



quaderni  
di Monitor  
09>13

# Emissioni degli inceneritori e modelli di ricaduta

inceneritori  
ambiente

  
monitor

Monitoraggio degli inceneritori nel territorio dell'Emilia-Romagna

moniter

quaderni

moniter

“Quaderni di Monitor”

Collana di documentazione a cura di

Regione Emilia-Romagna

Servizio Comunicazione, Educazione alla  
sostenibilità

Responsabile: Paolo Tamburini

Arpa Emilia-Romagna, Area Comunicazione

Responsabile: Mauro Bompani

Impaginazione: Stefano Folli,

Arpa Emilia-Romagna

Realizzazione tipografica a cura del Centro  
stampa della Regione Emilia-Romagna



## **Emissioni degli inceneritori e modelli di ricaduta**

Responsabile Linea progettuale 2: Mauro Rossi

Bologna, marzo 2013

ISBN 978-88-907370-8-4



# indice

## **Emissioni degli inceneritori e modelli di ricaduta**

Il progetto Monitor *Benedetto Terracini* | p.5

Caratterizzazione e diffusione delle emissioni *Mario Cirillo* | p.7

### **Catasto delle emissioni e modellistica ADMS-Urban** | p.15

Bibliografia | p.32

Mappe di emissione | p.33

### **Implementazione e applicazione del sistema modellistico Lapmod** | p.153

Bibliografia | p.165

### **Appendice** | p.168

Gruppi di lavoro della Linea progettuale 2 relativamente alle azioni di linea coinvolte nella realizzazione del quadro conoscitivo delle emissioni e delle simulazioni modellistiche

### **Responsabili delle azioni** | p.171



**Benedetto Terracini**

Presidente del  
Comitato scientifico  
di Monitor

# Il progetto Monitor

Nel 2007 la Regione Emilia-Romagna decise di investire oltre tre milioni di Euro in una serie di indagini intese a chiarire - nei limiti degli strumenti di ricerca disponibili - gli effetti ambientali e sanitari degli inceneritori di rifiuti urbani presenti in regione (otto attivi in quel momento e uno dismesso da qualche tempo).

La complessa serie di indagini ha preso il nome di Monitor (Monitoraggio degli inceneritori nel territorio dell'Emilia-Romagna) ed è stata condotta da decine di tecnici e specialisti qualificati, prevalentemente di Arpa Emilia-Romagna e della Regione, affiancati da apporti provenienti da altri centri di ricerca e università.

Il progetto si svolge su una vasta ampiezza di temi. Sono cinque le linee di intervento tecnico scientifico esperite: indagine sulle emissioni in atmosfera degli impianti, indagine sulle ricadute e sugli effetti ambientali, individuazione della popolazione esposta nel corso degli scorsi decenni agli inceneritori e indagine epidemiologica sulla loro salute (230.000 persone, circa il 5% della popolazione regionale), ricerche di laboratorio sugli effetti tossici delle emissioni dagli impianti.

Ad esse si affiancano una linea di intervento volta a definire un protocollo per la Valutazione di Impatto Sanitario (VIS) della realizzazione di infrastrutture e una linea di comunicazione del progetto e dei suoi risultati. Infatti, parte della motivazione a realizzare questo impegnativo progetto nasce dalle sollecitazioni che settori della cittadinanza avanzano verso la Pubblica Amministrazione e le autorità sanitarie e ambientali, spinti da ansie e

timori per gli effetti che questa forma di smaltimento dei rifiuti genera. La definizione partecipata di strategie di contenimento dei rischi e di tutela della salute sottintende una continua e trasparente comunicazione tra ricercatori e pubblico, in merito tanto a risultati scientifici validati quanto alle incertezze

Mario Cirillo

Istituto superiore  
protezione e ricerca  
ambientale (Ispra)

# Caratterizzazione e diffusione delle emissioni

La Linea Progettuale 1 si concentra sulla caratterizzazione di *quanto viene emesso oggi dai camini di un inceneritore esistente dotato delle migliori tecnologie attualmente disponibili, ed esercito al meglio*. Le precisazioni temporali, tecnologiche e sulle modalità di esercizio dell'impianto non sono incidentali, ma essenziali per circostanziare correttamente valore e limiti di questa indagine: detto in altri termini, i risultati non sono quelli di un inceneritore come funzionava quaranta anni fa, né quelli di un inceneritore come funziona oggi ma con tecnologie non all'avanguardia, né quelli di un inceneritore che non sia esercito al meglio.

Ciò premesso bisogna dire che lo sforzo fatto è notevole e lo dimostra tra l'altro la quantità di parametri misurati, che vanno anche al di là di quanto previsto dalla normativa vigente: in pratica è stato preso in considerazione tutto quanto è ragionevolmente caratterizzabile e misurabile nelle emissioni di un inceneritore, programmando e attuando un consistente piano sperimentale di campionamento e misura. La comparazione dei risultati con indagini analoghe o similari costituisce un indubbio valore aggiunto per la corretta contestualizzazione degli esiti di questa Linea Progettuale.

La mole di dati, informazioni e prodotti scaturiti dalle attività della Linea Progettuale 1 è cospicua, e non c'è dubbio che il *focus* è la caratterizzazione delle *polveri* (dette anche particolato) emesse al camino da un inceneritore; di queste si sono indagate le dimensioni ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ , nanopolveri, ...), le caratteristiche fisiche e morfologiche, la composizione chimica e la *numerosità* in un'ottica che, oltre a consentire un raffronto con i limiti alle

emissioni imposti dalla normativa, vuole iniziare a dare delle risposte a quesiti e problemi che si sono oramai stabilmente affacciati all'attenzione non solo del mondo della ricerca ma anche presso l'opinione pubblica e i *mass media*. Mi riferisco in particolare alle nanopolveri (dette anche *particelle ultrafini*) le cui dimensioni, inferiori ai 100 nanometri, le rendono trascurabili in termini di massa – e non dimentichiamo che i valori limite delle polveri attualmente previsti dalla normativa sono tutti riferiti a *concentrazioni in massa* – per cui un loro apprezzamento va fatto in termini di *numerosità*, con metodiche diverse da quelle adottate tradizionalmente.

Per quanto riguarda il raffronto con i limiti di legge i risultati delle misure effettuate evidenziano con chiarezza quanto già noto agli addetti ai lavori, ma forse meno al pubblico in generale, e che cioè *un inceneritore dotato delle migliori tecnologie ad oggi disponibili ed esercito al meglio* – di nuovo il richiamo alle tecnologie e alla modalità di gestione non è incidentale – *emette particolato, diossine, furani, idrocarburi policiclici aromatici e metalli in misura di molto inferiore agli attuali valori limite di emissione*.

Dalle misure effettuate risulta che la stragrande maggioranza in numero delle polveri emesse dall'inceneritore sono particelle ultrafini (nanopolveri). Utile l'analisi comparativa dei risultati delle misure fatte con dati disponibili su caldaie per riscaldamento: il numero specifico di particelle emesse dall'inceneritore è inferiore, anche di molto (da 100 a 10.000 volte), rispetto a quello di caldaie a pellet di legna e a gasolio, e superiore di circa 10 volte a quello di caldaie a gas naturale.

La Linea Progettuale 2 si concentra sulla *discriminazione del contributo dell'inceneritore all'inquinamento dell'aria* rispetto alle altre fonti di emissione. A tale scopo sono stati messi in campo attività sia modellistiche che sperimentali, sempre baricentrate sul particolato.

La modellistica, propedeutica alle misure in campo, è stata orientata a individuare sul territorio coppie di punti che differiscono solo per l'impatto dell'inceneritore (massimo in uno, minimo nell'altro): l'idea di base è che eventuali differenze tra i due siti vanno ragionevolmente ascritte all'inceneritore. Va detto che le ponderose analisi modellistiche

realizzate sono state portate avanti nella consapevolezza che il “segnale” da catturare (il contributo delle emissioni dell’inceneritore all’inquinamento dell’aria) risultava essere enormemente più piccolo del “rumore” (il contributo di tutte le altre sorgenti di emissione); comunque sulla base delle risultanze modellistiche si sono individuati i siti dove realizzare le campagne sperimentali di misura di concentrazione in aria di inquinanti.

I risultati delle indagini sperimentali confermano la impossibilità di discriminare attualmente, con misure di concentrazioni in massa di particolato, una “traccia” dell’inceneritore: in altre parole *i punti sul territorio circostante l’inceneritore dove si è stimato modellisticamente che l’impatto dell’inceneritore è massimo e quelli dove si è stimato essere minimo non differiscono significativamente tra loro sulla base delle misure effettuate.*

Il passo successivo è stato l’esame sperimentale delle singole specie chimiche del particolato misurato nell’aria e la successiva elaborazione dei dati, nella speranza di trovare uno o più *marker* delle emissioni dell’inceneritore: anche questa strada, peraltro condotta a fondo facendo uso di analisi statistiche multivariate, ha confermato *la non discernibilità di una traccia “chiara e distinta” dell’impatto dell’inceneritore sulla qualità dell’aria.*

La Linea Progettuale 2 prevede anche un’analisi micrometeorologica e la concomitante analisi della distribuzione degli inquinanti in atmosfera con elevato grado di dettaglio spazio-temporale, sempre in area potenzialmente interessata dalle ricadute di un inceneritore. Si evidenzia come l’andamento dell’inquinamento atmosferico durante le ore della giornata, sia nel periodo invernale che estivo, sia nei giorni feriali che festivi, è *compatibile con le emissioni delle attività tipicamente urbane e in particolare del traffico veicolare.*

Infine il monitoraggio relativo al contenuto di microinquinanti nel suolo, che fa parte dell’ultima azione prevista dalla Linea Progettuale 2, riveste particolare interesse in quanto il suolo, contrariamente all’aria, ha memoria delle deposizioni inquinanti che si sono succedute nel corso degli anni. L’indagine ha rilevato un accumulo di inquinanti negli strati superficiali del suolo in tutti i siti indagati, evidenziando peraltro una qualità del suolo

superficiale non drammatica, con l'indice di geoaccumulo che va da “non contaminato” a “moderatamente contaminato”. Campionamenti effettuati nell'arco di due anni evidenziano che il fenomeno della ricaduta di inquinanti al suolo è tuttora in atto, e *va ascritto principalmente all'azione inquinante del traffico veicolare a cui si vanno sovrapponendo localmente fenomeni di contaminazione di differente origine.*

*Le analisi di diossine e furani hanno messo in evidenza che non esistono emergenze di accumulo di tali microinquinanti.*

A conclusione di questa premessa mi sia consentito di fare qualche breve considerazione che esula dagli aspetti meramente tecnici delle Linee Progettuali 1 e 2.

L'elemento che emerge da queste attività di Monitor è inequivoco: *l'impatto di un inceneritore dotato delle migliori tecnologie disponibili ed esercito al meglio sulla qualità dell'aria è talmente basso da essere indiscernibile.*

Eppure gli inceneritori sono tra gli impianti più avversati dall'opinione pubblica.

Esiste dunque un forte *disallineamento* tra quanto emerge dalle indagini quali quelle qui presentate, e le percezioni di significative parti della pubblica opinione. Perché? Forse si pensa che gli inceneritori sono ancora quelli di quarant'anni fa? Oppure c'è il sospetto che – per motivi meramente economici o per inefficienza o altro – vengano eserciti male? O forse ci si chiede, dovendo chi “vende” il servizio di uno o più inceneritori massimizzarne l'utilizzo e quindi indurre i propri “clienti” a bruciare più rifiuti possibile, come questo si sposa con una razionalizzazione e ottimizzazione dell'intero ciclo dei rifiuti?

**Mauro Rossi**

Arpa Emilia-Romagna  
Responsabile Linea  
progettuale 2 Monitor

# Introduzione

Questo Quaderno di Monitor raccoglie tre Azioni del Progetto relative alla Linea Progettuale 2 (“Organizzazione e realizzazione della sorveglianza ambientale nelle aree di indagine”) e precisamente la Azione 2 *“Realizzazione del quadro conoscitivo delle emissioni in atmosfera relativo alle diverse sorgenti presenti nei territori oggetto di studio”*, la Azione 3 *“Applicazione del modello ADMS-Urban alle aree della regione Emilia-Romagna interessate dall’impatto degli inceneritori”* e la Azione 4 *“Sviluppo di sistemi modellistici avanzati per la valutazione di situazioni complesse”*.

Sono qui presentati i risultati ottenuti nelle simulazioni ADMS-Urban e lo sviluppo di Lapmod. Le simulazioni ADMS-Urban sono state utilizzate come base per il calcolo delle esposizioni dalla Linea Progettuale 3 dello stesso Progetto e, per quanto riguarda l’area circostante l’inceneritore di Bologna, sono state utilizzate anche per la progettazione ed il supporto del monitoraggio sperimentale (Azioni 5-6-7).

È da sottolineare che la valutazione delle emissioni, presenti nel dominio di calcolo per la modellistica ADMS-Urban, è stata non solo effettuata con l’obiettivo di fornire il miglior dettaglio possibile, ma è stata inoltre improntata anche una valutazione sul grado di incertezza delle emissioni per i diversi macrosettori di interesse.

Poiché gli obiettivi delle Azioni 2 e 3 (catasto e modellistica) sono fortemente interconnessi gli uni con gli altri e si sono sviluppati sinergicamente, si è ritenuto opportuno presentarli sinteticamente in un unico capitolo. L’azione 4, ovvero lo sviluppo di Lapmod, è invece presentata nel capitolo successivo. Lapmod è stato inoltre utilizzato, a compimento della sua messa in opera, per una simulazione della ricaduta nel solo periodo delle campagne di monitoraggio.



## Realizzazione del quadro conoscitivo delle emissioni in atmosfera relativo alle diverse sorgenti presenti nei territori oggetto di studio

Linea progettuale 2 azione 2

**Responsabili:** Mauro Rossi e Cristina Regazzi, Arpa Emilia-Romagna

## Applicazione del modello ADMS-Urban alle aree della regione Emilia-Romagna interessate dall'impatto degli inceneritori

Linea progettuale 2 azione 3

**Responsabile:** Mauro Rossi, Arpa Emilia-Romagna



# Catasto delle emissioni e modellistica ADMS-Urban

**Autori:** *Testo di questo capitolo:* Mauro Rossi  
*Catasto delle emissioni:* Cristina Regazzi, Simonetta Tugnoli  
*Elaborazione dei catasti delle emissioni provinciali e delle mappe di ricaduta:* Francesca Frigo, Chiara Melegari, Elena Manzini, Antonella Sterni, Sabina Bellodi, Elisa Pollini, Pamela Ugolini, Paolo Veronesi, Mauro Rossi

## 1. Obiettivi delle azioni

Gli obiettivi delle Azioni 2 e 3 della Linea progettuale 2 del progetto Monitor sono tra loro strettamente interconnessi: l'output della Azione 2, ovvero la costruzione del catasto delle emissioni, è propedeutico agli scopi dell'azione 3, ovvero alla costruzione delle mappe delle immissioni, o, in altre parole, delle mappe delle concentrazioni al suolo degli inquinanti considerati. Queste mappe sono costruite in maniera tale da descrivere la distribuzione geografica della concentrazione media degli inquinanti su un certo intervallo di tempo che, nel nostro caso, è pari ad un anno.

Per quanto riguarda gli obiettivi della Azione 2, questi possono essere riassunti in due principali punti:

1. reperire dati dagli inventari locali e/o regionali per gli inquinanti NOx e polveri;
2. garantire un sufficiente livello di omogeneità delle metodologie di stima delle emissioni di tutte le fonti che insistono sui territori in prossimità degli inceneritori.

In maniera analoga, gli obiettivi dell'Azione 3 sono di seguito schematizzati:

### *Obiettivo 1*

- a. Realizzazione delle simulazioni modellistiche:
  - a1. della qualità dell'aria nelle aree prossime agli inceneritori,

a2. della ricaduta degli inceneritori (solo impianto),  
presenti **ad oggi** in regione Emilia-Romagna.

*Inquinanti modellizzati: NOx e PM<sub>10</sub> (si assume PTS=PM<sub>10</sub>).*

b. Realizzazione delle simulazioni modellistiche delle ricadute degli inceneritori (solo impianto) presenti **negli anni recenti** in regione Emilia-Romagna. Inquinanti *modellizzati*: NOx e PM<sub>10</sub> (si assume PTS=PM<sub>10</sub>).

### Obiettivo 2

a. Realizzazione delle simulazioni modellistiche delle ricadute degli inceneritori (solo impianto) presenti **in passato** nella regione Emilia-Romagna. Inquinanti *modellizzati*: PM<sub>10</sub> (si assume PTS=PM<sub>10</sub>).

Nella tabella seguente si illustra un prospetto delle Sezioni Provinciali coinvolte nella realizzazione degli obiettivi di questa azione. Il grado di coinvolgimento è diverso per i diversi territori provinciali, a causa della presenza o assenza degli impianti di incenerimento per i periodi considerati negli obiettivi.

	PC	PR	RE	MO	BO	FE	RA	FC	RN
Ob. 1	Si	No	Si						
Ob. 2	No	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	Si

Il modello utilizzato per questa valutazione è ADMS-Urban (*Advanced Dispersion Modelling System*), un modello analitico stazionario avanzato di dispersione degli inquinanti. Il modello è di tipo gaussiano (con profilo verticale di concentrazione non-gaussiano in condizioni convettive), sviluppato nel Regno Unito da un consorzio governativo ed industriale diretto da CERC (*Cambridge Environmental Research Consultant*). Una differenza importante tra ADMS-Urban e altri modelli analitici stazionari di dispersione per aree urbane è il fatto che ADMS utilizza due parametri fisici misurabili che sono l'altezza dello strato di rimescolamento<sup>1</sup> e la

1. Per misurare l'altezza dello strato rimescolato occorre individuare fino a quale quota sia verificata una condizione stabilita come caratteristica dello strato rimescolato. Fra le variabili che si possono considerare: forte turbolenza, forte rimescolamento, forti flussi verticali, lunghezza di Monin-Obukhov.



lunghezza di Monin-Obukhov<sup>2</sup>, che permettono una descrizione più realistica dei fenomeni di dispersione nello strato limite atmosferico, rispetto all'approccio tradizionale basato sulle classi di stabilità di Pasquill<sup>3</sup>. I limiti di questo modello, di natura gaussiana, si fanno sentire per velocità del vento inferiori a 0,75 m/s e orografia di alta complessità.

Per Monitor è stato chiesto ai modellisti di ogni Sezione Provinciale un uso “non convenzionale” di questo strumento. Infatti solitamente ADMS-Urban viene utilizzato per valutare differenti scenari ambientali del tipo “what if” e per valutare lo stato ambientale di specifiche zone urbane, previa “taratura” del modello, cercando cioè di assicurare il più possibile l'uguaglianza fra i valori simulati e quelli misurati da rilevazioni ambientali. Non avendo come scopo la valutazione del grado di inquinamento “complessivo” del territorio, in maniera da metterlo in confronto con valori sperimentalmente misurati in alcuni punti, è stato escluso il modulo chimico e non si è data alcuna valutazione del fondo: ci si è concentrati solo sulle emissioni primarie delle sorgenti incluse nel dominio di calcolo. Tale dominio è stato valutato ponendo al suo centro l'inceneritore e considerando il quadrato che circonda un cerchio di raggio 4 km. Tale quadrato è stato poi esteso, anche asimmetricamente (ottenendo eventualmente un rettangolo), nelle direzioni che includevano sorgenti di rilevante importanza o aree maggiormente abitate, siti sensibili e le direzioni prevalenti notturne del vento, capaci di generare più di sovente fenomeni di pennacchio “piatto”.

Il fatto di non aver utilizzato il modulo chimico, ha permesso di potere simulare separatamente le varie tipologie di emissione (ad esempio: il settore industriale, il settore dei trasporti, ecc.) per permettere agli epidemiologi di fare valutazioni sulle singole tipologie di emissioni confondenti.

---

2. La lunghezza di Monin-Obukhov ( $L_{mo}$ ) corrisponde al rapporto tra l'intensità della turbolenza prodotta da fattori meccanici e quella prodotta da fattori termici (convezione). In condizioni di Pbl (Planetary Boundary Layer) instabile,  $L_{mo}$  ha un valore positivo; in condizioni di Pbl stabile ha valore negativo, in quanto la stratificazione inibisce la convezione e il termine convettivo è minore di zero.  $L_{mo}$  dipende dunque dalla velocità di frizione e dal flusso di calore superficiale.

3. Le classi di stabilità costituiscono un indice qualitativo dell'intensità della turbolenza atmosferica basato su grandezze meteorologiche collegate alla turbolenza.

All'interno dello studio Monitor, l'uso di ADMS-Urban è stato sfruttato anche per progettare campagne di monitoraggio ambientale in prossimità degli inceneritori (v. *Le ricadute degli inceneritori sull'ambiente. Volume 1, Quaderni di Monitor*); in questo specifico caso è stato affrontato il problema di non potere conoscere in anticipo la meteorologia. Per risolvere il problema sono stati studiati svariati anni meteorologici ed è stata prodotta una griglia di valutazione che potesse aiutare a scegliere un periodo di 12 mesi consecutivi di dati liberi da eventi "anomali" così definiti: giorni senza pioggia con un *indice di ventilazione*<sup>4</sup> inferiore a 800 m<sup>2</sup>/s, giornate "calde" con  $T_{\max} > 29$  °C. Tutte le simulazioni sono state fatte utilizzando tale meteorologia, scollegata dunque temporalmente con il database emissivo. Questo senza dubbio è auspicabile per gli studi volti alla progettazione di un monitoraggio futuro, dove nulla si può sapere delle peculiari condizioni meteorologiche che si incontreranno; non lo è altrettanto per quanto riguarda situazioni passate, quindi per le simulazioni necessarie agli studi epidemiologici. D'altro canto tenere la meteorologia scollegata dal database delle emissioni ha però il pregio di rendere possibile anche le simulazioni in periodi di tempo molto lontani nel passato e privi di dati meteorologici orari per 12 mesi, che sono i dati necessari per le nostre valutazioni medie annuali.

Le richieste del Progetto sono state molteplici: come abbiamo visto, per quanto riguarda gli inquinanti polveri ed ossidi di azoto, è stato necessario descrivere sia lo stato attuale della ricaduta degli inquinanti provenienti dal solo camino dell'impianto di incenerimento, sia la ricaduta ottenuta singolarmente da tutte le fonti del dominio. Per quanto riguarda lo stato attuale del solo impianto sono state richieste le mappe degli ultimi cinque anni. Infine sono state prodotte le mappe di ricaduta degli impianti a partire dalla loro costruzione, in maniera da descrivere l'evoluzione delle ricadute negli anni. Per la ricostruzione storica delle emissioni nel tempo, sono stati utilizzati sia i dati emissivi di controllo Ausl/Arpa, sia i dati di autocontrollo. Si è dapprima ricostruita la storia emissiva dell'inceneritore, con i vari interventi strutturali che nel tempo l'impianto ha subito, e, utilizzando le

---

4. È definito come il prodotto dell'altezza di rimescolamento media giornaliera e dell'intensità media giornaliera del vento alla quota di 10 m.

emissioni che è stato possibile reperire, è stata effettuata una simulazione per ogni periodo fra una modifica ed un'altra. Queste ultime valutazioni sono state effettuate solo sul parametro polveri.

## 2. Realizzazione del quadro conoscitivo delle emissioni in atmosfera relativo alle diverse sorgenti presenti nei territori oggetto di studio

Le attività connesse alla realizzazione del quadro conoscitivo delle emissioni sono state concordate in stretta collaborazione con i Responsabili della Azione 2 della LP3 (Valutazione dell'esposizione). Una volta definito la porzione di territorio di interesse, altrimenti definito "area di studio" o "dominio delle simulazioni ADMS-Urban", si è provveduto al reperimento dei dati emissivi relativamente alle sorgenti di seguito indicate e ordinate secondo i rispettivi macrosettori (M) di appartenenza (classificazione SNAP 97):

M1 Combustione Energia ed industria della trasformazione;

M2 Combustione non industriale;

M3 Combustione nell'industria;

M4 Processi produttivi;

M7 Trasporto su strada;

M8 Altre sorgenti mobili;

M9 Trattamento e smaltimento rifiuti;

M10 Agricoltura.

I criteri di raccolta ed elaborazione dati sono stati discussi e condivisi da tutti gli operatori provinciali che hanno prodotto le rispettive basi dati (db) dei domini di loro competenza. La produzione dei db è stata resa omogenea nella procedura e, relativamente alla qualità del dato, **il criterio cardine scelto** è stato quello di fornire, per ogni dominio, la migliore conoscenza delle emissioni relativamente ai macrosettori di interesse.

La stima delle emissioni relative a territori in studio sono state realizzate utilizzando le informazioni più dettagliate disponibili. Nonostante ciò, per taluni settori è stato necessario effettuare diverse assunzioni e stimare le emissioni dei domini di studio utilizzando variabili proxy. Gli inquinanti scelti per questo progetto sono stati  $PM_{10}$  e  $NO_x$  e su questi sono stati costruiti i db.



Ad ogni modo è doverosa una precisazione in quanto gli emettitori presenti su territori eterogenei, come quelli urbani o suburbani, sono molti e di diversa natura. Il grado di conoscenza di questi oggetti deve essere commensurato alla dimensione del dominio di studio. In altri termini, si deve affrontare (e risolvere) un problema di dimensione di scala: per domini di circa 100 kmq il dettaglio descrittivo del catasto emissivo deve essere elevato, se si vogliono ottenere risultati affidabili. Per questo motivo occorre fare ricorso a db locali e le generalizzazioni o le conoscenze di dettaglio utili a scale diverse (ad esempio a scala regionale), non sono adeguate soluzioni del problema. Questo grado di dettaglio non è purtroppo sempre raggiungibile e in svariati casi ci si deve confrontare con elevate incertezze, o, addirittura, con incertezze non valutabili. In questo lavoro si è cercato di ottenere, per ogni dominio, il massimo grado di qualità del dato emissivo e si è cercato di valutarne l'incertezza.

## Macrosettori M1 e M9

Per valutare le emissioni dell'inceneritore (M9) sono stati analizzati i dati del sistema di monitoraggio in continuo (SME). I parametri di nostro interesse sono:

- Portata fumi [kNm<sup>3</sup>/h],
- Ossidi di Azoto (NO<sub>x</sub>) [mg/Nm<sup>3</sup>],
- Polveri (PLV) [mg/Nm<sup>3</sup>],
- Tenore di Ossigeno (O<sub>2</sub>) [%V/V],
- Umidità fumi (H<sub>2</sub>O) [%V/V],
- Temperatura [°C].

Con Nm<sup>3</sup> si intende lo stato con temperatura di riferimento T=0°C e pressione P=101,3 hPa.

Per essere direttamente confrontabili con la legislazione vigente, i dati di concentrazione degli inquinanti ottenuti dal sistema SME sono riferiti all'11% V/V di ossigeno, valore per il quale sono state fissate le concentrazioni limite. Come caso esempio prenderemo il caso dell'Inceneritore "del Frullo" di Granarolo dell'Emilia (BO). I dati considerati sono relativi al periodo 01/01/2006-02/12/2007 e si presentano come medie orarie (fino al mese di febbraio 2006) e semiorarie (per i rimanenti mesi). L'analisi statistica

dei dati è stata effettuata sul primo intervallo temporale di dati semiorari disponibili, esteso 12 mesi (1/3/2006-28/2/2007), d'ora innanzi definito "Periodo di riferimento".

Per ottenere la miglior stima del valore di emissione caratteristico dell'impianto, sono stati eseguiti alcuni passaggi preliminari. In primo luogo il dato di concentrazione è stato riportato al valore reale, considerando le concentrazioni di ossigeno mediate negli stessi intervalli temporali degli inquinanti. Il dato di emissione è stato poi calcolato per ogni semiora, utilizzando il valore di portata secca sullo stesso intervallo temporale. Infine le serie storiche dei dati così elaborati sono state sottoposte all'analisi statistica descrittiva.

Da una prima analisi dei dati SME sul periodo considerato, si evidenzia innanzi tutto che, per entrambe le linee di incenerimento, si sono verificati 85% di casi di Impianto in Marcia e 15% di Fermo Impianto. I dati vengono valutati statisticamente con due obiettivi principali: il primo è la valutazione di un parametro che descriva quantitativamente le emissioni dell'impianto, il secondo è la ricerca di eventuali regolarità e periodicità temporali delle emissioni, per la più corretta simulazione modellistica.

Le analisi statistiche hanno interessato i valori di flusso di massa di NOx e Polveri per le due linee di incenerimento, la temperatura e la velocità di uscita dei fumi. Osservando i parametri "flusso di massa", questi si possono discostare da una curva normale di Gauss a causa di alcuni episodi di picco; è però possibile ricondurre la popolazione dei dati a una normale escludendo questi episodi. In un caso (Polveri Linea 2) non è stato possibile ricondursi ad una distribuzione normale anche filtrando i dati, però questi si distribuiscono con chiarezza su tre distribuzioni normali (tre mode).

Questi comportamenti ci inducono a pensare che le combustioni sono condotte su situazioni "di regime" con qualche oscillazione naturale dei valori di flusso di massa e che, sporadicamente, possono avvenire episodi di picco emissivo. Come parametro di flusso di massa, da inserire nel modello per descrivere le emissioni, è stato scelto *il valore medio di flusso di massa* calcolato su tutti i valori di flusso medio sulle semiore (14,8 mila valori per il Periodo di riferimento), includendo anche i valori

di picco. Anche per quanto riguarda temperatura e velocità, i cui valori non si discostavano sensibilmente da distribuzioni gaussiane, sono state scelte le medie. Non si sono rilevate “strutture periodiche regolari” nelle emissioni degli inquinanti. Per quanto riguarda le mappe relative ai cinque anni consecutivi (Ob. a2), sono però state applicate le effettive modulazioni mensili che hanno tenuto in conto delle situazioni di *Fermo Impianto* che si sono protratte per un qualunque motivo.

L'incertezza stimata per la media annuale è intorno al 5%.

Anche gli impianti appartenenti al macrosettore M1, quando questi fossero presenti nel dominio, sono stati trattati come l'inceneritore e descritti nel modello come emissioni puntuali.

## Macrosettore M2

Le stime delle emissioni relative al macrosettore 2 (Combustione non Industriale) sono state realizzate mediante l'utilizzo di dati sui consumi stimati di combustibile (metano, GPL, gasolio, legna) e fattori di emissione di letteratura.

La principale fonte di incertezza parrebbe legata al fattore di emissione (in particolare per  $PM_{10}$  da combustione della legna), ma occorre considerare che gli indicatori di attività sono dati di vendita dei combustibili a livello regionale o provinciale (assunti pari ai dati di consumo), che sono stati ripartiti sulla scala locale *utilizzando il dato delle superfici abitative riscaldate con le varie tipologie di combustibili* (fonte ISTAT). In un dominio territoriale piccolo, dunque, le stime dei consumi dei combustibili sono nettamente più incerte rispetto al dato di partenza. Si valuta che l'incertezza sulla stima dei consumi, relativamente bassa sulla scala regionale, possa arrivare per alcuni combustibili al 50% a scala comunale e a valori superiori su domini più piccoli.

## Macrosettori M3 e M4

Questi macrosettori individuano la combustione nell'industria (M3) e i processi produttivi (M4) e dunque contengono le attività collegate ai processi industriali e artigianali. Per valutare il contributo di questi macrosettori si sono utilizzati i dati provenienti dai Servizi Territoriali delle Sezioni Provinciali di Arpa. Le aziende

con emissioni convogliate devono essere autorizzate ai sensi della legislazione vigente; a seconda della autorizzazione alle emissioni posseduta dalla attività, e in base alle conoscenze sul territorio possedute da Arpa, si è in grado di valutare il flusso emissivo delle sorgenti. In particolare ci sono diversi gradi di conoscenza delle diverse realtà emissive: in alcuni casi sono disponibili analisi chimiche effettuate da Arpa durante le attività di vigilanza e controllo, in altri casi sono disponibili analisi chimiche effettuate in regime di autocontrollo e così via fino a conoscenze derivanti solo dai documenti amministrativi (autorizzazioni provinciali e relative prescrizioni).

La qualità del grado di conoscenza è stata valutata secondo i criteri descritti dalla Fig.1: il dato considerato di miglior qualità conoscitiva è quello derivante dai controlli di Arpa; a seguire i dati analitici di autocontrollo periodico; in mancanza di questi sono stati valutati i dati analitici di messa a regime dell'impianto e, come ultime risorse, i dati autorizzati. Questi sono stati "corretti" con fattori di correzione (FC) quando disponibili. Solo in ultima battuta sono stati presi in considerazione i dati autorizzati tal quali.

**Fig 1.** Piramidi di priorità dei dati emissivi provenienti dai macrosettori M3 e M4 (emissioni convogliate).



I fattori di correzione FC sono fattori moltiplicativi ottenuti rapportando i valori di flusso di massa ottenuti da dati Arpa o dalle autoanalisi, con i flussi di massa ottenibili dai dati presenti nelle autorizzazioni, per quelle realtà produttive aventi lo stesso codice SNAP97. Le piramidi di priorità identificano, dal punto di vista grafico, la priorità con la quale devono essere considerate le stime emissive, dove la maggiore priorità è data al codice con valore più basso.

In questo tipo di procedimento le incertezze si concentrano sulla classificazione corretta delle singole Attività secondo la codifica SNAP97 e sulla variabilità/affidabilità del FC adottato (la sua rappresentatività è funzione della numerosità dei dati di controllo/autocontrollo utilizzati per il suo calcolo, e quindi varia da inquinante a inquinante). È stato possibile solo assegnare un codice di qualità del dato (da 1, dato migliore, a 5, dato peggiore) per ogni singolo dato emissivo ma non è stato possibile quantificare correttamente un errore percentuale sul valore di emissione.

## Macrosettore M7

La stima delle emissioni da traffico veicolare è stata effettuata utilizzando il sistema INEMAR<sup>5</sup> secondo la metodologia di calcolo del modello COPERT III<sup>6</sup> (*COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport*). Tale metodologia si basa su specifici fattori di emissione espressi in funzione della categoria veicolare, del tipo di combustibile utilizzato e della velocità di viaggio. Dal punto di vista del calcolo emissivo, il traffico veicolare incluso nel dominio è stato trattato come sorgente lineare; per questo motivo INEMAR ha avuto necessità di conoscere tre dati di input:

1. Flusso veicolare relativo all'ora di punta di un giorno feriale medio per

---

5. INventario EMissioni Aria. È un database progettato per realizzare l'inventario delle emissioni in atmosfera, attualmente utilizzato in sette regioni e due provincie autonome: Lombardia, Piemonte, Veneto, Friuli Venezia Giulia, Emilia-Romagna, Marche, Puglia, Provincie di Trento e Bolzano. INEMAR contiene le procedure e gli algoritmi utilizzati per la stima delle emissioni. <http://www.inemar.eu/>

6. Tutti i lavori che sono stati eseguiti per Monitor, relativamente a questa parte di ricerca, risalgono agli anni 2007-'08.

ciascun arco del grafo che schematizza la rete stradale per tipologia di veicolo;

2. Profili di distribuzione temporale del traffico secondo le stagioni, per tre tipologie di giornata, su quattro fasce orarie;

3. Il legame fra flussi e velocità dei veicoli di ogni arco stradale (le curve di deflusso<sup>7</sup>).

Non è sempre possibile conoscere questi dati per ogni strada di percorrenza della rete stradale inclusa nel dominio e dunque, in mancanza di questi, sono state effettuate alcune approssimazioni. Nel caso del dominio dell'Inceneritore "del Frullo", ad esempio, i dati disponibili, provenienti dal Comune di Bologna, Settore Mobilità e Trasporti, contenevano solamente i valori dei Volumi Totali di traffico. Questi sono stati disaggregati secondo tre classi veicolari (autovetture, veicoli leggeri (minori di 3,5 t) e pesanti) per due tipologie di strade (autostrada/non autostrada) sulla base di indicazioni fornite dallo stesso ufficio (Settore Mobilità Urbana del Comune di Bologna) per quanto riguarda le strade comunali e provinciali, e dal Servizio Pianificazione Trasporti e Logistica della Regione Emilia-Romagna per l'autostrada. I flussi di traffico di ciascuna fascia oraria sono stati ricavati a partire dal flusso riferito all'ora di punta mattutina applicando alcuni coefficienti temporali costruiti per le diverse tipologie veicolari e per ogni fascia oraria a partire dai dati di conteggio disponibili su diversi archi stradali della RER (dati 2003). Ad ogni modo, a seconda dei dati di traffico disponibili per ogni dominio, si sono dovute fare differenti approssimazioni per potere ottenere i valori di emissione per arco stradale.

Per un procedimento di questo tipo, le incertezze riguardano la ricostruzione del parco veicolare circolante, i fattori di emissione, le velocità dei veicoli. Secondo il giudizio di esperti di settore le incertezze per queste tipologie di modelli si attestano attorno al 30%. In aggiunta va però considerata l'incertezza relativa alla reale conoscenza del traffico in un dominio di piccole dimensioni, quando questo non sia direttamente misurato, e ciò

---

7. Le curve di deflusso descrivono il legame intercorrente tra la capacità dell'arco effettivamente utilizzata – intesa come percentuale della capacità massima dell'arco – e la velocità effettiva dell'arco – espressa come percentuale della velocità massima caratteristica di quell'arco.

rende difficile la stima dell'incertezza composta. Infine, i flussi di traffico per i diversi domini, utilizzati per il calcolo delle emissioni, sono stati forniti da diversi Enti e sono di diversa natura (esempio: misure dirette su vari archi temporali, output di modelli di viabilità, ecc.) e non ci sono state fornite indicazioni di incertezza sugli stessi: ciò rende difficile stimare la precisione e l'accuratezza del calcolo delle emissioni per questo macrosettore, per ogni singolo dominio.

### **Macrosettore M8, Settore 0806**

Per il settore M8 (Altre Sorgenti Mobili e Macchinari) sono state considerate unicamente le emissioni dovute ai mezzi agricoli (Settore 06, Agricoltura). Poiché il dato dei consumi a livello provinciale è abbastanza certo (fonte dati ufficio regionale "Servizio Aiuti alle Imprese") le maggiori incertezze derivano dall'utilizzo di proxy per la distribuzione spaziale delle emissioni nei domini locali e ai fattori di emissione. Non è stato possibile valutare quantitativamente tale incertezza ma, da colloqui con esperti del settore, è presumibile che si possa attestare a valori elevati (probabilmente in classe D rispetto alla scala da A-E dell'*Atmospheric Emission Inventory Guidebook* (EEA, 1999) con tipici intervalli di errore che possono raggiungere il 300%).

### **Macrosettore M10**

Per il settore M10 sono stati valutati unicamente gli allevamenti animali. Non è stato possibile quantificare un valore di incertezza su tali emissioni.

### **Dati di catasto nei domini considerati**

Nelle tabelle seguenti vengono riportati, in maniera riassuntiva, i catasti relativi alle aree di interesse degli studi Monitor (t/a=tonnellate/anno).

NOx (t/a)	PC	RE	MO	BO	FE	FC	RA	RN
Produzione Energia	925	188.7	0	0	1113	0	1943.3	0
Riscaldamento	173.4	211.4	202.7	131.9	142.1	131.8	64.2	108.2
Industria	1908.3	312	33.4	91.7	1940.6	31.7	2018.3	49.2
Traffico	1330.2	1081	644	1935.8	830.2	1062.2	63.8	1422.9
Mezzi Agricoli	59.7	31.8	34	59.7	73.2	35	48.4	49.7
Porto	0	0	0	0	0	0	0	0
Termovalorizzatore	84.8	60	138.3	122.3	62.6	51.8	59.1	93.7
Allevamenti	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOT.</b>	<b>4481.5</b>	<b>1884.9</b>	<b>1052.4</b>	<b>2341.4</b>	<b>4161.7</b>	<b>1312.4</b>	<b>4197.1</b>	<b>1724</b>

PM <sub>10</sub> (t/a)	PC	RE	MO	BO	FE	FC	RA	RN
Produzione Energia	0	0.81	0	0	44	0	0	0
Riscaldamento	9.37	7.3	7.6	5.12	5.7	11.46	0.52	12.91
Industria	48	44	35.4	62	140.9	15	451.7	3.84
Traffico	127.1	101.8	60.1	168.4	76.7	99.2	6	77.7
Mezzi Agricoli	7.8	4	4.2	9.42	9.05	4.33	6	7.82
Porto	0	0	0	0	0	0	35.5	0
Termovalorizzatore	0.29	0.32	0.98	1.81	0.46	1.76	0.44	1.01
Allevamenti	0	0.5	2	0	0.3	6.1	0	0
<b>TOT.</b>	<b>192.54</b>	<b>158.73</b>	<b>110.28</b>	<b>246.69</b>	<b>277.14</b>	<b>137.79</b>	<b>500.1</b>	<b>103.2</b>

### 3. Realizzazione delle simulazioni

#### Costruzione del dominio di simulazione

Prima della costruzione del dominio definitivo, si è proceduto ad un *run esplorativo*, a bassa risoluzione, per verificare l'estensione della ricaduta del pennacchio dell'inceneritore (descritto come sorgente puntuale). La scelta del dominio è in generale legata alle esigenze dello studio epidemiologico, alle esigenze legate al modello di simulazione utilizzato e alle caratteristiche del territorio sul quale insiste l'impianto di incenerimento.

Gli studi epidemiologici sono effettuati su un territorio circolare con raggio di quattro chilometri dall'inceneritore. Per esigenze tecniche del modello utilizzato, il dominio minimo sarà un rettangolo orientato secondo i punti cardinali di dimensione tale da includere un quadrato di 8 km di lato centrato sul camino dell'inceneritore. L'estensione del rettangolo è stata definita secondo i seguenti criteri:

1. inclusione delle aree industriali, autostrade e strade di grande viabilità;
2. inclusione delle aree urbane (in particolare siti sensibili quali ospedali, scuole, residenze per anziani, parchi giochi ecc.);
3. esclusione di ampie aree disabitate (mare);
4. esclusione di aree a orografia complessa, compatibilmente con le potenzialità del modello di dispersione utilizzato;
5. maggiore estensione nelle direzioni prevalenti notturne del vento (dove il pennacchio assume forma più piatta; fenomeni di *fanning*).

L'estensione del dominio di simulazione e lo studio conoscitivo delle emissioni all'interno dello stesso sono due processi che evolvono parallelamente.

#### Inquinanti scelti per le simulazioni

Gli inquinanti scelti per le simulazioni sono:

- NO<sub>x</sub> e PM<sub>10</sub> per le simulazioni "impianti attuali"
- PM<sub>10</sub> per le simulazioni "vecchi impianti".

La scelta è basata sulle seguenti considerazioni:

1. difficoltà di reperimento dati di diverse specie chimiche per tutte le

fonti del dominio;

2. tracciabilità degli inquinanti che vengono in massima parte ritrovati sul particolato (molti metalli e sostanze organiche pericolose per la salute).

## Descrizione delle sorgenti nel modello

L'inceneritore (**macrosettore M9**) è descritto nel modello come sorgente puntuale, ed è modulato mensilmente (caso epidemiologia) o considerato sempre acceso o sempre spento (caso pianificazione monitoraggio ambientale).

Le sorgenti appartenenti al **macrosettore M1** sono descritte come l'inceneritore.

Il **macrosettore M2**, comprendente il riscaldamento domestico, è stato descritto come sorgente di griglia.

I **macrosettori M3 e M4** (industrie) sono stati descritti in una combinazione di sorgenti puntuali e sorgenti diffuse. Nella parte delle sorgenti diffuse sono state inserite tutte quelle sorgenti di cui non è stato possibile reperire tutti i dati fisici per poter essere descritte come sorgenti puntuali, o sorgenti meno importanti dal punto di vista emissivo.

È stata fissata una soglia che determina la ripartizione tra sorgenti puntuali e diffuse stabilita come “minima accettabile”: descrivere come puntuali tutte le sorgenti che superano in emissione il decimo percentile delle emissioni industriali per un dato inquinante, nell'area del dominio. È ovviamente possibile, a scelta dell'operatore, descrivere tutte le sorgenti industriali come puntuali. Questa scelta può essere determinata dalla completezza della base dati e dal numero di sorgenti presenti sul territorio in esame. Le sorgenti descritte nel modello come puntuali sono state modulate temporalmente quando possibile.

Il **macrosettore M7** (trasporto su strada) è stato suddiviso anch'esso in traffico lineare e traffico diffuso (in questo caso gli archi di importanza minore possono essere inclusi in una griglia speciale di ADMS-Urban). Per quanto riguarda il traffico è importante la modulazione temporale che deve riflettere quella utilizzata per il calcolo emissivo in INEMAR.

I rimanenti **macrosettori M8** (solo mezzi agricoli) e **M10** (solo allevamenti) sono stati rappresentati nel modello come sorgenti diffuse. Per quanto riguarda il traffico off-road è stato effettuato uno studio per la modulazione temporale, basata sulla stagionalità delle colture.

## Input meteorologico

Per quanto riguarda l'input meteorologico, si è scelto di tenere temporalmente scollegato il database meteo dal quello emissivo, per reperibilità di serie storiche remote (si pensi ad esempio alla esigenza di rappresentare la ricaduta di inceneritori di 20 o più anni fa) e si è preferito utilizzare un database di 12 mesi consecutivi che siano liberi da eventi meteorologicamente "anomali" secondo i criteri già esposti nel capitolo 1. La sorgente dei dati meteo può essere sia una centralina meteorologica sia il preprocessore meteorologico Calmet-SMR, sia il dataset LAMA, a seconda della disponibilità e delle caratteristiche del territorio.

## Simulazioni

Una volta costruito il database delle emissioni, delle modulazioni delle sorgenti e della meteorologia si procede alle simulazioni. Le simulazioni previste si possono descrivere in questo modo:

### ***Situazione attuale e passato recente***

- simulazione: solo inceneritore;
- simulazione: tutte sorgenti del dominio.

Analisi delle ricadute degli ultimi 5 anni. Sono 5 simulazioni che differiscono solamente per le diverse realtà emissive, relative ai 5 anni analizzati, e che utilizzano la stessa meteorologia, uguale a quella della situazione attuale:

- simulazione: solo inceneritore.

### ***Analisi delle ricadute degli impianti "storici"***

È stata effettuata la ricostruzione della storia di ogni impianto, seguendo nel tempo le variazioni strutturali e di processo di combustione, come

ad esempio: variazioni di altezza e diametro di linea emissiva, variazioni di parametri di processo di combustione (anche considerando eventuali additivi), variazioni di filtri e abbattitori secondo le BAT (*Best Available Technologies*), o altro significativamente rilevante ai fini di una variazione della ricaduta.

Una volta individuate le  $n$  “pietre miliari” della storia dell’impianto, si procede alla valutazione delle emissioni dai certificati di analisi (controllo Arpa/AUSL/autocontrollo) e alle  $n+1$  simulazioni che dovranno essere effettuate “prima e dopo” ogni variazione rilevante.

- Simulazione: solo inceneritore.

