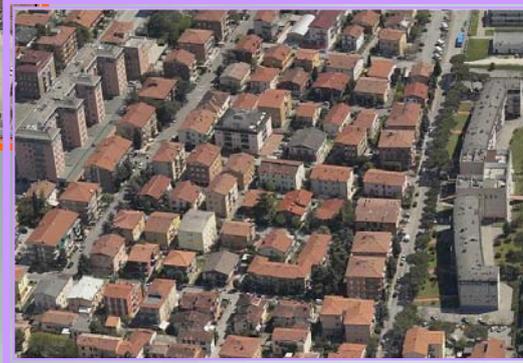


PROGRAMMA DI MONITORAGGIO DELLA QUALITA' DELL'ARIA NEL TERRITORIO COMUNALE



INQUINAMENTO ATMOSFERICO
NELL'AREA URBANA DI RAVENNA:
VALUTAZIONE DEI CONTRIBUTI IMMISSIVI DI
TRAFFICO VEICOLARE, RISCALDAMENTO
DOMESTICO, INDUSTRIA ED ATTIVITA'
PORTUALE

Dott.ssa Patrizia Luciali
Dott.ssa Elisa Pollini
Dott.ssa Pamela Ugolini

Ha collaborato allo studio, in qualità di collaboratrice interna, la dr.ssa *Anna Cavaggion*

Si ringraziano inoltre tutti gli Enti e le Aziende che hanno fornito i dati, in particolare:

Servizio Ambiente ed Aree Verdi – Comune di Ravenna

Servizio Pianificazione Mobilità – Comune di Ravenna

SIT – Comune di Ravenna

Capitaneria di Porto – Ravenna

Autorità Portuale - Ravenna

Hera - Ravenna

Arpa Servizio Idro-Meteo

Ravenna, Novembre 2007

Sommario

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. PREMESSA | 1 |
| 2. INTRODUZIONE METODOLOGICA | 2 |
| 2.1 INQUINANTI CONSIDERATI | 2 |
| 2.2 STIMA DELLE EMISSIONI | 3 |
| 2.3 IL MODELLO DI DISPERSIONE ADMS – URBAN | 4 |
| 2.4 ARTICOLAZIONE OPERATIVA | 5 |
| 2.4.1 Analisi per macrosettore | 5 |
| 2.4.2 Validazione del modello e analisi d'insieme | 6 |
| 2.5 QUADRO METEOROLOGICO DI RIFERIMENTO | 7 |
| 2.5.1 Stazioni meteorologiche | 7 |
| 2.5.2 Scelta del file meteorologico di riferimento | 8 |
| 3. TRAFFICO VEICOLARE | 14 |
| 3.1 COMPILAZIONE DELL'INVENTARIO DELLE EMISSIONI | 14 |
| 3.1.1 Flussi veicolari | 14 |
| 3.1.2 Fattori di emissione | 17 |
| 3.1.3 Lunghezza degli archi stradali | 20 |
| 3.2 DETERMINAZIONE DEI CARICHI EMISSIVI | 20 |
| 3.2.1 Determinazione dei flussi di traffico per ogni categoria veicolare | 20 |
| 3.2.2 Calcolo delle emissioni | 22 |
| 3.3 SIMULAZIONE DELLA DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI | 24 |
| 3.3.1 Altezza di canyon | 25 |
| 3.3.2 Variazione temporale del traffico | 25 |
| 3.4 DISPERSIONE AL SUOLO | 27 |
| 4. RISCALDAMENTO DOMESTICO | 30 |
| 4.1 COMPILAZIONE DELL'INVENTARIO DELLE EMISSIONI | 30 |
| 4.1.1 Georeferenziazione e caratterizzazione degli impianti di riscaldamento | 30 |
| 4.1.2 Calcolo del carico emissivo di ogni sorgente | 35 |
| 4.2 MAPPE DI EMISSIONE | 36 |
| 4.3 SIMULAZIONE DELLA DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI | 38 |
| 4.3.1 Variazione temporale delle emissioni delle caldaie domestiche | 39 |
| 4.4 DIFFUSIONE DEGLI INQUINANTI AL SUOLO | 40 |
| 5. SORGENTI INDUSTRIALI | 42 |
| 5.1 COMPILAZIONE DELL'INVENTARIO DELLE EMISSIONI | 42 |
| 5.1.1 La classificazione delle attività | 43 |
| 5.1.2 Metodologia per la stima delle emissioni | 48 |
| 5.1.2.1 Stima delle emissioni autorizzate rilasciate in atmosfera | 48 |
| 5.1.2.2 Stima delle emissioni in atmosfera attraverso fattori di riduzione | 49 |
| 5.2 MAPPE DI EMISSIONE DELLE INDUSTRIE | 50 |
| 5.3 SIMULAZIONE DELLA DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI | 54 |
| 5.4 CONCENTRAZIONE DI INQUINANTI AL SUOLO DOVUTI ALLE INDUSTRIE | 55 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6. AREA PORTUALE | 63 |
| 6.1 ATTIVITA' DI SCARICO, TRASPORTO, RIMANEGGIAMENTO E STOCCAGGIO DI MATERIALE POLVERULENTO | 63 |
| 6.1.1 Compilazione dell'inventario delle emissioni | 65 |
| 6.1.1.1 Metodologia per la stima delle emissioni | 65 |
| 6.1.1.1.1 Operazioni di sbarco del carico tramite gru | 65 |
| 6.1.1.1.2 Trasporto merci con camion in ambito portuale | 68 |
| 6.1.1.1.3 Presenza di cumuli di stoccaggio all'aperto | 72 |
| 6.1.1.1.4 Quadro riepilogativo | 75 |
| 6.1.2 Mappe di emissione di materiale polverulento in area portuale | 77 |
| 6.2 TRAFFICO MARITTIMO | 80 |
| 6.2.1 Compilazione dell'inventario delle emissioni | 81 |
| 6.2.1.1 Metodologia per la stima delle emissioni | 81 |
| 6.2.2 Mappe di emissione da traffico navale | 85 |
| 6.3 SIMULAZIONE DELLA DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI IN AREA PORTUALE | 85 |
| 6.4 CONCENTRAZIONE DI INQUINANTI AL SUOLO DOVUTI A MATERIALE POLVERULENTO IN AREA PORTUALE | 87 |
| 7. RIEPILOGO DELLE EMISSIONI | 91 |
| 8. VALUTAZIONE DELLE PERFORMANCE DEL MODELLO E ANALISI D'INSIEME | 92 |
| 8.1 INDICI STATISTICI DI VALUTAZIONE DELLE PERFORMANCE DEL MODELLO | 94 |
| 8.1.1 Calcolo degli indici di performance del modello per i diversi inquinanti | 96 |
| 8.1.2 Analisi statistica | 98 |
| 8.2 ANALISI D'INSIEME | 104 |
| 8.2.1 Simulazione finale | 104 |
| 8.2.2 Contributi delle diverse fonti | 109 |
| 9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE | 116 |
| BIBLIOGRAFIA | 121 |

1 . PREMESSA

L'inquinamento atmosferico costituisce uno dei principali problemi dei centri urbani ed è legato, prevalentemente, al traffico ed al riscaldamento domestico.

Nella realtà di Ravenna, caratterizzata da un polo chimico di notevoli dimensioni in prossimità dell'area urbana e da un porto - importante scalo italiano per la movimentazione di cereali, fertilizzanti e sfarinati ad uso animale - è significativo anche l'apporto dato da questi due settori.

Per avere un quadro completo delle fonti di emissioni presenti sul territorio comunale, della loro influenza relativa sulla qualità dell'aria, sarebbe necessario conoscere in dettaglio la quantità e qualità degli inquinanti introdotti in atmosfera da tutte le sorgenti presenti, antropiche e naturali.

In mancanza di informazioni così circostanziate si possono comunque effettuare valutazioni sui settori che incidono in modo più consistente sulla qualità dell'aria.

Il Comune di Ravenna ha commissionato ad Arpa – Sezione di Ravenna uno studio sulla qualità dell'aria nella città.

Nell'ambito del progetto sono stati individuati quattro fattori di pressione sul comparto atmosferico ritenuti prioritari nell'area urbana:

traffico veicolare

riscaldamento domestico

area industriale

area portuale

Lo studio valuta in quale percentuale i diversi macrosettori contribuiscono alle concentrazioni dei vari inquinanti misurate in corrispondenza delle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria (al ricettore - dato di immissione) e permettere quindi di stabilire qual è il fattore di pressione più critico nelle varie zone dell'area urbana.

E' stato strutturato in modo "modulare" e per ciascun macrosettore considerato sono stati implementati delle modalità di calcolo aggiornabili. Si propone pertanto come uno strumento utile all'ottimizzazione degli interventi di risanamento nell'ambito della pianificazione territoriale attraverso lo studio di scenari.

2 . INTRODUZIONE METODOLOGICA

La fase preliminare del lavoro consiste nella scelta degli inquinanti da simulare, scelta effettuata sulla base dei risultati del monitoraggio, delle criticità definite in documenti istituzionali approvati (Piano Provinciale di Tutela e Risanamento delle Qualità dell'Aria) e delle conoscenze acquisite sull'evoluzione delle immissioni impattanti sul territorio ravennate.

Successivamente è stato definito il quadro emissivo di dettaglio utilizzato per le simulazioni.

La fase finale dello studio riguarda la valutazione delle performance del modello utilizzato, l'elaborazione delle mappe di dispersione relative all'insieme dei macrosettori esaminati ed il calcolo dei contributi percentuali d'impatto dei macrosettori sul comparto atmosferico.

2.1 INQUINANTI CONSIDERATI

Nello studio sono state valutate nel dettaglio le emissioni e la diffusione di tre inquinanti: particolato PM10, biossido di azoto e monossido di carbonio.

La scelta di focalizzare l'attenzione su questi tre inquinanti ha motivazioni diverse: i primi due risultano dal monitoraggio "inquinanti critici", sussiste cioè il rischio di superamento degli standard della qualità dell'aria; mentre il monossido di carbonio è l'inquinante più importante per la validazione delle immissioni da traffico del modello. Infatti in area urbana le concentrazioni di monossido di carbonio sono prevalentemente prodotte dal traffico (98% - Harrison, 1996) che costituisce un ottimo "tracciante" per questa sorgente.

Monossido di carbonio (CO)

Il CO è un gas incolore e inodore che si forma dalla combustione incompleta degli idrocarburi presenti in carburanti e combustibili.

Gli effetti sull'ambiente sono da considerarsi trascurabili, mentre gli effetti sull'uomo sono particolarmente pericolosi. La sua pericolosità è dovuta alla formazione con l'emoglobina del sangue di un composto fisiologicamente inattivo, la carbossiemoglobina che impedisce l'ossigenazione dei tessuti.

Si tratta di un inquinante primario, emesso cioè direttamente in atmosfera dalle sorgenti di emissione e si stima che circa il 98% del CO presente in area urbana derivi dal traffico veicolare, soprattutto in situazioni di circolazione intensa e rallentata.

Il CO permane in atmosfera per circa 3-4 mesi e viene rimosso attraverso reazioni di ossidazione ad anidride carbonica o attraverso reazioni fotochimiche coinvolgenti il metano e i radicali OH. Per questa sua scarsa reattività viene spesso utilizzato come tracciante dell'andamento temporale degli inquinanti a livello del suolo.

Biossido di azoto (NO2)

Il biossido di azoto è un gas di colore rosso bruno, di odore pungente e altamente tossico. Ad elevate concentrazioni è un gas irritante per l'apparato respiratorio e per gli occhi.

E' un inquinante principalmente secondario e si forma in massima parte in atmosfera per ossidazione del monossido di azoto (NO), inquinante primario che si forma nei processi di combustione.

Il biossido di azoto svolge un ruolo fondamentale nella formazione dello smog fotochimico in quanto costituisce l'intermedio di base per la produzione di tutta una serie di inquinanti secondari

quali l'ozono, l'acido nitrico e l'acido nitroso. Svolge inoltre un ruolo significativo come precursore del particolato secondario.

Polveri sottili (PM10)

Le PM10 sono particelle fini respirabili con un diametro inferiore a 10micrometri (10 millesimi di millimetro) e quindi in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio (dal naso alla laringe). Variano notevolmente sia per forma che per composizione chimica in quanto dipendono dalle fonti di emissione dominanti. Le polveri atmosferiche sono prodotte sia da sorgenti naturali che antropiche e poiché il loro tempo di permanenza in atmosfera si misura in giorni, possono essere trasportate anche per lunghe distanze.

La concentrazione in area urbana di PM10 risulta essere la somma di più componenti: una parte naturale, data dalle caratteristiche proprie dell'area di studio; una parte primaria, emessa cioè direttamente dalle sorgenti ed una parte secondaria, non emessa direttamente ma che si forma in atmosfera a partire da precursori gassosi quali biossido di zolfo, ossidi di azoto, composti organici volatili e ammoniaca.

Si stima che circa il 50% del PM10 misurato in area urbana sia di origine secondaria (CESI, 2005).

2.2 STIMA DELLE EMISSIONI

La stima delle emissioni si effettua a partire dal censimento delle sorgenti di inquinamento e dalla compilazione di un inventario.

La metodologia di riferimento per la compilazione degli inventari è quella europea prevista dal progetto CORINAIR (COOrdination-Information-AIR, 1985) finalizzato alla raccolta ed all'organizzazione di informazioni coerenti sulle emissioni in atmosfera nella comunità europea. Vengono suggeriti due approcci: l'approccio bottom-up (flusso di informazioni dal basso verso l'alto) e quello top-down (flusso di informazioni dall'alto verso il basso).

In questo studio si è deciso di seguire l'approccio "bottom – up" che, partendo da dettagliate informazioni di input sulla localizzazione e distribuzione spaziale delle emissioni (e non solo sulla loro entità complessiva), permette una stima accurata delle emissioni.

Tali informazioni non erano però disponibili con il dettaglio necessario e pertanto è stato indispensabile integrare in modo consistente quanto disponibile.

La quantificazione delle emissioni di ciascun settore ha fatto necessariamente riferimento a fonti differenti in ragione della diversità delle sorgenti emissive valutate e della difficoltà a reperire riferimenti metodologici univoci.

Per i settori traffico veicolare e riscaldamento domestico si è utilizzato il sistema di calcolo descritto nel progetto europeo EMEP/CORINAIR: il carico emissivo (E) di un settore è dato dal prodotto del fattore di emissione (FE) e del dato di attività (A) proprio del settore:

$$E_i = A * FE$$

Per il settore industriale e quello portuale si è invece fatto ricorso a specifiche metodologie di stima delle emissioni implementate in proprio (settore industriale) o da enti diversi (settore portuale).

I dati di emissione ottenuti per i diversi settori sono affetti da un grado di incertezza che dipende sia dall'attendibilità dei dati di base utilizzati, sia dalle approssimazioni insite nelle metodologie di calcolo: l'obiettivo da perseguire è il progressivo affinamento delle stime e la riduzione dei margini di incertezza ad esse associate al fine di costituire basi dati sempre più rappresentative della situazione reale.

2.3 IL MODELLO DI DISPERSIONE ADMS-URBAN

Il modello di dispersione atmosferica utilizzato è l'ADMS-Urban (versione 2.2), un modello gaussiano di nuova generazione in grado di trattare molteplici tipi di sorgenti (puntuali, lineari, areali, volumetriche, di griglia), specificatamente adatto per le simulazioni in area urbana.

Le potenzialità del programma, che lo rendono particolarmente adatto per studi di questo tipo, sono:

La presenza di un algoritmo di calcolo avanzato che si basa sulla soluzione gaussiana in condizioni stabili e neutre e su una soluzione non gaussiana in condizioni instabili;

Una caratterizzazione avanzata dello strato limite basata su parametri fisici come la lunghezza di Monin – Obukhov e l'altezza di rimescolamento. In particolare il modello prevede la possibilità di tenere conto della turbolenza residua dovuta al fenomeno dell'isola di calore urbana, imponendo un valore minimo alla lunghezza di Monin – Obukhov¹ positiva, cioè evitando il verificarsi di condizioni molto stabili, corrispondenti a valori positivi vicini allo zero. Il valore minimo della lunghezza di Monin – Obukhov è stato posto pari a 20 m, valore tipico di domini parzialmente urbani/industriali con città con più di 100000 abitanti situate entro 5 km dal dominio

La presenza di un pre-processore meteorologico che calcola i parametri dello strato limite sulla base di diversi tipi di dati meteorologici di input permettendo versatilità nei dati di input;

La possibilità di trattare una gamma completa di tipi di sorgente che permette di analizzare fino a 1500 sorgenti industriali (puntuali, areali e di volume), 1500 lineari e 1 griglia con un massimo di 3000 celle);

La presenza di un modello integrato specificatamente adatto a simulare la dispersione negli street canyon, ovvero in quelle strade molto diffuse nei centri urbani, confinate da edifici di altezza significativa da entrambi i lati;

Una delle principali limitazioni del modello utilizzato riguarda la trattazione delle calme di vento, che ADMS-Urban attribuisce a velocità del vento misurate a 10 m di altezza inferiori a 0.75 m/s. Alle ore in cui si verifica questa condizione il modello impone una velocità del vento pari a 0.75 m/s a 10 m (pari a 0.93 m/s a 20 m) e una direzione del vento uguale a quella misurata nell'ultima ora avente condizioni non di calma. Questa semplificazione potrebbe portare ad una

¹ La lunghezza di Monin-Obukhov misura l'importanza relativa del galleggiamento generato dal riscaldamento del suolo e del rimescolamento meccanico provocato dall'attrito della superficie del terreno. Da un punto di vista fisico rappresenta lo spessore dello strato limite, all'interno del quale il rimescolamento meccanico è la più importante forma di generazione di turbolenza.

sottostima della concentrazione degli inquinanti nei periodi in cui si verifica una prolungata condizione di calma, che favorisce l'accumulo degli inquinanti.

Le variabili inserite in input al modello sono:

- sorgenti emissive e loro caratterizzazione (ubicazione e caratteristiche emissive come portata emissiva, altezza di emissione, velocità e temperatura di uscita dei fumi...);
- variabilità temporale nella portata emissiva delle sorgenti;
- condizioni meteorologiche relative al periodo di simulazione (dati orari di direzione e intensità del vento, temperatura superficiale e radiazione solare);
- informazioni sulle variabili di output richieste.

Il modello restituisce in output valori di concentrazione in aria in corrispondenza di punti specifici situati sul territorio (ad esempio in corrispondenza delle centraline di monitoraggio della qualità dell'aria) o nei punti centrali di una griglia, permettendo la realizzazione di mappe di isoconcentrazione degli inquinanti. Dopo alcune prove si è constatato che la griglia di output preferibile, per alcune simulazioni, è quella definita nel modello "intelligente": utilizzando tale modalità il modello, oltre a restituire il valore di concentrazione stimato per i punti centrali delle celle della griglia, restituisce valori anche dove è massimo il gradiente di concentrazioni previsto. Questa opzione è risultata particolarmente utile nel caso di simulazione di sorgenti lineari (ad esempio il traffico veicolare).

I valori di concentrazione possono essere restituiti con diversi gradi di mediazione a seconda del tipo di simulazione prescelta:

Simulazione Short Term, in cui viene restituito un valore di concentrazione per ogni linea di dati meteorologici di input, ad esempio tutti i valori orari in un anno;

Simulazione Long Term, in cui viene restituito un unico valore per ogni punto della griglia di output, derivante dall'elaborazione di tutti i dati del file meteorologico in ingresso, ad esempio un valore medio annuale.

2.4 ARTICOLAZIONE OPERATIVA

2.4.1 Analisi per macrosettore

Per ogni macrosettore sono state percorse diverse fasi operative, che strutturano anche i capitoli del presente documento:

Compilazione dell'inventario delle emissioni e stima del carico emissivo

Qualsiasi studio sull'impatto ambientale di una o più attività non può prescindere dalla compilazione accurata dell'*inventario delle emissioni* in atmosfera. L'inventario delle emissioni rappresenta una raccolta dinamica di informazioni su tutte le attività che danno luogo ad emissioni in atmosfera.

Lo scopo è quantificare, tramite misure dirette o, nella maggior parte dei casi, attraverso delle stime legate alle caratteristiche delle attività, i contributi alle emissioni delle diverse sorgenti inquinanti, valutandone la distribuzione spaziale e temporale.

Le informazioni raccolte, oltre a fornire uno strumento di conoscenza indispensabile per il governo del territorio, risultano essenziali anche per l'utilizzo di modelli matematici di dispersione, l'elaborazione di diversi scenari di intervento e le attività di monitoraggio.

Una volta che è stato compilato l'inventario delle emissioni, può essere fornita una *stima del quantitativo complessivo* di inquinante che viene emesso per effetto del settore in esame.

Mappe di emissione

Sulla base delle stime dei quantitativi di inquinanti emessi per ogni settore possono essere realizzate delle *mappe di emissione*, ovvero dei supporti cartografici che illustrano la distribuzione spaziale delle emissioni e che permettono di visualizzare le aree caratterizzate da pressioni massime sull'ambiente.

Simulazione della dispersione degli inquinanti

Quantificate le pressioni in termini di inquinanti emessi dai settori considerati, il passo successivo alla compilazione dell'inventario delle emissioni per i settori considerati è la simulazione della dispersione al suolo degli inquinanti emessi, che si basa sull'utilizzo di appositi modelli di dispersione.

Tali modelli consentono di valutare i livelli di concentrazione degli inquinanti su tutto il territorio di studio, permettendo quindi di valutare le immissioni a partire dalle emissioni.

Concentrazione al suolo degli inquinanti

Dall'applicazione di un modello di dispersione atmosferica è possibile *realizzare delle mappe di isoconcentrazione*, che mostrano la concentrazione degli inquinanti al suolo che si avrebbe a seguito delle emissioni inserite in input al modello e che quindi permettono di visualizzare le aree della città maggiormente impattate dai fattori di pressione considerati. Studiare la dispersione degli inquinanti è importante perché permette di valutare l'effettivo contributo della sorgente alla qualità dell'aria tenendo conto non solo della quantità di inquinante emesso ma degli altri parametri che intervengono nella dispersione: talvolta risultano più impattanti sorgenti che emettono quantitativi limitati di inquinante, ma a bassa quota o a bassa temperatura o in situazioni meteorologiche particolari.

2.4.2 Validazione del modello e analisi d'insieme

Una volta che ogni settore è stato studiato separatamente, sono stati considerati tutti i fattori di pressione incidenti sul comparto atmosferico.

E' stata quindi effettuata una simulazione in short term per calcolare la concentrazione media oraria simulata in corrispondenza delle stazioni di monitoraggio presenti nell'area di studio. Su questi dati è stata prima effettuata la validazione dei risultati in uscita dal modello e quindi una valutazione del peso dei contributi delle singole sorgenti alle concentrazioni rilevate in corrispondenza delle stazioni.

Validare i risultati di un modello di dispersione significa testare se il modello è in grado di effettuare previsioni "sufficientemente corrette" della concentrazione degli inquinanti al suolo. Il processo di validazione si basa quindi sul confronto fra le concentrazioni stimate dal modello e le concentrazioni misurate dalle centraline della rete di monitoraggio della qualità dell'aria.

La valutazione della performance del modello viene fatta calcolando appositi indici proposti in letteratura, che forniscono indicazioni sintetiche sulla precisione e sull'accuratezza del modello. E' stata infine effettuata una simulazione in long term in cui sono state inserite in input tutte le sorgenti emissive, agenti contemporaneamente nell'area urbana di Ravenna, e sono state realizzate mappe di dispersione indicative delle concentrazioni medie annuali.

2.5 QUADRO METEOROLOGICO DI RIFERIMENTO

Allo scopo di fornire un quadro d'insieme il più possibile rappresentativo delle condizioni tipiche dell'area in esame è stata svolta un'analisi meteorologica prendendo in considerazione i dati degli ultimi 3 anni (2004 -2006) forniti dalle stazioni meteorologiche presenti nei pressi dell'area urbana ravennate.

Sulla base dei risultati ottenuti da questa analisi preliminare sono stati individuati la stazione meteorologica e l'anno di riferimento più rappresentativi delle condizioni tipiche rilevate.

2.5.1 Stazioni meteorologiche

I dati utilizzati per la caratterizzazione meteorologica fanno riferimento ad alcune stazioni ubicate nell'area urbana del comune di Ravenna.

Si riportano in tabella 2.1 le caratteristiche principali delle stazioni meteorologiche considerate, dotate di apposita strumentazione per rilevare velocità e direzione del vento, temperatura e intensità di radiazione solare, e ubicate in zone comprese nell'area di interesse (figura 2.1).

| Id | Nome stazione | Rete | UTM X | UTM Y |
|-----------|-------------------------|-------------|--------------|--------------|
| 1 | Via dei Germani | Privata | 760570 | 4926674 |
| 2 | AGIP29 | Privata | 751295 | 4927254 |
| 3 | Stadio | Pubblica | 754258 | 4921940 |
| 4 | Ravenna stazione urbana | Pubblica | 754826 | 4923227 |

Tabella 2.1 – Caratteristiche delle stazioni meteorologiche analizzate

Queste stazioni meteorologiche sono sia di proprietà pubblica che privata: “Stadio”, ubicata nei pressi dello stadio Benelli, è una stazione di rilevamento della rete provinciale di monitoraggio della qualità dell'aria della provincia di Ravenna gestita da Arpa-Sezione di Ravenna; “Ravenna Stazione urbana” – installata nel maggio 2004 - è gestita dal Servizio Idro-Meteorologico ed è collocata presso il Servizio Tecnico di Bacino, in Piazza dei Caduti; “Germani” e “Agip29” sono invece stazioni fisse di proprietà della Società Polimeri Europa e da essa gestite per conto di un consorzio a cui partecipano le industrie del polo industriale.



Figura 2.1 – Ubicazione delle stazioni meteorologiche analizzate

2.5.2 Scelta del file meteorologico di riferimento

Da una prima valutazione effettuata sulla numerosità di dati disponibili calcolata sul triennio agosto 2004 – agosto 2007 (Tab. 2.2), la stazione urbana risulta essere quella che complessivamente ha l'efficienza migliore, con percentuali superiori al 95% sia per i dati di direzione che di velocità del vento.

| Stazione meteorologica | % dati validi direzione vento | % dati validi velocità vento |
|------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Stazione urbana | 98 | 97 |
| Stadio | 94 | 67 |
| Germani | 100 | 80 |
| Agip29 | 74 | 59 |

Tabella 2.2 - Disponibilità di dati misurati dalle centraline relativi alla direzione e velocità del vento dall'agosto 2004 all'agosto 2007

Come si può notare dalle tabelle successive, sebbene fra i dati orari di velocità del vento misurati dalle centraline vi sia una buona correlazione (Tab.2.3), i valori misurati possono variare sensibilmente (Tab. 2.4 e 2.5)

| Stazione A | Stazione B | Coefficiente di correlazione R |
|-------------------|------------|--------------------------------|
| Stazione urbana | Stadio98 | 0.84 |
| Stazione urbana | Germani | 0.81 |
| Stazione urbana i | Agip29 | 0.82 |
| Stadio | Germani | 0.78 |
| Stadio | Agip29 | 0.82 |
| Germani | Agip29 | 0.81 |

Tabella 2.3 - Correlazione fra i valori orari di velocità del vento misurati alle centraline.

Le velocità del vento misurate in corrispondenza delle stazioni non coincidono perché i sensori sono ubicati in zone ed ad altezze diverse.

In particolare la stazione urbana si trova a circa 20 m di altezza, in un punto “alto” della città in modo da minimizzare l'influenza sui parametri meteorologici di edifici o strade posti nelle vicinanze; le altre stazioni sono in corrispondenza di centraline di monitoraggio della qualità dell'aria ed i sensori di velocità e direzione del vento sono posti ad un'altezza intorno a 10 m.

| Stazione meteorologica | % dati validi | Media | Minimo | Massimo | Dev. standard |
|------------------------|---------------|-------|--------|---------|---------------|
| Stazione urbana | 97 | 2.1 | 0.1 | 11.3 | 1.2 |
| Stadio | 67 | 1.5 | 0.0 | 10.5 | 1.1 |
| Germani | 80 | 3.0 | 0.0 | 19.9 | 2.1 |
| Agip29 | 59 | 1.9 | 0.6 | 13.2 | 1.2 |

Tabella 2.4 - Velocità del vento misurata presso le centraline meteorologiche dall'agosto 2004 all'agosto 2007

| Stazione meteorologica | Calme di vento |]1-2] |]2-4] |]4-6] | >6 |
|------------------------|----------------|-------|-------|-------|----|
| Stazione urbana | 18 | 39 | 35 | 6 | 1 |
| Stadio | 44 | 34 | 19 | 3 | 1 |
| Germani | 13 | 25 | 35 | 19 | 8 |
| Agip29 | 23 | 45 | 26 | 4 | 1 |

Tabella 2.5 - Suddivisione in classi di intensità della velocità del vento misurata presso le centraline meteorologiche dall'agosto 2004 all'agosto 2007.

In relazione alla più alta efficienza ed alla posizione ottimale della stazione urbana – che la rende più rappresentativa delle condizioni meteorologiche che si verificano nel contesto cittadino – si è deciso di utilizzare i dati rilevati in questa postazione.

Per la scelta dell'anno di riferimento – rappresentativo delle condizioni meteorologiche “standard” da utilizzare nel modello di diffusione – si è proceduto all'individuazione dell'anno più rappresentativo delle condizioni climatiche dell'area in esame, che è risultato essere il 2005.

Di seguito vengono riportati i grafici che mostrano il confronto fra la direzione e velocità del vento nel periodo agosto 2004 - agosto 2007 e l'anno 2005.

Come si nota dalle Figg. 2.2 e 2.3, la frequenza delle diverse classi di direzione di provenienza del vento e la variabilità nel corso dell'anno sono ben rappresentate dalle condizioni misurate nel 2005. In particolare le direzioni prevalenti misurate nel triennio dalla stazione urbana sono molto simili a quelle registrate nel corso del 2005, con differenze poco significative per quanto riguarda le frequenze assolute nelle direzioni prevalenti. Analoga concordanza risulta dall'analisi delle direzioni prevalenti nelle varie stagioni (Fig. 2.3)

Il periodo invernale è caratterizzato da condizioni stabili e da venti provenienti da NordOvest, mentre durante la stagione estiva predomina il regime di brezza. Anche in primavera ed autunno si osservano le caratteristiche generali dei due regimi sopra descritti, con minore frequenza in funzione della maggiore instabilità che caratterizza queste due stagioni dell'anno.

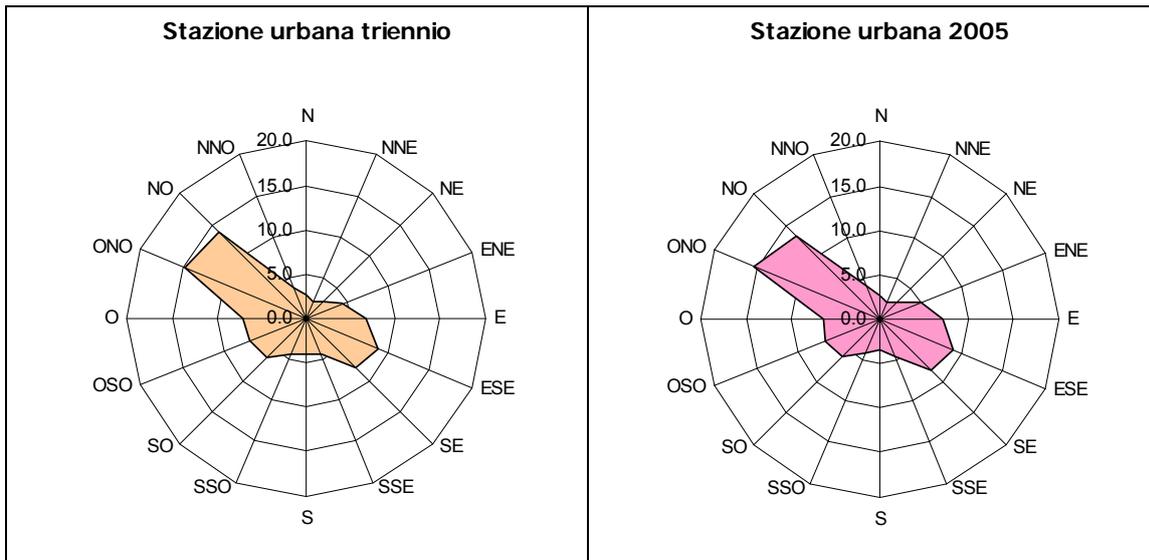


Figura 2.2 - Direzione di provenienza del vento nel triennio ago 04 – ago 07 (a sinistra) e nell'anno 2005 (a destra).

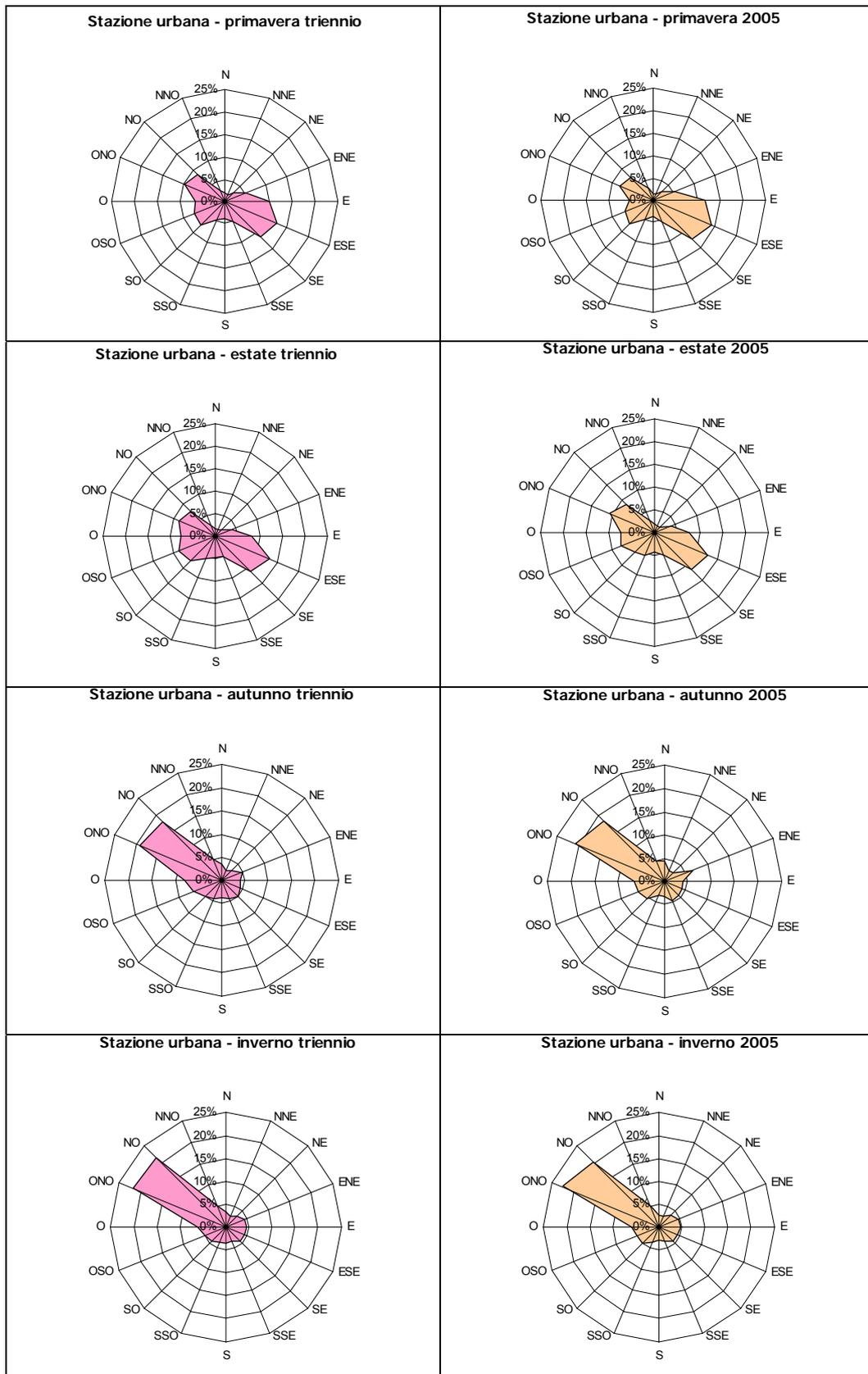


Figura 2.3 - Direzione di provenienza del vento nel triennio ago 04 – ago 07 (a sinistra) e nell'anno 2005 (a destra) nelle quattro stagioni.

La tabella 2.6 e la figura. 2.4 rilevano come anche la frequenza delle diverse classi di velocità del vento e la variabilità nel corso dell'anno siano ben rappresentate dall'anno 2005, così come la distribuzione delle categorie di stabilità di Pasquill (fig. 2.5).

Tali similitudini portano alla conclusione che risulta corretto utilizzare le condizioni meteorologiche del 2005 come rappresentative di periodi più ampi.

| Stazione urbana | Calme di vento |]1-2] |]2-4] |]4-6] | >6 |
|------------------------|----------------|-------|-------|-------|----|
| Triennio ago04 – ago07 | 18 | 39 | 35 | 6 | 1 |
| Anno 2005 | 18 | 38 | 36 | 7 | 1 |

Tabella 2.6 - Frequenza di occorrenza (in %) delle diverse classi di velocità del vento nel triennio ago 04 – ago 07 e nell'anno 2005.

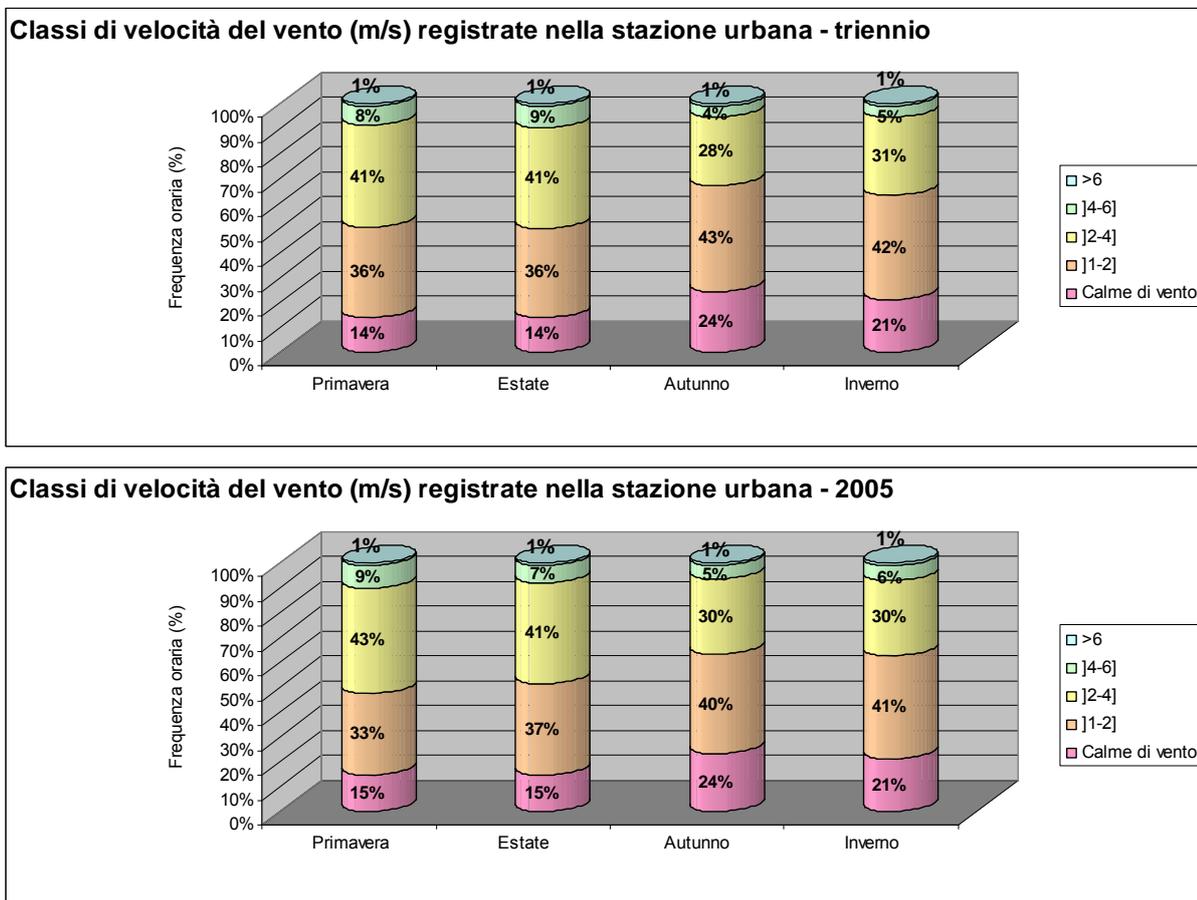


Figura 2.4 - Classi di velocità del vento misurate presso la stazione meteorologica urbana nel triennio ago 04 – ago 07 (in alto) e nell'anno 2005 (in basso) nelle quattro stagioni.

