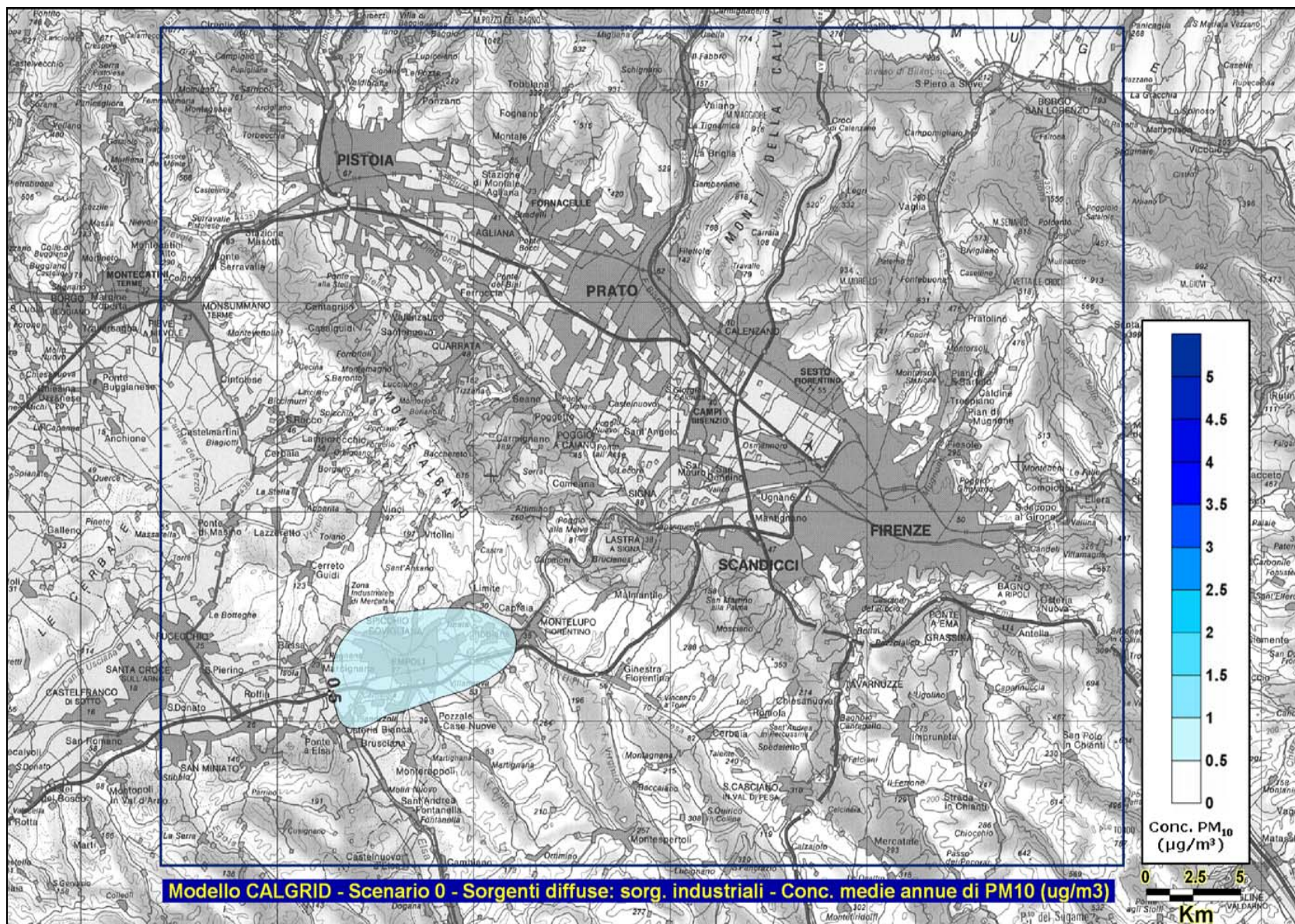


Fig. 26 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute alle sorgenti industriali classificate come diffuse (tipo "DIFF_IND") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

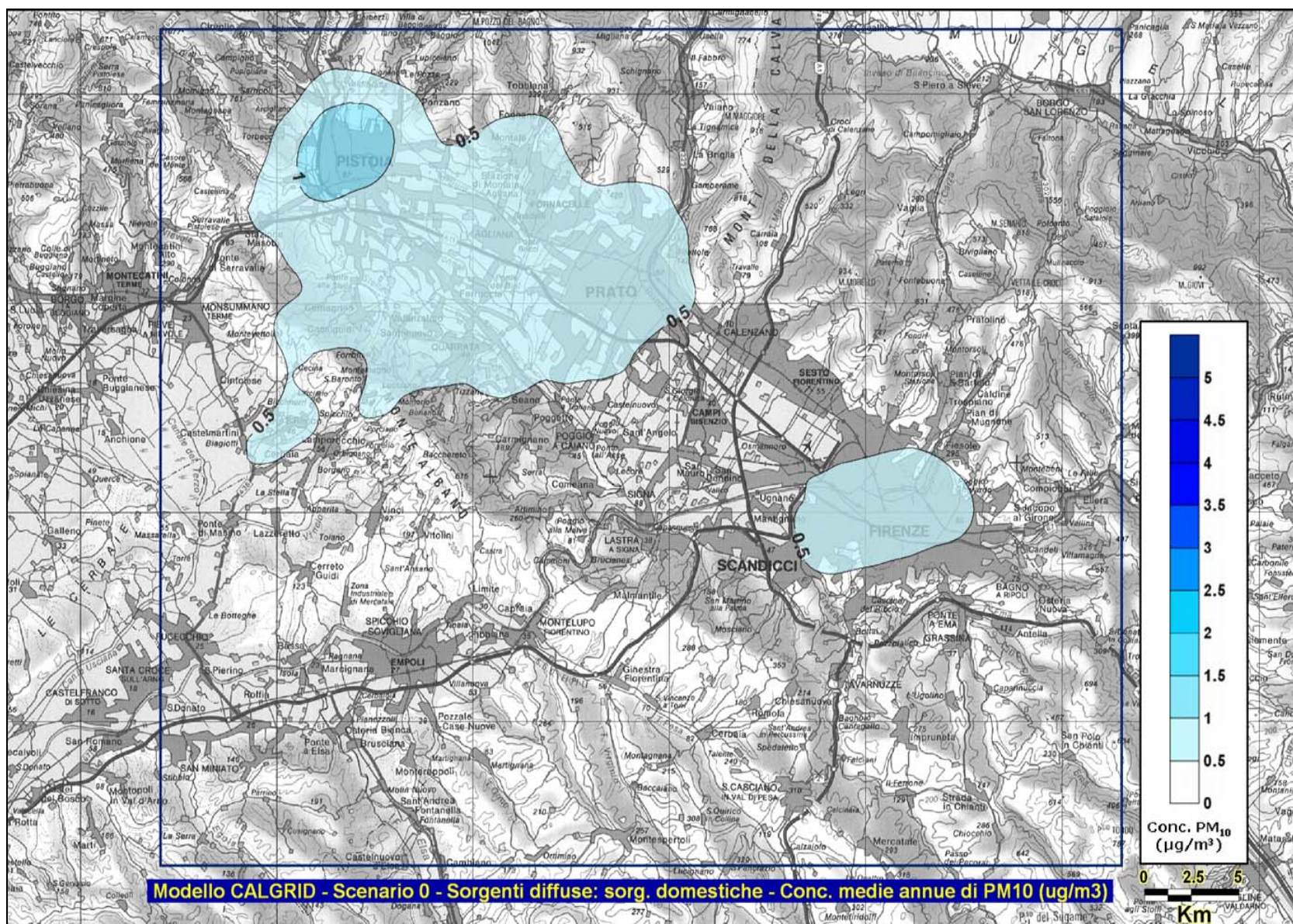
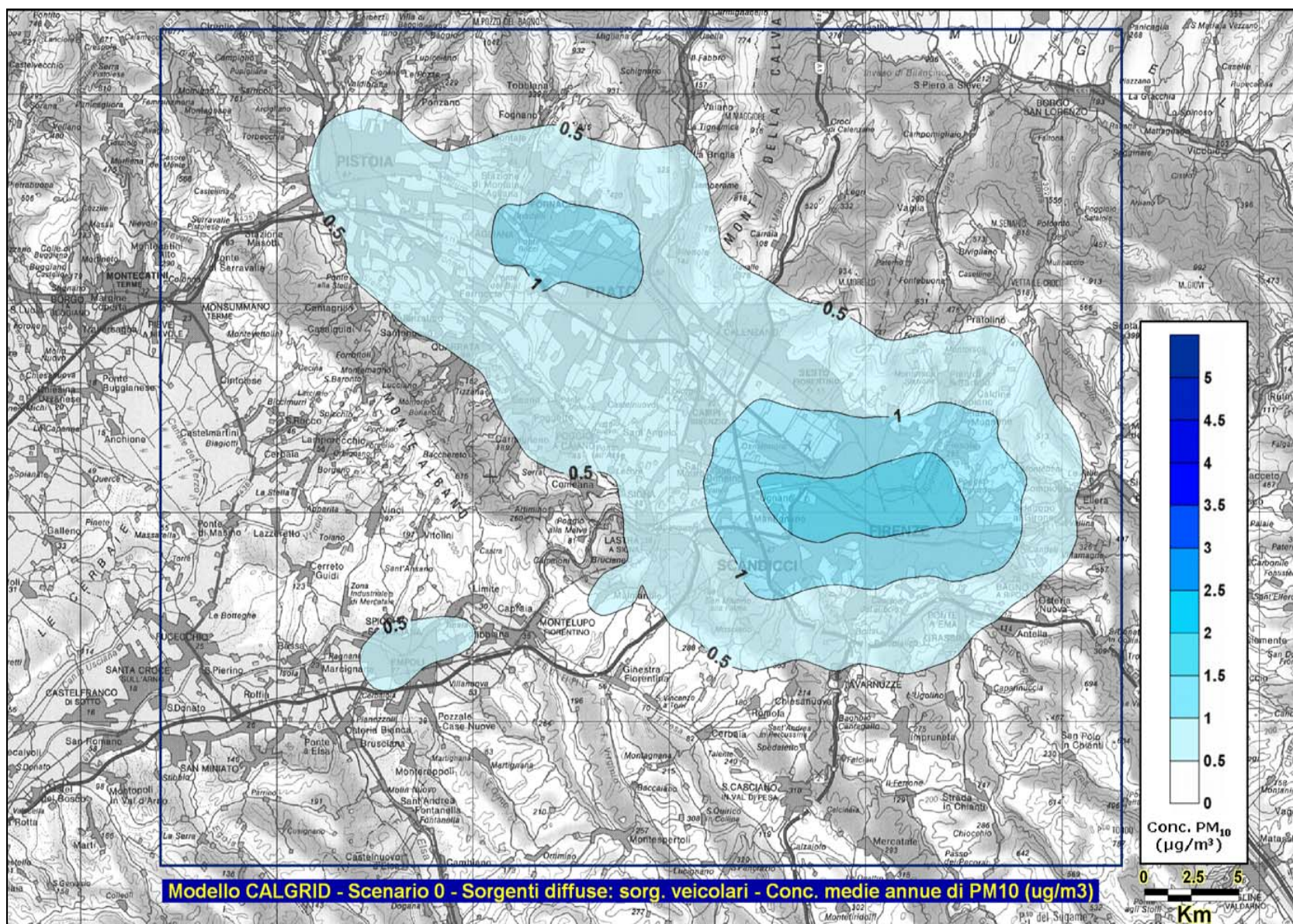


Fig. 27 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute alle domestiche (riscaldamento/climatizzazione) classificate come diffuse (tipo "DIFF_RIS") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).



Modello CALGRID - Scenario 0 - Sorgenti diffuse: sorg. veicolari - Conc. medie annue di PM₁₀ (ug/m³)

Fig. 28 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute alle sorgenti veicolari (traffico) classificate come diffuse (tipo "DIFF_MOB") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

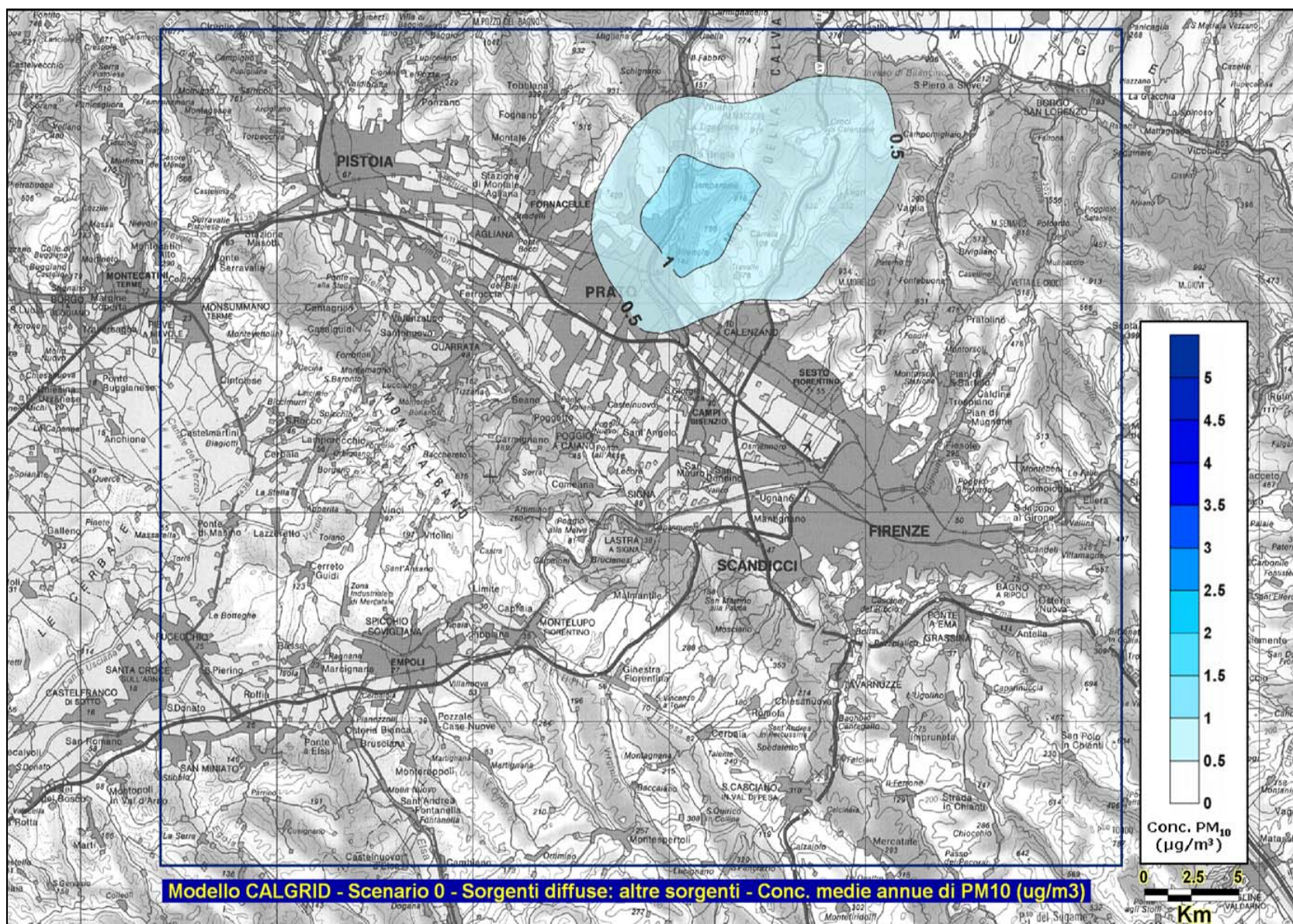


Fig. 29 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute alle altre sorgenti generiche classificate come diffuse (tipo "DIFF_ALT") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

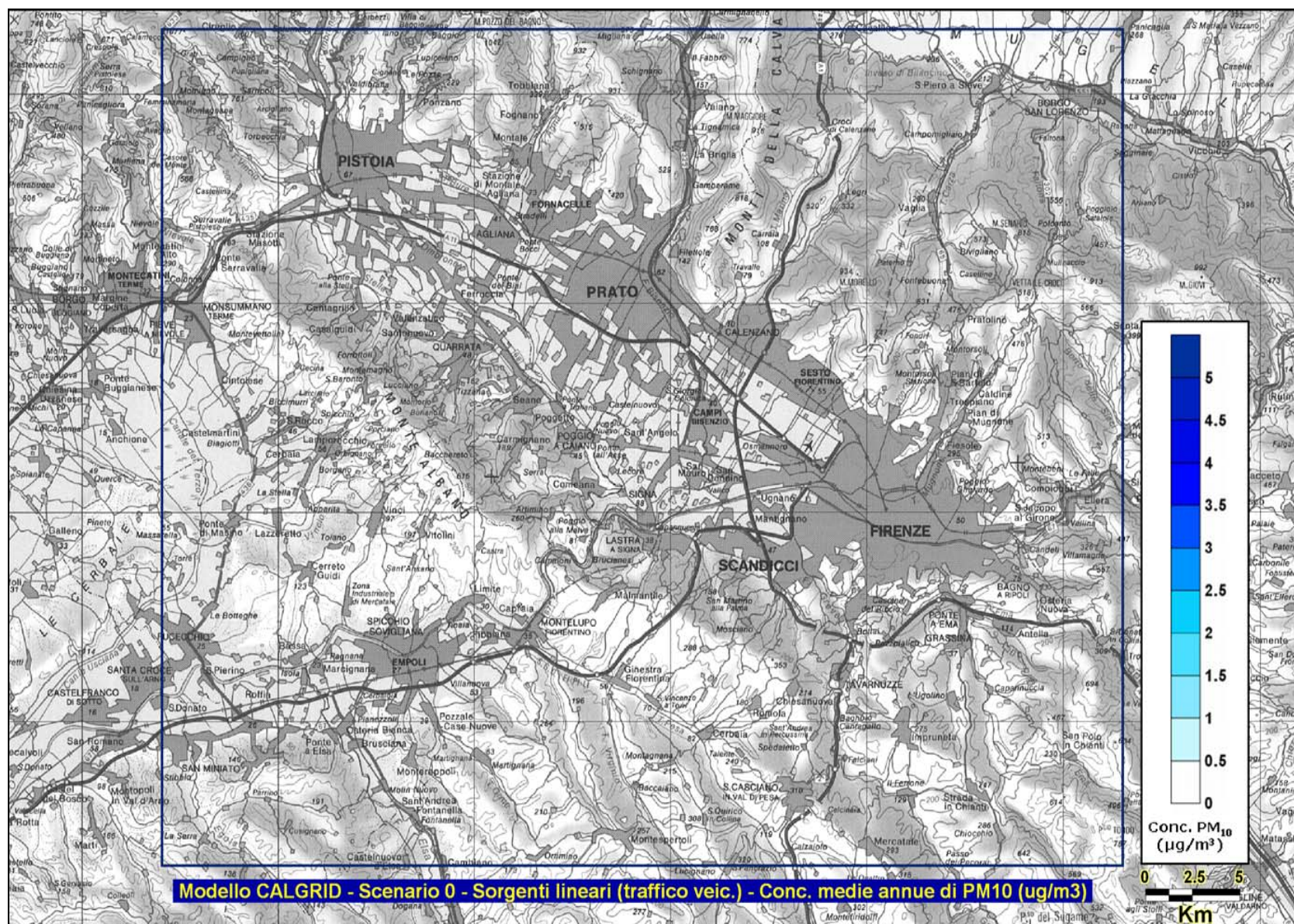


Fig. 30 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute alle sorgenti lineari (grandi arterie stradali, tipo "LIN") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