# Bibliografia

<http://www.inemar.eu/xwiki/bin/view/Inemar/WebHome>

APAT CTN\_ACE, “Manuale dei fattori di emissione nazionali” ([www.inventaria.sinanet.apat.it](http://www.inventaria.sinanet.apat.it))

APAT, RTI CTN\_ACE 3/2001 “Linee guida agli inventari locali di emissioni in atmosfera”

Dlgs 351/1999 “Attuazione della direttiva 96/62 in materia di valutazione e gestione della qualità dell’aria ambiente”

Dlgs 133/2005 “Attuazione della direttiva 2000/76/CE, in materia di incenerimento dei rifiuti”

DM 1° ottobre 2002, n. 261 - Direttive tecniche per la valutazione della qualità dell’aria ambiente - elaborazione del piano e dei programmi di cui agli articoli 8 e 9 del D.Lgs. 351/1999

DM 2 aprile 2002, n. 60 “Recepimento della direttiva 1999/30/CE concernente i valori limite dell’aria ambiente per il biossido di zolfo, biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 200/69/CE relativa ai valori limite dell’aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio”

EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 3rd edition October 2002 e successivi aggiornamenti

Bompani M., F. Capuano, B. Cavalchi, M. Deserti, E. de’ Munari, L. Guerra, C. Regazzi. “Linee guida per la predisposizione del documento tecnico di supporto per la redazione dei piani e dei programmi di cui all’art.8 del D.Lgs. 351/99”. Arpa Emilia – Romagna, novembre 2004

<http://www.cerc.co.uk>

CERC Ltd. “ADMS 3 & ADMS-Urban 1.6 Technical Specification”. User Guide (Version 2.0). Cambridge, 2000

CERC Ltd. “ADMS-Urban User Guide (Version 2.0)”. Cambridge, 2003

Finzi, G., Pirovano, G. Volta, M., “Gestione della qualità dell’aria - modelli di simulazione e previsione”, McGraw-Hill (2001)



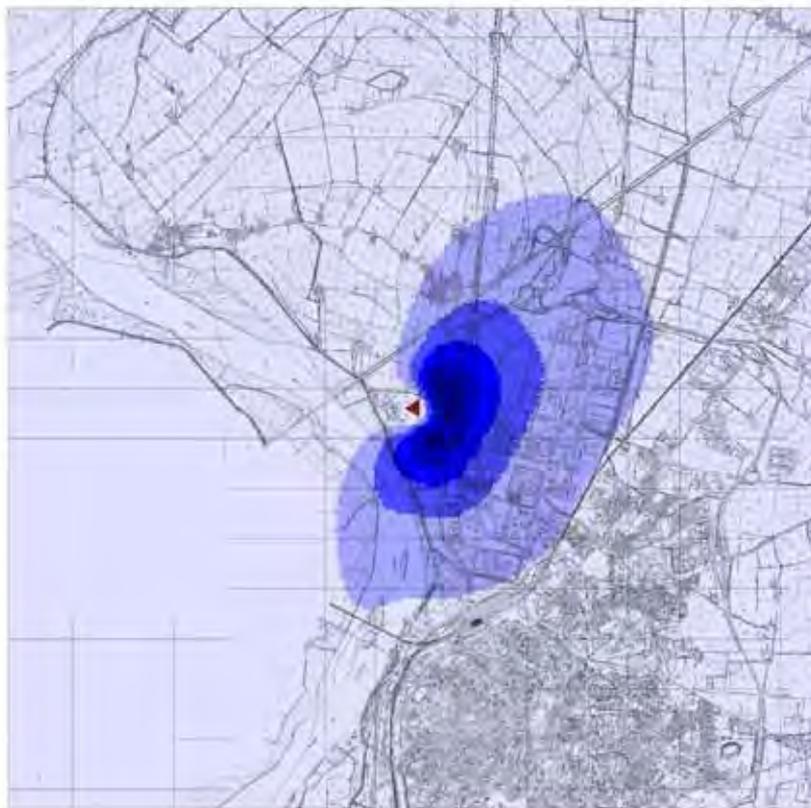
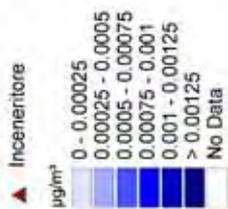
# Mappe di emissione



**Inceneritore  
Piacenza**  
Strada Borgoforte

**Particolato PM10**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2006  
meteorologia: anno 2005



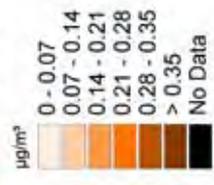


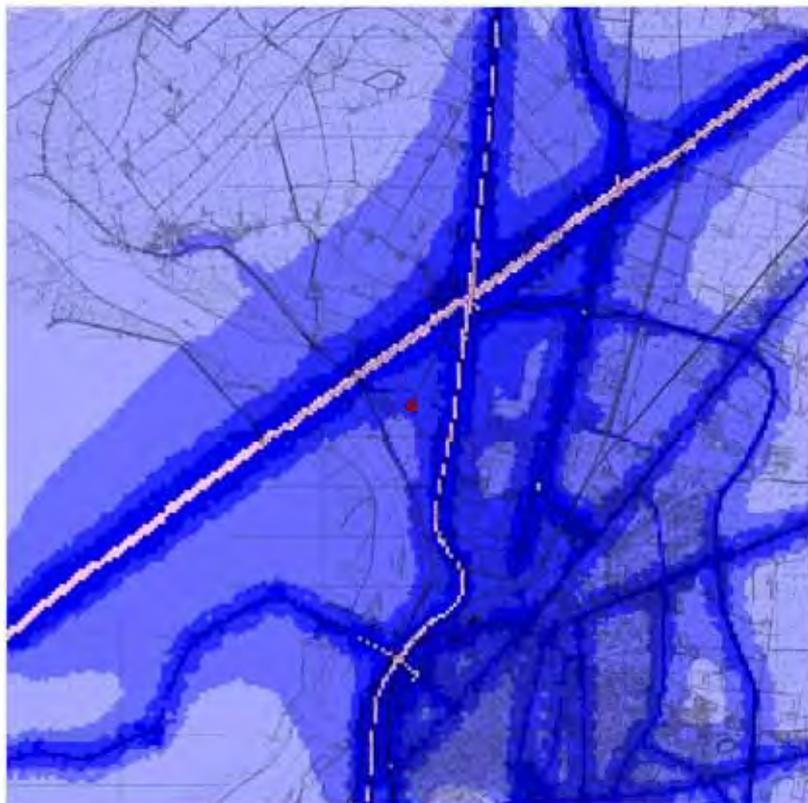
Inceneritore  
**Piacenza**  
Strada Borgoforte

**Ossidi di azoto NOx**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2006  
meteorologia: anno 2005

▲ Inceneritore





Tutte le sorgenti  
nel dominio per

## Piacenza

(escluso fondo ambientale)

### Particolato PM10

Concentrazioni medie annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: scenario attuale  
meteorologia: anno 2005

▲ Inceneritore





Tutte le sorgenti nel dominio per

## Piacenza

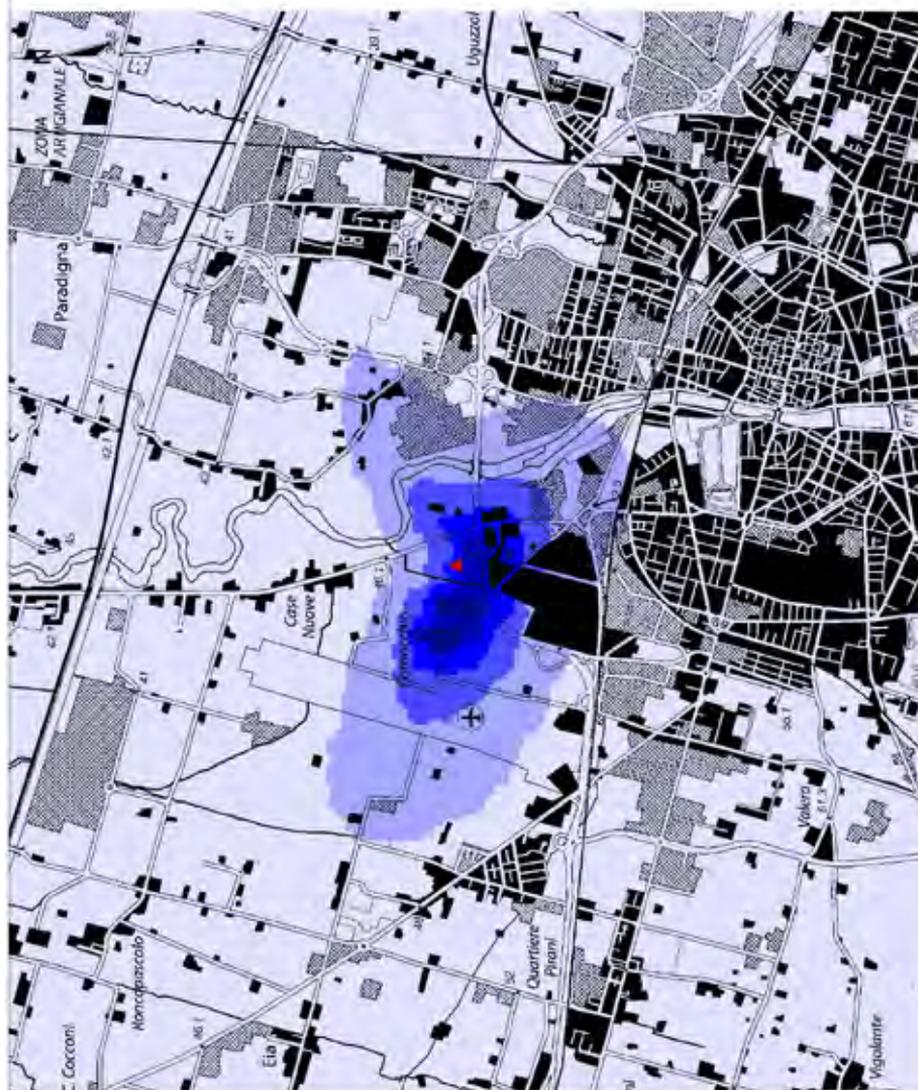
(escluso fondo ambientale)

### Ossidi di azoto NOx

Concentrazioni medie annuali di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: scenario attuale  
meteorologia: anno 2005

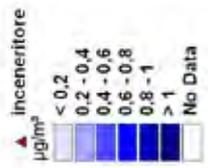




Inceneritore  
**Parma**  
 Loc. Cornocchio

**Particolato PM10**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 1993  
 meteorologia: anno 2004



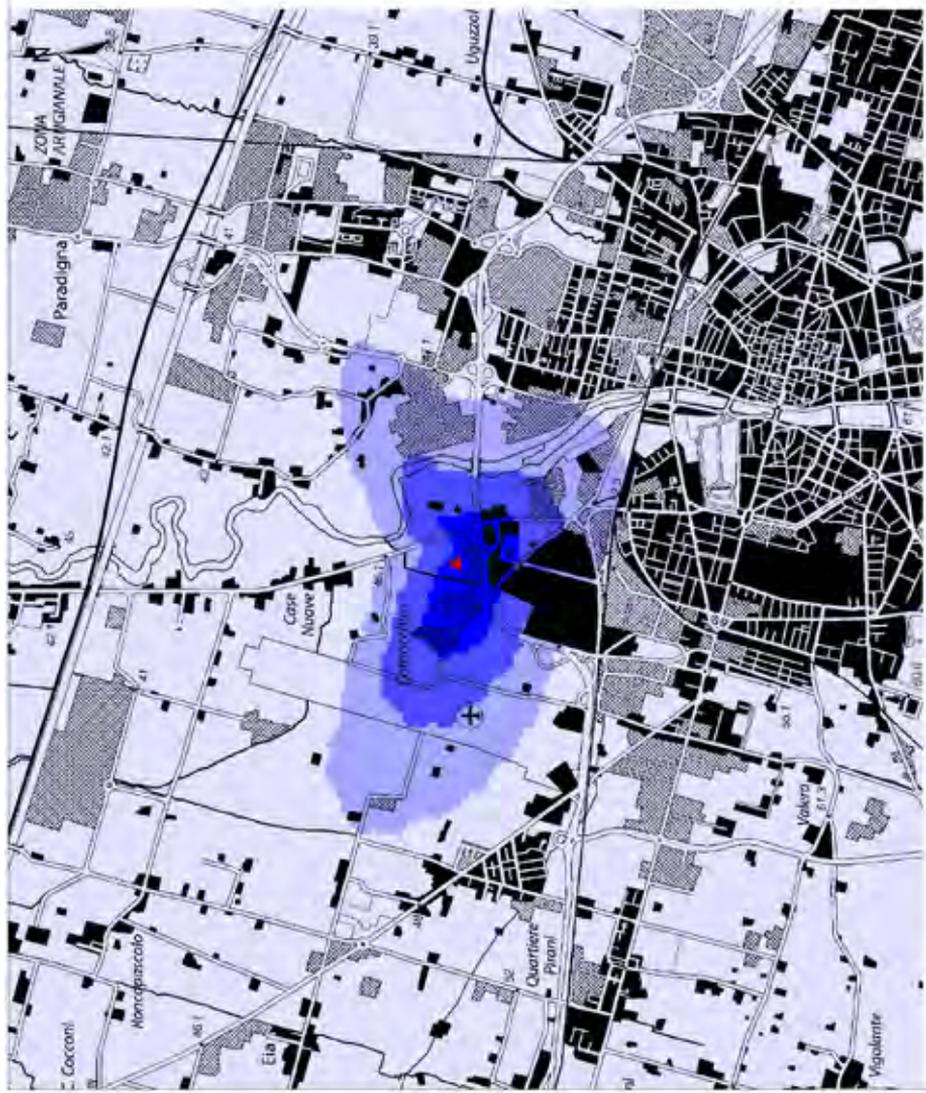
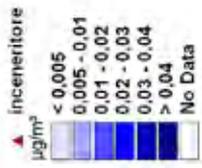


Inceneritore  
**Parma**  
Loc. Corroccello

### Particolato PM10

Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 1996  
meteorologia: anno 2004



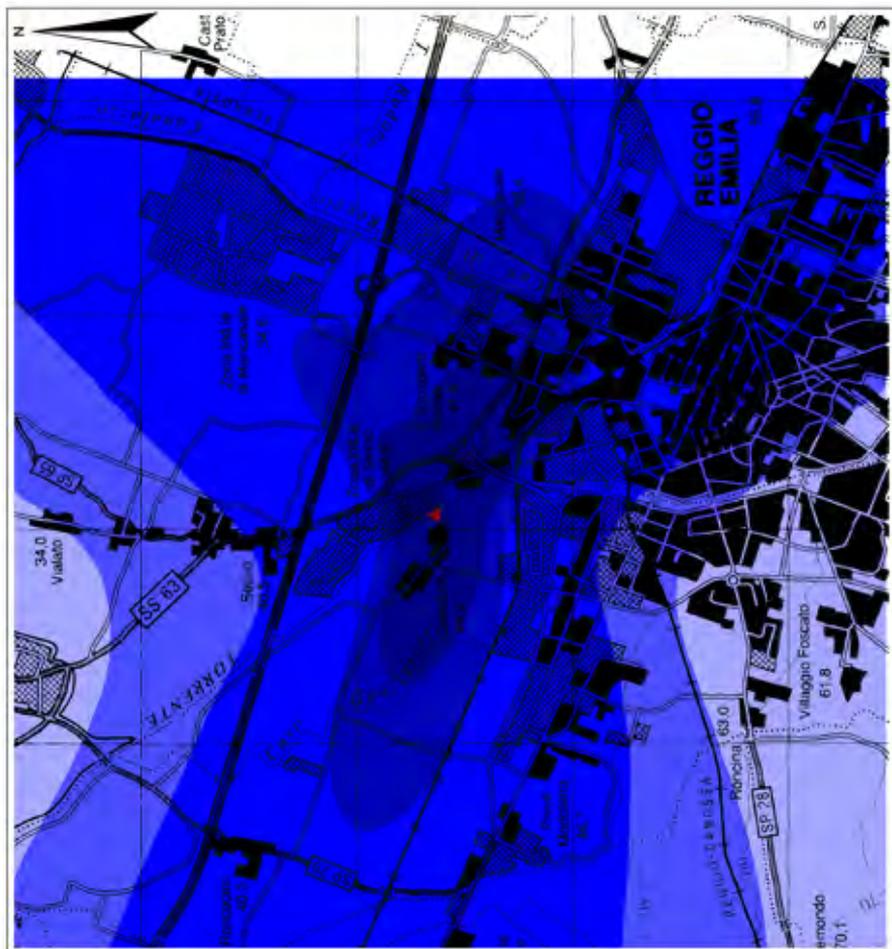
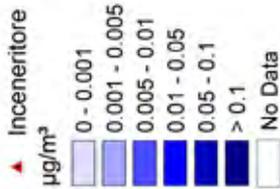


**Inceneritore  
Reggio Emilia**  
via dei Gonzaga, località Cavazzoli

**Particolato PM10**

Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 1985 - 1989  
meteorologia: anno 2006

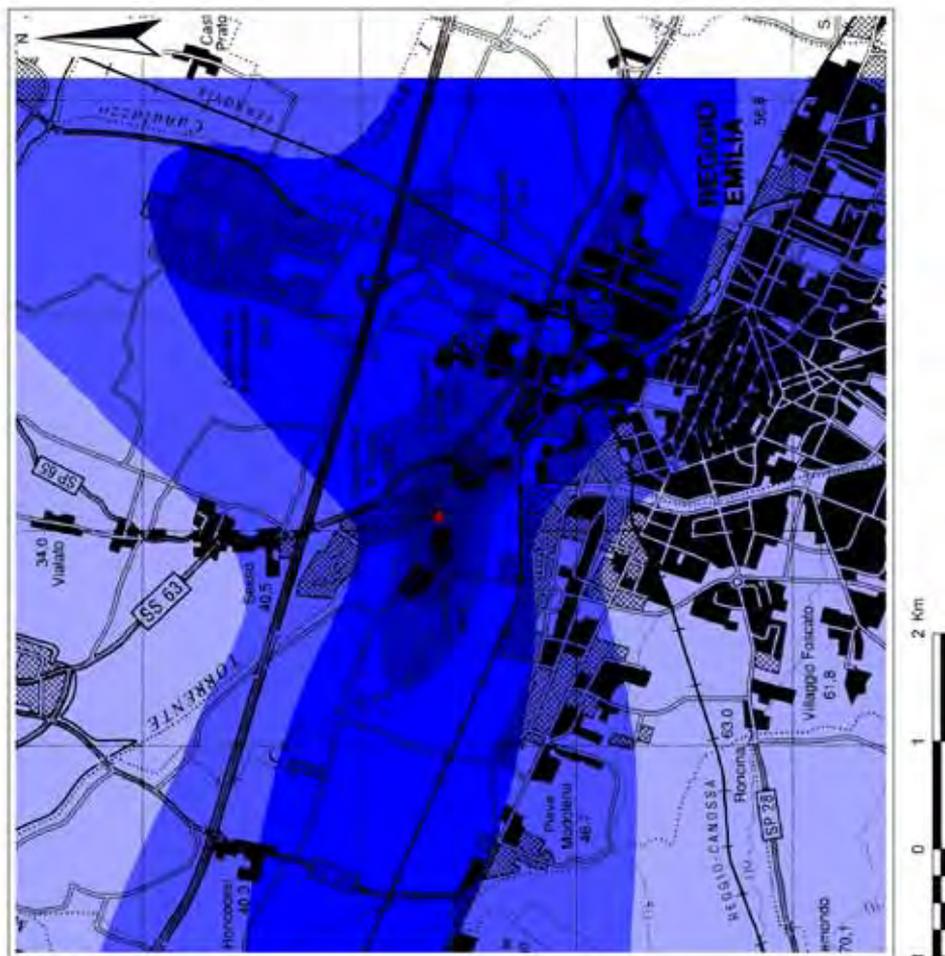
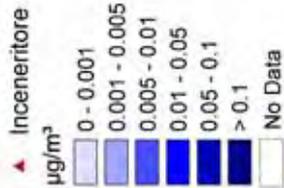




Inceneritore  
**Reggio Emilia**  
via dei Gonzaga, località Cavazzoli

**Particolato PM10**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 1991 - 1993  
meteorologia: anno 2006

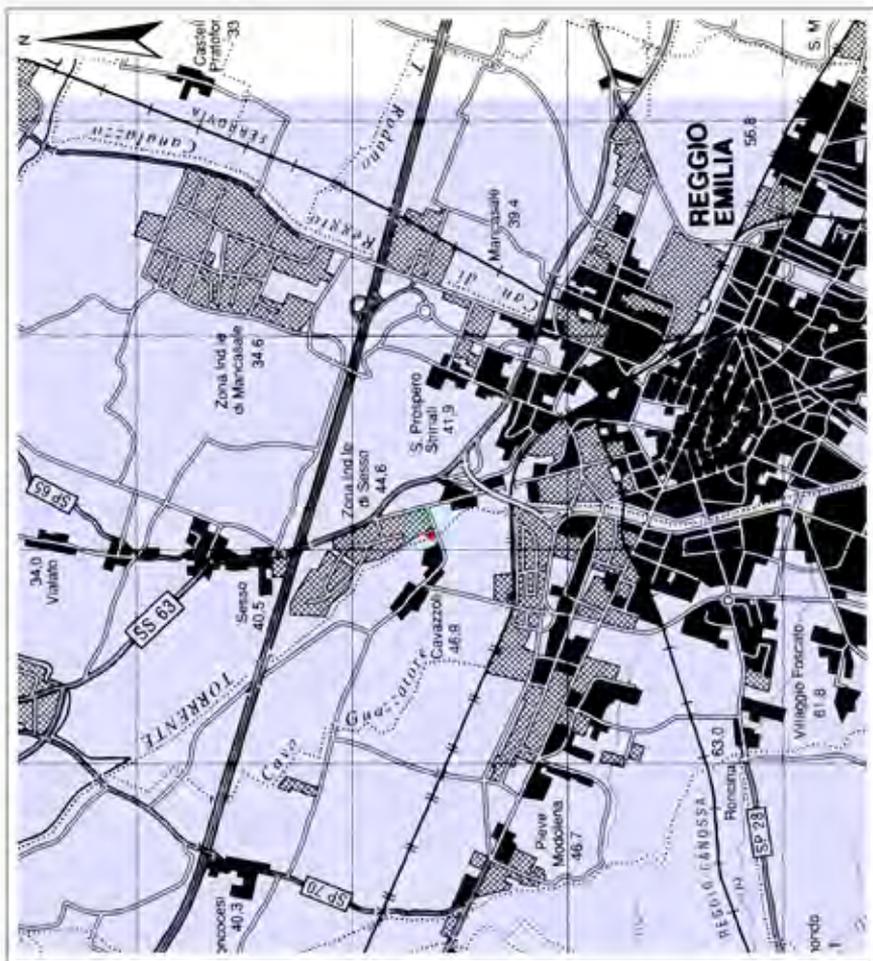
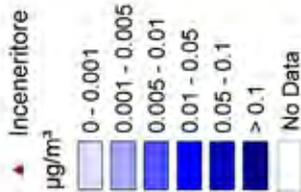




**Inceneritore  
Reggio Emilia**  
via dei Gonzaga, località Cavazzoli

**Particolato PM10**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2002  
meteorologia: anno 2006

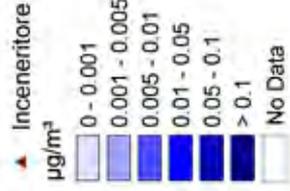




**Inceneritore**  
**Reggio Emilia**  
 via dei Gonzaga, località Cavazzoli

**Particolato PM10**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2005  
 meteorologia: anno 2006

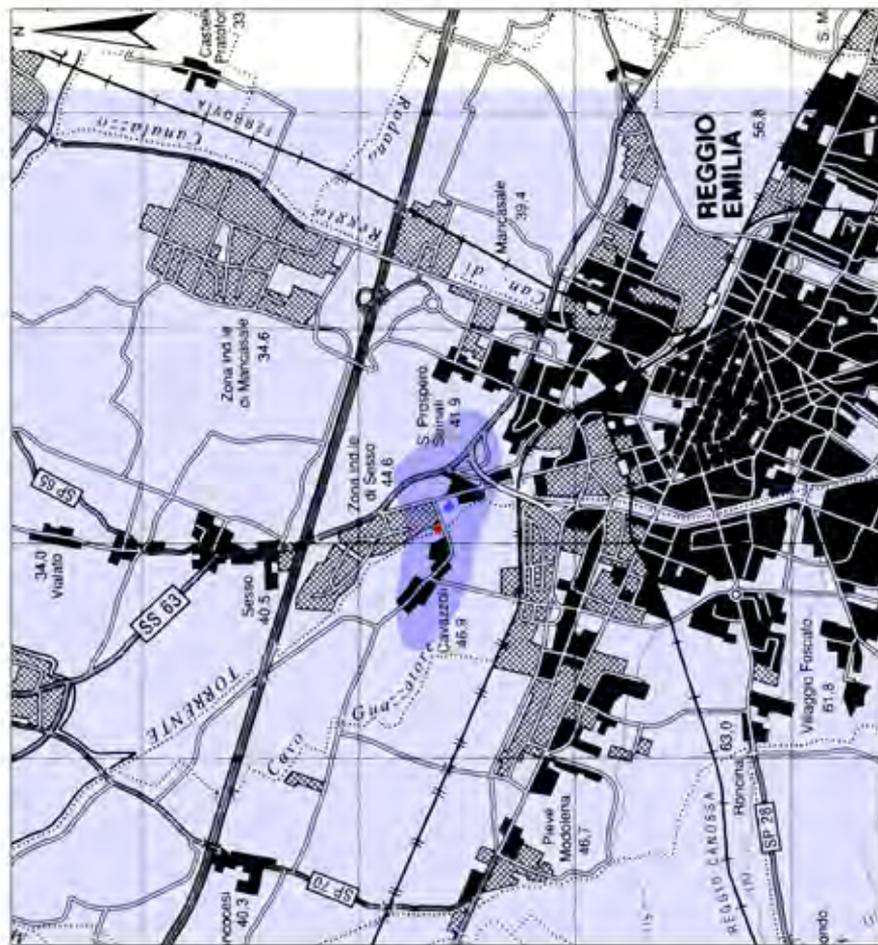
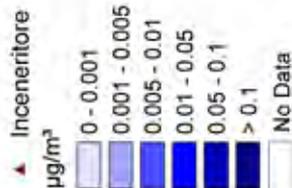




**Inceneritore  
Reggio Emilia**  
via dei Gonzaga, località Cavazzoli

**Particolato PM10**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2006  
meteorologia: anno 2006

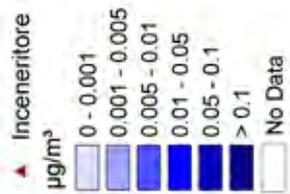
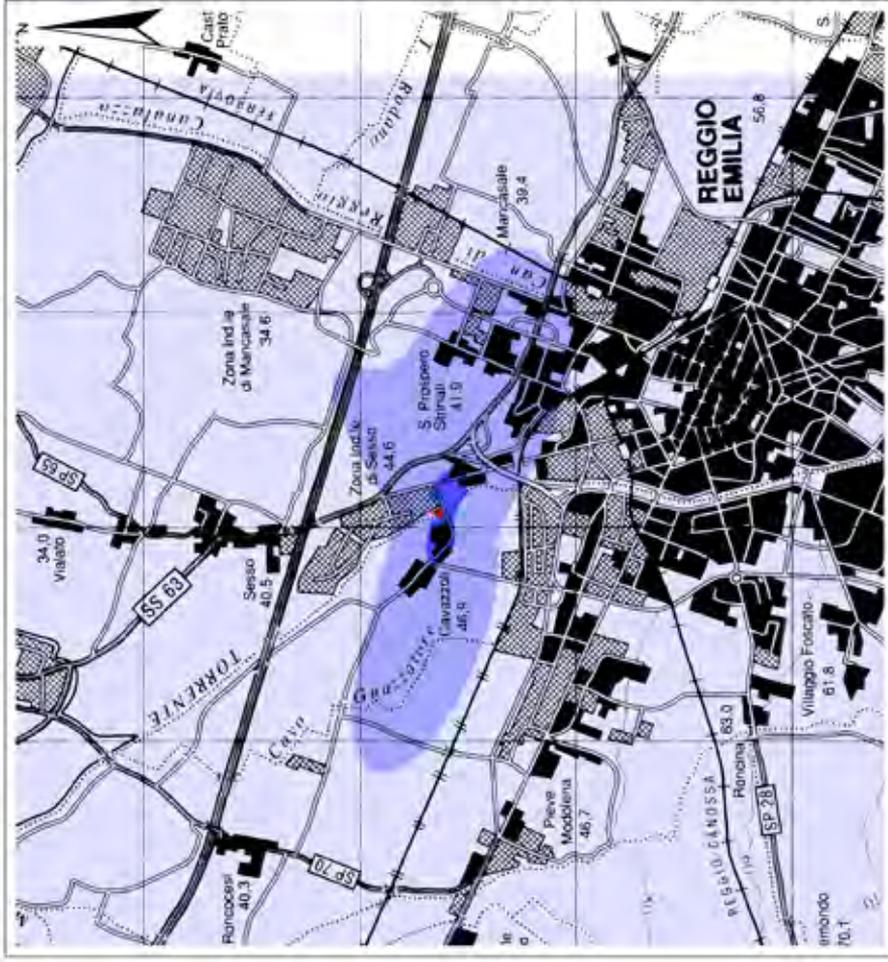




**Inceneritore**  
**Reggio Emilia**  
 via dei Gonzaga, località Cavazzoli

**Particolato PM10**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2007  
 meteorologia: anno 2006

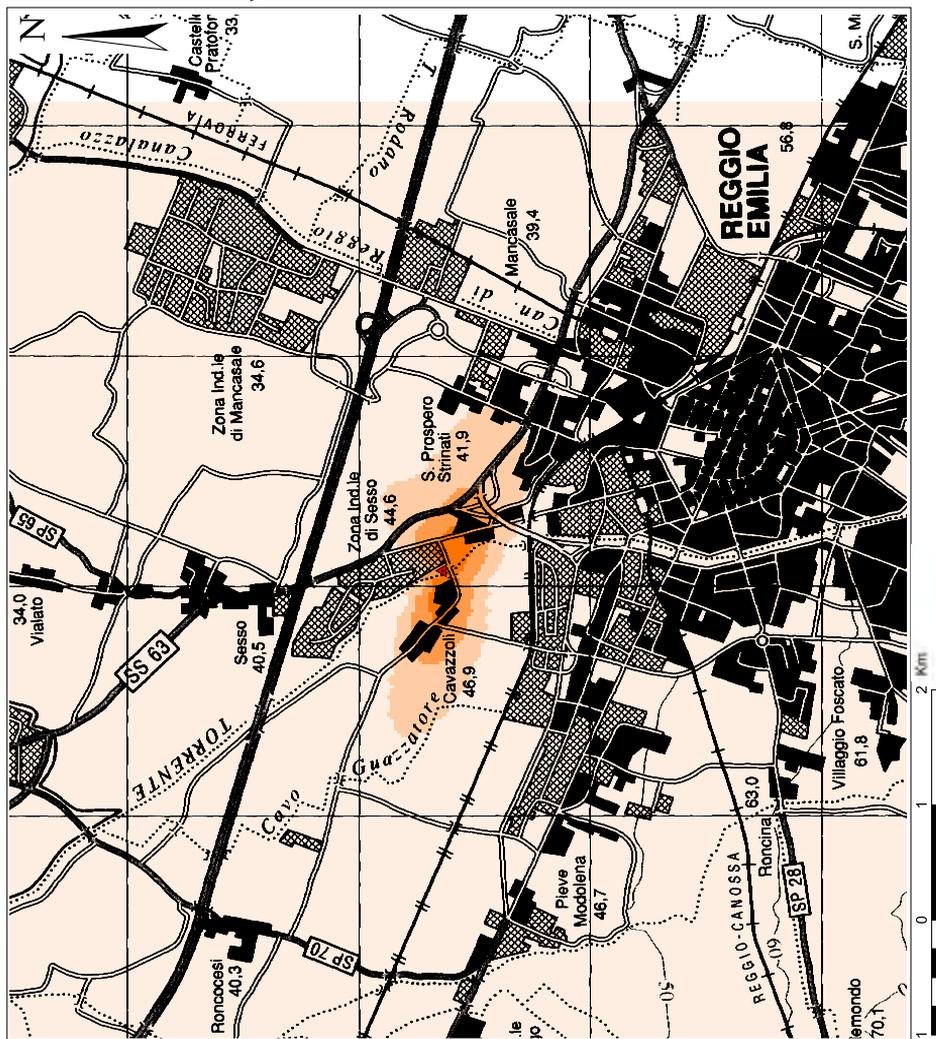
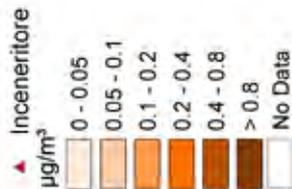




Inceneritore  
**Reggio Emilia**  
 Via dei Gonzaga, località Cavazzoli

**Ossidi di azoto NOx**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni : 2002  
 meteorologia: anno 2006





Inceneritore

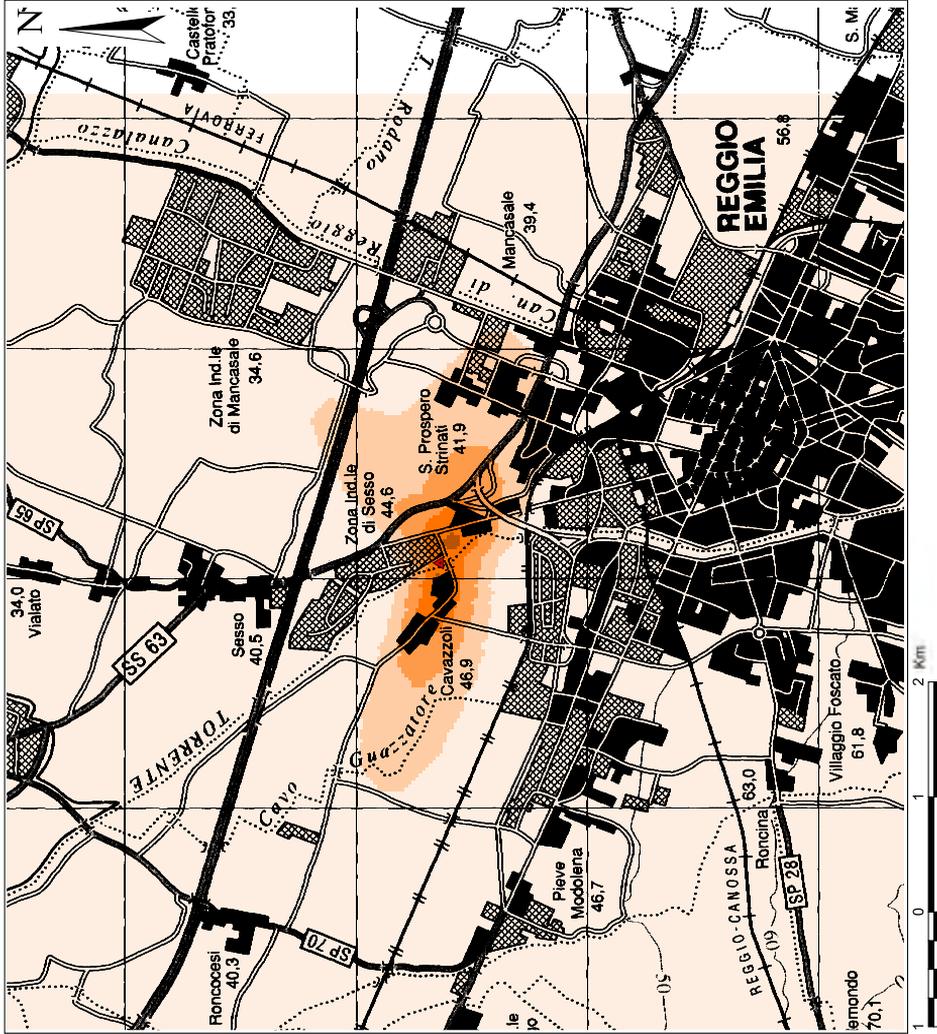
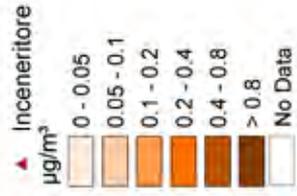
## Reggio Emilia

Via dei Gonzaga, località Cavazzoli

### Ossidi di azoto NOx

Valori medi annuali di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni : 2005  
meteorologia: anno 2006

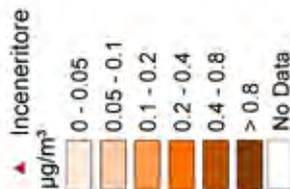




**Inceneritore  
Reggio Emilia**  
via dei Gonzaga, località Cavazzoli

**Ossidi di azoto NOx**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2006  
meteorologia: anno 2006



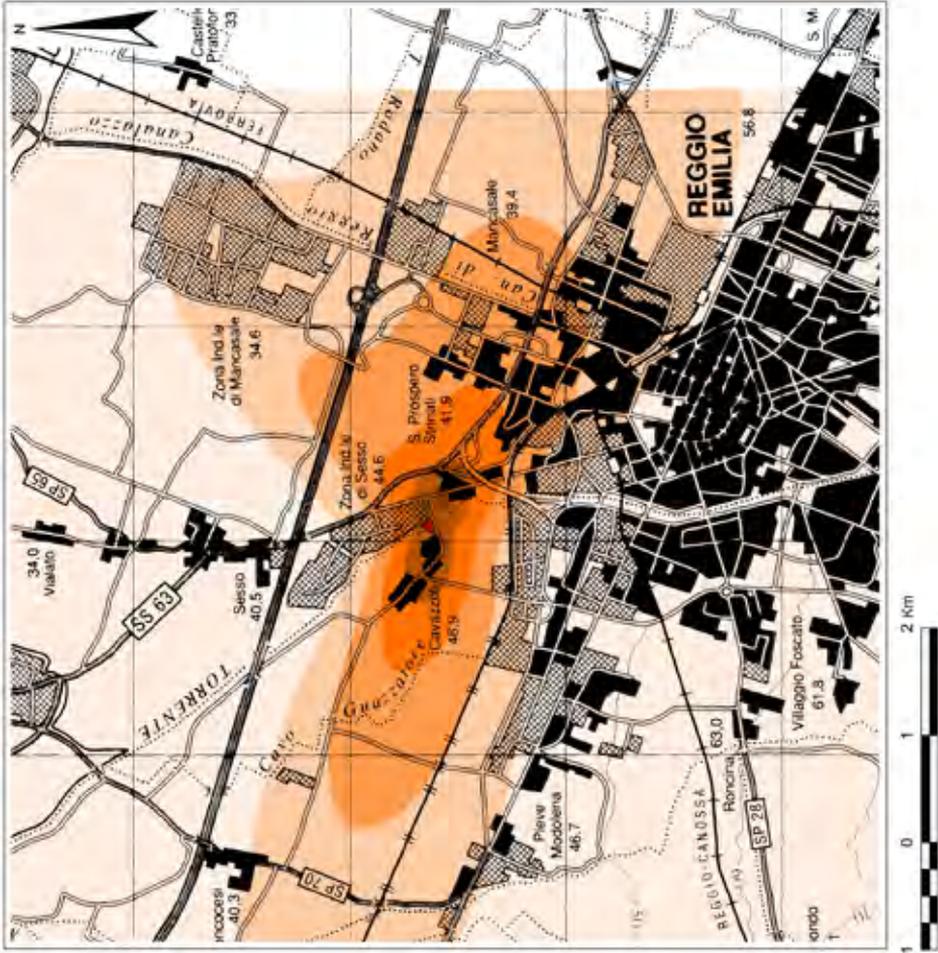
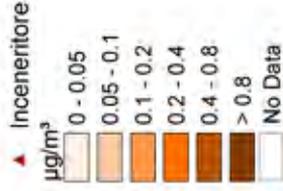


Inceneritore  
**Reggio Emilia**  
 via dei Gonzaga, località Cavazzoli

### Ossidi di azoto NOx

Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2007  
 meteorologia: anno 2006

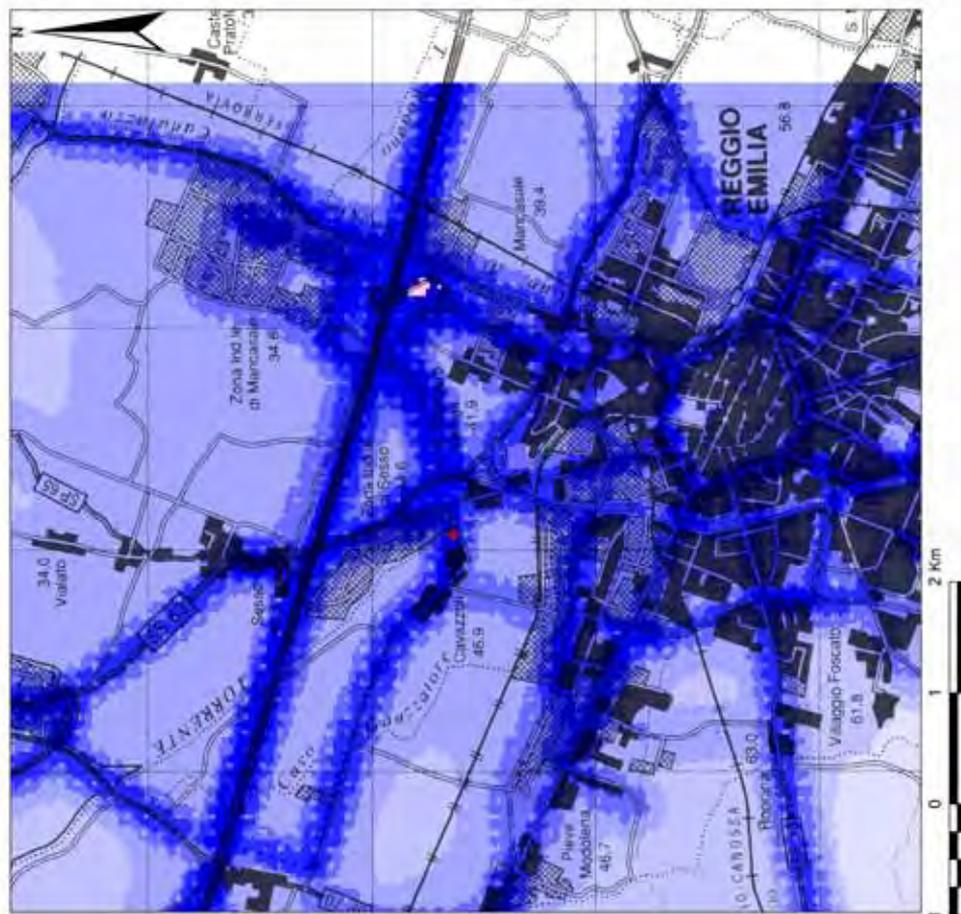
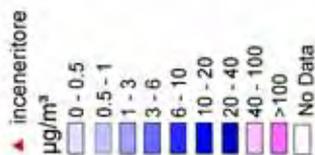




Tutte le sorgenti nel dominio per  
**Reggio Emilia**  
 (escluso fondo ambientale)

**Particolato PM10**  
 Concentrazioni medie annuali  
 di ricaduta al suolo

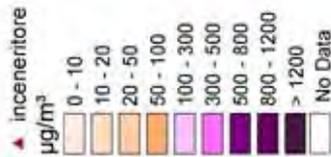
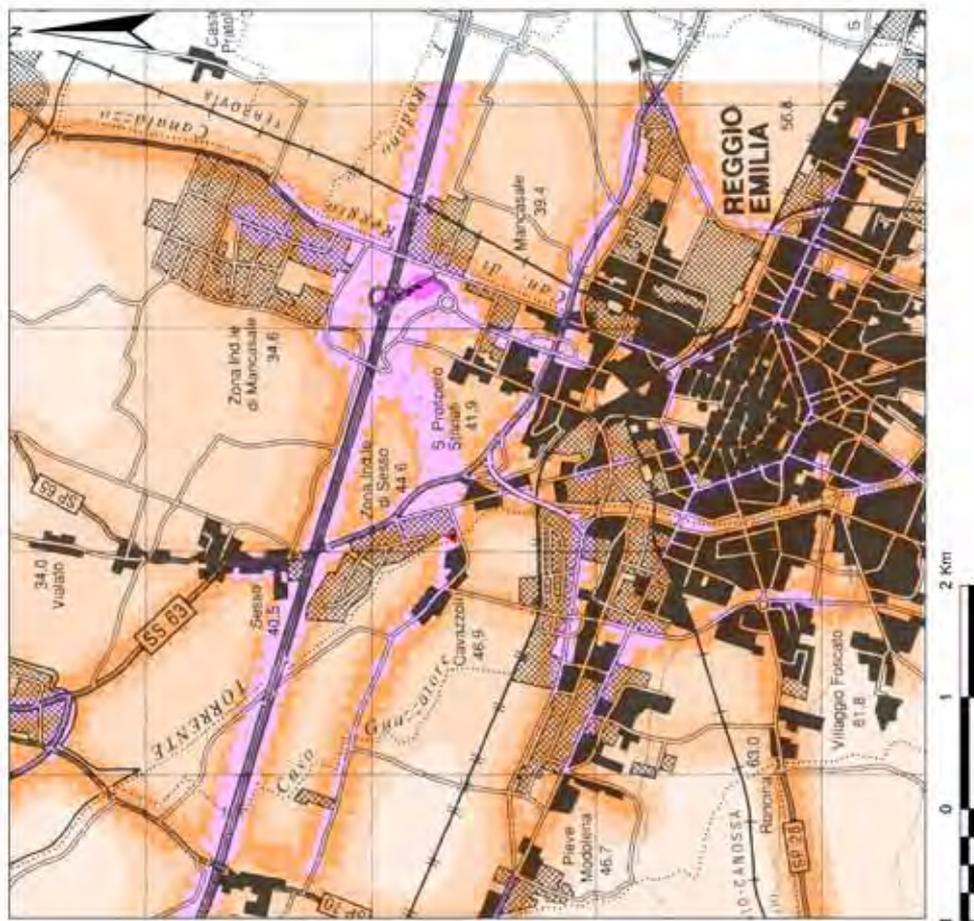
Dati di riferimento considerati  
 emissioni: Scenario Attuale  
 meteorologia: anno 2006

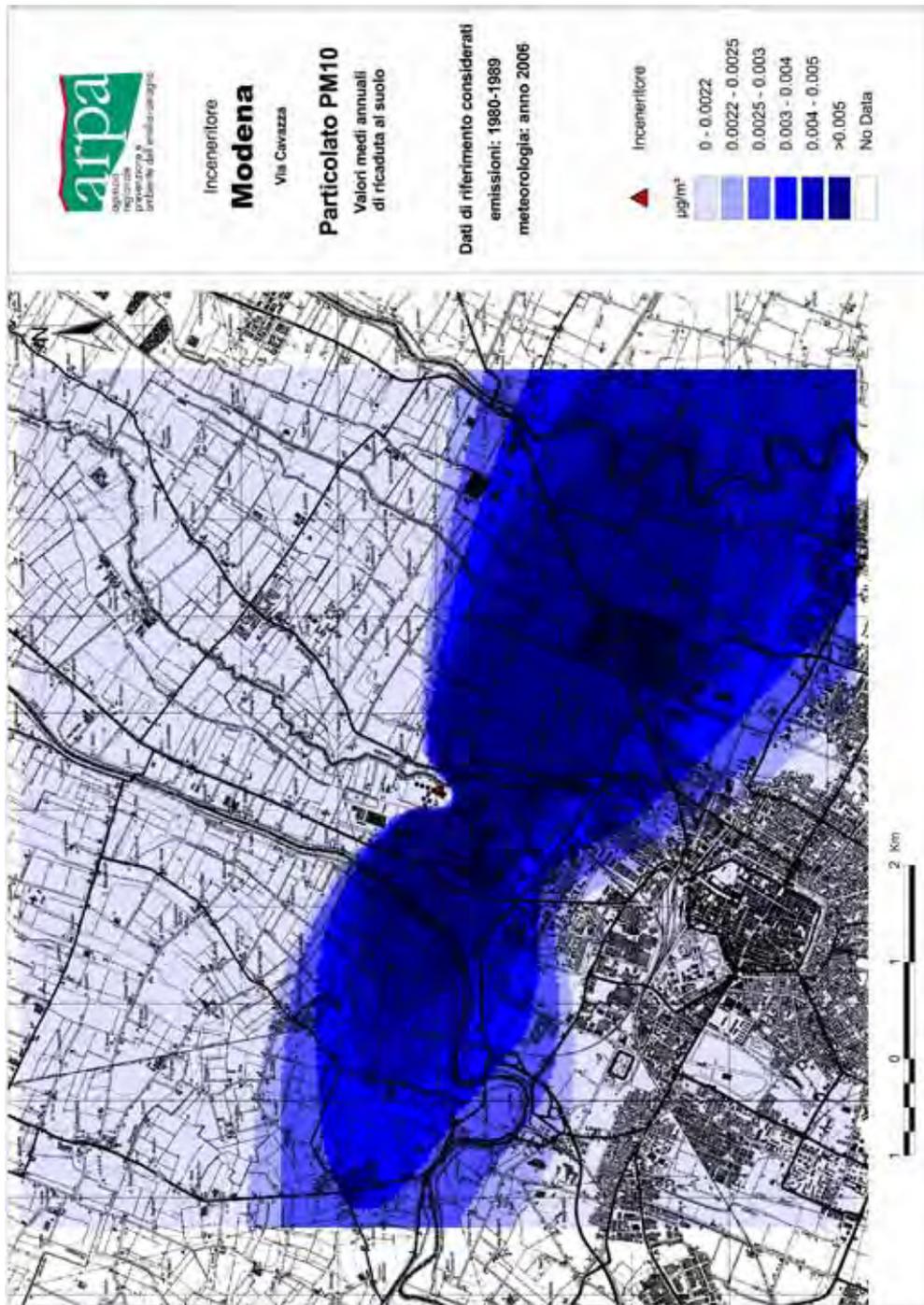


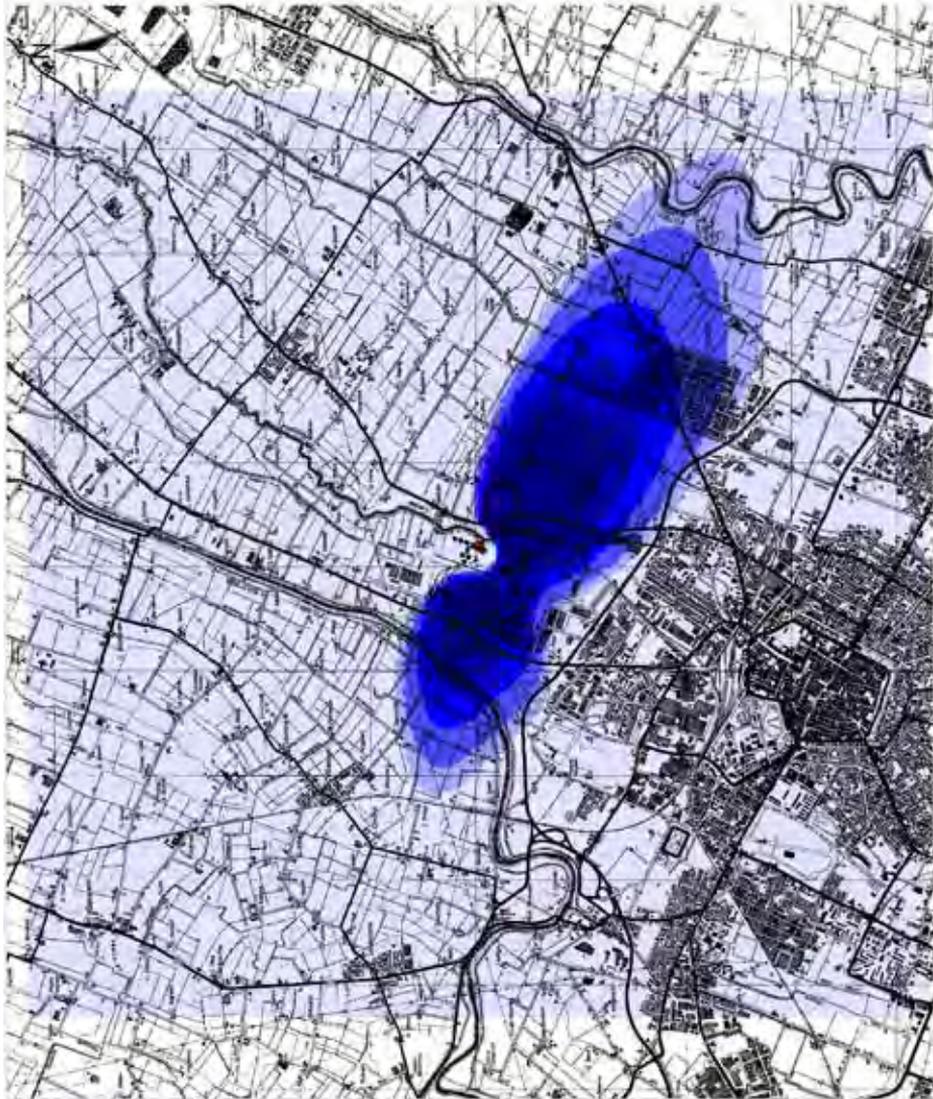
Tutte le sorgenti nel dominio per  
**Reggio Emilia**  
 (escluso fondo ambientale)

**Ossidi di azoto NOx**  
 Concentrazioni medie annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: Scenario Attuale  
 meteorologia: anno 2006