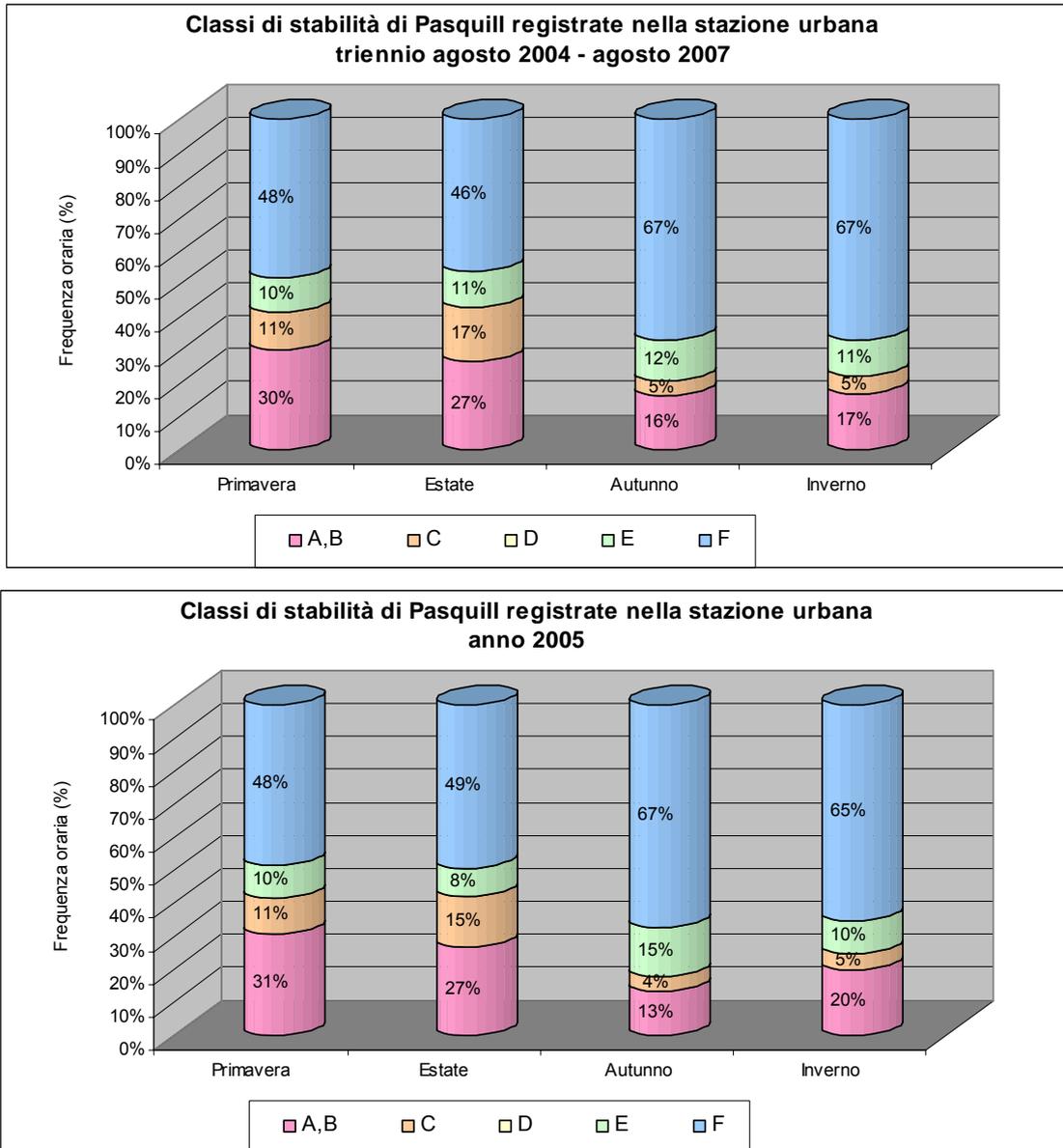


Figura 2.6 - Frequenza % delle classi di stabilità di Pasquill misurate presso la stazione meteorologica urbana nel triennio e per l'anno 2005 nelle 4 stagioni

Dai grafici riportati si può dedurre come l'area del Comune di Ravenna sia interessata prevalentemente da venti provenienti da Ovest – NordOvest e da NordOvest e in misura minore da Est – SudEst. L'intensità dei venti è modesta, prevalentemente fra 1 e 4 m/s (75% circa), le calme di vento sono frequenti (18% del tempo), mentre sono rari gli episodi di vento con velocità superiore a 4 m/s (7%).

Si evidenzia inoltre una netta stagionalità nelle condizioni del vento: nei mesi autunnali e invernali, il vento proviene quasi esclusivamente da Ovest – NordOvest e sono di gran lunga più frequenti condizioni di bassa velocità e di calma di vento, favorevoli per il ristagno degli inquinanti, mentre nei mesi primaverili ed estivi il vento proviene prevalentemente da Est – SudEst e in misura minore da Ovest – NordOvest e la velocità è sensibilmente maggiore.

3 . TRAFFICO VEICOLARE

Una delle principali fonti di inquinamento in ambiente urbano è il traffico veicolare, presente in modo capillare in gran parte del centro abitato (escluse le aree pedonali e in parte le ZTL) e con emissioni a livello del suolo.

3.1 COMPILAZIONE DELL'INVENTARIO DELLE EMISSIONI

L'inventario delle emissioni è stato realizzato a partire dai dati di flusso e di composizione di traffico veicolare.

Il traffico è stato considerato come una sorgente di tipo lineare e la base grafica su cui è stato creato l'inventario delle emissioni è il grafo stradale dell'area urbana di Ravenna, fornito dal SIT del Comune. Si tratta di una mappa della rete stradale, in cui ogni via è suddivisa in tronchi stradali, ovvero segmenti compresi fra due incroci.

Ogni tronco è stato identificato con un codice, georeferenziato e rappresentato in Arcview come un tema di linee. La rete viaria ravennate è risultata costituita da 8052 segmenti.

Si è quindi proceduto alla stima dell'emissione di ogni singolo arco stradale.

Per far questo sono stati necessari come dati di input:

- il flusso veicolare relativo al singolo arco e suddiviso per categorie Corinair;
- i fattori di emissione (in g/km/sec) relativi ad ogni categoria veicolare e
- la lunghezza di ogni arco stradale considerato.

Il carico o flusso emissivo Q_s di un particolare inquinante relativo alla sorgente stradale j - esima, situata in zona k – esima urbana, extraurbana o autostradale, si calcola moltiplicando il flusso della categoria veicolare i – esima nella strada j – esima $N_{i,j}$ per il fattore di emissione $FE_{i,j}$ caratteristico di quella categoria veicolare in quel ciclo di guida e per la lunghezza del tronco stradale l_j :

L'unità di misura del fattore di emissione usata nel presente studio è g/ veicolo* km. Stando a questo, se il flusso veicolare è dato in veicoli/s e la lunghezza in km, la portata di inquinante emessa dalle sorgenti stradali risulta espressa in g/s e si ricava dalla seguente formula:

$$Q_{S,k} = \sum_i \dot{N}_{i,j} \times FE_{i,k} \times l_j$$

Per ottenere una stima del carico emissivo secondo la formula è quindi necessario disporre dei valori di flusso di traffico e di lunghezza propri di ogni strada di Ravenna e dei fattori di emissione propri dei veicoli circolanti.

3.1.1 Flussi veicolari

I flussi relativi alle strade comunali e statali sono stati trattati separatamente, sia per la diversa tipologia di traffico incidente sui relativi archi, sia per la diversa fonte di origine dei dati: l'Ufficio Mobilità del Comune ha fornito i flussi relativi agli archi all'interno dell'area urbana e alle strade tangenziali la città, mentre la Regione ha elaborato dei flussi di traffico relativi alle principali strade statali e provinciali della regione (fig. 3.1).



Fig. 3.1 – Fonti dei dati per il flusso di traffico

I flussi veicolari forniti dal Comune di Ravenna sono il frutto di una campagna di rilevazioni svolta per l'aggiornamento del P.G.T.U (Piano Generale Traffico Urbano) e per la redazione del P.U.M (Piano Urbano Mobilità). Nell'ambito di questa indagine è stato rilevato il traffico in 47 incroci del territorio comunale per mezzo di videocamere installate in posizioni idonee alla rilevazione, nei giorni feriali del periodo compreso fra Dicembre 2002 e Marzo 2003 (ad esclusione del giovedì in cui vigeva il regime di targhe alterne). I dati sono stati raccolti per intervalli di 15 minuti nelle ore di punta del mattino (7.30 – 9.00) e del pomeriggio (17.00 – 19.00).

In ogni incrocio è stato monitorato il flusso dei veicoli, suddivisi in quattro categorie in base al loro ingombro fisico: automobili e veicoli commerciali leggeri (cat.1), veicoli commerciali pesanti (cat. 2), bus (cat.3), veicoli a 2 ruote (cat.4).

Per estendere l'informazione ad un maggior numero di archi stradali, i flussi rilevati sono stati messi in input ad un modello di simulazione del traffico che, partendo da una matrice di origine e destinazione, ha ricavato i flussi simulati. Il software utilizzato è Visuum della PTV DIVISION®, un software usato per la pianificazione dei trasporti. L'output elaborato da questo modello e fornito dall'Ufficio Mobilità del Comune consiste di due mappe non georeferenziate leggibili con AUTOCAD. Ogni mappa contiene le informazioni relative ai flussi rilevati e simulati nelle due fasce orarie di punta (7 – 9.30 e 17 – 19) in veicoli equivalenti l'ora.

La conversione delle 4 categorie individuate dal Comune durante la campagna di rilevazione in veicoli equivalenti è stata adottata per ottenere sintetiche informazioni sul possibile ingombro delle

strade. Le formule di conversione usate tengono conto quindi della dimensione dei veicoli:

1 automobile = 1 veicolo equivalente;

1 veicolo commerciale leggero = 1 veicolo equivalente;

1 veicolo commerciale pesante = 2 veicoli equivalenti.

Non sono stati considerati nella fase di conversione i bus (cat. 3) e i motoveicoli (cat. 4).

Per poter georeferenziare l'output di Visuum e attribuire ad ogni tronco il relativo flusso è stato quindi necessario definire una procedura, che è stata applicata ad ognuna delle due mappe.

Per prima cosa la mappa originale è stata georeferenziata con l'ausilio del software AUTOCAD, facendo corrispondere un certo numero di punti della mappa originale con il grafo stradale georeferenziato. Questo procedimento è tanto più affidabile quante più coppie di punti si riescono ad allineare ma resta comunque affetto da errore. Il "disallineamento" delle due mappe ha avuto come effetto l'assegnazione incompleta o errata di un numero consistente di valori di flusso al relativo tronco, per cui è stata comunque necessaria una correzione manuale dei dati, lavoro laborioso e non esente da errori.

I dati di volume di traffico caratteristici delle strade statali che circondano il centro urbano di Ravenna (S.S. Adriatica e S.S. Romea Nord), sono stati forniti dall'Ufficio Traffico della Regione già georeferenziati ed espressi in termini di veicoli equivalenti registrati in alcune fasce orarie (7 - 9, 10 - 13, 16 - 18, 19 - 22, 23 - 6). Nel caso delle strade statali la conversione da veicoli equivalenti alle categorie si effettua secondo le formule:

1 automobile = 1 veicolo equivalente;

1 veicolo commerciale di peso < 110 q = 2 veicoli equivalenti;

1 veicolo commerciale di peso > 110 q = 3 veicoli equivalenti.

La banca dati relativa ai flussi di traffico, basata essenzialmente sulle fonti precedentemente esposte, è stata integrata per alcune strade (ex. Via Baiona, via Trieste e via Classicana) con banche dati più recenti, fornite dal Comune di Ravenna. Per via Baiona, l'informazione sul flusso di traffico deriva da rilievi effettuati dal Comune nell'Aprile 2006, mentre per via Trieste e via Classicana il volume di traffico deriva da stime effettuate dal Comune per ANAS.

Il risultato finale, mostrato in figura 3.2, è un file contenente le informazioni di flusso veicolare, in termini di veicoli equivalenti nell'ora di punta, relative a circa 2000 tronchi dell'area urbana.

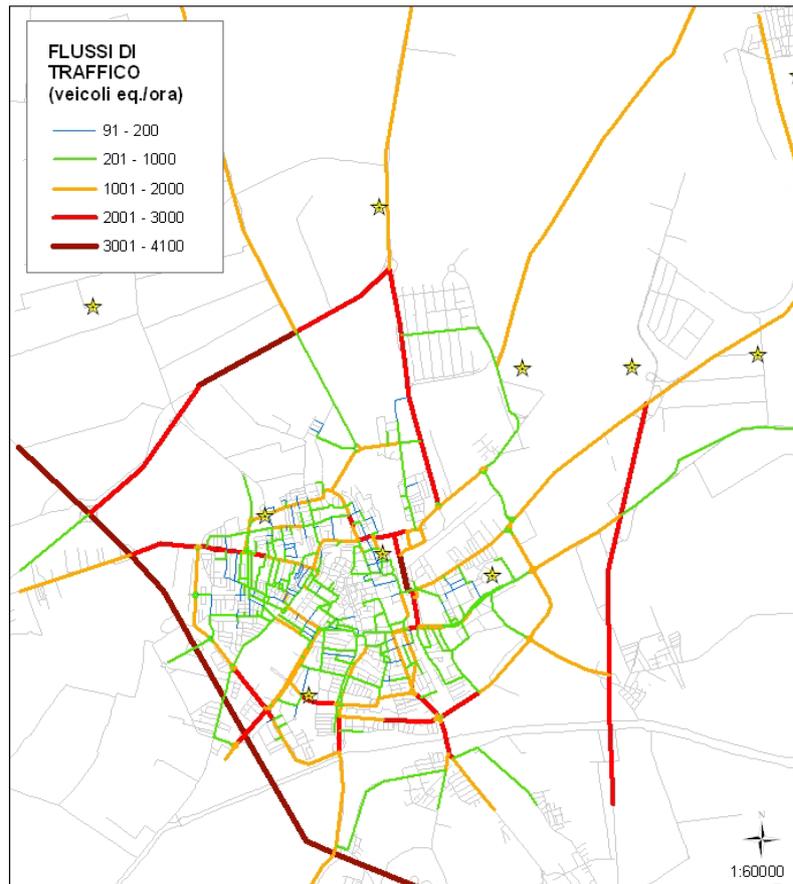


Fig. 3.2 – Flussi equivalenti nell'ora di punta (veicoli equivalenti/ora)

3.1.2 Fattori di emissione

Per quanto riguarda il traffico, i fattori di emissioni vengono generalmente espressi in termini di massa per unità di lunghezza percorsa o potenza sviluppata.

Il set di fattori di emissione che si è scelto di utilizzare nel presente lavoro è stato realizzato a partire da tre diverse fonti:

- Agenzia Nazionale per la protezione per l'Ambiente e il Territorio (APAT);
- Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO);
- Ente Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA).

L'APAT, in qualità di centro nazionale di riferimento dell'Agenzia europea per l'ambiente (EEA), è tenuta a realizzare ogni anno il censimento nazionale delle emissioni in atmosfera per verificare il rispetto degli impegni che l'Italia ha assunto a livello internazionale sulla protezione dell'ambiente atmosferico (Convenzione quadro sui Cambiamenti Climatici, Convenzione di Ginevra sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero, Direttive europee sulla limitazione delle emissioni). La metodologia su cui si basa per stimare le emissioni di oltre 300 attività antropiche e biogeniche (fra le quali anche il traffico veicolare) è la metodologia Corinair, applicata, nel caso

specifico del traffico veicolare, tramite l'uso del software COPERT III. Nel sito www.inventaria.sinanet.apat.it sono disponibili le banche dati con i fattori di emissione ricavati da APAT applicando il software COPERT III a livello nazionale.

Da questo sito sono stati tratti i fattori di emissione relativi a CO e NO_x per tutti i veicoli ad esclusione di quelli a metano.

Per il particolato PM10 sono stati utilizzati i fattori di emissione APAT per i veicoli alimentati a gasolio e i fattori di emissione proposti dal TNO per i veicoli alimentati a benzina e per la quota non-exhaust relativa a tutte le categorie veicolari.

Infine, per i veicoli a metano sono stati utilizzati dei fattori di emissione sviluppati dall'ENEA.

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i fattori di emissione utilizzati nel presente studio per ogni categoria veicolare Corinair.

| COMBUSTIBILE | CILINDRATA | TECNOLOGIA | NO _x | PM10 | CO |
|--------------|-------------|------------|-----------------|--------|---------|
| benz | < 1,4 l | preEURO | 1.6421 | 0.0797 | 60.4704 |
| benz | < 1,4 l | EURO1 | 0.7004 | 0.0178 | 18.4211 |
| benz | < 1,4 l | EURO2 | 0.4063 | 0.0178 | 14.8469 |
| benz | < 1,4 l | EURO3 | 0.1681 | 0.0178 | 10.3158 |
| benz | < 1,4 l | EURO4 | 0.0911 | 0.0178 | 6.2632 |
| benz | 1,4 - 2,0 l | preEURO | 1.91 | 0.0797 | 78.638 |
| benz | 1,4 - 2,0 l | EURO1 | 0.7124 | 0.0178 | 18.8445 |
| benz | 1,4 - 2,0 l | EURO2 | 0.4852 | 0.0178 | 17.4584 |
| benz | 1,4 - 2,0 l | EURO3 | 0.171 | 0.0178 | 10.5529 |
| benz | 1,4 - 2,0 l | EURO4 | 0.0926 | 0.0178 | 6.4071 |
| benz | > 2,0 l | preEURO | 2.32 | 0.0798 | 84.8645 |
| benz | > 2,0 l | EURO1 | 2.3683 | 0.0178 | 20.6507 |
| benz | > 2,0 l | EURO2 | 0.5284 | 0.0178 | 18.6667 |
| benz | > 2,0 l | EURO3 | 0.5684 | 0.0178 | 11.5644 |
| benz | > 2,0 l | EURO4 | 0.3079 | 0.0178 | 7.0212 |
| dies | < 2,0 l | preEURO | 0.7202 | 0.4785 | 1.198 |
| dies | < 2,0 l | EURO1 | 1.0213 | 0.1714 | 1.0329 |
| dies | < 2,0 l | EURO2 | 1.0213 | 0.1714 | 1.0329 |
| dies | < 2,0 l | EURO3 | 0.7864 | 0.1234 | 1.0329 |
| dies | < 2,0 l | EURO4 | 0.5413 | 0.0771 | 1.0329 |
| dies | > 2,0 l | preEURO | 1.1001 | 0.4785 | 1.198 |
| dies | > 2,0 l | EURO1 | 1.0213 | 0.1714 | 1.0329 |
| dies | > 2,0 l | EURO2 | 1.0213 | 0.1713 | 1.0329 |
| dies | > 2,0 l | EURO3 | 0.7864 | 0.1233 | 1.0329 |
| dies | > 2,0 l | EURO4 | 0.5413 | 0.0771 | 1.0329 |
| gpl | gen | preEURO | 1.762 | 0.0567 | 10.7628 |
| gpl | gen | EURO1 | 0.3614 | 0.0167 | 4.7361 |
| gpl | gen | EURO2 | 0.1177 | 0.0167 | 3.3723 |
| gpl | gen | EURO3 | 0.1177 | 0.0167 | 3.3723 |
| gpl | gen | EURO4 | 0.1177 | 0.0167 | 3.3723 |
| met | < 1,4 l | preEURO | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |
| met | < 1,4 l | EURO1 | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |
| met | < 1,4 l | EURO2 | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |
| met | < 1,4 l | EURO3 | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |
| met | < 1,4 l | EURO4 | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |
| met | 1,4 - 2,0 l | preEURO | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |
| met | 1,4 - 2,0 l | EURO1 | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |
| met | 1,4 - 2,0 l | EURO2 | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |
| met | 1,4 - 2,0 l | EURO3 | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |
| met | 1,4 - 2,0 l | EURO4 | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |
| met | > 2,0 l | preEURO | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |
| met | > 2,0 l | EURO1 | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |
| met | > 2,0 l | EURO2 | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |
| met | > 2,0 l | EURO3 | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |
| met | > 2,0 l | EURO4 | 0.132 | 0.0096 | 0.285 |

Tab.3.1 – FE (g/s/km) per la categoria veicolare “autovetture passeggeri” (“passenger”)

| COMBUSTIBILE | CILINDRATA | TECNOLOGIA | NOx | PM10 | CO |
|--------------|------------|------------|--------|--------|---------|
| benz | < 3,5 t | preEURO | 2.4652 | 0.0615 | 63.6173 |
| benz | < 3,5 t | EURO1 | 0.8227 | 0.0224 | 26.3948 |
| benz | < 3,5 t | EURO2 | 0.4424 | 0.0224 | 20.3735 |
| benz | < 3,5 t | EURO3 | 0.1728 | 0.0224 | 13.7253 |
| benz | < 3,5 t | EURO4 | 0.0823 | 0.0224 | 7.3905 |
| dies | < 3,5 t | preEURO | 3.0352 | 0.5009 | 1.8396 |
| dies | < 3,5 t | EURO1 | 1.5742 | 0.1905 | 0.7921 |
| dies | < 3,5 t | EURO2 | 1.5742 | 0.1905 | 0.7921 |
| dies | < 3,5 t | EURO3 | 1.3223 | 0.1276 | 0.6495 |
| dies | < 3,5 t | EURO4 | 1.0705 | 0.0667 | 0.5149 |
| met | < 3,5 t | preEURO | 0.028 | 0.0096 | 1.726 |

Tab.3.2 – FE (g/s/km) per la categoria veicolare “veicoli commerciali leggeri” (“light”)

| COMBUSTIBILE | CILINDRATA | TECNOLOGIA | NOx | PM10 | CO |
|--------------|-------------|------------|---------|--------|---------|
| benz | > 3,5 t | preEURO | 4.353 | 0.4882 | 66.3132 |
| dies | 3,5 - 7,5 t | preEURO | 4.4804 | 0.574 | 4.2372 |
| dies | 3,5 - 7,5 t | EURO1 | 3.1363 | 0.4038 | 2.1186 |
| dies | 3,5 - 7,5 t | EURO2 | 2.2402 | 0.2822 | 1.6949 |
| dies | 3,5 - 7,5 t | EURO3 | 1.5681 | 0.1607 | 1.1864 |
| dies | 3,5 - 7,5 t | EURO4 | 1.0977 | 0.0304 | 0.8644 |
| dies | 7,5 - 16 t | preEURO | 9.1019 | 1.0536 | 4.2372 |
| dies | 7,5 - 16 t | EURO1 | 6.3713 | 0.7156 | 2.1186 |
| dies | 7,5 - 16 t | EURO2 | 4.551 | 0.4741 | 1.6949 |
| dies | 7,5 - 16 t | EURO3 | 3.1857 | 0.295 | 1.1864 |
| dies | 7,5 - 16 t | EURO4 | 2.23 | 0.0558 | 0.8644 |
| dies | 16 - 32 t | preEURO | 16.1752 | 1.2372 | 4.2372 |
| dies | 16 - 32 t | EURO1 | 8.8963 | 0.8349 | 2.3304 |
| dies | 16 - 32 t | EURO2 | 6.4701 | 0.3751 | 1.9067 |
| dies | 16 - 32 t | EURO3 | 4.5291 | 0.2165 | 1.3347 |
| dies | 16 - 32 t | EURO4 | 3.1703 | 0.0408 | 0.9746 |
| dies | > 32 t | preEURO | 23.057 | 1.3059 | 4.2372 |
| dies | > 32 t | EURO1 | 12.6813 | 0.8796 | 2.3304 |
| dies | > 32 t | EURO2 | 9.2228 | 0.3923 | 1.9067 |
| dies | > 32 t | EURO3 | 6.456 | 0.2285 | 1.3347 |
| dies | > 32 t | EURO4 | 4.5192 | 0.0431 | 0.9746 |

Tab.3.3 – FE (g/s/km) per la categoria veicolare “veicoli commerciali pesanti” (“heavy”)

| COMBUSTIBILE | CILINDRATA | TECNOLOGIA | NOx | PM10 | CO |
|--------------|------------|------------|---------|--------|--------|
| dies | gen | preEURO | 17.9273 | 0.8792 | 5.9223 |
| dies | gen | EURO1 | 12.5491 | 0.6022 | 2.9612 |
| dies | gen | EURO2 | 8.9636 | 0.4043 | 2.3689 |
| dies | gen | EURO3 | 8.9636 | 0.4043 | 2.3689 |
| dies | gen | EURO4 | 8.9636 | 0.4043 | 2.3689 |

Tab.3.4 – FE (g/s/km) per la categoria veicolare “autobus urbani” (“bus”)

| COMBUSTIBILE | CILINDRATA | TECNOLOGIA | NOx | PM10 | CO |
|--------------|------------|------------|---------|--------|--------|
| dies | gen | preEURO | 16.5328 | 1.0197 | 4.7795 |
| dies | gen | EURO1 | 9.0931 | 0.6935 | 2.6287 |
| dies | gen | EURO2 | 6.6131 | 0.3207 | 2.1508 |
| dies | gen | EURO3 | 6.6131 | 0.3207 | 2.1508 |
| dies | gen | EURO4 | 6.6131 | 0.3207 | 2.1508 |

Tab.3.5 – FE (g/s/km) per la categoria veicolare “autobus extraurbani” (“coaches”)

| COMBUSTIBILE | CILINDRATA | TECNOLOGIA | NOx | PM10 | CO |
|--------------|------------|------------|-------|--------|-------|
| benz | gen | preEURO | 0.029 | 0.1804 | 14.21 |
| benz | gen | EURO | 0.029 | 0.0514 | 7.105 |

Tab.3.6 – FE (g/s/km) per la categoria veicolare “ciclomotori”

| COMBUSTIBILE | CILINDRATA | TECNOLOGIA | NOx | PM10 | CO |
|--------------|--------------|------------|--------|--------|---------|
| benz | < 250 cc | preEURO | 0.1101 | 0.0484 | 23.9967 |
| benz | < 250 cc | EURO | 0.1654 | 0.0093 | 7.0724 |
| benz | 250 - 750 cc | preEURO | 0.1153 | 0.0484 | 21.5882 |
| benz | 250 - 750 cc | EURO | 0.1654 | 0.0093 | 7.0724 |
| benz | > 750 cc | preEURO | 0.1263 | 0.0484 | 15.6867 |
| benz | > 750 cc | EURO | 0.1654 | 0.0093 | 7.0724 |

Tab.3.7 – FE (g/s/km) per la categoria veicolare “motocicli”

3.1.3 Lunghezza degli archi stradali

La lunghezza relativa ad ogni arco stradale è stata calcolata in modo automatico con Arcview a partire dal grafo stradale fornito dal SIT del Comune e associata quindi ad ogni arco avente un flusso veicolare.

3.2 DETERMINAZIONI DEI CARICHI EMISSIVI

Dato l'elevato numero di archi stradali aventi un flusso veicolare si è deciso di creare un modello di calcolo delle emissioni in modo da automatizzare la procedura. Nello specifico si tratta di una macro in Visual Basic associata ad un database Access in cui sono state inserite tutte le informazioni necessarie per il calcolo.

La macro è stata concepita in modo da essere il più flessibile possibile, per cui non ci sono limitazioni nel numero di tronchi da inserire, è aggiornabile man mano che si acquisiscono nuove informazioni (sul parco veicolare, i fattori di emissione o le caratteristiche del flusso) e modificabile riguardo a possibili impostazioni sulle modalità di calcolo per consentire la stima delle emissioni, nel caso per esempio di restrizioni alla circolazione per tutti o per particolari tipologie di veicoli (differenti scenari emissivi).

In output il modello restituisce due tabelle, una in cui ad ogni arco è associato il flusso di punta in veicoli equivalenti e i flussi relativi alle cinque macrocategorie considerate (auto, mezzi leggeri, mezzi pesanti, bus e moto); e la seconda in cui ad ogni arco è associata l'emissione, per gli inquinanti considerati, espressa in g/s/km e relativa all'ora di punta.

3.2.1 Determinazione dei flussi di traffico per ogni categoria veicolare

E' noto che i veicoli, durante il loro funzionamento, impattano l'ambiente in misura diversa. Le emissioni di inquinanti in atmosfera dipendono da vari fattori, quali la tipologia e cilindrata del veicolo, la sua anzianità (soprattutto in relazione alle normative concernenti la riduzione dei gas di scarico), il combustibile utilizzato e il ciclo di guida del veicolo. Secondo questo aspetto, i mezzi di locomozione possono essere raggruppati in categorie veicolari, ognuna delle quali identificata da uno specifico fattore di emissione.

Il flusso di traffico espresso in termini di veicoli equivalenti all'ora, fornito dal Comune, non dà indicazioni interessanti dal punto di vista ambientale, visto che l'equivalenza è stata attribuita non su criteri di emissioni, ma su criteri di ingombro fisico.

I valori di flusso equivalenti sono stati quindi convertiti in valori di flusso relativi alle categorie veicolari Corinair. Per la determinazione dei flussi di traffico relativi ad ogni categoria veicolare si è tenuto conto dei rilievi fatti dal Comune nei 47 incroci monitorati nel corso della campagna di rilevamento del traffico veicolare e di interviste effettuata dalla Polizia Municipale nel corso della stessa campagna (per le strade interne all'area urbana), di rilievi effettuati dalla Regione nelle strade statali (per le strade statali) e della composizione percentuale del parco veicolare del Comune di Ravenna (ACI 2005), come mostrato in figura 3.3.

Sulla base della diversa composizione del parco veicolare rilevata durante le campagne effettuate dal Comune, le strade Comunali sono state distinte in strade di "centro" e di "periferia". Nella zona "centro" sono state inglobate quelle strade caratterizzate da un alto traffico di mezzi a due ruote e da un basso traffico di mezzi pesanti. La categoria "periferia" definisce invece quelle strade con tendenze opposte per questi mezzi.

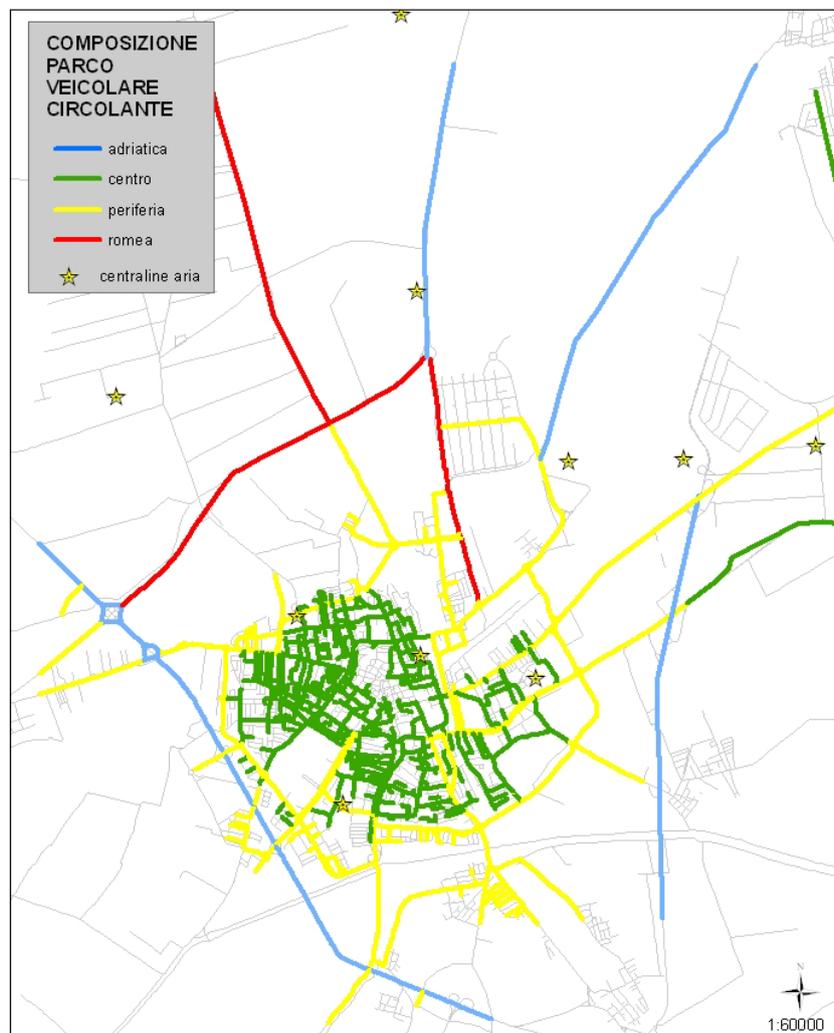


Figura 3.3 - Zonizzazione delle strade comunali in base alla composizione del parco circolante.

Ad ogni tronco stradale è stata quindi associata la composizione percentuale del traffico circolante che meglio la rappresentava, fra le 4 possibili composizioni (Tab.. 3.8).

| Tipo strada | centro | periferia | S.S. Adriatica | S.S. Romea |
|-------------------------|---------------|------------------|-----------------------|-------------------|
| Auto | 78.4 | 80.2 | 75.8 | 33.0 |
| Mezzi leggeri | 4.0 | 4.1 | 3.9 | 1.4 |
| Mezzi pesanti | 2.6 | 11.1 | 20.3 | 65.6 |
| Bus | 0.8 | 0.7 | 0.0 | 0.0 |
| Motocicli e ciclomotori | 6.2 | 1.7 | 0.0 | 0.0 |
| Biciclette | 8.0 | 2.1 | 0.0 | 0.0 |

Tabella 3.8 - Composizione percentuale del parco veicolare circolante nelle strade comunali del centro e della periferia e nelle strade statali Adriatica e Romea.

3.2.2 Calcolo delle emissioni

I carichi emissivi stimati complessivamente per il settore “traffico veicolare” nel Comune di Ravenna secondo la metodologia descritta sono riportati nella tabella seguente, mentre in figura 3.4 sono riportate le mappe di emissione ottenute per gli inquinanti considerati:

| | Carichi emissivi annuali (t/a) | | |
|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------|
| | NO_x | PM₁₀ primario | CO |
| centro urbano | 756 | 61 | 7873 |
| Statale Adriatica | 565 | 48 | 3412 |
| Statale Romea | 782 | 69 | 1051 |
| Totale | 2103 | 178 | 12336 |

Tabella 3.9 - Carichi emissivi annuali per il macrosettore traffico urbano.

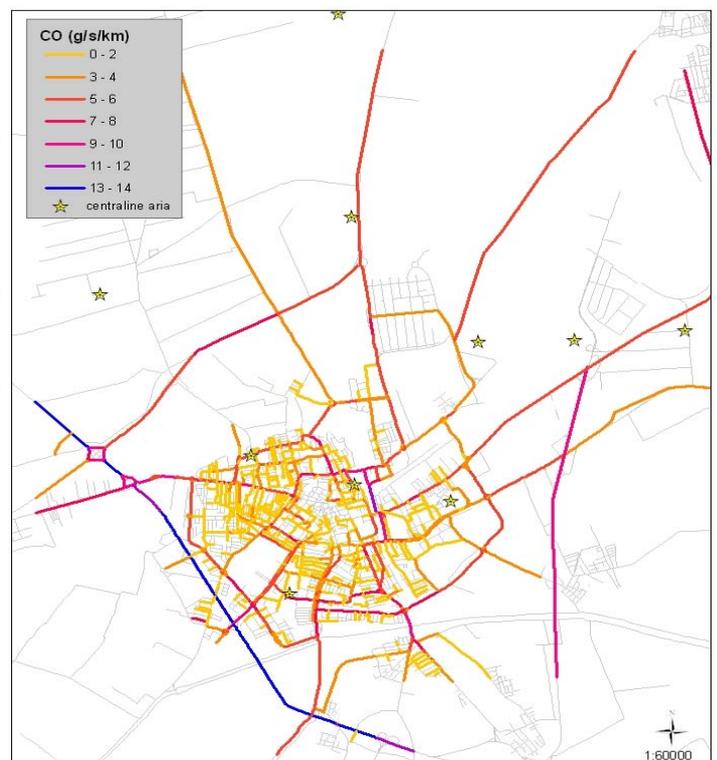
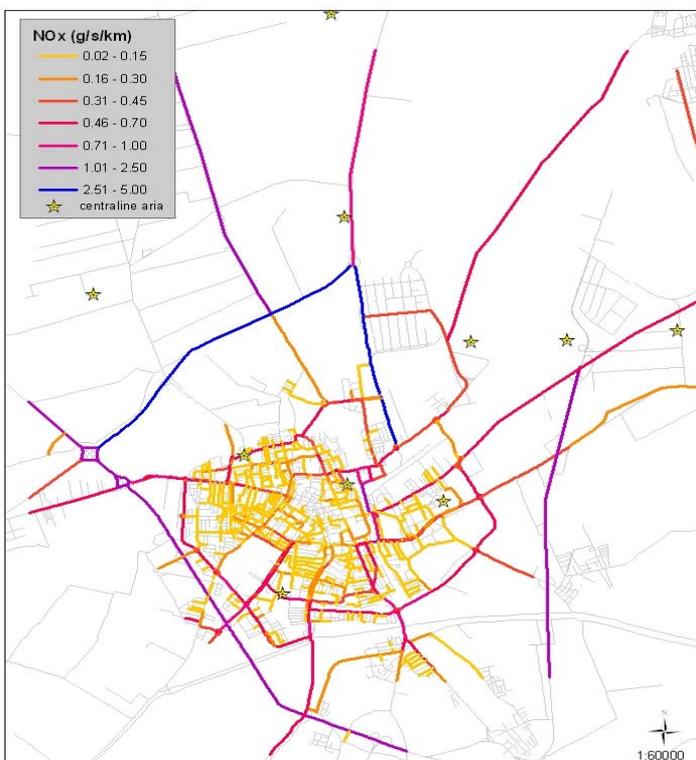
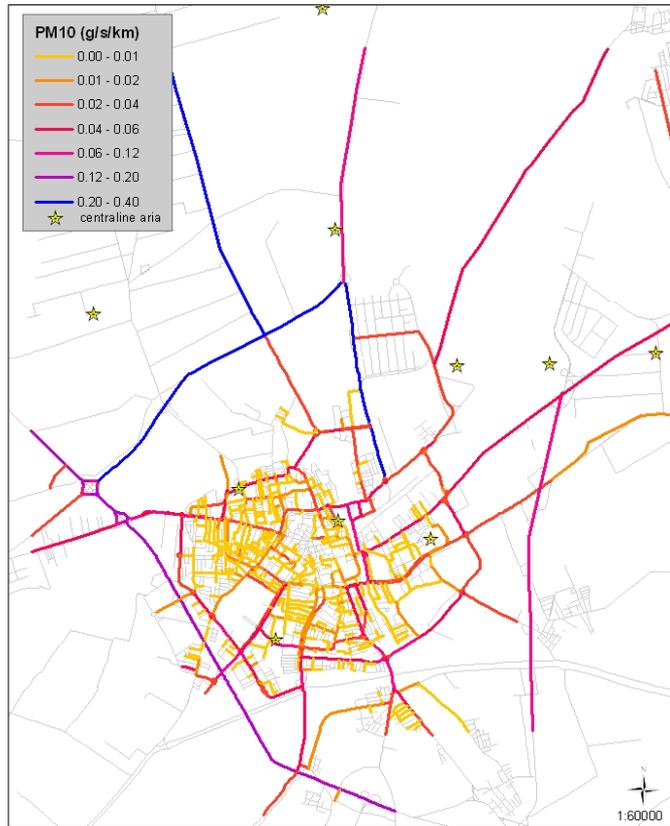


Figura 3.4 - Mappe di emissione di monossido di carbonio, ossidi di azoto e PM10 (g/s/km)

Per un controllo i risultati ottenuti sono stati successivamente confrontati con i dati di emissione prodotti dal software INEMAR (Arpa Lombardia, 2007), a cui sono stati inseriti in input i flussi veicolari, la suddivisione percentuale dei veicoli nelle cinque categorie principali (autovetture, mezzi leggeri, mezzi pesanti, bus e motocicli) e la variazione temporale dei flussi di traffico. Inoltre il software INEMAR richiede in ingresso la velocità massima relativa ad ogni arco, posta in questo caso pari al limite di velocità dello stesso.

Per quanto riguarda PM10 e NOx le emissioni ottenute con INEMAR sono risultate in linea con quelle calcolate usando la macro visual basic appositamente costruita, con uno scarto percentuale pari al 2% per le polveri e al 10% per gli ossidi di azoto.

Diversa la situazione per il monossido di carbonio che risulta notevolmente più contenuto (circa un quinto) rispetto a quello calcolato con la macro. La discrepanza è imputabile principalmente alla diversa velocità attribuita ai veicoli circolanti in ambito urbano.

Infatti i fattori di emissione variano in funzione del ciclo di guida, quelli del CO in particolare raddoppiano quando si passa da una velocità di circa 50 km/h ad una di 20 km/h. INEMAR calcola la velocità negli archi in base alla velocità massima consentita e all'intensità del flusso veicolare; nel caso specifico di Ravenna è risultata una velocità media urbana nell'ora di punta pari a 40 km/h, mentre la macro utilizza il fattore di emissione relativo al ciclo di guida urbano proposto da APAT, che considera una velocità media degli autoveicoli in città pari a 22,5 km/h.

3.3 SIMULAZIONE DELLA DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

I tronchi stradali considerati sono stati inseriti nel modello ADMS–Urban come sorgenti lineari. Quando il modello simula la dispersione di inquinanti emessi da sorgenti stradali, per caratterizzare la sorgente richiede informazioni relative a:

- Portata emissiva della strada, espressa in g/s/km
- Elevazione della strada
- Larghezza della strada e altezza di canyon

Inoltre vanno inserite informazioni relative a:

- Variabilità temporale nella portata emissiva delle strade;
- Condizioni meteorologiche relative al periodo di simulazione (dati orari di direzione e intensità del vento, temperatura superficiale e radiazione solare);
- Informazioni sulle variabili di output richieste.

Il tasso emissivo di ogni strada è stato calcolato come esposto nel capitolo precedente, mentre l'elevazione delle strade è stata posta nulla, poiché si tratta di una zona di pianura.

La larghezza delle strade è stata presa dal database che raccoglie tutte le strade del Comune, fornito dal SIT del Comune di Ravenna.

Il periodo di simulazione preso in considerazione va dal 1 Gennaio al 31 Dicembre. I dati meteorologici inseriti in input al modello, riferiti a velocità e direzione del vento, temperatura superficiale e flusso di calore sensibile, sono quelli misurati presso la stazione meteorologica urbana di Ravenna, ubicata in piazza dei Caduti, gestita dal Servizio Idro – Meteorologico dell'Arpa (SIM) nel 2005.