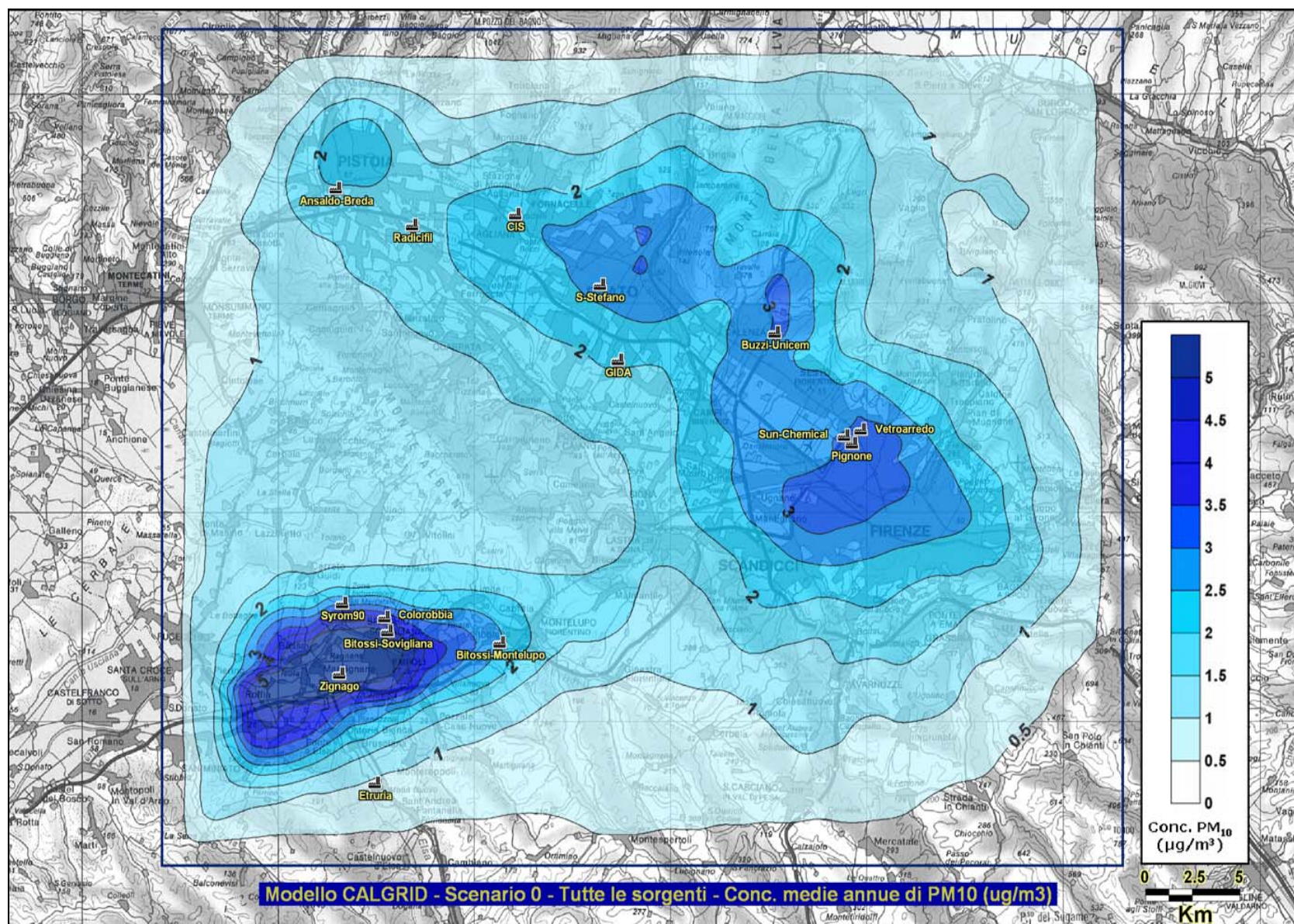


Fig. 31 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute a tutte le sorgenti (puntuali, lineari e diffuse) stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

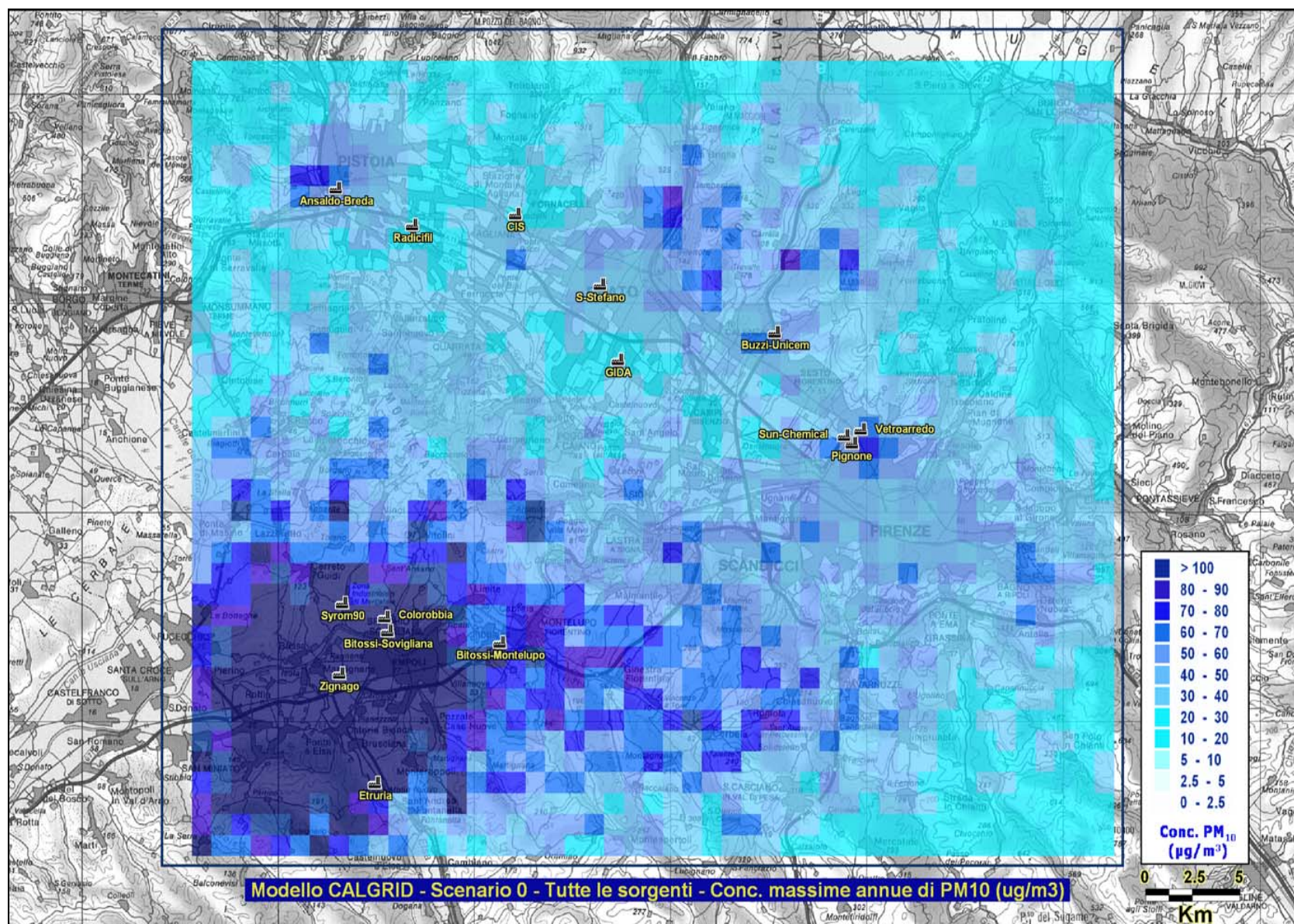


Fig. 32 - Mappa delle concentrazioni massime annue al suolo di PM₁₀ dovute a tutte le sorgenti (puntuali, lineari e diffuse) stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 0).

Scenario 1:
scenario futuro "*business as usual*"

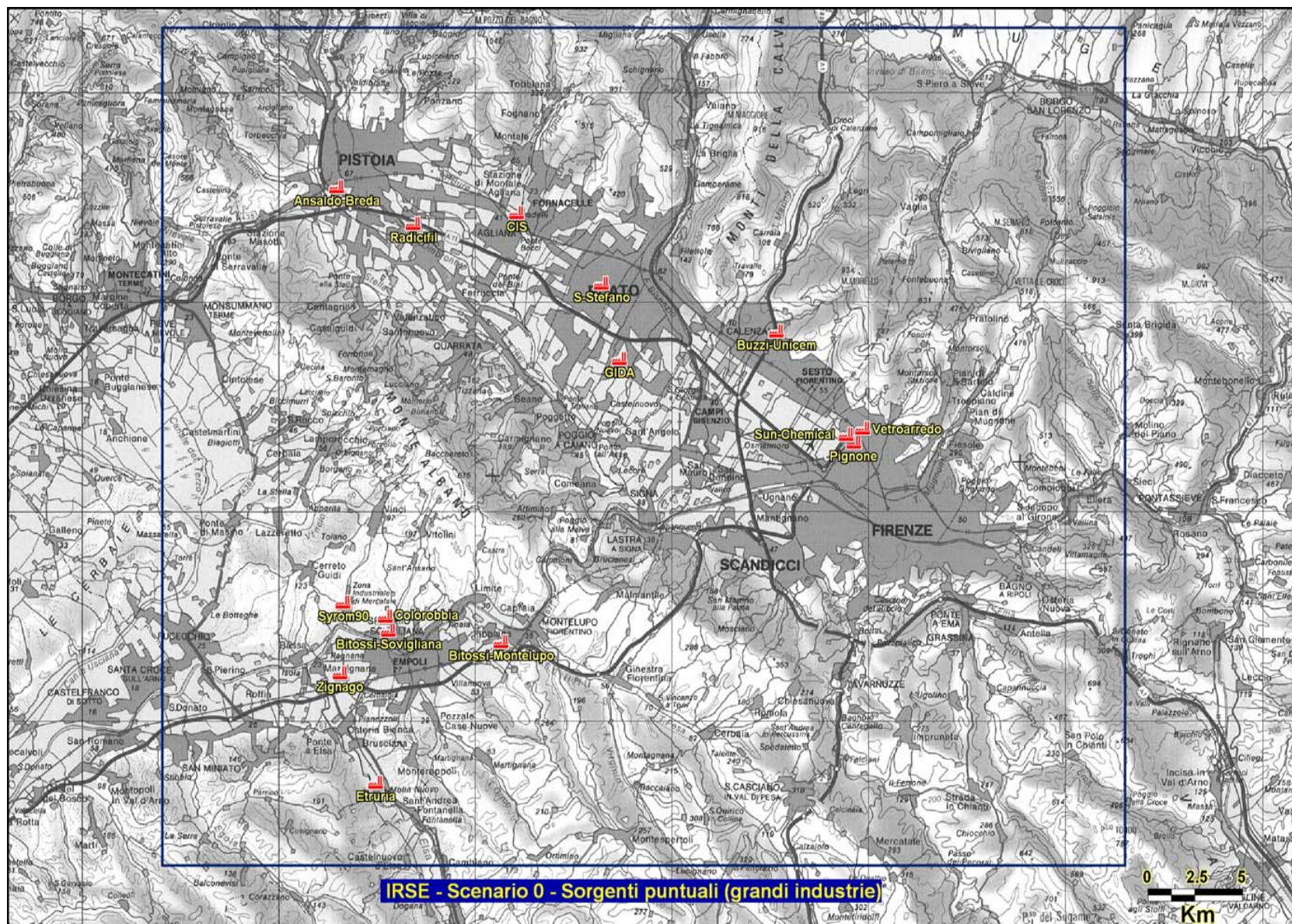


Fig. 33 - Ubicazione delle sorgenti puntuali (grandi industrie, tipo "PUNT") all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

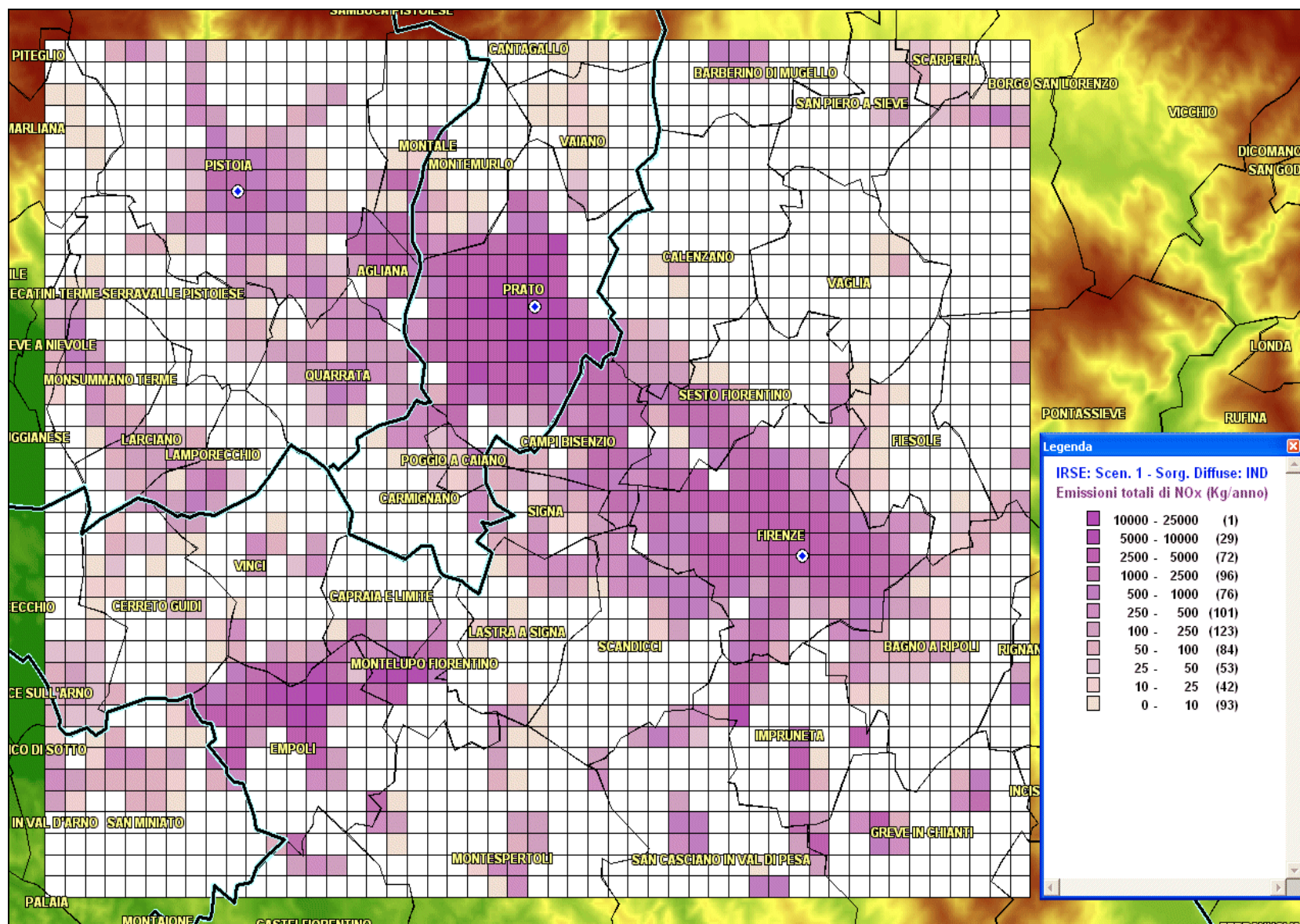


Fig. 34 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di NO_x da sorgenti industriali classificate come diffuse (tipo "DIFF_IND") nell'area di studio (Scenario 1).

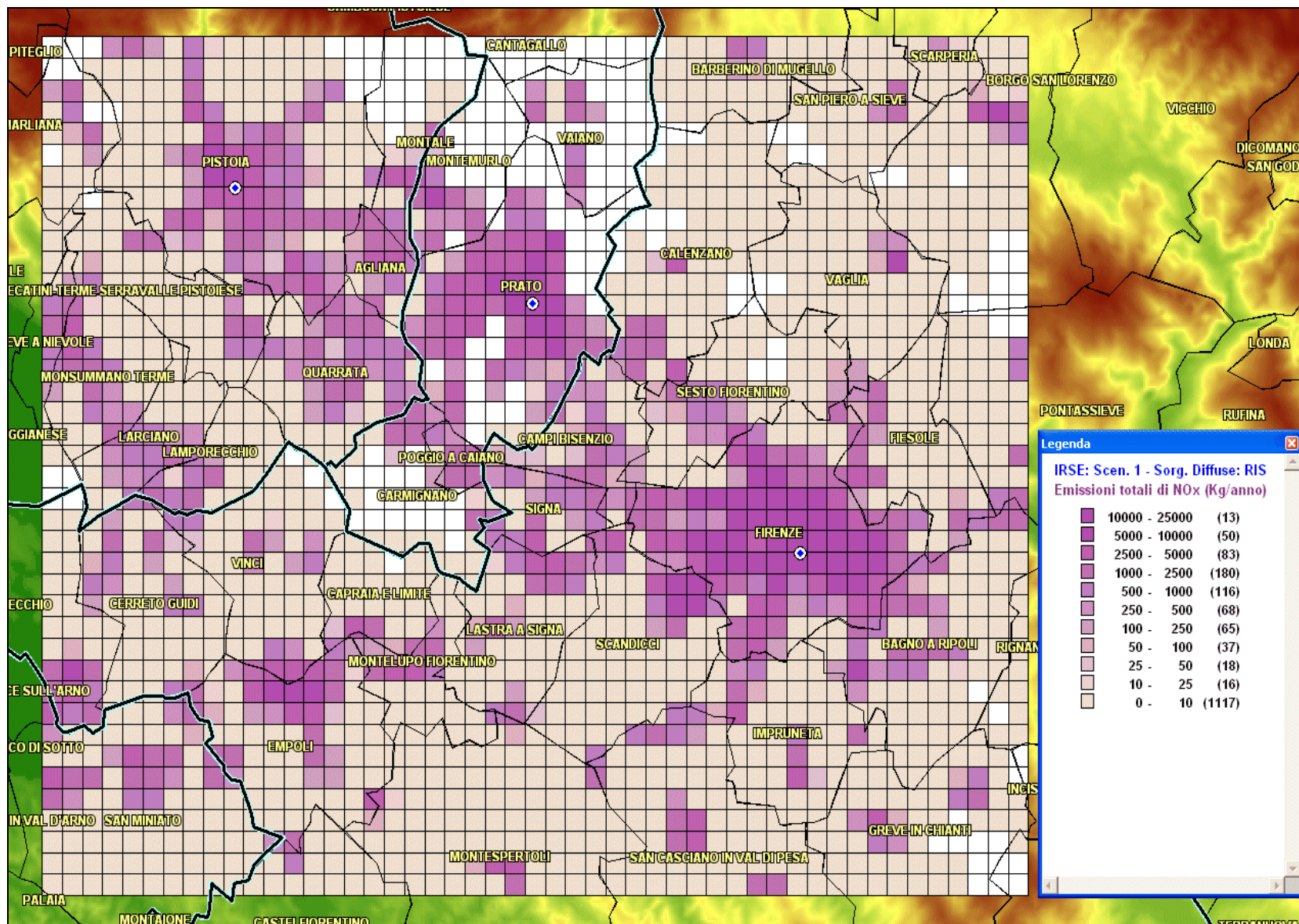


Fig. 35 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di NO_x da sorgenti domestiche (riscaldamento/climatizzazione) classificate come diffuse (tipo "DIFF_RIS") nell'area di studio (Scenario 1).