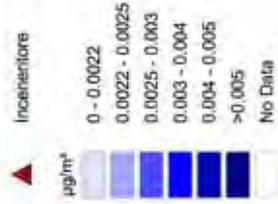


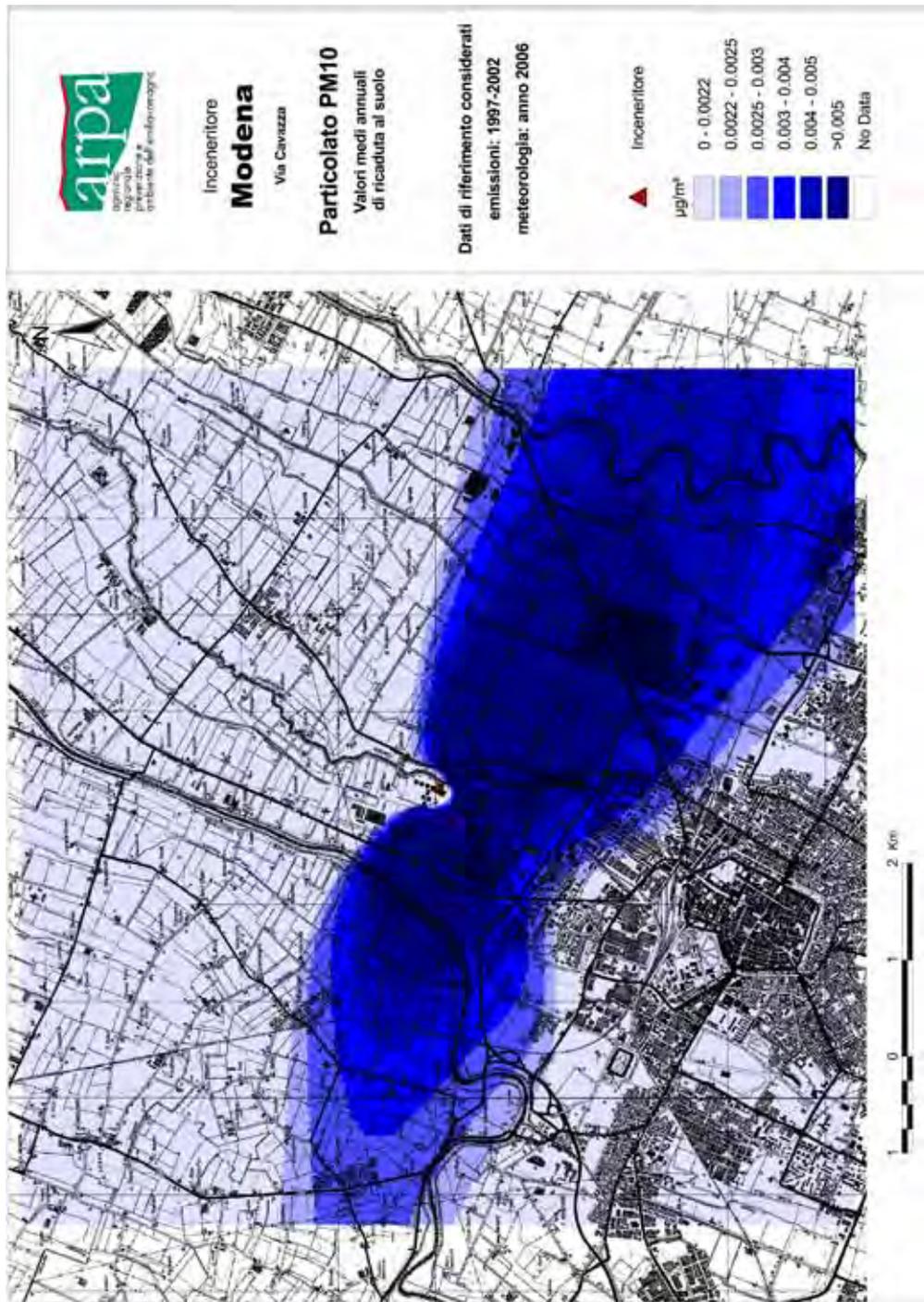


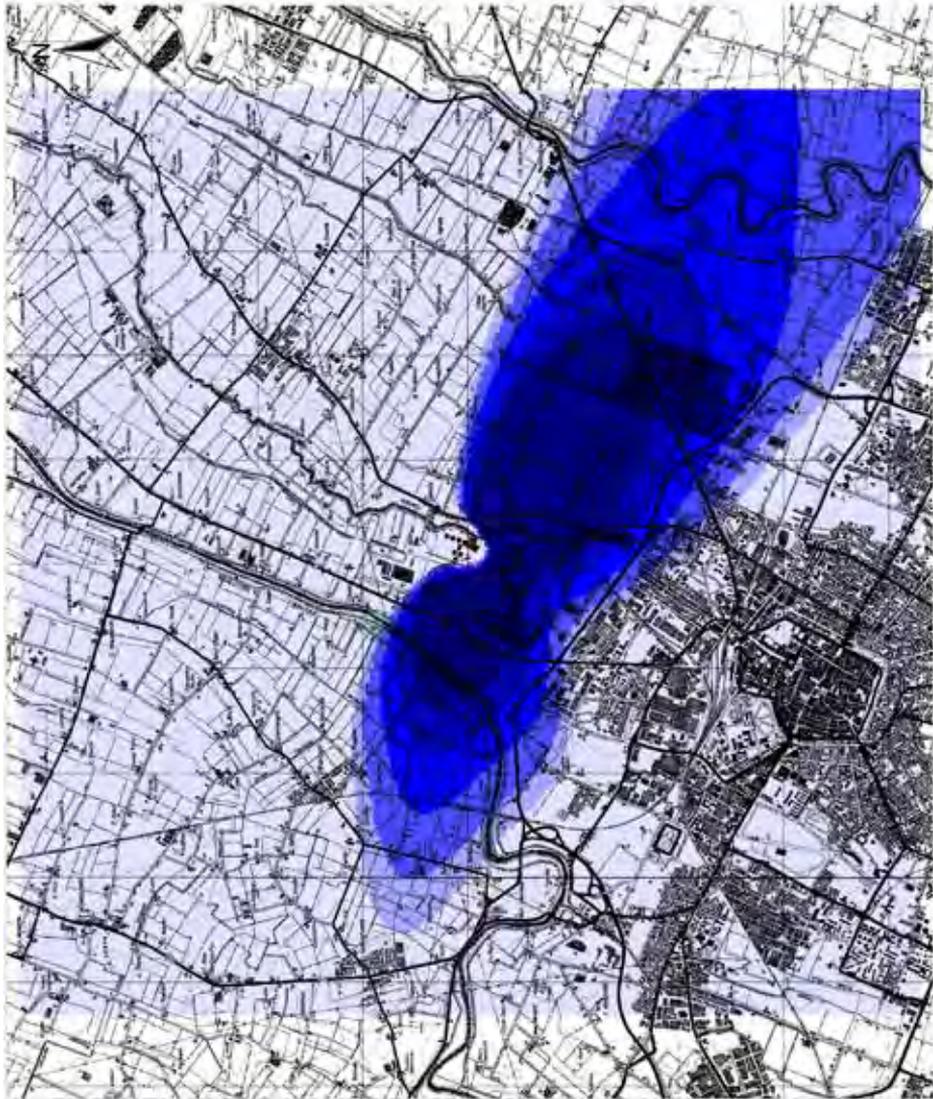
Inceneritore  
**Modena**  
Via Cavazza

**Particolato PM10**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 1995-1996  
meteorologia: anno 2006



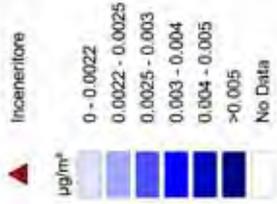


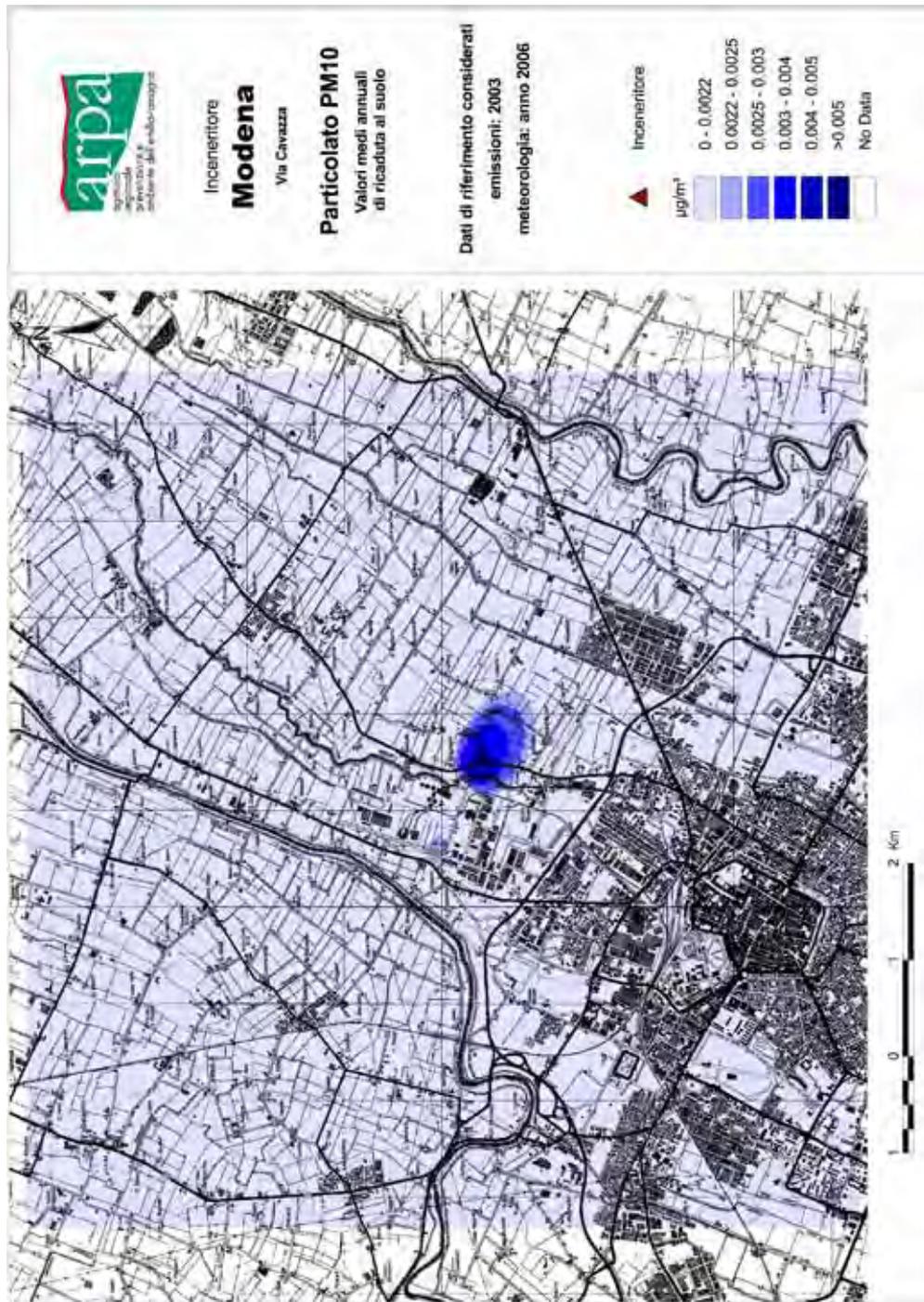


Inceneritore  
**Modena**  
Via Cavazza

**Particolato PM10**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2002  
meteorologia: anno 2006







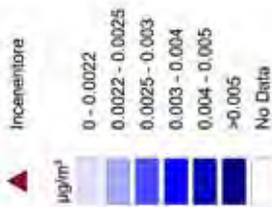
Inceneritore  
**Modena**

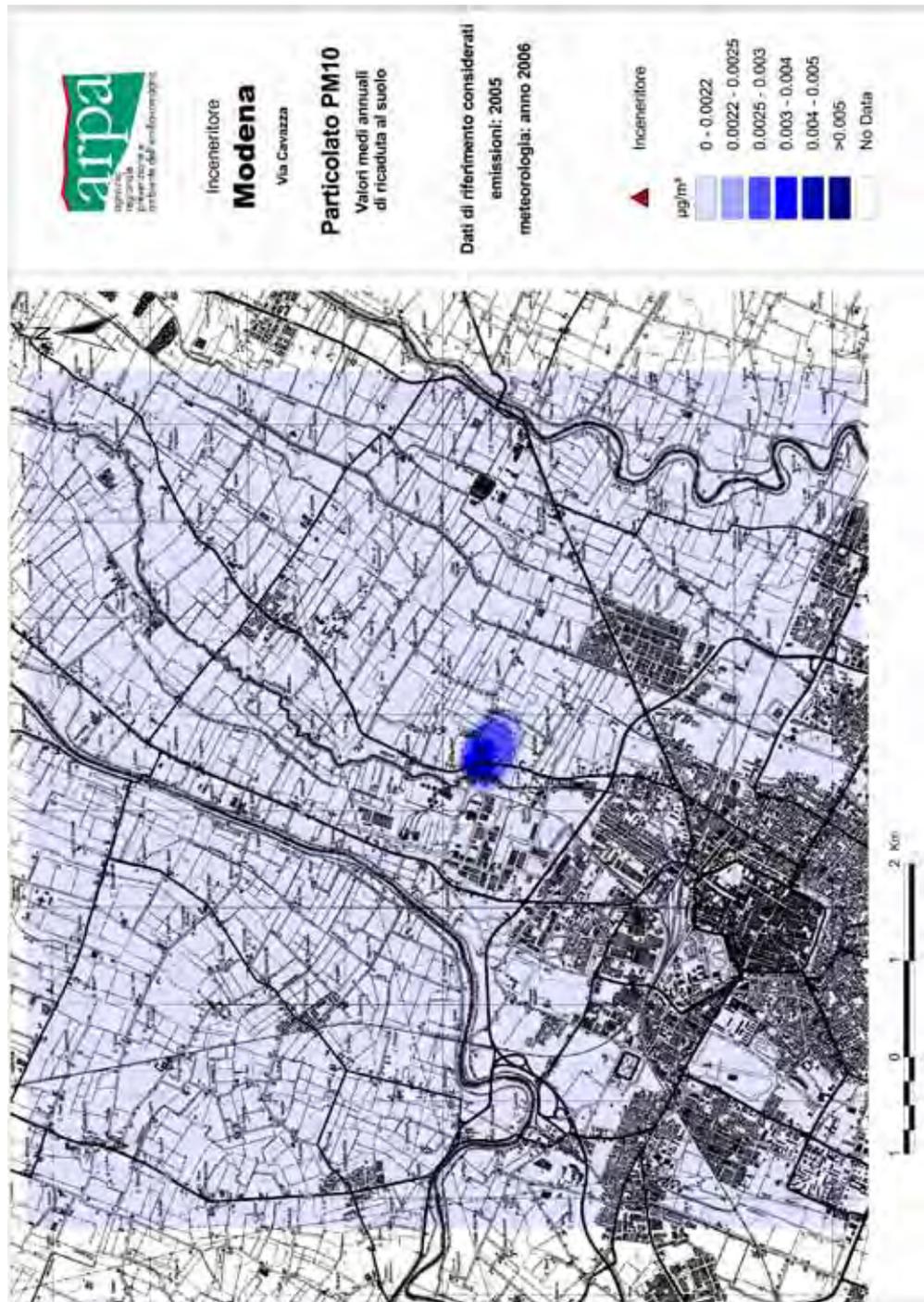
Via Cavazza

**Particolato PM10**

Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2004  
meteorologia: anno 2006



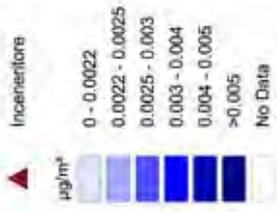


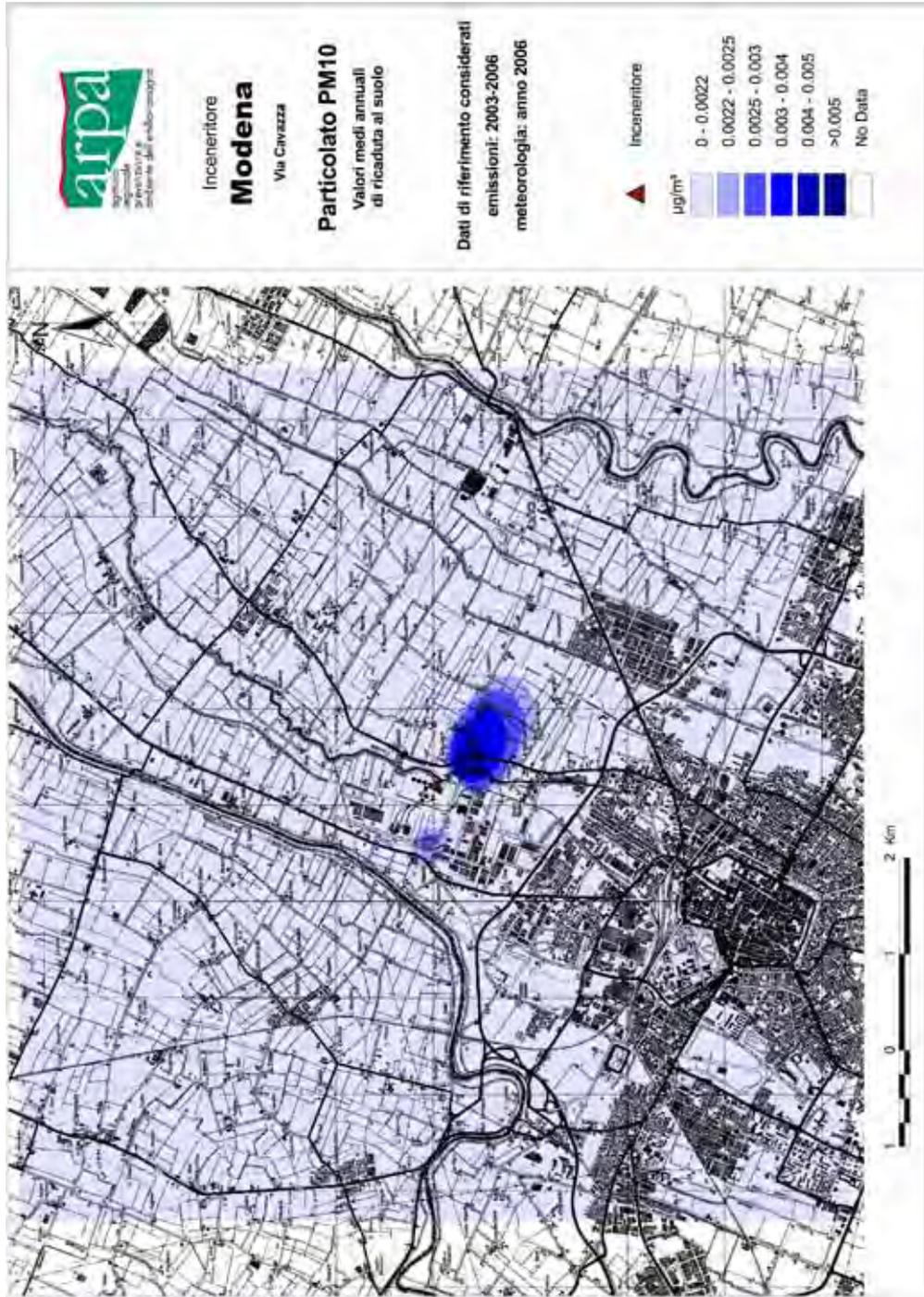


Inceneritore  
**Modena**  
Via Cavazza

**Particolato PM10**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2006  
meteorologia: anno 2006





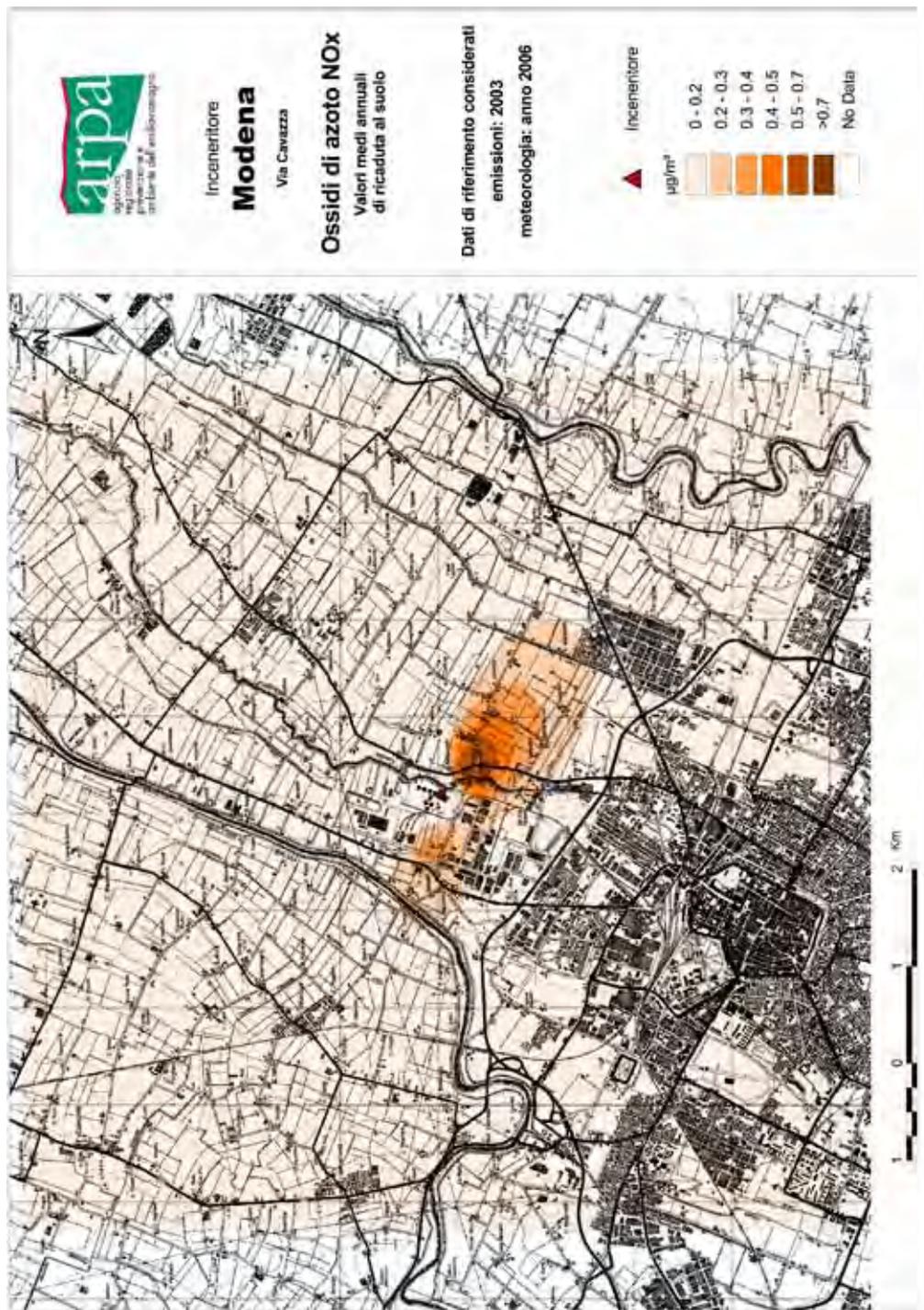


Inceneritore  
**Modena**  
Via Cavazza

**Ossidi di azoto NOx**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2002  
meteorologia: anno 2006





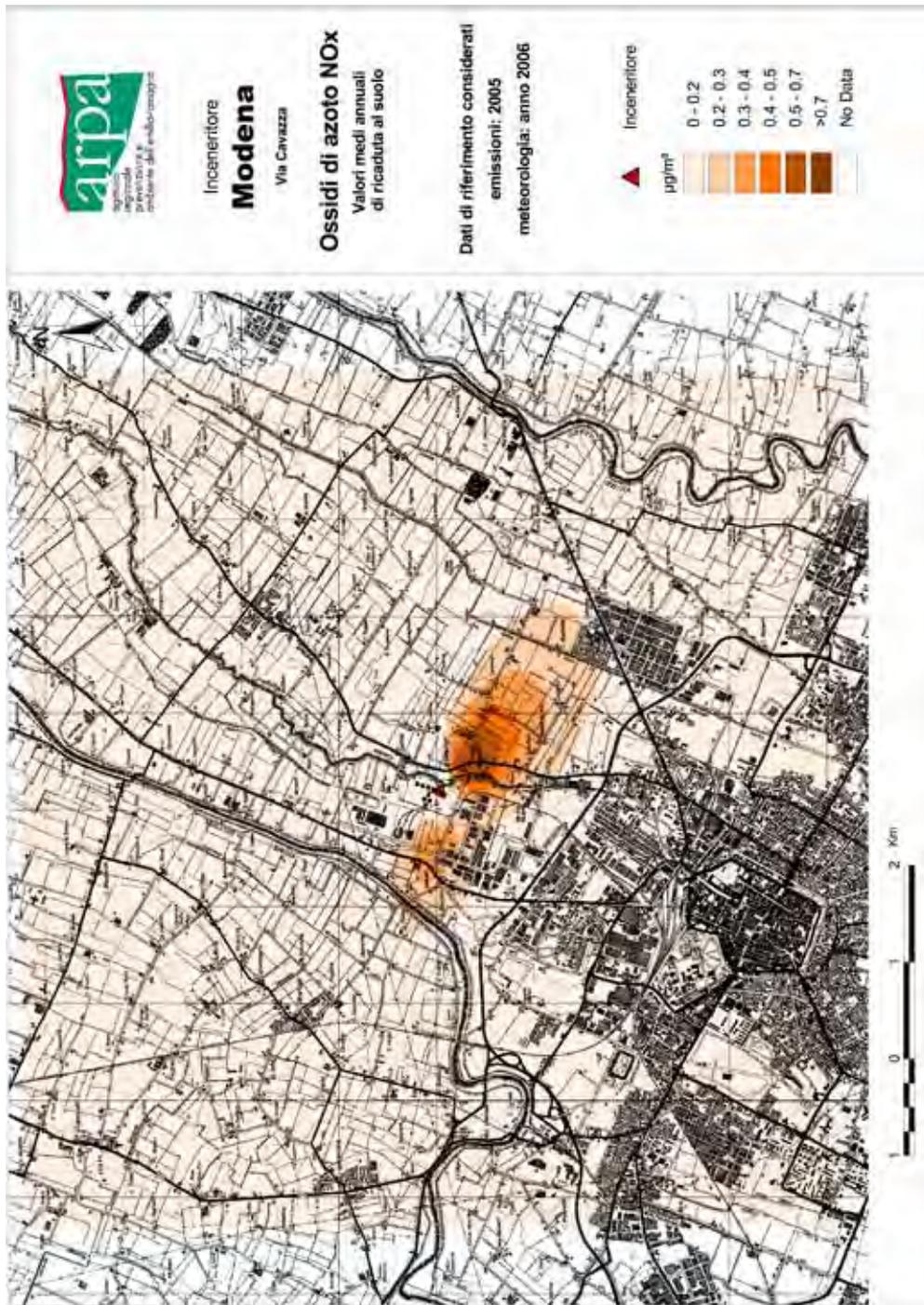


Inceneritore  
**Modena**  
 Via Cavazza

**Ossidi di azoto NOx**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2004  
 meteorologia: anno 2006







Inceneritore  
**Modena**

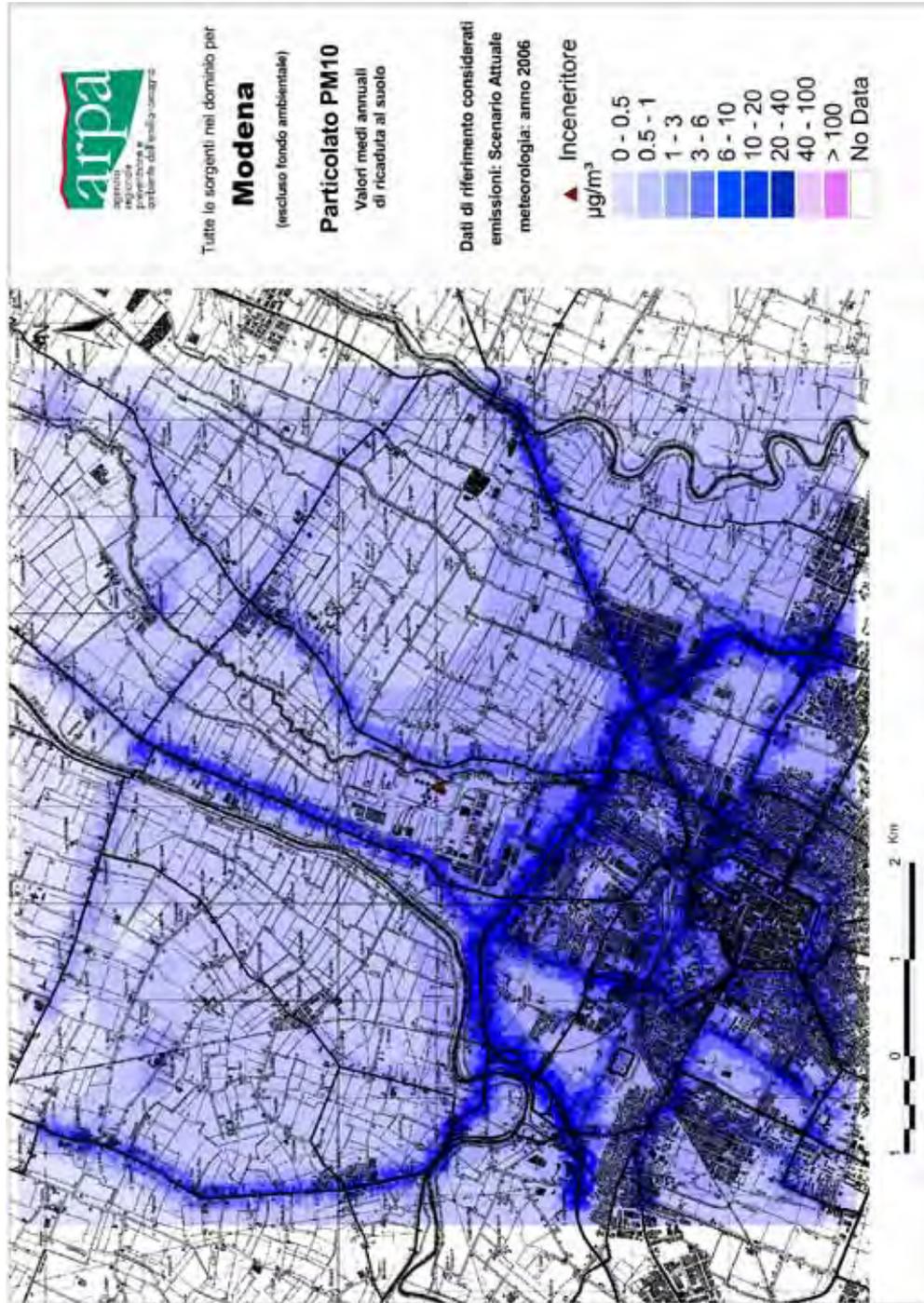
Via Cavazza

### Ossidi di azoto NOx

Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2006  
meteorologia: anno 2006







Tutte le sorgenti nel dominio per

## Modena

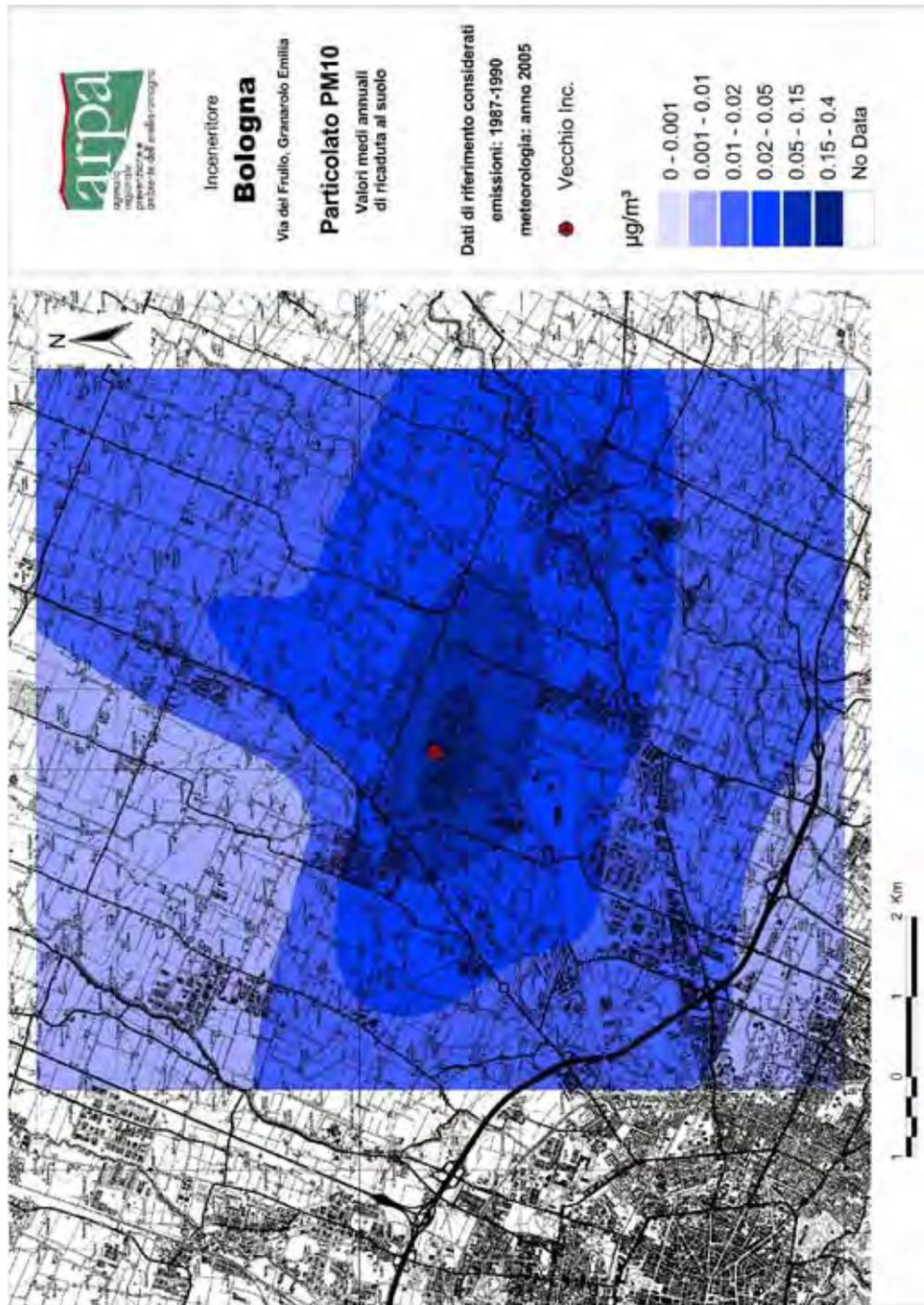
(escluso fondo ambientale)

### Ossidi di azoto NOx

Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: ScENARIO Attuale  
meteorologia: anno 2006







Inceneritore

## Bologna

Via del Fruito, Granarolo Emilia

### Particolato PM10

Valori medi annuali di ricaduta al suolo

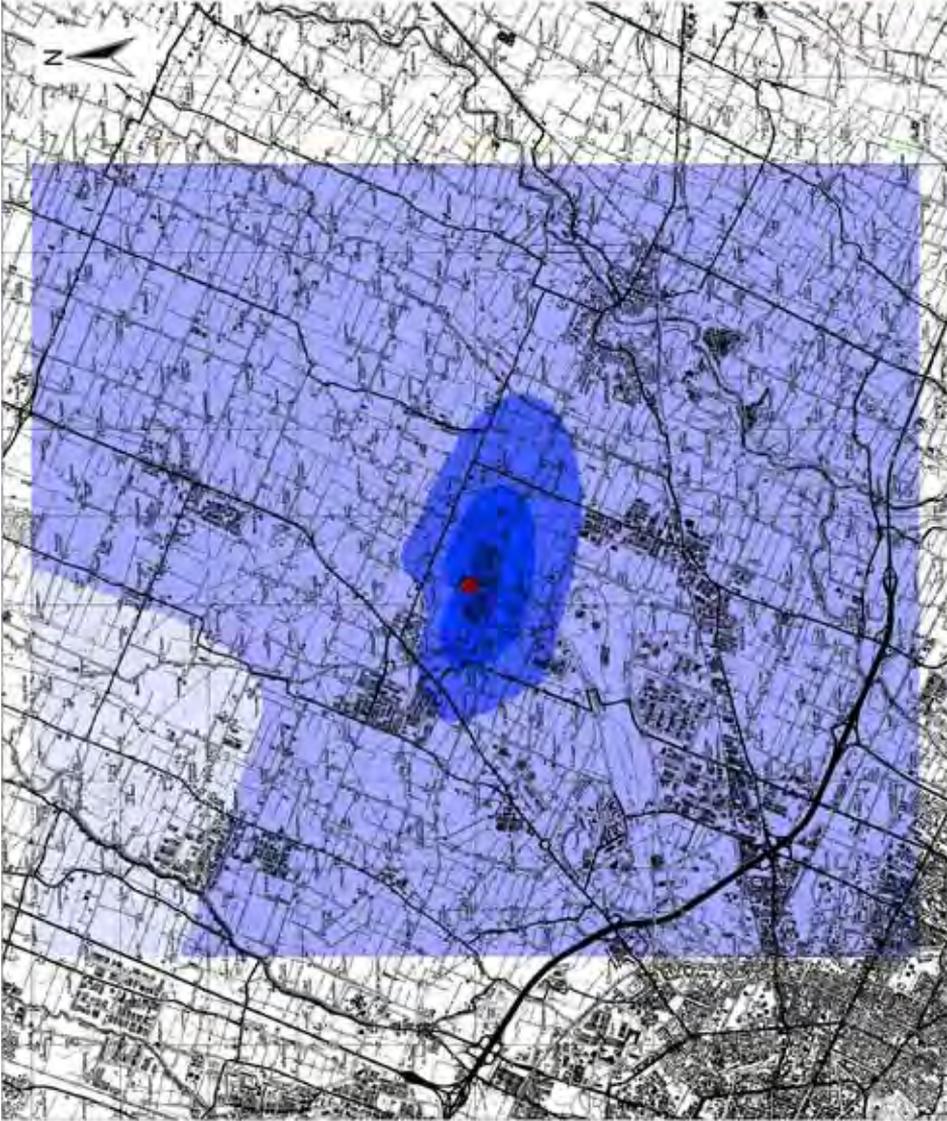
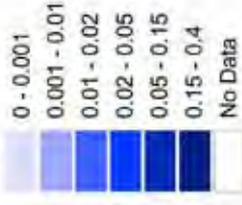
Dati di riferimento considerati

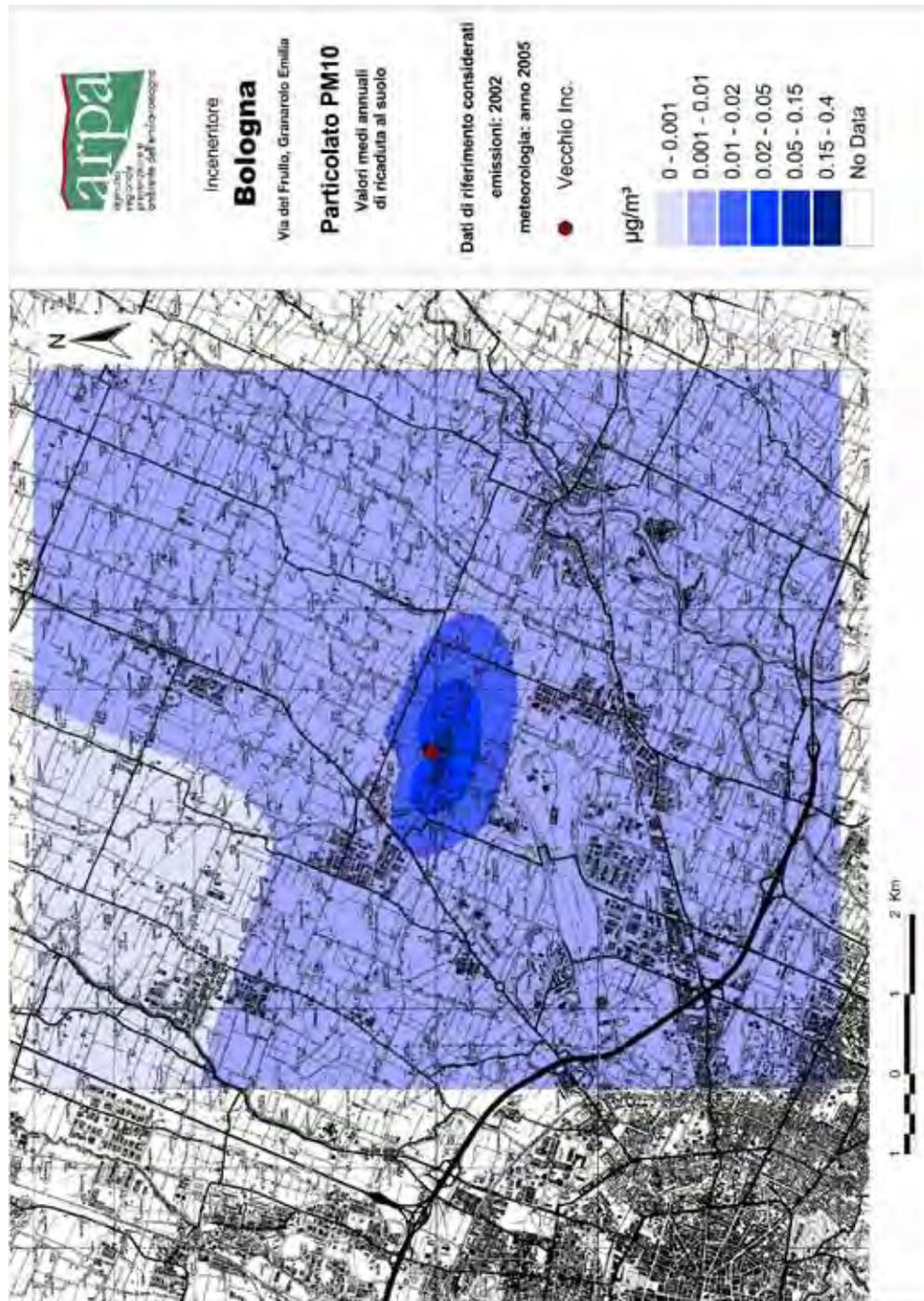
emissioni: 1991-2001

meteorologia: anno 2005

● Vecchio Inc.

$\mu\text{g}/\text{m}^3$







Inceneritore  
**Bologna**  
Via del Frullo, Granarolo Emilia

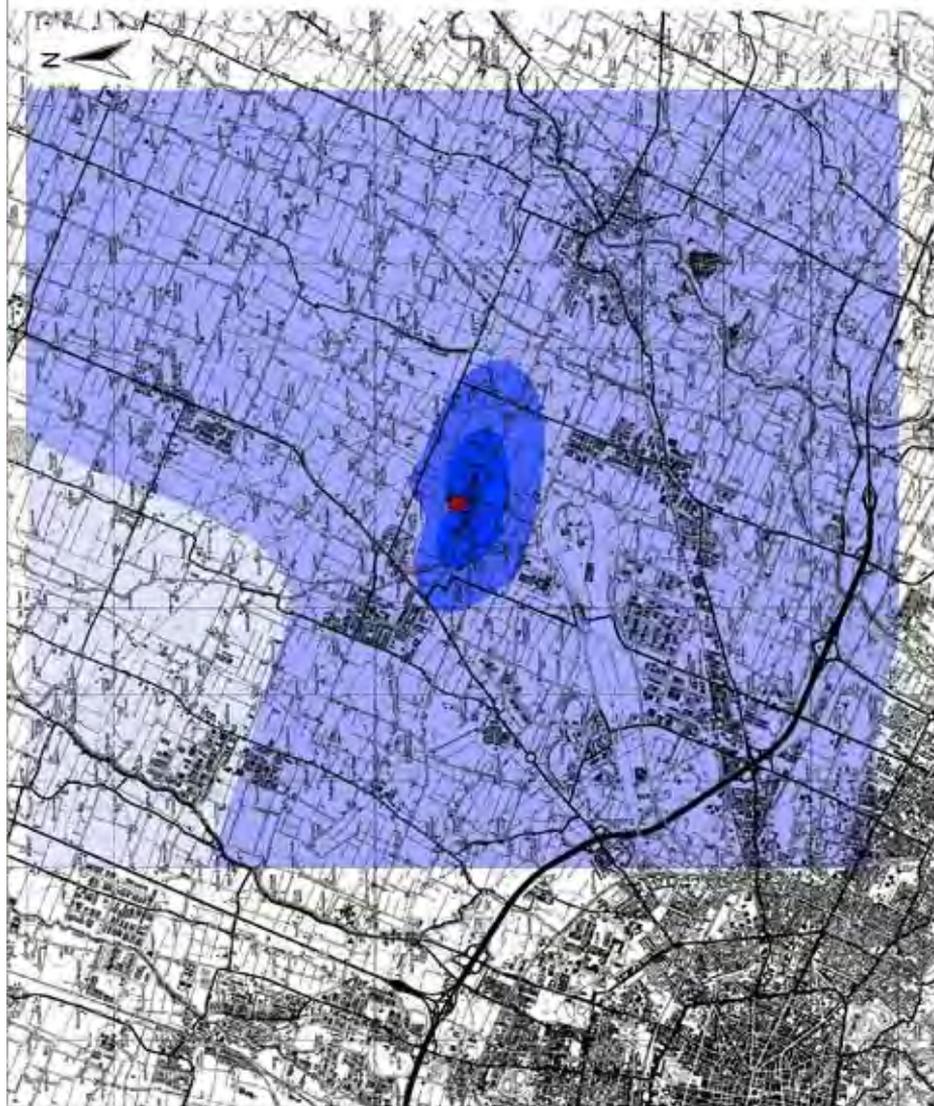
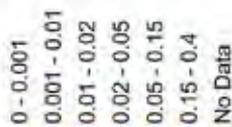
**Particolato PM10**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

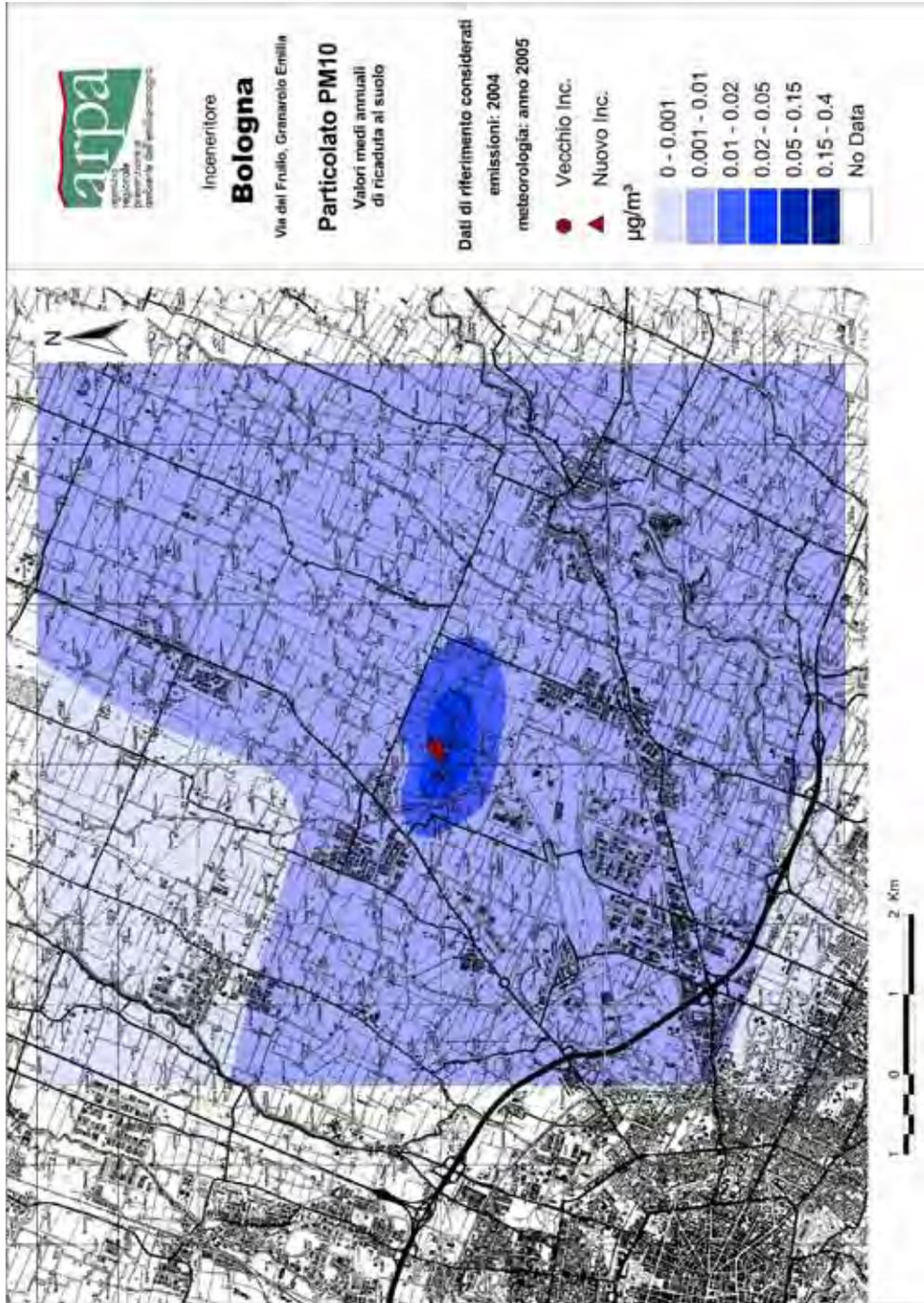
Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2003

meteorologia: anno 2005

● Vecchio Inc.

$\mu\text{g}/\text{m}^3$







Inceneritore

## Bologna

Via del Frullo, Granarolo Emilia

### Particolato PM10

Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati

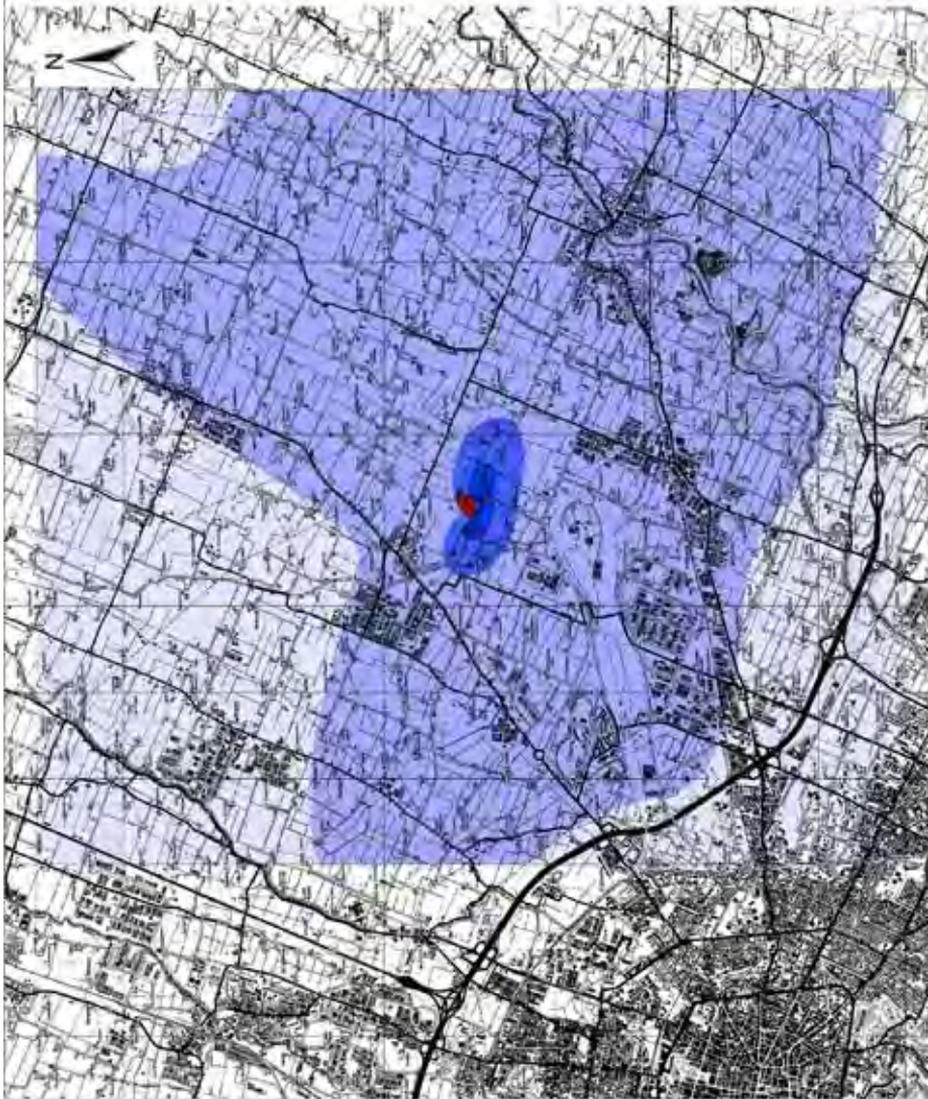
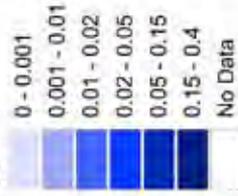
emissioni: 2005

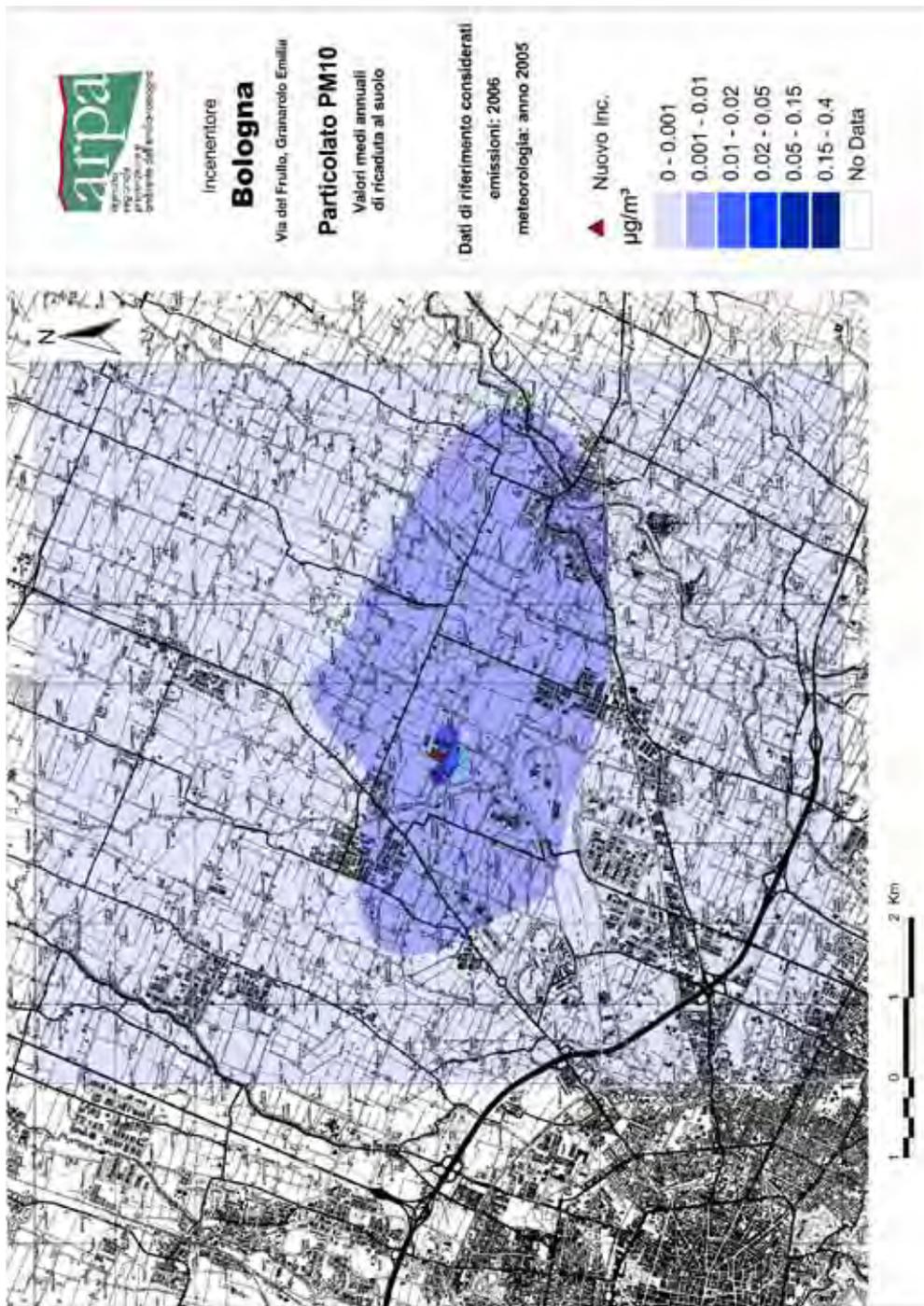
meteorologia: anno 2005

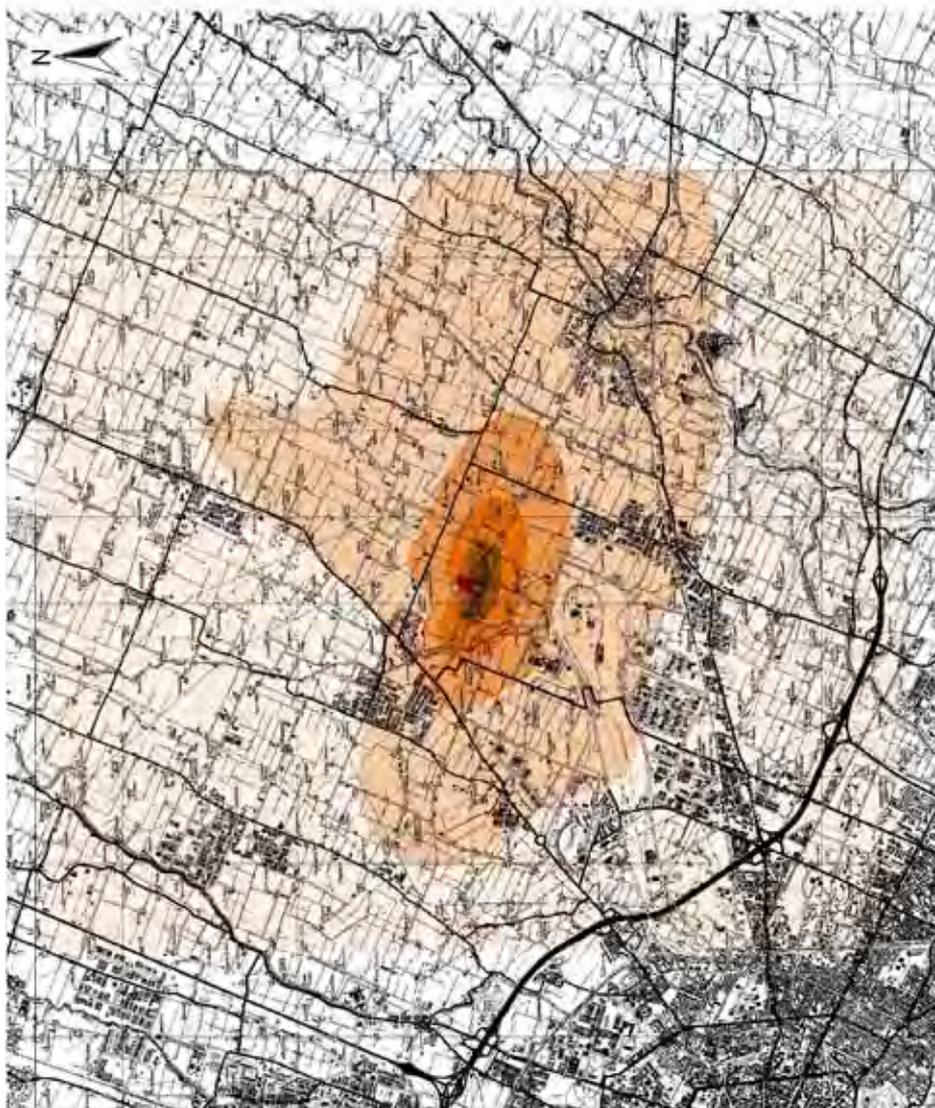
● Vecchio Inc.