Per la simulazione Long Term è stata applicata in output la griglia intelligente, in grado di ben rappresentare gli andamenti delle concentrazioni di inquinanti tipici del traffico urbano.

3.3.1 Altezza di canyon

Una delle maggiori potenzialità di ADMS–Urban consiste nella sua capacità di considerare l'effetto “street canyon”, ovvero l'effetto di confinamento dell'emissione stradale esercitato dagli edifici di altezza significativa situati da entrambi i lati di una strada.

Per tenere conto di questo effetto, il modello necessita di informazioni in input relative all'altezza degli edifici circostanti le strade.

Per ottenere questa informazione è stata utilizzata la banca dati degli edifici fornita dal SIT del Comune di Ravenna; da questa sono stati estrapolati gli edifici situati entro una distanza di 10 m dalle strade considerate ed è stata calcolata, tramite una complessa procedura eseguita con software Arcview, l'altezza media degli edifici affacciati su ogni strada, riportata in figura 3.5.

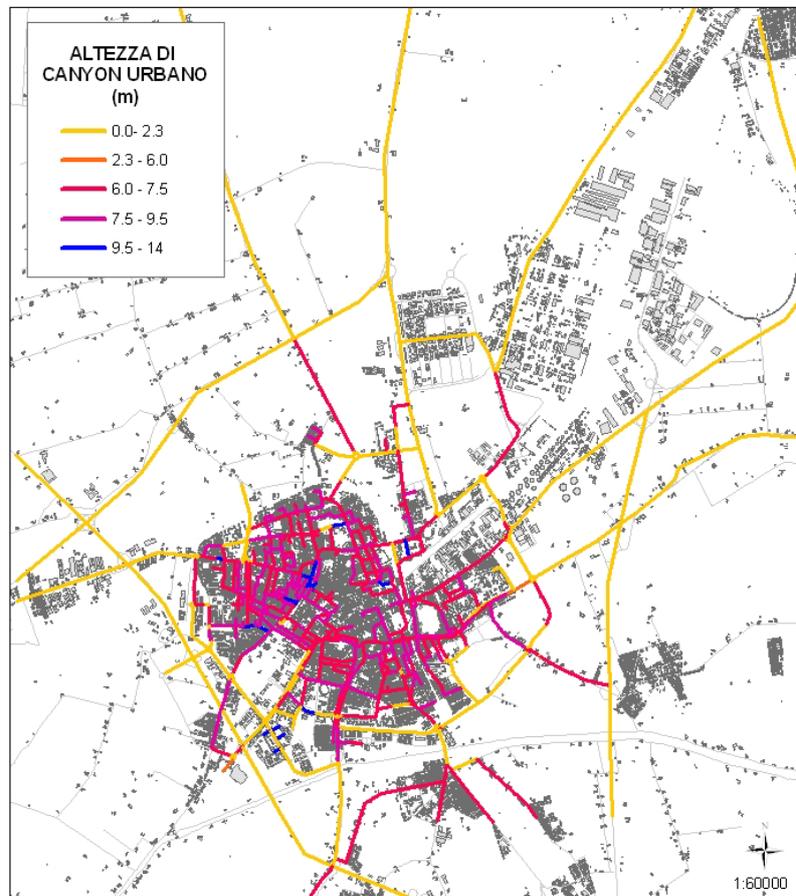


Figura 3.5 - Altezza di canyon (m)

3.3.2 Variazione temporale del traffico

Si è tenuto conto del fatto che il traffico subisce delle variazioni orarie, settimanali e mensili.

Per quanto riguarda la variazione mensile, è stata supposta una riduzione del traffico del 20% per tutte le strade considerate nei mesi estivi (da Giugno a Settembre).

Le variazioni orarie e settimanali sono state stimate invece a partire da rilievi effettuati da Arpa Ravenna (per le strade interne al centro urbano) e dalla Regione Emilia – Romagna (per le strade statali).

L'Arpa di Ravenna ha effettuato negli anni 2001 ÷ 2003 una serie di monitoraggio del traffico urbano utilizzando appositi sensori (piastre conta - traffico). Le piastre, fissate nell'asfalto, rilevano il passaggio dei veicoli in base alla variazione del campo magnetico indotta dal passaggio dei mezzi e forniscono i dati di traffico orari relativi ad ogni tronco monitorato. Sono stati monitorati 25 incroci cittadini per un totale di 47 campagne della durata di circa una settimana.

I tre profili di variazione temporale del traffico inseriti in input al modello, relativi rispettivamente alle strade interne al centro urbano e alle strade statali Romea e Adriatica, tipici di giorni feriali (escluso il giovedì per i provvedimenti di blocco di traffico), prefestivi (sabato) e festivi (domenica) sono riportati nei grafici in figura 3.6 e 3.7.

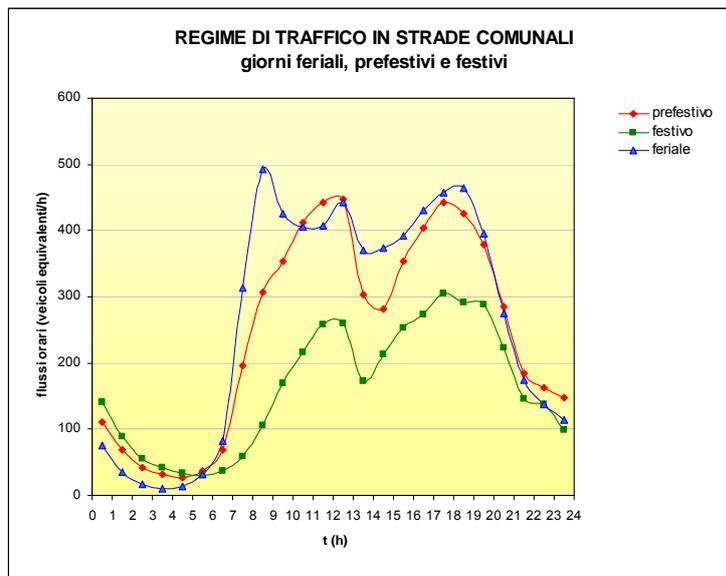


Figura 3.6 - Regime di traffico nelle strade comunali in giorni tipici feriali, prefestivi e festivi.

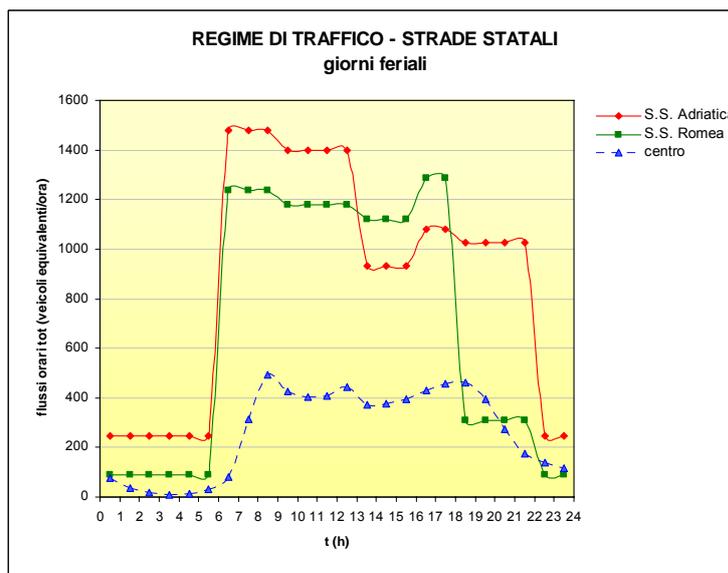


Figura 3.7- Regime di traffico nelle strade statali Adriatica e Romea in un giorno feriale.

3.4 DISPERSIONE AL SUOLO

Di seguito sono riportate le mappe di dispersione al suolo relative ai tre inquinanti considerati (fig. 3.9 – 3.10); in generale le concentrazioni maggiori si rilevano lungo le direttrici di maggior traffico, sia in ambito urbano che extraurbano, ma con sostanziali differenze nella diffusione dei tre inquinanti.

Per quanto concerne il monossido di carbonio (fig. 3.8), le medie annuali sono sempre al di sotto dei 5 mg/m³, anche nelle zone di maggiore concentrazione, dislocate lungo le strade statali e provinciali esterne al centro abitato. In centro storico, ad eccezione di viale Santi Baldini, i valori medi annui non superano i 0.5 mg/m³, come rilevato anche dalle centraline collocate in area urbana.

Per poter esprimere il biossido di azoto (NO₂) in µg/m³ (fig. 3.9) e facilitare così il confronto con i dati misurati alle centraline e la comprensione della mappa di diffusione, è stata necessaria un'ulteriore elaborazione dei dati in uscita dal modello. I fattori di emissione di questo macrosettore si riferiscono infatti agli ossidi di azoto (NO_x) nel loro complesso, per cui in output sono state calcolate le concentrazioni medie annue di ossidi di azoto, espresse in µg/m³. Valutando le concentrazioni di monossido di azoto (NO) e biossido di azoto rilevate nelle 4 centraline dislocate in area urbana (zalamella, rocca brancaleone, stadio e caorle) è stato ricavato il rapporto medio fra questi due inquinanti e calcolato un fattore di conversione da NO_x in µg/m³ a NO₂ in µg/m³ ipotizzando che gli ossidi di azoto siano composti da una miscela di NO e NO₂.

In particolare il rapporto NO/NO₂, entrambi espressi in µg/m³ e pari a 0.44, è stato calcolato come media degli ultimi 3 anni (2004 – 2006); da cui risulta un fattore di conversione espresso dalla formula:

$$\text{NO}_2[\mu\text{g}/\text{m}^3] = 0.736 * \text{NO}_x[\mu\text{g}/\text{m}^3]$$

Si è scelto di non fare calcolare direttamente al modello il biossido di azoto attivando l'apposito modulo chimico perché ADMS-Urban basa la conversione da NO_x a NO₂ considerando gli ossidi di azoto composti da una miscela al 90% di NO e al 10% di NO₂, che non rispecchia la realtà dell'area urbana ravennate.

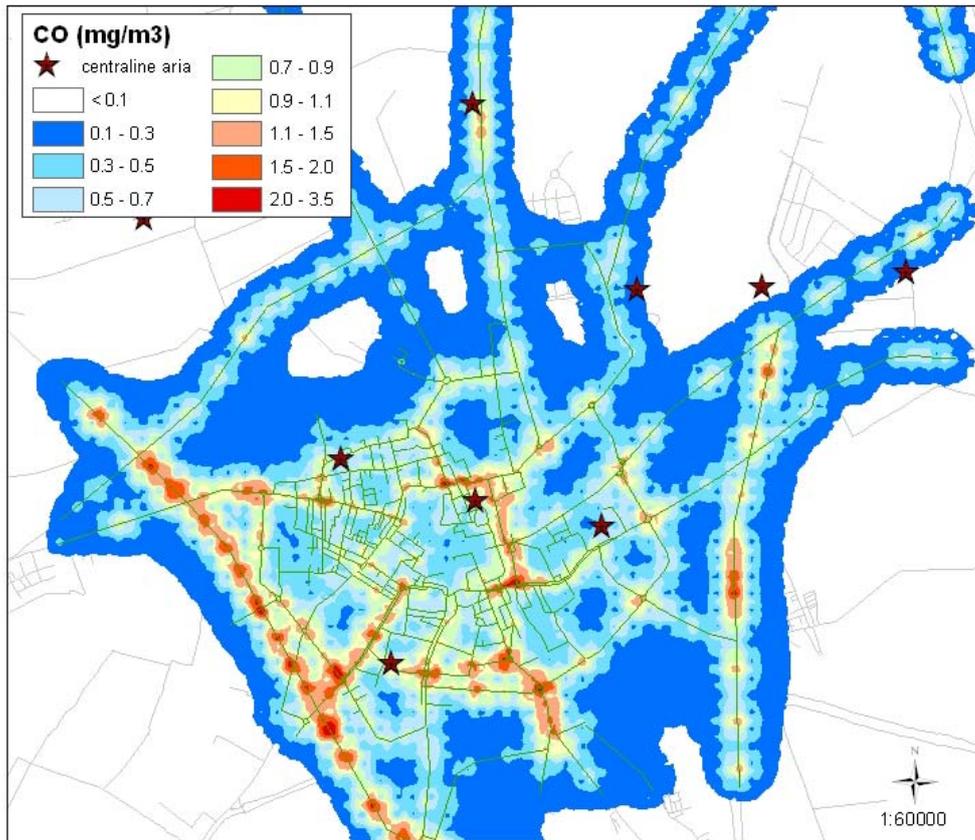


Fig. 3.8 – Mappa di dispersione al suolo relativa al monossido di carbonio

Anche dalla mappa di diffusione del biossido di azoto (fig. 3.9), risulta evidente la notevole discrepanza fra le concentrazioni medie annue simulate nei pressi delle direttrici a maggiore flusso veicolare e le aree prevalentemente residenziali. A differenza del monossido di carbonio, le concentrazioni maggiori si rilevano lungo la statale Romea e la statale San Vitale, la spiegazione è da ricercare sia nella diversa composizione dei flussi, soprattutto in termini di mezzi pesanti, sia nei relativi fattori di emissione.

Anche dalla mappa di diffusione - a conferma di quanto rilevato dalle centraline della rete di controllo della qualità dell'aria in area urbana - l'NO₂ risulta un inquinante critico, ed in diverse zone i valori di concentrazione sono superiori a 40 µg/m³ (limite della media annuale), in particolare nei pressi della stazione e della Rocca e di Via Zalamella.

Analoghe considerazioni possono essere fatte per quanto riguarda la simulazione della diffusione del PM₁₀ primario (Fig.3.10): la mappa indica valori contenuti in area urbana e sensibilmente maggiori lungo le strade statali, caratterizzate da un consistente transito di mezzi pesanti.

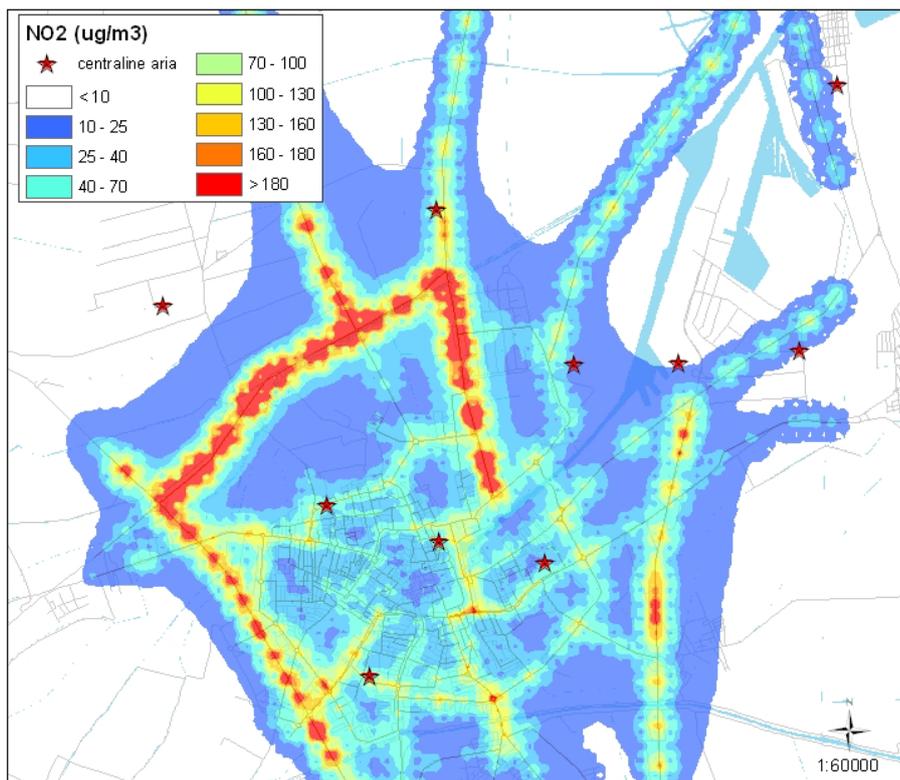


Figura 3.9 - Mappa di dispersione al suolo relativa al biossido di azoto

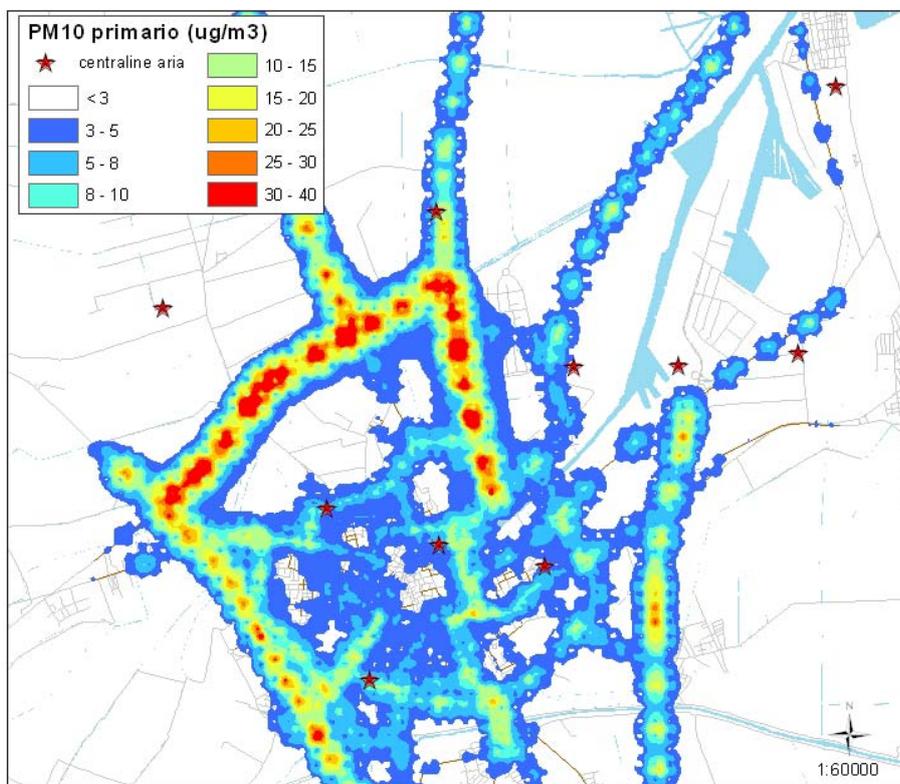


Figura 3.10 - Mappa di dispersione al suolo relativa al PM10 primario

4 . RISCALDAMENTO DOMESTICO

Il riscaldamento degli edifici è un'altra fonte d'emissione caratteristica dell'ambiente urbano. Se non metanizzato, il riscaldamento degli ambienti può contribuire in modo sostanziale alle emissioni di ossidi di azoto e di materiale particolato. La diffusa metanizzazione presente nell'area urbana di Ravenna rende questo settore poco significativo sia per i quantitativi assoluti di inquinanti emessi che per la loro diffusione.

4.1 COMPILAZIONE DELL'INVENTARIO DELLE EMISSIONI

4.1.1 Georeferenziazione e caratterizzazione degli impianti di riscaldamento

La stima delle emissioni relative a questo settore è stata effettuata a partire dalla quantità di combustibile impiegata dagli impianti di riscaldamento. La fase propedeutica alla realizzazione dell'inventario delle emissioni è stata quindi il censimento delle sorgenti emissive, ovvero la conoscenza del numero e della localizzazione delle sorgenti e del tipo e della quantità di combustibile utilizzato da ogni impianto di riscaldamento.

Le sorgenti di emissione considerate sono tutte le caldaie a metano, GPL, gasolio, biodiesel e olio combustibile presenti nel centro urbano di Ravenna, la cui delimitazione è mostrata in Fig.4.1

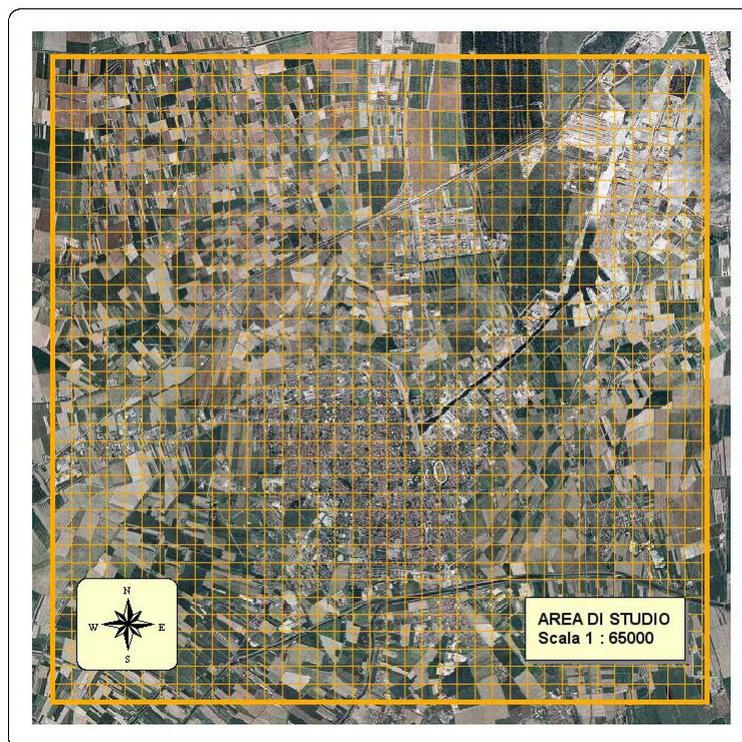


Fig.4.1 - Delimitazione dell'area considerata per il settore "riscaldamento domestico".

Per la caratterizzazione delle sorgenti è stato necessario utilizzare informazioni provenienti da fonti diverse. Per la localizzazione e i consumi di combustibile delle caldaie a metano Hera s.p.a. ha messo a disposizione un database relativo ai consumi registrati al contatore di ogni singola utenza, relativi all'anno termico che va dal 30 Luglio 2003 al 1 Settembre 2004. Il consumo fornito da Hera è ricostruito in base alle letture disponibili o alle previsioni fatte utilizzando la

curva termica stimata. Poiché quasi tutti gli edifici del Comune che utilizzano il metano come combustibile da riscaldamento sono riforniti dalla rete di distribuzione di Hera, si reputa che le informazioni relative agli impianti di combustione non industriale a metano siano accurate ed esaurienti.

Per quanto riguarda le caldaie a GPL, informazioni relative alla loro potenza e al loro rendimento sono state desunte dagli allegati H forniti dal Comune di Ravenna. Gli allegati H costituiscono il "rapporto di controllo tecnico" in cui il manutentore abilitato certifica che l'impianto è stato sottoposto a manutenzione. Su questi moduli sono indicati, oltre ai dati anagrafici del responsabile dell'impianto (proprietario, inquilino, amministratore), l'anno di installazione del generatore di calore, la potenza nominale, il rendimento, la destinazione dell'impianto (riscaldamento o acqua calda sanitaria) e il tipo di combustibile utilizzato.

Infine, informazioni relative alla localizzazione e al consumo di combustibile delle caldaie alimentate a gasolio, biodiesel e olio combustibile, sono state ricavate dai dati di vendita forniti dai maggiori rivenditori operanti nel Comune di Ravenna, dai certificati di prevenzione incendi forniti dai Vigili del Fuoco di Ravenna e dagli allegati H del Comune di Ravenna per gli edifici pubblici.

Tutte le informazioni raccolte per questi combustibili si riferiscono all'anno 2005, ad esclusione di quelle desunte dai certificati di prevenzione incendi e dalle pratiche di rinnovo del certificato che si riferiscono alla data di rilascio del documento stesso.

La distribuzione spaziale delle caldaie sul territorio comunale di Ravenna, è visibile in figura. 4.2. In figura 4.3 sono state selezionate invece le caldaie a metano caratterizzate dal maggior consumo annuale di combustibile, mentre in figura.4.4 sono rappresentate le sole caldaie alimentate da combustibili non metanizzati.

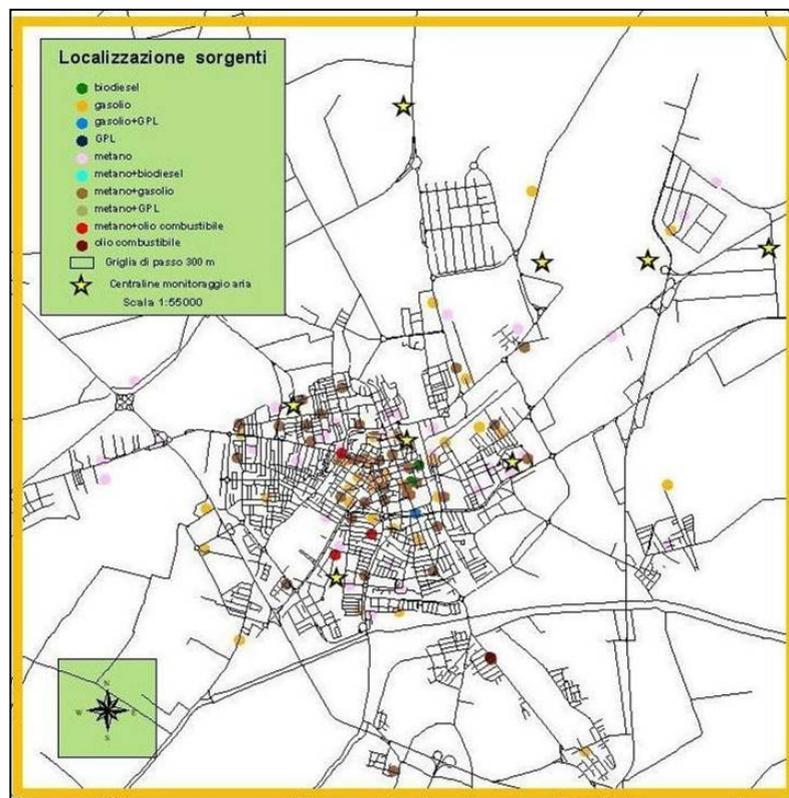


Figura. 4.2 - Distribuzione spaziale delle caldaie nell'area urbana

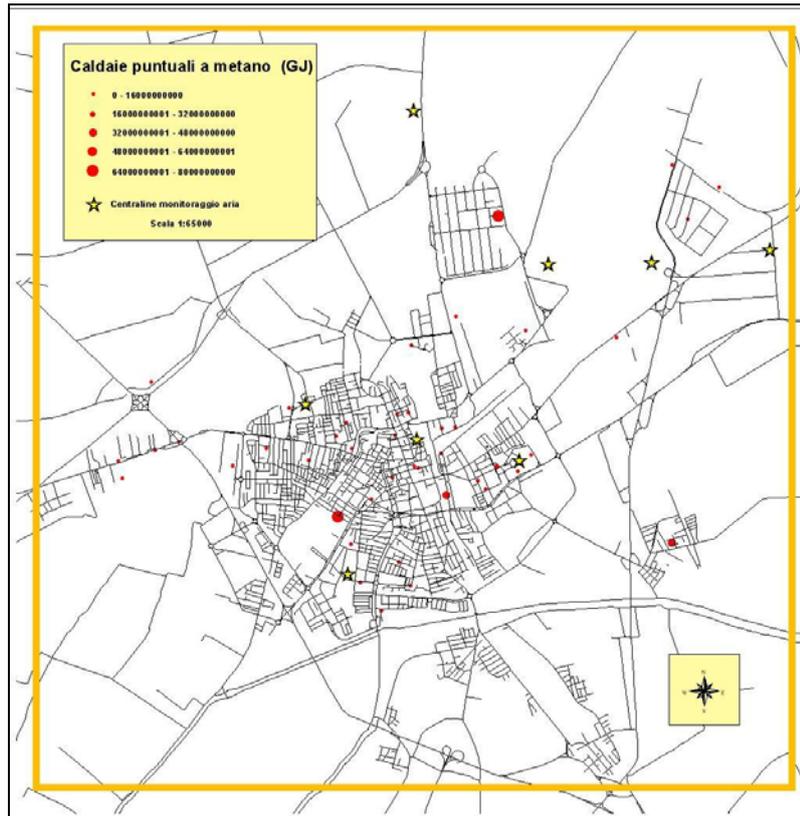


Figura. 4.3 - Localizzazione delle sole caldaie a metano rappresentate in base al consumo di combustibile (GJ) nel periodo Ottobre 2004 – Aprile 2005

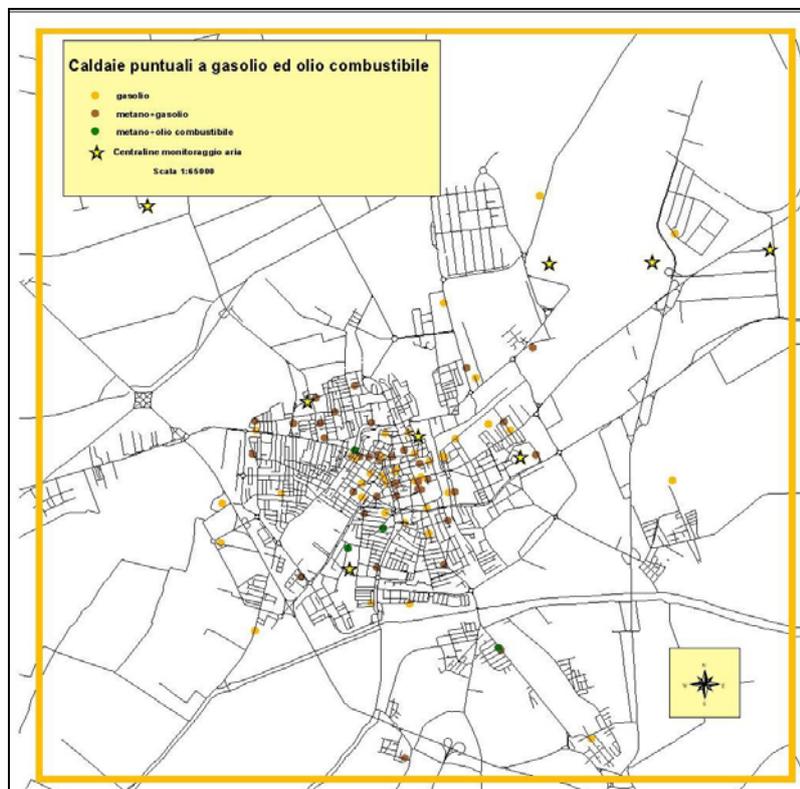


Figura. 4.4 - Localizzazione delle sole caldaie a gasolio ed olio combustibile.

Sono stati censiti in tutto i consumi di 18129 civici ubicati nel centro di Ravenna, che rappresentano complessivamente il 69% dei civici del centro cittadino. I restanti civici corrispondono prevalentemente ad edifici non riscaldati (servizi, garage, cimitero...) e ad edifici adibiti ad attività industriali, che non sono state considerate nel presente studio. Si ritiene quindi che l'informazione relativa al riscaldamento del settore residenziale si avvicini ad un livello di completezza buono e che rappresenti una solida banca dati dalla quale partire per effettuare considerazioni rappresentative della realtà ravennate.

Come è possibile osservare dalla figura.4.5, che rappresenta la ripartizione delle caldaie censite in termini di combustibile utilizzato, il 99% delle caldaie del centro cittadino è alimentato esclusivamente a metano (17960 caldaie). Del restante 1%, il 33,1% viene alimentato a GPL (56 caldaie), il 22,5% sia a metano che a gasolio (38), il 23% completamente a gasolio (39), il 19% sia a metano che a GPL (32). Le caldaie ad olio combustibile o ad alimentazione mista olio combustibile – metano sono infine molto rare nel centro cittadino, ammontano solo al 2,4% delle caldaie non a metano (4 caldaie).

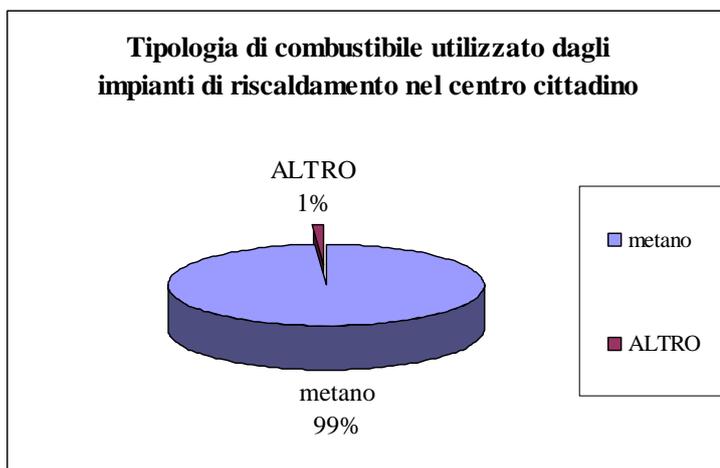


Figura. 4.5 - Tipologia di combustibile utilizzato dagli impianti di riscaldamento domestico nel centro cittadino di Ravenna

In termini energetici, dai dati censiti risulta che il settore del riscaldamento domestico nel centro di Ravenna comporta un complessivo consumo energetico di 868 GWh circa.

Il 97% di tale fabbisogno energetico è soddisfatto dal metano ed il restante 3% si suddivide fra sistemi combinati metano – gasolio, esclusiva alimentazione a gasolio, sistemi combinati metano – GPL e metano – olio combustibile, esclusiva alimentazione a olio combustibile.

Il contributo fornito dalle caldaie alimentate esclusivamente a GPL ammonta solo al 0,88% del contributo energetico fornito da sistemi alternativi all'uso esclusivo del metano. L'esiguità di tale contributo è giustificato dalla bassa potenza delle caldaie censite.

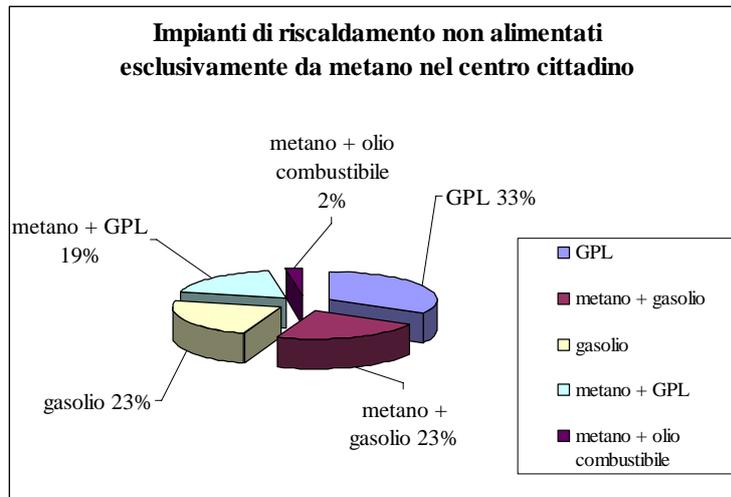


Figura. 4.6 - Ripartizione in dettaglio dei combustibili diversi dal metano utilizzati per il riscaldamento domestico a Ravenna.

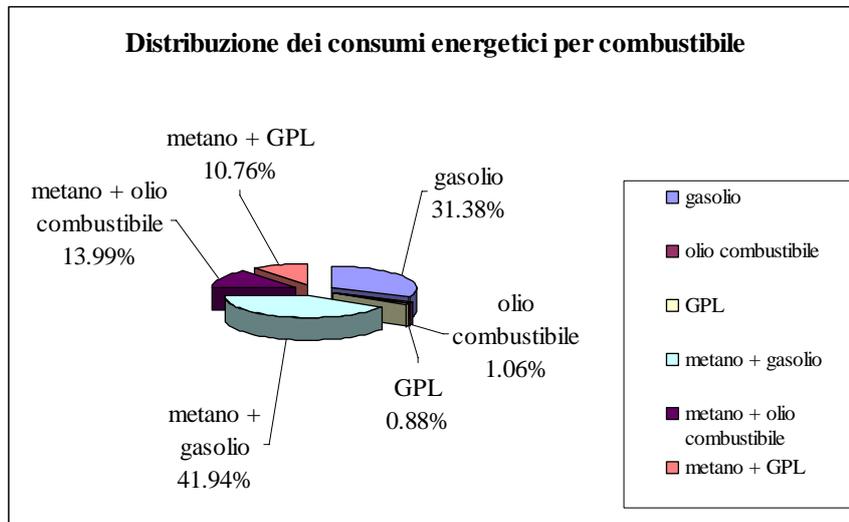


Figura. 4.7- Ripartizione in dettaglio dei consumi energetici che non derivano dal metano.

4.1.2 Calcolo del carico emissivo di ogni sorgente

Secondo la metodologia CORINAIR, il riscaldamento domestico fa parte del macrosettore 2, "Combustione non industriale" ed è inserito nel settore "Impianti residenziali".

Per la stima delle emissioni di inquinanti dalle caldaie domestiche sono stati utilizzati i fattori di emissione presenti nella banca dati Corinair 2006 (riferiti alle caldaie residenziali con potenza inferiore a 50 kW) per l'energia consumata dalla caldaia. I fattori di emissione per gli inquinanti considerati sono riportati in Tabella 4.1:

| Inquinante | Metano | Gasolio/ Olio combustibile | GPL |
|--------------|--------|----------------------------|--------|
| <i>g/MWh</i> | | | |
| NOx | 252.01 | 252.01 | 252.01 |
| PM10 | 1.8 | 10.8 | 1.8 |
| CO | 108 | 144 | 108 |

Tabella 4.1 - Fattori di emissione utilizzati per le caldaie domestiche [Corinair 2006]

Si sottolinea che il fattore di emissione utilizzato per il PM10 è cautelativo rispetto ad altri dati presenti in letteratura, che riportano valori per le caldaie domestiche fino a cinque volte inferiori: 0.0001 kt/PJ (IIASA) e 0.0002 kt/PJ (BUWAL, 2001).

Come si può vedere dalla tabella 3.1, i fattori di emissione per la sorgente "riscaldamento non industriale" sono espressi in termini di unità di energia consumata (es. g/MWh), o in termini di consumo di combustibile se si tiene conto del potere calorifico.

Per ogni impianto di riscaldamento georeferenziato il carico emissivo (E) è stato quindi calcolato moltiplicando il fattore di emissione al consumo di combustibile, espresso in termini energetici, secondo la seguente formula:

$$E = FE * energia_{consumata}$$

Poiché Hera e le ditte che forniscono gasolio e olio combustibile liquido nel Comune di Ravenna hanno fornito dati relativi al consumo di combustibile, l'energia annuale consumata è stata calcolata moltiplicando il consumo al potere calorifico del combustibile. Per i consumi forniti in termini di volume è stata effettuata la conversione a massa moltiplicando il dato per la densità del combustibile.

$$energia_{consumata} = C * P.C.I. * \rho$$

dove C rappresenta il consumo di combustibile in volume, ρ la densità e PCI il potere calorifico inferiore del combustibile.

I valori di densità e potere calorifico utilizzati ai fini del calcolo sono riassunti in Tabella. 4.2.

| | Densità | P.C.I. |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| gasolio | 820 kg/m ³ (densità gasolio da riscaldamento a 15°C) | 10000 kcal/kg |
| metano | informazione non richiesta | 34.541*10 ⁻³ GJ/m ³ |
| olio combustibile | 0,86 max (densità olio combustibile fluido 0,8% Zolfo con Biodiesel) | 9500 kcal/kg min (per olio combustibile fluido 0,8% Zolfo con Biodiesel) |

Tab. 4.2 - Densità e poteri calorifici inferiori (P.C.I.) dei combustibili considerati

Per quanto riguarda il gas propano liquido, gli allegati H del Comune riportano la potenza e il rendimento di ogni impianto censito, quindi in tal caso l'energia consumata dall'impianto è stata calcolata con la formula:

$$energia_{consumata} = \frac{P}{\eta}$$

dove P e η indicano rispettivamente la potenza e il rendimento della caldaia

In Tabella 4.3 sono riportati i carichi emissivi complessivi stimati

| Carichi emissivi annuali (t/a) | | | |
|----------------------------------|-----------------|------------------|------|
| | NO _x | PM ₁₀ | CO |
| Caldaie del centro urbano | 213.8 | 1.7 | 92.3 |

Tabella 4.3– Carichi emissivi annuali complessivi del riscaldamento domestico nell'area urbana del Comune di Ravenna.

4.2 MAPPE DI EMISSIONE

Una volta che sono state ottenute informazioni relative al carico emissivo di ogni caldaia (espresso in GJ/anno) si è voluto sintetizzare l'informazione calcolando il carico emissivo proprio di aree di territorio più ampie. Sono state quindi realizzate mappe di carico emissivo.

L'area del centro urbano di Ravenna oggetto del presente studio, avente estensione di un quadrato di 11100 m di lato, è stata arbitrariamente suddivisa in 1368 celle quadrate aventi lato di 300 m (vedi figura. 4.1).

La portata emissiva di ogni maglia della griglia formata è stata calcolata sommando i carichi emissivi di tutte le caldaie (sorgenti puntiformi) presenti all'interno di ogni cella della griglia, ed espressa in g/s*m².

Sono riportate in seguito le mappe di emissione, ovvero mappe che illustrano i carichi emissivi annuali (in ton/anno) degli inquinanti considerati per ogni cella della griglia di input.