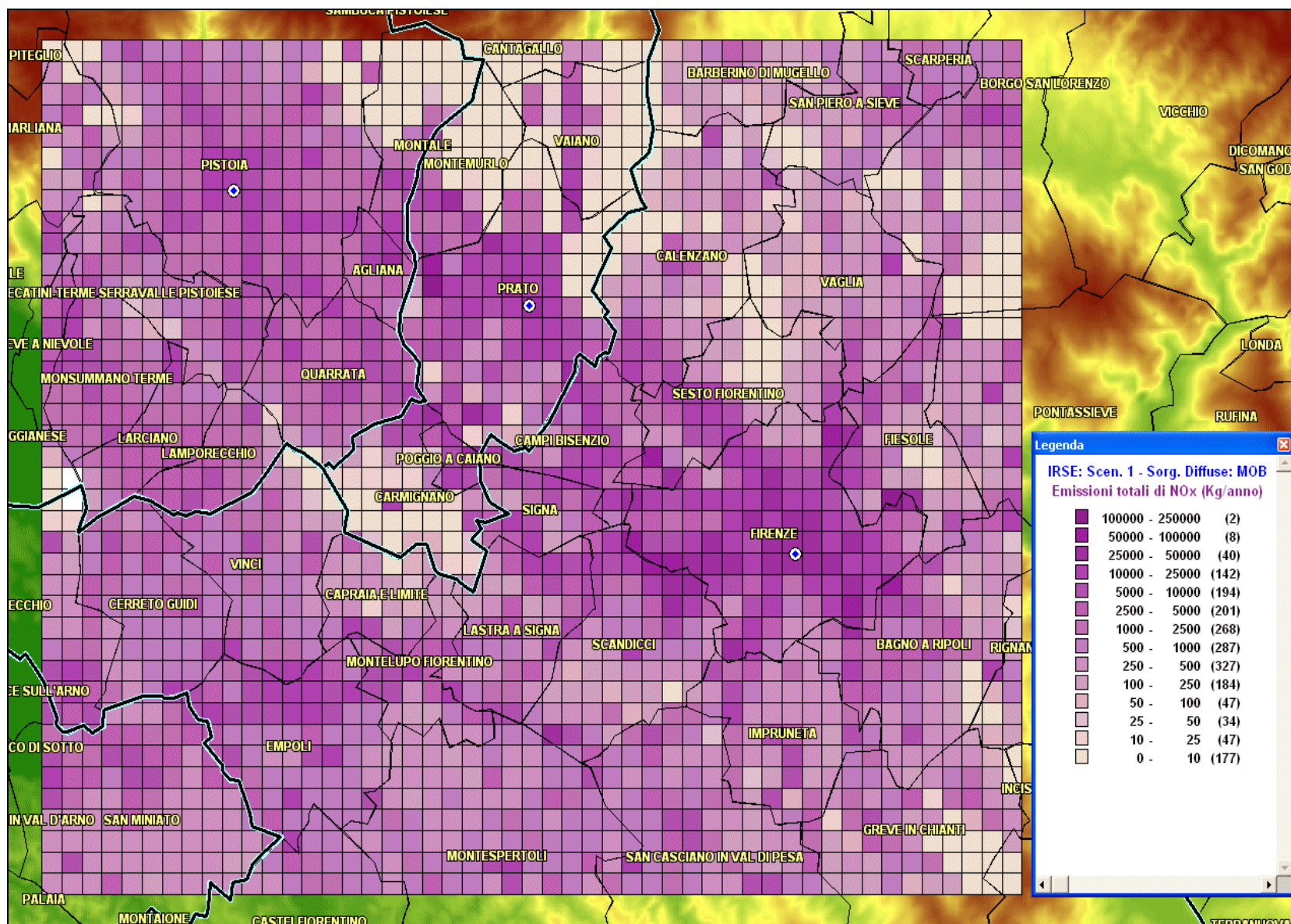


Fig. 36 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di NO_x da sorgenti veicolari (traffico) classificate come diffuse (tipo "DIFF_MOB") nell'area di studio (Scenario 1).

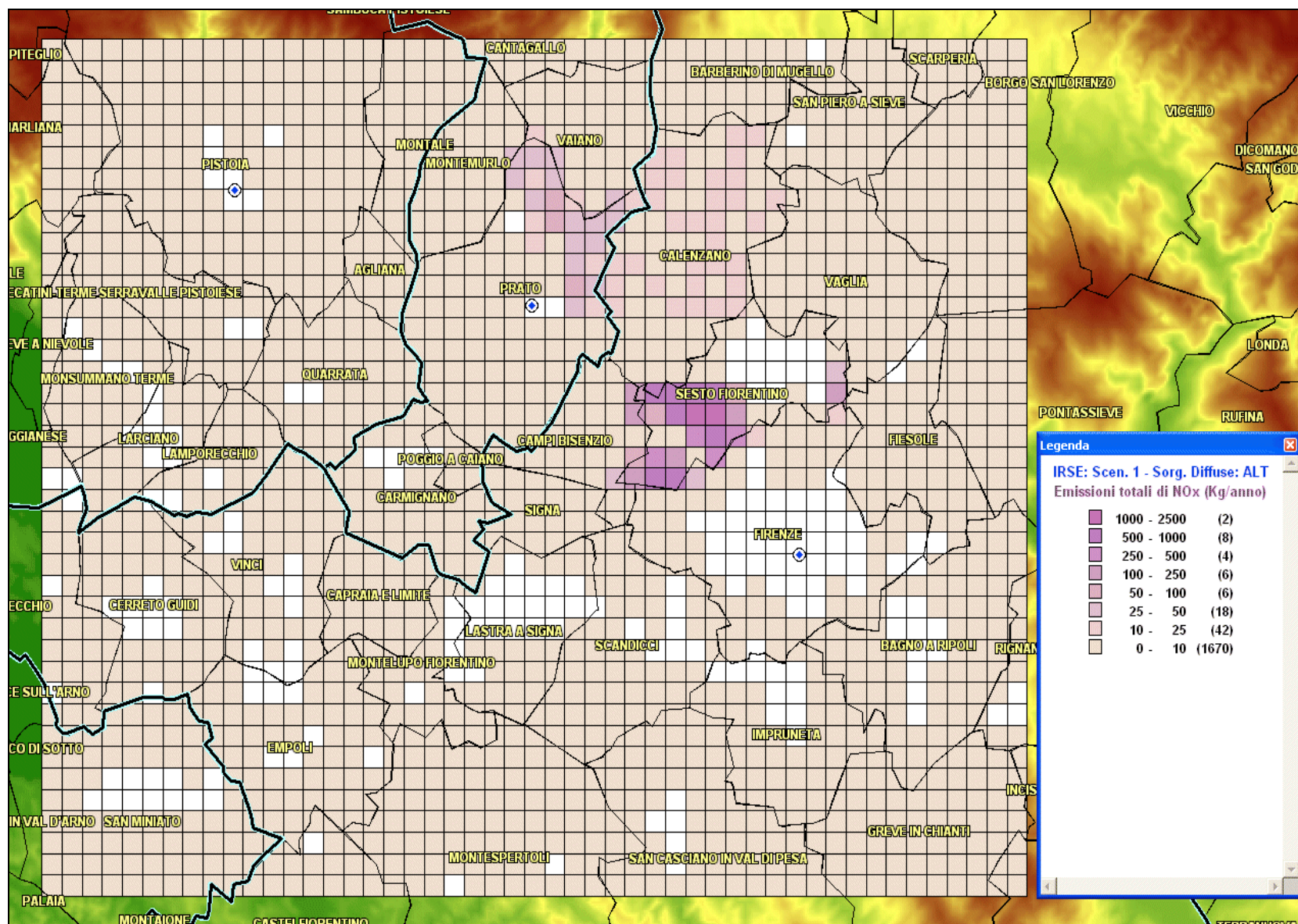


Fig. 37 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di NO_x da altre sorgenti generiche classificate come diffuse (tipo "DIFF_ALT") nell'area di studio (Scenario 1).

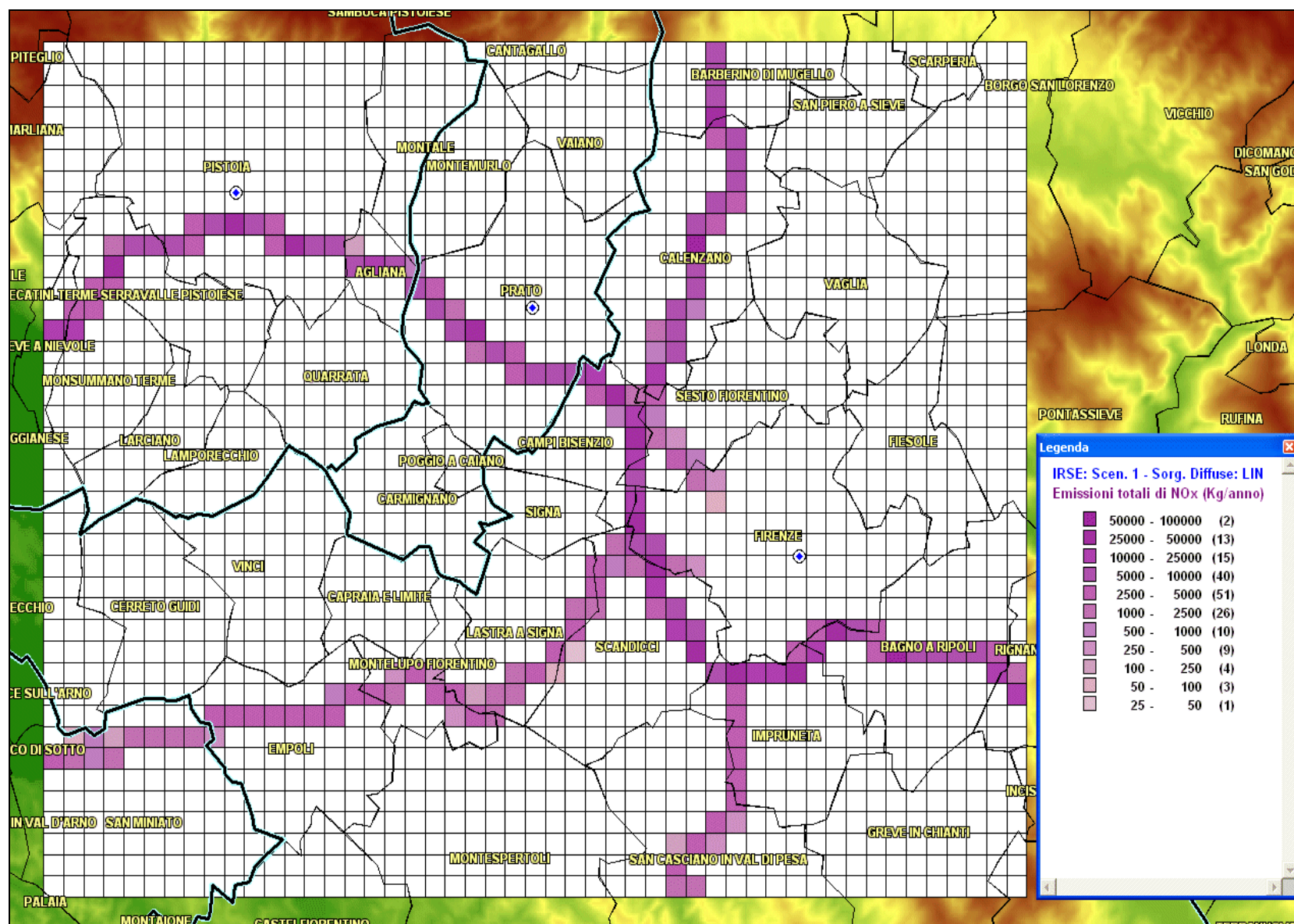


Fig. 38 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di NO_x da sorgenti lineari (grandi arterie stradali, tipo "LIN") nell'area di studio (Scenario 1).

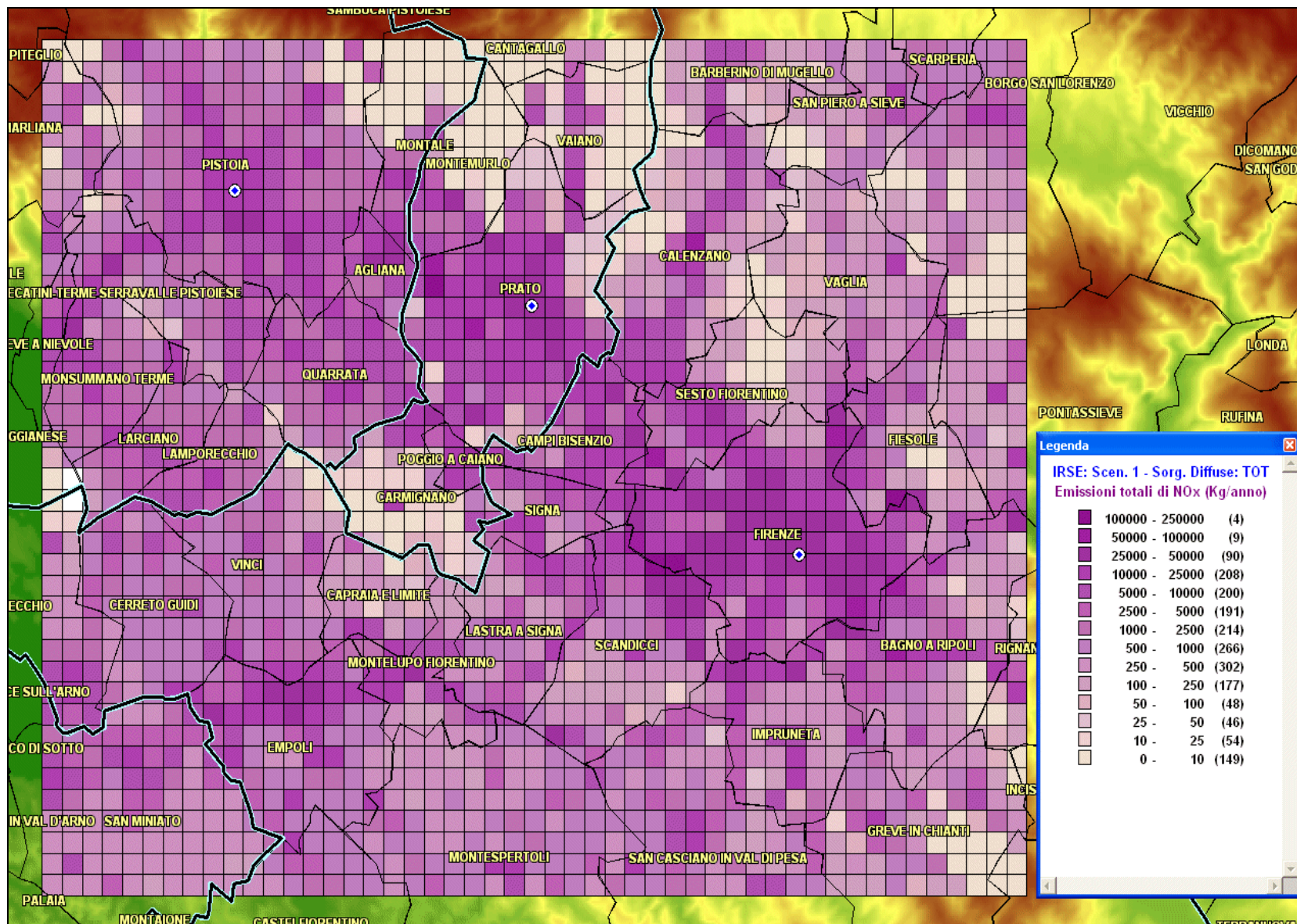


Fig. 39 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di NO_x di tutte le sorgenti (lineari e diffuse) nell'area di studio (Scenario 1).