▲ Nuovo Inc.

$\mu\text{g}/\text{m}^3$







Inceneritore  
**Bologna**

Via del Frullo, Granarolo Emilia

**Ossidi di azoto NOx**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2002

meteorologia: anno 2005

● Vecchio Inc.







Inceneritore  
**Bologna**  
 Via del Frullo, Granarolo Emilia

**Ossidi di azoto NOx**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2004  
 meteorologia: anno 2005

- Vecchio Inc.
- ▲ Nuovo Inc.

µg/m<sup>3</sup>





Inceneritore

## Bologna

Via del Frullo, Granarolo Emilia

### Ossidi di azoto NOx

Valori medi annuali di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati

emissioni: 2005

meteorologia: anno 2005

● Vecchio Inc.

▲ Nuovo Inc.

µg/m<sup>3</sup>





Inceneritore  
**Bologna**  
Via del Frullo, Granarolo Emilia

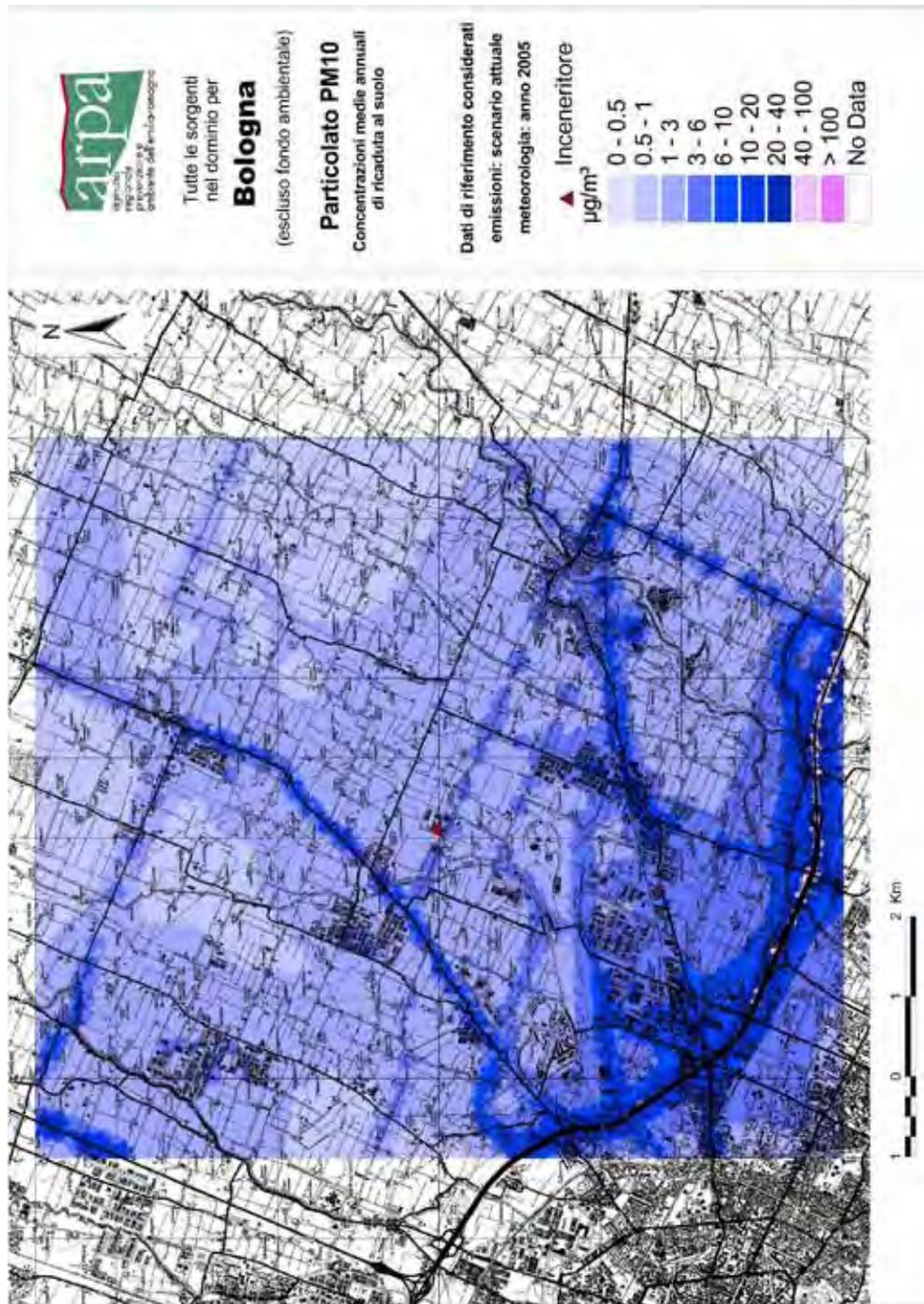
**Ossidi di azoto NOx**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

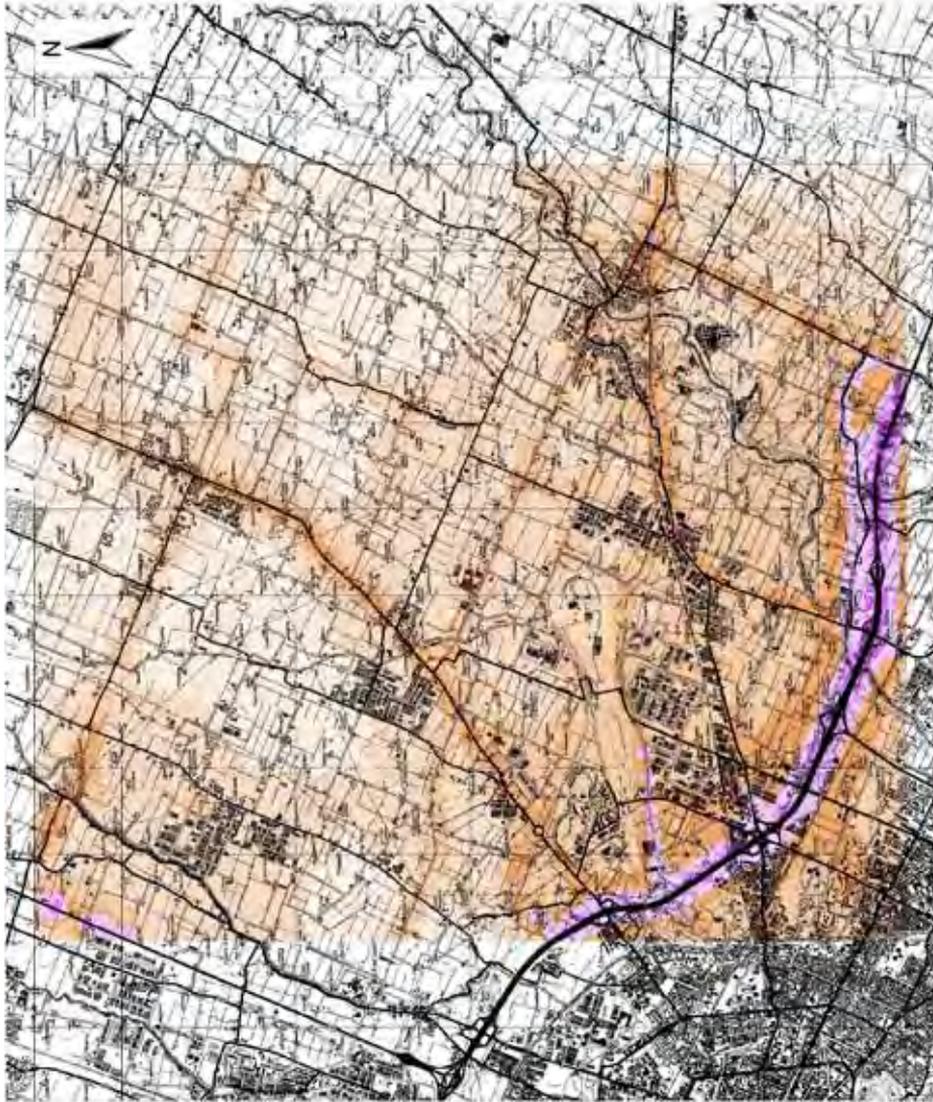
Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2006  
meteorologia: anno 2005

▲ Nuovo Inc.

$\mu\text{g}/\text{m}^3$







Tutte le sorgenti nel dominio peer

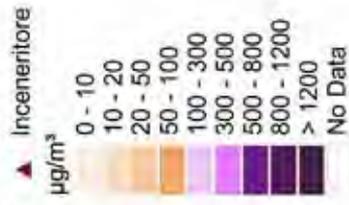
## Bologna

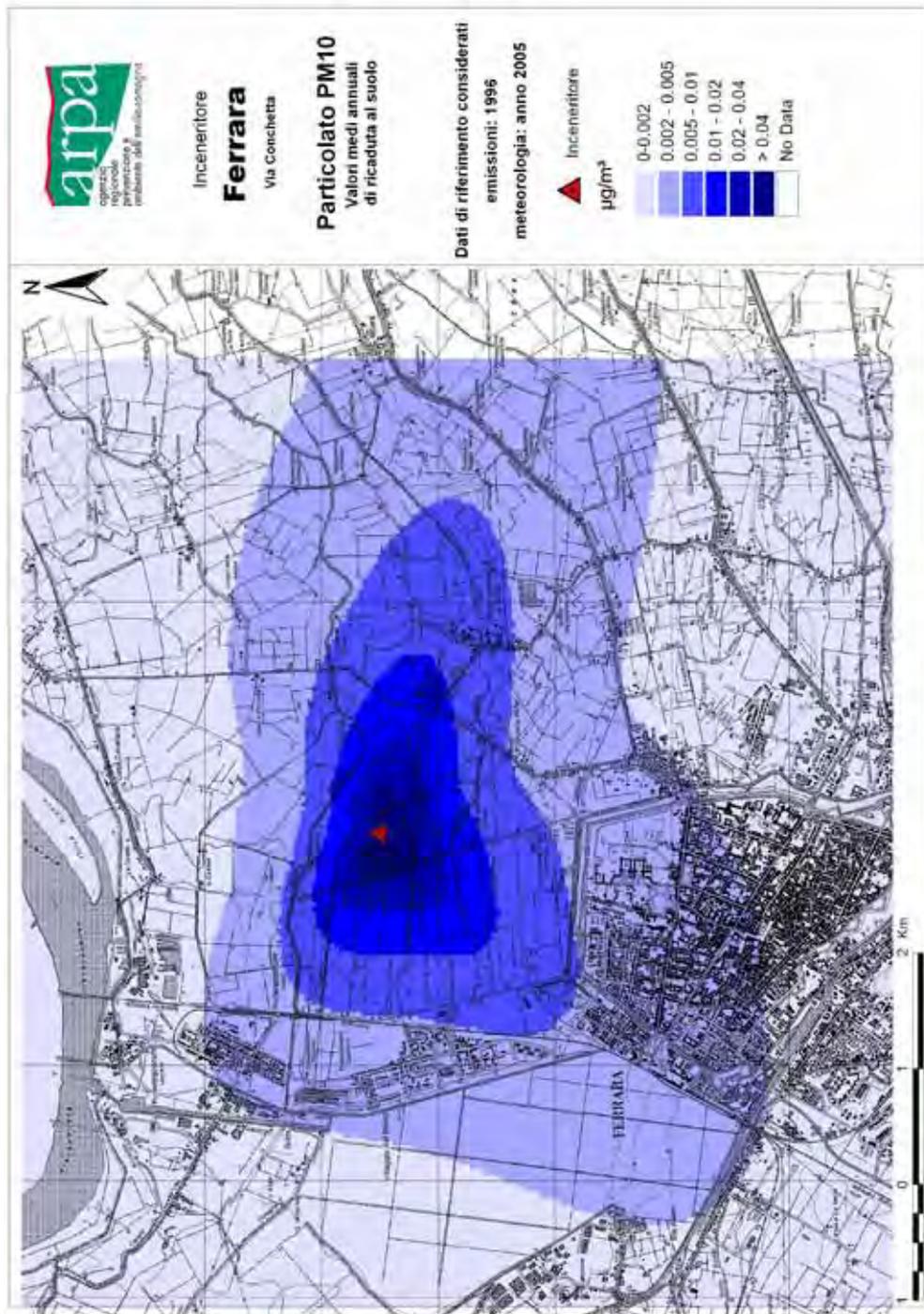
(escluso fondo ambientale)

### Ossidi di azoto NOx

Concentrazioni medie annuali di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: scenario attuale  
meteorologia: anno 2005





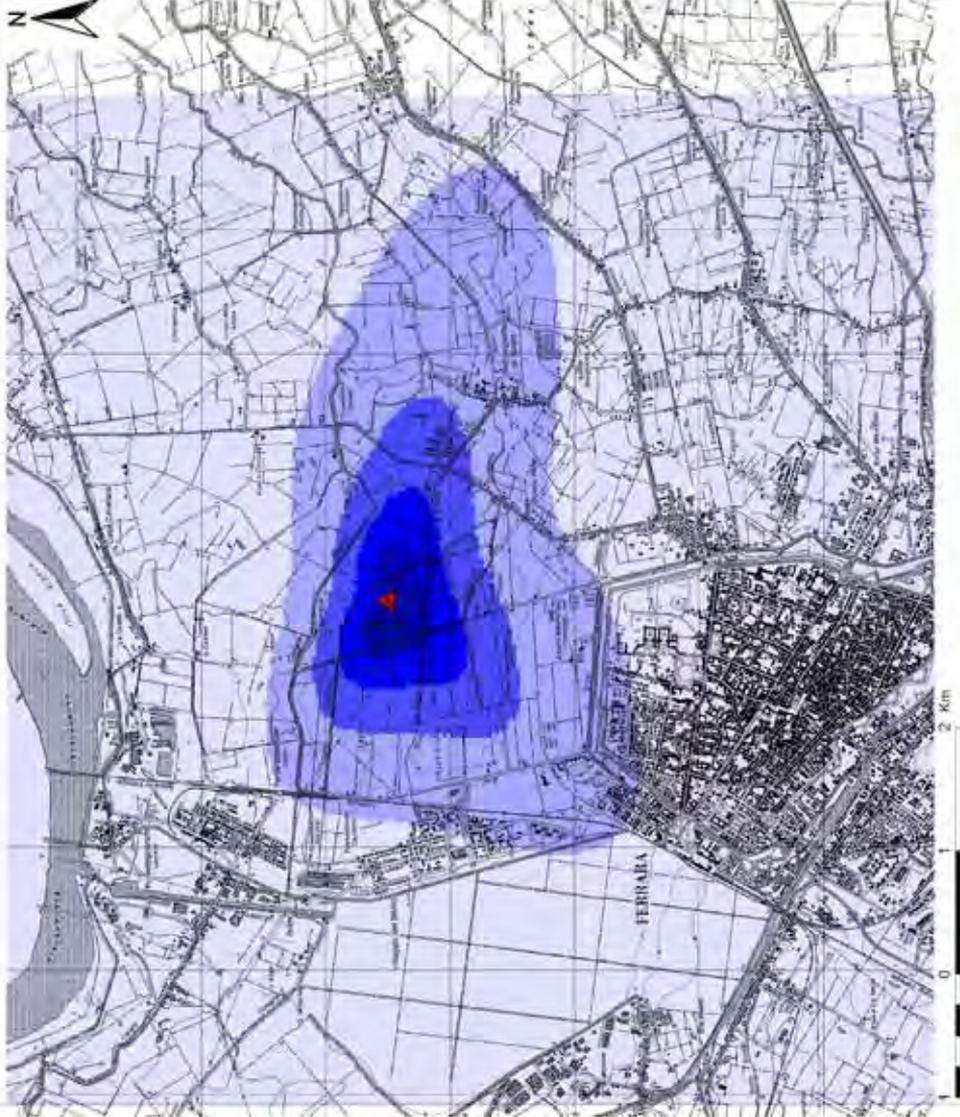
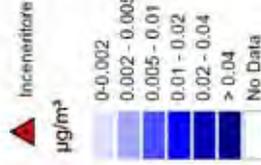


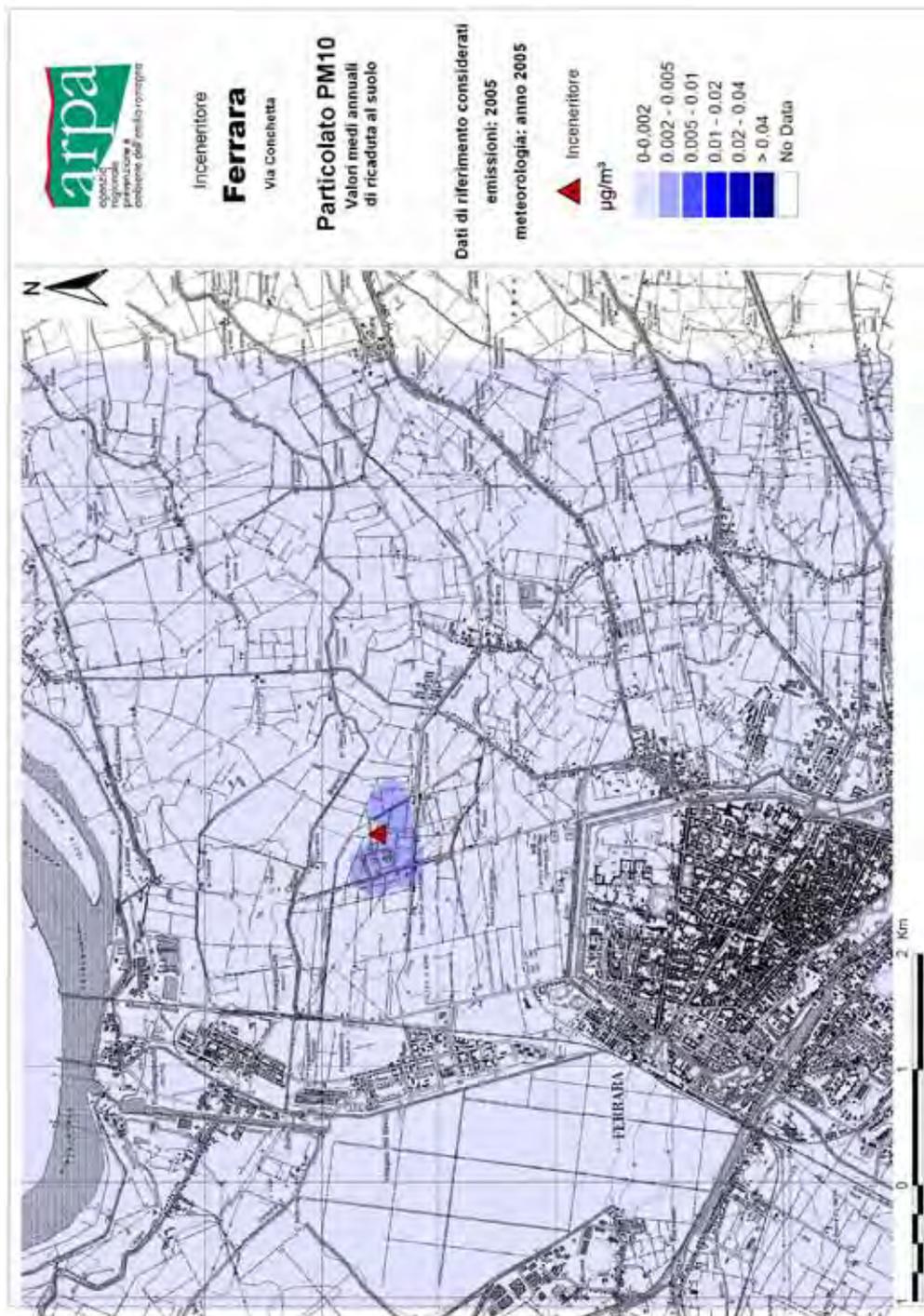
Inceneritore  
**Ferrara**  
Via Conchetta

### Particolato PM10

Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2001  
meteorologia: anno 2005





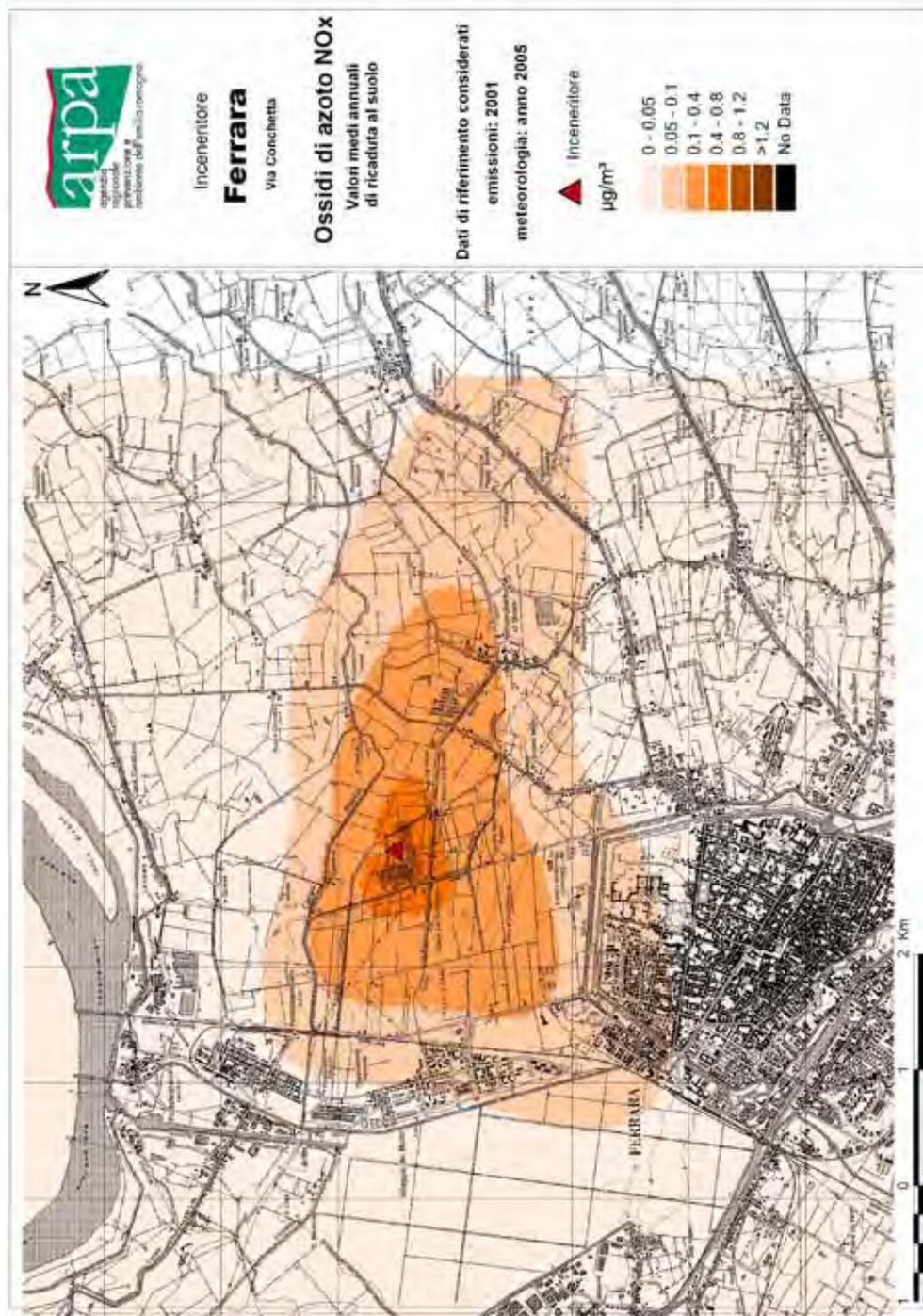


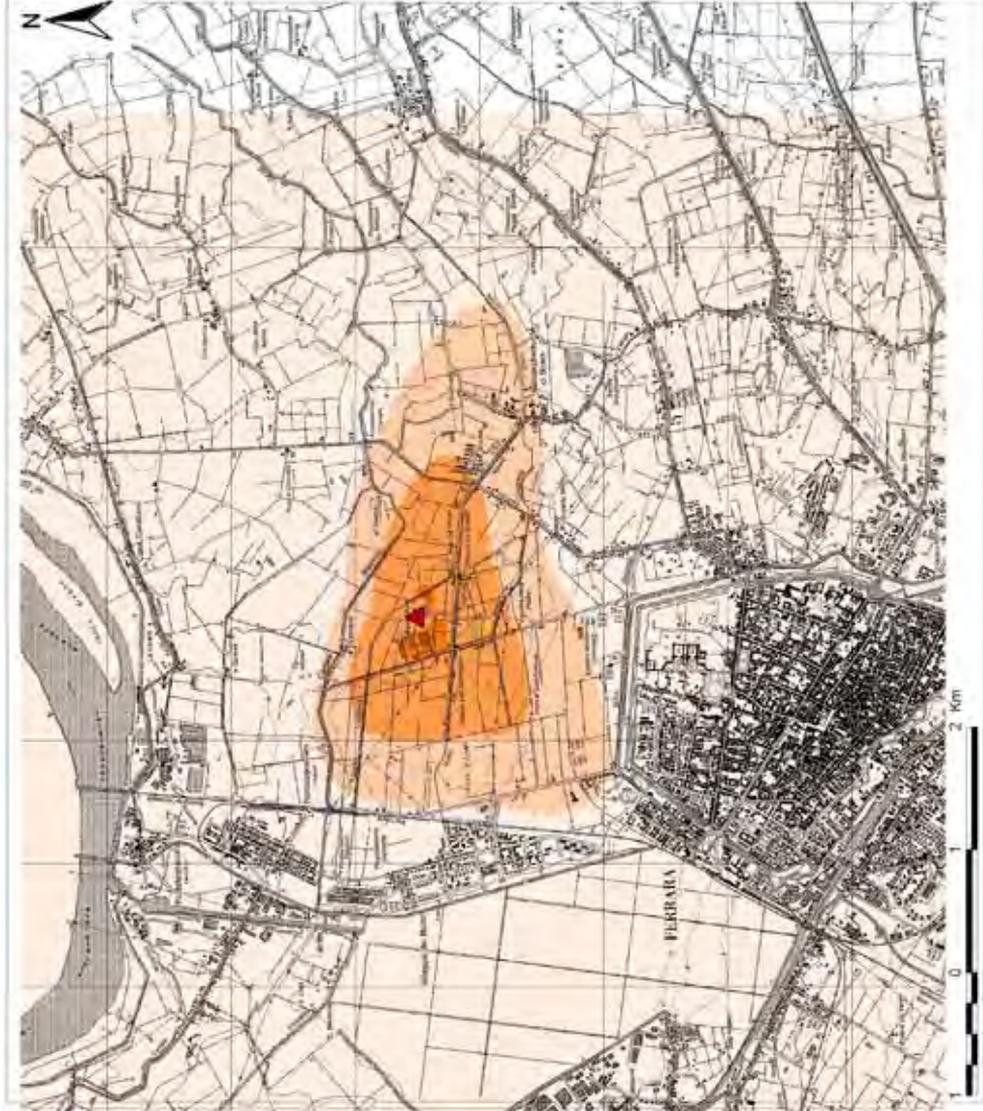
Inceneritore  
**Ferrara**  
 Via Conchetta

**Ossidi di azoto NOx**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 1996  
 meteorologia: anno 2005





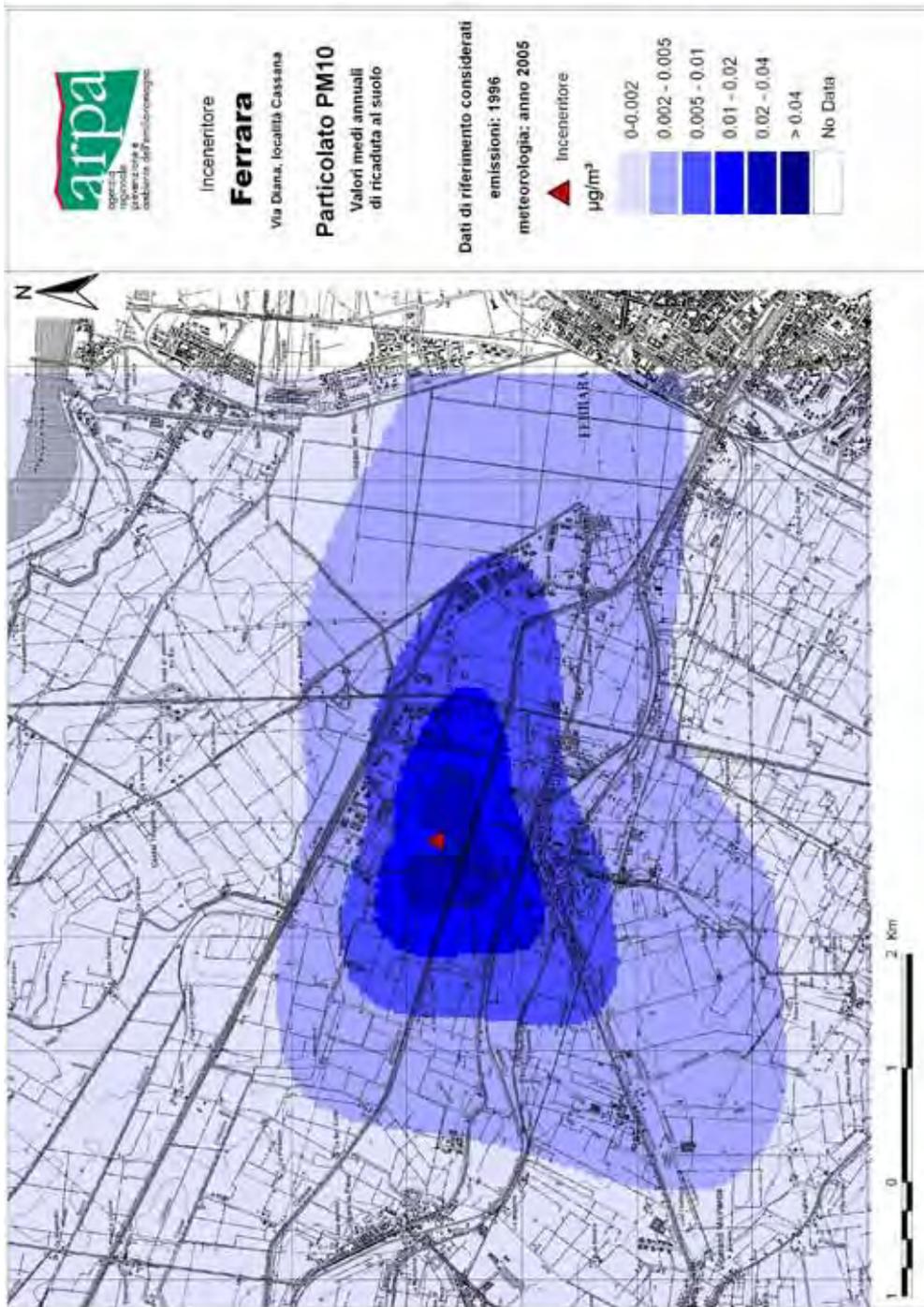


Inceneritore  
**Ferrara**  
 Via Conchetta

**Ossidi di azoto NOx**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2005  
 meteorologia: anno 2005







Inceneritore

## Ferrara

Via Diana, località Cassana

### Particolato PM10

Valori medi annuali di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati

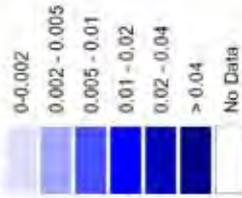
emissioni: 2000

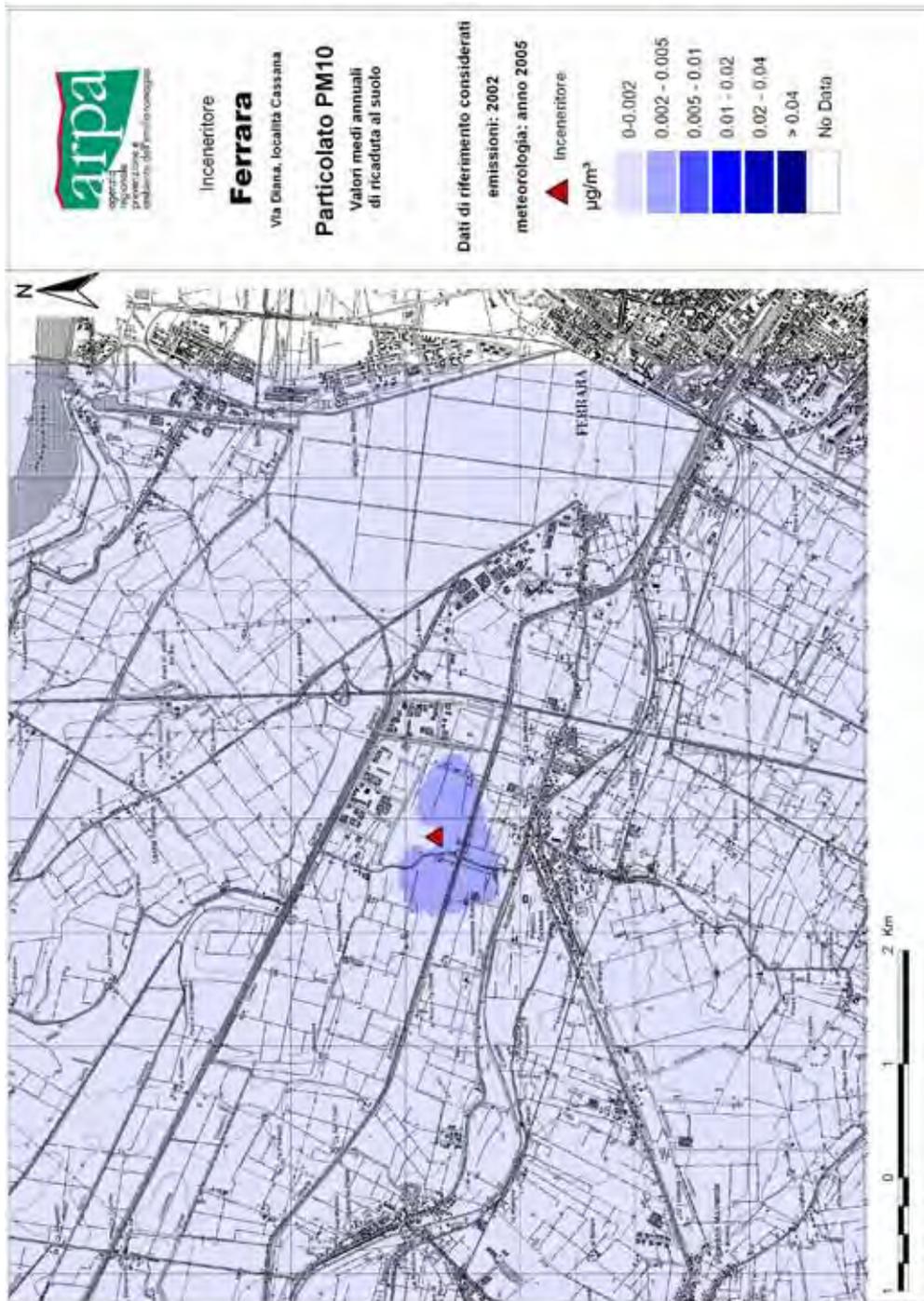
meteorologia: anno 2005



Inceneritore

$\mu\text{g}/\text{m}^3$



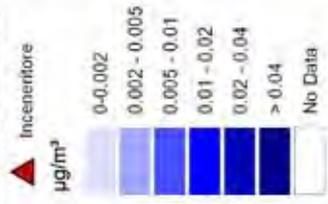


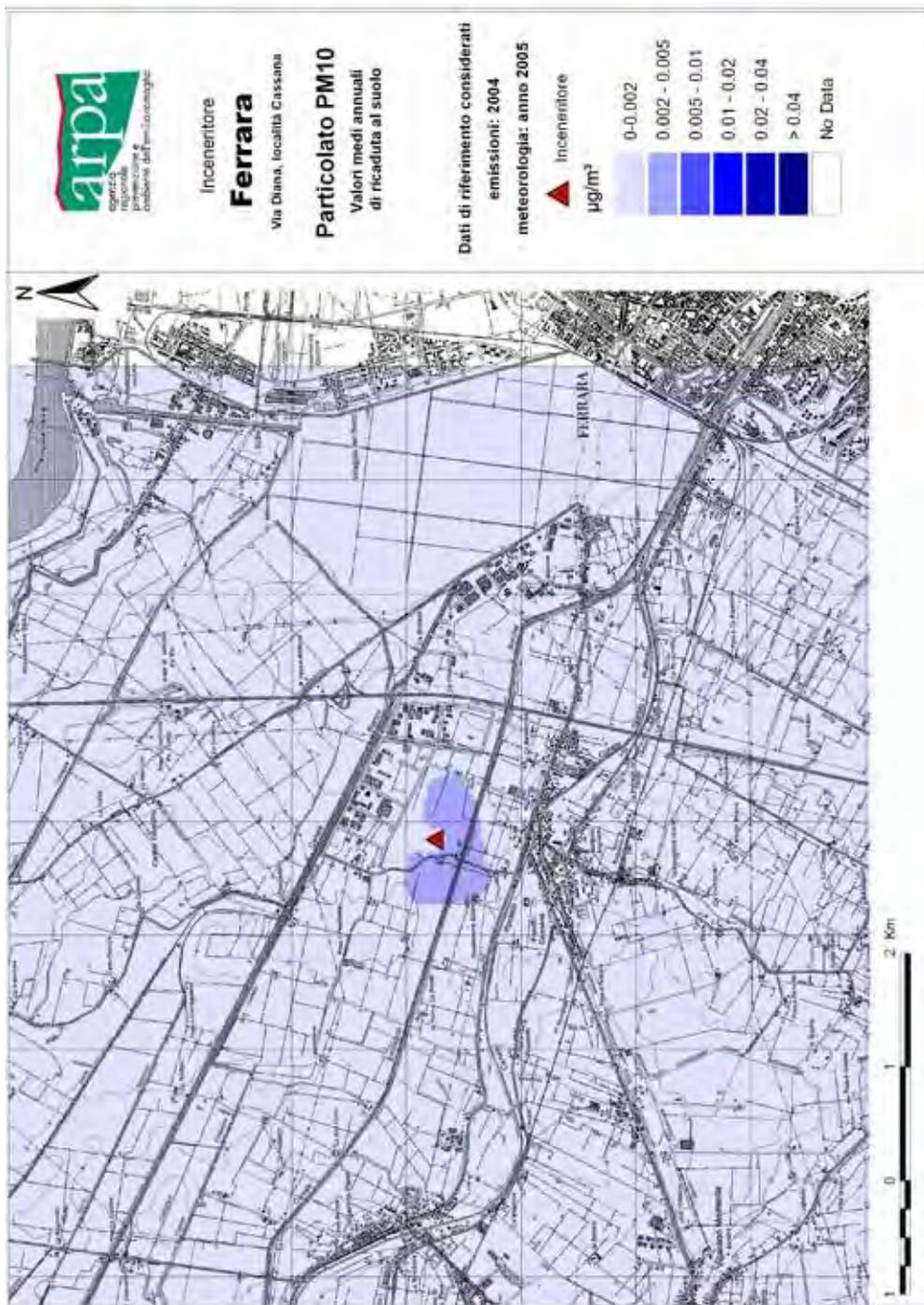


Inceneritore  
**Ferrara**  
 Via Diana, località Cassana

**Particolato PM10**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2003  
 meteorologia: anno 2005







Inceneritore

**Ferrara**

Via Diana, località Cassana

**Particolato PM10**

Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati

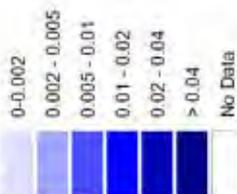
emissioni: 2005

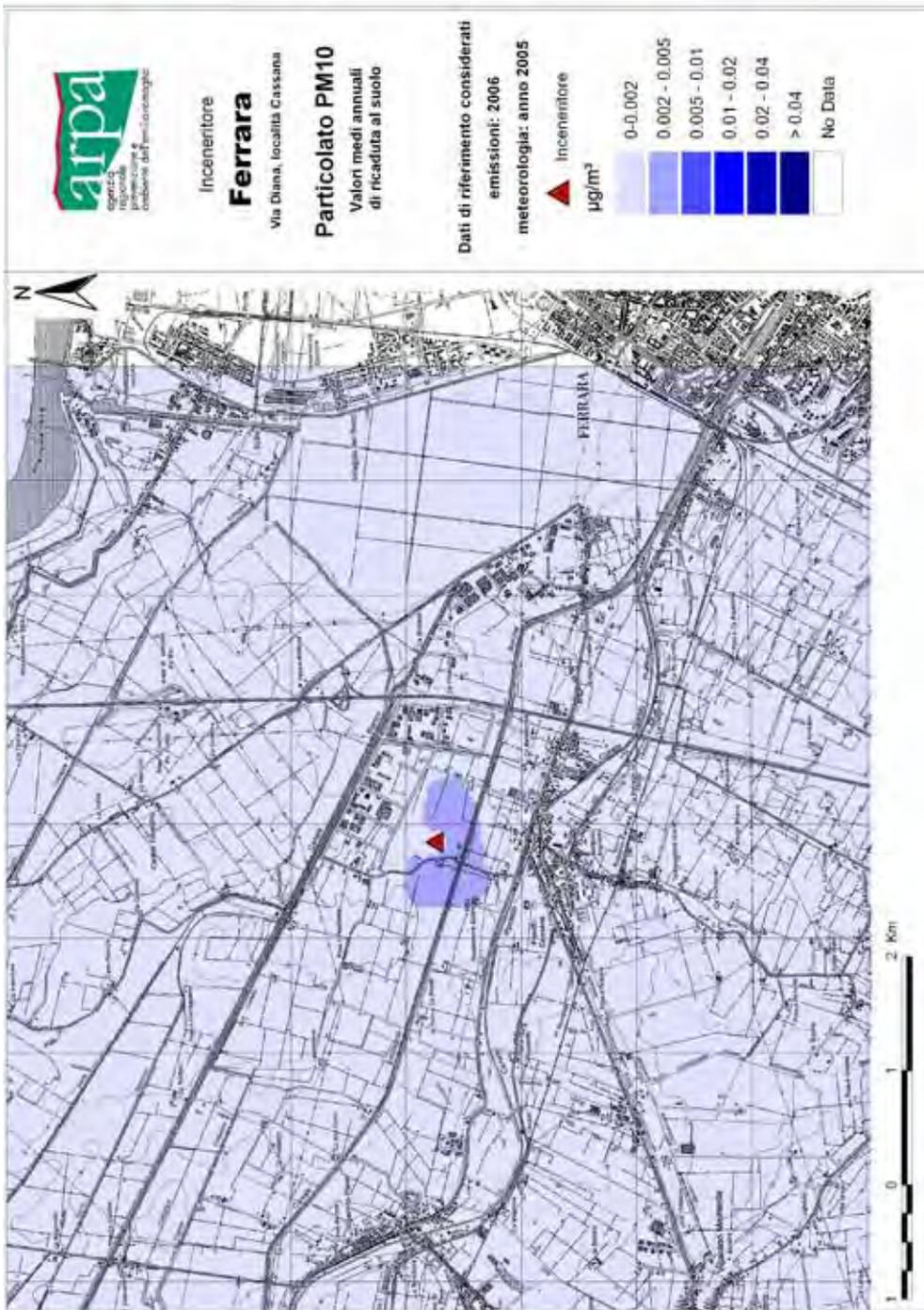
meteorologia: anno 2005



Inceneritore

$\mu\text{g}/\text{m}^3$







Inceneritore

## Ferrara

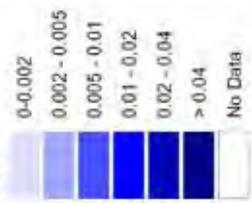
Via Diana, località Cassana

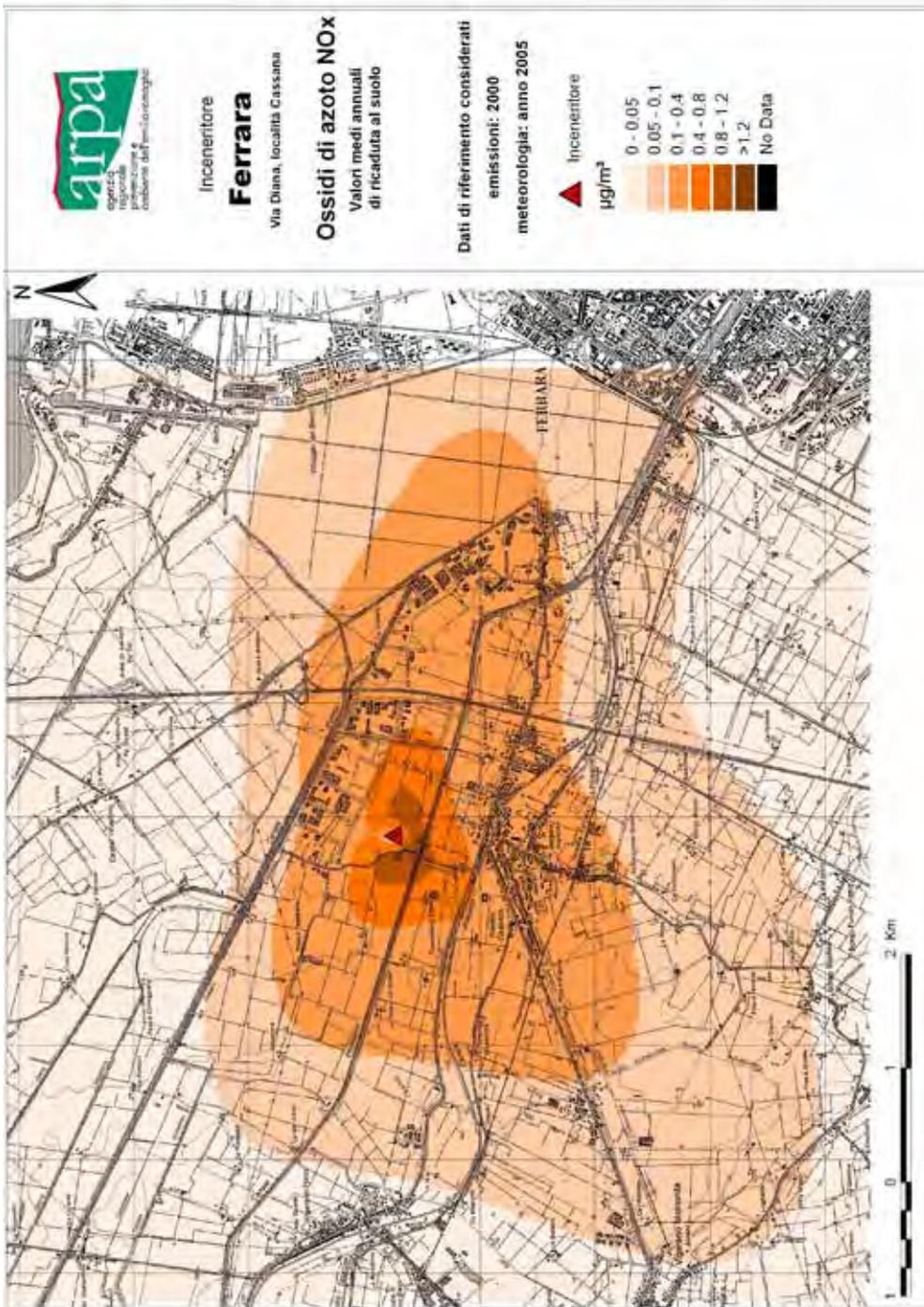
### Particolato PM10

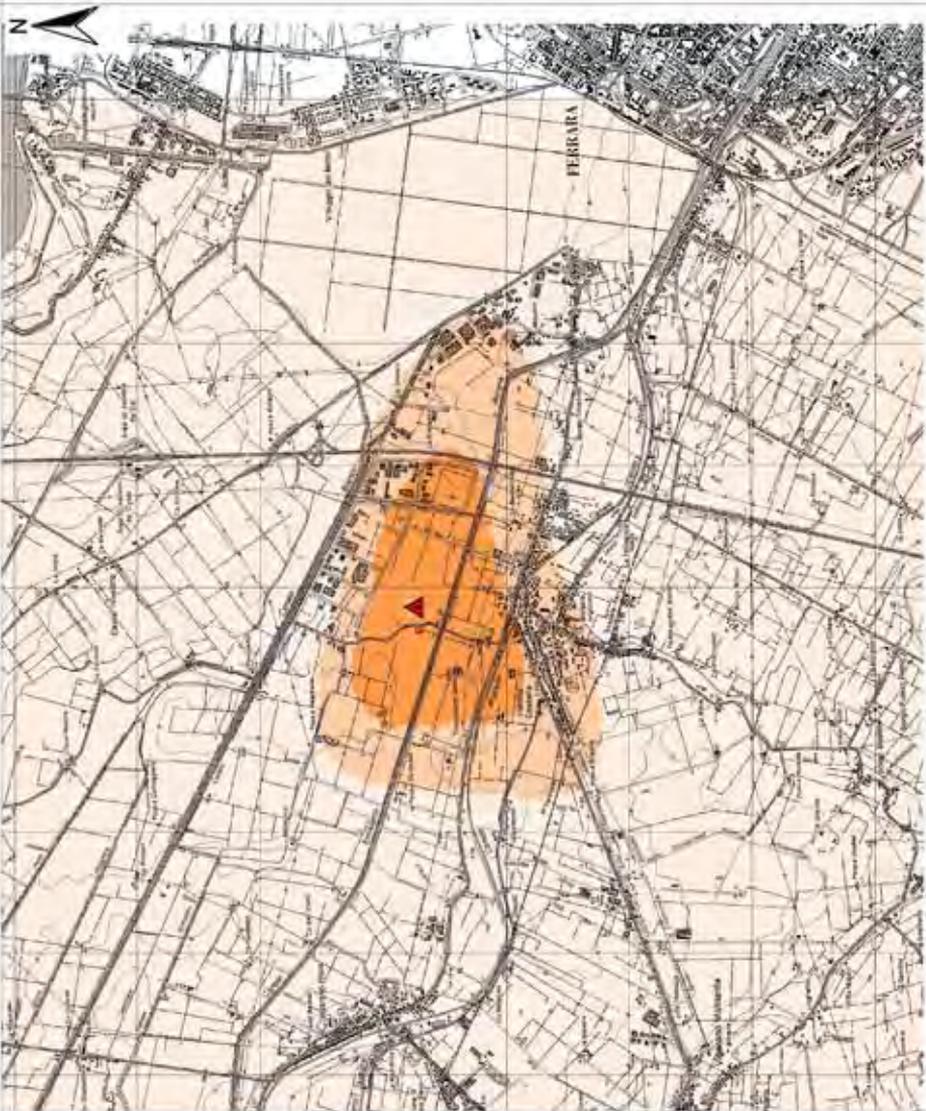
Valori medi annuali di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: media 2002-2006  
 meteorologia: anno 2005