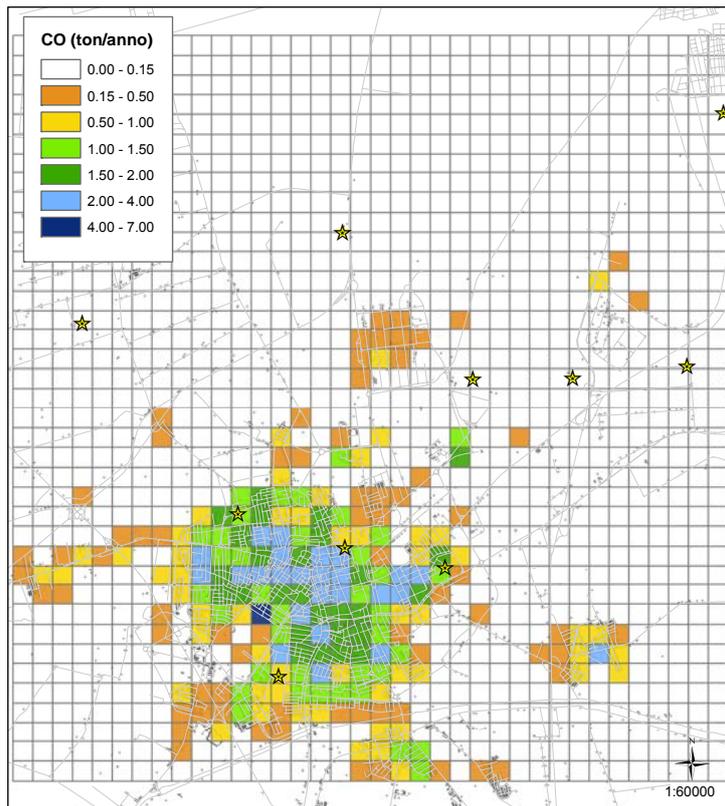


Figura 4.8 - Mappa di emissione di monossido di carbonio

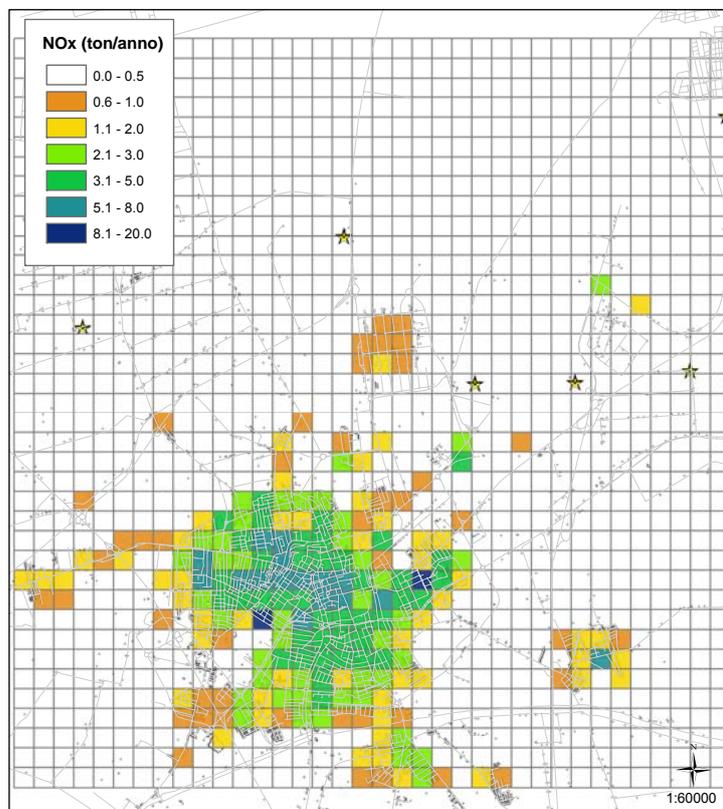


Figura 4.9 - Mappa di emissione di ossidi di azoto

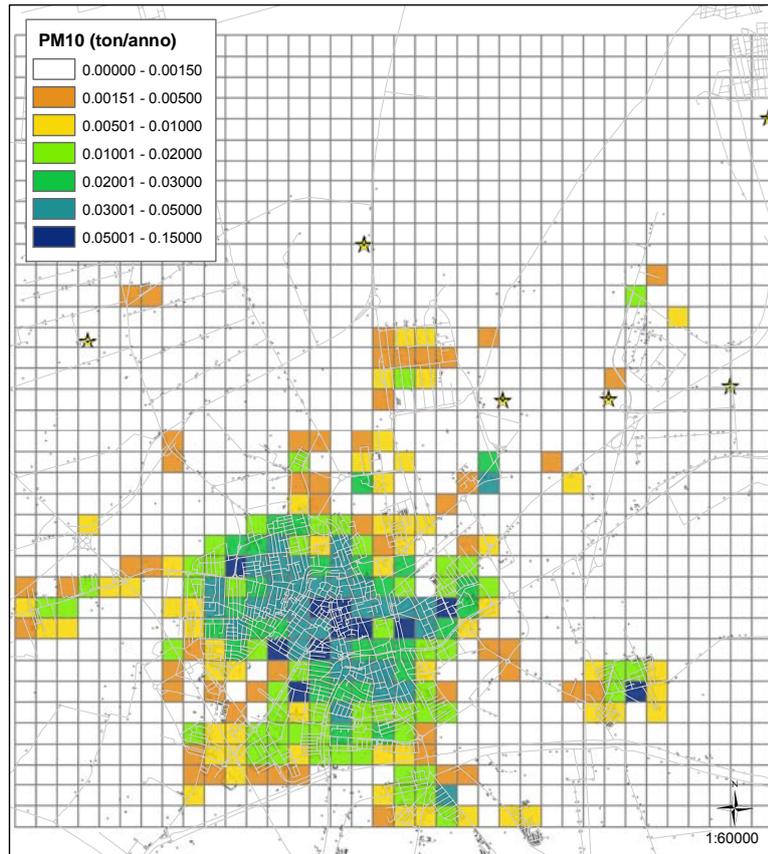


Figura 4.10 - Mappa di emissione di PM10.

4.3 SIMULAZIONE DELLA DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

Poiché gli impianti di combustione ad uso civile sono sorgenti di emissione di scarsa entità diffuse nel territorio, tipicamente vengono gestite dal modello come “sorgenti di griglia”, accorpare le emissioni delle caldaie domestiche che ricadono in una determinata area. E' stata quindi inserita in input la griglia rappresentata in Fig. 4.1, formata da “celle” quadrate di 300 m di lato.

Per caratterizzare la sorgente di griglia il modello richiede informazioni relative alla portata emissiva di ogni cella (in g/s/m²) e all'altezza di griglia.

Inoltre vanno inserite informazioni relative a:

- Variabilità temporale nella portata emissiva delle caldaie;
- Condizioni meteorologiche relative al periodo di simulazione;
- Informazioni sulle variabili di output richieste.

La portata emissiva delle celle è stata calcolata come descritto precedentemente e inserita in input.

Per tutte le celle della griglia emissiva è stata ipotizzata un'altezza di emissione media di 10 m. Tale valore deriva dall'elaborazione delle statistiche ISTAT (Censimento ISTAT, 2001) relative

agli edifici dell'area urbana di Ravenna dove viene riportato che l'8% degli edifici è ad 1 piano, il 61% a 2 piani, il 21% a 3 piani ed il 10% ha un numero di piani superiore a 4.

Il periodo di simulazione selezionato corrisponde al periodo di funzionamento del riscaldamento domestico, che va dal 15 Ottobre al 15 Aprile, così come stabilito dal DPR n°412 del 26/08/1993 per la zona climatica E cui appartiene il comune di Ravenna. In particolare sono stati utilizzati i dati meteorologici misurati presso la Stazione meteorologica urbana dal 15 Ottobre 2004 al 15 Aprile 2005.

4.3.1 Variazione temporale delle emissioni delle caldaie domestiche

Le emissioni di inquinanti da parte delle caldaie domestiche variano in base al quantitativo di combustibile utilizzato ovvero alla richiesta di riscaldamento e quindi in funzione della temperatura ambientale esterna.

E' stata quindi prevista una "modulazione" delle emissioni, basata sull'andamento temporale dei gradi giorno, definiti come la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera. L'andamento mensile dei gradi giorno misurati presso la stazione meteorologica urbana di Ravenna è rappresentato in figura 4.11, dove i gradi giorno mensili relativi all'anno termico 2003 – 2004 sono confrontati con le medie mensili rilevate nel periodo 2002 – 2007. Poichè la variazione percentuale nell'anno termico è solo del 2%, per "modulare" il consumo di metano si è fatto riferimento all'andamento mensile dei gradi giorno dell'anno termico 2003 – 2004 al quale si riferiscono i dati di consumo forniti da Hera.

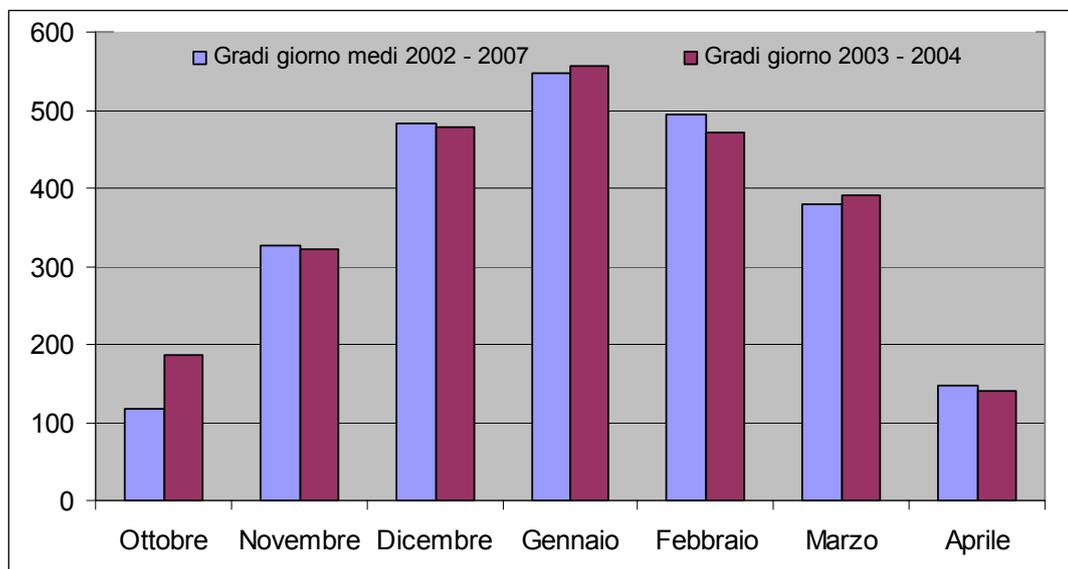


Figura 4.11 – Variazione mensile dei gradi giorno misurati nel centro urbano di Ravenna

Il modello è stato impostato per restituire in output le concentrazioni di inquinanti al suolo su una griglia di output intelligente avente estensione pari alla griglia di input.

Gli inquinanti di cui si è simulata la dispersione sono: CO, NO_x e PM10.

4.4 DIFFUSIONE DEGLI INQUINANTI AL SUOLO

Le concentrazioni sono restituite dal modello sui nodi di una griglia di 50x50 punti con passo 300 metri i cui valori sono stati rappresentati mediante isolinee generate dal software Spatial Analyst con il metodo Kriging di interpolazione.

Le mappe rappresentate nelle figure 4.12 – 4.14 riportano le concentrazioni medie annue stimate dal modello al suolo per CO, NO₂ e PM10. Come già illustrato nel capitolo precedente, la concentrazione al suolo di biossido di azoto è stata ricavata a partire da quella, in uscita dal modello, di ossidi di azoto, considerando gli NO_x formati al 66% da NO₂ e al 44% da NO, così come rilevato dalle centraline di monitoraggio ubicate in area urbana.

Le mappe di NO₂ e CO mostrano un pattern di diffusione concentrico con le massime ricadute in corrispondenza del centro urbano. La zona a maggiore ricaduta degli inquinanti emessi dal riscaldamento domestico si estende a ovest di Viale Santi Baldini (viale della stazione), comprende la zona pedonale situata intorno a Piazza del Popolo, interessando il centro storico della città, dove si ha una maggiore concentrazione di edifici.

La dispersione delle polveri sottili è invece largamente imputabile alla localizzazione delle caldaie a gasolio ed olio combustibile, mostrata in figura 4.3.

Per tutti gli inquinanti considerati la distribuzione spaziale delle concentrazioni ha un andamento spostato a sud – est e questo dipende dalla direzione prevalente di provenienza dei venti nel periodo autunno/inverno (Ovest_NordOvest e Nord_Ovest - Figura 4.2).

I valori simulati risultano comunque molto contenuti, ben al di sotto dei valori medi annui registrati dalle centraline di rilevamento della qualità dell'aria in ambito urbano, in particolare per le PM10 e il CO, il cui apporto alle concentrazioni urbane risulta trascurabile.

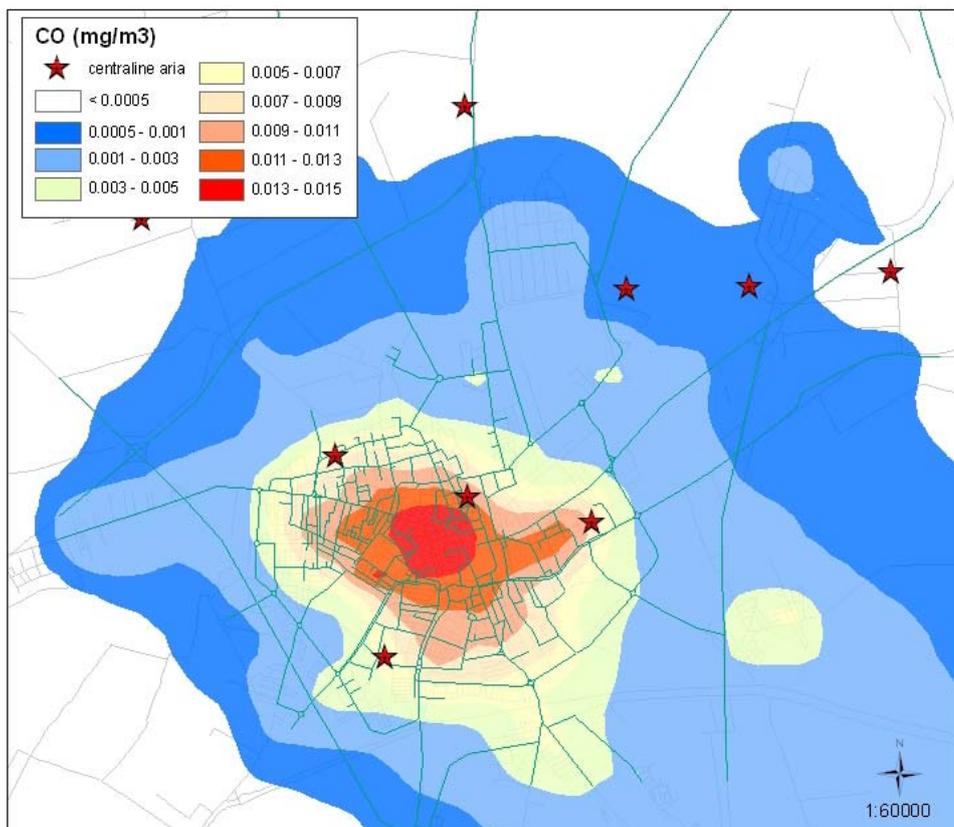


Figura 4.12 – Diffusione di CO al suolo dovuta al riscaldamento domestico.

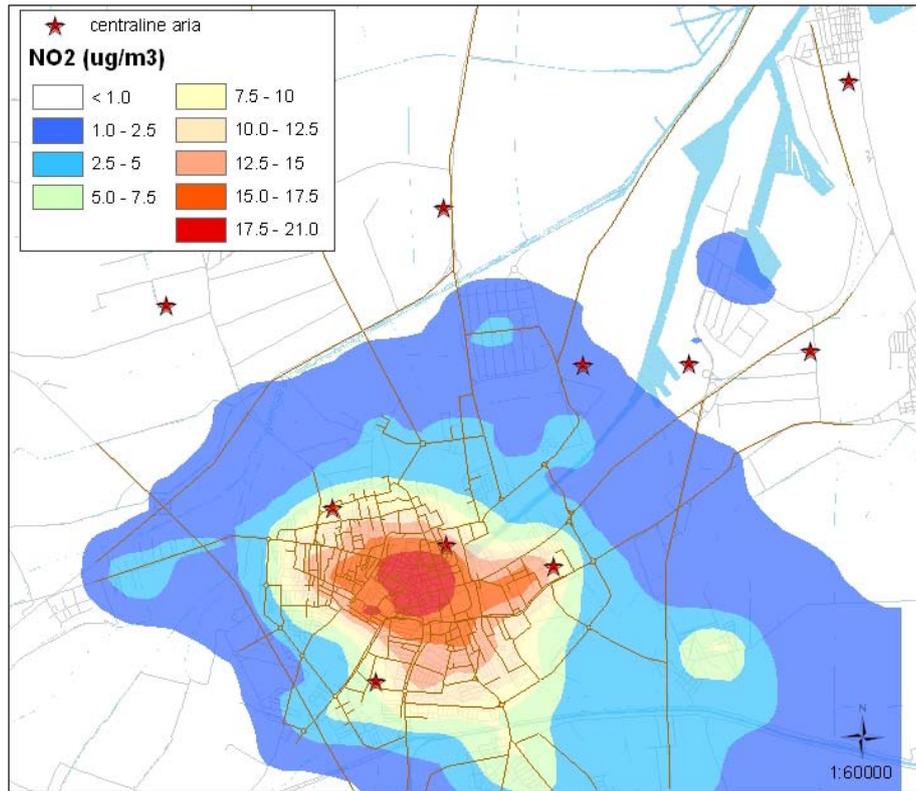


Figura 4.13 – Diffusione di NO₂ al suolo dovuta al riscaldamento domestico.

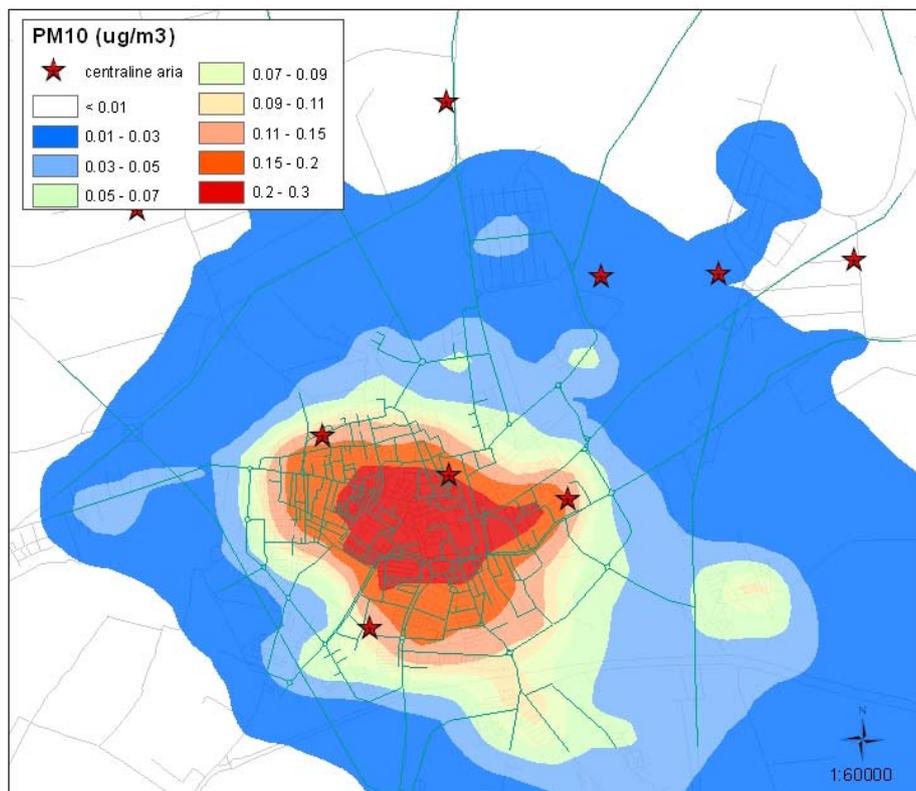


Figura 4.14 – Diffusione di PM10 al suolo dovuta al riscaldamento domestico.

5. SORGENTI INDUSTRIALI

Il settore industriale ravennate è caratterizzato da produzioni che, seppur diversificate, hanno come principale denominatore comune la chimica, oltre alla produzione di energia ed alla fornitura di servizi ambientali in gran parte asserviti alle aziende stesse.

Le principali attività produttive si sviluppano in una stretta fascia in destra e sinistra del Canale Candiano, da Ravenna città fino allo sbocco a mare.

Tutta l'area industriale è inserita in un contesto territoriale "sensibile" e di particolare complessità in quanto geograficamente situata in vicinanza del capoluogo e alle spalle del litorale turistico, con importanti zone naturalistiche (le Pinete e le Pialasse della Baiona e del Piombone) a nord e a sud che costituiscono la parte meridionale del Parco del Delta del Po e tutelate dalla Convenzione di Ramsar.

Il tessuto industriale e portuale ravennate risulta caratterizzato a grandi linee da:

- **un importante polo chimico e petrolchimico:** una parte di esso è produttiva, posta soprattutto in sinistra Candiano, e comprende Alma Petroli (raffinazione di greggio), Degussa e Cabot (produttrici di nero di carbonio), Polynt (anidride maleica e tetraidroftalica) e l'area denominata "ex stabilimento EniChem", che attualmente ospita 12 società coinsediate in un sito multisocietario : Polimeri Europa (elastomeri), Yara (fertilizzanti), Chemtura (antiossidanti), Endura (principi attivi per insetticidi), EniPower (energia), Borregaard (difenoli), Vinavil (colle), INEOS Vynils (PVC), Ecofuel (MTBE), Ravenna Servizi Industriali, Rivoira (liquefazione aria) e Ecologia Ambiente (servizi ambientali di depurazione e incenerimento); un'altra parte è solo di stoccaggio di prodotti petroliferi (Petra, P.I.R., AGIP, Adriatank, Decora)
- **due centrali termoelettriche** di proprietà EniPower e ENEL, entrambe localizzate in sinistra Candiano, l'una entro il sito multisocietario ex stabilimento EniChem e l'altra verso Porto Corsini
- un complesso di ditte a servizio del **settore agro-alimentare**, comprendente stoccaggi di fertilizzanti e cerealicoli, ecc. (C.A.P., Docks Cereali, Frigoterminal, SISM), e anche aziende produttive (BUNGE per gli oli alimentari/farine per uso zootecnico)
- alcune ditte facenti capo al **settore metallurgico**, come Marcegaglia (decapaggio coils e commercio prodotti siderurgici)
- **produzioni di cemento e prodotti per l'edilizia e la ceramica**, come Ravenna Mill, Colacem, Barbetti, Fassa
- una molteplicità di **attività a servizio del porto** (cantieri, armatori, spedizionieri, lavaggi, assicuratori, fornitori di bordo, agenzie marittime, ecc.).

5.1 COMPILAZIONE DELL'INVENTARIO DELLE EMISSIONI

La fase propedeutica alla redazione dell'inventario necessario per poter disporre di un archivio completo di tutte le informazioni utili per l'analisi e lo studio degli scenari emissivi è costituita dal censimento delle sorgenti di emissione, attività caratterizzata dalla raccolta dei dati relativi alle caratteristiche chimico-fisiche e geometriche rispettivamente delle emissioni e dei camini.

La base di dati di partenza è rappresentata dalle informazioni strutturate nel database GIECA (Gestione Informatica Emissioni, Controlli e Autocontrolli) dedicato alla raccolta e alla gestione dei dati provenienti dai provvedimenti autorizzativi e dalle domande di autorizzazione alle

emissioni in atmosfera presentate dalle aziende, nonché dai dati degli autocontrolli effettuati dalle Aziende stesse¹, secondo la normativa vigente.

Ai fini dello studio in oggetto si sono considerati i punti di emissione riportati nei Provvedimenti di autorizzazione alle emissioni in atmosfera (DPR 203/1988) al 2005, rilasciati dall'Amministrazione Provinciale alle aziende del Comune di Ravenna ritenute non a ridotto inquinamento atmosferico.

5.1.1 La classificazione delle attività

La presenza di numerose tipologie di aziende ha portato alla necessità di ricorrere a codifiche che ne permettessero una classificazione univoca mediante la quale suddividere le attività emissive. Per questa ragione si è scelto di adottare una nomenclatura unica ed applicabile alle attività considerate detta SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution), elaborata nell'ambito del progetto europeo CORINAIR, giunta alla sua ultima revisione nel 1997 e pertanto denominata SNAP97.

In base alla classificazione SNAP97 tutte le attività antropiche e naturali che possono dare origini a emissioni in atmosfera sono ripartite in undici Macrosettori ognuno suddiviso in ulteriori due livelli (Settore e Attività), in modo tale che ad ogni singola attività che potenzialmente produce emissioni in atmosfera risulta assegnato un codice che la identifica in modo univoco. Si codificano con questo sistema 56 Settori per un totale di 260 Attività.

Gli impianti considerati nell'indagine ambientale del territorio comunale di Ravenna, soggetti ad autorizzazione esplicita e ricadenti nel dominio di calcolo, sono 99 per un totale di 670 camini, ripartiti nei seguenti Macrosettori:

| Macrosettore SNAP97 | | Numero impianti | Numero camini |
|----------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|----------------------|
| 01 | Produzione energia e trasformazione combustibili | 2 | 6 |
| 03 | Combustione nell'industria | 5 | 55 |
| 04 | Processi produttivi | 57 | 459 |
| 05 | Estrazione e distribuzione di combustibili | 1 | 1 |
| 06 | Uso di solventi | 25 | 127 |
| 09 | Trattamento e smaltimento rifiuti | 9 | 22 |

Tabella 5.1 - Numero di impianti e camini autorizzati suddivisi per Macrosettore SNAP97

Le aziende presenti nel dominio di simulazione suddivise per macrosettore/settore/attività sono riportate nella tabella 5.2.

Macrosettore 01 - Produzione energia e trasformazione combustibili

Nel Comune di Ravenna le emissioni in atmosfera dovute alla produzione di energia e alla trasformazione di combustibili ricadenti nel dominio oggetto di studio sono imputabili alla presenza di due impianti, ENEL Produzione ed EniPower, dedicati alla produzione di energia elettrica e di vapore.

¹ La procedura di inserimento degli autocontrolli da parte delle aziende è al momento concordata e volontaria e pertanto ha la peculiarità di essere uno strumento di analisi statistica e per questo non sostituisce altre procedure di registrazione previsti dalle normative vigenti.

Macrosettore 03 - Combustione nell'industria

Questo macrosettore include sia attività di riscaldamento industriale sia quelle di produzione svolte per mezzo di processi che richiedono la presenza di forni di fusione o di cottura dei materiali.

Macrosettore 04 – Processi produttivi

La classificazione SNAP raccoglie in questo settore diverse attività di produzione industriale tra cui i processi nell'industria della raffinazione, i processi nelle industrie del ferro, le lavorazioni meccaniche, le lavorazioni del legno, i processi chimici, la produzione di carta e cartone e le produzioni alimentari.

Macrosettore 05 – Estrazione e distribuzione di combustibili fossili

Afferiscono a questo macrosettore le emissioni dovute all'estrazione, al trattamento di combustibili fossili solidi, liquidi o gassosi, nonché alla loro distribuzione (reti di distribuzione e condotte).

Macrosettore 06 – Uso di solventi

Sono comprese in questo macrosettore le attività di verniciatura e i suoi vari campi di utilizzo (verniciatura nelle carrozzerie, in edilizia, verniciatura del legno, di rivestimenti metallici, di imbarcazioni...), lo sgrassaggio dei metalli, la pulitura a secco, le attività di sintesi o lavorazione di prodotti chimici contenenti solventi o per la cui produzione vengono impiegati solventi e altri usi di solventi quali ad esempio l'industria della stampa, l'applicazione di colle e di adesivi.

Macrosettore 09 – Trattamento e smaltimento rifiuti

Questo macrosettore comprende tutte le attività legate allo smaltimento e al trattamento dei rifiuti e si articola secondo i seguenti ambiti: inceneritori di rifiuti, discariche, cremazione, trattamento di acque reflue, produzione di biogas, compostaggio.

| Azienda | Indirizzo | Codice SNAP97 | Descrizione Codice attività |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------|
| 010100 – PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA | | | |
| ENEL PRODUZIONE S.p.A. | Via Baiona, 253 Porto Corsini (RA) | 10101 | Caldaie con potenza termica >300MW |
| ENIPOWER S.p.A. | Via Baiona, 107 | 10101 | |
| 030311 – PROCESSI DI COMBUSTIONE CON CONTATTO | | | |
| FASSA s.r.l. | Del Cimitero, 125 | 30311 | Cemento |
| MICRON MINERAL S.p.A. | Del Bragozzo, 11 | 30311 | |
| RAVENNA MILL S.p.A. | Paleocapa, 1/3 | 30311 | Agglomerati bituminosi |
| S.I.C. | Via Trieste, 76 | 30313 | |
| SOCIETÀ ADRIATICA IMPIANTI E CAVE S.p.A. | | | |
| LA COMPAGNIA DELL'ORO s.r.l. | Via Canala, 79 | 30317 | Altro vetro |
| 040100 - Processi nell'industria petrolifera | | | |
| ALMA PETROLI S.p.A. | Baiona, 195 | 40101 | Lavorazione di prodotti petroliferi |
| 040200 - Processi nelle industrie del ferro e dell'acciaio e nelle miniere di carbone | | | |
| LA STRA SNC | Monti, 10 | 040210 | Altro |
| MARCEGAGLIA S.p.A. | Baiona, 141 | 040210 | |
| METALSIDER S.p.A. | Piomboni, 3 | 040210 | |
| ROMEA EQUIPMENT s.r.l. | Pastore, 15 | 040210 | |
| ROSETTI MARINO S.p.A. | XIII marzo 1987, 3 | 040210 | |
| SIDERURGICA RAVENNATE S.p.A. | Valle Bartina, 10 | 040210 | |
| 040300 - Processi nelle industrie di metalli non ferrosi | | | |
| ADRIATICA ALLUMINIO s.r.l. | Dello Stagnino, 1 | 040308 | Placcatura elettrica |
| C.M.C. COOPERATIVA MURATORI CEMENTISTI DI RAVENNA | Trieste, 76 | 040311 | Uso di materiale da saldatura |
| CANTIERI RAVENNA s.r.l. | XIII marzo 1987, 3 | 040311 | |
| CITIR s.r.l. | Dismano, 250 | 040311 | |
| COSMI MONTAGGI MECCANICI S.p.A. | Del Bragozzo, 26 | 040311 | |
| DIEFFE s.r.l. | Salentina, 9 | 040311 | |
| E.M.S. S.p.A. - ENERGY MAINTENANCE SERVICES | Del Marchesato, 13 | 040311 | |
| EMMEPI' s.r.l. | Salentina, 6 | 040311 | |
| F.LLI BARUZZI S.N.C. | Buozzi, 51 | 040311 | |
| FONDAZIONE NUOVO VILLAGGIO DEL FANCIULLO | 55 Martini, 79 | 040311 | |
| I.C.E. s.r.l. - INTERNATIONAL CONSTRUCTION EQUIPMENT | Magnani, 5 | 040311 | |
| IMPRESA OSSOLANA s.r.l. | Trieste, 290 | 040311 | |
| NUOVA OMG s.r.l. | Della Burchiella, 7 | 040311 | |
| ROSETTI MARINO S.p.A. | Del Marchesato, 37 | 040311 | |
| S.A.L.M. DI NERI SETTIMO E C. SNC | Pastore, 14 | 040311 | |
| 040400 - Processi nelle industrie chimiche inorganiche | | | |
| CABOT ITALIANA S.p.A. | Baiona, 190 | 040409 | Nerofumo |
| DEGUSSA ITALIA S.p.A. | Baiona, 170 | 040409 | |
| PENTA LOGISTICA s.r.l. | Buozzi, 30 | 040409 | |
| DOCKS CEREALI S.p.A. | Classicana, 59 | 040415 | Immazzinamento e trasporto di prodotti chimici inorganici |
| DOCKS e C. s.r.l. | D'Alaggio, 63 | 040415 | |
| ESERCIZIO TERMINALS | Baiona (area Trattaroli sinistra) | 040415 | |
| FOSFITALIA S.p.A. | Baiona, 135 | 040415 | |
| ITALTERMINAL s.r.l. | Trieste, 322 | 040415 | |
| ITALTERMINAL s.r.l. | Area Trattaroli destra - porto S. Vitale | 040415 | |
| LA PETROLIFERA ITALO RUMENA S.p.A. | Baiona, 259 | 040415 | |
| L'APPRODO s.r.l. | Muti, 10 | 040415 | |
| LLOYD RAVENNA S.p.A. | Baiona, 193 | 040415 | |
| SAPIR S.p.A. PORTO INTERMODALE RAVENNA | Darsena S. Vitale | 040415 | |
| SETRAMAR S.p.A. | Classicana, 99 | 040415 | |
| SILOS GRANARI DEL CANDIANO S.p.A. | Manfredi, 2 | 040415 | |
| SO.GE.MA. PORT s.r.l. | Darsena S. Vitale | 040415 | |
| SOCIETÀ RIPARBELLI E C. CASA DI SPEDIZIONI s.r.l. | Darsena, 19 | 040415 | |
| SOCO S.p.A. | Della Battana, 3 | 040415 | |
| NORIT ITALIA S.p.A. | Negrini, 9 | 040416 | Altro |
| RIVOIRA | Baiona, 108 | 040416 | |
| YARA ITALIA S.p.A. | Baiona, 107 | 040416 | |

| Azienda | Indirizzo | Codice SNAP97 | Descrizione Codice attività |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------------------|
| 040500 - Processi nelle industrie chimiche organiche | | | |
| BORREGAARD ITALIA S.p.A. | Baiona, 107 | 040527 | Altro |
| ECOFUEL S.p.A. | Baiona, 107 | 040527 | |
| ENDURA S.p.A. | Baiona, 107/111 | 040527 | |
| INEOS VINYL ITALIA S.p.A. | Baiona, 107 | 040527 | |
| GREAT LAKES MANUFACTURING ITALY s.r.l. | Baiona, 107/111 | 040527 | |
| LONZA S.p.A. | Baiona, 192 | 040527 | |
| POLIMERI EUROPA S.p.A. | Baiona, 107 | 040527 | |
| VINAVIL S.p.A. | Baiona, 107 | 040527 | |
| 040600 - Processi nell'industria del legno, pasta per la carta, alimenti, bevande e altro | | | |
| MOLINO BRIGANTI GIOVANNI E C. SNC | Romea Vecchia, 54/56 | 040605 | Pane |
| MOLINO SPADONI | Bevano, 7 | 040605 | |
| MOLINO SPADONI | Ravegnana, 746 | 040605 | |
| FALEGNAMERIA PRETOLANI | Classense, 27 | 040617 | Altro (incluso prodotti contenenti amianto) |
| PIER 12 | Del Marchesato, 27 | 040617 | |
| SICIS s.r.l. | Monti, 9/11 | 040618 | Uso di calce e dolomite |
| SICIS s.r.l. | Canala, 75/79 | 040618 | |
| SPADONI MARMI DI SPADONI A-D-P | Cella, 467/A | 040618 | |
| EVAN s.r.l. | Dismano, 114 | 040621 | Tostatura di caffè |
| AGRIEUROPA s.r.l. | Erbosa, 24/A | 040622 | Produzione di mangimi |
| AGRINOVA | Guerrini, 254 | 040622 | |
| CIDIERRE s.r.l. | Zuccherificio, 15 | 040622 | |
| CILPA | Classicana, 401 | 040622 | |
| CONSORZIO AGRARIO DI RAVENNA SOC. COOP. ARL | Delle Industrie, 107 | 040622 | |
| CONSORZIO AGRARIO DI RAVENNA SOC. COOP. ARL | Classicana, 75 | 040622 | |
| F.LLI MARTINI E C. S.p.A. | Antico Squero, 54 | 040622 | |
| GESCO CONSORZIO COOPERATIVO ARL | Classicana, 47 | 040622 | |
| SOPRED SOC. COOP. ARL - CAMPIANO | Lunga, 81 | 040622 | |
| SOPRED SOC. COOP. ARL - S.ROMUALDO | Cà Bosco | 040622 | |
| TERREMERSE SOC. COOP. ARL - RAVENNA | Classicana, 313 | 040622 | |
| TERREMERSE SOC. COOP. ARL - S.ALBERTO | Guerrini, 295 | 040622 | |
| ADRIACAL s.r.l. | Orioli, 8 | 040623 | |
| CEMENTERIE ALDO BARBETTI S.p.A. | Baiona, 228 | 040623 | |
| CEMENTILCE s.r.l. | Baiona (area Trattaroli) | 040623 | |
| CEMILL s.r.l. | Torri, 365 | 040623 | |
| COLACEM S.p.A. | Baiona (area Trattaroli destra) | 040623 | |
| NUOVA MAREX s.r.l. | Area portuale Sapir S.p.A. | 040623 | |
| SAMA GIANCARLO | Canala, 95 | 040623 | |
| SINTINI DEMO BRUNO | Dell'Abbondanza | 040623 | |
| UNICALCESTRUZZI S.p.A. | Dismano, 116 | 040623 | |
| UNIMED S.p.A. | Classicana, 59 | 040623 | |
| AGRITECH S.p.A. | Braccasca, 54/B | 040627 | Prodotti da forno |
| DECO INDUSTRIE S. COOP. P.A. | Braccasca, 56 | 040627 | Industria delle carni |
| MA.GE.MA SOC. COOP ARL | Bevano, 3 | 040628 | |
| 050400 - DISTRIBUZIONE COMBUSTIBILI LIQUIDI (eccetto benzine) | | | |
| PETRA S.p.A. | Trieste, 290 | 50401 | Terminali marittimi |

| Azienda | Indirizzo | Codice SNAP97 | Descrizione Codice attività |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------|
| 060100 – VERNICIATURA | | | |
| CARROZZERIA CARNEVALI E VILLA DI CARNEVALI RAIMONDO E VILLA ETTORE E C. SNC | Dell'Abete, 21 | 60102 | Verniciatura: |
| CARROZZERIA CRICCA E GEMELLI SNC | Marconi, 71 | 60102 | |
| CARROZZERIA EUROPA SNC | Maestri del Lavoro, 44/F | 60102 | |
| CARROZZERIA FABBRI DI FABBRI BRUNO E C. SNC | Faentina, 222/A | 60102 | |
| CARROZZERIA MONTI E ZANETTI SNC | Sansovino, 23 | 60102 | |
| CARROZZERIA NUOVA DI SAVORELLI E CORSINI SNC | Castavignezza, 27/29 | 60102 | |
| CARROZZERIA RAVENNATE DI SMERALDI W., CASADEI G., PASINI A. SNC | Magnani, 14 | 60102 | |
| CARROZZERIA RIZZO DI RIZZO ENZO | Canalazzo, 124 | 60102 | |
| CARROZZERIA SORELLE CASADIO | Trieste, 208 | 60102 | |
| CONCESSIONARIA GHETTI GIOVANNI s.r.l. | Faentina, 179/B | 60102 | |
| 060100 – VERNICIATURA | | | |
| DONELLI EOS s.r.l. | Del Bragozzo, 7 | 60105 | Verniciatura: rivestimenti |
| DC VETRORESINA s.r.l. | Dell'Idrovora, 13 | 60106 | Verniciatura: imbarcazioni |
| ARTIGIANI DEL LEGNO | Buozzi, 4/B | 60107 | Verniciatura: legno |
| AIR LIQUIDE ITALIA SERVICE s.r.l. | Baiona, 160 | 60108 | Altre applicazioni industriali di verniciatura |
| ATM - AZIENDA TRASPORTI E MOBILITA' | Delle Industrie, 118 | 60108 | |
| CAR FIBREGLASS s.r.l. | Magnani | 60108 | |
| R & S s.r.l. | Faentina, 202 | 60108 | |
| S.T.E.R.N. sas | Dell'Abete, 21 | 60108 | |
| SVEIRA MESSINA s.r.l. | Santi, 15 | 60108 | |
| 060200 – SGRASSAGGIO, PULITURA A SECCO, COMPONENTISTICA ELETTRONICA | | | |
| C.G.R. CORNELIO GHINASSI RICAMBI S.p.A. | Faentina, 175 | 60204 | Altri lavaggi industriali |
| 060300 – PRODUZIONE O LAVORAZIONE DI PRODOTTI CHIMICI | | | |
| FLOR PLAST s.r.l. | Faentina, 190 | 60302 | Produzione/lavorazione cloruro di polivinile |
| RESIN PLAST RAVENNA S.p.A. | Faentina, 186 | 60302 | |
| I.T.G. s.r.l. - INDUSTRIA TOSCANA GOMME | Faentina, 218/F | 60305 | Produzione/lavorazione gomma |
| 060400 – ALTRO USO DI SOLVENTI E RELATIVE ATTIVITA' | | | |
| BUNGE ITALIA S.p.A. | Baiona, 203 | 60404 | Estrazione di grassi e di oli alimentari e non |
| BELVEDERE s.r.l. | Bondi, 37 | 60412 | Altro |
| 090200 – INCENERIMENTO RIFIUTI | | | |
| HERA S.p.A. (IMPIANTO DI TERMOVALORIZZAZIONE) | S.S. 309 Km 2,6 | 90201 | Incenerimento rifiuti solidi urbani |
| ECOLOGIA AMBIENTE s.r.l. | Baiona, 228 | 90202 | Incenerimento rifiuti industriali |
| 090400 – INTERRAMENTO RIFIUTI SOLIDI | | | |
| SOTRIS S.p.A. | S.S. 309 Km 2,6 | 90401 | Discarica controllata rifiuti |
| FIN.SO ENERGY s.r.l. | S.S. 309 Km 3,8 | 90405 | Gruppi elettrogeni di discariche |
| HERA S.p.A. (PRODUZIONE ENERGIA DA BIOGAS PRODOTTO DALLA DISCARICA) | S.S. 309 Km 2,6 | 90405 | |
| 091000 – ALTRI TRATTAMENTI DI RIFIUTI | | | |
| AMBIENTE MARE S.p.A. | Del Marchesato, 35 Marina di Ravenna | 91001 | Trattamento acque reflue industriali |
| ECOLOGIA AMBIENTE s.r.l. - TAS | Baiona, 182 | 91001 | |
| HERA S.p.A. (IMPIANTO DI DEPURAZIONE ACQUE REFLUE) | Romea Nord, 158 | 91002 | Trattamento acque reflue nel settore residenziale e commerciale |
| HERA S.p.A. (IMPIANTO PRODUZIONE CDR) | S.S. 309 Km 2,6 | 91008 | Altra produzione di combustibile (RDF) |

Tabella 5.2 – Attività industriali del dominio

5.1.2 - Metodologia per la stima delle emissioni

La quantificazione “analitica” delle emissioni inquinanti – cioè la misurazione utilizzando i sistemi di monitoraggio in continuo delle emissioni – è possibile solo per alcune particolari tipologie di inquinanti e di sorgenti, tipicamente grandi impianti industriali (ad esempio centrali termoelettriche, inceneritori, cementifici) le cui emissioni sono rilevanti e per questo controllate tramite sistemi di monitoraggio in continuo. L'utilizzo dei risultati delle analisi delle emissioni di impianti industriali di minori dimensioni è più problematico in quanto i dati derivano da misure periodiche, poco frequenti e condotte con altre finalità, quali la verifica dei limiti alle emissioni imposti dalle normative.