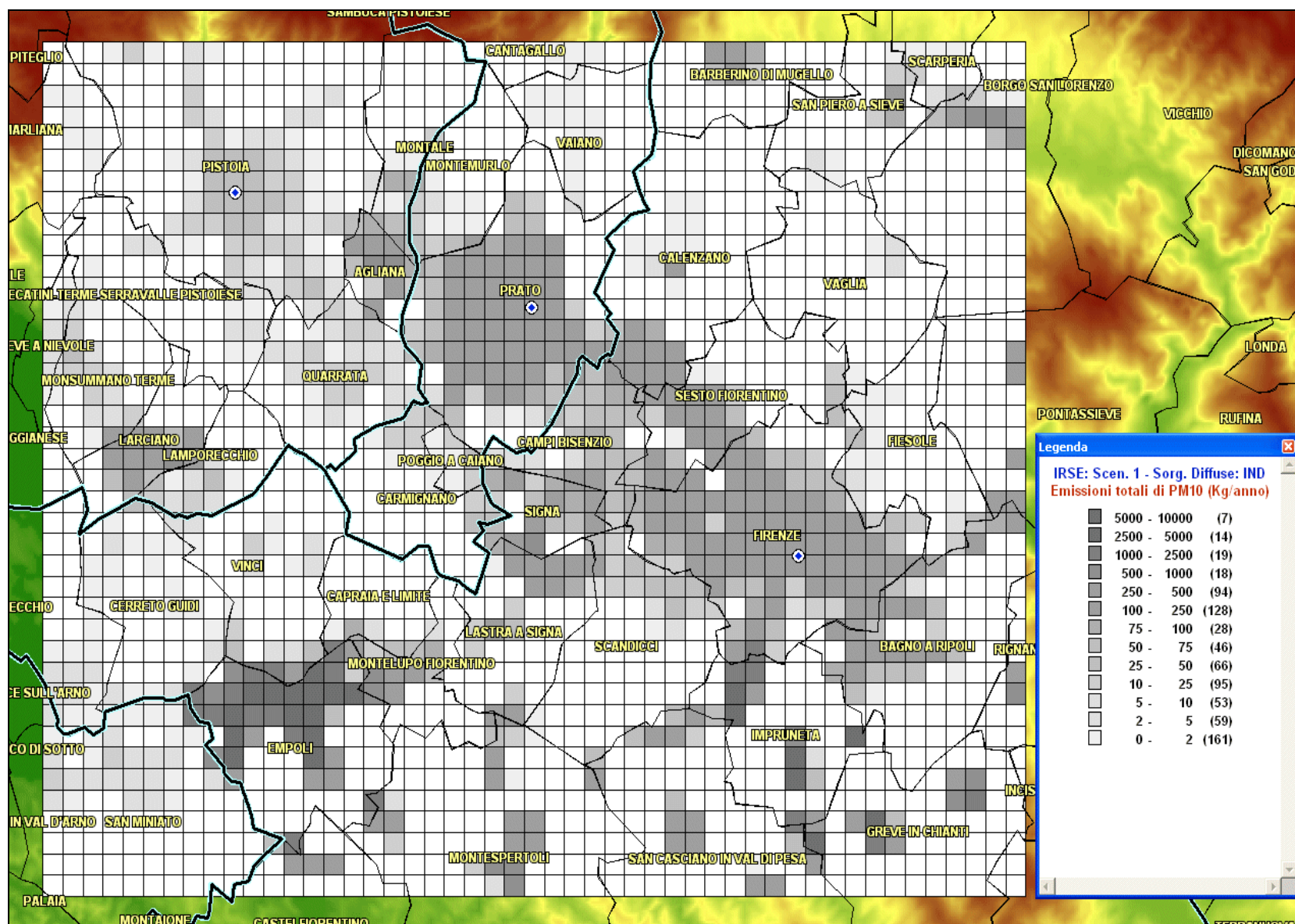


Fig. 40 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di PM₁₀ da sorgenti industriali classificate come diffuse (tipo "DIFF_IND") nell'area di studio (Scenario 1).

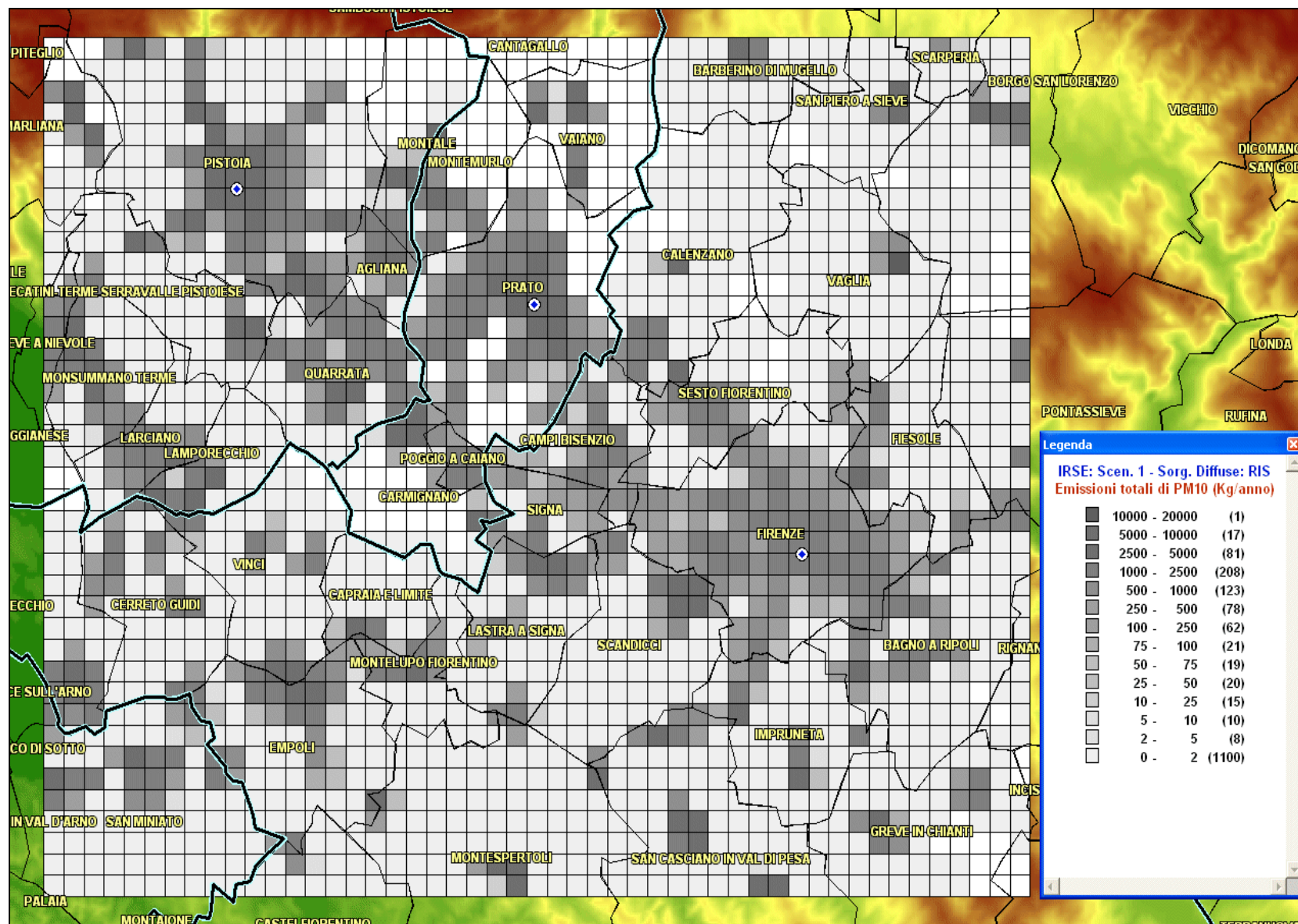


Fig. 41 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di PM₁₀ da sorgenti domestiche (riscaldamento/climatizzazione) classificate come diffuse (tipo "DIFF_RIS") nell'area di studio (Scenario 1).

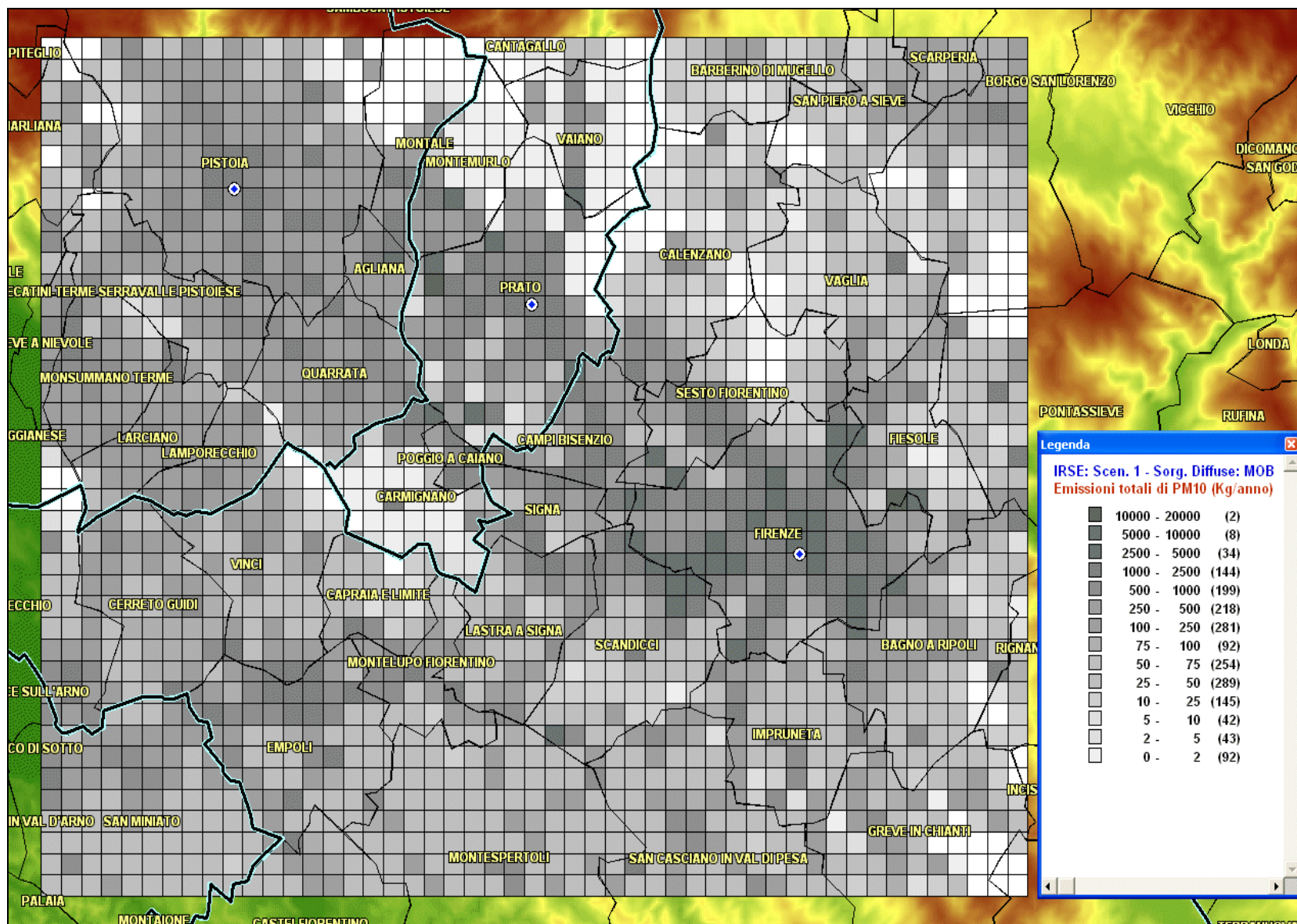


Fig. 42 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di PM₁₀ da sorgenti veicolari (traffico) classificate come diffuse (tipo "DIFF_MOB") nell'area di studio (Scenario 1).

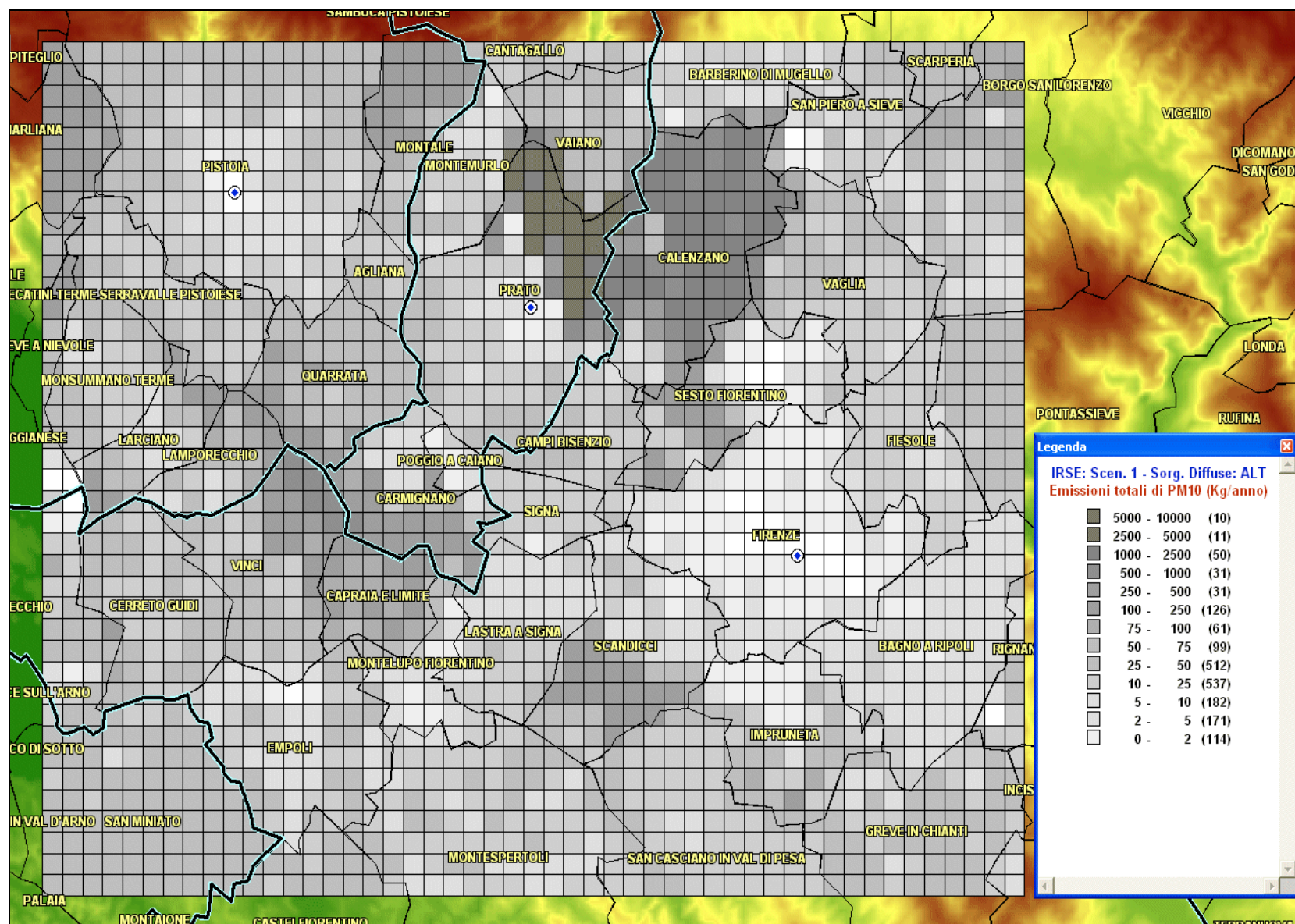


Fig. 43 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di PM₁₀ da altre sorgenti generiche classificate come diffuse (tipo "DIFF_ALT") nell'area di studio (Scenario 1).

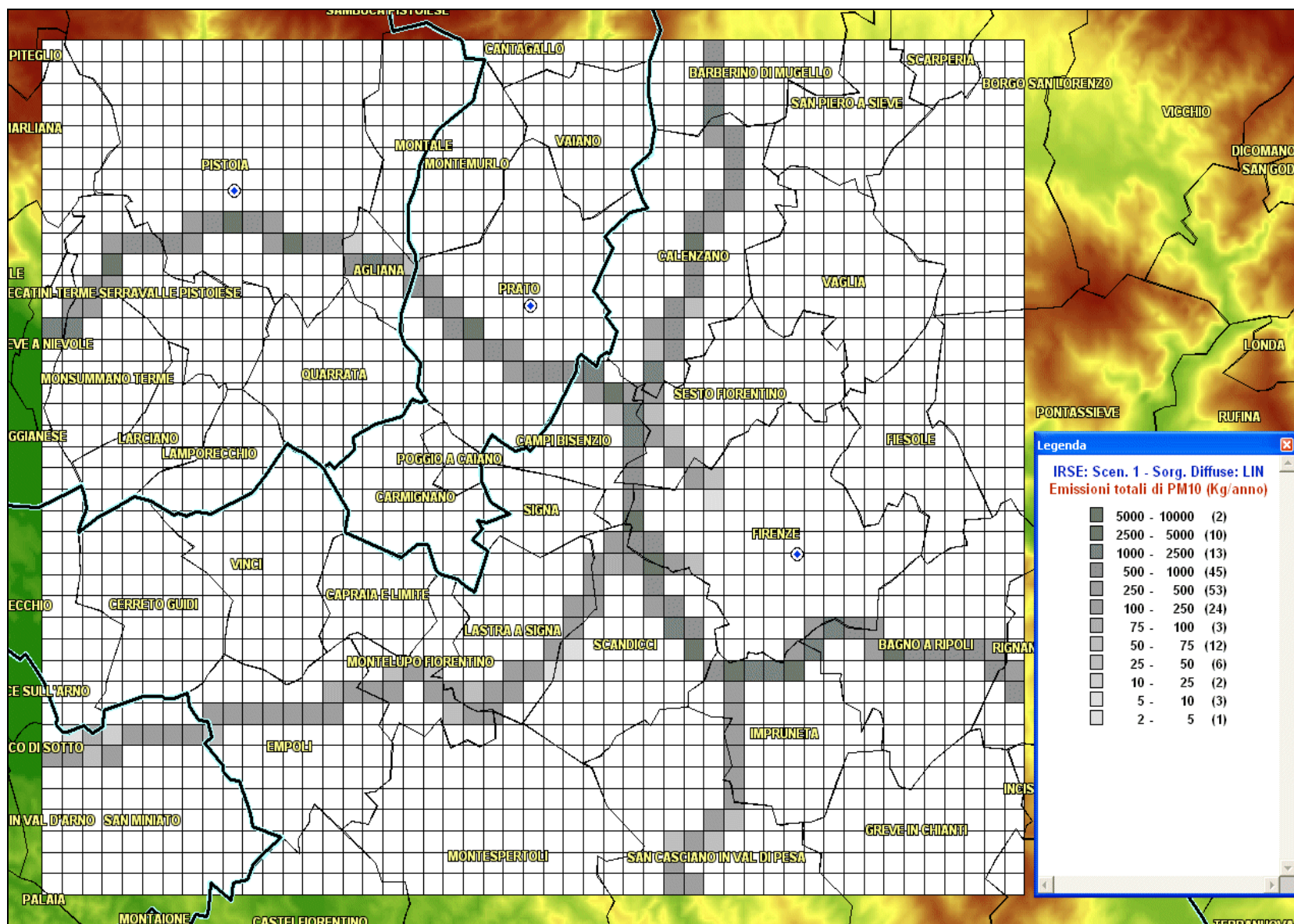


Fig. 44 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di PM₁₀ da sorgenti lineari (grandi arterie stradali, tipo "LIN") nell'area di studio (Scenario 1).