▲ Inceneritore  
 µg/m³







Inceneritore

**Ferrara**

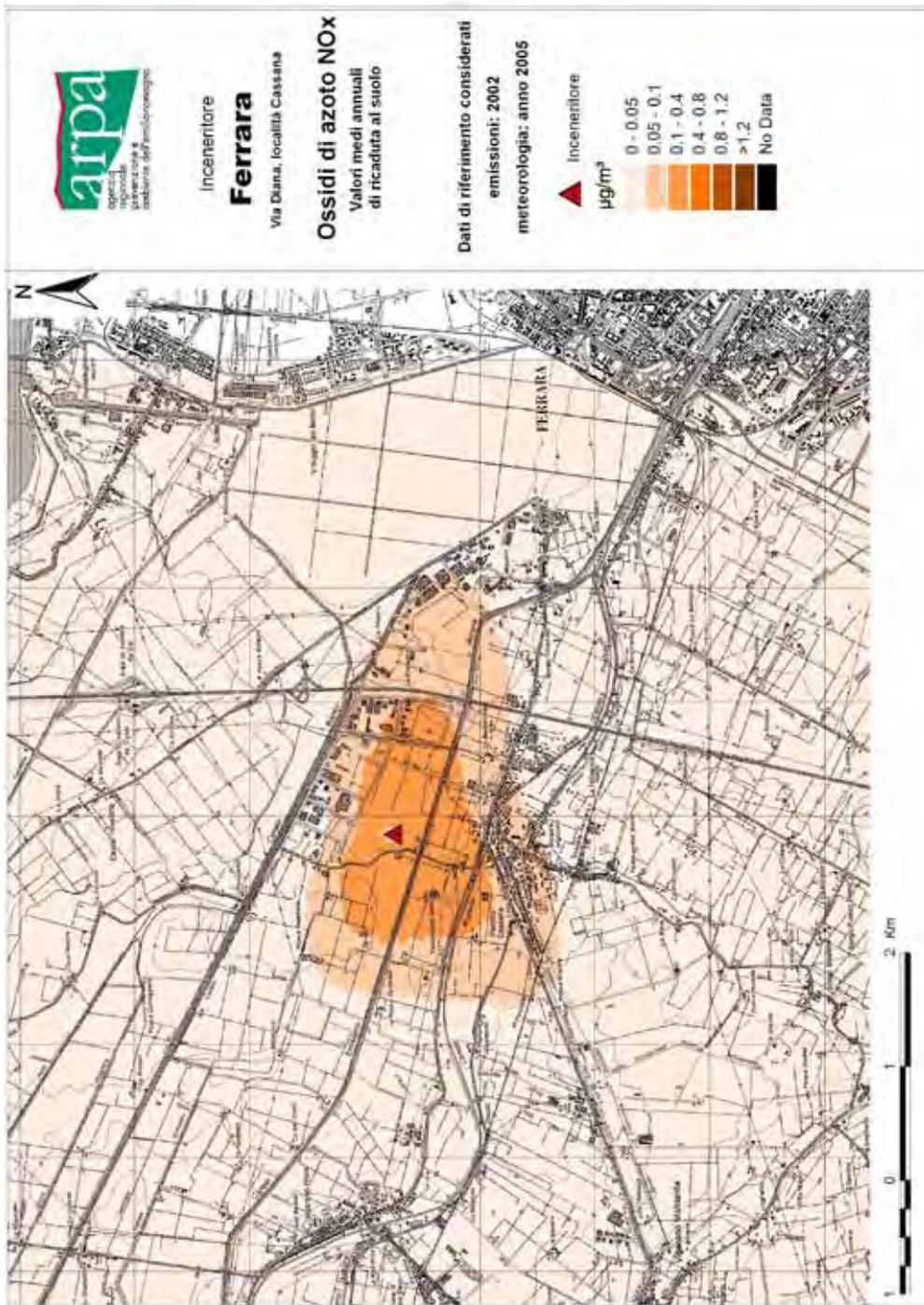
Via Diana, località Cassana

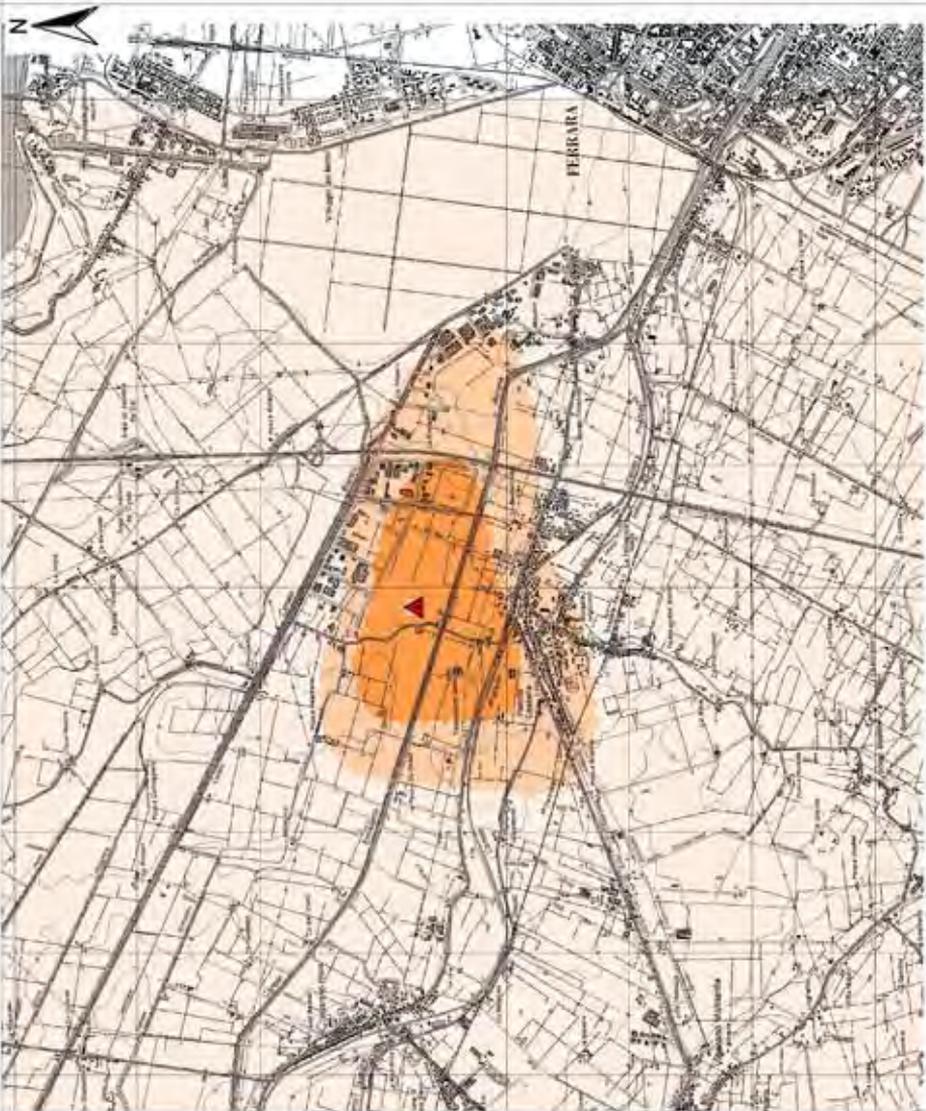
**Ossidi di azoto NOx**

Valori medi annuali di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: media 2002-2006  
 meteorologia: anno 2005





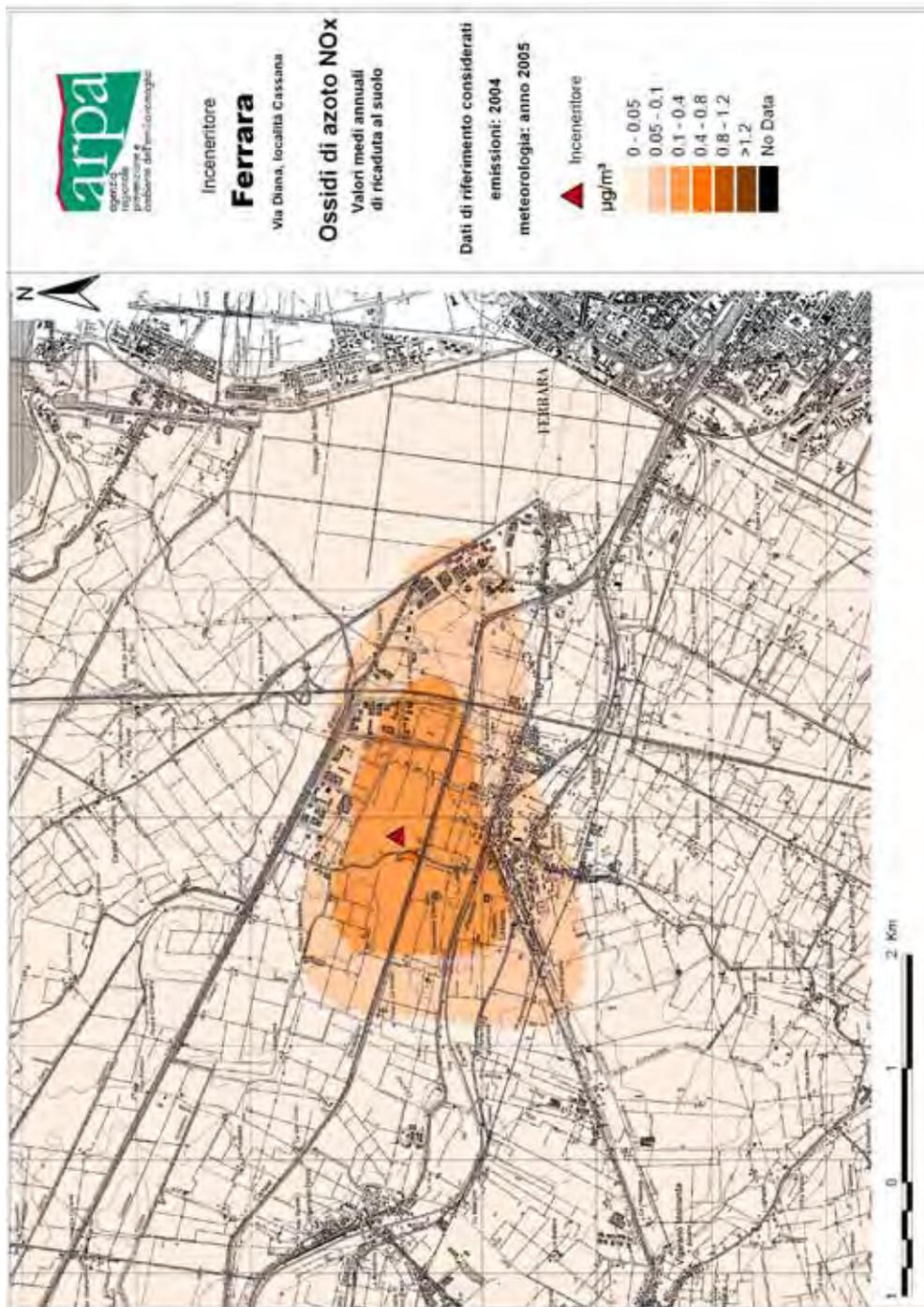


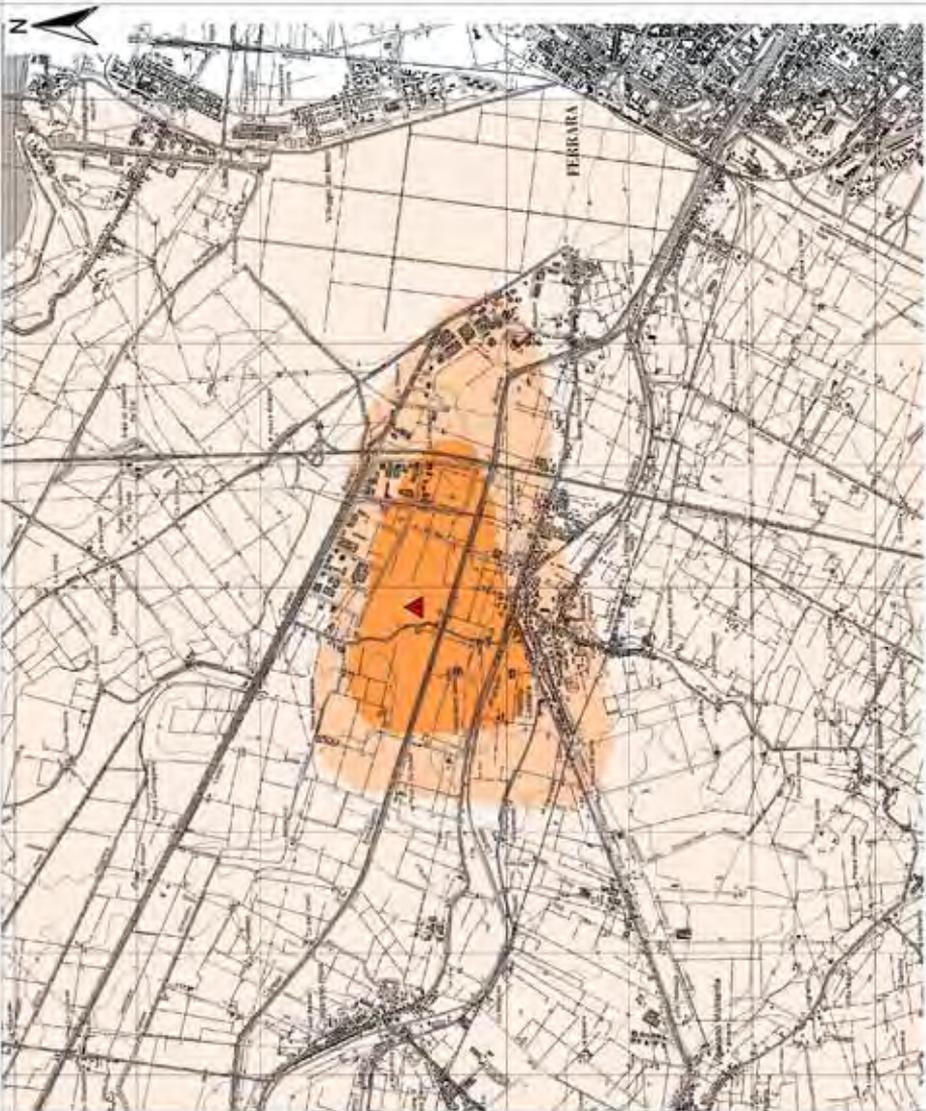
Inceneritore  
**Ferrara**  
 Via Diana, località Cassana

**Ossidi di azoto NOx**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2003  
 meteorologia: anno 2005





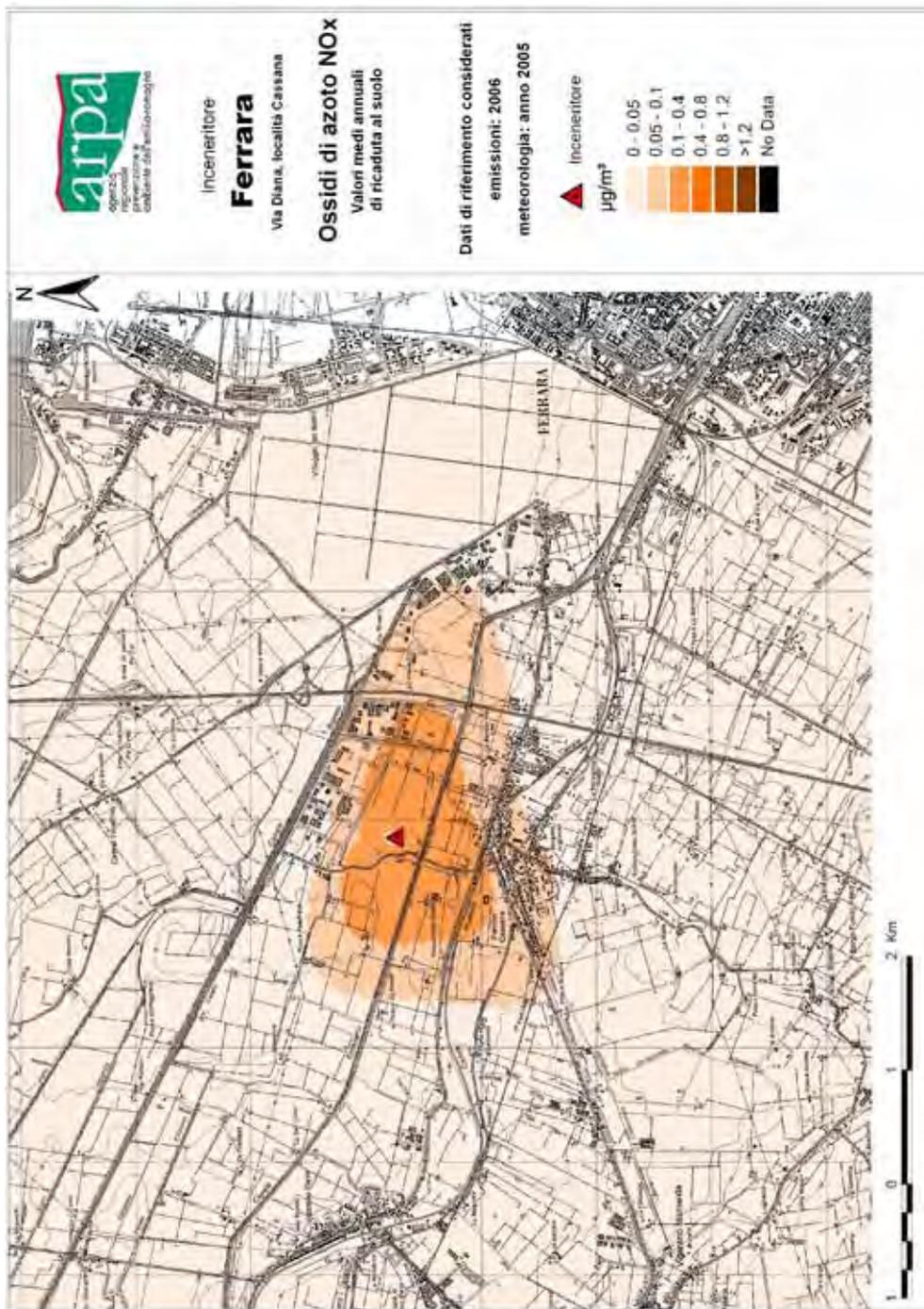


Inceneritore  
**Ferrara**  
 Via Diana, località Cassana

**Ossidi di azoto NOx**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2005  
 meteorologia: anno 2005







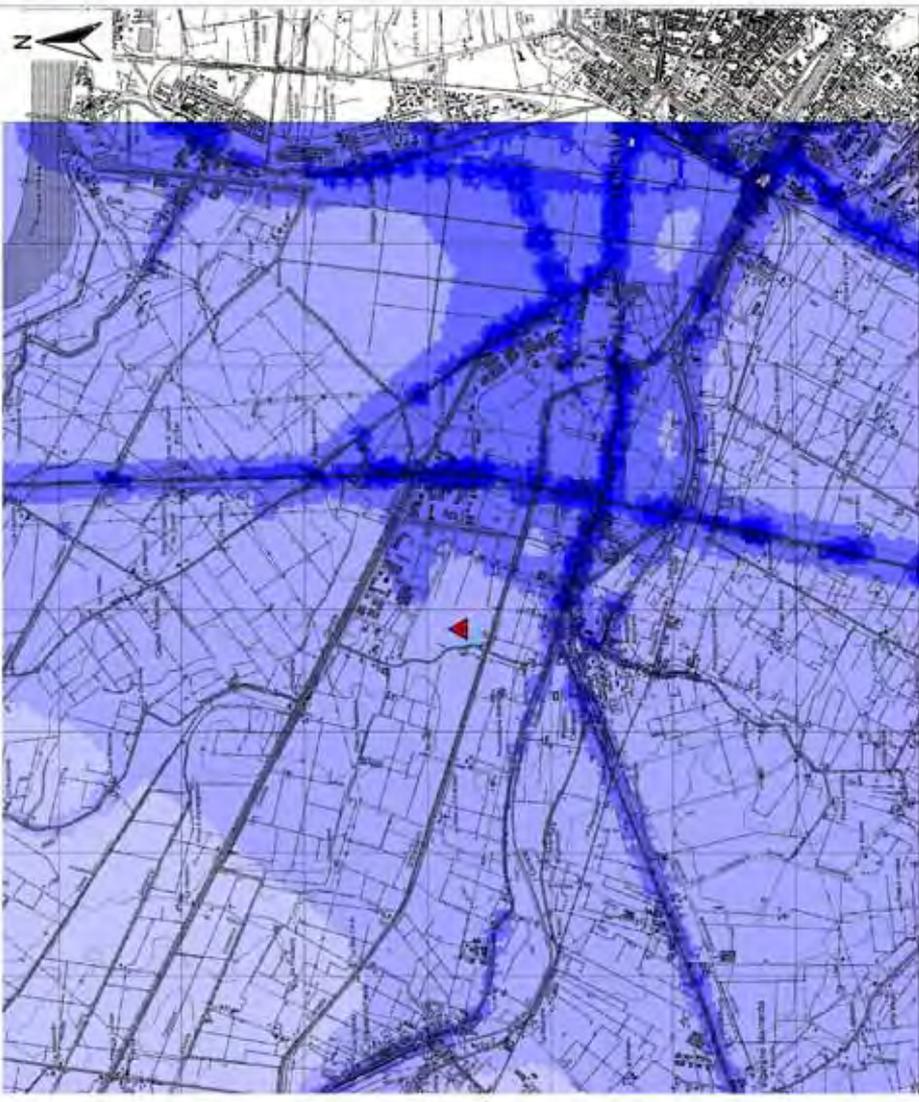
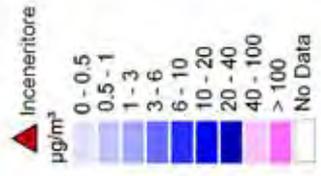
Tutte le sorgenti  
nel dominio per  
**Ferrara**

(escluso fondo ambientale)

### Particolato PM10

Concentrazioni medie annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: scenario attuale  
meteorologia: anno 2005





Tutte le sorgenti  
nel dominio per

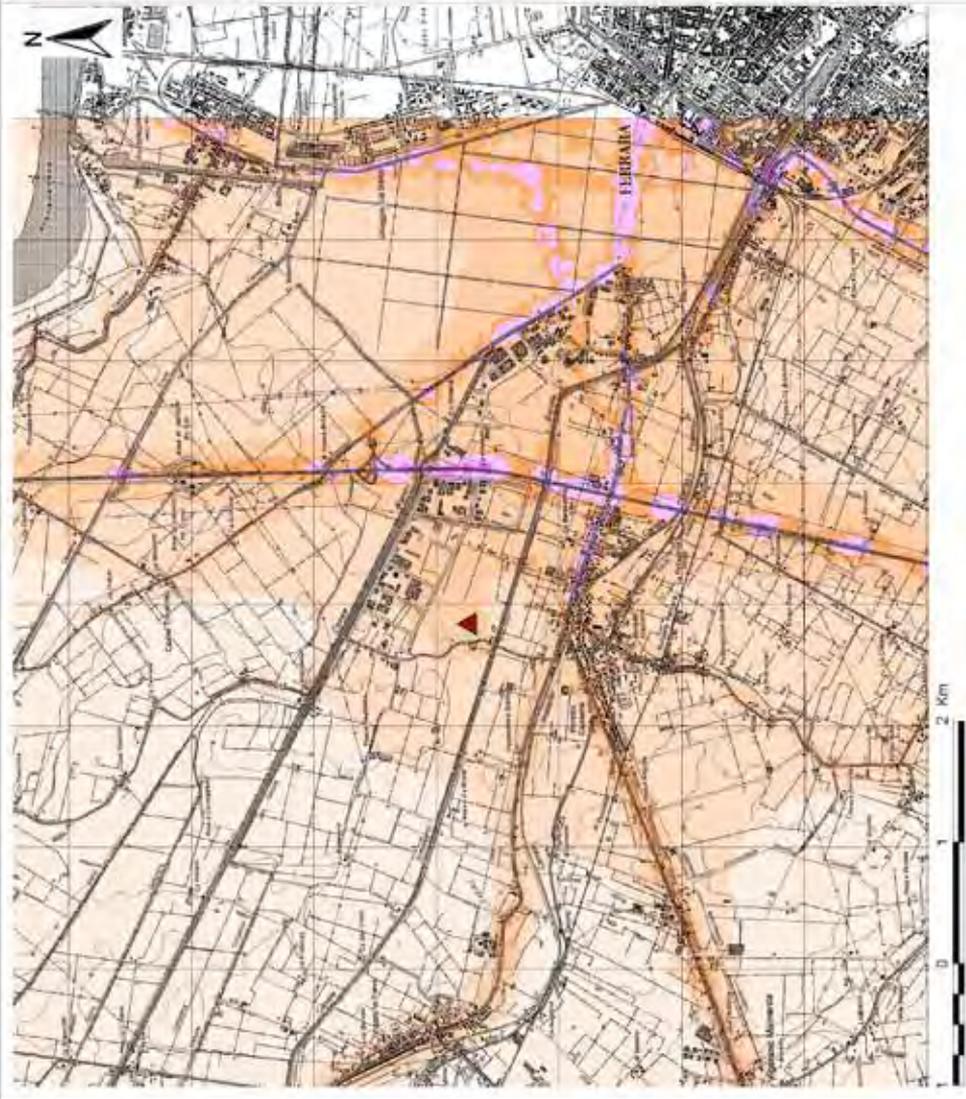
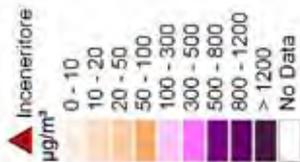
## Ferrara

(escluso fondo ambientale)

### Ossidi di azoto NOx

Concentrazioni medie annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: scenario attuale  
meteorologia: anno 2005



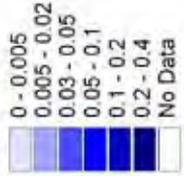


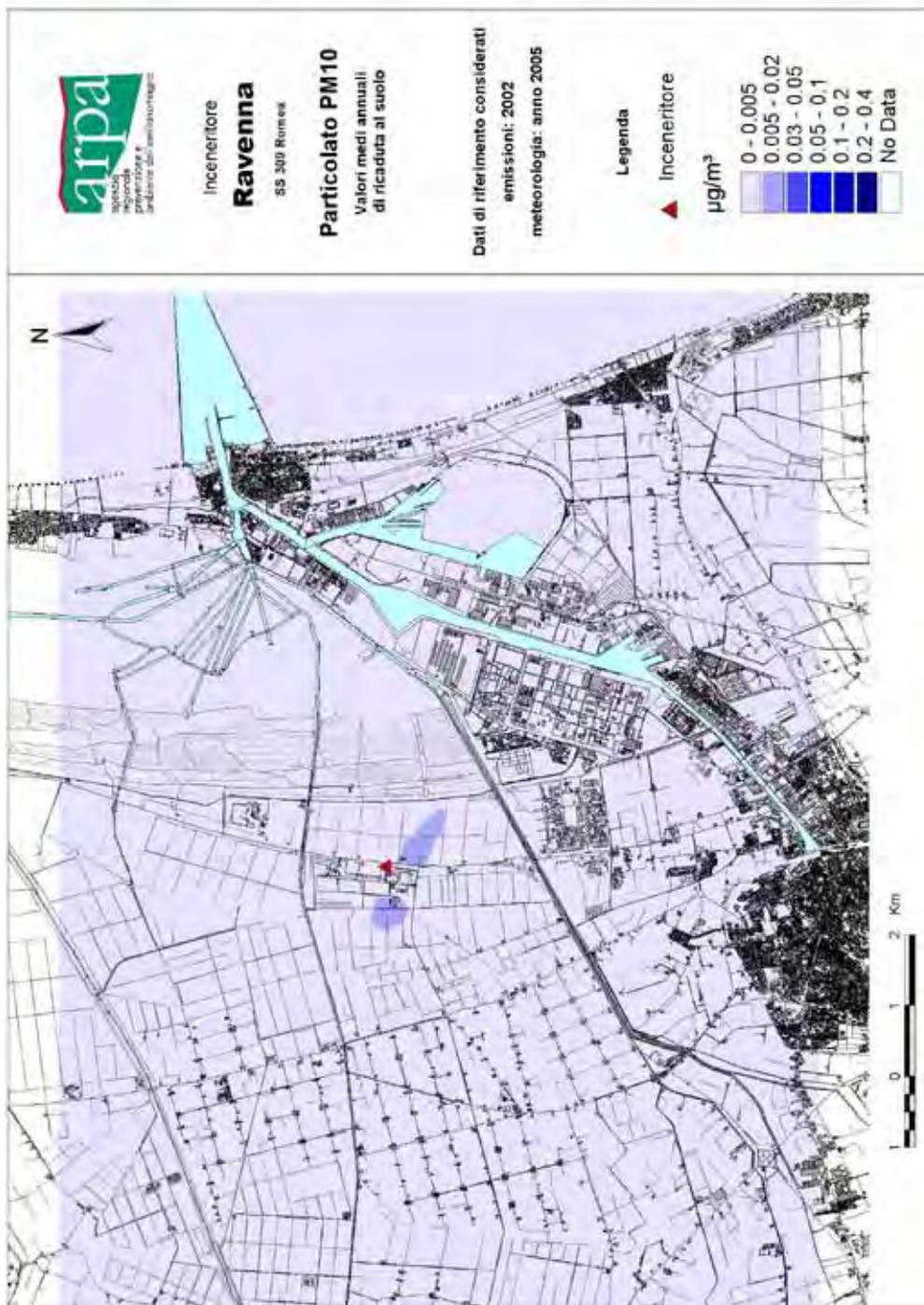
Inceneritore  
**Ravenna**  
 SS 309 Roma

**Particolato PM10**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2001  
 meteorologia: anno 2005

Legenda  
 ▲ Inceneritore  
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



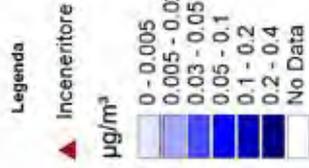


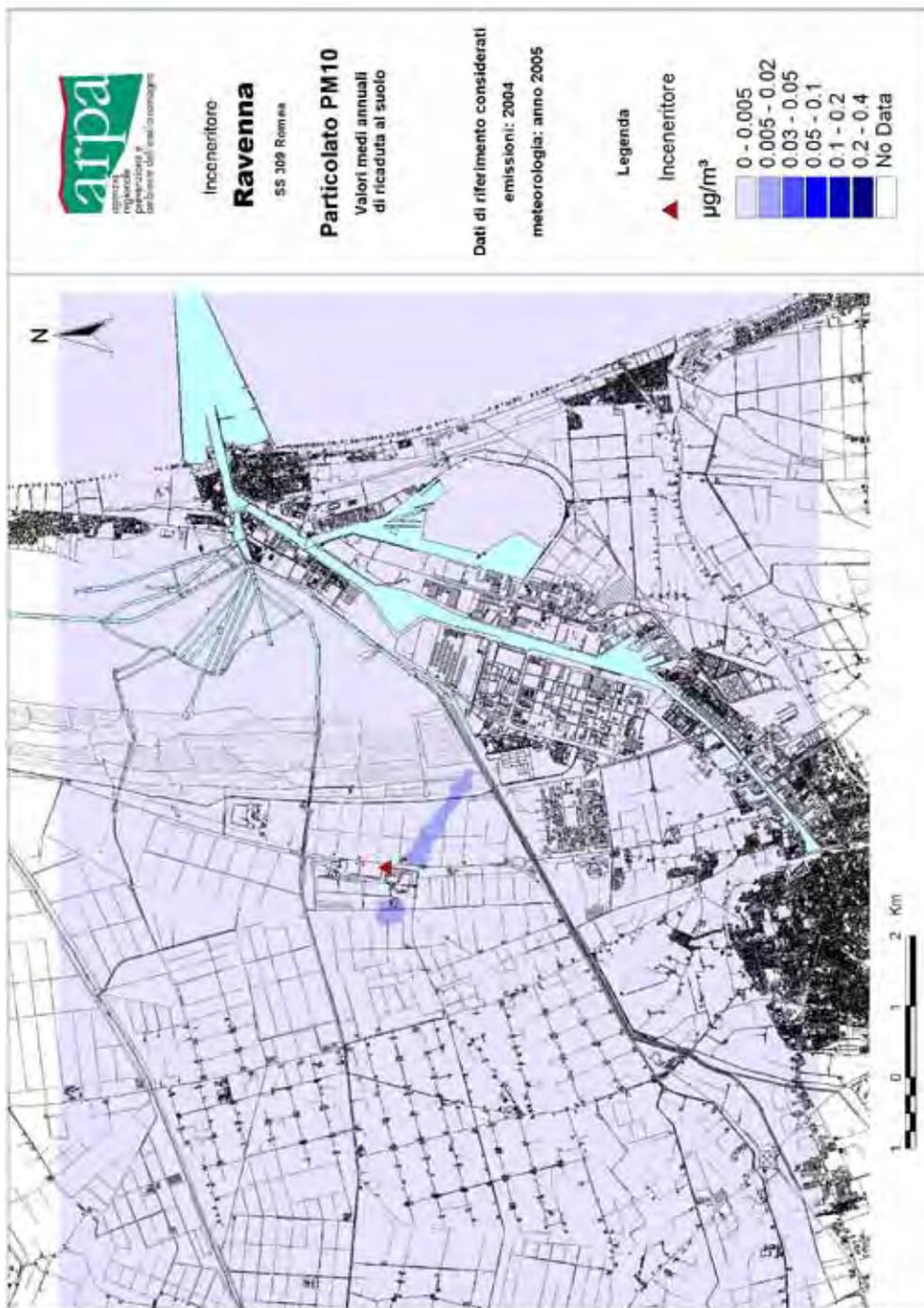


Inceneritore  
**Ravenna**  
 SS 309 Romes

**Particolato PM10**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2003  
 meteorologia: anno 2005







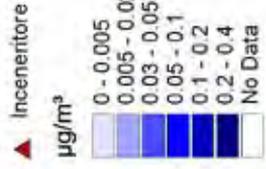
Inceneritore  
**Ravenna**  
 SS 309 Romaa

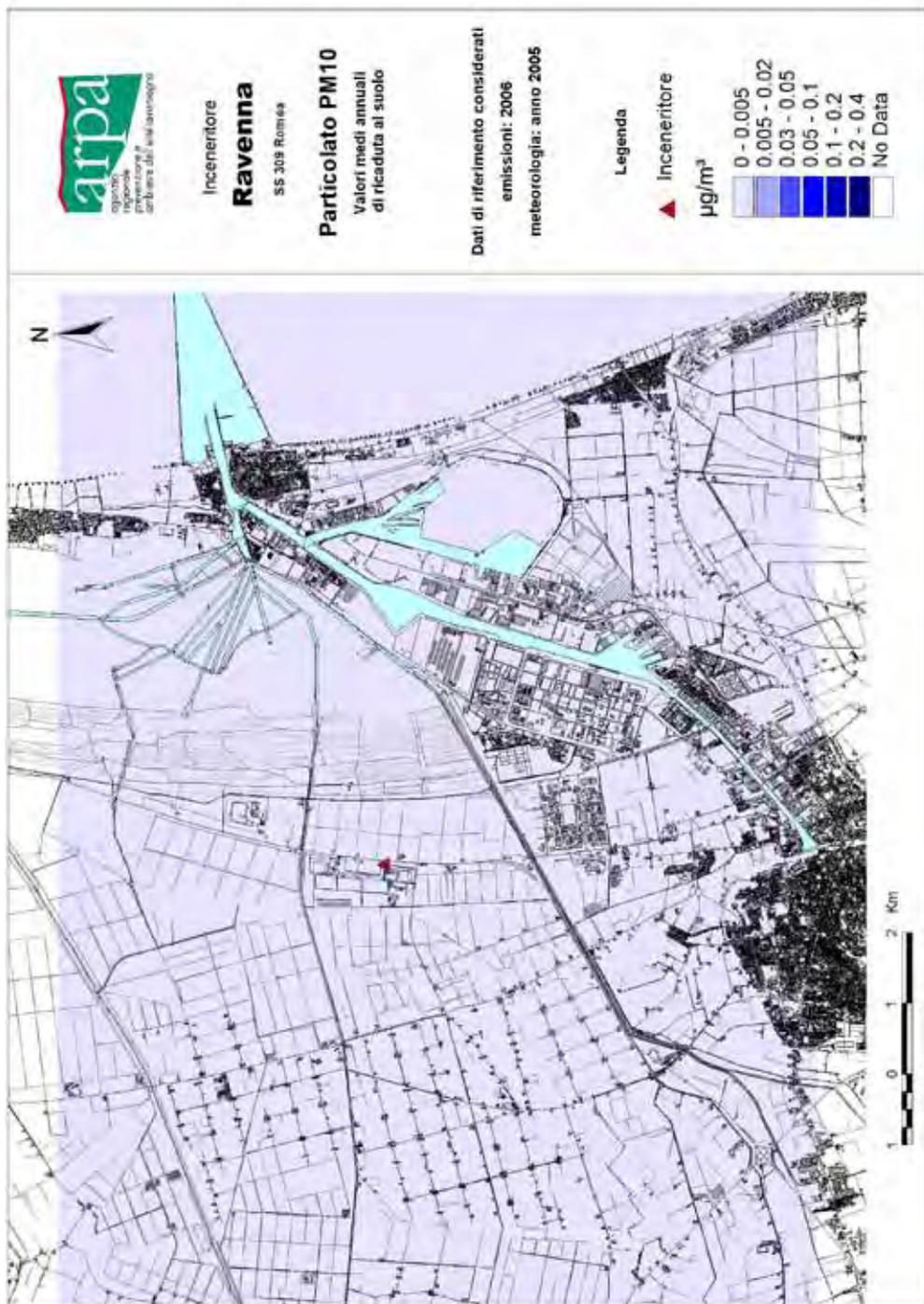
**Particolato PM10**

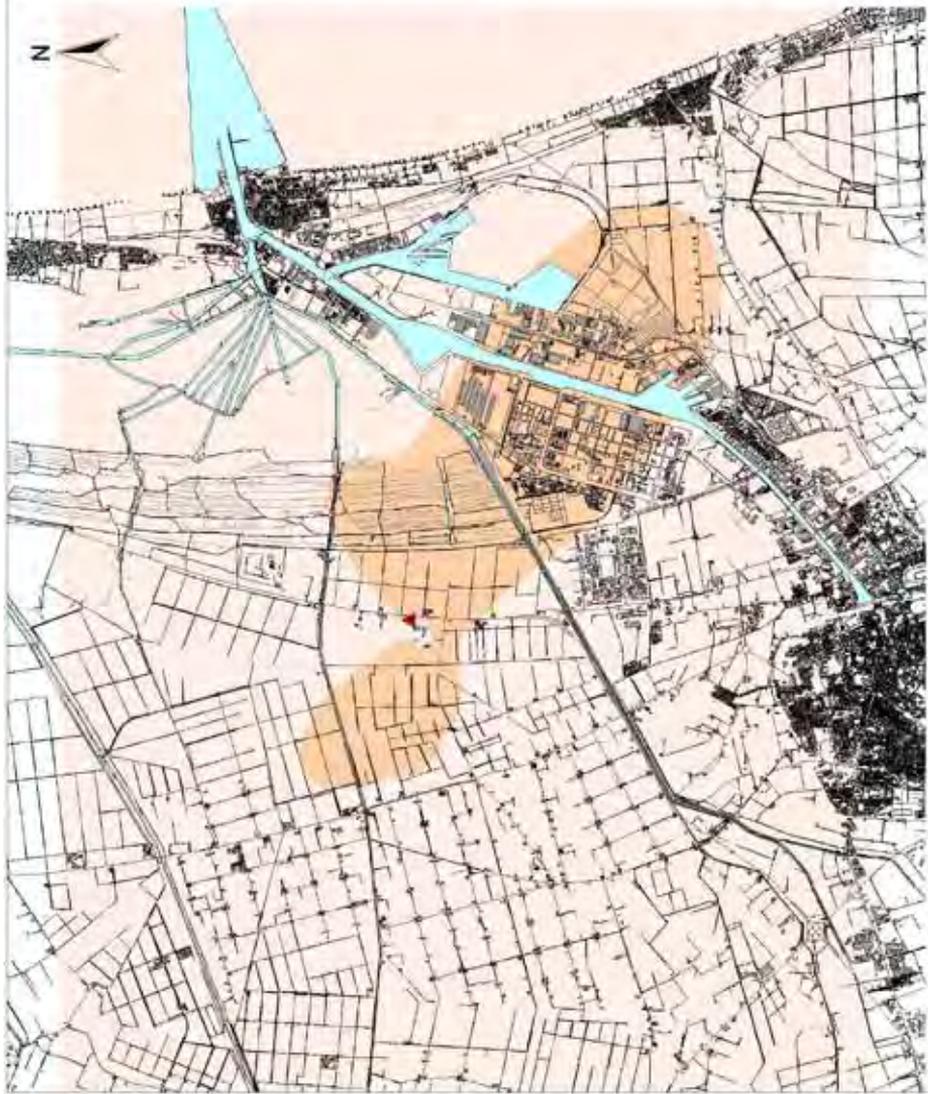
Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2005  
 meteorologia: anno 2005

Legenda







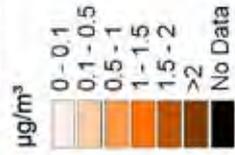
Inceneritore  
**Ravenna**  
 SS 309 Romes

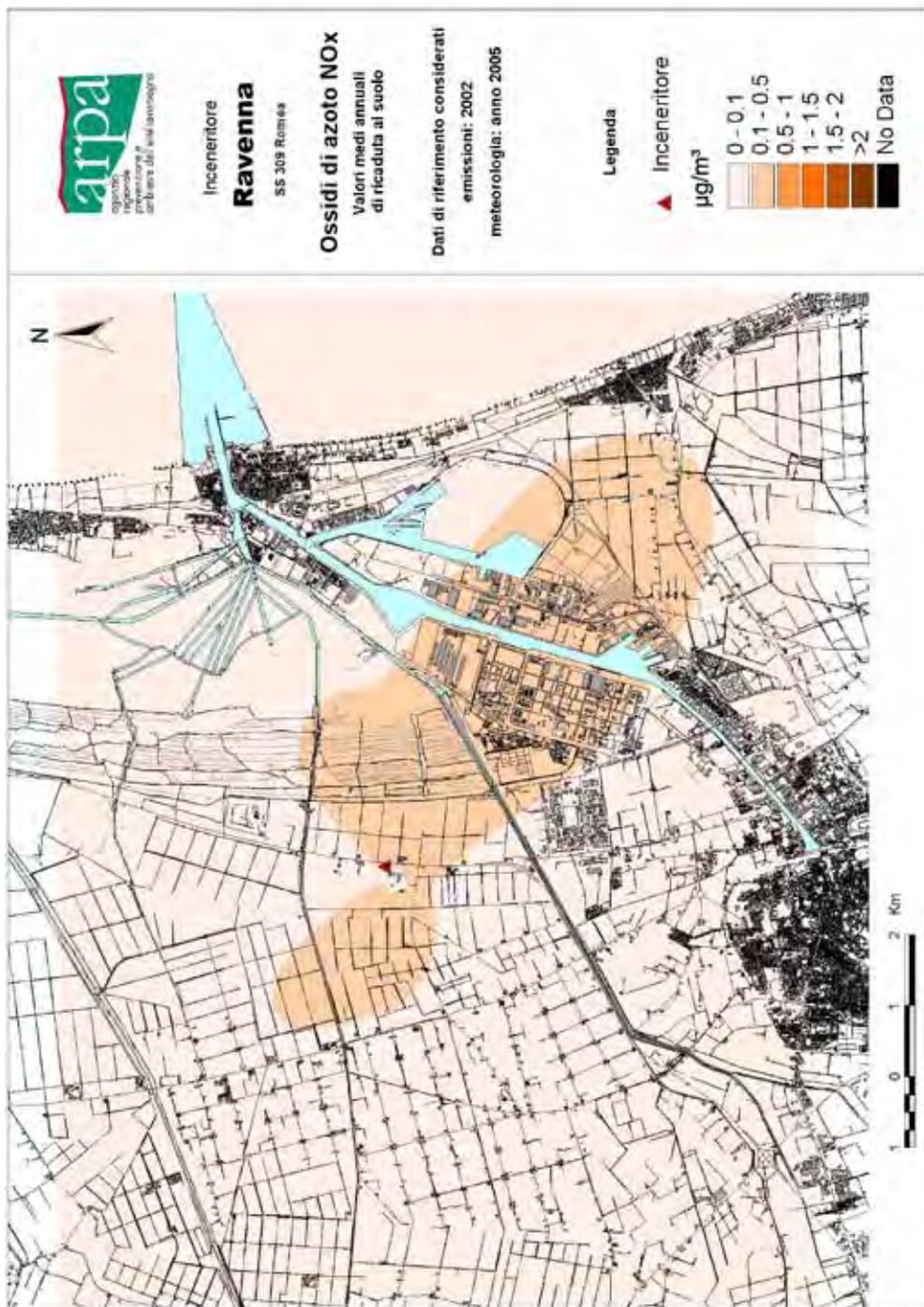
**Ossidi di azoto NOx**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

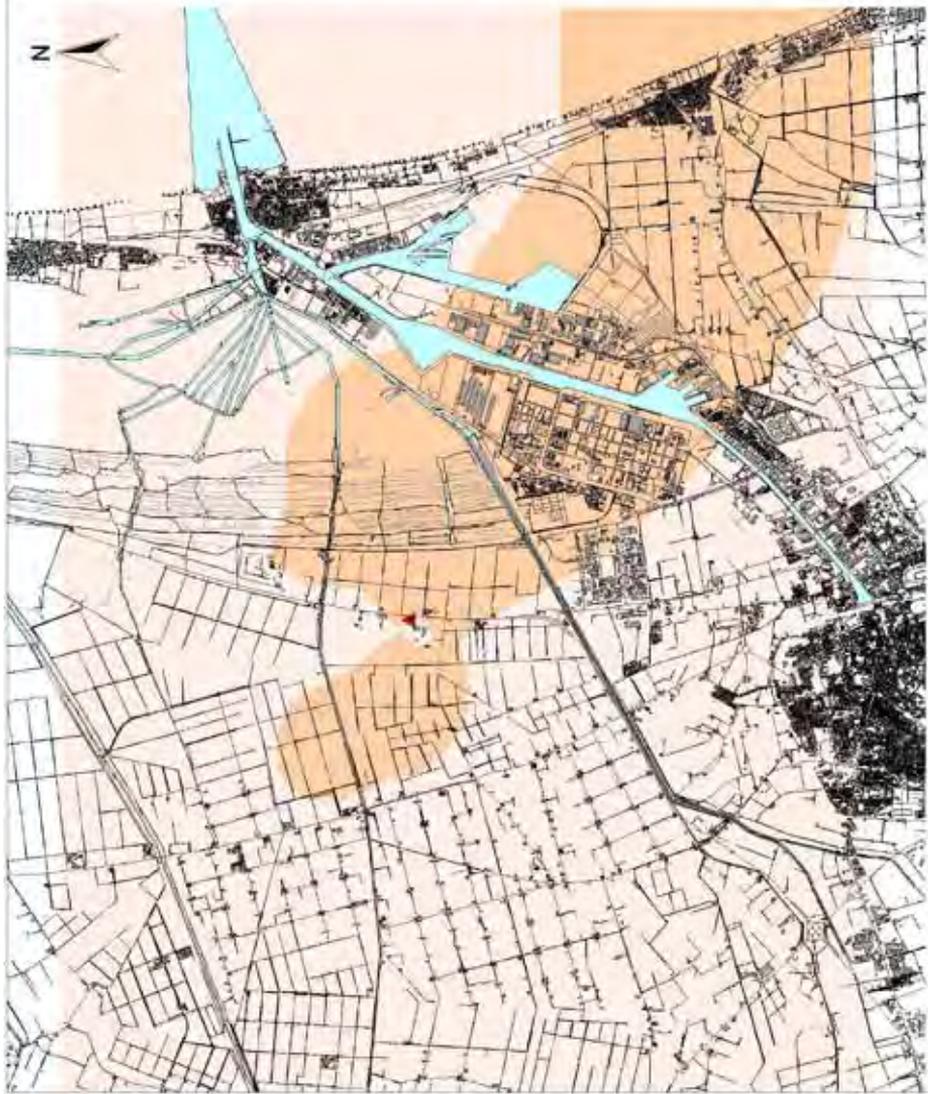
Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2001  
 meteorologia: anno 2005

Legenda

▲ Inceneritore







Inceneritore  
**Ravenna**  
 SS 309 Romes

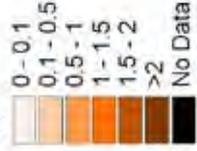
**Ossidi di azoto NOx**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