Molto spesso poi, i dati raccolti nei catasti delle emissioni su base provinciale contengono solo i valori massimi di concentrazione autorizzati previsti dal DPR 203/88, e quindi permettono la sola stima delle massime emissioni ammesse dalle normative. Si tratta di informazioni utili, ma poco rappresentative della realtà tanto più le emissioni effettive sono basse e lontane dai massimi consentiti.

Per quantificare le emissioni inquinanti prodotte dalla maggior parte delle industrie (per la quale mancava il dato del monitoraggio in continuo) si è quindi pensato di introdurre una diversa metodologia che permette di effettuare la stima sulla base di un fattore correttivo che caratterizza l'attività della sorgente. Tale fattore correttivo, applicato alla quantità di inquinante autorizzata, permette di stimare un'emissione più vicina alla realtà.

Pertanto due sono le stime calcolate degli inquinanti emessi in atmosfera dalle aziende considerate:

- Stima delle emissioni autorizzate rilasciate in atmosfera (emissione massima)
- Stima delle emissioni in atmosfera attraverso fattori di riduzione (emissione più realistica)

5.1.2.1 Stima delle emissioni autorizzate rilasciate in atmosfera

La stima delle emissioni autorizzate in t/anno per ogni inquinante “i” viene effettuata conoscendo le ore/giorno ed i giorni/anno di funzionamento dell'impianto che dà origine all'emissione stessa, la portata dell'emissione e la concentrazione dell'inquinante.

Per un dato inquinante si ottiene:

$$t/anno_{i_aut} = portata\ autorizzata \times ore_giorno \times giorni_anno \times concentrazione\ autorizzata$$

Quindi, i flussi massici annuali dei vari inquinanti sono stati calcolati sulla base dei dati presenti nei Provvedimenti di autorizzazione alle emissioni in atmosfera (DPR 203/1988).

Nel caso in cui nei Provvedimenti non risultasse indicata la durata giornaliera, si è assunta come ipotesi conservativa quella di una durata di emissione giornaliera pari a 24 h/d per 330 d/anno.

Le emissioni ricadenti nell'area di studio danno origine alle seguenti emissioni autorizzate, quindi massime ammissibili:

| CARICHI EMISSIVI AUTORIZZATI DI INQUINANTI DA SORGENTI INDUSTRIALI | | |
|-----------------------------------------------------------------------|-------|--------------|
| Inquinante | (t/a) | N° emissioni |
| NO ₂ | 12541 | 105 |
| PM10 | 1048 | 620 |
| CO | 3371 | 36 |

Tabella 5.3 – Emissioni stimate dalle sorgenti industriali del dominio

5.1.2.2 Stima delle emissioni in atmosfera attraverso fattori di riduzione

Per evitare di sovrastimare le emissioni totali considerando le concentrazioni limite autorizzate, si è proceduto alla “calibrazione” dei contributi delle diverse tipologie di attività sulla base delle informazioni - presenti nel GIECA - in merito agli autocontrolli a regime eseguiti dalle ditte, in modo tale da poter determinare un fattore correttivo per ciascun inquinante da applicare alle emissioni autorizzate ricavando dei valori mediamente più rappresentativi.

Poiché ogni impianto autorizzato e presente in archivio è stato classificato secondo le categorie SNAP97, l'elaborazione dei dati relativi agli autocontrolli effettuati sulle emissioni autorizzate permette di valutare dei fattori di riduzione - per ogni categoria SNAP - da applicare alle quantità di inquinanti autorizzate appartenenti alla medesima categoria per una stima di quelle presumibilmente emesse.

I fattori di riduzione per ciascun inquinante utilizzati a tale scopo sono stati stimati elaborando le misure di autocontrollo effettuate dalle Ditte stesse ed inserite nel GIECA. Il data base infatti, sfruttando la tecnologia web, consente ai singoli utenti coinvolti di accedervi attraverso Internet per controllare le informazioni presenti ed inserire i propri autocontrolli.

Il metodo utilizzato per il calcolo prevede che per ciascuna emissione (camino + inquinante) *i*-esima appartenente alla medesima azienda, sulla base delle misure disponibili e dei limiti di emissione, venga calcolato il fattore di riduzione ($FR_{i,j}$ - fattore di riduzione dell'emissione) ottenuto come il rapporto tra il flusso massico giornaliero misurato (Φ_{mM_i}) e quello massimo autorizzato (Φ_{mA_i}), questo per ogni inquinante *j*:

$$FR_{i,j} = \frac{\Phi_{mM_{i,j}}}{\Phi_{mA_{i,j}}}$$

dove

$\Phi_{mM_{i,j}}$ = Portata volumetrica misurata della emissione *i* • Concentrazione misurata inquinante *j*

$\Phi_{mA_{i,j}}$ = Portata volumetrica autorizzata della emissione *i* • Concentrazione autorizzata inquinante *j*

Si sottolinea che nel caso in cui la concentrazione misurata dell'inquinante in esame sia risultata inferiore ai limiti di rilevabilità strumentale, per poter effettuare i calcoli dei fattori di riduzione, si è considerata una concentrazione pari alla metà del valore del limite di rilevabilità.

Sulla base dei valori $FR_{i,j}$ viene calcolato il 90° percentile, cioè il valore al di sotto del quale ricade una percentuale di misure pari al 90%, che rappresenta il fattore di riduzione dell'emissione in esame.

Nel caso in cui un'azienda presenti parte delle emissioni autorizzate prive di autocontrolli, per le quali non è stato possibile elaborare il fattore di riduzione specifico, si è scelto di applicare un fattore di riduzione calcolato come il 90° percentile di tutti i $FR_{i,j}$ dell'azienda relativi all'inquinante j-esimo.

In maniera analoga, per le aziende totalmente prive di autocontrolli è stato applicato il 90° percentile ottenuto da tutti i $FR_{i,j}$ relativi al settore SNAP97 di appartenenza. Se tale valore non era disponibile, a causa dell'assenza di autocontrolli di ditte appartenenti a quel dato settore, si è scelto di elaborare il fattore di riduzione del macrosettore ottenuto come 90° percentile di tutti i $FR_{i,j}$ delle aziende ricadenti nel medesimo macrosettore.

La procedura così descritta è stata applicata ai camini e alle rispettive emissioni ricadenti nell'aera che individua il dominio di studio.

La selezione delle emissioni porta alla valutazione delle tonnellate annue di inquinanti emessi e il numero di emissioni che le generano riportate in Tabella 5.4.

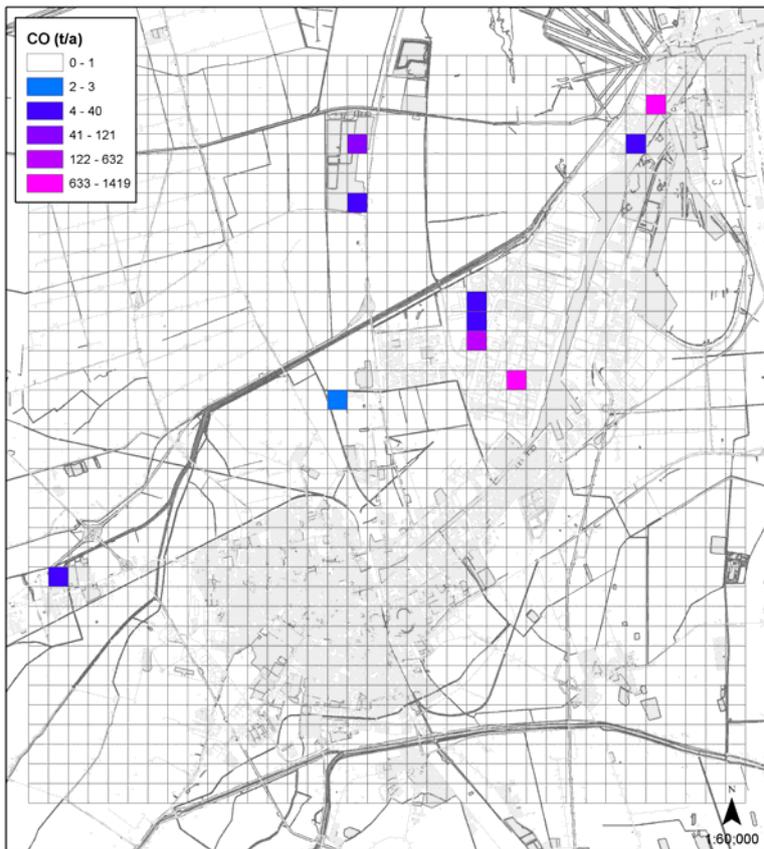
| CARICHI EMISSIVI RIDOTTI DI INQUINANTI DA SORGENTI INDUSTRIALI | | |
|-------------------------------------------------------------------|-------|--------------|
| Inquinante | (t/a) | N° emissioni |
| NO ₂ | 4050 | 105 |
| PM10 | 456 | 614 |
| CO | 690 | 36 |

Tabella 5.4 – Emissioni stimate dalle sorgenti industriali del dominio

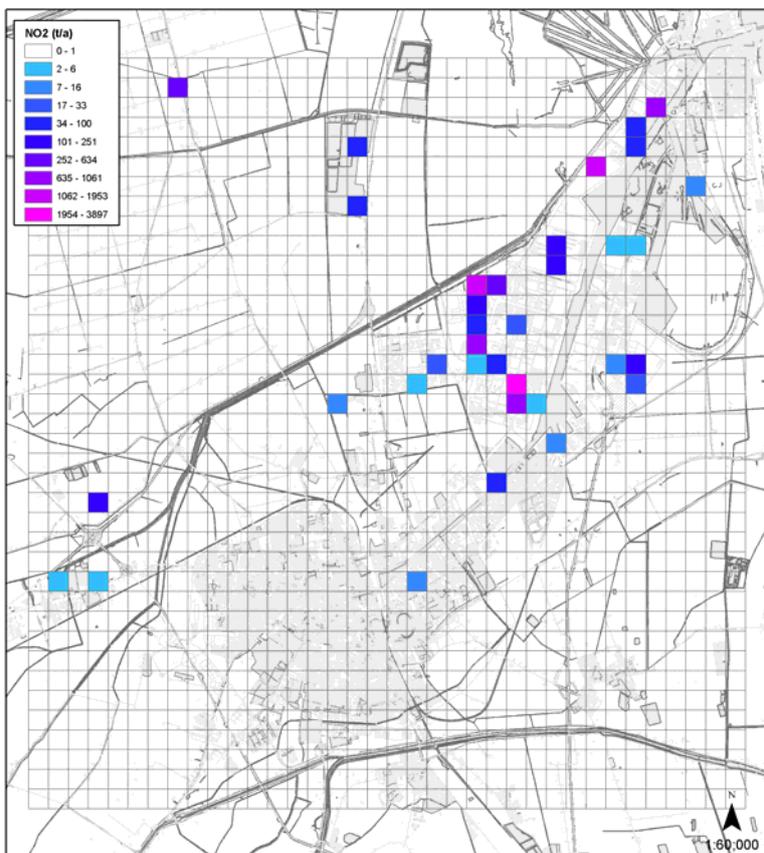
5.2. MAPPE DI EMISSIONE DELLE INDUSTRIE

Al fine di evidenziare il contributo industriale alle emissioni di ciascun inquinante considerato sono state prodotte mappe che evidenziano i punti più importanti in termini di carico emissivo annuale espresso in tonnellate, sommando i carichi inquinanti di tutti i camini ricadenti in ogni cella della griglia del dominio di studio.

Le mappe presentate sono relative ai carichi autorizzati (Figure 5.1 e 5.2) e ai carichi ridotti (Figure 5.3 e 5.4).



(a)



(b)

Figura 5.1 – Mappe di emissione di monossido di carbonio (a) e biossido di azoto (b)

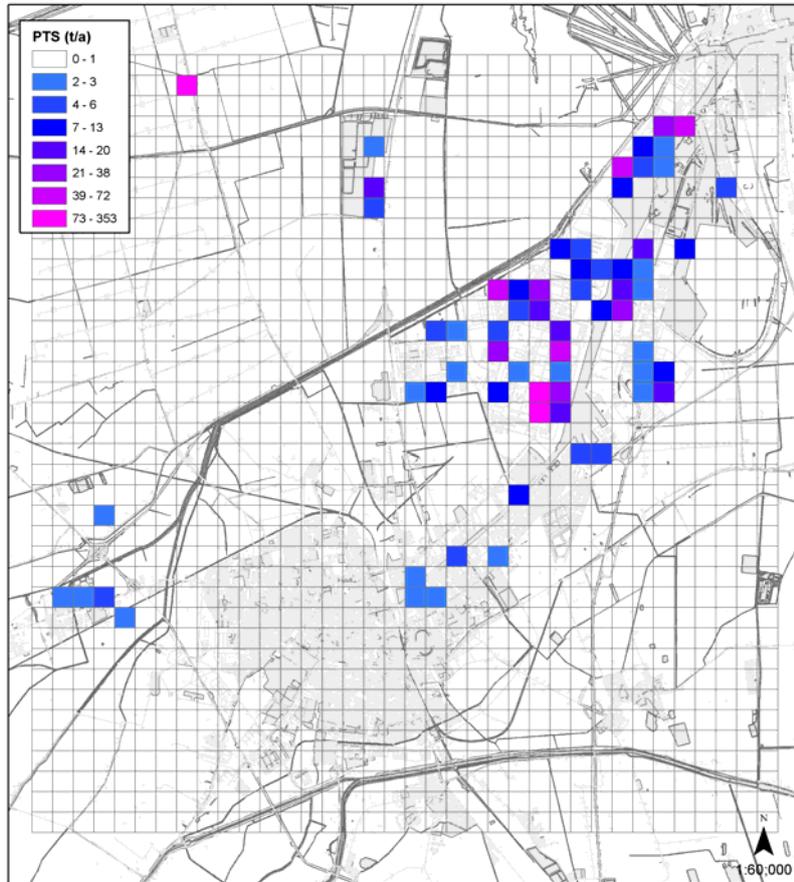
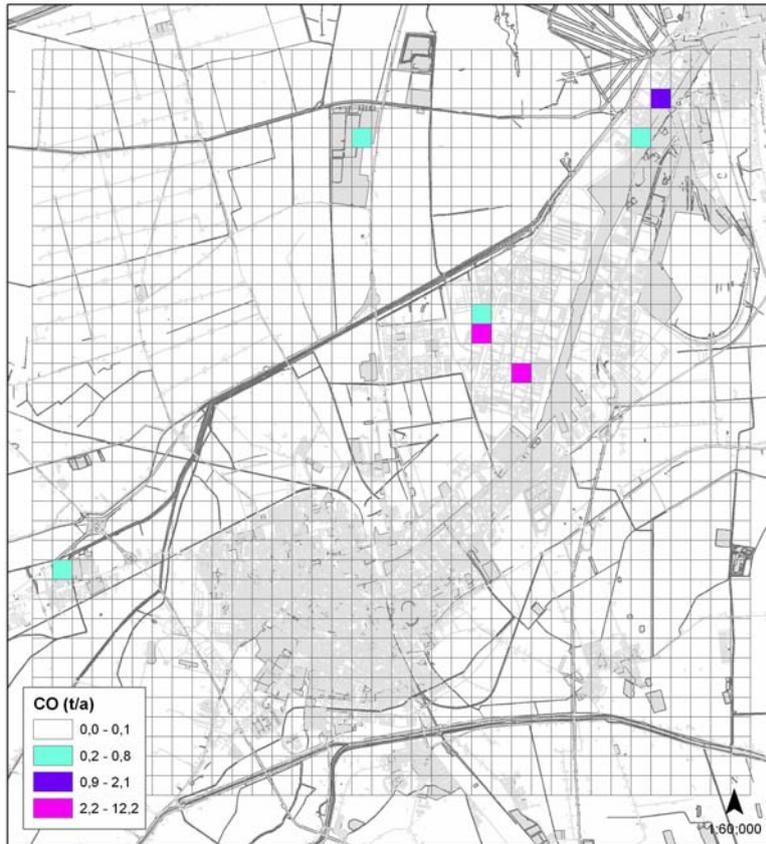
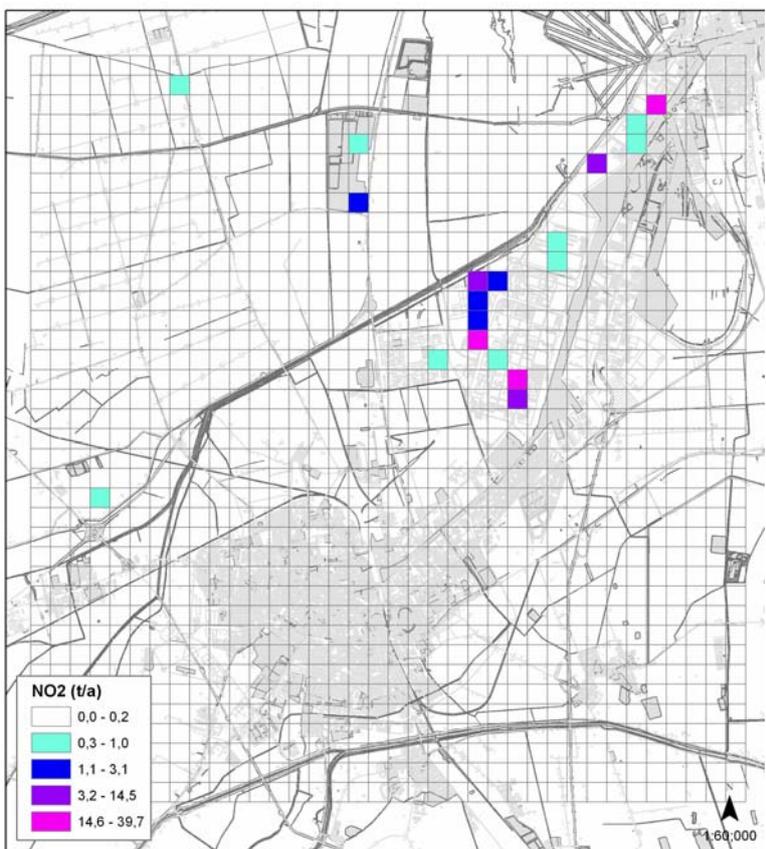


Figura 5.2 – Mappe di emissione di particolato

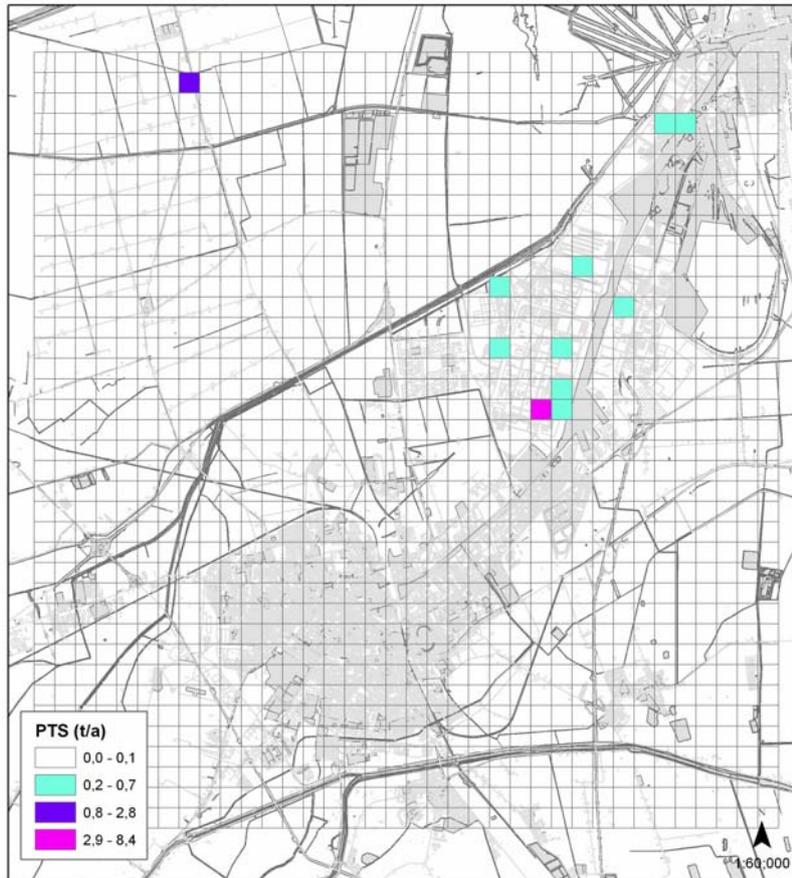


(a)



(b)

**Figura 5.3 – Mappe di
 emissione carichi ridotti
 di monossido di
 carbonio (a) e ossidi di
 azoto (b)**



**Figura 5.4 – Mappe di
 emissione carichi ridotti
 di particolato**

5.3 - SIMULAZIONE DELLA DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI

Il modello di dispersione ADMS – Urban può simulare come sorgenti industriali puntuali al massimo 150 camini.

Avendo selezionato 670 camini nell'area di interesse, per ovviare a questo limite si è proceduto effettuando 4 diverse simulazioni ognuna caratterizzata da 150 sorgenti e una simulazione con le rimanenti 70.

I risultati così ottenuti da ciascuna simulazione sono stati sommati al fine di ottenere il contributo immissivo totale su ogni punto della griglia regolare di output, necessario per la realizzazione delle mappe di ricaduta degli inquinanti.

Dati di input al modello

Le emissioni da sorgenti industriali sono state inserite come sorgenti puntuali per ognuna delle quali sono stati indicati i parametri necessari alla loro definizione :

- coordinate dei camini
- l'altezza e diametro dei camini
- temperatura e velocità di uscita dei fumi
- tassi di emissione in g/s.



Figura 5.5 - Suddivisione del dominio di studio

5.4 CONCENTRAZIONE DI INQUINANTI AL SUOLO DOVUTI ALLE INDUSTRIE

Le concentrazioni stimate dal modello sui nodi della griglia di 50x50 punti e passo di 300 metri, sono stati interpolati tramite Kriging.

Si riportano a seguire le mappe relative alle ricadute ottenute immettendo tassi di emissione autorizzati e tassi di emissioni ridotti.

Nelle mappe di figura 5.6 sono rappresentate le concentrazioni medie annuali di CO, espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, rispettivamente per lo scenario autorizzato (e) e per lo scenario ridotto (f).

Le mappe prodotte dal modello non mostrano contributi rilevanti di monossido di carbonio in entrambi gli scenari considerati.

Nello scenario autorizzato le concentrazioni massime stimate ($9 - 13.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si presentano a ridosso dello stabilimento multisocietario di Via Baiona e verso l'area industriale Bassette. Si osservano i contributi del comparto trattamento-smaltimento rifiuti adiacente la S.S. Romea, con immissioni comprese fra 5 e $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e le isoconcentrazioni comprese tra 4 e $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ presso la prima periferia della zona artigianale di Fornace Zarattini e in sinistra Candiano, presso aziende che si occupano di raffinazione petroli e estrazione oli.

Lo scenario ridotto riporta concentrazioni massime stimate dal modello inferiori a $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le aree di massima ricaduta sono spazialmente identiche ma i valori stimati diminuiscono ($4 - 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Le isolinee a concentrazioni inferiori si sviluppano a partire dalle aree di massima ricaduta ridistribuendosi verso nord presso il comparto trattamento-smaltimento rifiuti, a nord est verso Porto Corsini e la Piallassa Piomboni. Ancora presenti, ma con valori minori ($0.8 - 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), le immissioni della prima periferia di Fornace Zarattini.

Le mappe di Figura 5.7 rappresentano le concentrazioni medie al suolo di NO_2 , espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, per lo scenario autorizzato (a) e per lo scenario ridotto (b). Lo scenario autorizzato mostra concentrazioni massime dell'ordine $14 - 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che dalla zona meridionale della pineta San Vitale si distribuiscono verso lo stabilimento multisocietario coinvolgendo parte della zona bassette e parte dell'area impiantistica di Ecologia Ambiente. Concentrazioni massime a spot si osservano nella zona nord occidentale dello stabilimento multisocietario, nell'area metallurgica e nella zona più interna della darsena San Vitale. Le concentrazioni tendono a diminuire ($12 - 13 \mu\text{g}/\text{m}^3$) in corrispondenza della zona centrale del porto fino alla via Trieste mentre si estendono verso la S.S. Romea in direzione nord-est, con zone di ricaduta nei pressi di metalmeccaniche. Nello scenario ridotto le concentrazioni massime diminuiscono ($6.4 - 7.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con ricadute sulla zona centrale dell'area industriale-portuale e nell'area nord-est della zona Basette. I valori decrescono concentricamente rispetto alle ricadute massime, raggiungendo valori minimi compresi tra $2.3 - 3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in un'area significativamente vasta che interessa verso Nord-ovest tutta la pineta San Vitale e le aree agricole oltre il comparto trattamento-smaltimento rifiuti adiacente la S.S. Romea, verso sud-est la Piallassa Piomboni e la costa da Lido Adriano alla periferia sud di Marina di Ravenna.

Le mappe in figura 5.8 riportano le concentrazioni medie annuali di PTS, espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, stimate dal modello al suolo per lo scenario autorizzato (c) e per lo scenario ridotto (d).

Lo scenario autorizzato evidenzia due aree di massima ricaduta ($9.4 - 11 \mu\text{g}/\text{m}^3$) localizzate a nord e a sud del Bacino Trattaroli, rispettivamente in sinistra Candiano presso aziende che si occupano di raffinazione petroli e estrazione oli ed in riva destra in corrispondenza di aziende che producono mangimi, effettuano immagazzinamento di prodotti polverulenti e frantumazione di inerti. Da queste aree le concentrazioni decrescono concentricamente verso l'esterno, modificandosi nell'isolinea di concentrazioni comprese tra 6.4 e $7.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella zona centro-meridionale dello stabilimento multisocietario di Via Baiona, per espandersi verso la darsena San Vitale. L'isolinea di concentrazione $3 - 4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ è caratterizzata da un ampliamento nell'area nord ovest verso San Romualdo dove è presente una caldaia di notevoli dimensioni di una cooperativa agricola.

Si notano le ricadute, seppur non significative ($1.1 - 1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), nella prima periferia della zona artigianale di Fornace Zarattini.

Nello scenario ridotto non si osservano particolari apporti immissivi. Le ricadute, inferiori a $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, rimangono spazialmente confinate nell'area portuale-industriale, interessando con concentrazioni di poco inferiori a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, l'area nord-est del Canale Candiano, la costa tra Marina di Ravenna e Lido Adriano, la pineta San Vitale e le aree verso San Romualdo.