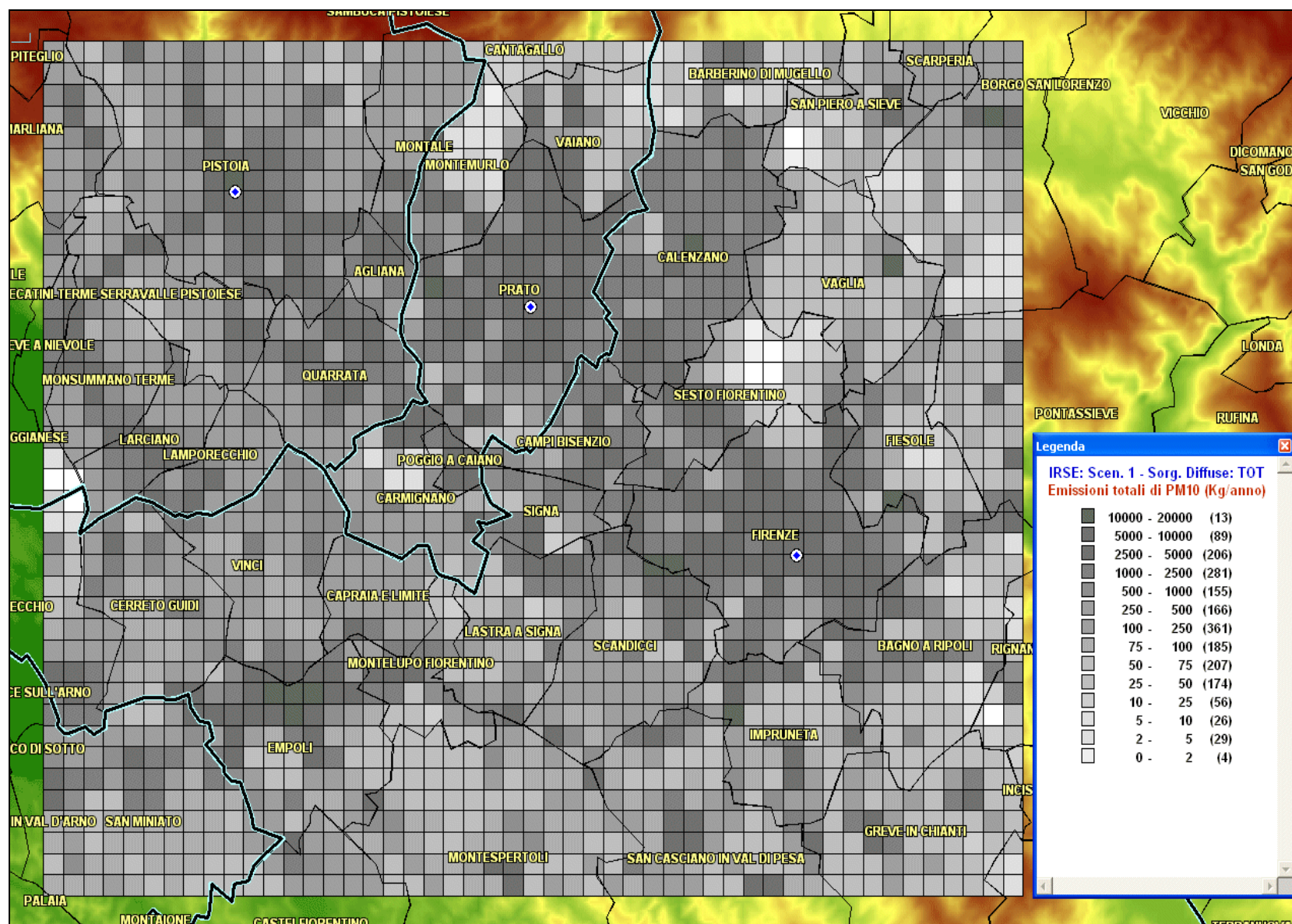


Fig. 45 - Rappresentazione grafica delle emissioni totali annue di PM₁₀ di tutte le sorgenti (lineari e diffuse) nell'area di studio (Scenario 1).

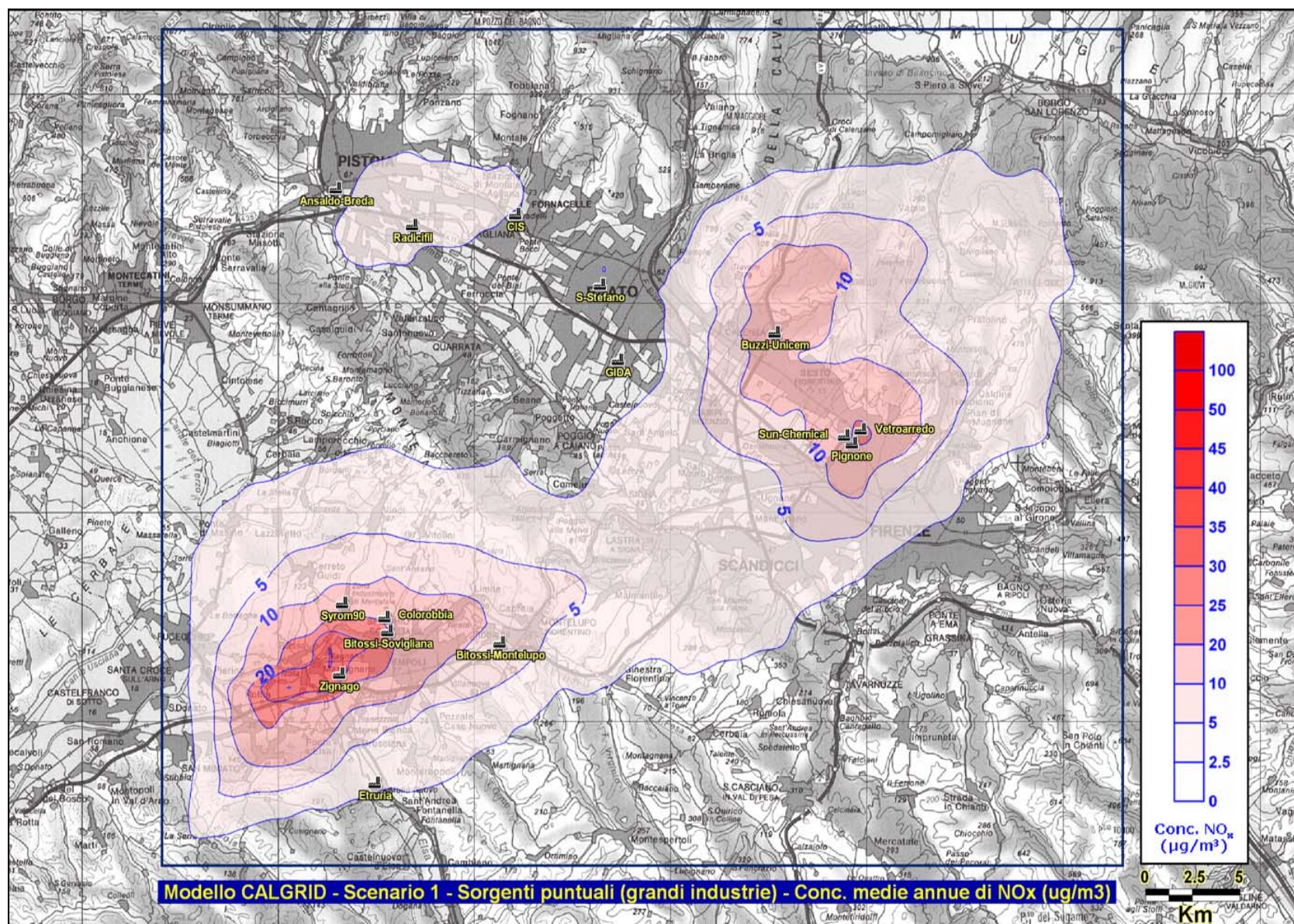


Fig. 46 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute alle sorgenti puntuali (grandi industrie, tipo "PUNT") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

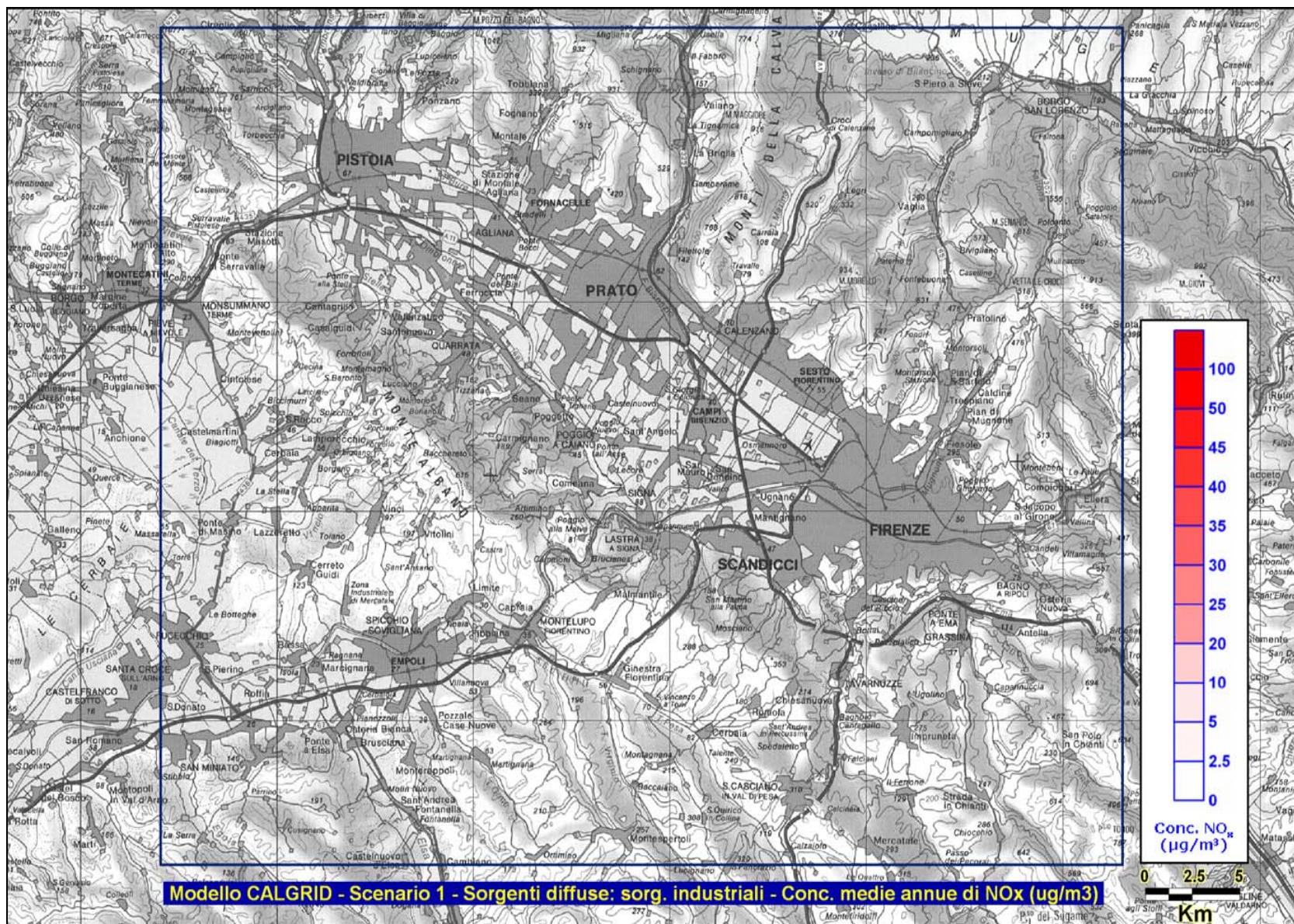


Fig. 47 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute alle sorgenti industriali classificate come diffuse (tipo "DIFF_IND") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

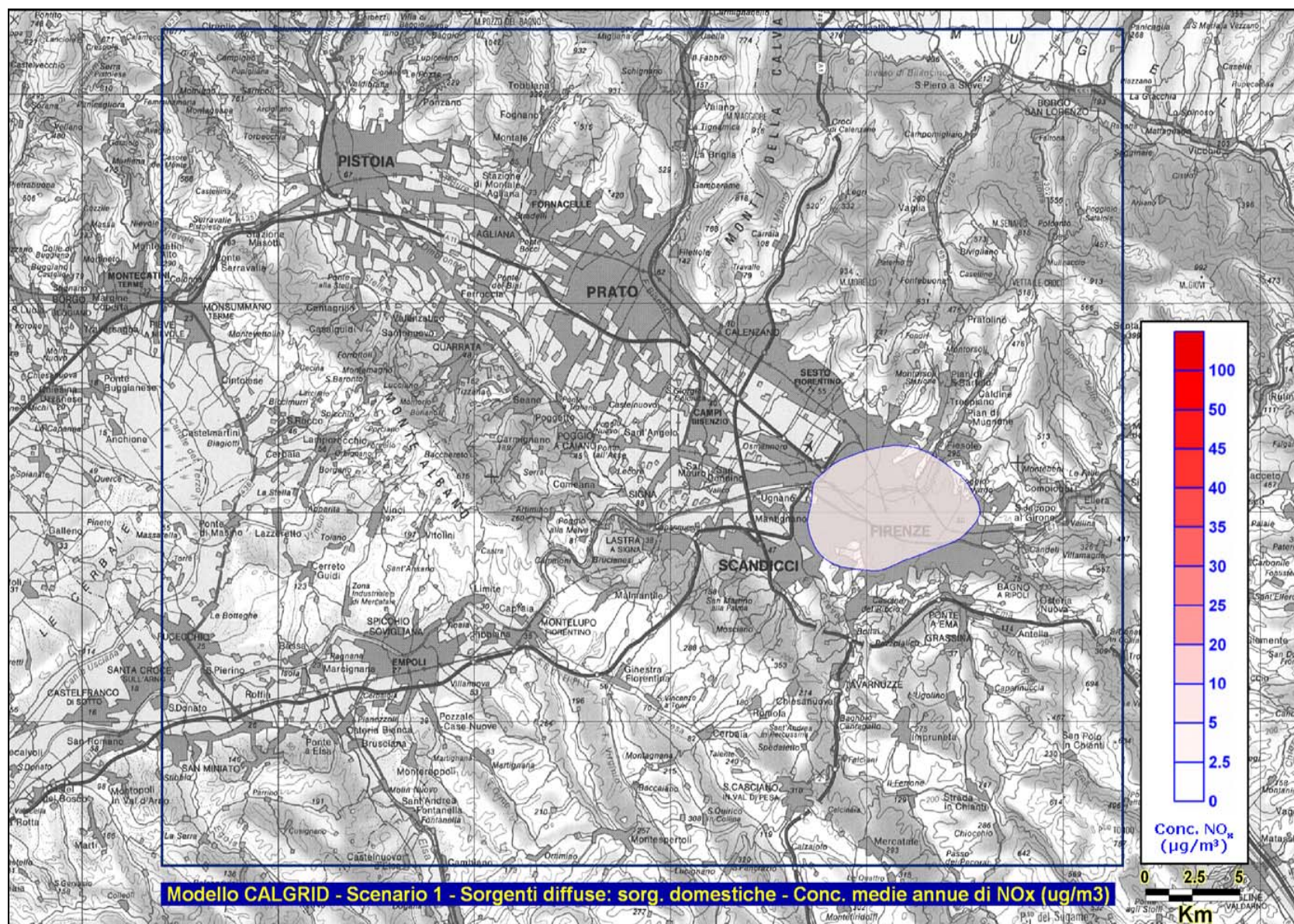


Fig. 48 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute alle sorgenti domestiche (riscaldamento/climatizzazione) classificate come diffuse (tipo "DIFF_RIS") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

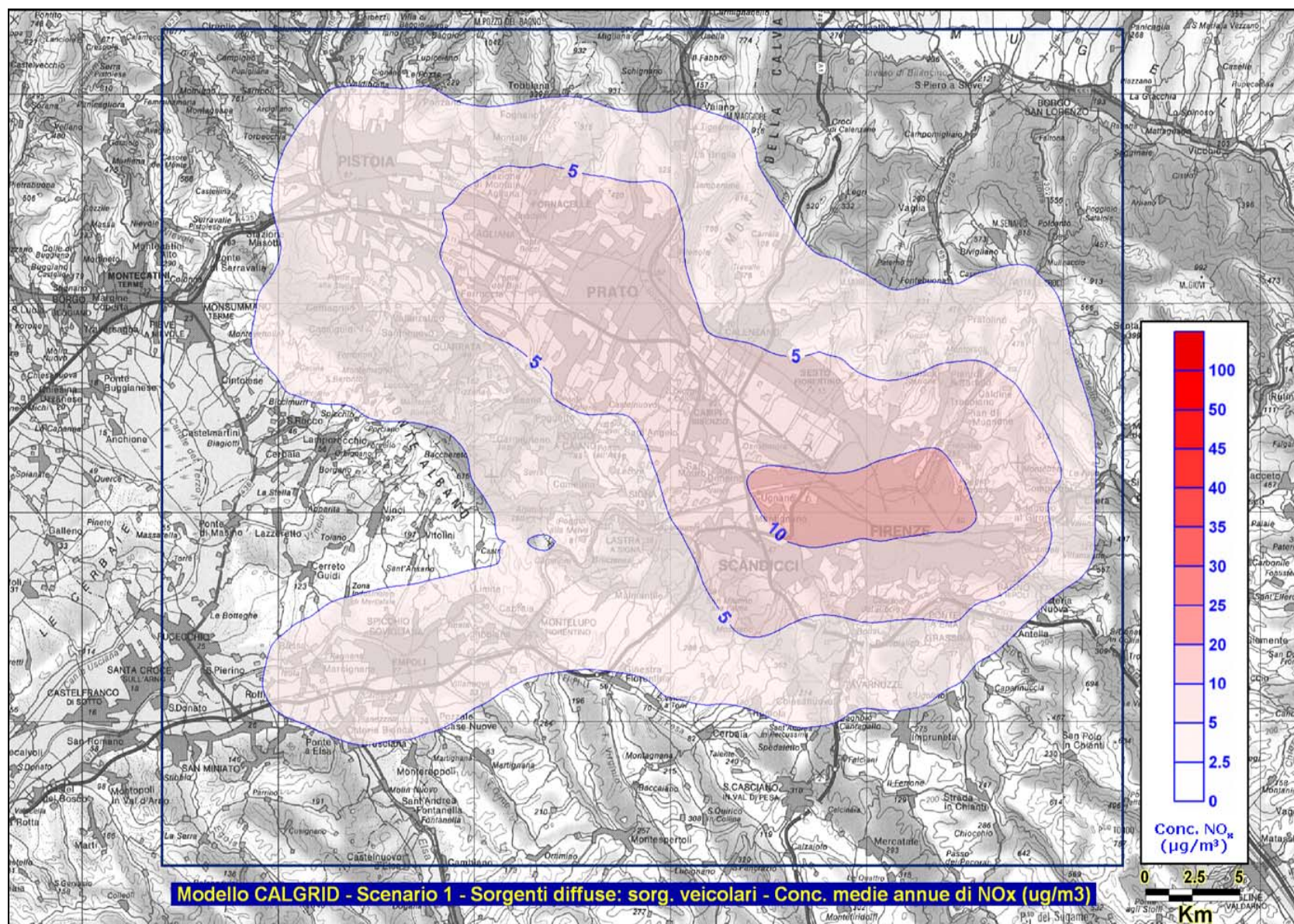


Fig. 49 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute alle sorgenti veicolari (traffico) classificate come diffuse (tipo "DIFF_MOB") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