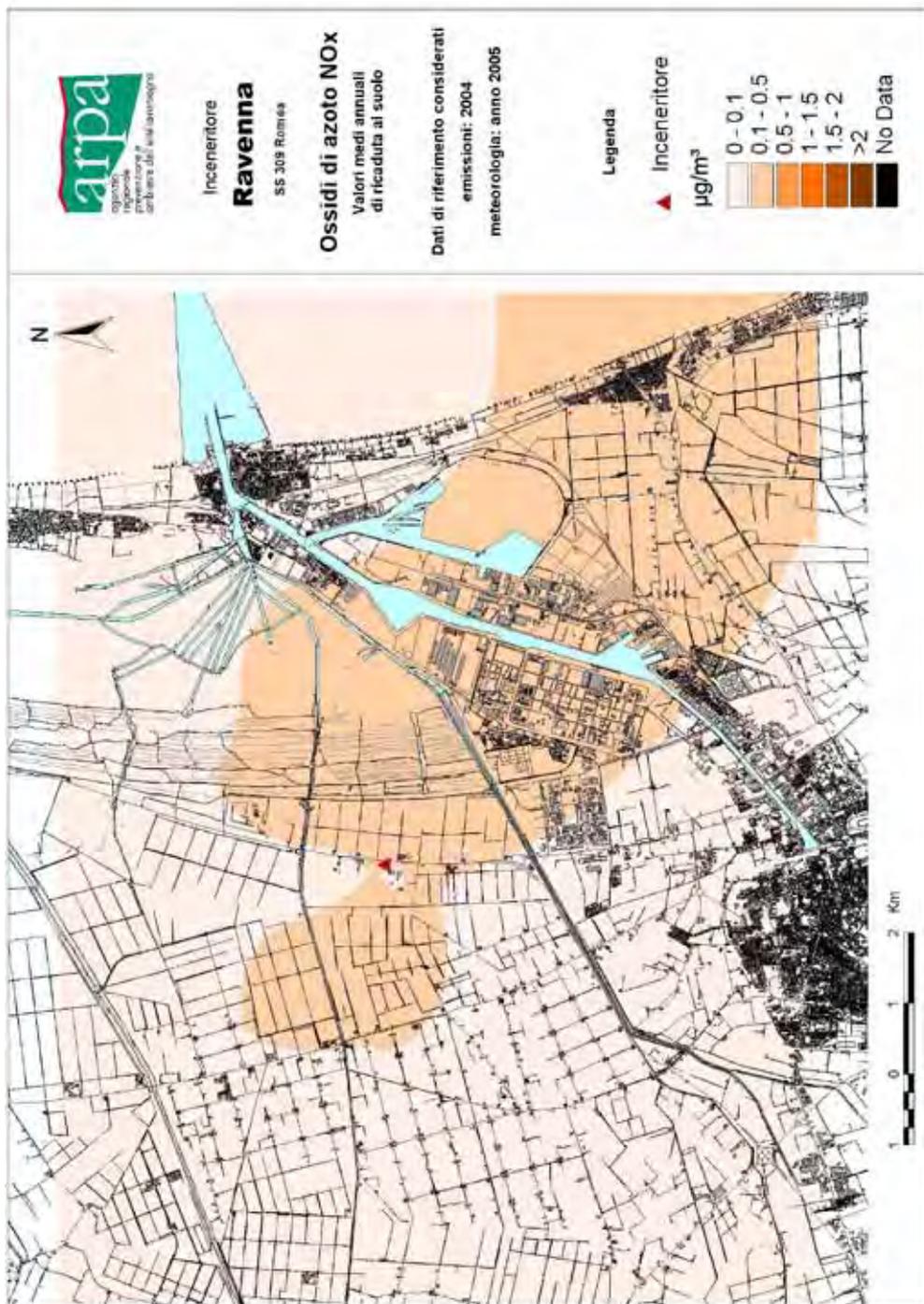
Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2003  
 meteorologia: anno 2005

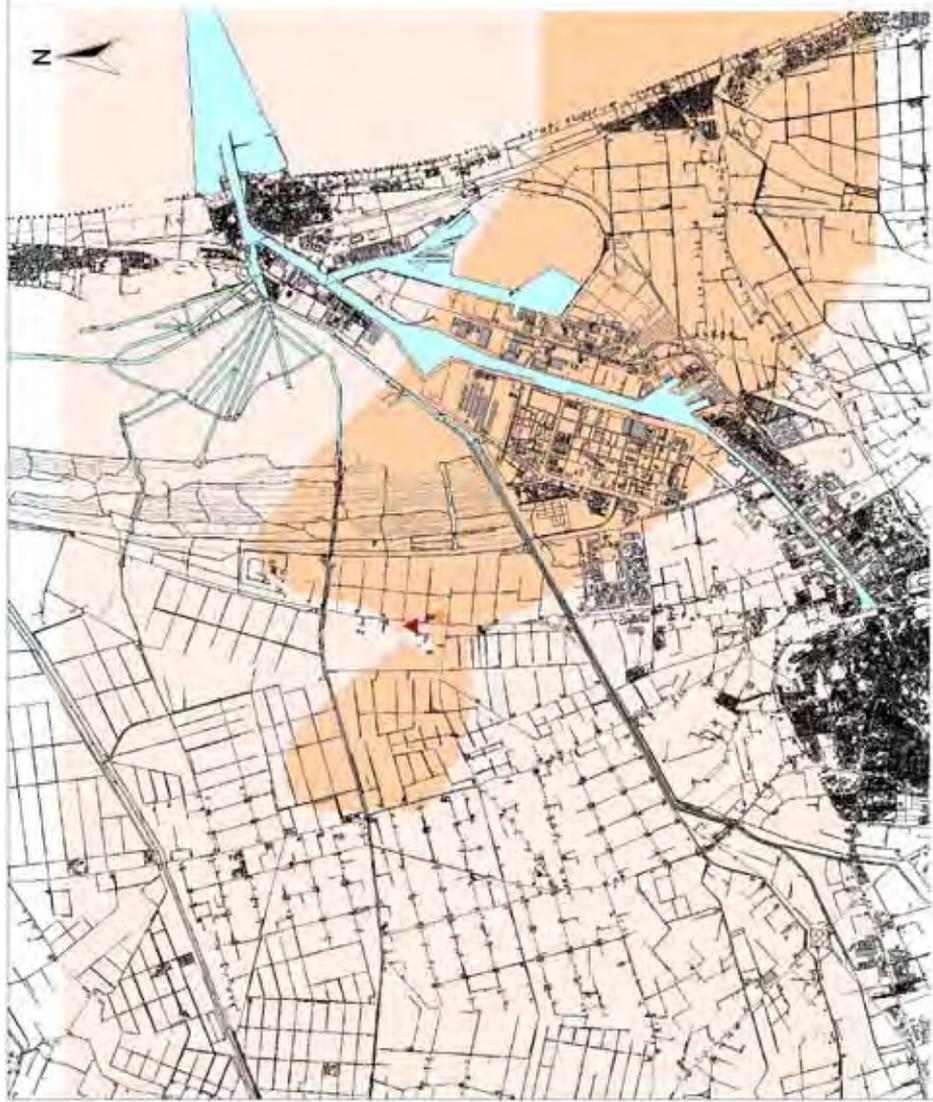
Legenda

▲ Inceneritore

µg/m<sup>3</sup>







Inceneritore  
**Ravenna**  
 SS 309 Roma ex

**Ossidi di azoto NOx**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

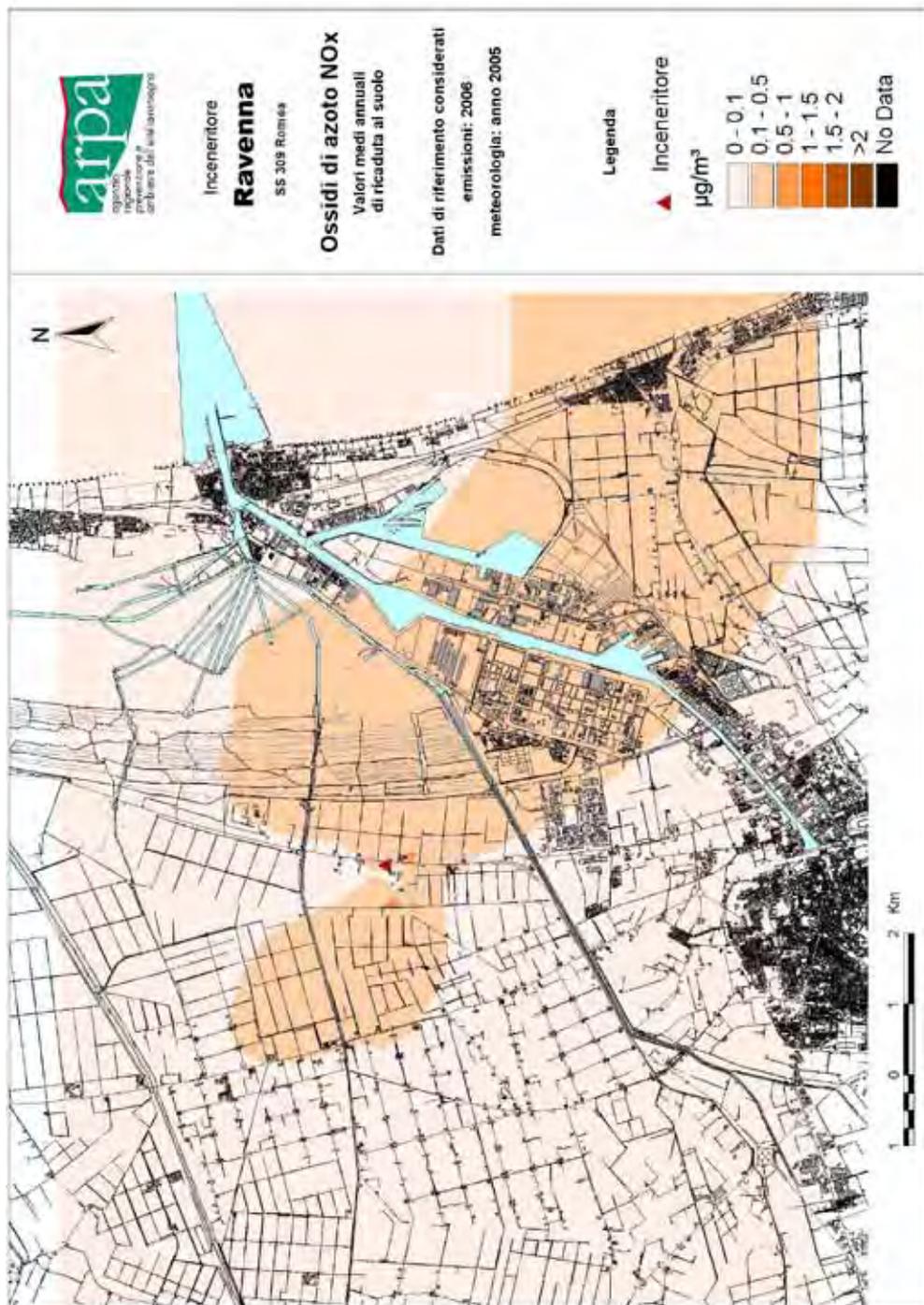
Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 2005  
 meteorologia: anno 2005

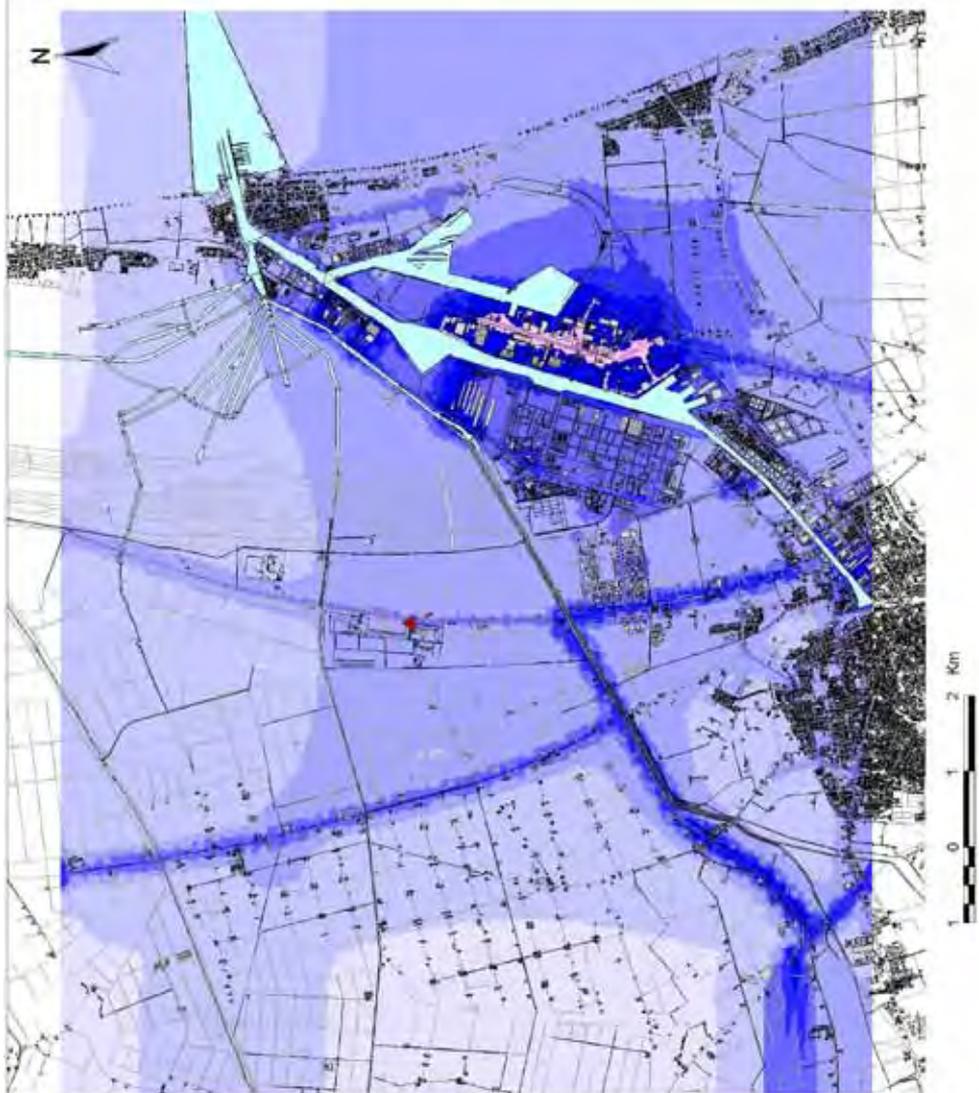
**Legenda**

▲ Inceneritore

µg/m<sup>3</sup>

0 - 0.1
0.1 - 0.5
0.5 - 1
1 - 1.5
1.5 - 2
>2
No Data





Tutte le sorgenti nel dominio per

### Ravenna

(escluso fondo ambientale)

### Particolato PM10

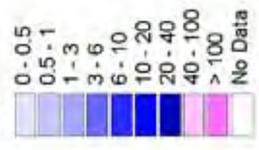
Concentrazioni medie annuali di ricaduta al suolo

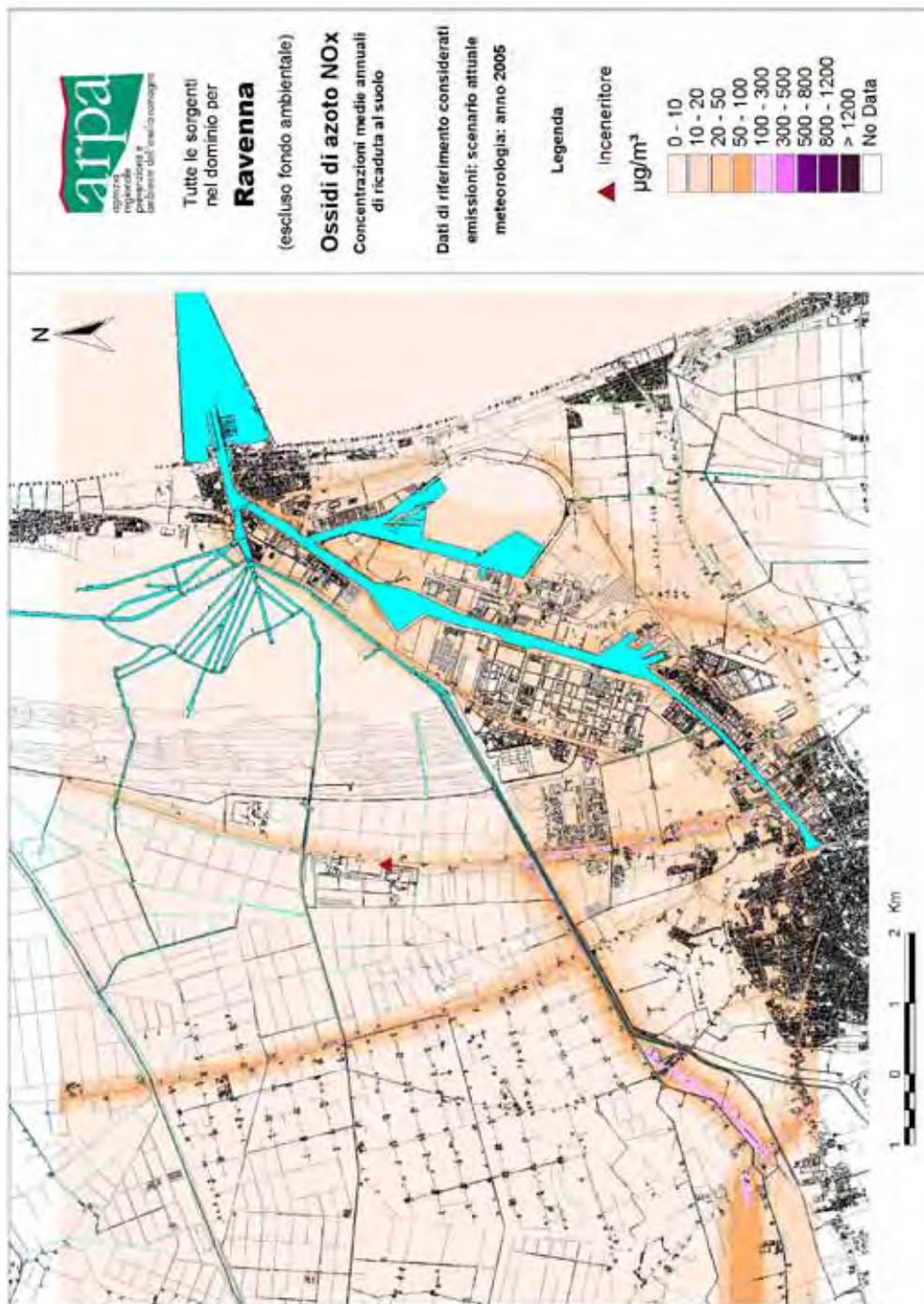
Dati di riferimento considerati emissioni: scenario attuale meteorologia: anno 2005

#### Legenda

▲ Inceneritore

µg/m<sup>3</sup>



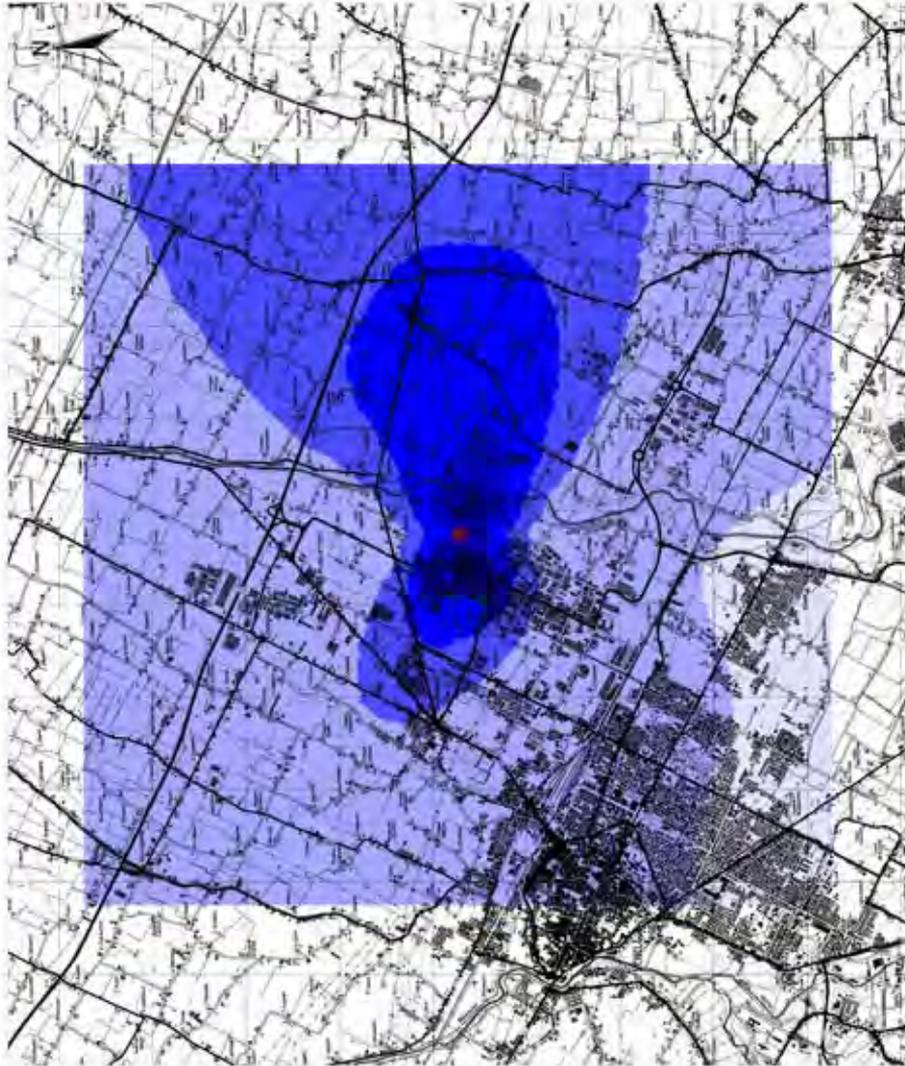
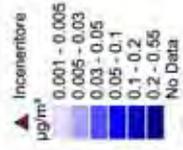




Inceneritore  
**Forlì-Cesena**  
Via Grigioni, loc. Cortano, Forlì

**Particolato PM10**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 1992  
meteorologia: anno 2005

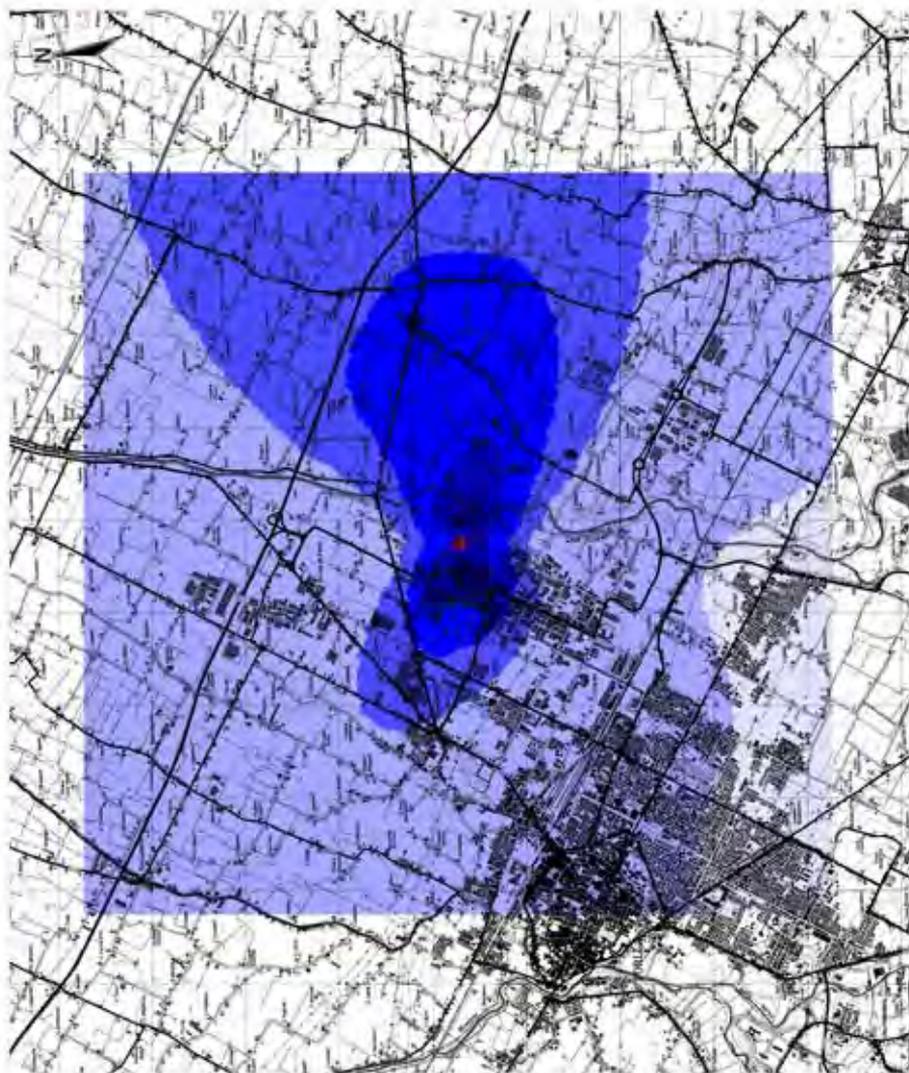




Inceneritore  
**Forlì-Cesena**  
Via Grigioni, loc. Coriano, Forlì

**Particolato PM10**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 1993  
meteorologia: anno 2005

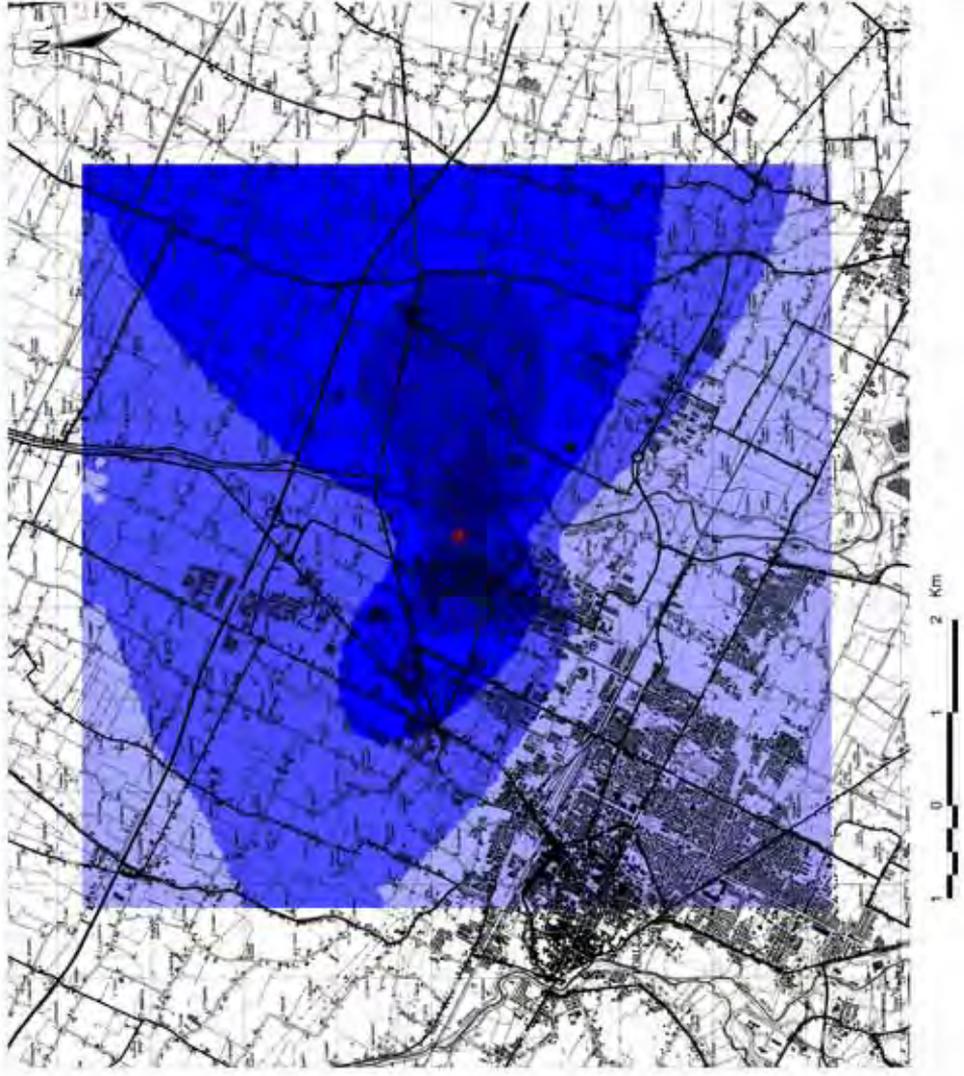
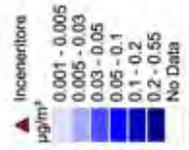


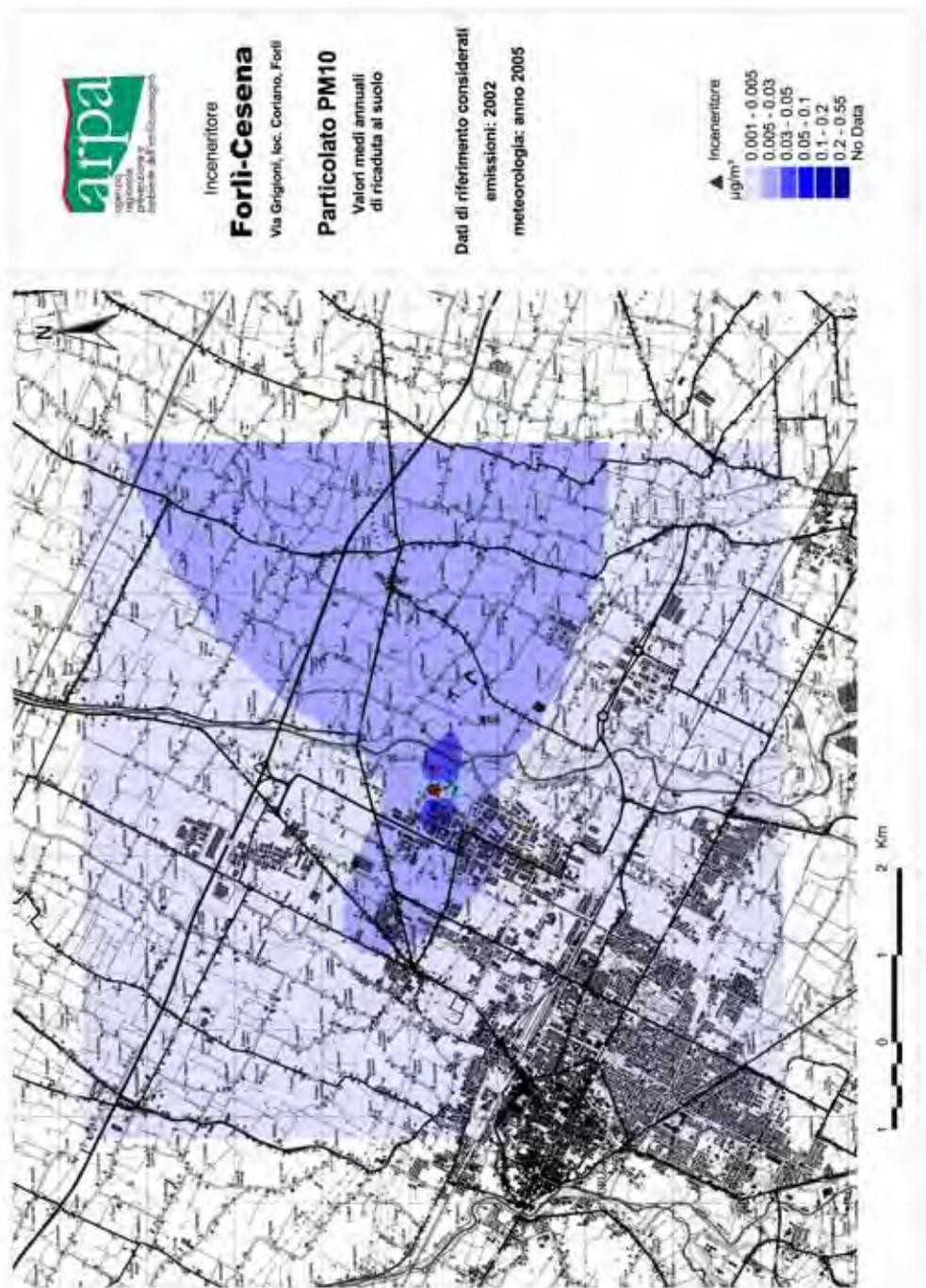


Inceneritore  
**Forlì-Cesena**  
Via Grigioni, loc. Coriano, Forlì

**Particolato PM10**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 1994-2001  
meteorologia: anno 2005







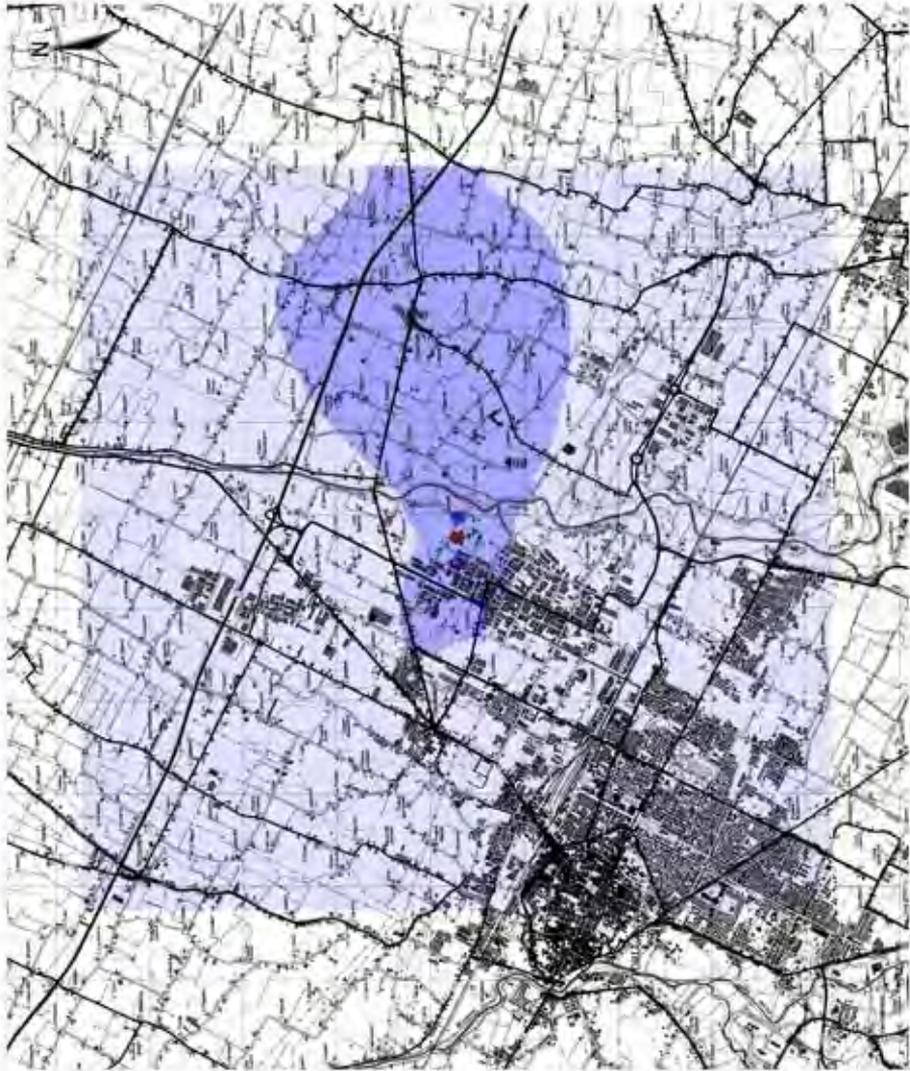
Inceneritore  
**Forli-Cesena**

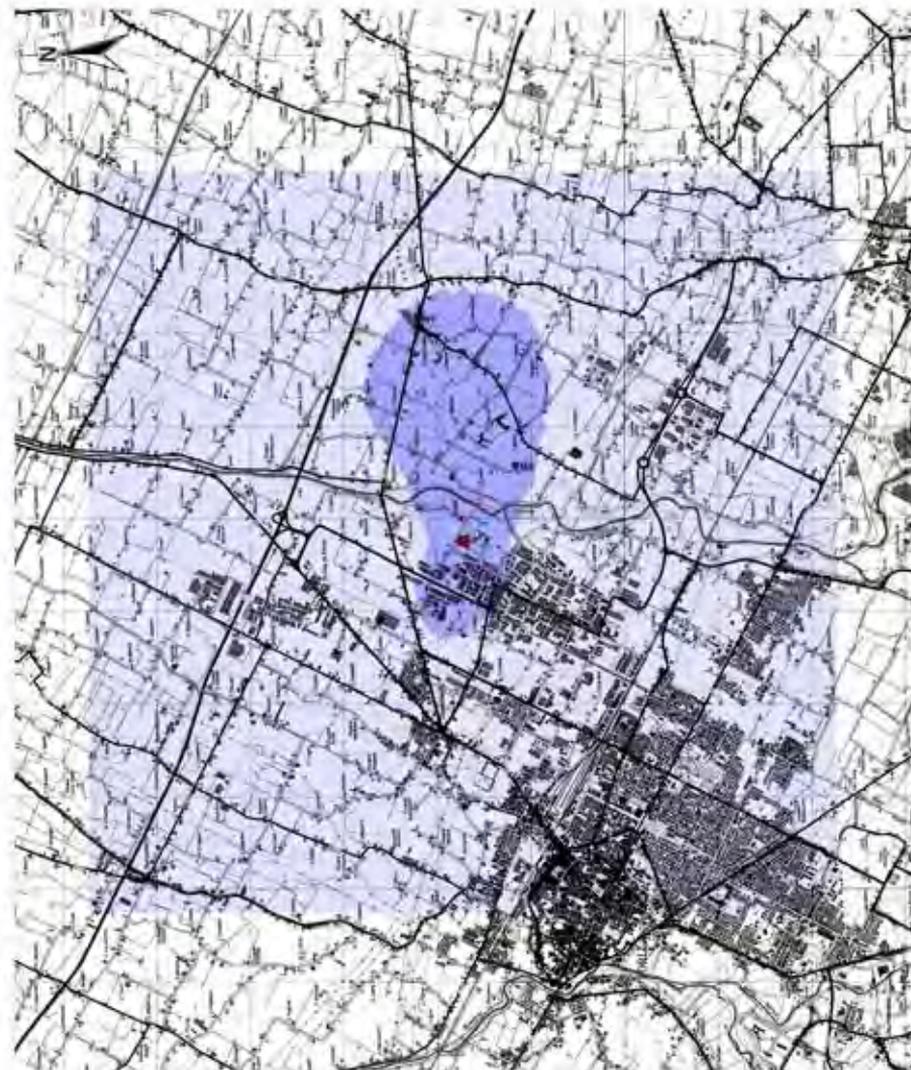
Via Grigioni, loc. Coriano, Forlì

**Particolato PM10**

Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2003  
meteorologia: anno 2005





Inceneritore

## Forlì-Cesena

Via Grigioni, loc. Coriano, Forlì

## Particolato PM10

Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2004  
meteorologia: anno 2005

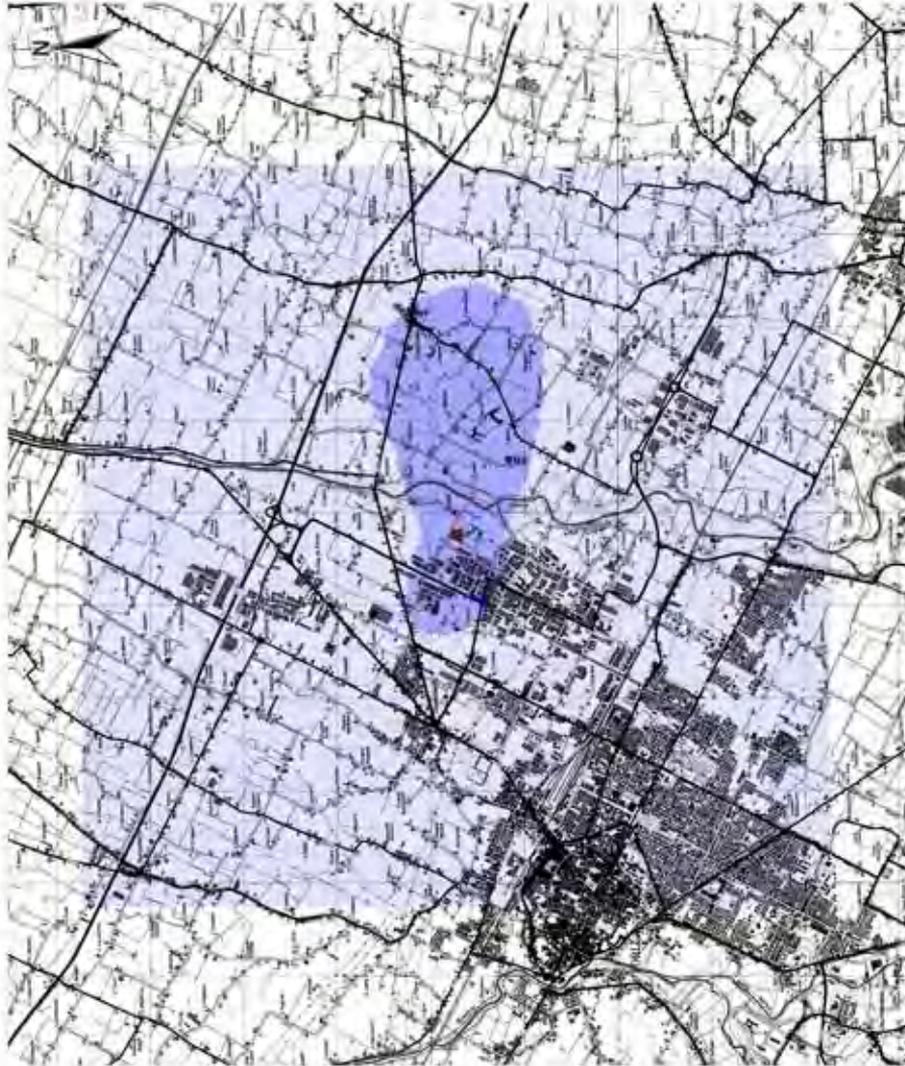




Inceneritore  
**Forlì-Cesena**  
Via Orignoli, loc. Cortano, Forlì

**Particolato PM10**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2005  
meteorologia: anno 2005

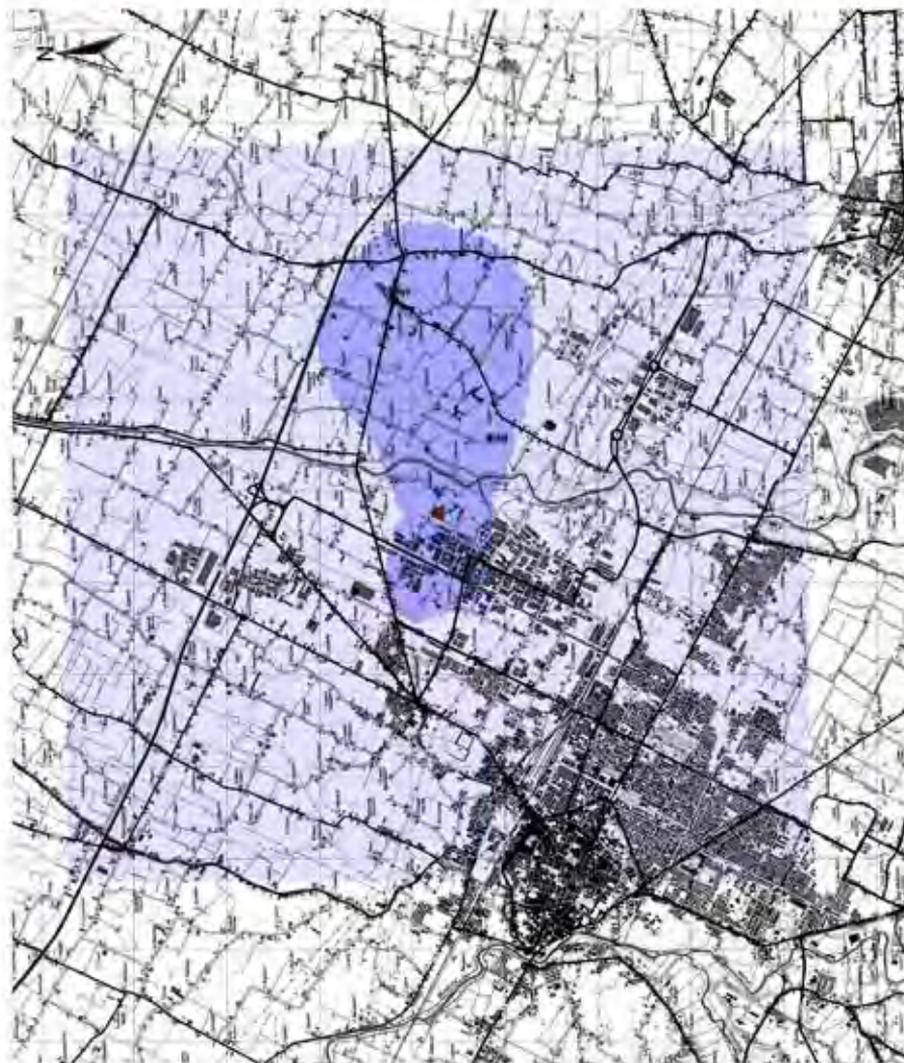


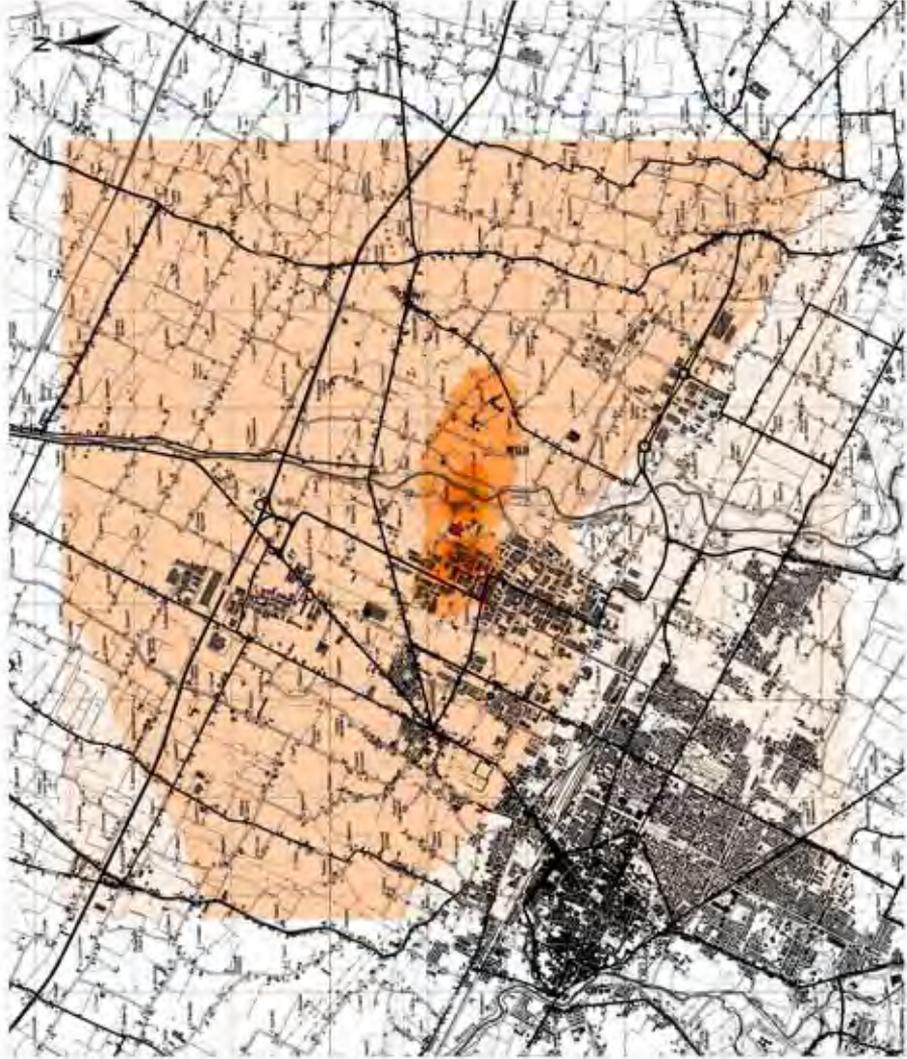


Inceneritore  
**Forli-Cesena**  
Via Grigioni, loc. Cortiano, Forlì

**Particolato PM10**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2006  
meteorologia: anno 2005





Inceneritore  
**Forlì-Cesena**  
 Via Grigioni, loc. Corliano, Forlì

**Ossidi di azoto NOx**  
 Valori medi annuali  
 di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
 emissioni: 1992  
 meteorologia: anno 2005