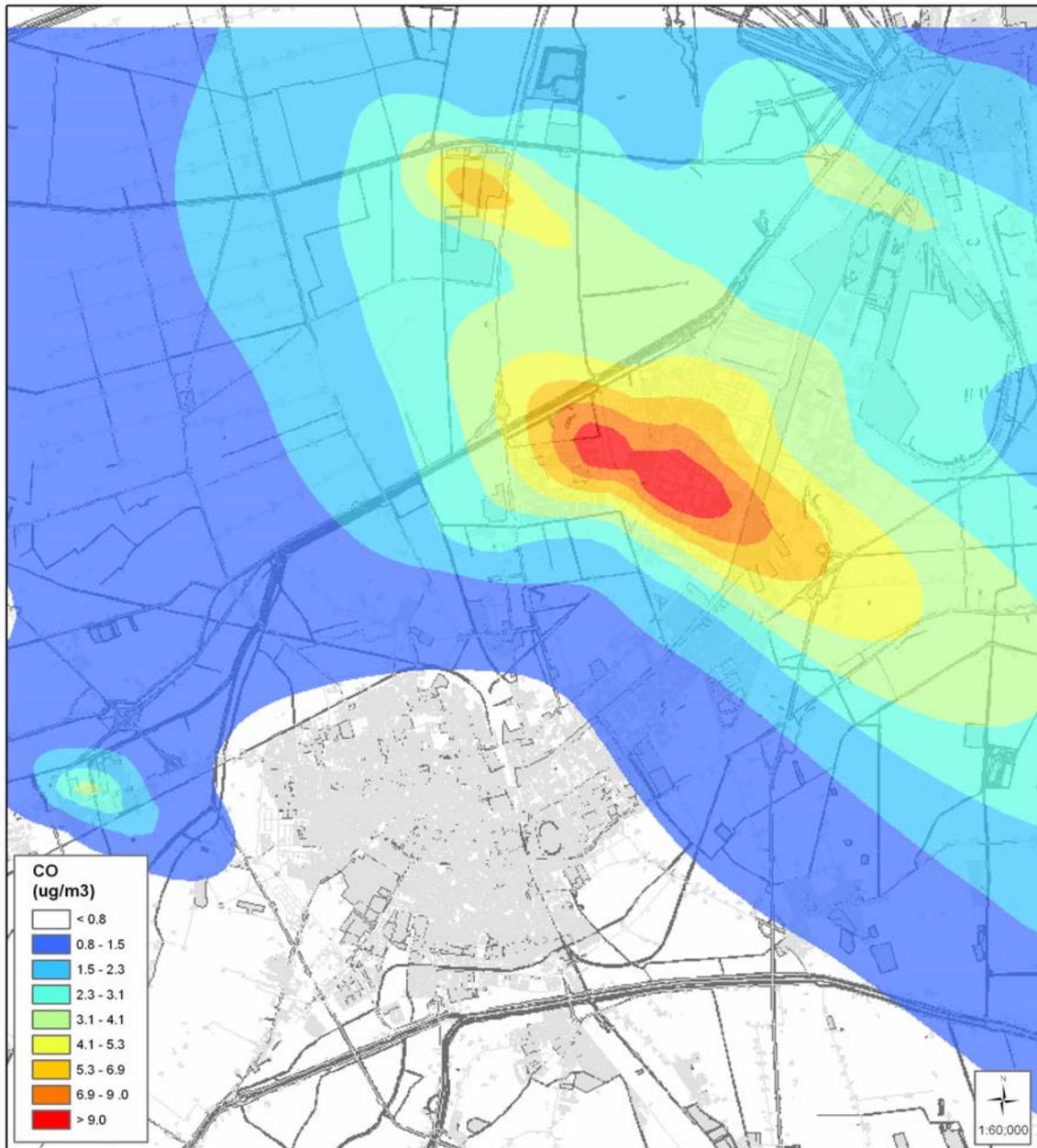


Figura 5.6 (a) – Mappe di immissione di monossido di carbonio autorizzato

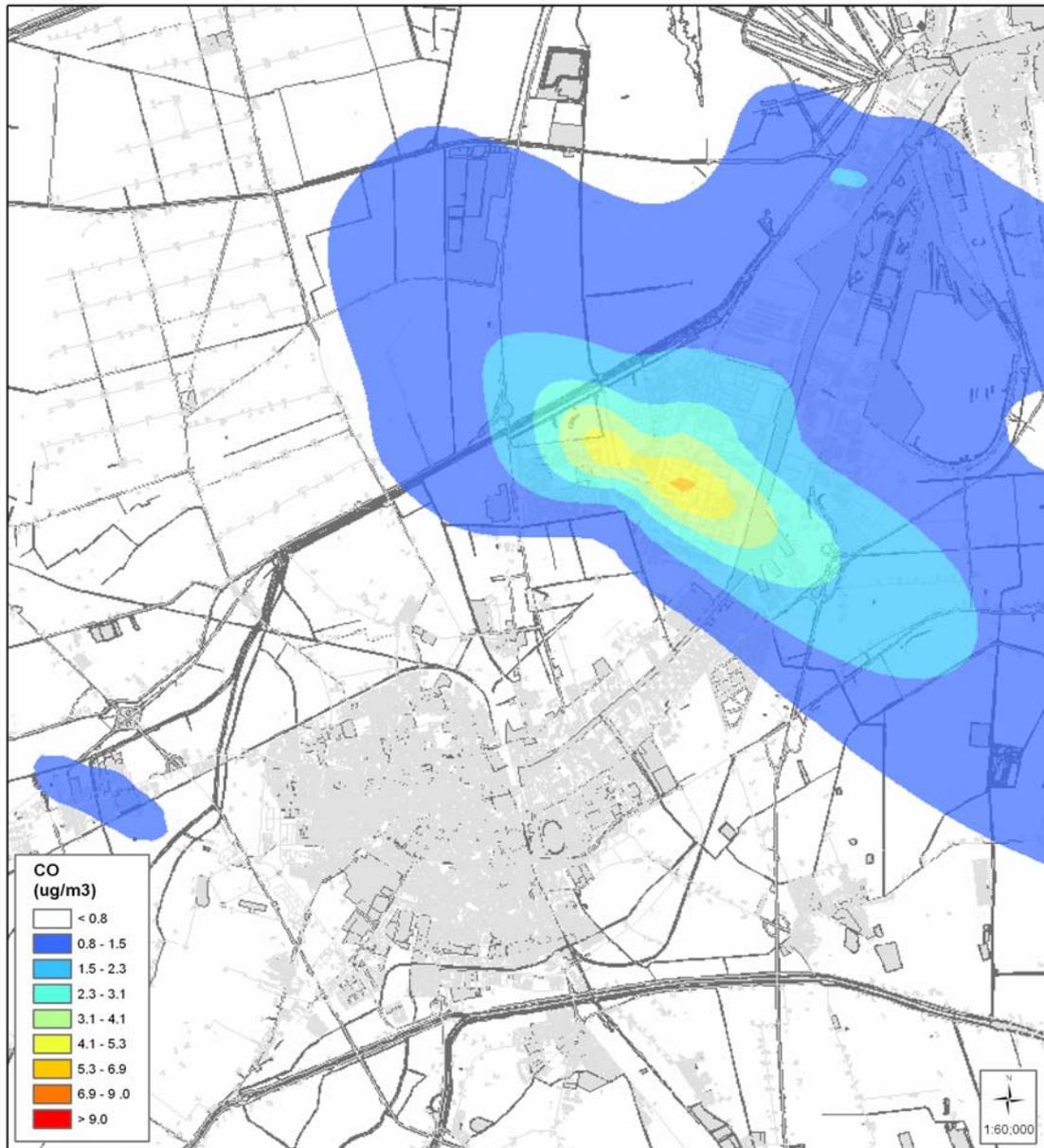


Figura 5.6 (b) – Mappe di immissione di monossido di carbonio ridotto

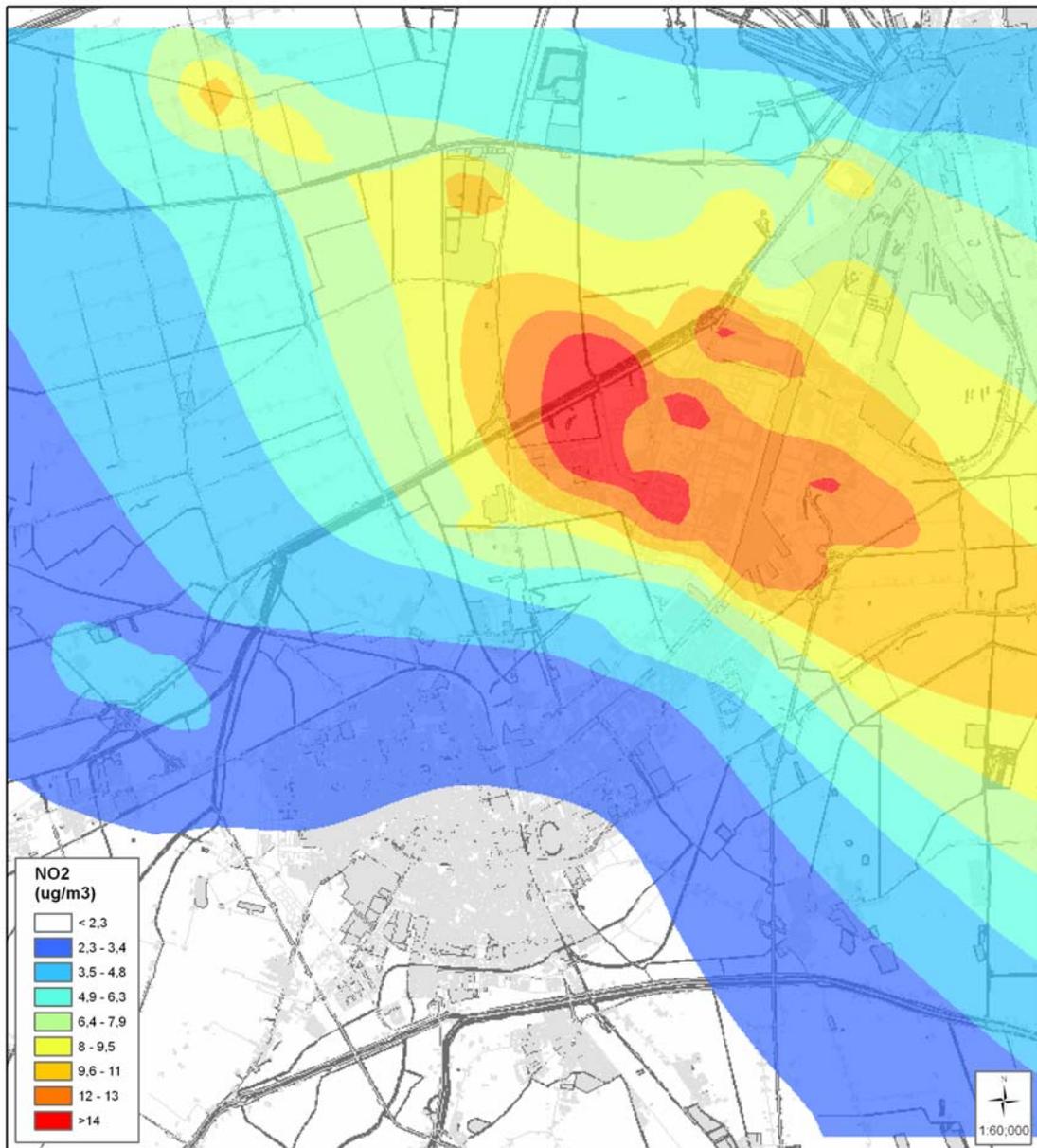


Figura 5.7 (a) – Mappe di immissione biossido di azoto autorizzato

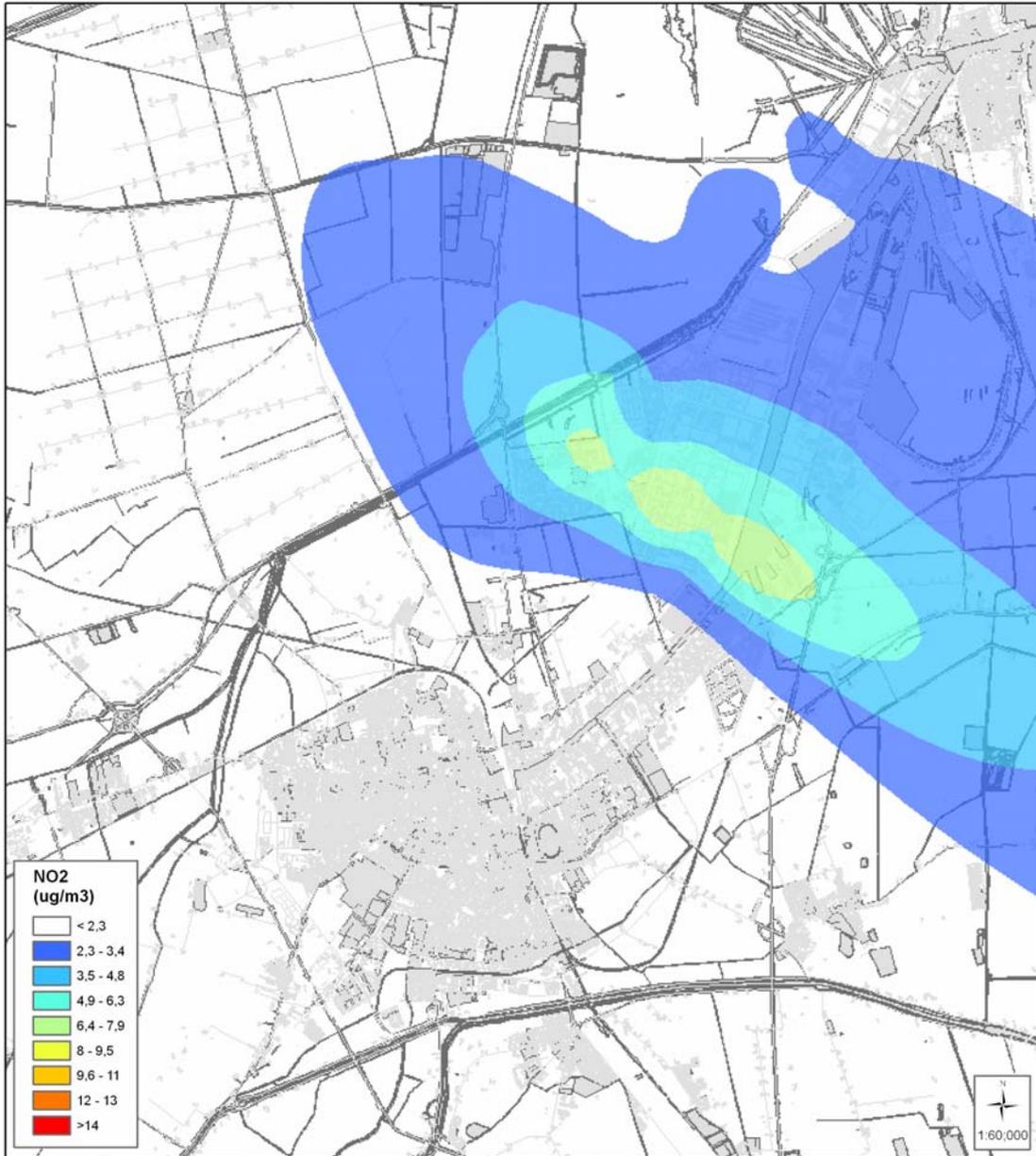


Figura 5.7 (b) – Mappe di immissione biossido di azoto ridotto

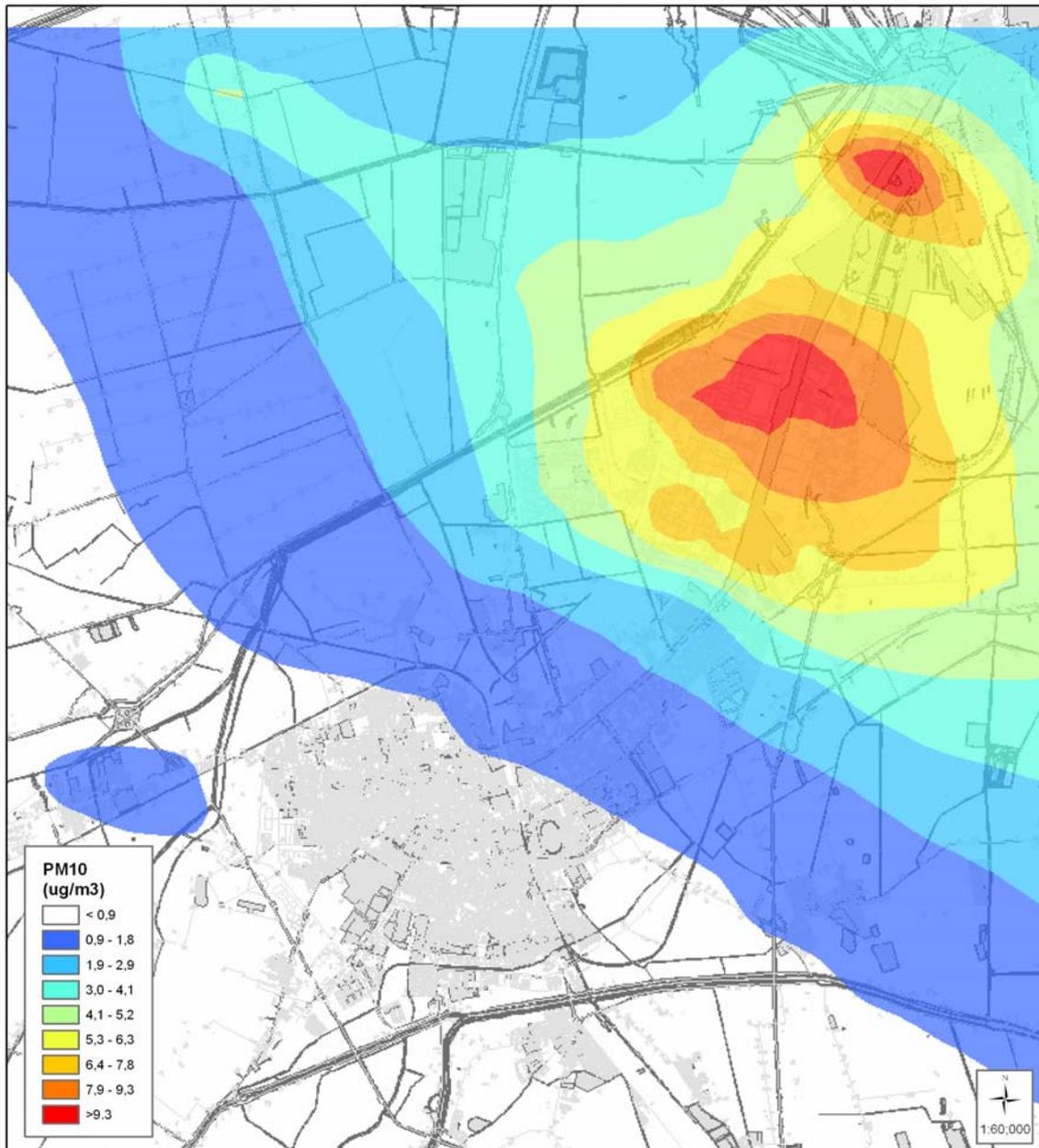


Figura 5.8 (a) – Mappe di immissione particolato autorizzato

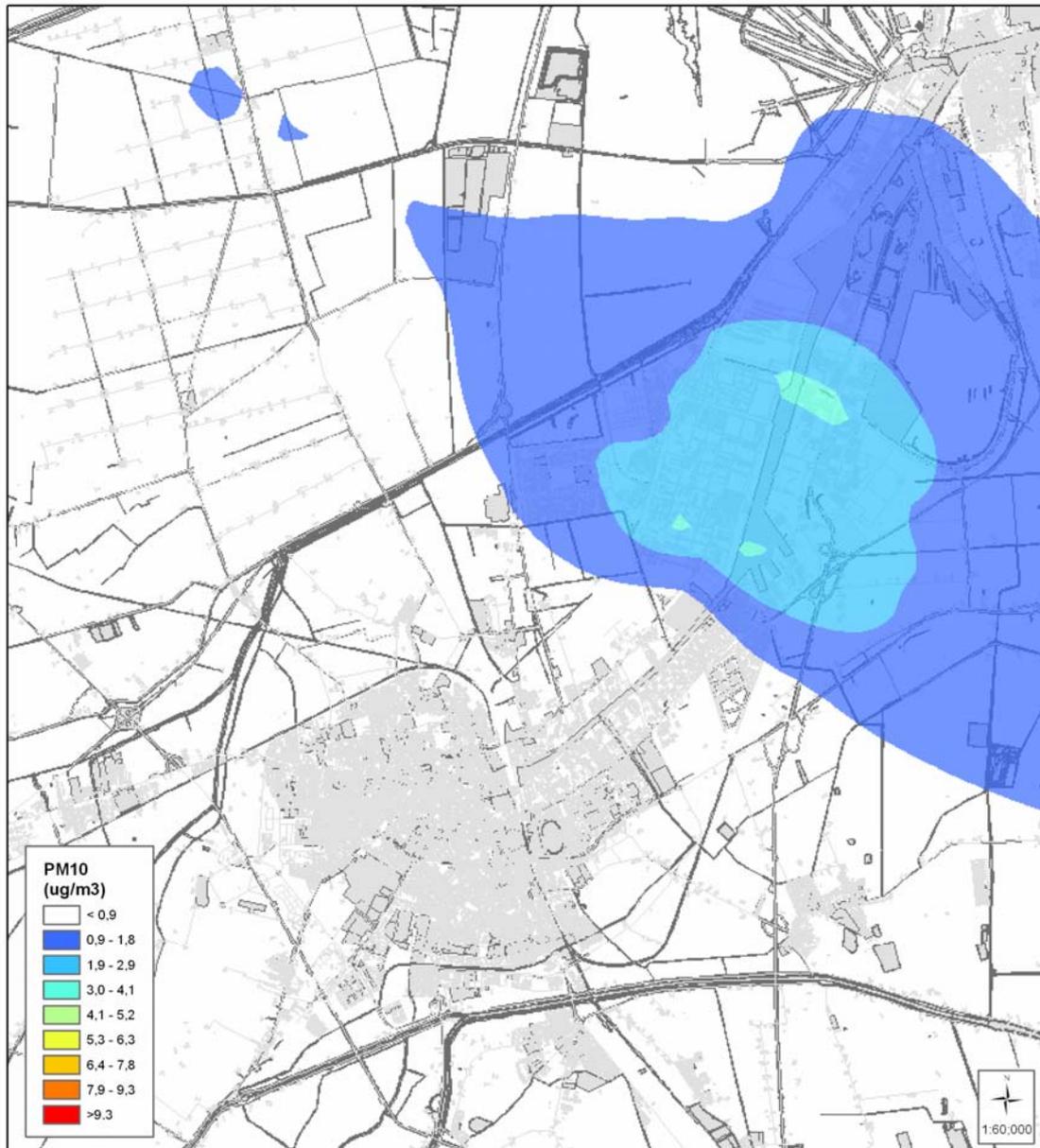


Figura 5.8 (b) – Mappe di immissione particolato ridotto

6. AREA PORTUALE

Il porto di Ravenna, uno dei principali d'Italia, movimentata annualmente oltre 20 milioni di tonnellate di merci, con più di cinquanta aziende impegnate in operazioni portuali.

L'area portuale si configura soprattutto come punto di arrivo di svariate tipologie di prodotti (petroliferi, fertilizzanti, cerealicoli, liquidi chimici, alimentari, siderurgici, ecc...), trasportate poi via terra (prevalentemente su gomma) utilizzando i collegamenti viari e ferroviari.

Sono presenti oltre 12 km di banchine, le relative strutture di carico, scarico e movimentazione delle merci, nonché piazzali e magazzini per lo stoccaggio. Anche le zone a ridosso delle banchine ospitano ampie aree e strutture dedicate allo stoccaggio delle merci.

La presenza nell'area portuale di Ravenna di depositi di materiale all'aperto e di molte attività di scarico, trasporto, rimaneggiamento e stoccaggio di merci polverulente costituisce una sorgente importante di particolato diffuso.

Un contributo significativo viene dato dalla circolazione dei camion, sia su strada sia nei pressi dei depositi all'aperto, che costituiscono una sorgente di emissione primaria (scarico del motore) e secondaria, a seguito della risospensione del particolato presente sul manto stradale. Anche il traffico marittimo concorre alle emissioni in atmosfera durante le diverse modalità operative dei mezzi navali in porto: fasi di manovra, di ormeggio e le attività di traino delle navi da parte dei rimorchiatori.

6.1 ATTIVITA' DI SCARICO, TRASPORTO, RIMANEGGIAMENTO E STOCCAGGIO DI MATERIALE POLVERULENTO

Una quantità significativa di particolato atmosferico deriva dalla dispersione di materiale granulare esposto all'aria. Il particolato generato da queste sorgenti all'aria aperta viene chiamato diffuso poiché non viene emesso in atmosfera in un flusso confinato.

Sorgenti di particolato diffuso sono le strade non asfaltate, i cumuli di stoccaggio all'aperto di materiale polverulento e le operazioni ad essi connesse.

Per tali sorgenti, il processo di emissione di particolato è causato da due principali fenomeni fisici:

- la polverizzazione e abrasione del materiale superficiale dovuta all'applicazione di forze meccaniche (pale, ruote...);
- erosione di materiale superficiale per azione di correnti turbolente d'aria.

Il contributo attribuibile alle emissioni di polveri diffuse derivante dalle attività portuali ha indotto, negli ultimi anni, gli operatori che svolgono la propria attività in tale settore ad individuare tecniche per la riduzione della polverosità.

Nel 2003 è stato sottoscritto un primo Protocollo tra l'Autorità Portuale di Ravenna, l'Azienda Sanitaria Locale, l'Associazione Industriali della Provincia di Ravenna e le Associazioni Sindacali dei lavoratori del porto, con impegni prevalentemente orientati a problematiche di Sicurezza e Medicina del Lavoro nell'Ambito Portuale. In seguito (2005) è stato istituito un Gruppo di Lavoro, costituito da Provincia, Comune, Arpa e Autorità Portuale, con il mandato di individuare un programma di azioni e regole generali, concertate con gli operatori interessati, finalizzate a contenere e limitare l'emissione e la diffusione delle polveri.

In tale ambito il Gruppo di Lavoro ha effettuato un'indagine informativa mirata ad acquisire un quadro approfondito e dettagliato delle attività svolte nell'area portuale.

Sono state individuate nel complesso 32 aziende (anche limitrofe al porto, caratterizzate da lavorazioni e/o movimentazioni di merci polverulente) alle quali sono state inviate due schede di rilevamento per raccogliere informazioni generali e specifiche su:

- dotazioni strutturali, di mezzi, impianti, magazzini e sistemi di stoccaggio in numero e capacità, superfici coperte e scoperte ecc...;
- sistemi già adottati per il contenimento delle emissioni diffuse;
- lavorazione/movimentazione dei prodotti singoli o per famiglie di prodotti.

Per queste aziende sono disponibili le informazioni relative agli impianti (tabella 6.1) riferite all'anno 2005:

| N° | Ragione sociale | Indirizzo |
|----|-------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1 | ADRIACAL srl | v. Orioli, 8 |
| 2 | BUNGE ITALIA spa | v. Baiona, 203 - Porto Corsini |
| 3 | BUZZI UNICEM spa | v. Rubboli Silvano 10 |
| 4 | Caolino Panciera S.p.A. | v. Paleocapa via Muti |
| 5 | COLABETON spa | v. Burchiella, 4 - zona SAPIR |
| 6 | COLACEM | loc. Trattaroli destra |
| 7 | COMPO AGRICOLTURA spa | v. Muti - angolo v. Paleocapa |
| 8 | CON SAR | v. Burchiella 35 |
| 9 | Consorzio Agrario | v. delle Industrie 107 |
| 10 | Docks Cereali | v. Classicana, n.59 |
| 11 | Docks e C. srl | v. D'Alaggio |
| 12 | Eurodocks srl | v. Classicana, n.49 |
| 13 | Eurodocks srl | v. Paleocapa, n.19 |
| 14 | F.lli Martini e C. S.p.A. | v. Antico Squero, n.54 |
| 15 | FASSA srl | v. del Cimitero |
| 16 | FOSFITALIA S.P.A. | v. Baiona n.135 Ravenna |
| 17 | GESCO CONSORZIO COOP. | v. Classicana, 47 |
| 18 | IFA | v. Baiona, n.143 |
| 19 | Impresa Compagnia Portuale (Soc. Servizi) | v. Classicana |
| 20 | Lloyd Spa | v. Baiona n. 193 |
| 21 | Lloyd Spa | v. della Battana |
| 22 | La Petrolifera Italo Rumena S.p.A. | v. Baiona, n.259 Pto Corsini |
| 23 | MICRON MINERAL spa | v. Bragozzo, 11 |
| 24 | Nadep Naval Depositi | v. della Battana, n.28 |
| 25 | Nadep Ovest | v. Piomboni, n.2 |
| 26 | PANFERTIL spa | v. della Burchiella, 14 |
| 27 | Ravenna Mill | v. Paleocapa 1/3 |
| 28 | SAPIR spa | Darsena S. Vitale |
| 29 | Setramar Spa | v. Classicana n.99 |
| 30 | SIC - SOCIETA' ADRIATICA IMPIANTI E CAVE | v, Trieste - v. D'Alaggio |
| 31 | SOCO Spa | v. della Battana, n.3-22 e v. Trabaccolo, 21 |
| 32 | YARA ITALIA spa | v. Baiona |

Tabella 6.1 – Elenco imprese portuali coinvolte nell'indagine

6.1.1 COMPILAZIONE DELL'INVENTARIO DELLE EMISSIONI

La base dati di partenza per la valutazione delle emissioni di particolato diffuso originate dalle attività portuali è rappresentata dalle informazioni raccolte attraverso le schede inviate alle aziende per iniziativa del Gruppo di Lavoro. A partire dal questionario, è stata esaminata l'attività produttiva di ogni dell'azienda e sono state identificate le sorgenti di emissione di particolato.

Le informazioni, risultate non esaustive per alcune aziende e per alcune tematiche trattate sono state, per quanto possibile, verificate ed integrate attraverso contatti diretti con le aziende stesse o reperendo dati di letteratura.

Nonostante ciò permane l'incertezza legata alla disponibilità dei dati a disposizione e alla loro efficacia nel descrivere la realtà portuale ravennate.

6.1.1.1 Metodologia per la stima delle emissioni

Su questo settore la letteratura nazionale ed internazionale è esigua e pertanto questo studio rappresenta un primo tentativo di stimare quantitativamente il particolato diffuso emesso per effetto delle attività di stoccaggio, rimaneggiamento e trasporto di materiale polverulento in ambito portuale. Tentativo che andrà affinato in relazione all'implementazione di un catasto di maggior dettaglio e più aggiornato.

La fonte metodologica principale su cui ci si è basati per la stima è il manuale redatto dall'EPA che raccoglie i fattori di emissione AP – 42, V edizione, volume I, capitolo 13 ("Miscellaneous sources"). Sebbene la metodologia proposta non abbia subito sostanziali modifiche dall'anno di pubblicazione del manuale (2005), sono state apportate alcune revisioni inerenti in particolare il rapporto fra il PM_{2.5} e il PM₁₀. Il documento si può quindi considerare aggiornato al Novembre 2006.

Le sorgenti di emissione considerate nell'area portuale ravennate sono:

1. Operazioni di sbarco del carico tramite gru
2. Trasporto merci con camion in ambito portuale
3. Presenza di cumuli di stoccaggio all'aperto

6.1.1.1.1 Operazioni di sbarco del carico tramite gru

Lo sbarco di un prodotto può avvenire utilizzando tecniche diverse, a seconda delle caratteristiche chimico – fisiche del prodotto da scaricare, delle tecnologie disponibili e di considerazioni di carattere economico.

Dall'analisi dei questionari relativi alla movimentazione di prodotti polverulenti compilati dalle aziende ubicate nell'area portuale di Ravenna è emerso che la tecnologia di sbarco più diffusa è basata sull'utilizzo di gru fisse o mobili dotate di benna (68%).

La diffusione di questa tecnologia è giustificata dalla necessità di disporre di sistemi molto flessibili, adatti per lo sbarco di categorie molto diverse di prodotti. Le benne, sebbene presentino i vantaggi di consentire alte rese orarie e di poter essere impiegate anche con merci soggette ad impaccamento, come farine e fertilizzanti, presentano lo svantaggio di dare notevoli problemi in termini di polverosità sia durante il tragitto della benna da fondo stiva a banchina, sia durante lo scarico in tramoggia.

Le tramogge di scarico più diffuse sono quelle semplici (42%), seguite da quelle aspirate (29%) e da altre tipologie di tramoggia (29%) dotate di sistemi per il contenimento della polverosità e per la limitazione della perdita di prodotto. Sono poi presenti anche tramogge provviste di un grigliato munito di bandelle che si aprono per effetto del peso del materiale scaricato e si richiudono automaticamente per ridurre il riflusso di materiale verso l'alto. Un terminal ravennate utilizza invece una tecnica di origine svedese il cui elemento fondamentale è costituito da una coppia di coclee aspirate. Altri terminal utilizzano aspiratori e succhiarole o gru mobili seguite da tramoggia aspirata, con estrattore parcellizzato o con vasca di accumulo terminale.

I sistemi di sbarco pneumatici sono poco diffusi nell'area portuale ravennate: solo un'azienda si serve di un sistema pneumatico dotato di spruzzatori d'acqua.

I sistemi di sbarco utilizzati dalle aziende portuali che effettuano scarico delle merci sfuse dalle navi, in proprio o per conto terzi, sono riassunte nella tabella 6.2.

| | | AZIENDE IN AMBITO PORTUALE che effettuano sbarco | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------|--------------------------------------------------|---------------------|----------------|--------------------|-------------------|----------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|--------------|-----------------|------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| TECNOLOGIA DI SBARCO | Tramoggia di scarico | BUNGE s.p.a | BUZZI UNICHEM s.p.a | COLACEM s.p.a | COMPAGNIA PORTUALE | Consorzio Agrario | Docks cereali s.p.a. | DOCKS E.C.S. s.r.l. | EURODOCKS (v. Paleocapa) | EURODOCKS (v. Classicana) | FASSA s.r.l. | IFA S.R.L. | LLOYD RAVENNA SPA via Balona | NADEP Naval Depositi S.R.L. | NADEP OVEST s.r.l. | PETROLIFERA ITALO RUMENA | SAPIR s.p.a. | SETRAMAR s.p.a. | YARA ITALIA s.p.a. |
| Gru con benna | semplice | | | | x | | x | x | x | x | | x | x ¹ | | | x ² | x ³ | x ⁴ | |
| | aspirata | | | | | | x | | x ⁵ | x ⁵ | | | x | | x | | x ⁶ | x ⁷ | |
| | altro | | | x ⁸ | | | | x ⁹ | | | | x ¹⁰ | | x ¹¹ | x ¹² | | x ¹³ | | x ¹⁴ |
| Aspiratore | semplice | x | | | | x | x | | | | | | | | | | | | |
| | aspirata | x | | | | | x | | | | x | | x | | | | | | x ⁷ |
| | altro | x ¹⁵ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Coclea | aspirata | | x | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trasporto pneumatico | altro | | | x ⁸ | | | | | | | | | | | | | | | |

1 per gruppo A
2 per Fe-Cr
3 x feldspato, argilla, fertilizzanti
4 per gruppo A, B, C
5 per cereali
6 x urea e caolino
7 solo per B,C
8 con spruzzatori d'acqua

9 vasca di accumulo a terra
10 tramoggia parcellizzata con nastro trasportatore carterato
11 tramoggia parcellizzata
12 con dispositivi di contenimento polveri
13 con chiusura in gomma x fertiliz
14 con nastro carterato
15 tubi telescopici

Tabella 6.2 - Modalità di sbarco nel Porto di Ravenna

In letteratura non esistono specifici riferimenti metodologici per la stima del quantitativo di particolato emesso durante la fase di sbarco di materiali polverulenti.

In assenza di una metodologia accettata, si è deciso di stimare comunque il contributo di questa sorgente di emissione avvalendosi del metodo di calcolo che EPA propone per valutare le emissioni polverulente prodotte in fase di formazione e rimaneggiamento dei cumuli. Si ritiene infatti che lo sbarco di materiale tramite gru con benna possa essere assimilato alla formazione di cumuli scaricati in banchina o direttamente sui mezzi adibiti al trasporto.

Si è tenuto conto del fatto che la dispersione viene confinata dalla presenza di barriere se il materiale viene caricato su camion (effetto barriera del camion), aggiungendo alla formula originale proposta da EPA un fattore di correzione c.

La formula che consente di calcolare il fattore di emissione di particolato, FE_{TPS}, espresso in g/ton, diventa:

$$FE_{TPS} = c * 1.6 * k * \frac{\left(\frac{u}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}}$$

dove

c= coefficiente di correzione (adimensionale) per tener conto delle barriere

k= coefficiente adimensionale proporzionale al diametro del particolato emesso

u= velocità media del vento (in m/s)

M= umidità relativa del materiale stoccato in cumuli (%)

Il calcolo dell'emissione, E_{TPS} , è stato effettuato moltiplicando il fattore di emissione per le tonnellate di materiale movimentato (q), dichiarate dalle aziende.

$$E_{TPS} = FE * q$$

Ai fini della presente valutazione è stata considerata trascurabile l'emissione di polvere derivante dai sistemi di scarico con aspiratore, con trasporto automatico e con coclea chiusa e aspirata, per cui nel calcolo non sono stati considerati i rispettivi quantitativi movimentati.

Per quanto riguarda lo scarico tramite gru, sono state considerati due casi: tramoggia semplice e tramoggia aspirata. Nel caso di tramoggia semplice, si ritiene che tutto il materiale prelevato, una volta scaricato, generi polverosità.

Se la tramoggia è aspirata, si ritiene invece che il trasferimento della benna dalla stiva alla tramoggia generi comunque perdita di materiale (la benna non ha chiusura ermetica) e quindi polverosità diffusa, mentre nella fase successiva di scarico dalla tramoggia al piazzale o al camion, avvenendo in aspirazione, generi un quantitativo trascurabile di polvere. Stessa ipotesi è stata fatta per i sistemi in cui la tramoggia scarica direttamente su di un nastro trasportatore carterato² e per la tramoggia dotata di spruzzatori d'acqua³.

Per stimare la polverosità connessa allo sbarco con benna e tramoggia aspirata, si è ipotizzato che lo 0.01% del quantitativo movimentato venga perso nel trasporto stiva – tramoggia e quindi solo su questo quantitativo è stata applicata la formula per il calcolo dell'emissione.

L'umidità del materiale è stata ricavata dalle schede, da informazioni tecniche fornite direttamente dalle aziende e da dati presenti in letteratura. Per esempio è stata impostata un'umidità del 1% per cereali e derivati e del 2% per urea, altri fertilizzanti e concimi.

Non essendo nota la granulometria delle tipologie di materiale stoccato e quella del particolato emesso dal materiale nell'operazione di accatastamento del cumulo, è stata adottata un'ipotesi conservativa utilizzando per tutti i cumuli un valore del coefficiente k pari a 0.74, attribuito dall'EPA alla classe di particelle con diametro aerodinamico inferiore a 30 µm.

La velocità media del vento è stata calcolata a partire dalle medie orarie di velocità del vento misurate nel 2005 nella stazione meteorologica dell'area urbana.

² Ifa e Yara

³ Colacem per sbarco sabbia e ghiaia

6.1.1.1.2 Trasporto merci con camion in ambito portuale

Le emissioni generate dai veicoli in transito su una strada sono quelle presenti nei gas di scarico, dovute al processo di combustione che alimenta il veicolo (componente “exhaust”), le emissioni legate ai processi di erosione ed usura dei pneumatici, dei freni e del manto stradale (componente “non exhaust”) ed il materiale presente sul manto stradale che per effetto del transito dei veicoli viene risospeso e rimesso in circolo.

Nella realtà portuale, dove la presenza di materiale polverulento sul manto stradale è significativa, questo aspetto assume un peso rilevante. Nonostante le precauzioni adottate per ridurre questo apporto (lavaggio delle ruote dei camion in uscita, pulizia delle strade..), la risospensione di particolato depositato ad opera dei camion circolanti continua ad essere un'importante fonte di emissione.

La circolazione di camion in area portuale è connessa al trasporto di materiale dalla banchina di sbarco al sito di stoccaggio, al conferimento di materie prime in entrata negli impianti e al trasporto di materiale in uscita dagli impianti.

Per stimare le emissioni connesse al trasporto su “gomma” è stata utilizzata la formula proposta dall'EPA (AP – 42) per l'emissione dovuta al transito di veicoli su strade pavimentate.

La formula usata esprime la relazione empirica fra l'emissione di polvere a seguito di transito di mezzi di gomma su strade pavimentate, la quantità di materiale fine presente sul manto stradale (silt loading) e il peso dei veicoli transitanti.

Il fattore di emissione per PM10 proposto, espresso in g/km percorso, viene calcolato con la seguente formula:

$$FE_{PM10} = k * \left(\frac{SL}{2}\right)^{0.65} * \left(\frac{W}{3}\right)^{1.5}$$

dove

$k^4 = 4.6 \text{ g/km}$

SL = Silt loading (frazione siltosa sulla superficie stradale, in g/m²)

W = peso medio dei mezzi circolanti (in ton)

Il fattore di emissione tiene conto di tutte le componenti che concorrono al particolato: quella non exhaust, generata per usura dei freni, delle gomme e del manto stradale, quella relativa al particolato risospeso per effetto della circolazione dei mezzi sulla strada, ed anche della componente exhaust (particolato derivante dai processi di combustione).

La formula è del 1995 e quindi considera emissioni exhaust proprie di un parco veicolare datato e non tiene conto del rinnovo con veicoli conformi a norme più restrittive in termini di emissioni.

Per “adattare” la formula al parco veicolare attualmente circolante, al fattore di emissione è stata sottratta la quota di PM10 exhaust tipica di veicoli PRE – ECE (pari a 2.019 g/km) e sommata quella dei veicoli EURO 1 (pari a 0.285 g/km).

Il coefficiente relativo alla frazione siltosa SL di ogni tragitto è stato posto uguale a 7 g/m². Questo valore è stato ottenuto dal dato di frazione siltosa proposto da EPA (2006) per le strade asfaltate interne a siti industriali con lavorazione di sabbia e ghiaia, applicando un fattore di riduzione (pari al 90%) per tener conto delle operazioni di pulizia delle strade e banchine.

⁴ “il fattore moltiplicativo *k* include le unità di conversione per fornire il fattore di emissione nelle unità di misura richieste nell'equazione e per gli intervalli indicati” (EPA, AP42 V Ed., vol. 1, 2006).

Per i veicoli che effettuano il trasporto del materiale all'interno del porto, fra la banchina e il sito di stoccaggio, sulla base di dati forniti da alcune aziende è stato considerato un peso medio per veicolo pari a 21 ton, ipotizzando che i camion circolanti abbiano in media una tara di 6 ton e un carico di 30 ton e che facciano pertanto metà dei viaggi carichi e metà vuoti.

Per quanto riguarda i mezzi in entrata e in uscita dall'impianto, la capacità di carico Q di ogni mezzo in uscita è stata calcolata dal rapporto fra il quantitativo di materiale inviato all'esterno su gomma e il numero di camion in uscita, dati riportati dalle aziende nei questionari raccolti.

E' stato ipotizzato che la tara di un camion sia 1/5 del carico trasportato (ad es. un camion di 6 ton trasporta fino a 30 ton) ed è quindi stato calcolato il peso medio del veicolo con la seguente formula:

$$\bar{W} = \left[\left(Q + \frac{Q}{6} \right) + \frac{Q}{6} \right] * \frac{1}{2} = \frac{2}{3} Q$$

dove Q= capacità di carico massimo dell'automezzo in uscita (in ton).

L'EPA prevede la possibilità di considerare nella stima del fattore di emissione FE l'effetto di mitigazione sul particolato sospeso ad opera delle precipitazioni. La formula di calcolo del FE che tiene conto della mitigazione naturale diventa:

$$FE_{mitigaz} = FE * \frac{4N - P}{4N}$$

con N= numero di giorni nel periodo considerato

P= numero di giorni "umidi", con almeno 0.25 mm di precipitazione durante il periodo considerato.

I dati di precipitazione giornaliera si riferiscono all'anno 2005 e alla stazione meteorologica di Marina di Ravenna, gestita dal Servizio Idrometeorologico Regionale. Nell'anno 2005 la stazione ha misurato 106 giorni con precipitazione superiore ai 0.25 mm.

Una volta calcolato il FE, è stata stimata la lunghezza del tragitto che i camion effettuano su strade portuali polverose.

Per quanto riguarda gli spostamenti fra la banchina e il sito di stoccaggio, è stato considerato che alcune aziende del porto sono provviste di propria banchina, mentre altre si appoggiano a banchine non di proprietà. Informazioni relative alla banchina di riferimento sono state ricavate tramite contatto telefonico con le aziende stesse. Dai questionari precedentemente compilati sono state selezionate le aziende che effettuano il trasporto della merce sbarcata su gomma (sono stati eliminati i quantitativi di merce conferiti ai siti di stoccaggio con nastri trasportatori e con sistemi di aspirazione).

Con un software dedicato sono stati elaborati i percorsi fra la banchina di scarico del prodotto e il sito di stoccaggio dell'azienda (Figura 6.1-a) e il tragitto dei camion in entrata e in uscita dall'azienda (Figura 6.1-b), considerando la minima distanza compatibile con la circolazione stradale. Il tragitto considerato si limita a quei tratti di strada situati nei pressi delle attività produttive, dove si ritiene significativa la presenza di materiale polverulento presente sul manto

stradale. Per le aziende che si appoggiano di norma a più banchine indifferentemente è stato considerato un percorso avente una lunghezza media fra quelli abitualmente seguiti. La lunghezza del tragitto in uscita è stata raddoppiata poiché si tiene conto sia del viaggio di andata che del viaggio di ritorno.

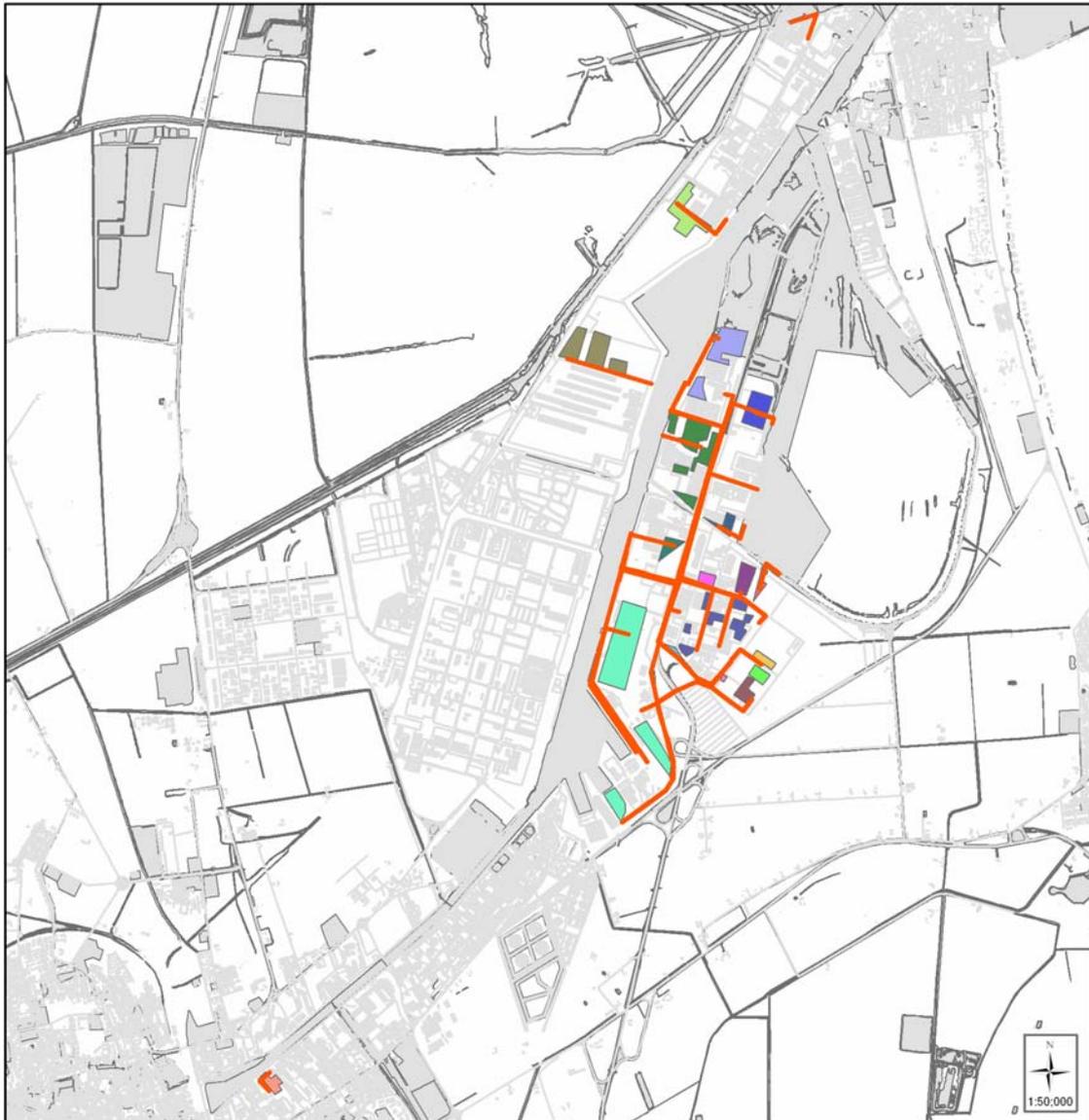


Figura 6.1 (a) - Individuazione percorsi banchina - sito di stoccaggio

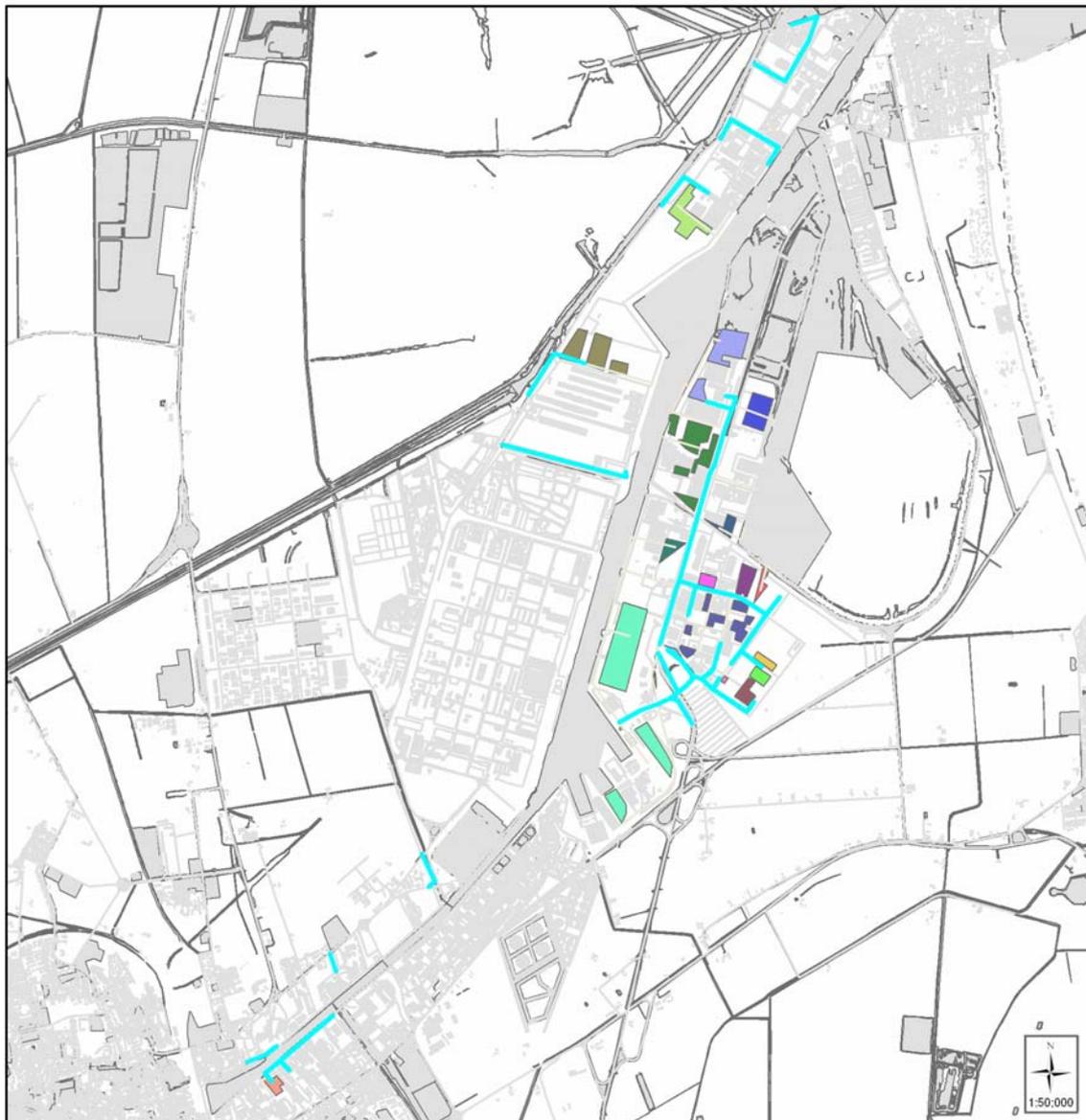


Figura 6.1 (b) - Individuazione percorsi entrata-uscita autocarri

L'emissione totale dovuta al transito dei veicoli nel trasporto della merce dalla banchina al sito di stoccaggio e in entrata/uscita dagli impianti è stata calcolata moltiplicando il fattore di emissione per la lunghezza dei tragitti.

$$E_{PM10} = FE_{mitigaz} * l$$

La stima effettuata presenta rilevanti fattori di incertezza relativi ai reali tragitti percorsi dai mezzi ed allo silt loading del manto stradale non riportato in letteratura per siti simili a quello in esame, oltre ad una sottostima derivante dall'aver trascurato la componente primaria del particolato emesso dal traffico indotto dalle aziende dell'area portuale comprese nell'elenco delle imprese coinvolte nell'indagine ed i camion di quelle aziende che non hanno aderito al protocollo.

6.1.1.1.3 Presenza di cumuli di stoccaggio all'aperto

La presenza di cumuli di stoccaggio all'aperto genera polverosità in fase di formazione e rimaneggiamento dei cumuli, per l'azione di erosione del vento sui cumuli non coperti e per il transito di mezzi operativi nei pressi e sui cumuli. Questi tre differenti aspetti sono stati affrontati separatamente.

Operazioni di aggiunta e prelievo di materiale dai cumuli

Per la stima delle emissioni derivanti dalla formazione dei cumuli di stoccaggio all'aperto, è stata utilizzata la formula proposta dall'EPA (AP – 42) che mette in relazione l'emissione di materiale movimentato con la velocità del vento, la granulometria e l'umidità del materiale movimentato.

Il fattore di emissione, espresso in g/ton di materiale movimentato, è dato dalla formula

$$FE_{TPS} = 1.6 * k * \frac{\left(\frac{u}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}}$$

dove k= coefficiente adimensionale, proporzionale alla dimensione del particolato emesso

u= velocità media del vento (in m/s)

M= umidità relativa percentuale del materiale stoccato in cumuli

Sulla base delle indicazioni fornite nelle schede, sono state selezionate le aziende del porto che hanno depositi all'aperto. I depositi sono stati successivamente georeferenziati sulla base di sopralluoghi e di analisi delle foto aeree (Figura 6.2).

Anche in questo caso, con ottica conservativa, k è stato posto uguale a 0.74.

Informazioni relative all'umidità del materiale stoccato sono state ricavate tramite colloquio con dirigenti di alcune aziende e da alcune schede tecniche dei prodotti.

La velocità media del vento è quella relativa al 2005.