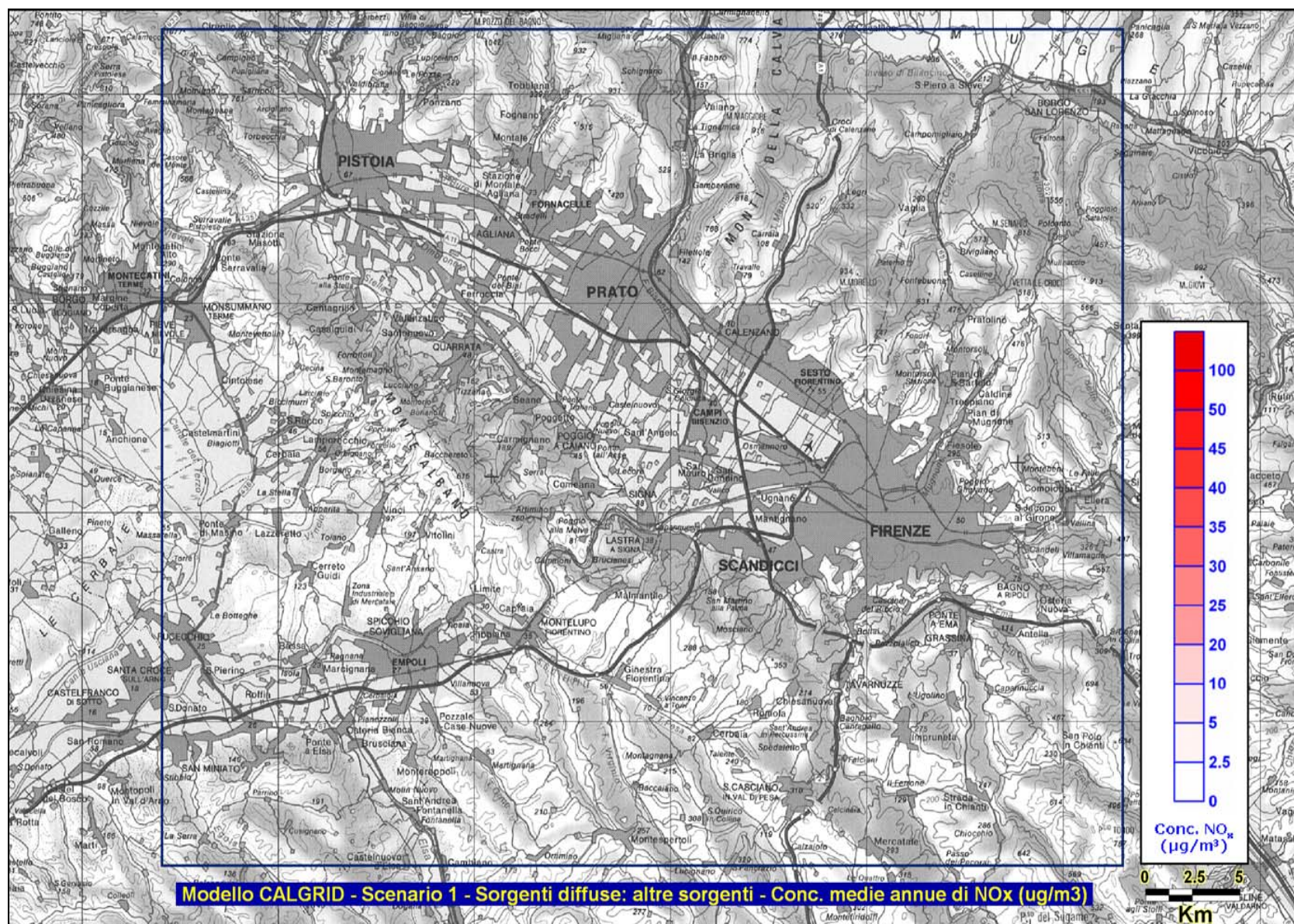


Fig. 50 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute alle altre sorgenti generiche classificate come diffuse (tipo "DIFF_ALT") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

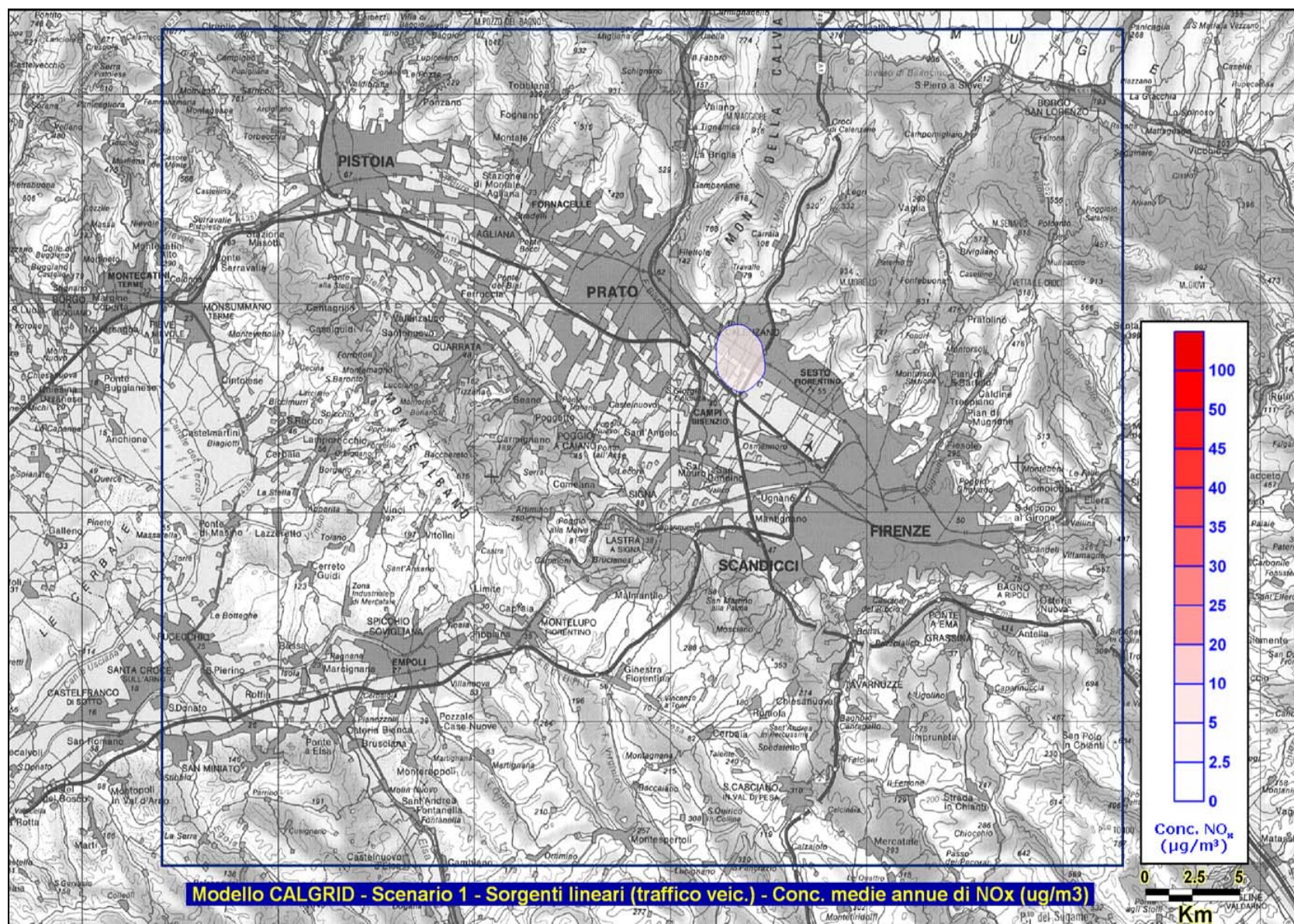


Fig. 51 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute alle sorgenti lineari (grandi arterie stradali, tipo "LIN") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

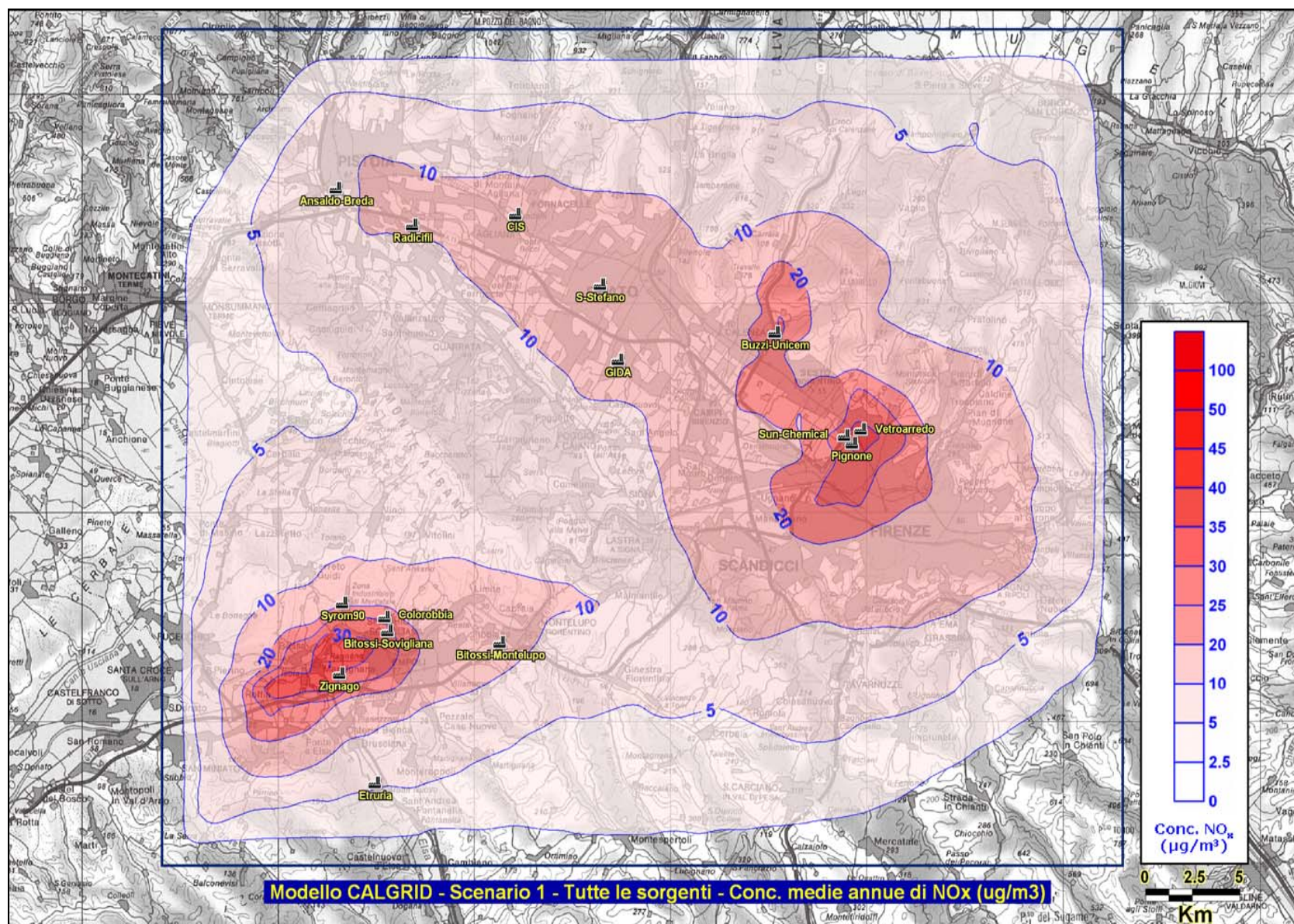


Fig. 52 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute a tutte le sorgenti (puntuali, lineari e diffuse) stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

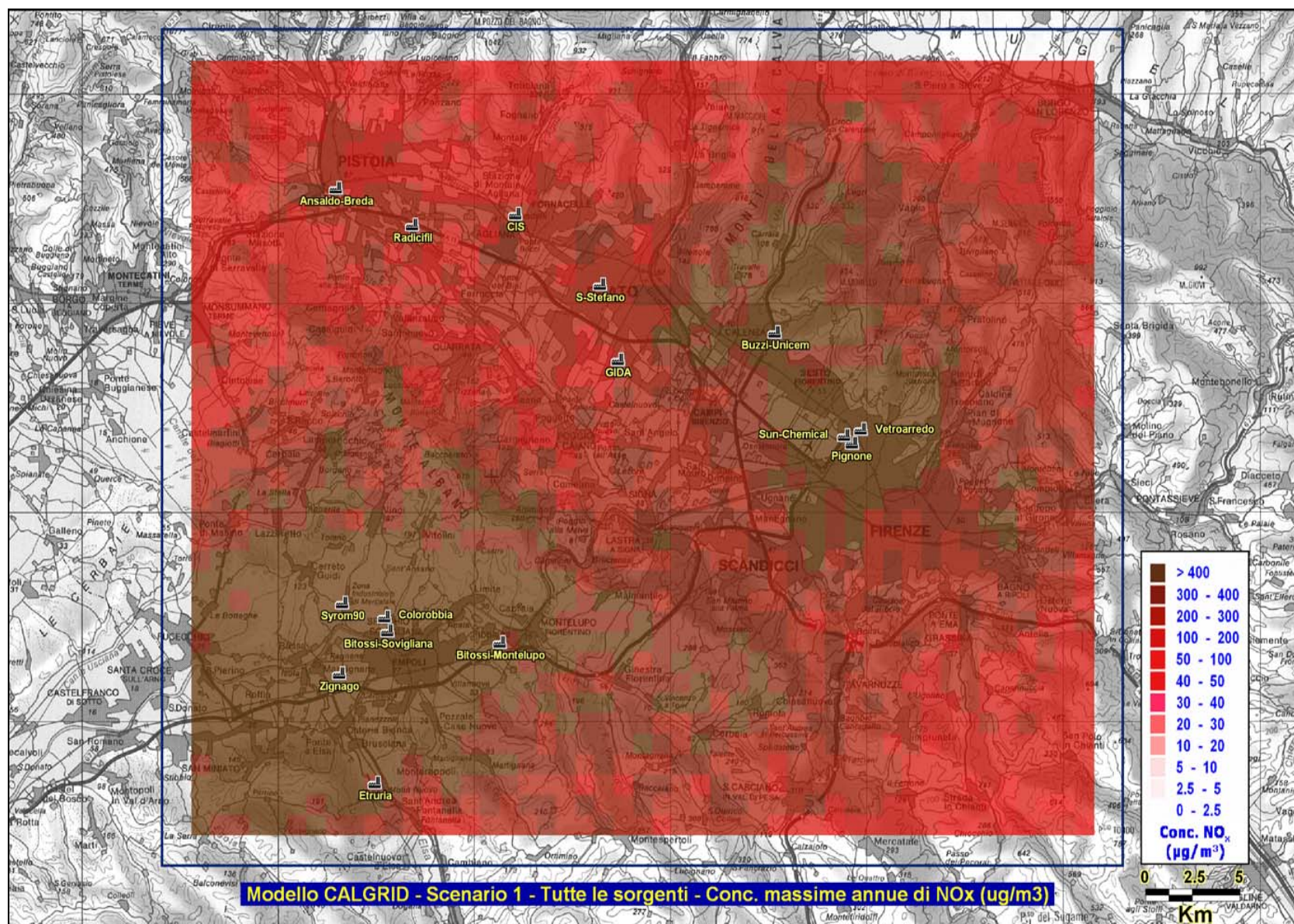


Fig. 53 - Mappa delle concentrazioni massime annue al suolo di NO_x dovute a tutte le sorgenti (puntuali, lineari e diffuse) stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

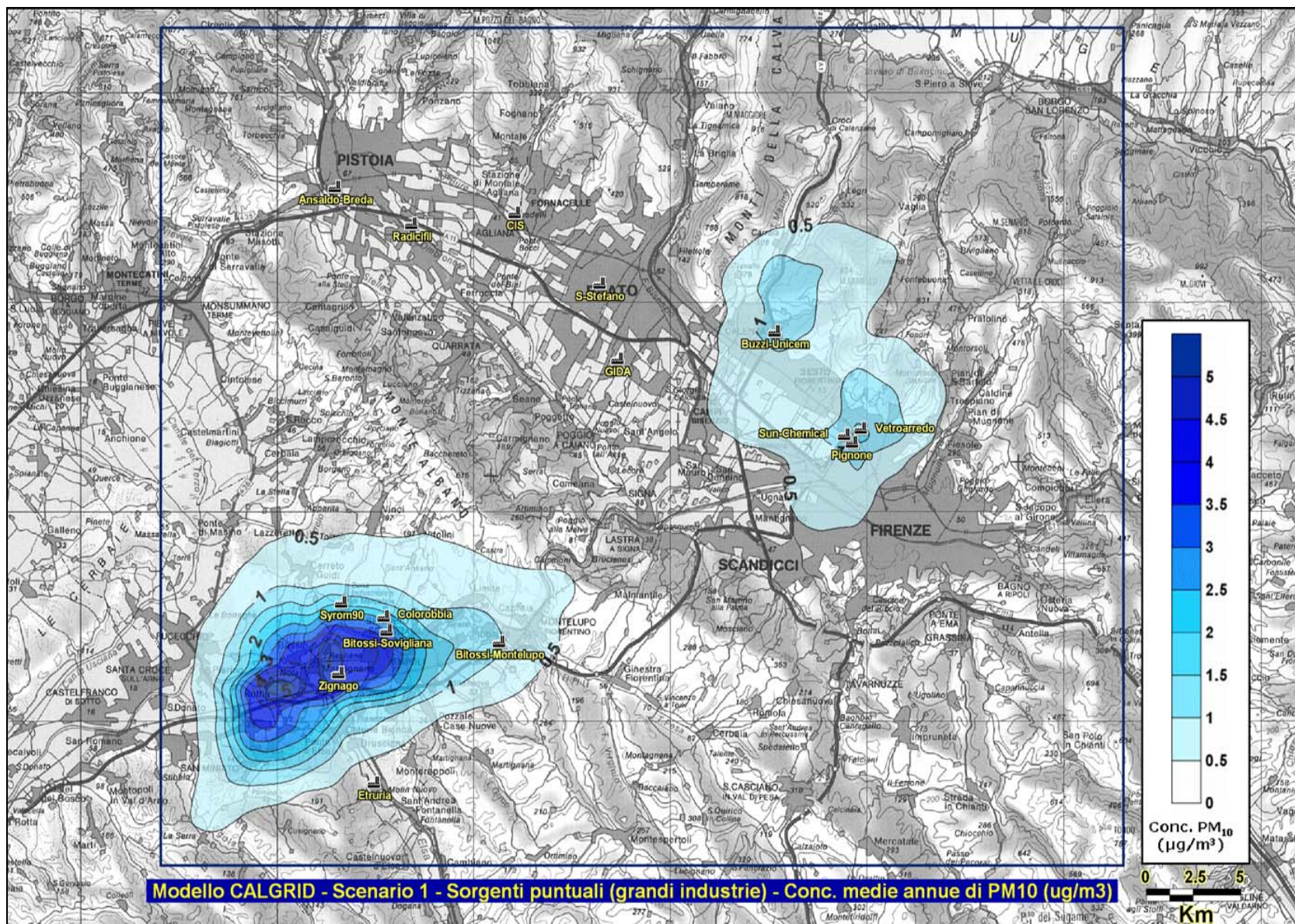


Fig. 54 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute alle sorgenti puntuali (grandi industrie, tipo "PUNT") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