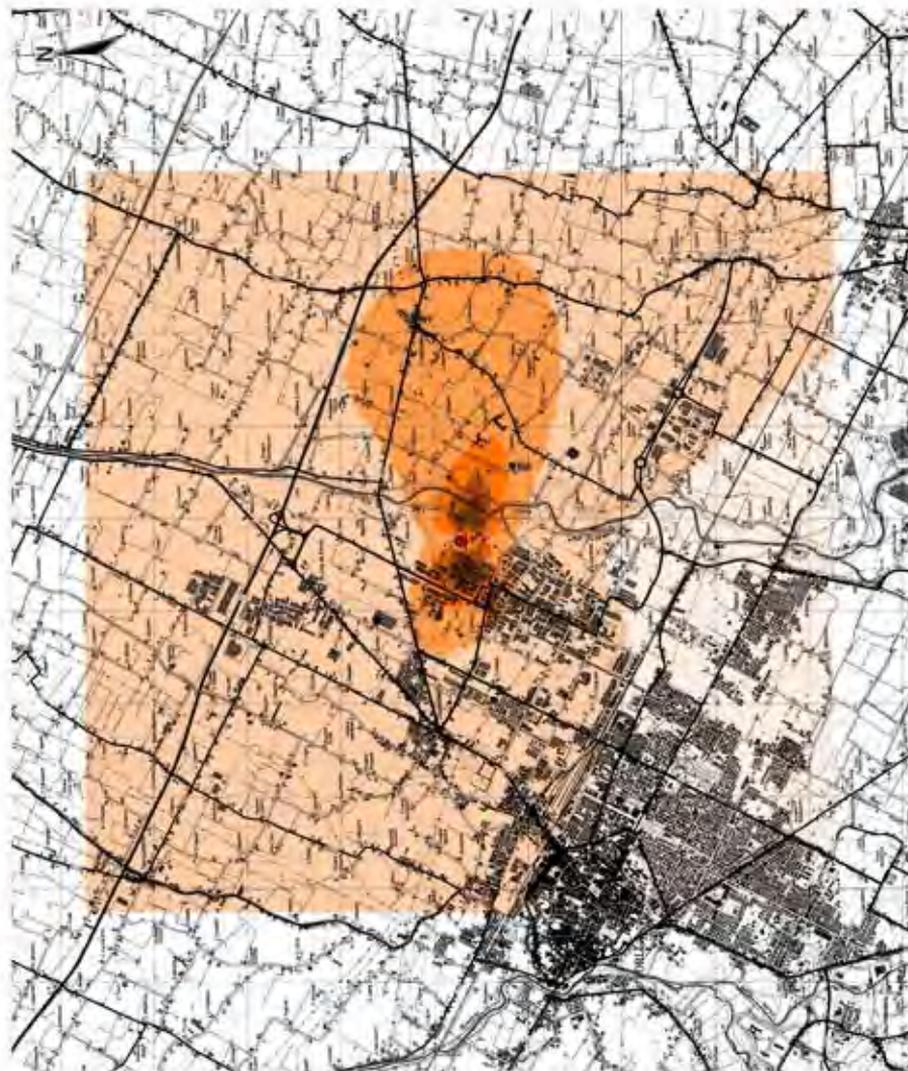




Inceneritore  
**Forlì-Cesena**  
Via Grigioni, loc. Corliano, Forlì

**Ossidi di azoto NOx**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 1993  
meteorologia: anno 2005

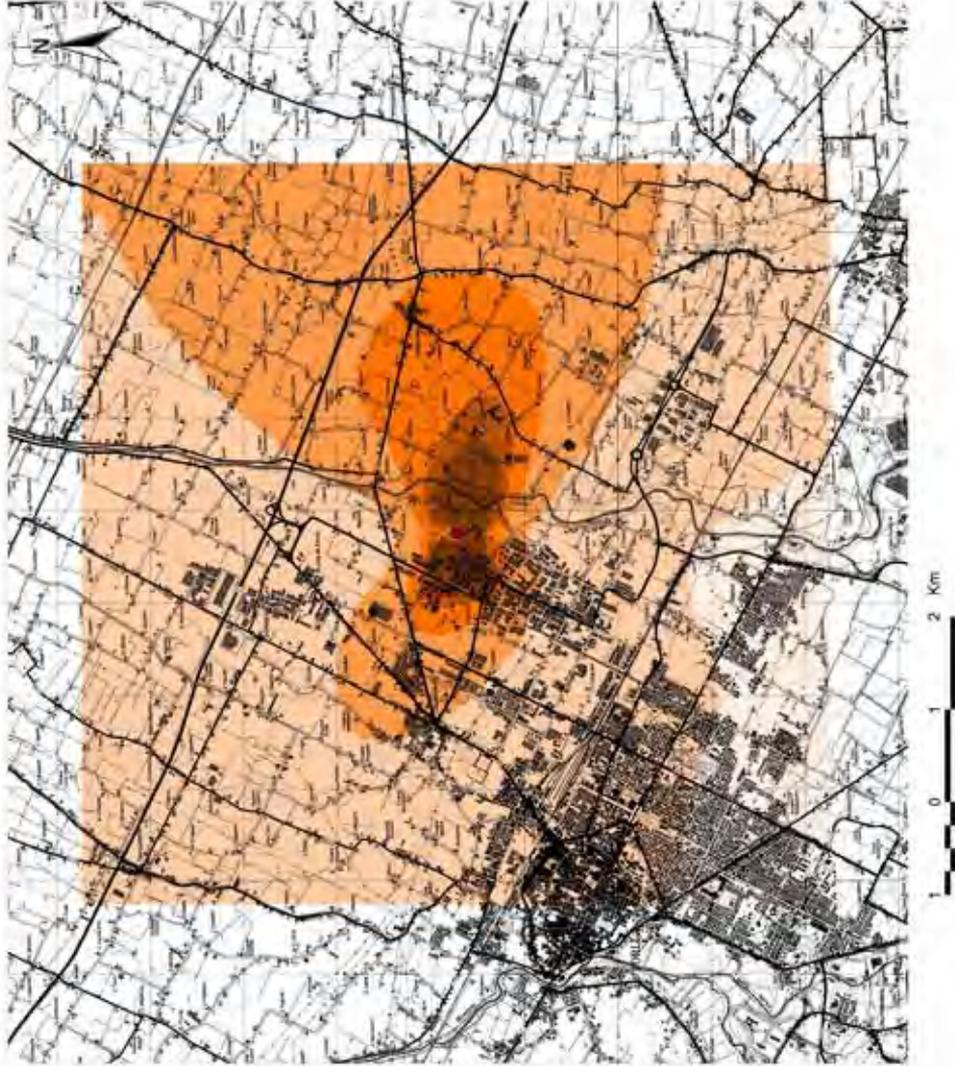




Inceneritore  
**Forlì-Cesena**  
Via Origionì, loc. Corliano, Forlì

**Ossidi di azoto NOx**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 1994 -2001  
meteorologia: anno 2005





Inceneritore

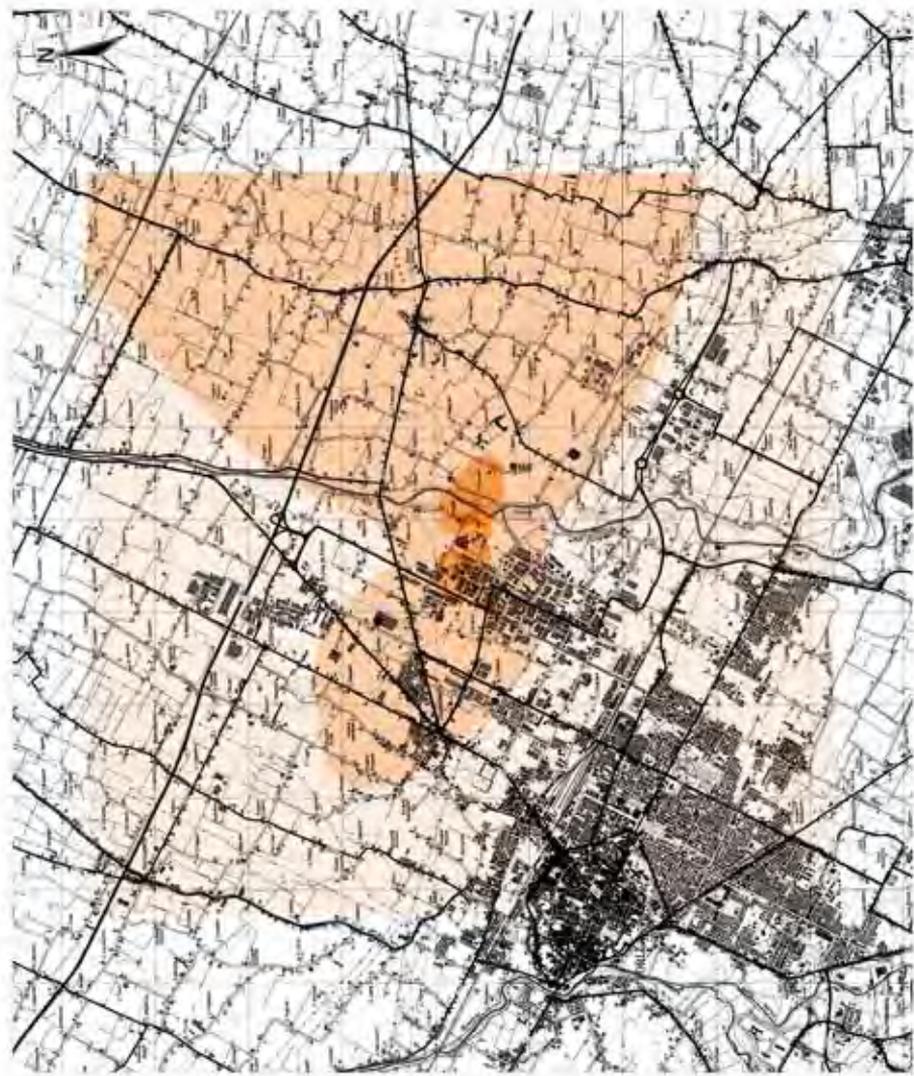
## Forlì-Cesena

Via Origionì, loc. Coriano, Forlì

### Ossidi di azoto NOx

Valori medi annuali di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2002  
meteorologia: anno 2005

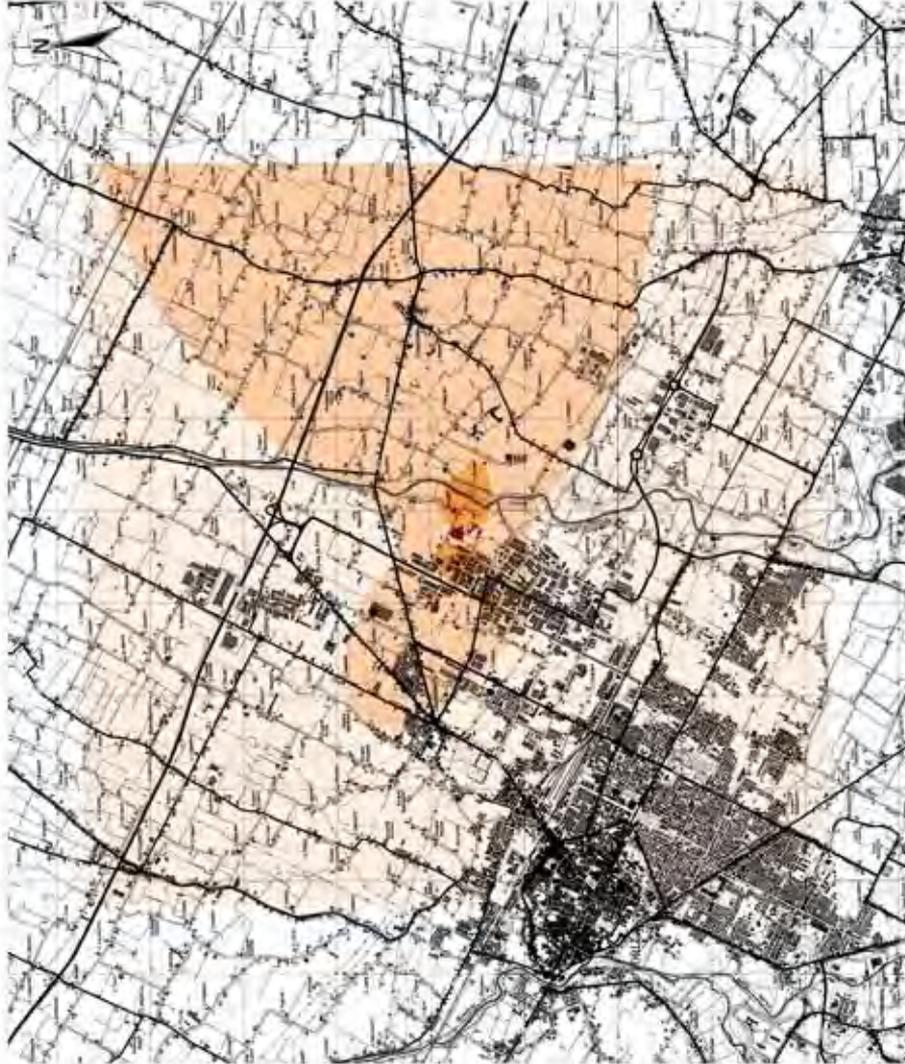




Inceneritore  
**Forlì-Cesena**  
Via Orignoli, loc. Cortano, Forlì

**Ossidi di azoto NOx**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2003  
meteorologia: anno 2005





Inceneritore

## Forlì-Cesena

Via Orignoli, loc. Cortano, Forlì

### Ossidi di azoto NOx

Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati

emissioni: 2004

meteorologia: anno 2005

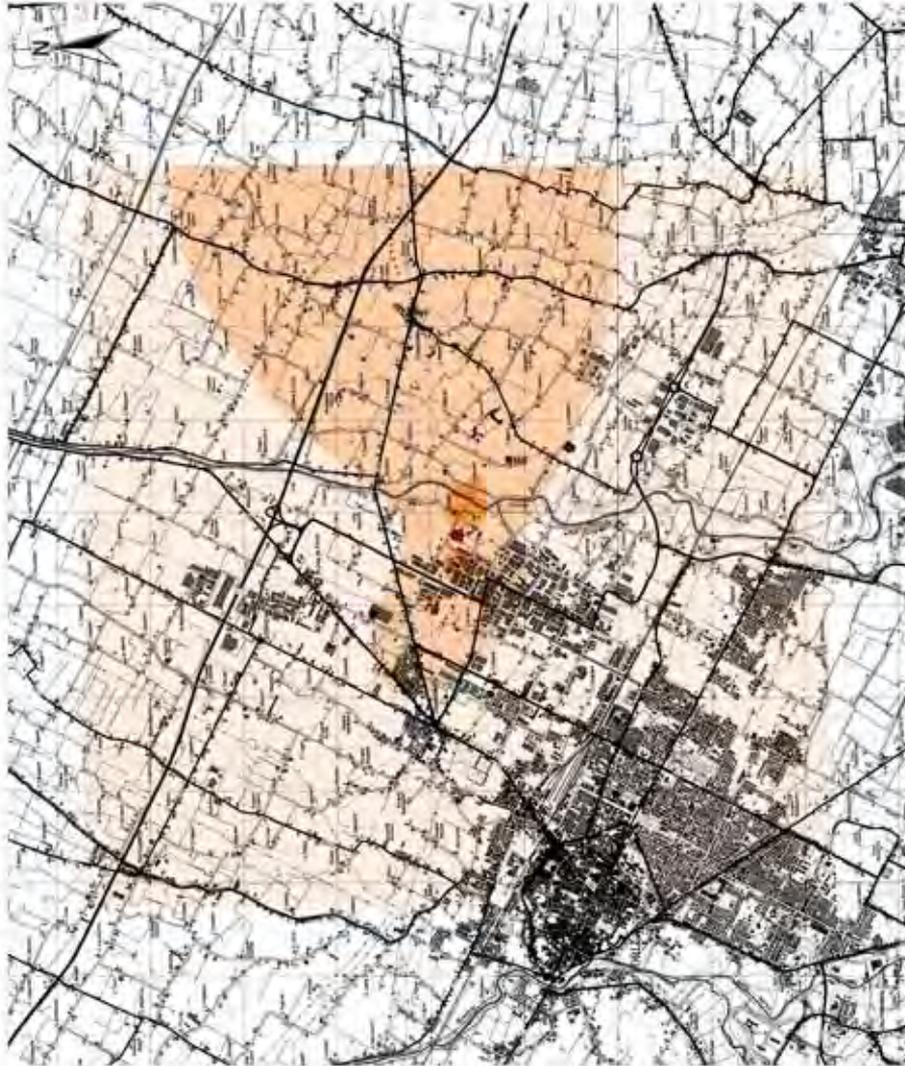


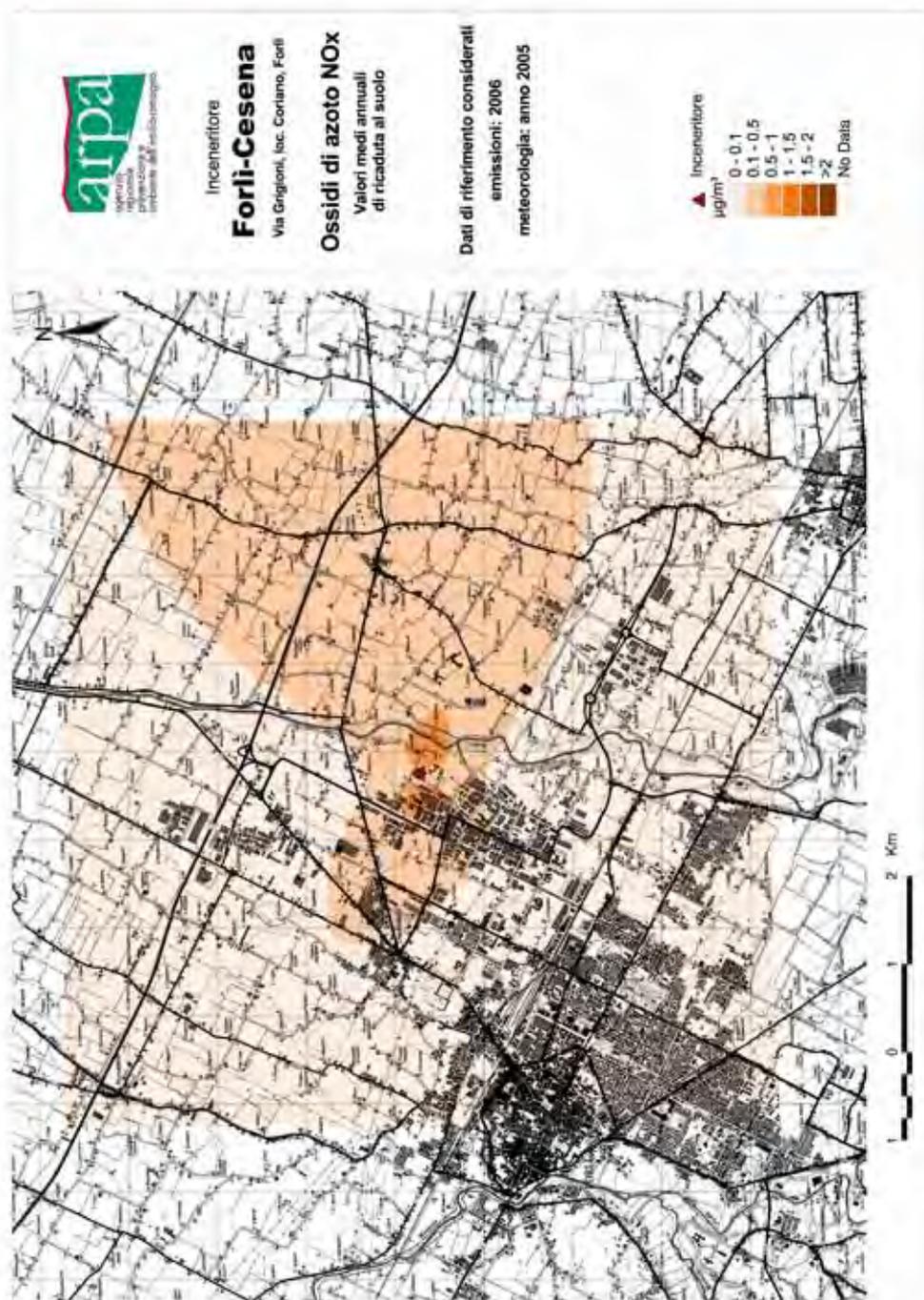


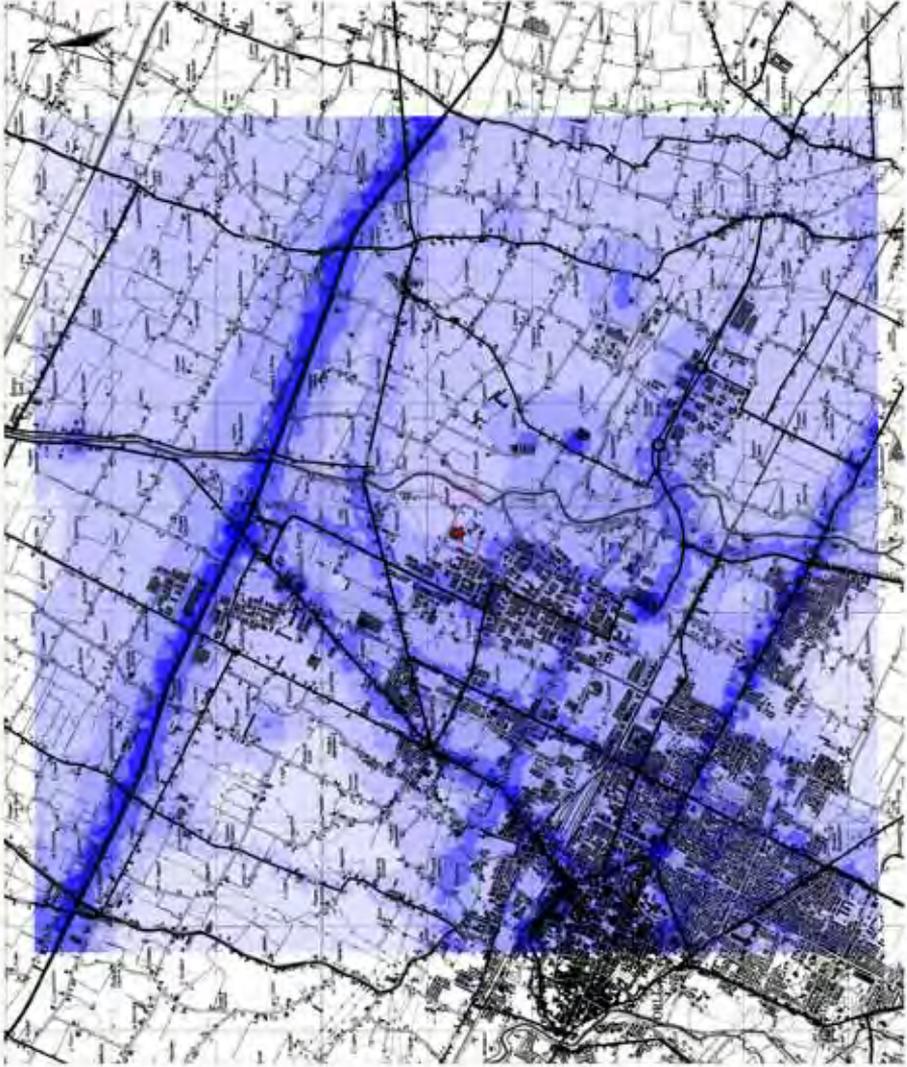
Inceneritore  
**Forlì-Cesena**  
Via Orignoli, loc. Cortiano, Forlì

**Ossidi di azoto NOx**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2005  
meteorologia: anno 2005







Tutte le sorgenti nel dominio per

### Forlì

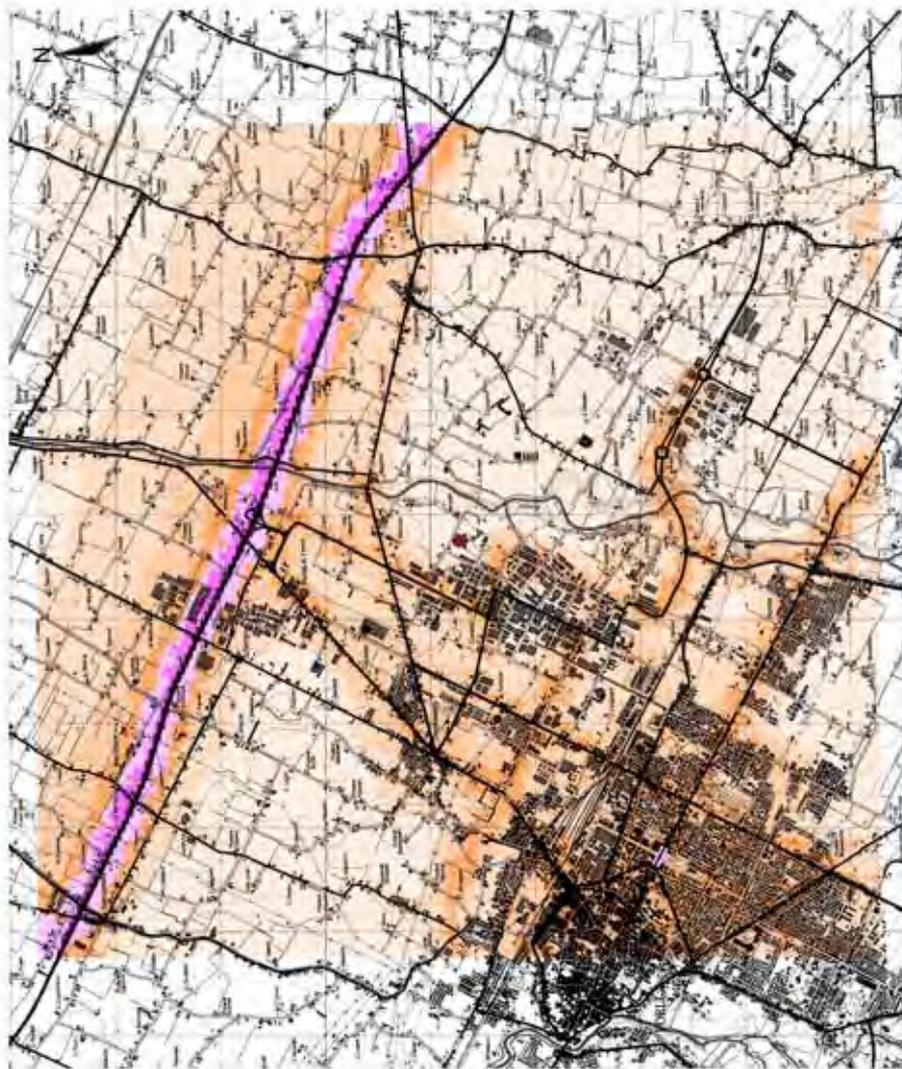
(escluso fondo ambientale)

### Particolato PM10

Concentrazioni medie annuali di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: scenario attuale  
meteorologia: anno 2005





Tutte le sorgenti nel dominio per

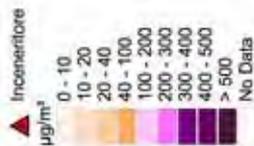
### Forlì

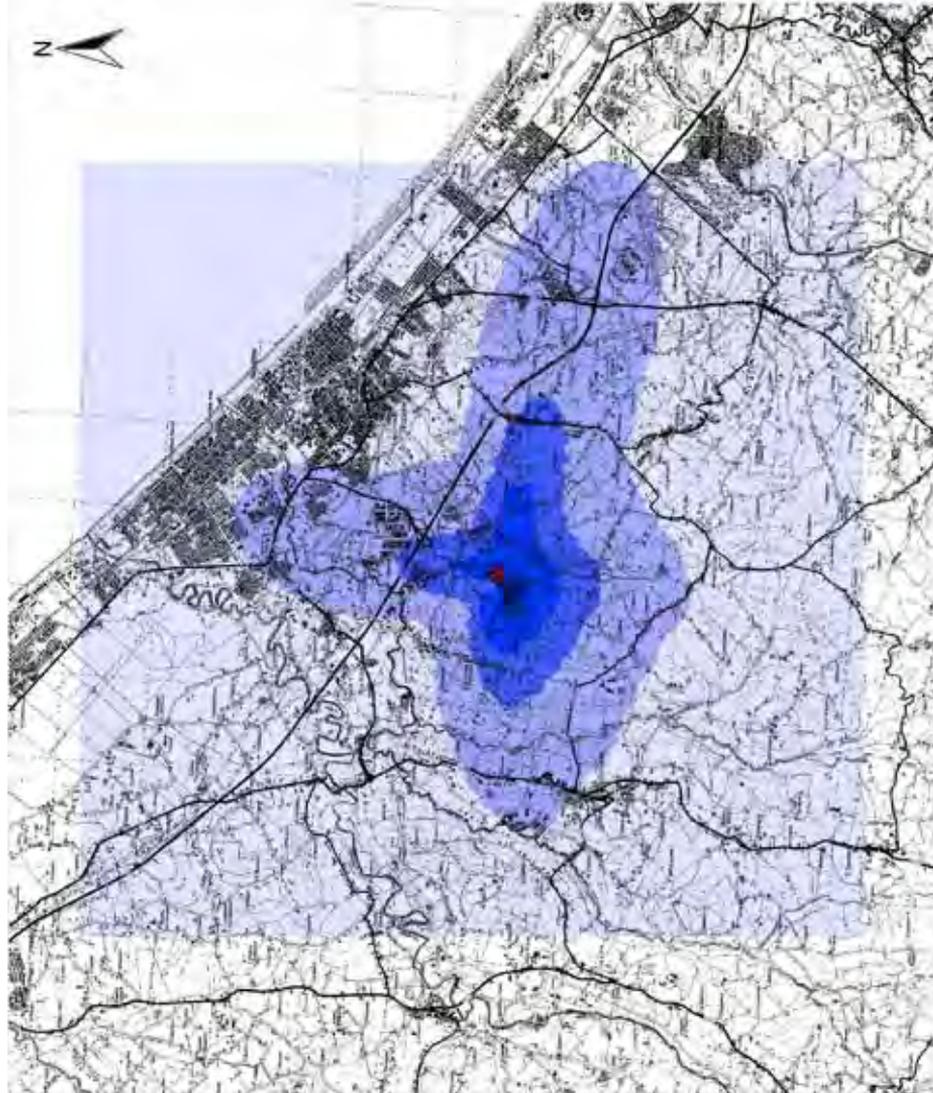
(escluso fondo ambientale)

### Ossidi di azoto NOx

Concentrazioni medie annuali di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: scenario attuale  
meteorologia: anno 2005





Inceneritore  
**Rimini**

Via Raibano, Cortiano

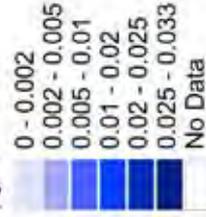
### Particolato PM10

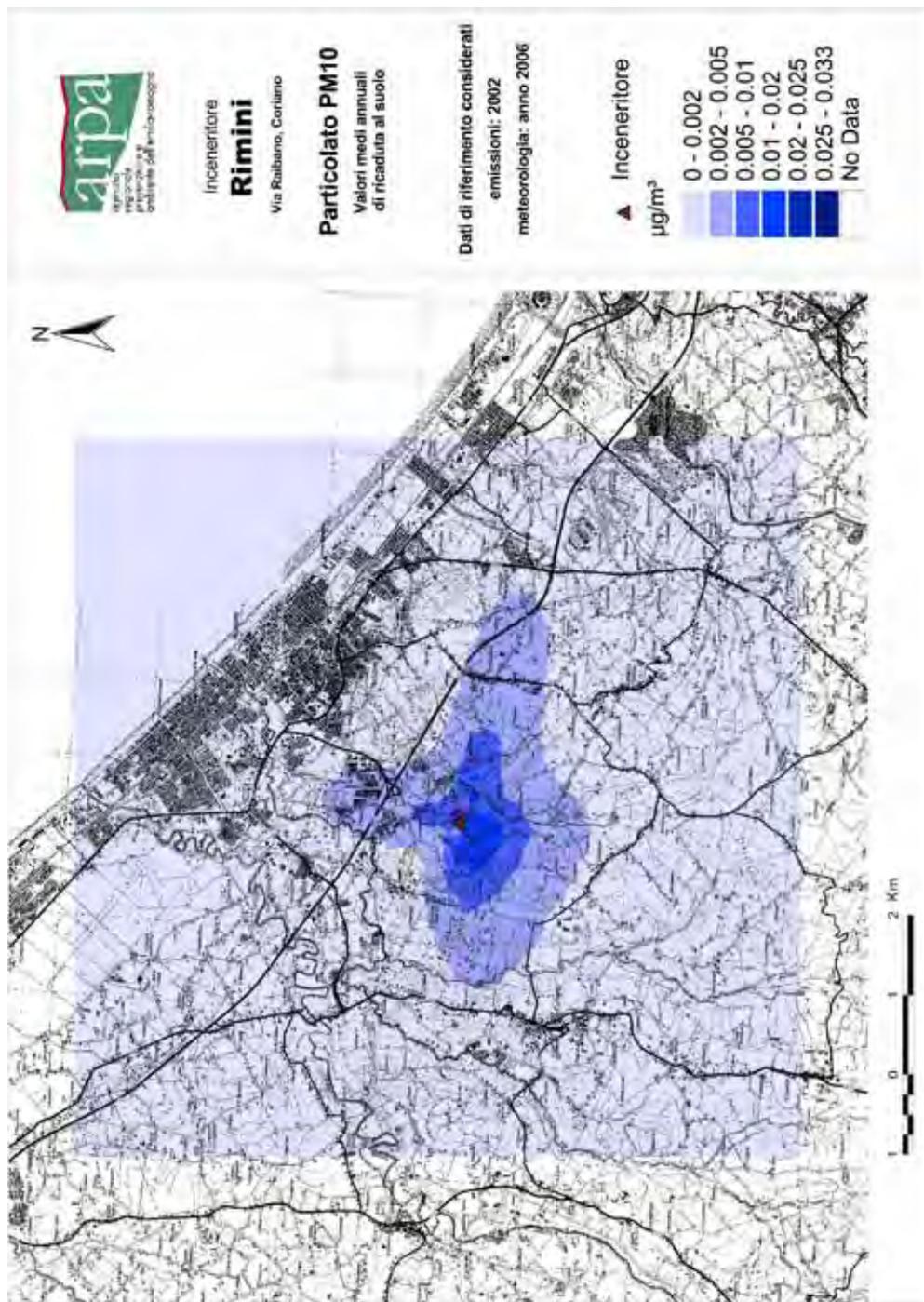
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

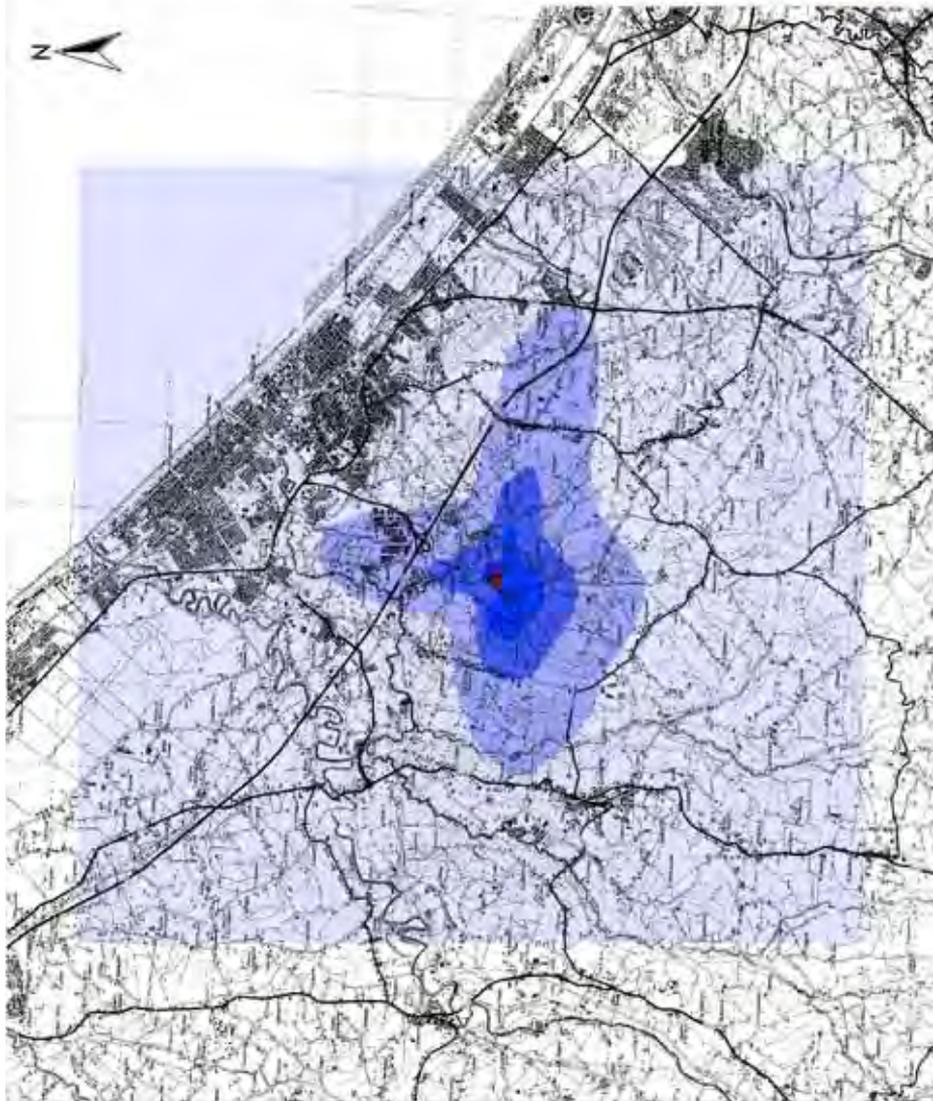
Dati di riferimento considerati  
emissioni: 1995-2001  
meteorologia: anno 2006

▲ Inceneritore

$\mu\text{g}/\text{m}^3$







Inceneritore  
**Rimini**

Via Raibano, Coriano

### Particolato PM10

Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2003

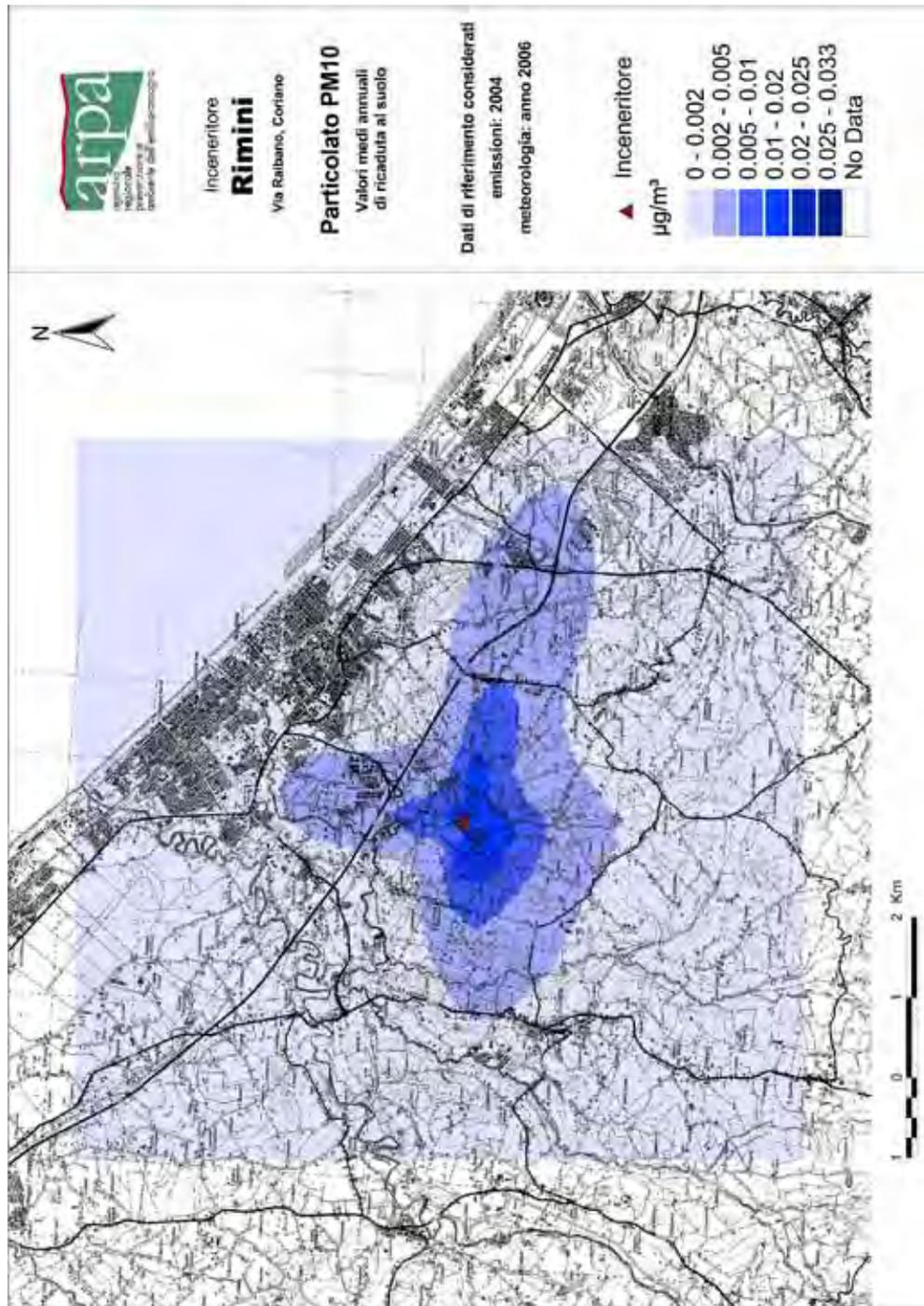
meteorologia: anno 2006

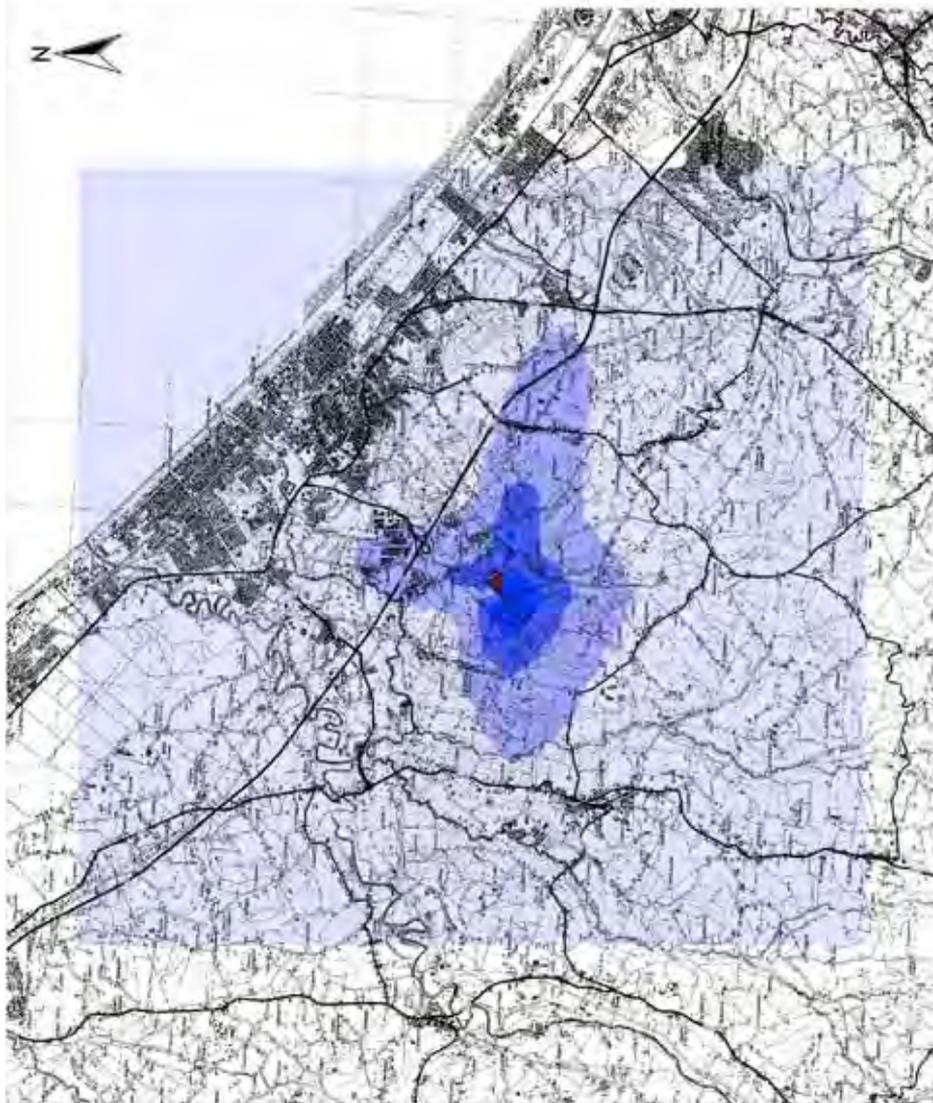
▲ Inceneritore

$\mu\text{g}/\text{m}^3$

- 0 - 0.002
- 0.002 - 0.005
- 0.005 - 0.01
- 0.01 - 0.02
- 0.02 - 0.025
- 0.025 - 0.033
- No Data







Inceneritore  
**Rimini**

Via Raibano, Coriano

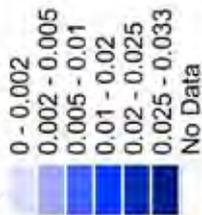
### Particolato PM10

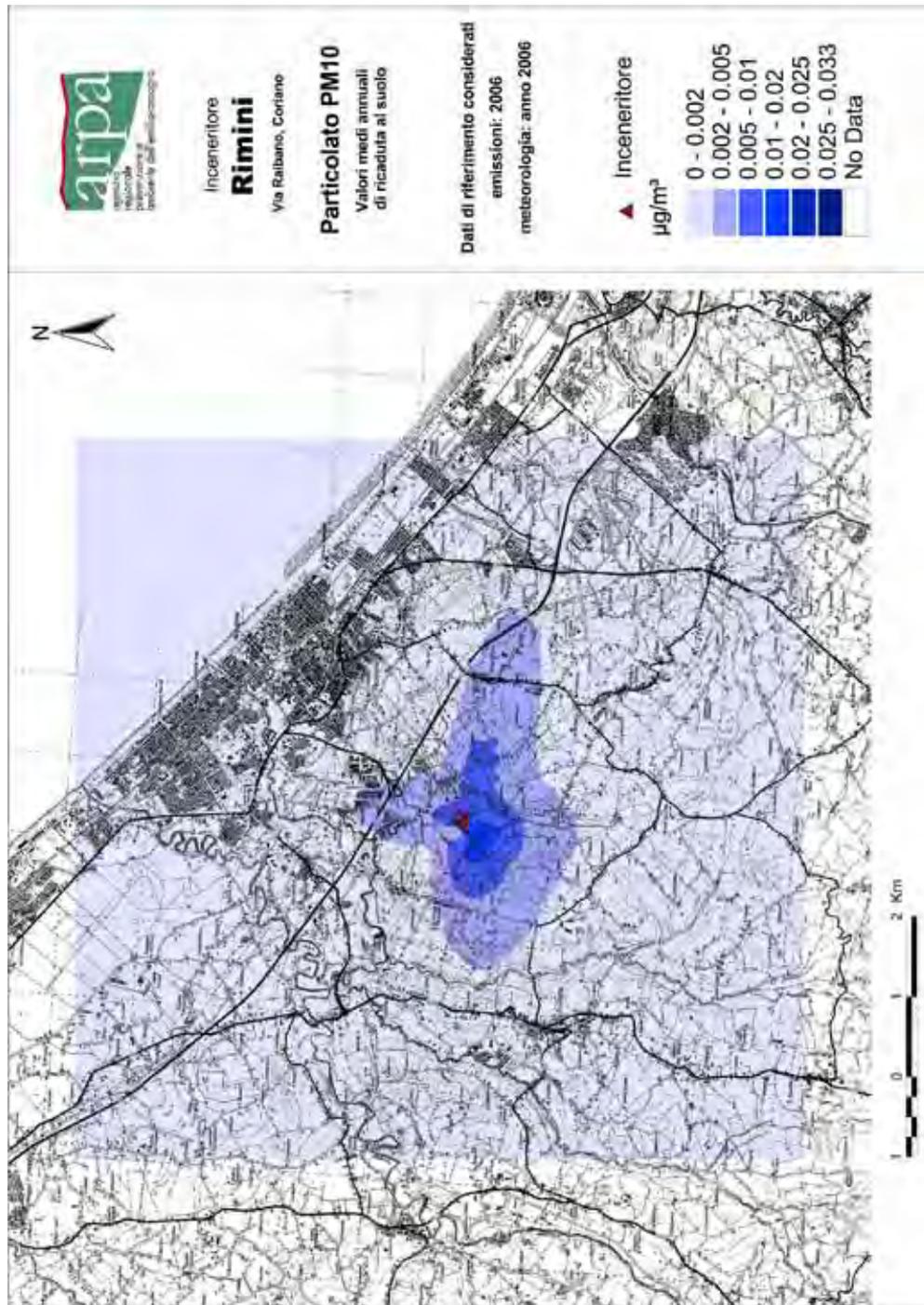
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2005  
meteorologia: anno 2006

▲ Inceneritore

µg/m<sup>3</sup>







Inceneritore  
**Rimini**

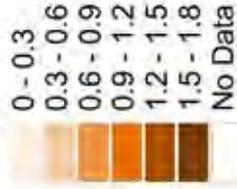
Via Raibano, Corchiano

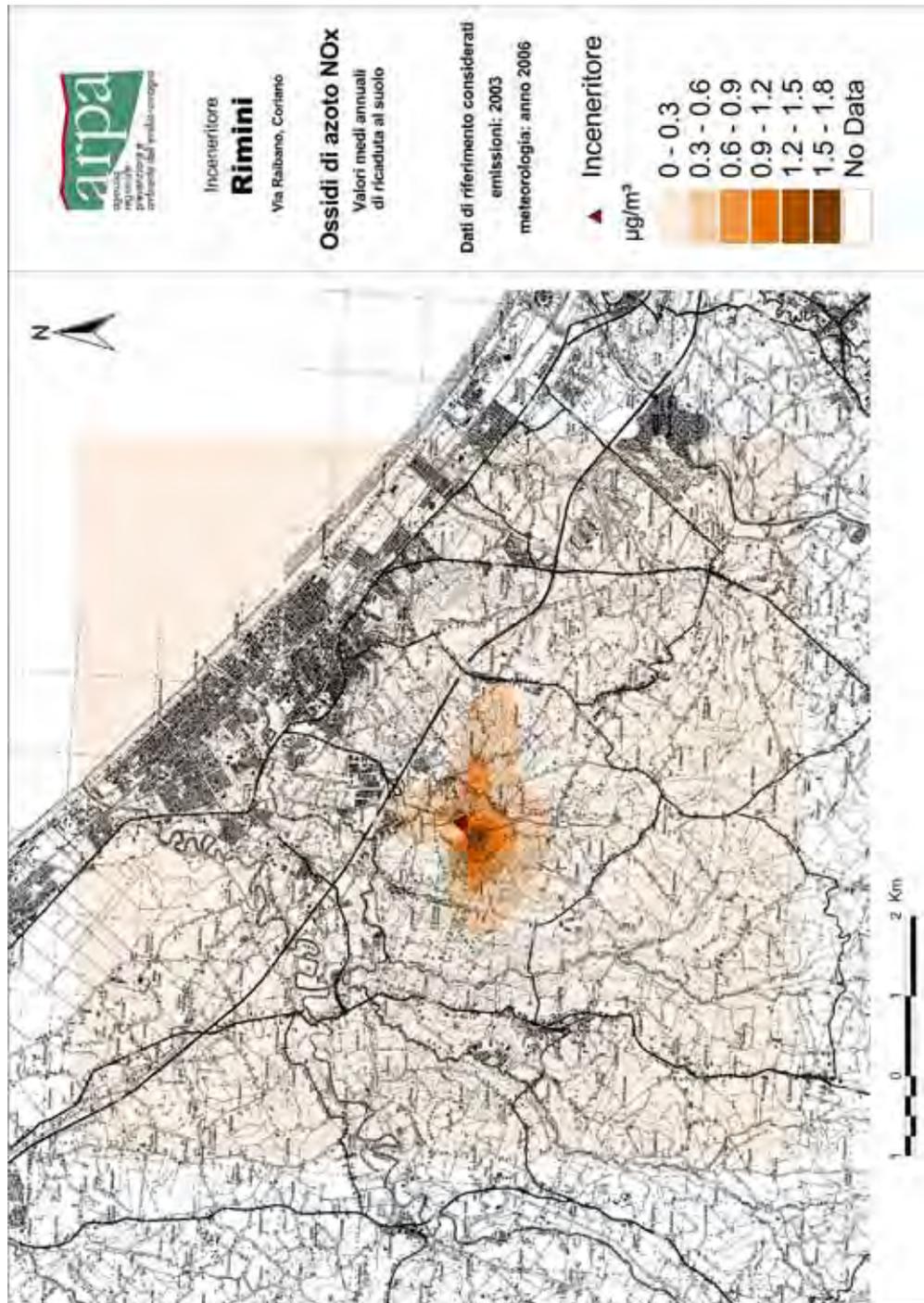
**Ossidi di azoto NOx**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2002  
meteorologia: anno 2006

▲ Inceneritore

µg/m<sup>3</sup>







Inceneritore  
**Rimini**

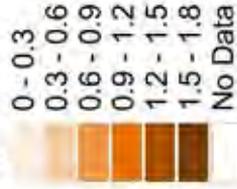
Via Raibano, Coriano

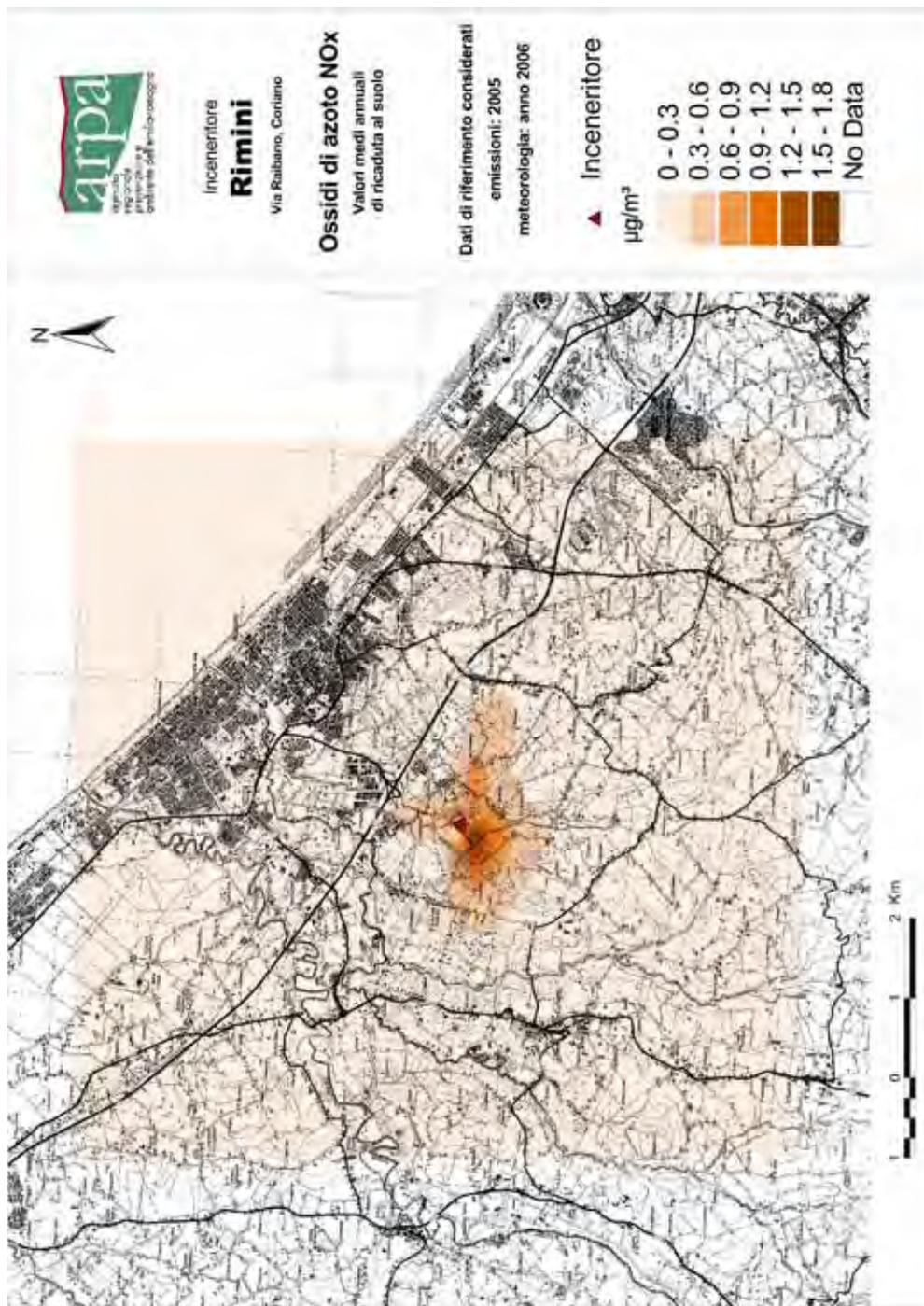
**Ossidi di azoto NOx**  
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2004  
meteorologia: anno 2006