In base al quantitativo di materiale stoccato all'aperto (q), ricavato dalle informazioni fornite sui questionari, è stata calcolata l'emissione di particolato dovuta alla formazione del cumulo di stoccaggio all'aperto (E_{TPS}):

$$E_{TPS} = FE * q$$

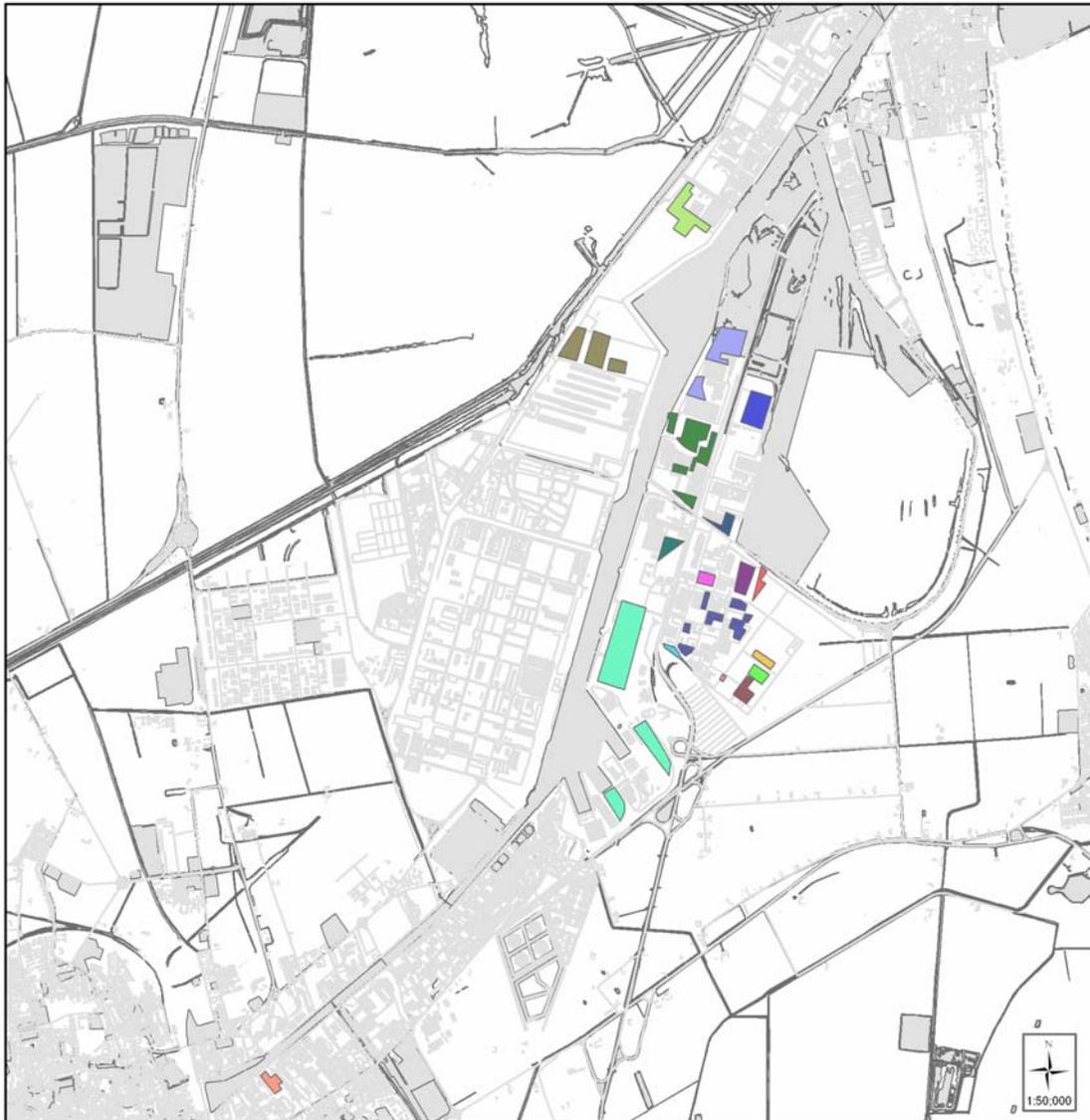


Figura 6.2 – Localizzazione depositi di materiale all'aperto

Erosione del vento delle superfici esposte dei cumuli

Per quanto riguarda la valutazione delle emissioni provocate dall'erosione del vento sui cumuli è stato calcolato il fattore di emissione utilizzando la seguente formula proposta dall'EPA (EPA, 1985) :

$$FE_{TPS} = 1.9 * \left(\frac{s}{1.5} \right) * \left(\frac{365 - p}{235} \right) * \left(\frac{f}{15} \right)$$

dove

FE_{TPS} = quantità totale di polveri emesse per l'erosione del vento, in kg/ha

s = contenuto di particelle fini, con diametro inferiore ai 75 μm (in %)

p = numero di giorni all'anno con precipitazioni superiori a 0.25 mm

f = percentuale di tempo durante il quale la velocità del vento supera 5.4 m/s alla quota media dell'altezza dei cumuli.

Secondo la formula, le emissioni di particolato vengono quindi messe in relazione con il contenuto di particelle fini, il numero di giorni con assenza di precipitazione ed intensità del vento sostenuta.

Sono state selezionate le aziende che hanno depositi di materiale all'aperto e che non coprono i cumuli (ad es. per il clinker che viene stoccato all'aperto ma coperto con teli, si è ritenuta trascurabile l'emissione dovuta al vento).

I valori di contenuto siltoso tipici di materiale stoccati (es. 2.6% per depositi di sabbia, 6.0% per depositi d'argilla) sono stati ricavati dal documento EPA. Per un'azienda si è fatto riferimento alle valutazioni da essa effettuate sulla composizione granulometrica del materiale stoccato .

Le precipitazioni sono quelle del 2005 già utilizzate.

La frequenza di tempo con velocità del vento superiore ai 5,4 m/s è stata calcolata a partire dalle medie orarie di velocità registrate nel 2005, ed è risultata pari al 4 %.

Per determinare l'emissione totale di particolato dai cumuli all'aperto, il fattore di emissione è stato moltiplicato per metà della superficie laterale dei cumuli, espressa in m² e divisa per 10⁷ per esprimerla in ton/anno (10⁷ = fattore di conversione da ha in m² e da kg in ton).

$$E_{TPS} = \frac{FE * S}{1000000}$$

La geometria del "cumulo di riferimento" è stata standardizzata ed approssimata ad un tronco di piramide retta a base quadrata avente altezza media di 7 m, base maggiore di 625 m² (quadrato con lato di 25 m), base minore di 156 m² (quadrato con lato dimezzato rispetto al lato della base maggiore, di 12.5 m) e superficie laterale di 704 m². La superficie di emissione (1/2 superficie laterale + base minore) è di 508 m². Si è supposto che tutti i cumuli avessero stessa forma e stesso volume.

Per stimare il numero di cumuli presenti nei depositi all'aperto di ogni azienda e per tener conto degli spazi adibiti al transito dei mezzi o allo stoccaggio di materiale non polverulento, è stato ipotizzato che solo tre quarti dell'area dichiarata di deposito all'aperto fosse occupata dai cumuli. Tale superficie è stata poi divisa per l'area di base del cumulo di riferimento.

Laddove l'informazione relativa alla superficie all'aperto non fosse presente è stata estrapolata, per mezzo di un software dedicato, dalle foto aeree dell'area portuale.

Una volta stimato il numero dei cumuli di riferimento per ogni azienda, l'emissione totale è stata calcolata moltiplicando per la superficie di emissione di riferimento.

Transito di mezzi operativi nei pressi dei cumuli

Per quanto riguarda la stima delle emissioni generate per effetto del transito di mezzi operativi sui cumuli o nei pressi di essi, questa viene effettuata dall'EPA (AP – 42) assimilando la sorgente al transito di veicoli su strade non pavimentate, che comporta la polverizzazione del materiale superficiale e il sollevamento delle particelle. L'emissione della particelle viene relazionata alla frazione di particelle fini (silt), più facilmente volatili, del materiale della superficie stradale e al peso dei veicoli circolanti.

Il fattore di emissione proposto per questo tipo di sorgente, espresso in g/km percorsi, viene calcolato con la seguente formula:

$$FE_{PM10} = fc * k * \left(\frac{s}{12}\right)^{0.9} * \left(\frac{W}{3}\right)^{0.45}$$

dove

k = 1.5 lb/mile

fc = fattore di conversione 1 lb/mile = 281.9 g/km

s = contenuto di particelle fini, con diametro inferiore ai 75 µm (in %)

W = peso medio dei veicoli circolanti (in ton).

I valori di contenuto siltoso tipici di materiale superficiale su strade non asfaltate (es. 7.1% in aree di stoccaggio del materiale nei siti di lavorazione di sabbia e ghiaia) sono stati ricavati dal documento EPA, che fornisce anche le frazioni siltose per cumuli di stoccaggio.

L'effetto di mitigazione naturale alla sospensione di particolato dovuto alla precipitazione è stato considerato applicando la seguente formula, che fornisce il fattore di emissione ridotto:

$$FE_{mitigaz} = FE * \frac{365 - P}{365}$$

con P = numero di giorni all'anno con precipitazione almeno di 0.25 mm.

Sono state selezionate quindi le aziende per le quali la movimentazione del materiale all'aperto avviene tramite mezzi operativi e per le quali i cumuli sono creati accatastando il materiale scaricato da autocarri tramite pale meccaniche. E' stato ipotizzato, in base al questionario, che la movimentazione di materiale avvenga esclusivamente tramite pale gommate, aventi una capacità di carico media di 3.5 ton, tara di 1.72 ton e peso medio di 3.47 ton.

Il numero dei km percorsi (t) dalle pale gommate in un anno è stato calcolato ipotizzando che la pala meccanica per ogni viaggio (andata – ritorno) compia una distanza pari ad un lato dell'area del deposito all'aperto, ipotizzata a base quadrata.

L'area del deposito all'aperto è stata fornita dall'azienda nei questionari o ricavata da foto aeree, se assente. E' stato ipotizzato che l'area "polverosa", interessata da risospensione di particolato dovuto alla circolazione dei mezzi, costituisca 1/4 del deposito all'aperto .

Il numero di viaggi compiuti dalle pale meccaniche per caricare il cumulo è stato invece stimato suddividendo il quantitativo totale movimentato in un anno per la capacità di carico della pala gommata.

$$E_{PM10} = FE_{mitigaz} * t$$

6.1.1.1.4 Quadro riepilogativo

Nella Tabella 6.3 vengono riportati i carichi emissivi annuali di particolato originati dalle attività di stoccaggio, rimaneggiamento e trasporto di materiale polverulento in area portuale.

Per ricavare l'emissione di PM10, nei casi in cui le formule proposte da EPA si riferivano al calcolo di TPS, è stata applicata l'ipotesi che l'80% del particolato totale sia costituito da PM10 ed è quindi stata applicata la formula seguente:

$$E_{PM10} = E_{TPS} * 0.8$$

E' opportuno ribadire che i carichi emissivi riportati si riferiscono a stime affette da incertezze colmate, in assenza di indicazioni provenienti dalle stesse aziende, da ipotesi di lavoro che hanno consentito di applicare nella sua completezza le metodologie descritte.

Ci si riferisce in particolare a :

- umidità del materiale movimentato e dimensione prevalente del particolato emesso;
- contenuto silteoso del materiale stoccato;
- numero e dimensione dei cumuli;
- reale silt loading del manto stradale;
- distanza annuale percorsa dai mezzi;
- rapporto PTS- PM 10.

E' inoltre da sottolineare che anche in questo caso non è stata considerata la componente primaria (exhaust) del particolato emesso dai camion delle aziende residenti in area portuale.

| CARICHI EMISSIVI DOVUTI A STOCCAGGIO, RIMANEGGIAMENTO E TRASPORTO DI MATERIALE POLVERULENTO IN AREA PORTUALE | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------|
| | TPS (t/a) | PM₁₀ (t/a) |
| <i>dalla banchina al sito di stoccaggio</i> | 47 | 38 |
| <i>in uscita</i> | 94 | 75 |
| Trasporto merci con camion | 141 | 113 |
| <i>formazione e rimaneggiamento</i> | 4 | 3 |
| <i>erosione del vento</i> | 2 | 1 |
| <i>mezzi operativi su o nei pressi dei cumuli</i> | 12 | 10 |
| Presenza cumuli all'aperto | 18 | 14 |
| Sbarco | 4 | 3 |

Tabella 6.3 – Carichi emissivi totali per le attività in ambito portuale

6.1.2 MAPPE DI EMISSIONE DI MATERIALE POLVERULENTO IN AREA PORTUALE

E' stato calcolato per ogni arco stradale la somma dei contributi derivanti dai percorsi effettuati dalle aziende esaminate.

Sono riportate nel seguito le mappe di emissione che illustrano i carichi emissivi annuali per le PM10 relativi ad ogni chilometro di tragitto considerato, espressi in t/a/km.

Dalle mappe di Fig.6.3 si nota come i percorsi che "emettono" più particolato sono ubicati presso le aziende interessate da grande movimentazione di merci nel caso dei tragitti banchine-depositi (Figura 6.3, a) e presso le vie principali dell'area portuale in riva destra al canale Candiano, come via Classicana, nel caso delle destinazioni in uscita dal porto (Figura 6.3, b).

La Fig.6.4 rappresenta l'emissione complessiva, lineare (a) e di griglia (b) dovuta a questi due contributi

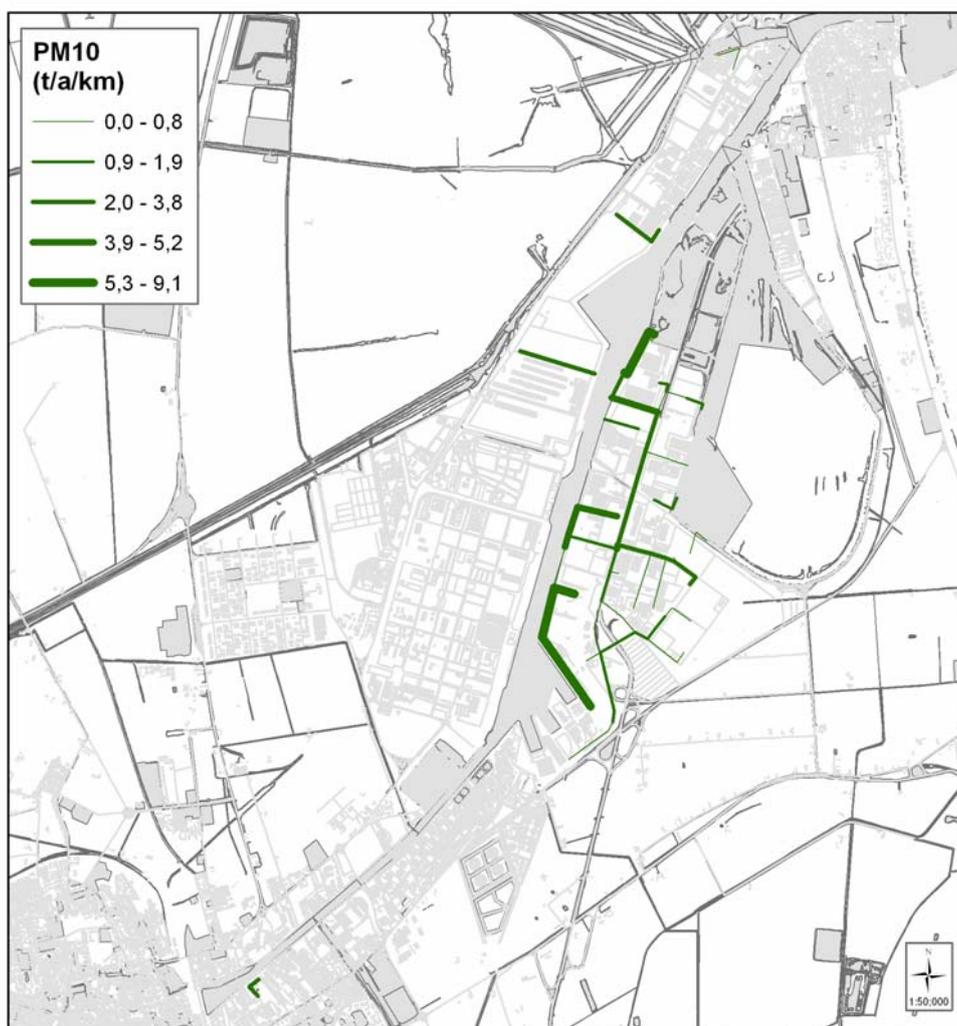


Figura 6.3 (a) - Emissione di PM10 dovuta ai percorsi banchina - sito di stoccaggio

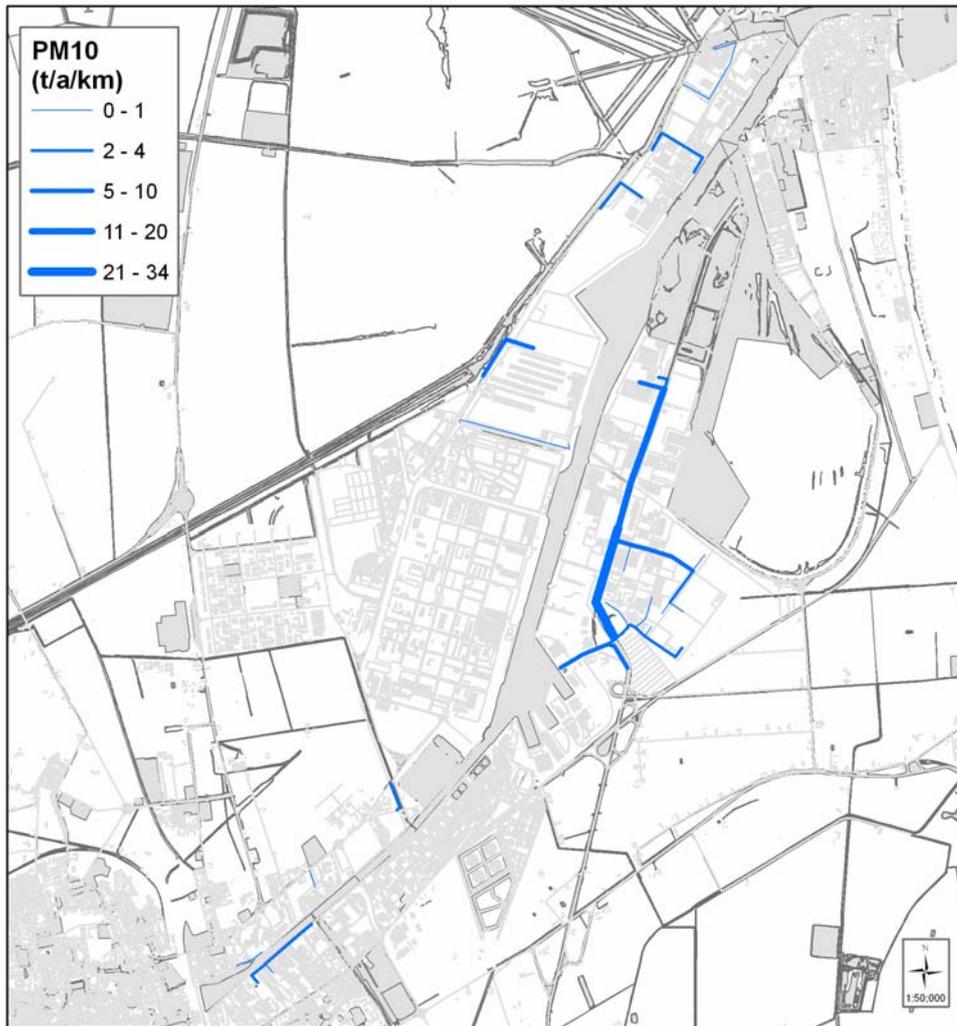


Figura 6.3 (b) - Emissione di PM10 dovuta ai percorsi entrata-uscita autocarri

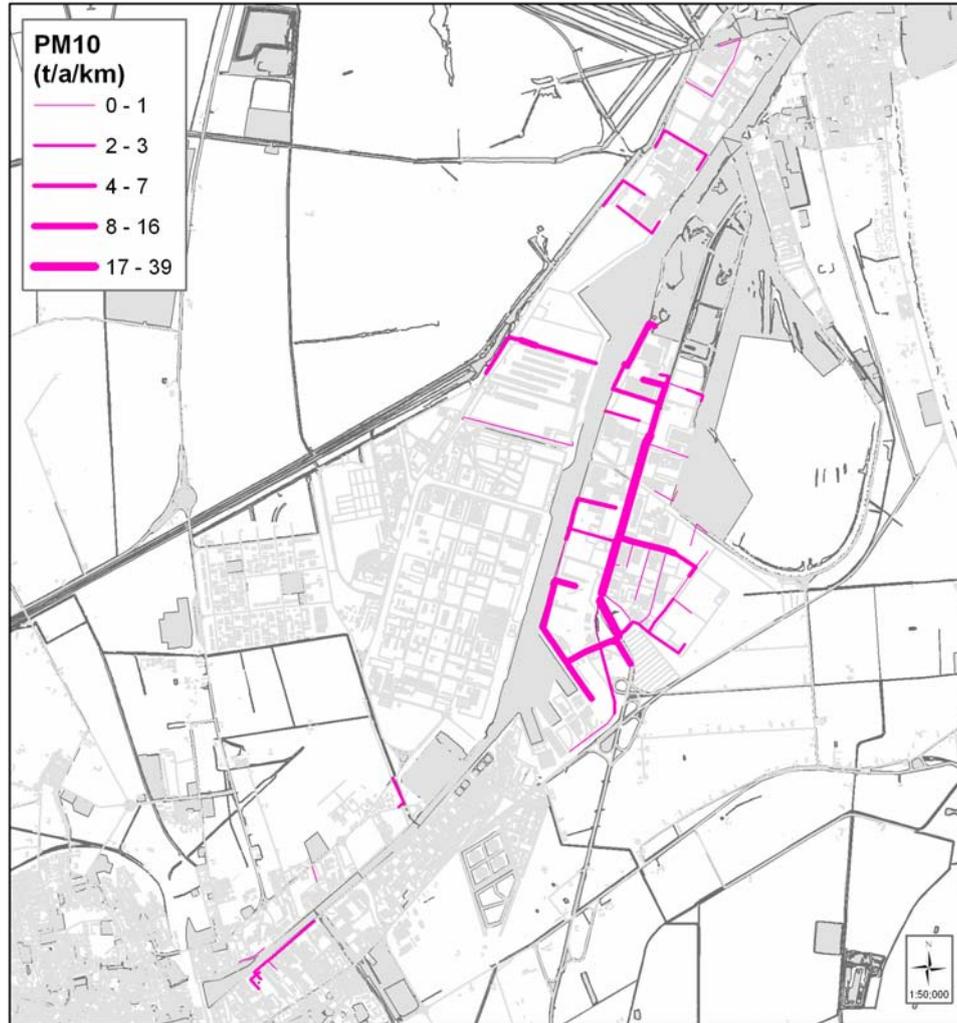


Figura 6.4 (a) - Emissione complessiva di PM10 dovuta alla circolazione di autocarri in area portuale



Figura 6.4 (b): Emissione complessiva di PM10 dovuta ai depositi all'aperto

6.2 TRAFFICO MARITTIMO

Le emissioni in ambito portuale prodotte dal traffico marittimo sono dovute principalmente ad operazioni legate alla manovra delle navi e allo svolgimento delle attività marittime e si possono classificare in tre tipologie principali:

1. **emissioni all'ormeggio** (alongside emission): derivano dall'esercizio dei motori ausiliari delle navi ancorate in darsena con i motori principali spenti;
2. **emissioni da manovra** (maneuvering emission): dovute alla partenza e all'arrivo delle navi in porto;
3. **emissioni dei mezzi portuali** (emission from harbour craft): comprendono le emissioni dovute ai diversi mezzi navali in servizio nel porto.

Tali emissioni si originano dai motori diesel nautici che sono i motori predominanti usati nell'industria nautica per la propulsione e l'energia ausiliaria (UNECE/EMEP, 2002). Generalmente i motori diesel nautici si possono dividere in tre categorie :

- diesel lenti (*slow speed engine*), a due tempi, caratterizzati da velocità di rotazione relativamente basse, inferiori a 140 (300) rpm;
- diesel medio-veloci (*medium speed engine*), a quattro tempi, caratterizzati da velocità di rotazione tra 300 e 1000 rpm;
- diesel veloci (*high speed engine*), a quattro tempi, caratterizzati da velocità di rotazione superiori a 1000 rpm.

In funzione della potenza erogata e del loro utilizzo distinguiamo motori principali (*Main Engine*) e i motori ausiliari (*Auxiliary Engine*).

I motori principali generano la forza di propulsione della nave e normalmente sono spenti in porto; principalmente sono motori diesel lenti e a media velocità.

I motori ausiliari, spenti in fase di navigazione, forniscono l'energia necessaria per l'illuminazione di bordo, la ventilazione, il riscaldamento, il funzionamento delle gru, ecc... durante la permanenza in porto.

6.2.1 COMPILAZIONE DELL'INVENTARIO DELLE EMISSIONI

6.2.1.1 Metodologia per la stima delle emissioni

La metodologia adottata per la stima delle emissioni dai mezzi navali, elaborata a livello europeo (*MEET Methodology*) (Trozzi C., Vaccaro R., 1998), calcola le emissioni di 12 categorie di navi, con stazza lorda >100 t, attraverso i dati di consumo di combustibile e i fattori di emissione proposti per tipo di motore e modalità operativa.

Con questa metodologia è possibile stimare il consumo di combustibile per nave e conseguentemente le emissioni inquinanti in ambito portuale per ciascuna delle due principali fasi che caratterizzano l'attività navale all'interno del porto: la manovra (*maneuving*) e l'ormeggio (*hotelling*).

La valutazione degli inquinanti emessi si basa infatti su fattori di emissione riferiti al consumo medio giornaliero di combustibile. Tale consumo può essere noto oppure calcolato in funzione della stazza lorda (Gross Tonnage), considerando una regressione lineare fra consumo di combustibile e stazza lorda.

In Tabella 6.4 sono illustrate le funzioni derivate per il calcolo del consumo di combustibile a pieno regime (UNECE/EMEP, 2002):

| Tipologia di navi | Consumo a pieno regime (t/day) in funzione della stazza lorda (GT) (°) |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Solid bulk | $C_{jk} = 20,186 + 0,00049 \cdot GT$ |
| Liquid bulk | $C_{jk} = 14,685 + 0,00079 \cdot GT$ |
| General Cargo | $C_{jk} = 9,8197 + 0,00143 \cdot GT$ |
| Container | $C_{jk} = 8,0552 + 0,00235 \cdot GT$ |
| Passenger/Ro-Ro/Cargo | $C_{jk} = 12,834 + 0,00156 \cdot GT$ |
| Passenger | $C_{jk} = 16,904 + 0,00198 \cdot GT$ |
| High speed ferry | $C_{jk} = 39,483 + 0,00972 \cdot GT$ |
| Inland cargo | $C_{jk} = 9,8197 + 0,00143 \cdot GT$ |
| Sail ships | $C_{jk} = 4,2682 + 0,00100 \cdot GT$ |
| Tugs | $C_{jk} = 5,6511 + 0,01048 \cdot GT$ |
| Fishing | $C_{jk} = 1,9387 + 0,00448 \cdot GT$ |
| Other ships | $C_{jk} = 9,7126 + 0,00091 \cdot GT$ |
| All ships | $C_{jk} = 16,263 + 0,001 \cdot GT$ |

(°) j, fuel; k, ship class.

Tabella 6.4 - Equazioni per regressione lineare fra consumo di combustibile e stazza lorda

Ai valori così ottenuti sono poi applicati i fattori di riduzione (p_m) per tener conto dell'effettivo consumo durante le diverse modalità operative in porto:

- manovra pari a 0.4
- hotelling pari a 0.2

Per le attività dei rimorchiatori tale fattore è pari a 0.8.

Ne risulta quindi che il consumo Q_{jkm} per ogni nave si ottiene dall'equazione:

$$Q_{jkm} = C_{jk} \cdot p_m$$

E' possibile infine ottenere l'emissione per ogni tipologia di nave mediante l'equazione:

$$E_{ijklm} = Q_{jkm} \cdot EF_{ijklm}$$

dove

i = inquinante

j= combustibile

k= tipo di nave

l= tipo di motore

m= modalità operativa

E_{ijklm} = emissione totale (kg/day)

Q_{jkm} = consumo di combustibile per classe navale (t/day)

EF_{ijklm} = fattore di emissione (kg/t)

I fattori di emissione⁵, per tipo di motore e modalità operativa, espressi in kg/ton di carburante (Tabella 6.5), applicati ai consumi ottenuti consente di stimare l'emissione complessiva della nave relativamente al particolato totale e agli ossidi di azoto.

Nel presente studio si è assunto che tutte le navi censite fossero equipaggiate con motori nautici diesel, unicamente a media e bassa velocità. In accordo con i dati forniti sulla flotta mediterranea dal Lloyd's Register (1999) infatti solo 8% dei motori include tipologie ad alta velocità o a turbina (ENTEC, 2002).

Per l'applicazione dei fattori di emissione, si è ragionevolmente ipotizzato (CORINAIR, 2006) che tutte le navi aventi una stazza superiore alle 10 000 tonnellate fossero armate con motori del tipo *slow speed*, mentre per le navi rimanenti si è ipotizzato fossero tutte equipaggiate con motori *medium speed*.

La metodologia prevede comunque per le due diverse modalità di manovra su entrambe le tipologie di motori lo stesso fattore di emissione per il particolato totale sospeso:

| Modalità | Motori a bassa velocità (kg/ton di carb.) | | Motori a media velocità (kg/ton di carb.) | |
|----------|-------------------------------------------|-----|-------------------------------------------|-----|
| | NOx | PTS | NOx | PTS |
| ormeggio | 23 | 1.2 | 35 | 1.2 |
| manovra | 51 | 1.2 | 78 | 1.2 |

Tabella 6.5 - Fattori di emissione per nave in modalità "manovra" e in modalità "ormeggio"

Per la stima delle emissioni da traffico marittimo si è fatto riferimento alle statistiche dei movimenti portuali; da queste si può risalire ai dati di movimento delle differenti tipologie di imbarcazioni, ai tempi di permanenza in porto e a quelli necessari per le differenti modalità operative delle navi (Luciali P., P. Ugolini, E. Pollini, 2007) . Tale informazioni devono essere integrate da notizie sulla realtà locale ricavabili da regolamenti, limiti alla navigazione e caratteristiche tecniche delle imbarcazioni.

Per caratterizzare il del traffico marittimo di Ravenna - di natura essenzialmente commerciale - sono state utilizzate le seguenti informazioni:

- flusso per tipologia delle navi che transitano in porto
- caratteristiche principali delle navi (stazza lorda, tipo di motore)
- tempo medio di permanenza in porto.

Tali elementi sono stati integrati da dati presenti nella letteratura internazionale e da informazioni fornite dalla capitaneria di porto che ci ha messo in condizione di fare un po' di chiarezza nel vasto e complesso campo della meccanica navale.

Nonostante tutto, caratterizzare correttamente il traffico marittimo nel porto di Ravenna richiede un dettaglio sicuramente superiore a quello utilizzato, che non prende in considerazione ad esempio lo stato dei motori installati a bordo, in termini di età, manutenzione e ore di marcia.

⁵ I fattori di emissione sviluppati nell'ambito di questa metodologia sono confrontabili con quelli del Lloyd's Register, società leader nella classificazione e registrazione delle flotte navali mondiali, che ha condotto test di emissione su 50 mezzi. Il Lloyd's ha stimato fattori di emissione medi per motori diesel a media, alta e bassa velocità.

Le informazioni necessarie per l'applicazione della metodologia sono state ricavate dai dati 2005, in particolare:

1. accesso portuale (fornito dalla Capitaneria di Porto);
2. indicazioni fornite dalla Capitaneria di Porto;
3. statistiche annuali del Porto di Ravenna pubblicate dall'Autorità Portuale.

Per censire le sorgenti di emissione dovute al traffico navale sono stati considerati i transiti dei mezzi che hanno stazionato nel porto per più di 50 minuti, calcolando i tempi di permanenza di ogni singola nave, attraverso il confronto fra la data e l'ora di entrata e di uscita, riportato nelle statistiche di accesso portuale. In totale sono state considerate, sulla base di questo criterio, 2796 navi⁶.

I dati di accesso relativi alle tipologie di navi transitate nel corso del 2005 e le indicazioni fornite dalla Capitaneria, hanno consentito di assegnare ad ogni singola nave la classe di appartenenza, come prevista dalla metodologia applicata.

La classificazione secondo le tipologie MEET e il numero complessivo di navi ad esse appartenenti, sono riportati in Tabella 6.6.

| Tipologia MEET | N° totale di navi transitate considerate |
|---------------------------|-------------------------------------------------|
| Container | 33 |
| Fishing | 5 |
| General Cargo | 456 |
| Liquid Bulk | 546 |
| Other Ships | 35 |
| Passenger/Ro-Ro/Cargo | 55 |
| Passenger | 2 |
| Solid Bulk | 1318 |
| Tug | 346 |
| Totale complessivo | 2796 |

Tabella 6.6 - Numero di navi per categoria MEET stazionate per più di 50 minuti

Avendo a disposizione la stazza lorda, per ciascuna nave è stato stimato il consumo medio di combustibile a pieno regime. Ai valori così ottenuti sono stati poi applicati i fattori di riduzione per tener conto dell'effettivo consumo durante le modalità operative in porto qui analizzate:

- manovra pari a 0.4
- hotelling pari a 0.2
- attività dei rimorchiatori pari a 0.8.

Sulla base delle ipotesi sopra esposte (CORINAIR, 2006) sono stati applicati i fattori di emissione, diversificati per motori del tipo *slow speed* e per motori *medium speed*.

Sono stati valutati i contributi determinati dalle fasi in cui i motori principali sono in attività e le emissioni dovute ai motori ausiliari attivi nella fase di stazionamento. La stima dei quantitativi complessivamente emessi dal traffico in transito nel porto di Ravenna è riportata in Tabella 6.7:

⁶ Questo dato non tiene conto delle attività delle bettoline che effettuano allibi e bunkeraggi, non censite nelle statistiche di accesso portuale.

| CARICHI EMISSIVI DOVUTI AL TRAFFICO NAVALE | | | |
|-----------------------------------------------|-----------------------|-----------|------------|
| | NO _x (t/a) | TPS (t/a) | PM10 (t/a) |
| Mezzi navali | 819 | 33.9 | 27.1 |

Tabella 6.7 – Emissioni inquinanti stimate da traffico navale

6.2.2 MAPPE DI EMISSIONE DA TRAFFICO NAVALE

La mappa di carico riportata in Figura 6.5 rappresenta il tasso di emissione espresso in t /a/m² per ciascuna cella del dominio di calcolo.

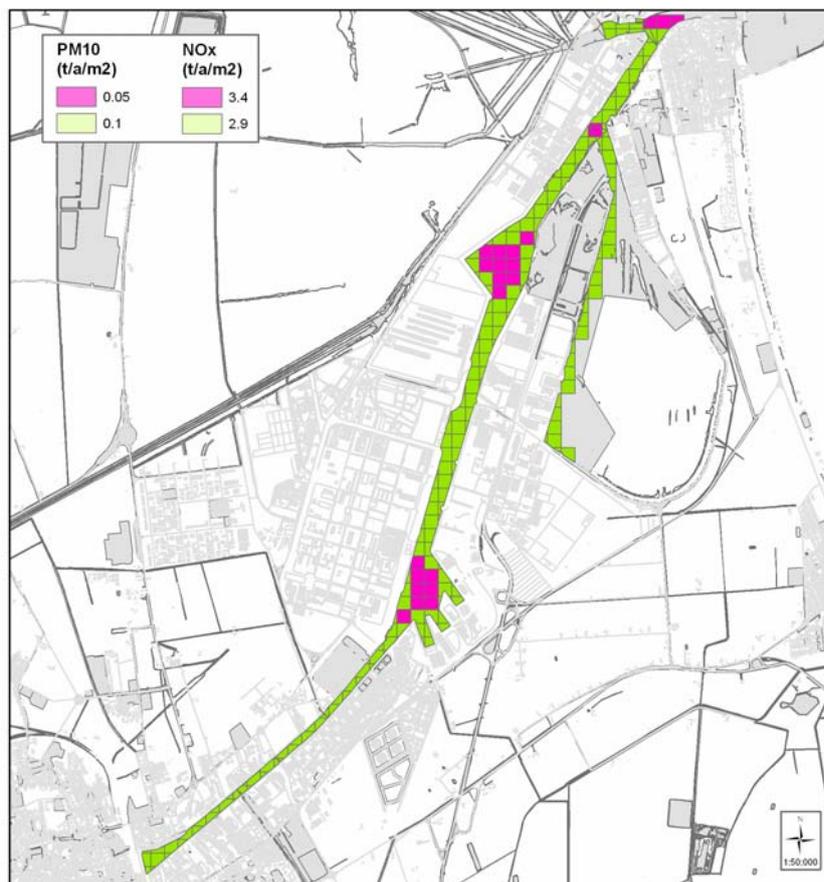


Figura 6.5 – Mappa di emissione PM10 e NO_x da traffico navale

6.3 SIMULAZIONE DELLA DISPERSIONE DEGLI INQUINANTI IN AREA PORTUALE

Per studiare la dispersione del particolato emesso in area portuale dalle sorgenti descritte nei paragrafi 6.2.1 e 6.2.2 si è utilizzato il modello di dispersione atmosferica ADMS – Urban (versione 2.2).

Le diverse sorgenti esaminate sono state trattate in maniera differente :

- il trasporto su gomma di materiale dalla banchina al sito di stoccaggio e in uscita dalle aziende è stato inserito come sorgente lineare;
- i depositi di stoccaggio all'aperto, le operazioni di sbarco delle merci dalle navi alla banchina e i mezzi navali⁷ sono stati trattati come sorgenti di griglia.

Dati di input al modello

Per caratterizzare le sorgenti lineari, come richiesto dal modello, sono state definite:

- la portata emissiva del tratto stradale, espressa in g/s/km
- l'elevazione della strada, pari a zero
- la larghezza della strada, pari a 8 m per percorsi su carreggiate e per i percorsi su banchina
- l'altezza di canyon, ipotizzata nulla.

Le sorgenti di griglia sono state inserite con i parametri necessari alla loro definizione :

- il passo della cella, scelto 130x130 metri
- l'altezza di griglia, scelta pari a 7 metri
- il tasso di emissione, in g /m²/sec

In particolare per il traffico navale applicando i fattori di emissione per motori diesel nautici (slow and medium speed diesel engines), è stato possibile calcolare, in funzione della modalità di manovra, le emissioni totali originate dalle navi transitate e stazionate nel porto durante l'intero anno. Dai tassi di emissione annuali calcolati per ciascuna nave considerata, sono stati poi derivati i tassi di emissione da immettere nel modello di diffusione, richiesti in g /m²/sec, differenziando le celle del dominio interessate prevalentemente da fasi di manovra (quelle ricadenti presso i bacini del Canale Candiano) e da fasi di stazionamento (celle adiacenti alle rive del canale, corrispondenti alle banchine). È stata inoltre specificata una temperatura media di uscita dei fumi pari a 340°C (Cooper, 2003).

Le dimensioni della griglia sopra definite hanno dato origine, per le sorgenti navali, ad un totale di 274 celle, che ricoprono gli 11 chilometri del Canale Candiano e parte della Piallassa Piomboni (Figura 6.6).

Per le emissioni derivanti da operazioni di formazione e rimaneggiamento dei cumuli di materiale nei piazzali delle aziende del porto, per ciascun deposito individuato su foto aerea è stata associata la corrispondente cella di appartenenza della griglia di input e valutato il relativo tasso di emissione. Le strade sono state rappresentate tramite sorgenti lineari per un totale di 110 archi.

Il dominio di studio per le attività connesse alle operazioni in ambito portuale e navale comprende in totale 2944 celle ed è riportato in figura 6.6, in cui sono evidenziate anche le celle utilizzate per la definizione dell'area interessata dal traffico dei mezzi navali.

Inoltre per entrambi i tipi di sorgente vanno inserite informazioni relative a:

- Variabilità temporale nella portata emissiva delle sorgenti, considerata costante;

⁷ Poiché il traffico navale ha una dinamica molto differente da quella del traffico veicolare, si è ritenuto non significativo trattare questo scenario attraverso una sorgente lineare, sorgente utilizzata per simulare nel modo più appropriato le emissioni veicolari in ambito urbano.

- Condizioni meteorologiche relative al periodo di simulazione (dati orari di direzione e intensità del vento, temperatura superficiale e radiazione solare);
- Informazioni sulle variabili di output richieste (PM10).



Figura 6.6 - Suddivisione del dominio di studio dell'area portuale

6.4 CONCENTRAZIONE DI INQUINANTI AL SUOLO DOVUTI A MATERIALE POLVERULENTO IN AREA PORTUALE

Le isoconcentrazioni di PM10 e NO₂ restituite dal modello sono stimate su una griglia di 46x64 punti con passo di 130 metri, per un totale di 2944 celle che ricoprono l'intera area portuale-industriale.

La mappa in Figura 6.7 (a) mostra la diffusione di PM10 derivante dalle attività legate alla movimentazione delle merci polverulente e dalle operazioni dei mezzi navali, con le relative concentrazioni medie stimate dal modello.

Lo scenario immissivo evidenzia livelli elevati di PM10 in corrispondenza delle strade principali che convogliano i traffici di tutti gli automezzi che escono ed entrano nell'area del porto San Vitale. Significativo è il contributo derivante dal traffico transitante in via Classicana, dove le concentrazioni medie stimate superano $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Si osservano concentrazioni di PM10 comprese tra 60 e $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lungo le strade percorse durante i tragitti che gli autocarri effettuano per il trasporto del materiale dalle banchine ai depositi, con riferimento alla zona fra le banchine Sapir e Setramar e alla via Battana. Si notano inoltre i contributi derivanti dalle attività localizzate nella zona più a nord del porto San Vitale (Eurodocks).