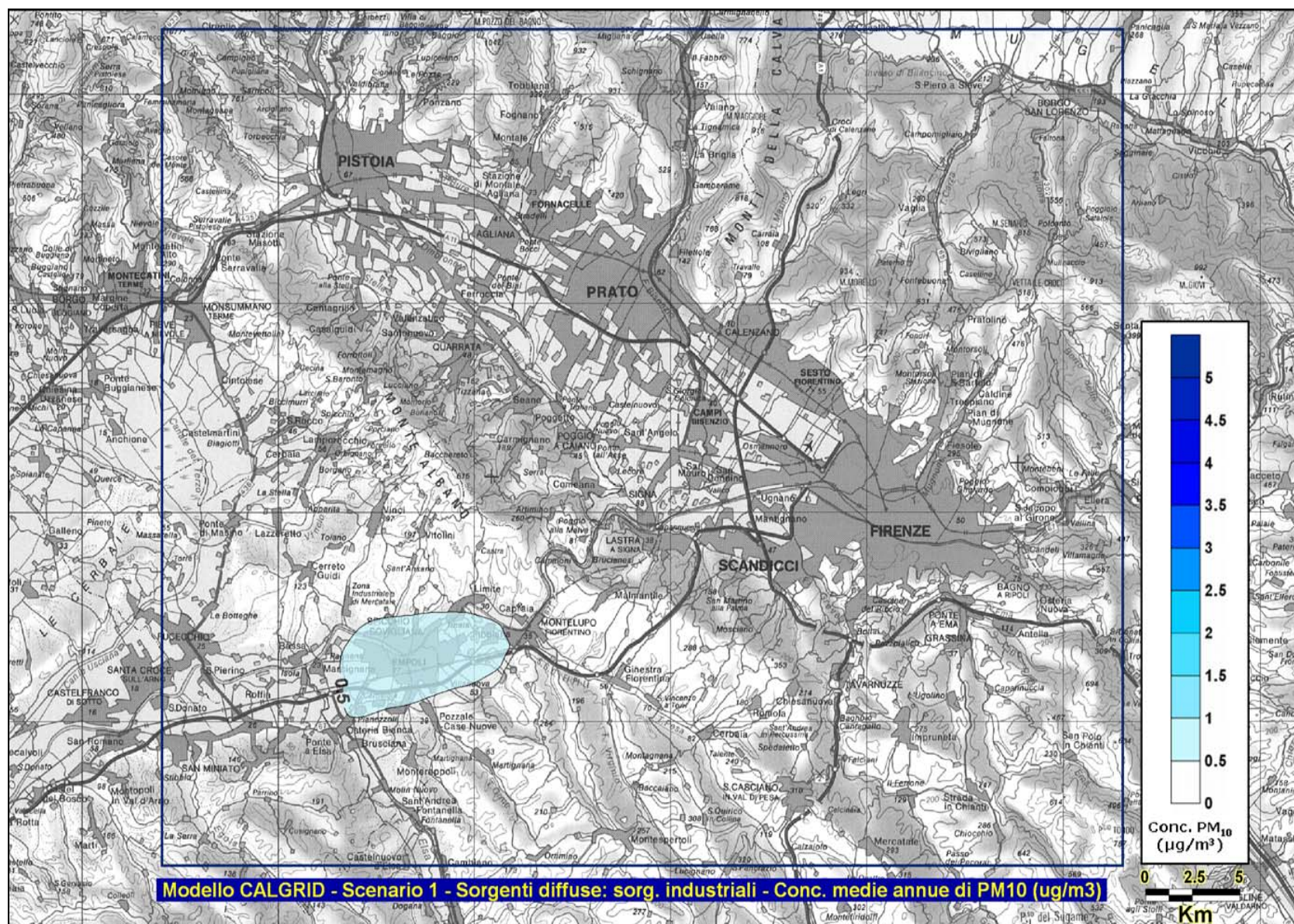


Fig. 55 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute alle sorgenti industriali classificate come diffuse (tipo "DIFF_IND") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

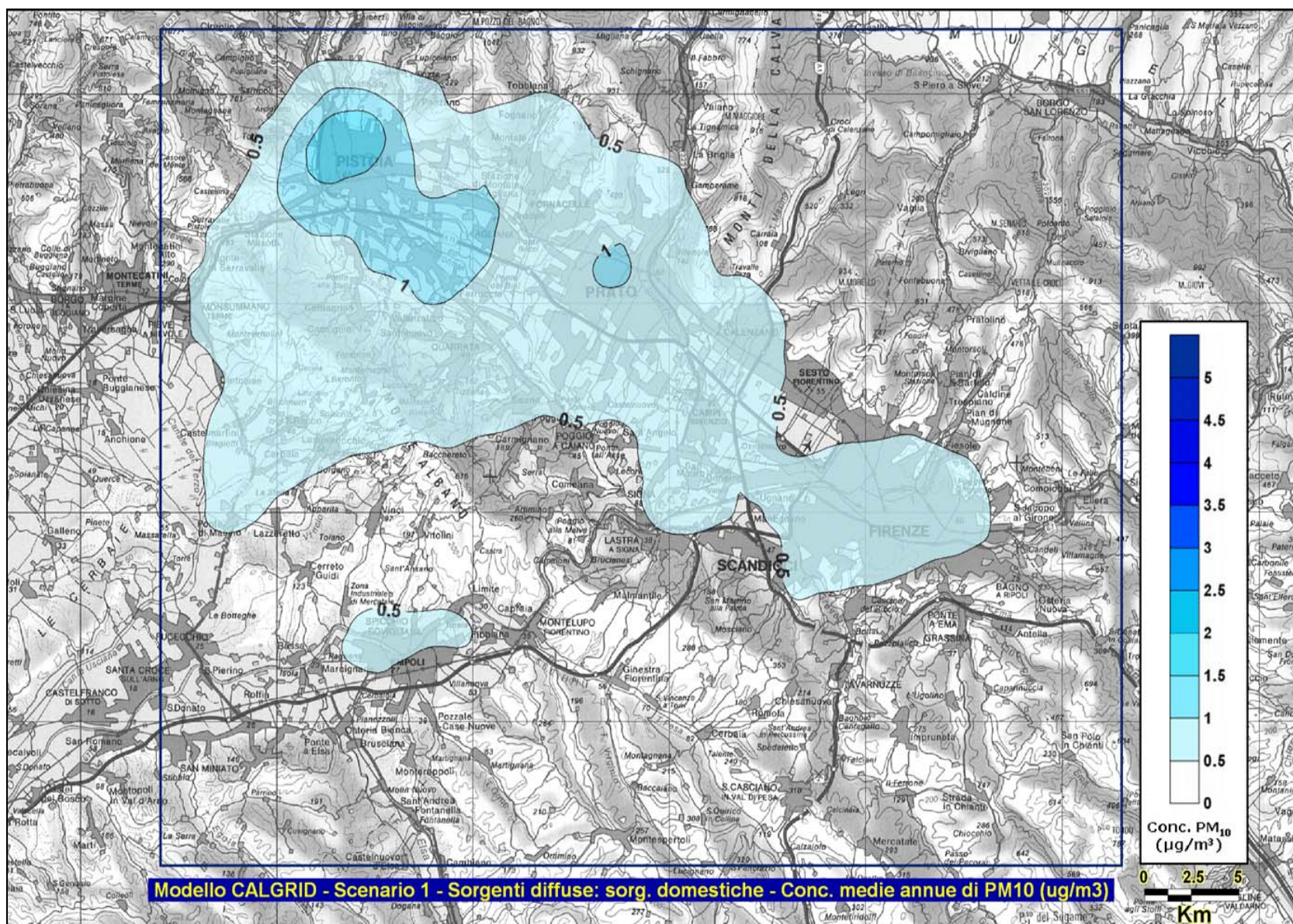
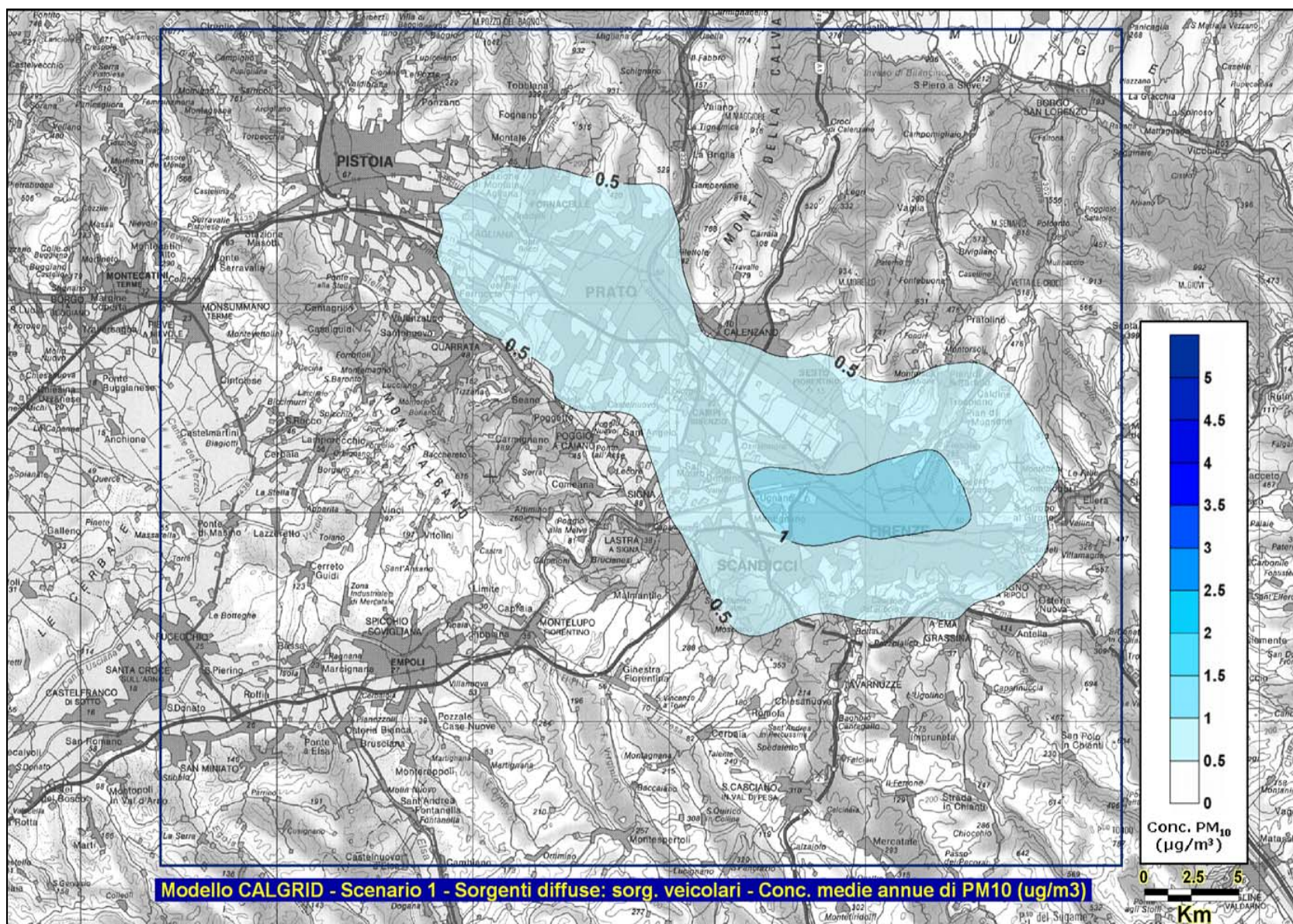


Fig. 56 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute alle domestiche (riscaldamento/climatizzazione) classificate come diffuse (tipo "DIFF_RIS") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).



Modello CALGRID - Scenario 1 - Sorgenti diffuse: sorg. veicolari - Conc. medie annue di PM10 (ug/m3)

Fig. 57 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute alle sorgenti veicolari (traffico) classificate come diffuse (tipo "DIFF_MOB") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

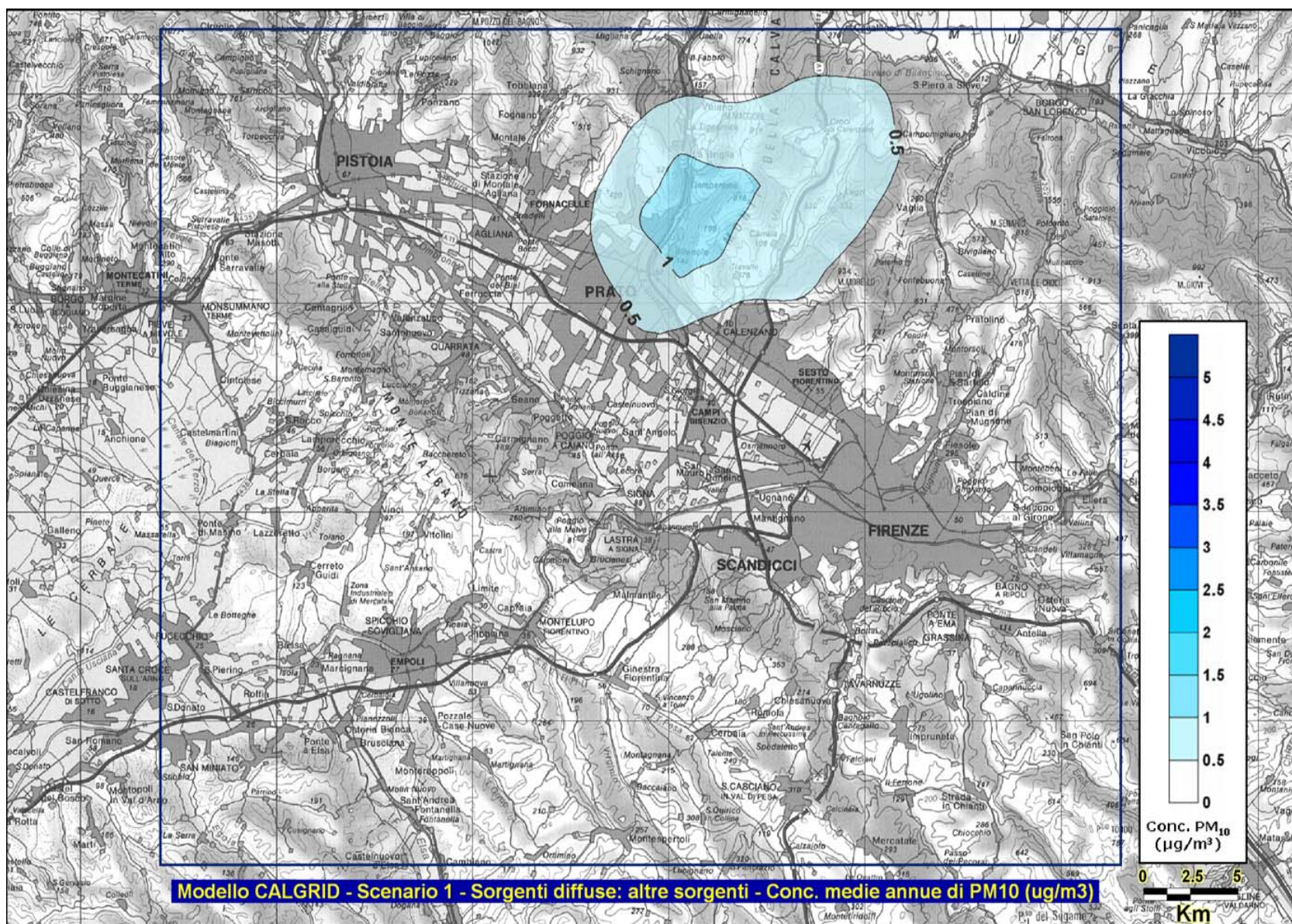


Fig. 58 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute alle altre sorgenti generiche classificate come diffuse (tipo "DIFF_ALT") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