▲ Inceneritore

µg/m<sup>3</sup>







Inceneritore  
**Rimini**

Via Raibano, Coriano

### Ossidi di azoto NOx

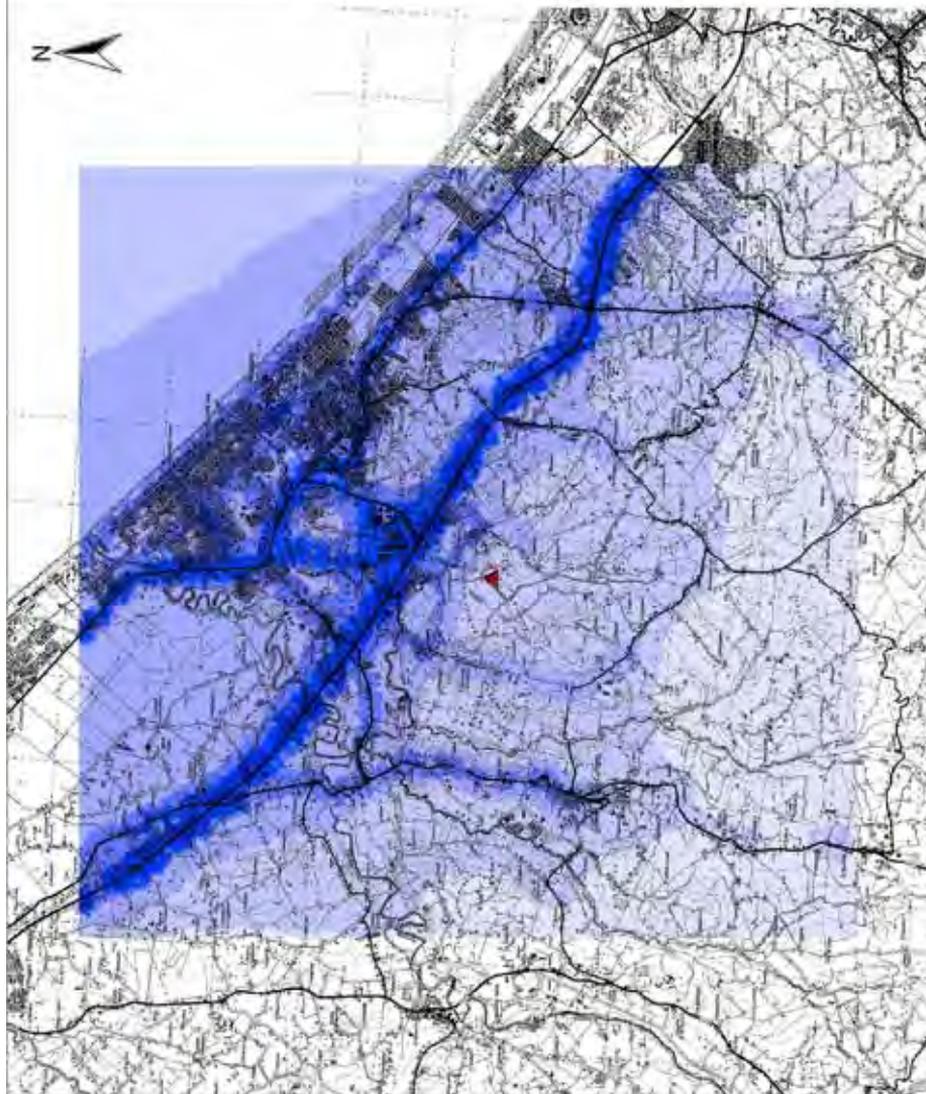
Valori medi annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: 2006  
meteorologia: anno 2006

▲ Inceneritore

µg/m³

- 0 - 0.3
- 0.3 - 0.6
- 0.6 - 0.9
- 0.9 - 1.2
- 1.2 - 1.5
- 1.5 - 1.8
- No Data



Tutte le sorgenti  
nel dominio per

### Rimini

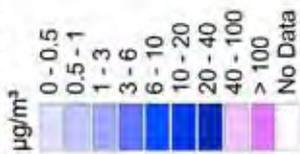
(escluso fondo ambientale)

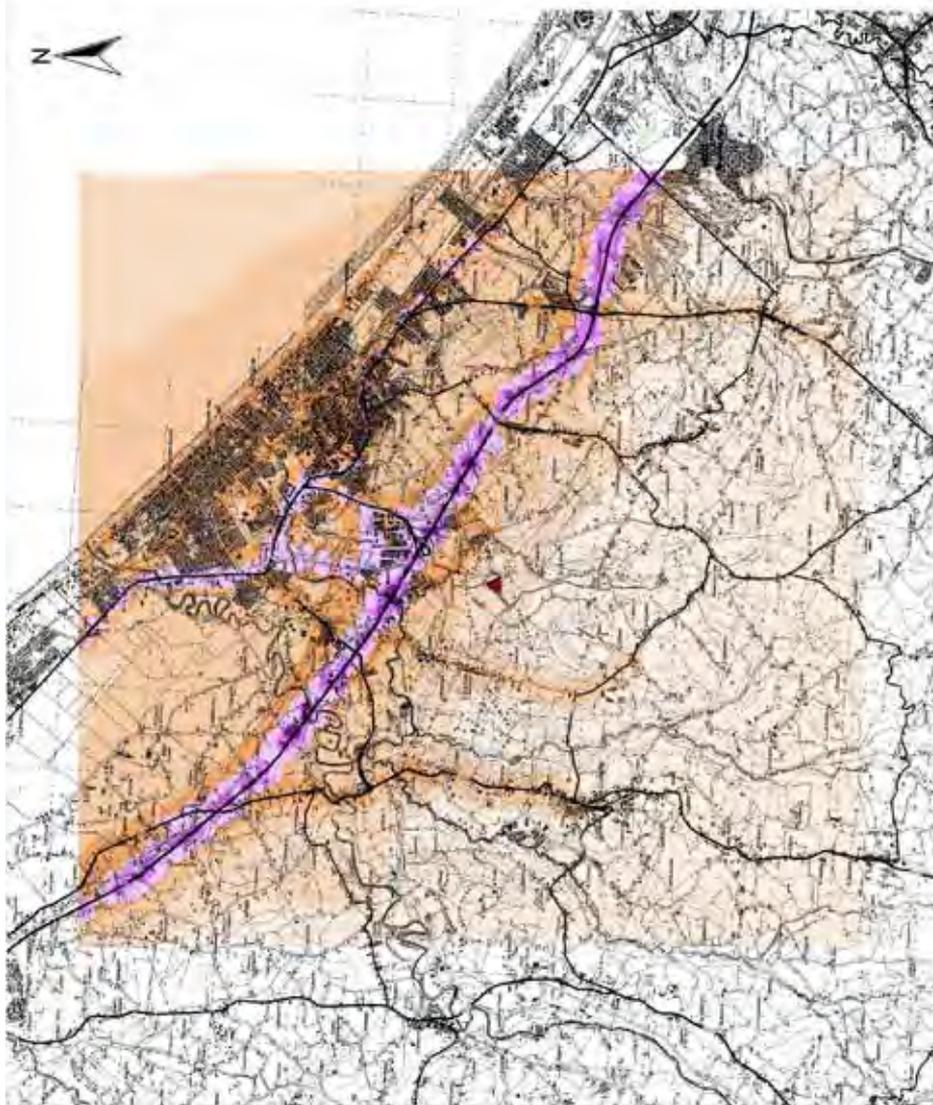
### Particolato PM10

Concentrazioni medie annuali  
di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: scenario attuale  
meteorologia: anno 2006

▲ Inceneritore





Tutte le sorgenti nel dominio per

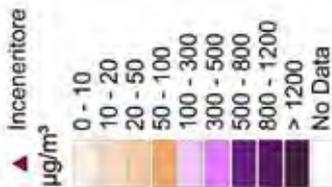
### Rimini

(escluso fondo ambientale)

### Ossidi di azoto NOx

Concentrazioni medie annuali di ricaduta al suolo

Dati di riferimento considerati  
emissioni: scenario attuale  
meteorologia: anno 2006





# Sviluppo di sistemi modellistici avanzati per la valutazione di situazioni complesse

Linea progettuale 2 azione 4

**Responsabile:** Marco Deserti, Arpa Emilia-Romagna





# Implementazione e applicazione del sistema modellistico Lapmod

**Autori:** Giovanni Bonafè, Marco Deserti,  
Enrico Minguzzi, Mauro Rossi

## 1. Introduzione

Obiettivo dell'azione era la messa a punto di uno strumento modellistico per lo studio delle ricadute di inquinanti primari in prossimità di una sorgente emissiva, anche in condizioni orograficamente e meteorologicamente complesse. Il modello deve quindi essere non stazionario, deve gestire inquinanti gassosi e aerosol, condizioni di calma di vento, domini a orografia complessa. Focus del modello è vicino alla sorgente emissiva, entro un raggio compreso tra le centinaia di metri e le decine di chilometri. Il sistema modellistico deve includere un modulo meteorologico e deve essere friubile da operatori Arpa delle Sezioni Provinciali.

Il modello deve permettere, alla fine di ciascuna campagna di misura Monitor, di dare supporto all'interpretazione dei dati ottenuti dal monitoraggio.

L'azione si articola nelle seguenti attività: rassegna dei modelli esistenti e selezione del modello; acquisizione e sviluppo del modello; sviluppo dell'interfaccia meteo; applicazione all'inceneritore selezionato, a supporto dell'interpretazione dei dati misurati; formazione degli operatori Arpa per l'applicazione del modello; supporto agli utenti (documentazione, forum, ecc), anche a supporto della scrittura delle Linee Guida.



## 2. Requisiti del sistema modellistico

Per il sistema modellistico avanzato da implementare si sono individuati i seguenti requisiti primari: focus all'area di ricaduta in prossimità della sorgente emissiva, entro un raggio compreso tra le centinaia di metri e le decine di chilometri; capacità di simulare accuratamente le ricadute in condizioni meteo non stazionarie e con calme di vento; disponibilità di una versione di test.

La necessità di dotarsi di un modello non stazionario che gestisca domini a orografia complessa e condizioni di calma di vento porta ad orientarsi verso modelli di dispersione di inquinanti di tipo lagrangiano a particelle o a *puff*.

## 3. Rassegna dei modelli e selezione del modello

Prendendo come riferimento la rassegna di modelli resa disponibile dal progetto COST 728 e alcune indicazioni avute da tecnici e ricercatori, si è stilata una lista di modelli lagrangiani. Di ciascuno dei modelli è stata valutata l'adeguatezza per i nostri scopi, cioè innanzitutto il rispetto dei tre requisiti primari.

Questi gli esiti di tale valutazione: FLEXPART, LPDM, SILAM e HYSPLIT sono adatti per applicazioni a grande scala/mesoscala, ma non a scala locale/urbana; SPRAY è un lagrangiano, utilizzato anche in Italia per applicazioni su terreno complesso, p.es. valutazione dell'impatto di un impianto di incenerimento; LODI è un lagrangiano sviluppato dal LLNL statunitense, per motivi di sicurezza nazionale le procedure per il rilascio di una versione di prova potrebbero essere complesse; PLPM è un lagrangiano che consente di fare valutazioni a risoluzioni soddisfacenti, ma richiede tempi di calcolo piuttosto lunghi; CALPUFF è un modello a puff non stazionario, che si interfaccia con il pre-processore meteo CALMET; GILTT è una soluzione analitica all'equazione di dispersione di inquinanti in atmosfera, sviluppata dal Prof. Tirabassi del CNR; l'algoritmo non è ancora implementato in un prodotto maturo; LAPMOD è un lagrangiano, adatto per applicazioni a scala locale su terreni complessi; si interfaccia con il pre-processore meteo CALMET.

Dunque i modelli SPRAY, CALPUFF e LAPMOD superano la prima selezione. Nessuno dei tre modelli soddisfa di per se stesso tutti i requisiti richiesti, si impone perciò uno sforzo di implementazione ed adattamento. Tale constatazione esclude dalla competizione CALPUFF, che è fornito gratuitamente ma senza implementazioni *ad hoc*.

Arpa Emilia-Romagna - Servizio IdroMeteoClima (Arpa-SIMC) ha indetto un'indagine di mercato per l'implementazione della catena modellistica, invitando dunque i due possibili concorrenti ARIANET e ENVIROWARE, sviluppatori e distributori rispettivamente di SPRAY e LAPMOD, a presentare un'offerta. All'invito ha risposto solamente ENVIROWARE, con una proposta che è risultata conforme alle richieste, ed è quindi stata approvata.

#### 4. Implementazione del sistema modellistico selezionato

Il sistema si compone di sei elementi: il *dataset* LAMA; il modulo CACHI; il modulo per le emissioni LAPEMI; il modello LAPMOD; il modulo di post-processing LAPOST; l'interfaccia web AQWEB. Vediamoli nel dettaglio.

##### ***Il modello lagrangiano Lapmod***

LAPMOD è un modello Lagrangiano a particelle, tridimensionale e non stazionario, adatto a simulare la dispersione in atmosfera di sostanze inerti o radioattive, emesse sia in fase gassosa sia in forma di aerosol. Le particelle utilizzate per il calcolo sono spostate nell'atmosfera per effetto del vento e della turbolenza atmosferica. Ciascuna particella trasporta una frazione della massa d'inquinante emessa.

All'interno dello strato di rimescolamento, la traiettoria di ciascuna particella è data dalla successione di diversi spostamenti che dipendono dalle condizioni meteorologiche locali. Lo spostamento nell'intervallo di tempo dipende dal vento medio locale e da una componente casuale la cui evoluzione è descritta dall'equazione di Langevin. Sopra lo strato di rimescolamento, le fluttuazioni di velocità delle particelle seguono per le tre componenti l'equazione di Langevin per condizioni omogenee. Una particella all'interno dello strato superficiale può perdere una parte della sua massa a causa della deposizione secca o umida.



La concentrazione in corrispondenza dei recettori è calcolata come la somma dei contributi di tutte le particelle presenti all'interno del dominio delle simulazione.

LAPMOD è un'evoluzione dei modelli lagrangiani a particelle PDM (Bianconi et al., 1999) e PLPM (Ferrario et al., 2002), ed è utilizzato da JRC-UE e ISPRA per la gestione delle emergenze nucleari. Il modello è stato validato con i dataset sperimentali Kincaid, Indianapolis e Praire Grass.

### ***Il dataset meteo Lama***

Un modello meteorologico è uno strumento che, partendo dallo stato dell'atmosfera in un certo istante, ne descrive l'evoluzione risolvendo numericamente le equazioni fluidodinamiche. In pratica, l'atmosfera o una sua porzione viene suddivisa con una griglia tridimensionale: per ciascuna cella viene stimato il valore medio dei principali parametri atmosferici (temperatura, pressione, vento, umidità e altri) all'istante iniziale, e il modello simula numericamente l'evoluzione di questi parametri.

Uno strumento di questo tipo può essere usato sia per produrre previsioni, sia per ricostruire lo stato dell'atmosfera nel passato. In questo caso, il modello può tenere conto delle osservazioni disponibili, e sono state sviluppate tecniche specifiche (assimilazione dati) per mantenere piccole le discrepanze tra i valori osservati e quelli simulati. Il dataset LAMA (Limited Area Meteorological Analysis) è stato prodotto con una tecnica di questo tipo, sfruttando le simulazioni operative del modello meteorologico COSMO e le osservazioni della rete meteorologica internazionale.

COSMO è un modello meteorologico ad area limitata non idrostatico, sviluppato dai servizi meteorologici di Germania, Svizzera, Italia, Grecia e Polonia. E' il modello di riferimento italiano per le previsioni del tempo a breve termine.

Il dominio delle simulazioni operative dell'implementazione italiana di COSMO copre un'area di circa 2000x2000 km<sup>2</sup>, con una risoluzione orizzontale di circa 7km e 40 livelli verticali. Oltre a descrivere esplicitamente i meccanismi di trasporto e termodinamici a grande scala, COSMO contiene schemi di parametrizzazione per tenere conto dei fenomeni che avvengono all'interno

delle singole celle: formazione delle nubi e della precipitazione, convezione a piccola scala, radiazione, diffusione turbolenta, strato atmosferico superficiale, suolo, interazione suolo-atmosfera.

### ***Il modulo meteo CACHI***

CACHI (Cosmo Analysis Calmet-High-resolution-Integrated) è un'implementazione ad alta risoluzione (0.1-1km) *on-demand* di CALMET, che elabora i dati LAMA effettuando un *downscaling* su domini locali (5-20km), per ricostruire l'input meteo necessario a Lapmod, cioè campi tridimensionali di vento e temperatura e campi bidimensionali dei parametri della turbolenza. Opzionalmente, Cachi parametrizza alcuni effetti locali propri dei terreni a orografia complessa: *slope effect*, *kinematic effect*, *blocking effect*, minimizzazione della divergenza.

### ***Il modulo di pre-elaborazione delle emissioni Lapemi***

Il modulo di pre-elaborazione delle emissioni Lapemi consente all'utente di generare l'input emissivo orario necessario per Lapmod, a partire da informazioni sulle modulazioni emissive giornaliere, settimanali e annuali.

### ***Il modulo di post-elaborazione Lapost***

Il modulo di post-elaborazione Lapost consente all'utente di elaborare i dati in uscita dalle simulazioni Lapmod, per calcolare sulla griglia regolare di output alcuni indici statistici quali massimi, medie, percentili su base oraria, giornaliera o annuale.

### ***L'interfaccia web AQWeb***

L'intera catena modellistica è controllabile da remoto, tramite il *web service* AQWeb. Gli utenti accedono con un proprio utente e password personale. AQWeb consente di controllare l'intera catena modellistica da remoto. Inoltre l'interfaccia web include un semplice GIS, che permette all'utente di visualizzare i risultati su mappa e di esportarli in formati compatibili con i più diffusi GIS. Ad oggi ci sono 31 utenti registrati su AQWeb.



## 5. Formazione e supporto agli utenti

Il 19 marzo 2009 si è tenuta a Bologna una giornata di formazione per i potenziali utenti del sistema modellistico lagrangiano AQWeb-Lapmod, 21 tecnici di Arpa Emilia Romagna. Ai partecipanti sono state distribuite alcune dispense di supporto. Le lezioni hanno fornito ai partecipanti le nozioni fondamentali per: comprendere i presupposti teorici alla base del modello Lapmod; capire l'architettura della catena modellistica e i metodi applicati per costruire l'input meteo; utilizzare l'interfaccia web, dalla configurazione della simulazione fino alla visualizzazione, elaborazione ed esportazione dei risultati. A fine corso i partecipanti hanno compilato un modulo di gradimento, esprimendo in generale soddisfazione, ma anche la necessità di svolgere qualche esercitazione pratica. Purtroppo il tempo limitato non ha consentito di soddisfare quest'esigenza.

Oltre alla formazione iniziale, agli utenti del sistema modellistico AQWeb-Lapmod viene fornito da Arpa-SIMC supporto telefonico e attraverso posta elettronica. Inoltre è attivo un forum on-line dedicato, che dà la possibilità di consultare gli sviluppatori di Enviroware e gli amministratori del sistema di Arpa-SIMC, e consente lo scambio di esperienze e consigli tra utenti.

## 6. Applicazione al caso dell'inceneritore di Granarolo (Bologna)

### *Configurazione delle simulazioni*

Il modello lagrangiano Lapmod è stato applicato anche alla simulazione delle ricadute dell'impianto di incenerimento di Granarolo (Bologna), per i due periodi di campagne di misura, estiva ed invernale. In entrambi i casi si sono simulate le specie chimiche gassose NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, utilizzando in ingresso il dato emissivo semiorario fornito dalle misure in continuo al camino. Anche temperatura e velocità di uscita dei fumi sono dati misurati forniti a passo semiorario.

L'input meteo tridimensionale è prodotto dal modulo Cachi, su un dominio di 25km di lato, includente i punti di campionamento. Trattandosi di un dominio prevalentemente pianeggiante, in Cachi non sono state attivate le parametrizzazioni degli effetti locali propri dei terreni a orografia complessa.

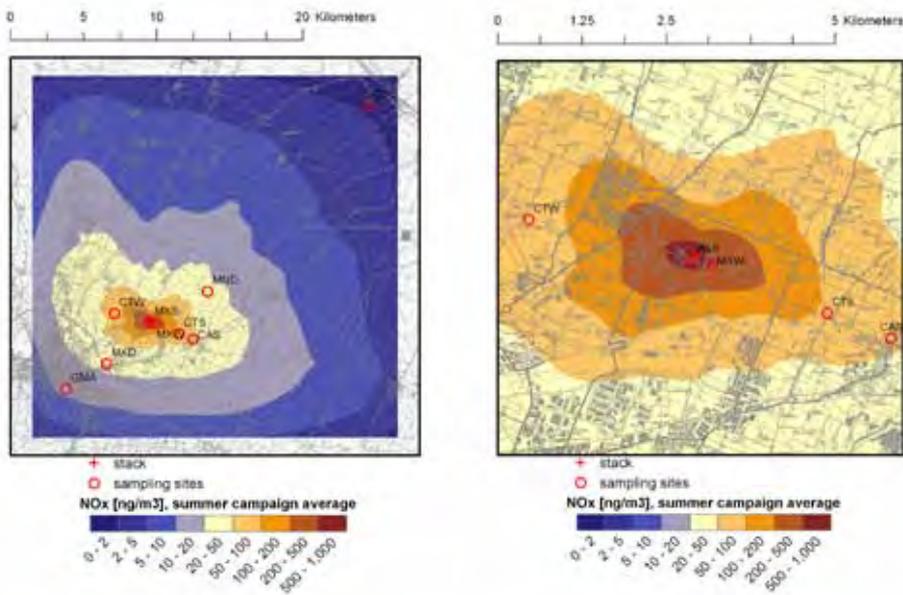
Le simulazioni Lapmod estiva e invernale sono state impostate con le medesime configurazioni: i due camini sono trattati come emissioni puntuali "buoyant", nel senso che alle emissioni è applicato lo schema parametrico di Webster e Thomson per calcolare la *plume rise*; è applicato lo schema di Rezacova e Sokol (2000) per il calcolo dell'*entrainment*.

Si sottolinea che in tali simulazioni sono considerate solo le emissioni uscenti dai due camini delle caldaie di combustione dell'inceneritore. Non sono incluse né le emissioni estranee all'impianto di incenerimento stesso, né le altre emissioni ascrivibili all'attività dell'impianto (trasporto e stoccaggio dei rifiuti, ecc.), né le concentrazioni di fondo dovute ad emissioni esterne al dominio di calcolo. Inoltre non sono considerate trasformazioni chimiche.

### *Simulazione estiva*

Le isolinee di concentrazione media hanno una forma leggermente allungata secondo le direzioni prevalenti del venti, cioè parallelo all'asse appenninico. Tuttavia vi sono anche ricadute associabili a venti provenienti dalla pianura a nord e dalla collina a sud. La zona di massima ricaduta include l'impianto stesso. Ciò suggerisce che le concentrazioni più elevate al suolo corrispondano a condizioni atmosferiche di vivace rimescolamento verticale e venti deboli, o calma di vento.

**Fig 1.** Concentrazione medie di NOx calcolate per il periodo della campagna estiva. A sinistra, l'intero dominio di integrazione; a destra, in dettaglio l'area di massima ricaduta prossima all'impianto.



L'andamento orario delle concentrazioni mostra una marcata modulazione giorno/notte, specie nei siti più prossimi all'impianto. Il modello simula concentrazioni nettamente più alte nelle ore centrali della giornata, quando la forte insolazione determina le condizioni di spiccata convezione termica cui si accennava poc'anzi.

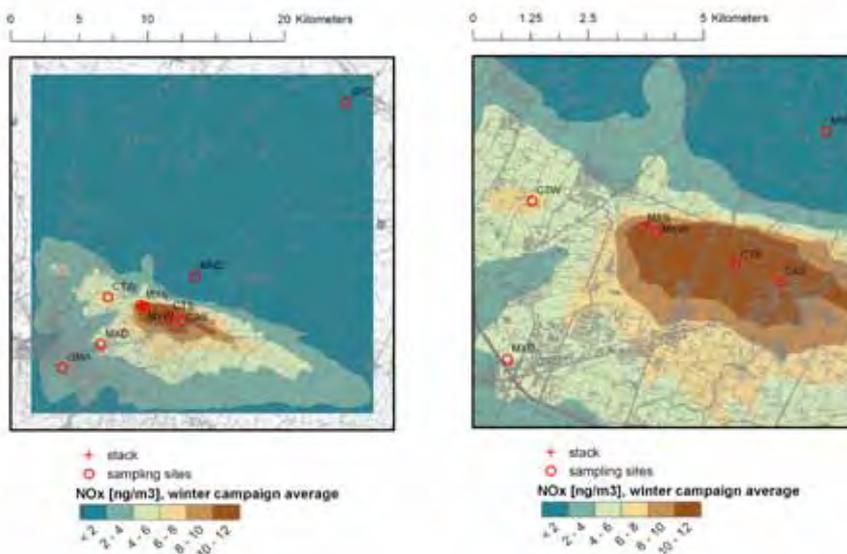
Le differenze tra inquinanti nella forma delle isolinee e degli andamenti orari sono determinate dalle differenze nell'andamento temporale delle emissioni. In particolare, gli ossidi di zolfo mostrano una marcata discontinuità emissiva, che ha un evidente riscontro nell'episodicità delle ricadute al suolo nei punti recettori.

### Simulazione invernale

Come in estate, anche in inverno le isolinee di concentrazione assumono una forma oblunga parallela all'asse appenninico. In questo caso prevalgono però le ricadute associate ai venti provenienti dai quadranti occidentali, rispetto alle ricadute associate ai venti orientali. L'area di massima ricaduta include l'impianto stesso, ma stavolta si allunga fino a lambire l'insediamento

urbano di Castenaso. Si nota la quasi totale assenza di ricadute nella pianura a nord e nord-est dell'impianto, associabili a venti provenienti dalla collina.

**Fig 2.** Concentrazione medie di NOx calcolate per il periodo della campagna invernale. A sinistra, l'intero dominio di integrazione; a destra, in dettaglio l'area di massima ricaduta crossima all'impianto.



Le condizioni meteo che determinano le massime ricadute al suolo sono caratterizzate da un vivace rimescolamento verticale. Poiché tali condizioni sono meno frequenti nella stagione invernale, non stupisce che le concentrazioni medie invernali siano nettamente più basse rispetto a quelle simulate per la campagna estiva.

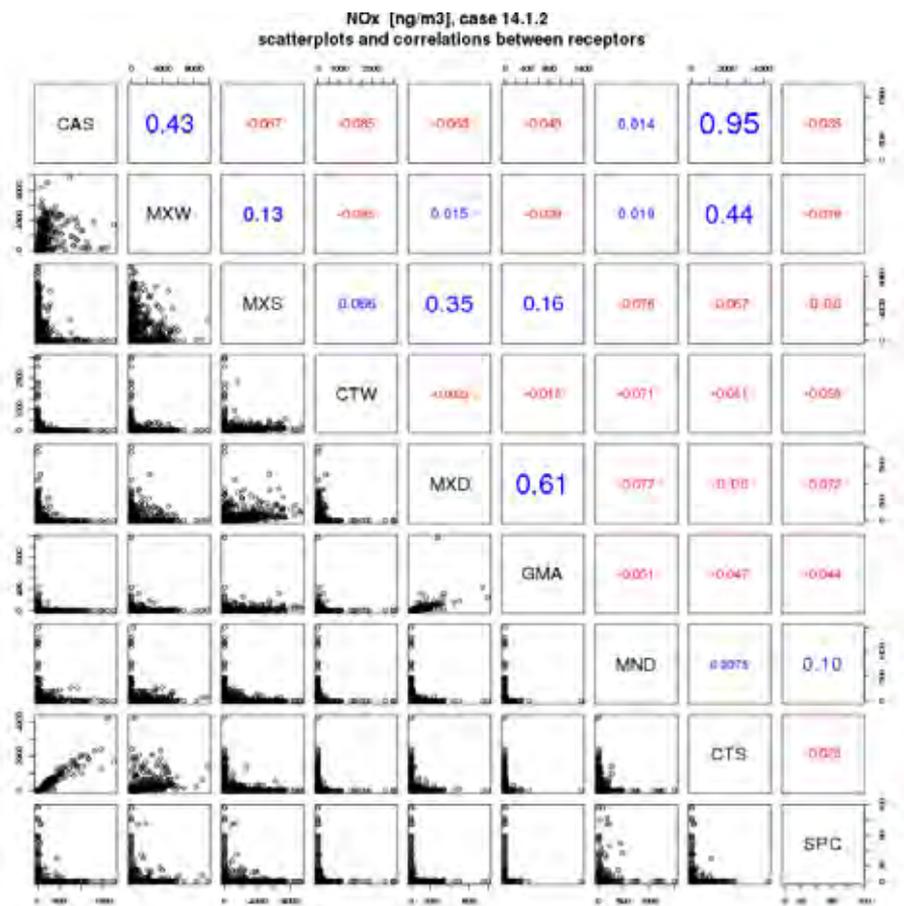
### *Correlazioni tra recettori*

Le simulazioni Lapmod consentono di verificare la bontà della scelta dei siti di campionamento, almeno per quanto riguarda i criteri di selezione basati sulle ricadute dell'inceneritore. I siti di campionamento MXW e MXS (rispettivamente, massimo invernale "supersito Frullo est" e massimo estivo) erano stati selezionati perché si riteneva probabile che fossero inclusi, rispettivamente, nell'area di massima ricaduta invernale ed estiva. Nelle mappe si vede che effettivamente MXW ricade nell'area di massima ricaduta invernale, e che MXS ricade nell'area di massima ricaduta estiva.





**Fig 3.** Campagna estiva: matrice delle correlazioni tra recettori, calcolate rispetto agli andamenti orari simulati di NOx. Nella diagonale i codici identificativi dei recettori; sotto, gli scatter-plot delle coppie di recettori; sopra, i rispettivi indici di correlazione di Pearson (in rosso se negativi, in blu se positivi e con dimensioni dei caratteri proporzionali all'indice stesso).



I siti di campionamento CTW e CTS (controllo invernale “Calamosco” e controllo estivo) erano stati selezionati come siti di controllo, rispettivamente invernale ed estivo. Ciò significa che si riteneva improbabile che ricadute dei fumi provenienti dall’impianto di incenerimento interessassero simultaneamente i recettori MXW e CTW, o i recettori MXS e CTS. Effettivamente le correlazioni tra MXW e CTW e tra MXS e CTS sono risultate praticamente nulle. Tali considerazioni confermano la bontà della scelta di quei quattro siti di campionamento.

Allargando lo sguardo agli altri siti, si nota che in estate MXW, CAS (“Castenaso”) e CTS sono spesso interessati simultaneamente dalle ricadute dell’impianto (correlazioni superiori a 0.4), pur trovandosi a qualche chilometro di distanza l’uno dall’altro. Analoga considerazione vale per i siti MXD (massimo del dominio “Pianeta”) e GMA (“Giardini Margherita”), in area urbana.

In inverno le correlazioni tra siti sono generalmente più basse, probabilmente perché il pennacchio si allarga di meno (c’è meno turbolenza) ed è quindi meno probabile che interessi simultaneamente siti posti a qualche chilometro l’uno dall’altro. Invece risultano fortemente correlati i due siti più prossimi al camino (MXS e MXW), distanti tra loro poche centinaia di metri e probabilmente interessati simultaneamente da episodi di ricadute del pennacchio corrispondenti a calme di vento.

## 7. Conclusioni

L’obiettivo dell’azione era mettere a punto uno strumento modellistico per lo studio delle ricadute di inquinanti primari in prossimità di una sorgente emissiva, anche in condizioni orograficamente e meteorologicamente complesse.

In seguito a una rassegna dei modelli esistenti, alla selezione dei più adatti tra questi, e ad un’indagine di mercato, è stato selezionato il modello lagrangiano Lapmod di Enviroware. E’ stata poi implementata una catena modellistica includente, oltre a Lapmod, il modulo meteo Cachi, il pre-processore delle emissioni Lapemi, il post-processore Lapost. Il sistema è installato presso Arpa-SIMC, ed è accessibile agli utenti Arpa attraverso l’interfaccia web ad accesso protetto AQWeb.

In una giornata di corso 21 tecnici Arpa sono stati addestrati all’uso del sistema modellistico AQWeb-Lapmod. Ad essi è fornito supporto tramite opportuna documentazione e attraverso un forum gestito da Arpa-SIMC.

Dunque, l’obiettivo dell’azione è stato raggiunto.

Il modello lagrangiano è stato applicato alle campagne di misura Monitor, per simulare le ricadute dell’inceneritore del Frullo. I risultati confermano

che gli impatti più marcati sono in prossimità dell'impianto, nella stagione estiva, nelle ore centrali della giornata. L'analisi delle correlazioni tra gli andamenti simulati nei diversi punti di campionamento conferma la bontà della scelta dei siti.

# Bibliografia

- Baldauf, M. and J.-P. Schulz, 2004, "Prognostic Precipitation in the Lokal Modell (LM) of DWD", COSMO Newsletter, Deutscher Wetterdienst. No. 4, 177-180.
- Bianconi R., Mosca S. and Graziani G., 1999, *PDM: A Lagrangian particle model for atmospheric dispersion*. European Commission, EUR 17721 EN, 63pp.
- Bowen, B.M., J.M. Dewart, and A.I. Chen, 1983, "Stability Class Determination: A Comparison for one site", Proceedings 6th Symposium on Turbulence and Diffusion, AMS, Boston, MA, 211-214.
- Carvalho J.C., Degrazia G.A., Anfossi D., Trini Castelli S., 1999, "Simulation of Copenhagen tracer diffusion experiment by means of a Lagrangian particle model", Hybrid Methods in Engineering, Vol. 1, n. 4, 309-327.
- Cheinet, S., 2002, "The parameterization of clear and cloudy convective boundary layers", Ph.D. Thesis, Ecole Polytechnique, Paris, France.
- Draxler, R.R. and Rolph, G.D., 2003, HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
- Fay B., Glaab H., Jacobsen I., and Klein, 2004, "Air Pollution Forecasts of the German Weather Service for IMIS", Kerntechnik 69, No. 5-6, 209-213.
- Galmarini S. et al., 2004, "Ensemble Dispersion Forecasting - Part I: Concept Approach and Indicators. Part II: Application and Evaluation", Atmospheric Environment 38, 4607-4632.
- Glaab H., Fay B., and Jacobsen I., 1998, "Evaluation of the Emergency Dispersion Model at the Deutscher Wetterdienst using ETEX Data", Atmospheric Environment 32, 4359-4366.
- Jongen, S., Bonafè, G., 2006, "LAMI verification for air quality forecast and assessment purposes", Report interno Arpa-SIM. Disponibile su: [www.arpa.emr.it/cms3/documenti/\\_cerca\\_doc/meteo/ambiente/report\\_lm\\_verif\\_fv.pdf](http://www.arpa.emr.it/cms3/documenti/_cerca_doc/meteo/ambiente/report_lm_verif_fv.pdf)
- Louis, J., 1979 'A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere'. Boundary-Layer Meteorology, 187-202.
- Louis, J., Tiedke, M., Geleyn, J., 1982, "A short history of the pbl parametrization at ECMWF", ECMWF Workshop on Planetary Boundary

Layer parametrization, 59–80.

Mellor, G., Yamada, T., 1974, “A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers”, *Journal of Atmospheric Science*, 31, 1791-1806.

Mesinger, F., Arakawa, A., 1976, “Numerical methods used in atmospheric models”, WMO, GARP publication series, 17.

Modelling for Regulatory Purposes. Disponibile su: [www.harmo.org/Conferences/Proceedings/\\_Crete/publishedSections/p317.pdf](http://www.harmo.org/Conferences/Proceedings/_Crete/publishedSections/p317.pdf)

Pernigotti, D., Sansone, M., Ferrario, M., 2005, “Validation of one-year LAMI model re-analysis on the Po valley, Northern Italy. Comparison to Calmet model output on the sub-area of Veneto region”, *Proceedings of the 10th Int. Conf. on Harmonisation within Atmospheric Dispersion*.

Reuter, 1970, “Die Ausbreitungsbedingungen von Luftverunreinigungen in Abhängigkeit von meteorologischen Parametern”, *Arch. Met. Geog. Biokl. A*, 19: 173-186.

Ritter, B., Geleyn, J.F., 1992, “A Comprehensive Radiation Scheme for Numerical Weather Prediction Models with Potential Applications in Climate Simulations”, *Monthly Weather Review*, 120, 303-325.

Rolph, G.D., 2003, Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY) Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.

RTI CTN\_ACE, 2004, “I modelli per la valutazione e gestione della qualità dell’aria nelle aree urbane ed a scala locale”.

RTI CTN\_ACE 4/2001, 2001, “Linee guida per la selezione e l’applicazione dei modelli di dispersione atmosferica per la valutazione della qualità dell’aria”.

Seinfeld J.H. and Pandis S.N., 1998, *Atmospheric chemistry and physics. From air pollution to climate change*, John Wiley & Sons.

Stappeler, J., Doms, G., Schättler, U., Bitzer, H.W., Gassmann, A., Damrath, U., Gregoric, G., 2003, “Meso-gamma scale forecasts using the nonhydrostatic model LM”, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 82, 75-96.

Tiedtke, M., 1989, “A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large-scale models”, *Monthly Weather Review*, 117, 1779-1799.

Tinarelli G., Anfossi D., Bider M., Ferrero E. and Trini Castelli S, 1999, “A new high performance version of the Lagrangian particle dispersion model

*SPRAY, some case studies*", Air Pollution Modelling and its Application XIII, Gryning S.E. and Batchvarova E. Eds., Plenum Press, New York, 23, 499-506.

Troen, I., Mahrt, L., 1986, "A simple model of the atmospheric boundary layer: Sensitivity to surface evaporation", Boundary-Layer Meteorology, 37, 129-148.

Vitali L., F. Monforti, R. Bellasio, R. Bianconi, V. Sacchero, S. Mosca and G. Zanini, 2006, "Validation of a Lagrangian dispersion model implementing different kernel methods for density reconstruction", Atmospheric Environment, 40, 40, 8020-8033.

Zanini G., R. Bellasio, R. Bianconi, L. Delle Monache, R. Lorenzini, S. Mosca and S. Peverieri, 2000, "Photochemical modelling using lagrangian particle models. a new approach", 23rd NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution and its Application.

Zanini G., R. Bellasio, R. Bianconi, L. Delle Monache, R. Lorenzini, S. Mosca, F. Monforti-Ferrario, S. Peverieri, L. Vitali, 2002, "PLPM (Photochemical Lagrangian Particle Model): Formulation and preliminary Validation", Eight International Conference on Harmonisation within Atmospheric Modelling for Regulatory Purposes, Sofia (Bulgaria), 14-17 October 2002.

# Appendice

## Gruppi di lavoro della Linea progettuale 2 relativamente alle azioni di linea coinvolte nella realizzazione del quadro conoscitivo delle emissioni e delle simulazioni modellistiche

### Organizzazione Linea progettuale 2

Azione	Responsabile	Ente
Az. 1 Linee Guida per la realizzazione della sorveglianza ambientale	Mauro Rossi	Arpa Emilia-Romagna
Az. 2 Realizzazione del quadro conoscitivo delle emissioni in atmosfera relativo alle diverse sorgenti presenti nei territori oggetto di studio	Cristina Regazzi Mauro Rossi	Arpa Emilia-Romagna
Az. 3 Applicazione del modello ADMS – URBAN alle aree della Regione Emilia – Romagna interessate dall’impatto degli inceneritori	Mauro Rossi	Arpa Emilia-Romagna
Az. 4 Sviluppo di sistemi modellistici avanzati per la valutazione di situazioni complesse	Marco Deserti	Arpa Emilia-Romagna
Az. 5 Campionamento di Aerosol per la speciazione ed il conteggio del numero di particelle rispetto alle loro dimensioni	Mauro Rossi	Arpa Emilia-Romagna
Az. 6 Analisi chimico-fisiche relative ai campioni di Aerosol	Mauro Rossi	Arpa Emilia-Romagna
Az. 7 Analisi ed elaborazioni dati e repostistica	Mauro Rossi	Arpa Emilia-Romagna
Az. 8 Micrometeorologia e profili di concentrazione	Franco Prodi	CNR-ISAC
Az. 9 Monitoraggio avanzato relativo al contenuto in metalli pesanti e microelementi nel sistema acqua – suolo – pianta	Gilmo Vianello	DiSTA-CSSAS UniBo



## Azione 2

**Realizzazione del quadro conoscitivo delle emissioni in atmosfera relativo alle diverse sorgenti presenti nei territori oggetto di studio**

Nome e cognome	Servizio di appartenenza	Ruolo ricoperto nell'azione
<b>Cristina Regazzi</b>	<b>Arpa-Direzione tecnica</b>	<b>Responsabile Azione</b>
<b>Mauro Rossi</b>	<b>Arpa-Sezione di Rimini</b>	
Veronica Rumberti	Arpa-Direzione tecnica	Collaboratore
Simonetta Tugnoli	Arpa-Direzione tecnica	Collaboratore
Francesca Frigo	Arpa-Sezione di Piacenza	Collaboratore
Chiara Melegari	Arpa-Sezione di Parma	Collaboratore
Elena Manzini	Arpa-Sezione di Reggio Emilia	Collaboratore
Antonella Sterni	Arpa-Sezione di Modena	Collaboratore
Sabina Bellodi	Arpa-Sezione di Ferrara	Collaboratore
Elisa Pollini	Arpa-Sezione di Ravenna	Collaboratore
Pamela Ugolini	Arpa-Sezione di Ravenna	Collaboratore
Paolo Veronesi	Arpa-Sezione di Forlì-Cesena	Collaboratore

## Azione 3

**Applicazione del modello ADMS-Urban alle aree della regione Emilia-Romagna interessate dall'impatto degli inceneritori**

Nome e cognome	Servizio di appartenenza	Ruolo ricoperto nell'azione
<b>Mauro Rossi</b>	<b>Arpa-Sezione di Rimini</b>	<b>Responsabile Azione</b>
Francesca Frigo	Arpa-Sezione di Piacenza	Collaboratore
Chiara Melegari	Arpa-Sezione di Parma	Collaboratore
Elena Manzini	Arpa-Sezione di Reggio Emilia	Collaboratore
Antonella Sterni	Arpa-Sezione di Modena	Collaboratore
Sabina Bellodi	Arpa-Sezione di Ferrara	Collaboratore
Elisa Pollini	Arpa-Sezione di Ravenna	Collaboratore
Pamela Ugolini	Arpa-Sezione di Ravenna	Collaboratore
Paolo Veronesi	Arpa-Sezione di Forlì-Cesena	Collaboratore

## Azione 4

### Sviluppo di sistemi modellistici avanzati per la valutazione di situazioni complesse

Nome e cognome	Servizio di appartenenza	Ruolo ricoperto nell'azione
<b>Marco Deserti</b>	<b>Arpa-Servizio IdroMeteoClima</b>	<b>Responsabile Azione</b>
Giovanni Bonafè	Arpa-Servizio IdroMeteoClima	Collaboratore
Enrico Minguzzi	Arpa-Servizio IdroMeteoClima	Collaboratore
Michele Stortini	Arpa-Servizio IdroMeteoClima	Collaboratore
Linda Passoni	Arpa-Sezione di Bologna	Collaboratore
Mauro Rossi	Arpa-Sezione di Rimini	Collaboratore

# Responsabili delle azioni

**Mauro Rossi**, Chimico, dottore di Ricerca, specializzato in Metodologie chimiche di controllo e di analisi, è in Arpa Emilia-Romagna dal 2002 e ricopre il ruolo di Tecnico professionale esperto presso la Sezione provinciale di Rimini. Precedentemente si è occupato del Quadro conoscitivo della qualità dell'aria della provincia di Rimini e di altri progetti provinciali sulla qualità dell'aria nel gruppo Monitoraggio e valutazione aria e agenti fisici della Sezione. Nell'ambito del progetto Monitor ha ricoperto il ruolo di Responsabile della Linea progettuale 2, coordinando i gruppi di lavoro afferenti a tale linea.

**Cristina Regazzi**, laurea in Chimica industriale presso l'Università di Bologna nel 1988. Dal 1988 al 1995, dipendente di Idroser Spa e poi di Idroser Agenzia, ha collaborato all'elaborazione di numerosi studi ambientali (VIA di grandi opere, Piani di risanamento di aree ad elevato rischio di crisi ambientale) ed è stata responsabile di progetti nel campo della pianificazione ambientale nei settori inquinamento atmosferico ed acustico. Dal maggio 1996 in Arpa Emilia-Romagna, ha svolto prevalentemente attività su progetto all'interno della Struttura tematica di Ingegneria ambientale in qualità di responsabile dell'Area progetti complessi Aria Rumore approfondendo in particolare le tematiche inerenti i fattori di pressione sull'atmosfera e la loro evoluzione nel tempo (inventario regionale emissioni in atmosfera e scenari emissivi) partecipando ad attività di coordinamento interregionale e nazionale. Dal 2009 è responsabile del Distretto urbano presso il Servizio territoriale della Sezione provinciale Arpa di Bologna.

**Marco Deserti**, laurea in Fisica presso l'Università di Bologna nel 1985. Dal 1987 al 1989 ha svolto attività di ricerca come borsista presso l'istituto FISBAT-CNR. Dal 1988-1989 Insegnante di Meteorologia Aeronautica presso Istituto Tecnico Aeronautico F. Baracca di Forlì. Dal 1989 Fisico collaboratore, presso il Presidio Multizonale di Prevenzione, dell'USL 38 di Forlì, dove si è occupato di attività di controllo e gestione dell'inquinamento atmosferico, del rumore e delle radiazioni. Dal 1995 responsabile Sistema Informativo e responsabile dell'Area Analitica Qualità dell'Aria della sezione provinciale Arpa di Forlì-Cesena. Dal 1998 al 2012 Dirigente dell'area di Meteorologia ambientale, marina e oceanografica del Servizio IdroMeteoClima di Arpa Emilia-Romagna, dove si è occupato dello sviluppo e gestione di prodotti meteorologici specializzati per la valutazione e gestione della qualità dell'aria e dell'ambiente marino. Dal 2012 responsabile del Centro tematico regionale Qualità dell'aria di Arpa. Il Centro tematico presidia e sviluppa il sistema integrato di valutazione e gestione della qualità dell'aria di Arpa utilizzando gli strumenti della modellistica ambientale, dei catasti delle emissioni, delle reti di misura e del bilancio ambientale.



# Progetto Monitor: monitoraggio degli inceneritori nel territorio dell'Emilia-Romagna

## Organizzazione del progetto

### Comitato di progetto

Il Comitato di progetto ha compiti di coordinamento operativo e obbligo di sottomettere periodicamente i risultati al Comitato scientifico. Ciascun referente di linea progettuale è responsabile della progettazione e conduzione dello studio. Qualora agisse in modo difforme da quanto proposto dal Comitato scientifico lo farà in maniera motivata e anche queste considerazioni saranno rese pubbliche. Il Comitato di progetto è responsabile della relazione finale del progetto.

### Composizione del Comitato di progetto

Il Comitato di progetto, coordinato da Vanes Poluzzi per Arpa Emilia-Romagna e da Alba Carola Finarelli per il Servizio regionale di Sanità pubblica, è composto da: Pierluigi Macini, Responsabile del Servizio regionale di Sanità pubblica; Eugenio Lanzi, Responsabile del Servizio regionale Risanamento atmosferico, acustico, elettromagnetico; Stefano Tibaldi, Direttore generale Arpa; Vito Belladonna, Direttore tecnico Arpa e dai responsabili delle singole linee progettuali.

**Linea progettuale n. 1** - Caratterizzazione delle emissioni degli inceneritori in esercizio nelle aree di indagine. Responsabile: Valeria Biancolini, Arpa Emilia-Romagna

**Linea progettuale n. 2** - Organizzazione e realizzazione della sorveglianza ambientale nelle aree di indagine. Responsabile: Mauro Rossi, Arpa Emilia-Romagna

**Linea progettuale n. 3** - Valutazione dell'esposizione umana e implementazione sistema informativo integrato. Responsabile: Paolo Lauriola, Arpa Emilia-Romagna, Paola Angelini, Regione Emilia-Romagna

**Linea progettuale n. 4** - Valutazione degli effetti sulla salute nella popolazione oggetto di indagine. Responsabile: Silvia Candela, Asl Reggio Emilia

**Linea Progettuale n. 5** - Valutazione degli effetti tossicologici dell'aria prelevata in prossimità degli impianti di incenerimento. Responsabile: Annamaria Colacci, Arpa Emilia-Romagna

**Linea progettuale n. 6** - Definizione di un protocollo per la valutazione di impatto sanitario. Responsabile: Marinella Natali, Regione Emilia-Romagna

**Linea progettuale n. 7** - Comunicazione: sviluppo di un sistema per la comunicazione e gestione dei rischi e conflitti ambientali. Responsabile: Paolo Tamburini, Regione Emilia-Romagna.

### **Comitato scientifico**

Il Comitato scientifico è garante nei confronti dei cittadini e del committente (Regione Emilia-Romagna) con compiti di valutazione indipendente della metodologia impiegata e delle tappe di realizzazione del progetto. Il Comitato scientifico esprime periodiche valutazioni sull'andamento del progetto e tali pareri sono resi pubblici. Il Comitato scientifico opera a titolo gratuito e i suoi componenti dichiarano formalmente l'assenza di ogni conflitto di interesse nei confronti dei committenti e dell'oggetto dell'attività.

### **Composizione del Comitato scientifico:**

Benedetto Terracini, direttore della rivista Epidemiologia & prevenzione (Coordinatore);

Pietro Comba, Dirigente di ricerca presso l'Istituto Superiore di Sanità;

Pier Franco Conte, Direttore Dipartimento di oncologia AOSP Modena;

Antonius Kettrup, Prof. , Inst. Of Ecological Chemistry, University of Munich (Germany);

Marco Martuzzi, OMS (Roma);

Giancarlo Pizza, Federazione regionale degli Ordini dei Medici Chirurghi e Odontoiatri dell' Emilia-Romagna;

Ferruccio Trifirò, Preside della Facoltà di Chimica Industriale Università di Bologna;

Francesco Violante, Professore I fascia Medicina del Lavoro Università di Bologna -

Direttore U.O Medicina del Lavoro Policlinico S.Orsola-Malpighi;

Mario Cirillo, Dirigente Servizio Valutazioni ambientali di Ispra.

## Emissioni degli inceneritori e modelli di ricaduta

Questo Quaderno di Monitor raccoglie gli esiti delle azioni del progetto in merito alla realizzazione del quadro conoscitivo delle emissioni in atmosfera relativo alle diverse sorgenti e all'applicazione dei sistemi modellistici per valutare le ricadute delle emissioni nei territori oggetto di studio. I modelli utilizzati sono stati ADMS-Urban e Lapmod. Le simulazioni ADMS-Urban sono state utilizzate come base per il calcolo delle esposizioni dei cittadini.

### Il progetto Monitor

Lo smaltimento dei rifiuti rappresenta una criticità delle società avanzate. La Regione Emilia-Romagna promuove un sistema integrato di gestione dei rifiuti, al fine di favorire la riduzione della produzione e della pericolosità degli stessi nonché il riutilizzo e il riciclaggio, e per incentivare l'impiego di idonee e moderne tecnologie, in modo da assicurare garanzie di elevata protezione dell'ambiente e di tutela della salute dei cittadini. Il progetto Monitor (Organizzazione di un sistema di sorveglianza ambientale e valutazione epidemiologica nelle aree circostanti gli impianti di incenerimento in Emilia-Romagna) è stato promosso dagli Assessorati Politiche per la salute e Ambiente e riqualificazione urbana della Regione Emilia-Romagna, in collaborazione con Arpa. Il progetto ha approfondito le conoscenze scientifiche sulla qualità e quantità delle sostanze emesse dagli impianti di incenerimento dei rifiuti e sul loro impatto sulla qualità dell'aria circostante; ha studiato altresì gli effetti sulla salute con indagini tossicologiche e ne ha stimato in termini epidemiologici la correlazione con l'esposizione a inceneritori.

ISBN 978-88-907370-8-4



[www.monitor.it](http://www.monitor.it)

  
Monitoraggio degli inquinanti nel territorio dell'Emilia Romagna

monitor

quaderni