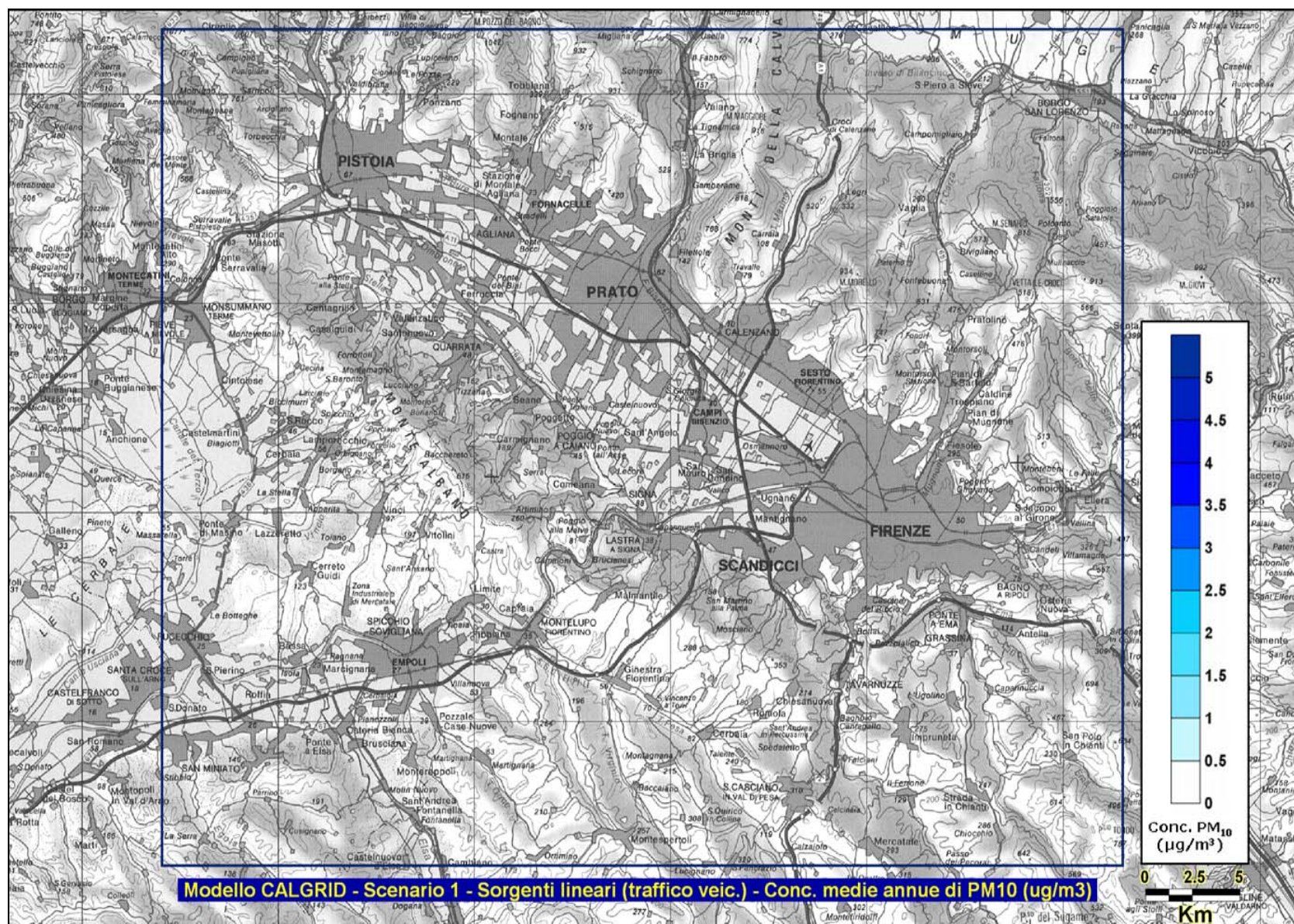


Fig. 59 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute alle sorgenti lineari (grandi arterie stradali, tipo "LIN") stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

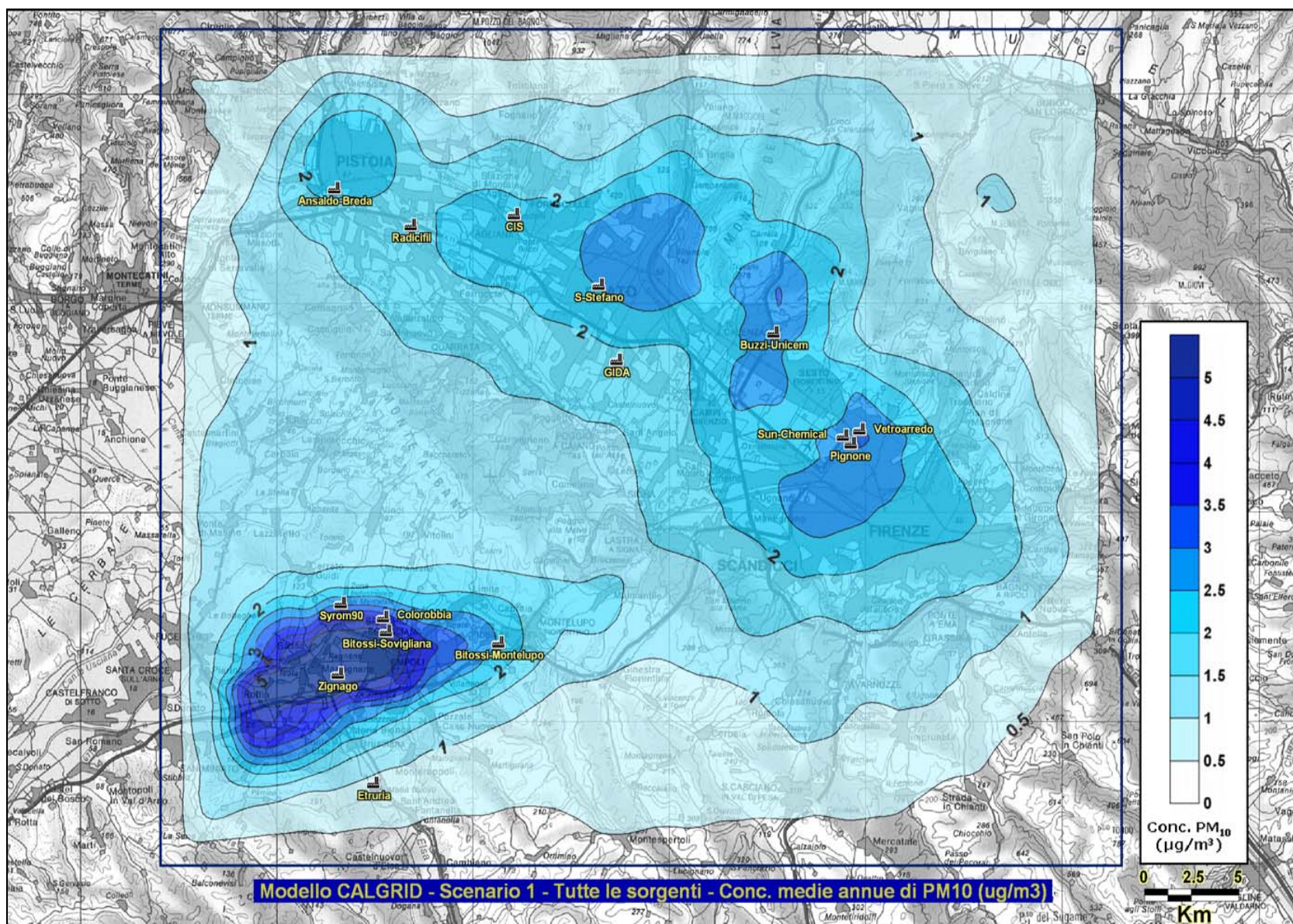


Fig. 60 - Mappa delle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute a tutte le sorgenti (puntuali, lineari e diffuse) stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

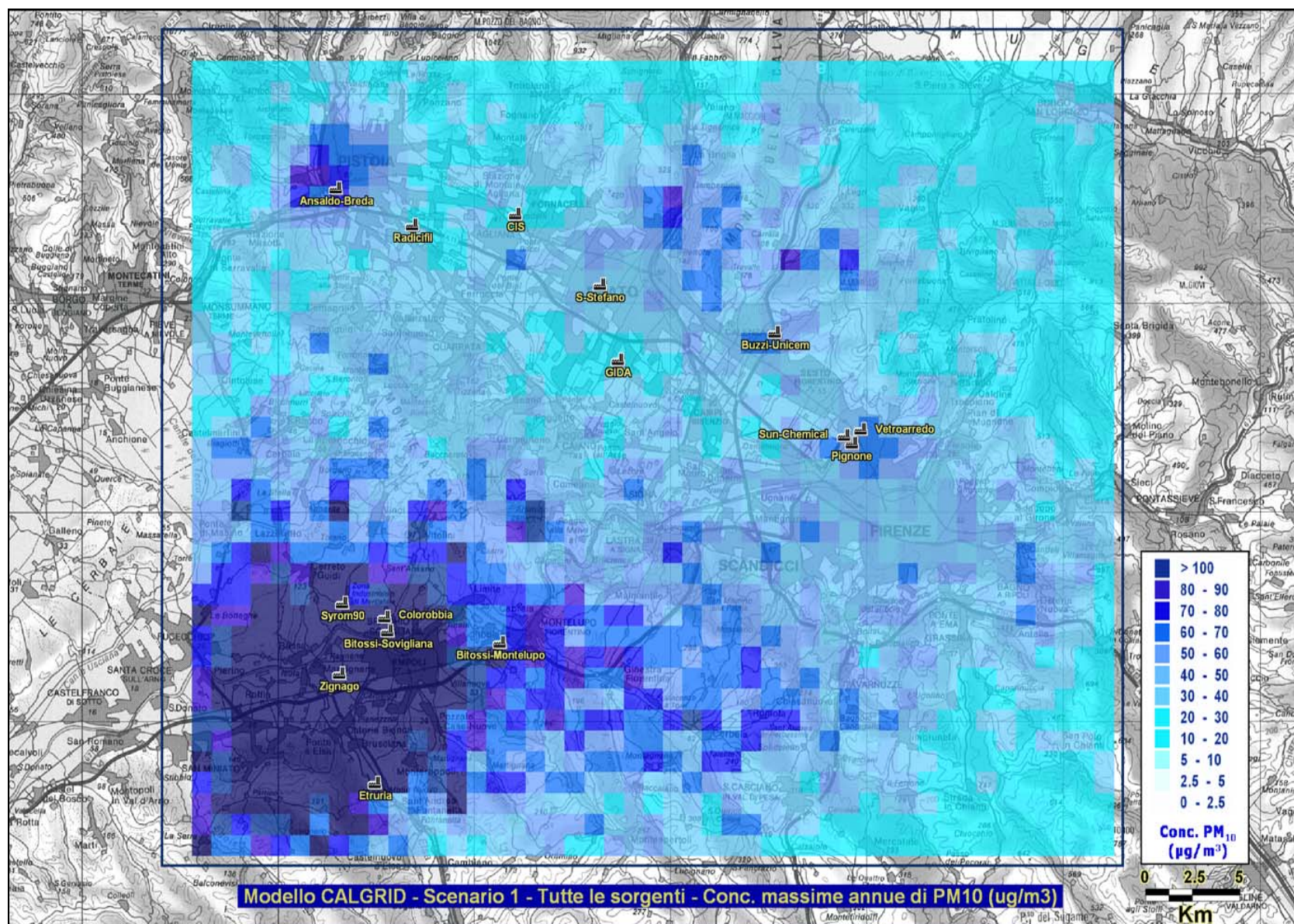


Fig. 61 - Mappa delle concentrazioni massime annue al suolo di PM₁₀ dovute a tutte le sorgenti (puntuali, lineari e diffuse) stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio (Scenario 1).

Confronti di scenario

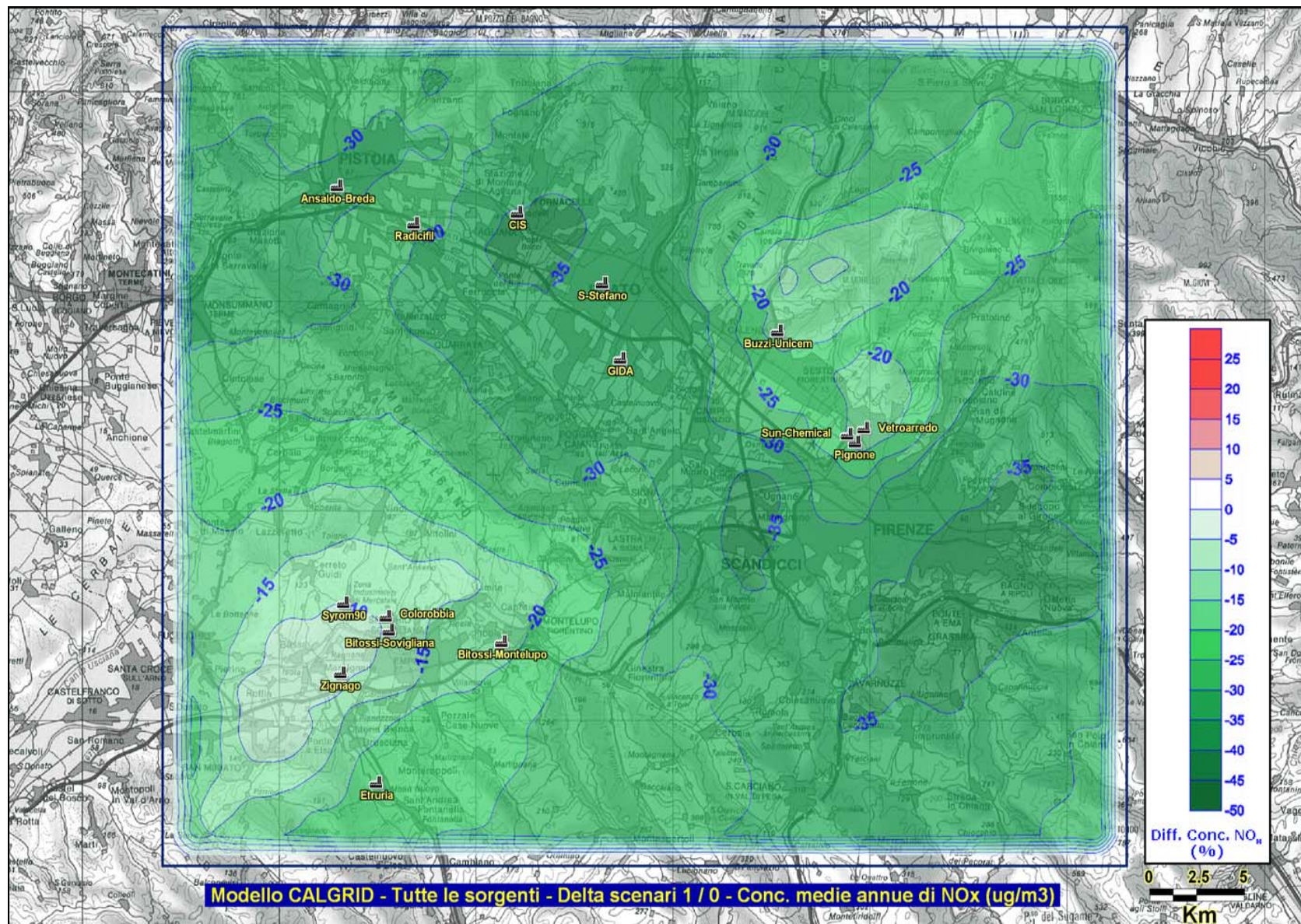


Fig. 91 - Mappa delle differenze relative tra Scenario 1 e Scenario 0 nelle concentrazioni medie annue al suolo di NO_x dovute a tutte le sorgenti (puntuali, lineari e diffuse) stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio.

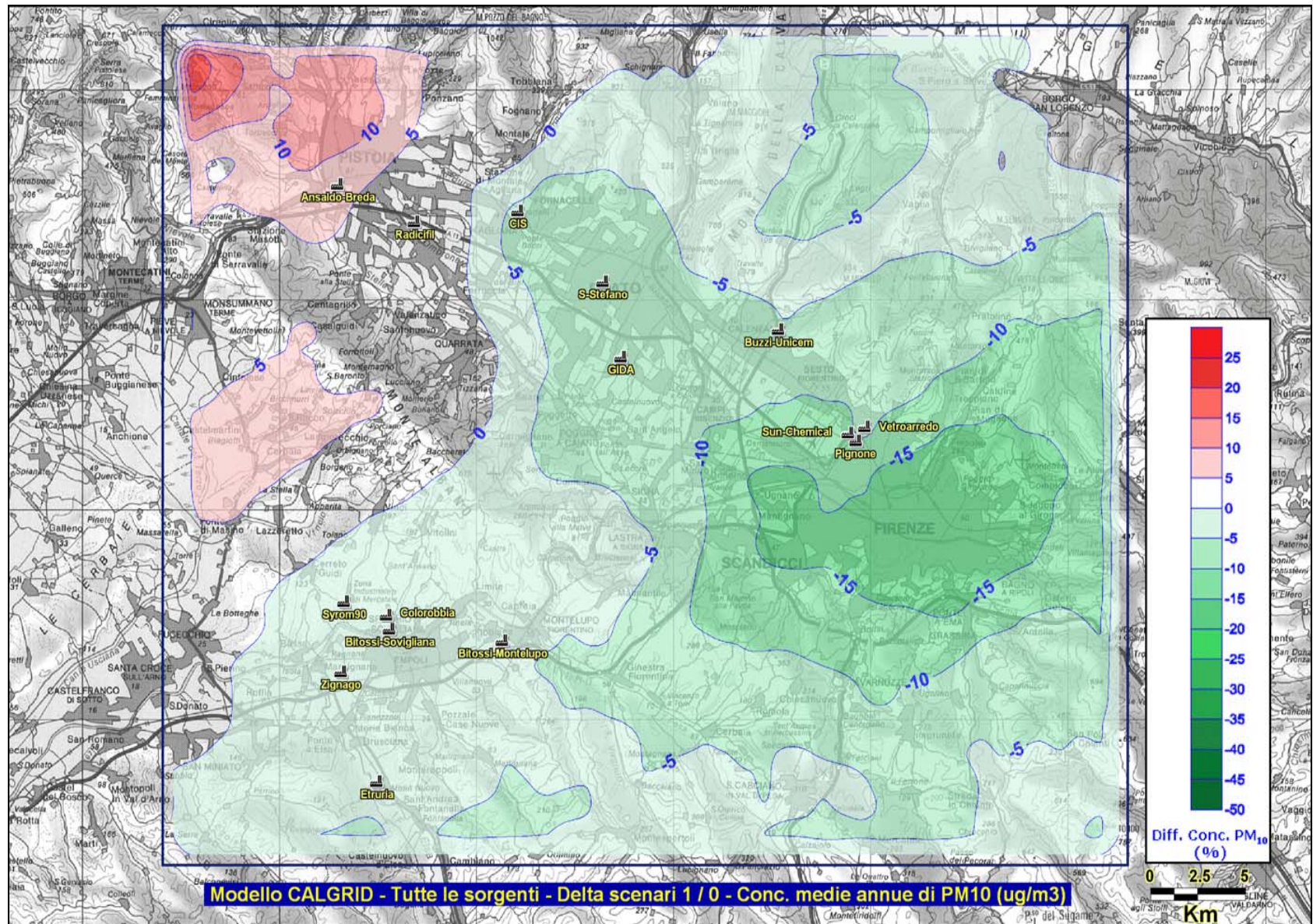


Fig. 92 - Mappa delle differenze relative tra Scenario 1 e Scenario 0 nelle concentrazioni medie annue al suolo di PM₁₀ dovute a tutte le sorgenti (puntuali, lineari e diffuse) stimate dal modello CALGRID all'interno dell'area di studio.