Concentrazioni inferiori a $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ si osservano lungo i tragitti minori, soprattutto per quanto riguarda le strade esaminate lungo la riva sinistra del Candiano : area darsena di Città, zona Fassa e la parte più settentrionale a destra della via Baiona (in corrispondenza degli impianti IFA, LLOYD e Bunge).

Le simulazioni ottenute mostrano la prevalenza del contributo dovuto alla circolazione dei mezzi sia su strade pubbliche che su banchine, mentre risulta essere poco significativo il contributo derivante dal traffico marittimo e dalle operazioni di formazione/erosione dei cumuli.

Sicuramente importante risulterebbe il contributo derivante dalle attività di lavorazione svolte all'aperto, che non sono esaminate nel presente studio.

La mappa in Figura 6.7 (b) riporta le concentrazioni medie annuali di NO_2 , espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dovute al traffico navale.

La distribuzione delle concentrazioni massime di ossidi di azoto è ($38 - 42 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si presenta in prossimità del Bacino Sapir, dove accanto alle attività di ormeggio sono state collocate le attività di manovra delle navi. I valori decrescono spostandosi da questa area verso l'esterno, fino a raggiungere concentrazioni stimate comprese fra 6 e $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lungo il tratto terminale del porto canale, nell'area a sud est verso Via Classicana e a nord ovest verso il polo chimico.

Altri due picchi di concentrazione sono stimati dal modello in prossimità del Bacino Trattaroli e lungo il tratto di canale che immette nel Candiano. Da queste aree i valori di concentrazione diminuiscono progressivamente verso la costa e verso la pialassa Baiona, con alcuni spot di valori compresi tra 27 e $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ localizzati nella zona compresa fra Setramar, Docks Cereali, Nadep e più a nord verso Eurodoks, con una distribuzione prevalente di concentrazione stimata tra 22 e $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ compresa fra il canale Piombone e il canale Candiano.

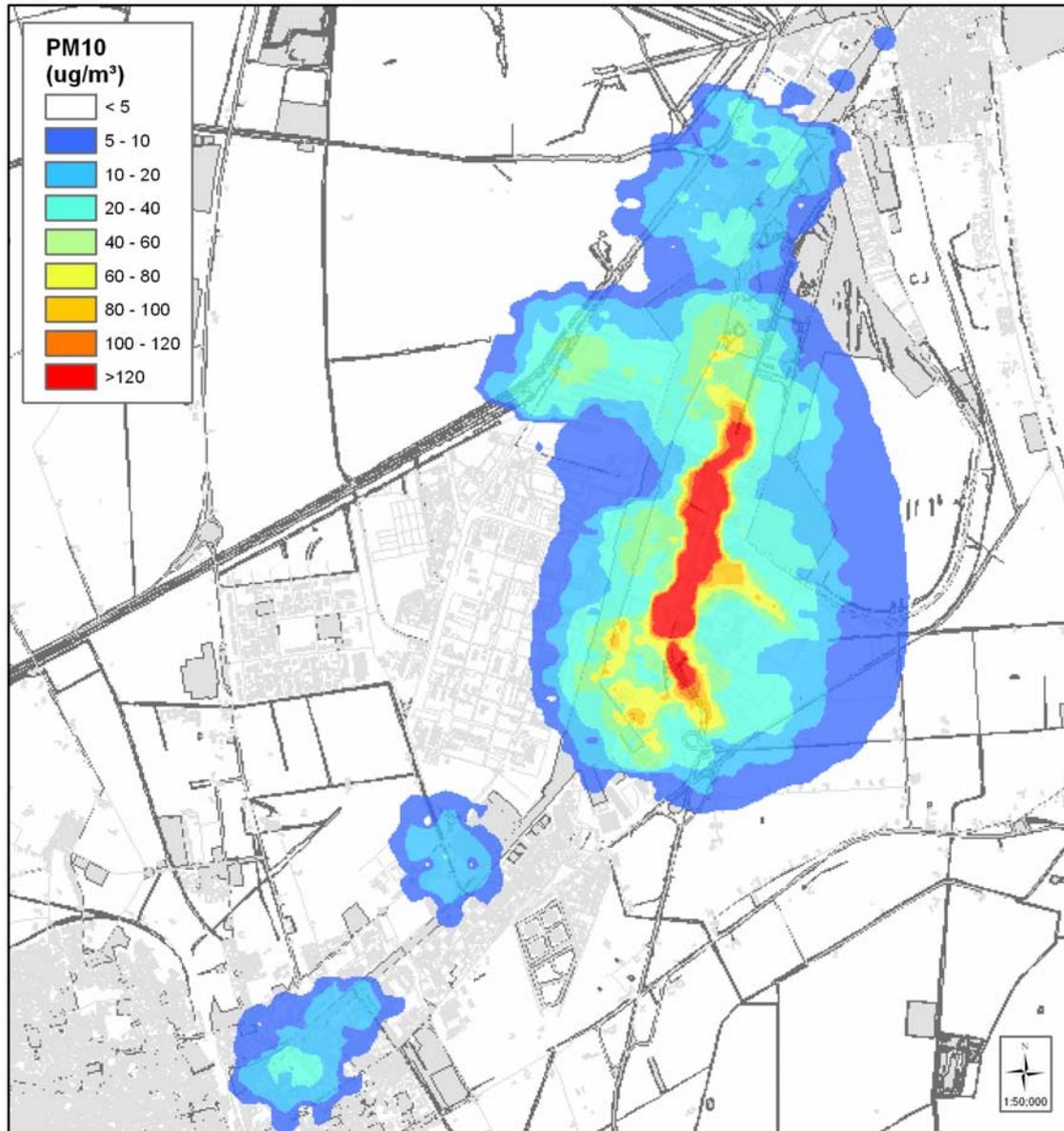


Figura 6.7 (a)- Mappe di immissione di PM10 in area portuale dalle attività di movimentazione rinfuse e dal traffico navale

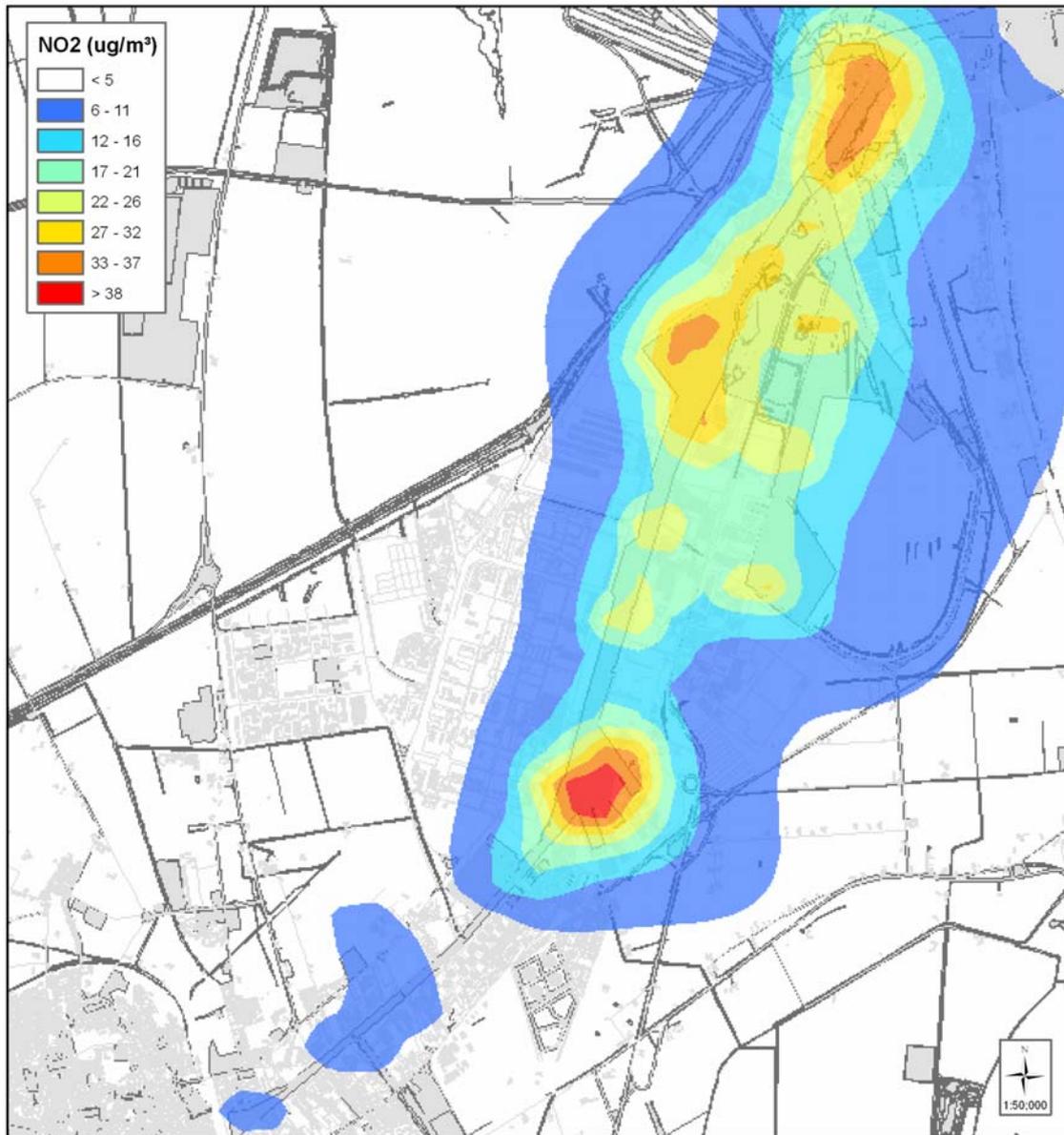


Figura 6.7 (b)- Mappe di immissione di NO₂ in area portuale da traffico navale

7 . RIEPILOGO DELLE EMISSIONI

Nella tabella 7.1 vengono riassunte le emissioni annue dei macroinquinanti nell'area urbana di Ravenna, così come individuata nel dominio spaziale di simulazione, suddivise per tipologia di sorgente.

| CARICHI EMISSIVI DELLE MACROSORGENTI NELL'AMBITO URBANO DEL COMUNE DI RAVENNA | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------|----------|
| | NO _x (t/a) | PM ₁₀ (t/a) | CO (t/a) |
| Traffico veicolare | 2103 | 178 | 12336 |
| Riscaldamento domestico | 214 | 2 | 92 |
| Sorgenti industriali (ridotte) | 4050 | 456 | 690 |
| Area portuale | 819 | 132 | n.d. |

n.d.=non determinato

Tabella 7.1 – Emissioni annuali nell'ambito urbano di Ravenna

Dall'elaborazione grafica dei contributi percentuali delle diverse sorgenti considerate per ogni inquinante emesso (Figura 7.1) si osserva che nell'area urbana di Ravenna:

- il traffico veicolare contribuisce principalmente alle emissioni di CO (94%);
- gli ossidi di azoto sono emessi in prevalenza dalle sorgenti industriali (57%), cui si aggiungono le sorgenti veicolari (29%);
- i contributi principali all'emissione di particolato primario sono determinati dalle industrie (60%), con un apporto significativo derivante anche dalle attività portuali (17%) e dal traffico veicolare (23%);
- il riscaldamento domestico produce essenzialmente CO e NO_x ma con apporti decisamente inferiori agli altri settori.

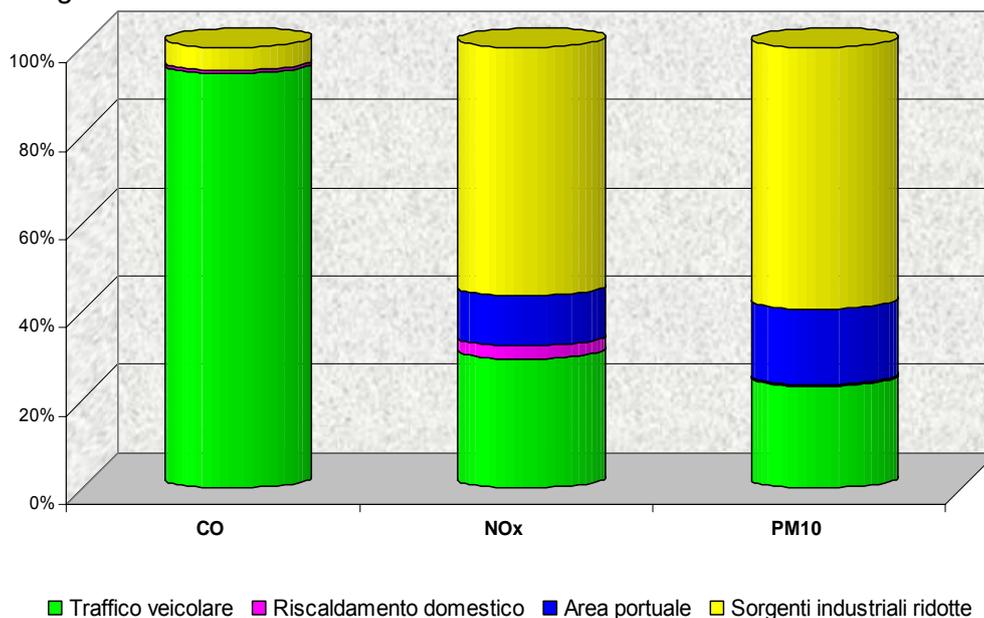


Fig. 7.1 – Contributi percentuali delle diverse fonti alle emissioni di CO, NO_x e PM₁₀.

8. VALUTAZIONE DELLE PERFORMANCE DEL MODELLO E ANALISI D'INSIEME

Valutate le emissioni e le immissioni riconducibili ai quattro macrosettori considerati (traffico, riscaldamento, industria e porto), lo studio prosegue con il confronto fra dati simulati e dati misurati e con la valutazione del peso dei contributi delle singole sorgenti alle concentrazioni degli inquinanti misurate in corrispondenza delle stazioni della rete di controllo della qualità dell'aria.

Il primo passaggio (confronto dati simulati e dati misurati) è finalizzato all'analisi dell'attendibilità dei risultati del modello (performance del modello).

Le emissioni considerate sono il monossido di carbonio (CO), il biossido di azoto (NO₂) ed il particolato (PM10) per le motivazioni che hanno portato a focalizzare l'attenzione su questi tre inquinanti in tutta la trattazione:

- il monossido di carbonio (CO) è un inquinante esclusivamente primario e non subisce nel breve e medio periodo significative trasformazioni che lo sottraggano dal dominio dell'area in studio;
- Il CO è l'inquinante scelto come riferimento per la validazione del modello, in quanto, essendo dovuto prevalentemente al traffico veicolare, può essere utilizzato come "tracciante" di questo settore e quindi gas ideale per la verifica dell'attendibilità di un modello di dispersione di inquinanti emessi da sorgenti stradali;
- il biossido di azoto risulta critico per l'area urbana del Comune di Ravenna poiché, sulla base delle concentrazioni misurate dalla rete di controllo della qualità dell'aria e dal laboratorio mobile, presenta rischio di superamento del valore limite della media annuale;
- analogamente il particolato PM10, critico per il superamento dei limiti previsti dalla norma, in particolare di quello relativo al numero di giorni con concentrazioni maggiori di 50 µg/m³ (che non dovrebbero essere più di 35).

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria del territorio comunale, i cui dati sono stati utilizzati per valutare l'accuratezza del modello di dispersione, è costituita da stazioni di proprietà delle pubbliche amministrazioni e gestite da Arpa e da stazioni private collocate in prossimità della zona industriale di Ravenna, gestite dalla società RSI per conto di un consorzio cui partecipano numerose aziende del polo industriale.

Le cinque stazioni pubbliche sono Rocca Brancaleone, all'interno delle mura della Rocca, Zalamella, Caorle, Stadio e SAPIR presso l'area portuale/industriale.

Le sei stazioni private sono in via dei Germani, presso l'Azienda Marani in via Romea Nord, presso l'Azienda Zorabini, a Marina di Ravenna, AGIP29 nella zona Ovest di Ravenna e vicino a S. Antonio, e in località Sant'Alberto (quest'ultima non ricade nel dominio di calcolo). La localizzazione delle centraline che ricadono nel dominio di calcolo è visualizzata nella Figura 8.1.

Secondo quanto indicato dal documento *Criteria for EUROAIRNET* e dalla Decisione 2001/752/CE, le centraline Rocca Brancaleone e Zalamella sono classificate stazioni urbane da traffico (TU) poiché situate in zone ad intenso traffico veicolare. Rocca Brancaleone, seppur all'interno di un parco urbano, si trova infatti circondata da strade in cui, soprattutto nelle ore di punta, il traffico è congestionato.

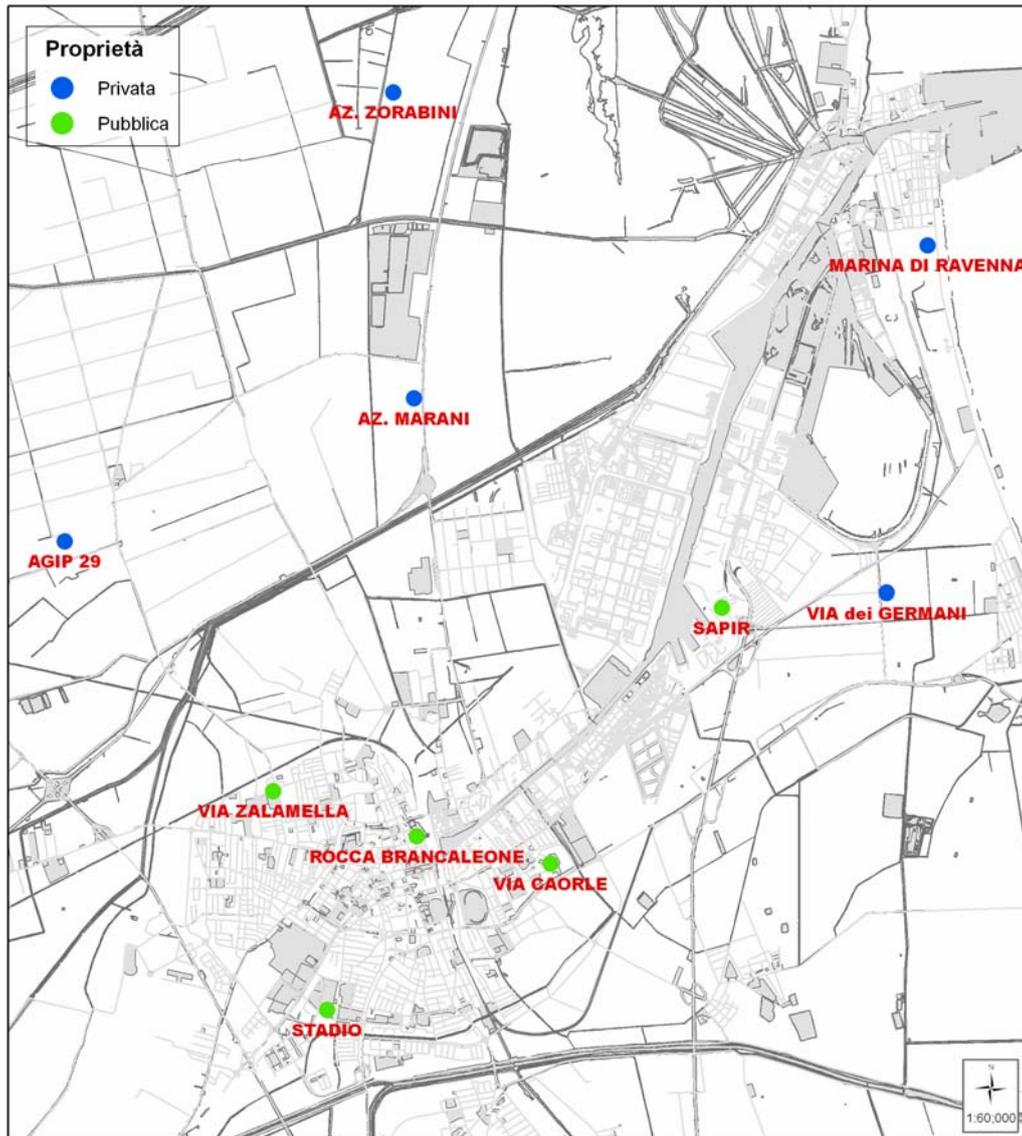


Figura 8.1 - Localizzazione delle stazioni di Ravenna ricadenti nel dominio di calcolo

Le centraline Caorle e Stadio sono invece situate in zone caratterizzate da elevata densità abitativa e definite di fondo urbano residenziale (FU-Res). In realtà se Caorle è una stazione tipica di fondo urbano, Stadio risente anche del traffico veicolare nella vicina via Berlinguer.

La stazione di rilevamento SAPIR è una stazione localizzata in una zona suburbana di tipo industriale (IND) che risente maggiormente degli apporti derivanti dall'area industriale e portuale. Analogamente tutte le centraline della rete privata sono definite "industriali" poichè collocate in zone suburbane sottovento rispetto alla zona industriale.

Per validare il modello sono state confrontate le concentrazioni orarie, le medie mensili e quelle annuali, stimate e misurate per CO ed NO₂ e le medie giornaliere per il PM₁₀, tutte riferite all'anno 2005.

Nelle Tabelle 8.1 e 8.2 sono riportati i rendimenti degli analizzatori¹ e le medie annuali dei tre inquinanti in corrispondenza delle stazioni di rilevamento della rete della qualità dell'aria che

¹ Il rendimento strumentale è calcolato come percentuale di dati generati e validi rispetto al totale teorico.

ricadono nel dominio di calcolo. In base alla normativa (D.M. n°60/2002) l'efficienza minima per il calcolo degli standard di qualità dell'aria è 90%: nel 2005 tutti i monitor considerati hanno fornito un'efficienza superiore a questo valore.

| Stazione RRQA | CO | NO ₂ | PM10 |
|-------------------|-----|-----------------|------|
| Caorle | 95% | 93% | 99% |
| Rocca Brancaleone | 95% | 95% | 97% |
| Sapir | - | 93% | 91% |
| Stadio | 92% | 94% | - |
| Zalamella | 92% | 92% | 93% |
| AGIP 29 | - | - | 100% |
| Azienda Marani | - | 100% | 100% |
| Azienda Zorabini | - | 100% | - |
| Marina di Ravenna | - | 100% | - |
| Via dei Germani | - | 100% | 100% |

(-) = parametro non rilevato

Tabella 8.1 – Percentuale dati validi per le rilevazioni del 2005

| Stazione RRQA | CO mg/m ³ | NO ₂ µg/m ³ | PM10 µg/m ³ |
|-------------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| Caorle | 0,8 | 43 | 26 |
| Rocca Brancaleone | 0,6 | 40 | 36 |
| Sapir | - | 48 | 42 |
| Stadio | 0,7 | 34 | - |
| Zalamella | 0,8 | 55 | 34 |
| AGIP 29 | - | - | 32 |
| Azienda Marani | - | 46 | 38 |
| Azienda Zorabini | - | 40 | - |
| Marina di Ravenna | - | 22 | - |
| Via dei Germani | - | 25 | 33 |

(-) = parametro non rilevato

Tabella 8.2 – Medie annuali relative all'anno 2005

8.1 INDICI STATISTICI DI VALUTAZIONE DELLE PERFORMANCE DEL MODELLO

Per valutare le performance del modello sono stati calcolati alcuni indicatori statistici.

Il set di indici statistici utilizzati è tratto da Hurley (Hurley et al, 2005) e raccoglie gli indici raccomandati dal Joint Research Centre (JRC) della Comunità Europea. Nel 1991, allo scopo di

omogeneizzare e standardizzare la valutazione dei modelli di dispersione, lo JRC preparò un set di dati di riferimento, denominato il Model Validation Kit, e raccomandò delle specifiche statistiche per rielaborarli.

Le statistiche consigliate sono:

- la media aritmetica,
- la deviazione standard (σ),
- il coefficiente di correlazione (R),
- l'indice di accordo dei risultati (Index Of Agreement, IOA),
- l'errore quadratico medio normalizzato (NMSE),
- il fattore di Bias (FB) e
- il fattore due (FA2).

La media aritmetica dà indicazioni sulla tendenza centrale di una popolazione di dati; la deviazione standard misura la dispersione dei dati intorno al valore medio; il coefficiente di correlazione R misura la correlazione fra le serie temporali di concentrazioni predette dal modello e quelle misurate dalla rete di monitoraggio, mentre gli altri quattro indici misurano, più in generale, la vicinanza fra valori osservati e misurati.

Il coefficiente di correlazione si definisce come il rapporto fra la covarianza delle matrici rappresentate dalle due serie di dati e il prodotto delle deviazioni standard di ogni serie:

$$R = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}$$

R può assumere valori compresi fra 0 e 1 e dà informazioni sulla dipendenza delle variabili x e y. Se le variabili sono indipendenti, la loro covarianza è nulla e quindi R tende a 0. Viceversa se le variabili sono correlate, il loro coefficiente di correlazione ideale assume valore 1. Esistono delle tavole di probabilità che riportano la probabilità che un numero N di misure di due variabili non correlate dia valore di R superiore ad un R osservato. In base a queste si stabilisce il livello di significatività con cui si può affermare o rigettare un'ipotesi di correlazione fra le variabili.

Storicamente la valutazione della performance di un modello si basava quasi esclusivamente sul calcolo del coefficiente di correlazione o momento di Pearson o del suo quadrato. Tuttavia Willmott (Willmott, 1982) e Fox (Fox, 1981) criticarono l'utilizzo esclusivo di questo indice dimostrando che il suo valore non è necessariamente connesso all'attendibilità del modello e quindi può dare informazioni fuorvianti. Inoltre spesso non si verificano sperimentalmente i prerequisiti e le assunzioni che ne permettono l'uso. Fox propose quindi una lista di misure alternative della performance del modello, che danno informazioni sullo scarto fra la previsione e la misura (misure di differenza). Partendo da queste, Willmott (Willmott, 1982) introdusse un indice che chiamò indice di accordo delle misure, ripreso poi da altri autori.

L'indice di accordo IOA [Goyal et al., 1995; Kousa et al., 2001], è definito dalla formula:

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (C_{Si} - C_{Mi})^2}{\sum_{i=1}^n ([C'_{Si}] + [C'_{Mi}])^2},$$

con $C'_{Si} = C_{Si} - \overline{C_M}$ e $C'_{Mi} = C_{Mi} - \overline{C_M}$, in cui C rappresenta la concentrazione, i pedici M e S stanno per "misurata" e "stimata", mentre la riga soprascritta alla lettera rappresenta l'operazione di media aritmetica.

IOA assume valori compresi fra 0 e 1; IOA = 1 indica perfetto accordo fra i valori osservati e stimati. Si ritengono buoni valori di IOA superiori a 0.5 (Hurley et al, 2004).

Il Normalized Mean Square Error, calcolato con la formula

$$NMSE = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{Si} - C_{Mi})^2}{\overline{C_S} * \overline{C_M}}$$

è una misura che descrive la differenza media fra la serie delle concentrazioni simulate e di quelle misurate; tende ad annullarsi per un modello ideale e assume valore massimo di 1 per prestazioni pessime. Per considerare buona la prestazione, questo indice deve essere minore di 0.5.

Il fattore di bias FB [Goyal et al., 1995; Kousa et al, 2001; Kukkonen et al, 2001], definito come

$$FB = 2 * \frac{(\overline{C_S} - \overline{C_M})}{(\overline{C_S} + \overline{C_M})}$$

assume valore nullo quando vi è massimo accordo fra le misure, ovvero se il modello fornisce i valori reali di concentrazione. Invece assume valori negativi per una sovrastima della concentrazione e positivi per una sottostima. Valori prossimi allo 0 indicano accuratezza del modello. Si ritiene buona la prestazione se è compreso fra -1 e 1.

Il metodo del fattore due FA2 [Hanna & Paine, 1988; Kukkonen et al., 2001; Moreira et al, 2005], prevede il calcolo dei rapporti $\frac{C_{Si}}{C_{Mi}}$. Per verificare quindi l'accuratezza del modello si

determina quale percentuale di questi rapporti ricade nell'intervallo compreso fra 0.5 e 2. Si ritiene il modello accurato se almeno il 50% dei rapporti soddisfano tale condizione.

8.1.1 Calcolo degli indici di performance del modello per i diversi inquinanti

In tabella 6.3 sono riportati gli indici statistici descritti nel capitolo precedente calcolati a partire dalle medie orarie di monossido di carbonio simulate e osservate alle centraline di monitoraggio.

Essendo il CO un inquinante primario emesso direttamente da processi di combustione, sono state confrontate le serie simulate direttamente con quelle misurate. Occorre però considerare

che il modello di simulazione non tiene conto dell'effetto di accumulo degli inquinanti, che in determinate condizioni atmosferiche può anche essere considerevole, soprattutto per inquinanti, come il CO, con tempi di permanenza in atmosfera superiori a qualche mese. Questo effetto di accumulo non considerato dal modello di diffusione ha portato ad una generale sottostima delle concentrazioni orarie simulate.

In tabella sono stati riportati in rosso i risultati che si discostano maggiormente dai valori ideali che dovrebbero assumere gli indici proposti. Come si può osservare il CO è generalmente sottostimato in tutte le centraline considerate e in modo particolare a Caorle. Sia l'IOA che il FB indicano un buon accordo fra osservazioni e simulazioni, mentre il fattore FA2 e l'indice NMSE sono influenzati dalla sistematica sottostima delle concentrazioni di CO alle centraline. Si può comunque osservare che gli indici proposti assumono valori entro gli intervalli proposti a Zalamella, la centralina più interessata dall'impatto del traffico veicolare, e successivamente a Rocca, anch'essa definita come stazione di monitoraggio da traffico. Così come richiamato in letteratura si può quindi considerare anche per la realtà ravennate il CO come tracciante principale dell'inquinamento prodotto in area urbana dal transito dei veicoli.

| CO | Media oss. | Media sim. | scarto % | σ oss. | σ sim. | COR (1) | IOA (1) | NMSE (0) | FA2 (100) | FB (0) | Oss. valide |
|-----------|------------|------------|----------|---------------|---------------|---------|---------|----------|-----------|--------|-------------|
| Zalamella | 0.8 | 0.6 | 23.5 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 50.1 | 0.3 | 7966 |
| Rocca | 0.6 | 0.5 | 14.5 | 0.4 | 0.6 | 0.2 | 0.4 | 1.3 | 37.0 | 0.2 | 8278 |
| Caorle | 0.8 | 0.2 | 74.6 | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 3.4 | 16.1 | 1.2 | 8280 |
| Stadio | 0.7 | 0.4 | 43.1 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.5 | 1.4 | 34.8 | 0.5 | 8011 |

Tabella. 8.3 – Indici statistici relativi al monossido di carbonio

Per quanto riguarda il biossido di azoto, in fase di confronto con i dati orari misurati alle centraline, si è cercato di tener conto sia della componente secondaria (il biossido di azoto deriva, per lo più, dall'ossidazione in atmosfera del monossido di azoto), sia del contributo derivante da sorgenti diverse da quelle considerate, anche esterne all'area di studio (concentrazione di fondo). I valori orari simulati sono stati integrati con una "concentrazione oraria di fondo" ottenuta per l'area in esame dall'output di un modello fotochimico utilizzato a livello europeo, CHIMERE (Bessagnet et al., 2004). I dati misurati dalle centraline sono quindi stati confrontati con la serie risultante dalla somma fra dato simulato e concentrazione di fondo. Gli indici di performance calcolati (tab. 8.4) indicano una buona prestazione del modello nel rappresentare i dati reali. Anche per l'NO₂; come per il CO, i dati medi simulati sono generalmente sottostimati; fa eccezione la stazione di Rocca in cui vengono simulati valori più alti a causa di un numero significativo nell'intorno di sorgenti legate al riscaldamento domestico inserite nel modello (cfr fig. 8.12). L'unica stazione con un valore dell'indice FA2 inferiore al 50% risulta essere Zorabini, probabilmente perché in questa postazione nei primi mesi del 2005 si sono misurate concentrazioni anomale, particolarmente elevate e non rilevate nella simulazione. Per l'NO₂ l'indice NMSE risulta superiore a 0.5, segno comunque di uno scarto medio significativo fra concentrazioni osservate e previste.

| NO ₂ | Media oss. | Media sim. | scarto % | σ oss. | σ sim. | COR (1) | IOA (1) | NMSE (0) | FA2 (100) | FB (0) | Oss. valide |
|-----------------|------------|------------|----------|--------|--------|---------|---------|----------|-----------|--------|-------------|
| Zalamella | 55.1 | 50.3 | 8.6 | 27.4 | 36.9 | 0.3 | 0.6 | 0.6 | 61.7 | 0.1 | 7842 |
| Rocca | 39.4 | 53.0 | -34.5 | 20.2 | 37.4 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 64.7 | -0.3 | 8118 |
| Caorle | 42.7 | 37.3 | 12.7 | 26.3 | 24.6 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 60.4 | 0.1 | 7928 |
| Marani | 46.0 | 37.0 | 19.7 | 29.5 | 31.3 | 0.3 | 0.6 | 0.8 | 57.4 | 0.2 | 8323 |
| Zorabini | 39.8 | 18.0 | 54.7 | 49.3 | 11.5 | 0.2 | 0.4 | 4.0 | 40.1 | 0.8 | 8327 |
| Sapir | 48.1 | 31.0 | 35.7 | 34.4 | 19.3 | 0.2 | 0.5 | 1.1 | 55.5 | 0.4 | 7832 |
| Germani | 25.1 | 25.2 | -0.2 | 18.8 | 17.8 | 0.5 | 0.7 | 0.6 | 62.0 | 0.0 | 8347 |
| Marina | 22.1 | 21.7 | 2.1 | 17.7 | 14.6 | 0.4 | 0.6 | 0.7 | 58.8 | 0.0 | 8350 |

Tab.8.4 – Indici statistici relativi al biossido di azoto

Anche nell'analisi statistica dei dati relativi alle PM10 si è tenuto conto della componente secondaria: per questo inquinante la componente secondaria è stata quantificata come il 50% del valore misurato presso le centraline (CESI 2005), a meno della quota derivante dalle attività portuali considerata interamente di origine primaria. A questa componente è stata poi ulteriormente aggiunta una concentrazione di fondo per tenere in considerazione gli apporti derivanti da altre sorgenti, e anche in questo caso è stato utilizzato l'output del modello fotochimico CHIMERE.

La media simulata pertanto è la somma della componente primaria ottenuta come output di ADMS-URBAN, della componente secondaria e della concentrazione di fondo.

Gli indici statistici calcolati (Tab. 8.5) risultano tutti all'interno dei parametri richiesti, confermando la bontà della simulazione e la correttezza di considerare i contributi secondari e di fondo non previsti dal modello. In tutte le stazioni, ad eccezione di Sapir, si riscontra mediamente una sottostima, contenuta in ogni caso entro il 20%, mentre l'indice FA2 assume sempre valori superiori al 90%. Il dato così stimato risulta molto buono sia per le stazioni dell'area urbana, in cui prevale l'apporto del traffico veicolare, sia per quelle a ridosso dell'area portuale ed interessate dalle attività di movimentazione di merci polverulente proprie della zona.

| PM10 | Media oss. | Media sim. | scarto % | σ oss. | σ sim. | COR (1) | IOA (1) | NMSE (0) | FA2 (100) | FB (0) | Oss. valide |
|-----------|------------|------------|----------|--------|--------|---------|---------|----------|-----------|--------|-------------|
| Zalamella | 34.2 | 29.1 | 15.0 | 21.2 | 13.7 | 0.9 | 0.9 | 0.1 | 97.5 | 0.2 | 318 |
| Rocca | 38.4 | 31.3 | 18.6 | 25.9 | 15.6 | 0.9 | 0.9 | 0.2 | 100 | 0.2 | 328 |
| Caorle | 26.7 | 24.1 | 9.7 | 13.3 | 10.4 | 0.8 | 0.9 | 0.1 | 99.7 | 0.1 | 342 |
| Marani | 37.9 | 30.7 | 19.0 | 20.0 | 13.1 | 0.9 | 0.8 | 0.1 | 100 | 0.2 | 361 |
| Sapir | 41.4 | 43.8 | -5.6 | 19.6 | 16.3 | 0.8 | 0.9 | 0.1 | 93.1 | -0.1 | 320 |
| Germani | 33.2 | 29.2 | 12.0 | 21.1 | 14.6 | 0.9 | 0.9 | 0.1 | 99.4 | 0.1 | 347 |
| Agip29 | 32.2 | 25.2 | 21.8 | 17.9 | 11.9 | 0.9 | 0.8 | 0.1 | 100 | 0.2 | 346 |

Tab. 8.5 – Indici statistici relativi alle polveri sottili

8.1.2 – Analisi statistica

Per verificare in quali periodi dell'anno i dati simulati e misurati alle centraline di monitoraggio danno i migliori risultati sono state confrontate le medie mensili: in figura 8.2 sono riportate le medie mensili calcolate per il monossido di carbonio e suddivise per stazione. Ad esclusione

della stazione di Rocca Brancaleone, il CO è generalmente sottostimato ed i dati simulati non presentano generalmente una netta distinzione fra mesi invernali ed estivi, differenza rilevabile invece nei dati osservati. Inoltre dalla simulazione risulta che le stazioni in cui si hanno le concentrazioni maggiori sono Zalamella e Rocca, mentre dalle osservazioni Rocca risulta essere la centralina con le concentrazioni mediamente inferiori. I valori simulati di Rocca, mediamente più alti, deriverebbero da un maggiore apporto in questa zona del riscaldamento civile, dovuto sia alla presenza nelle vicinanze di caldaie a gasolio sia alla maggiore concentrazione di edifici ad uso residenziale.

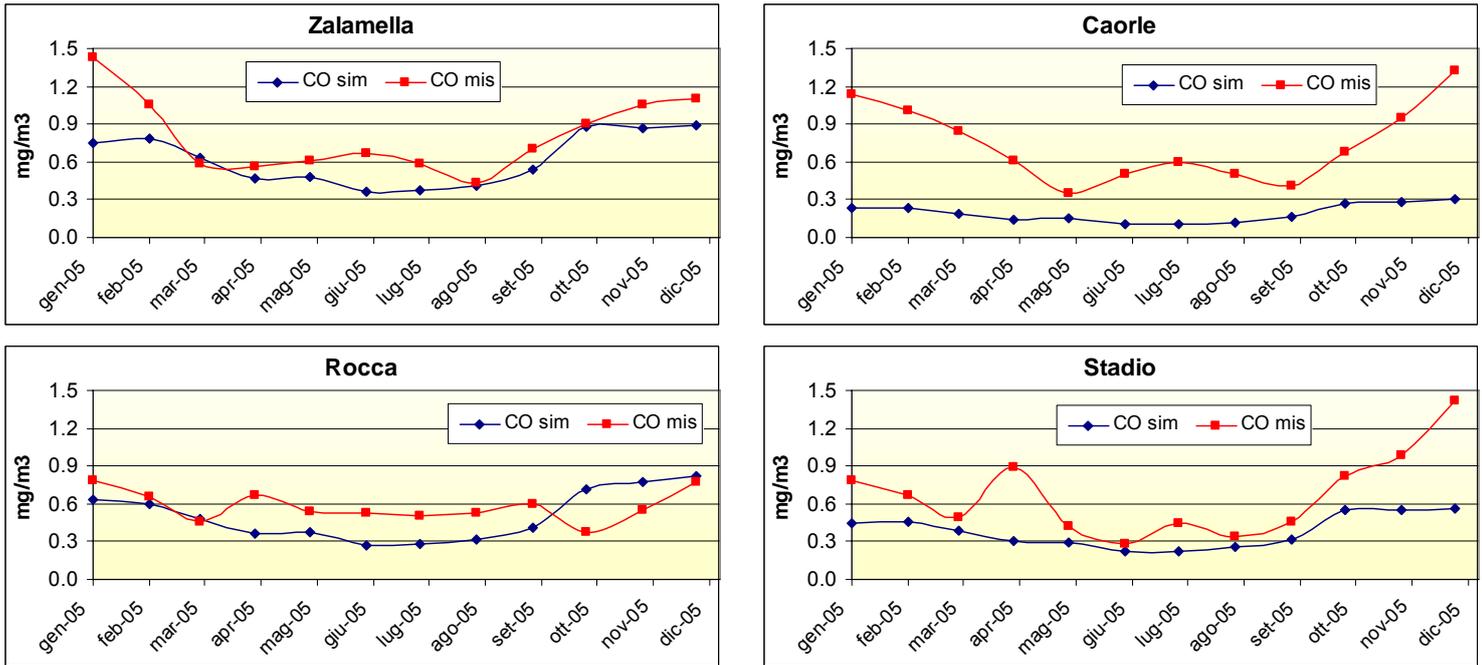


Figura 8.2 – Medie mensili simulate e misurate di monossido di carbonio

Dall'analisi del giorno tipico², mostrato in figura 8.3, risulta che le concentrazioni in corrispondenza delle stazioni di Traffico Urbano (Zalamella e Rocca) sono sottostimate durante le ore notturne e sovrastimate nelle ore di punta del traffico. La sottostima può essere dovuta alle caratteristiche del modello che non è in grado di simulare fenomeni di accumulo degli inquinanti, accumulo che può essere invece significativo, in particolare per inquinanti che hanno lunghi tempi di dimezzamento in atmosfera come il CO (tempi di dimezzamento dell'ordine di qualche mese). Una concausa potrebbe essere nella valutazione della variazione temporale dei flussi di traffico .

² Il giorno tipico di un inquinante è un giorno fittizio in cui la concentrazione C(h) dell'inquinante all'ora h è calcolata come media di tutte le concentrazioni disponibili (N) relative a quell'ora:

$$C(h) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C(h)_i \quad \text{dove:}$$

h = 1, 2, ..., 24; N è il numero di osservazioni valide e C(h)_i è la concentrazione oraria del giorno i-esimo all'ora h.

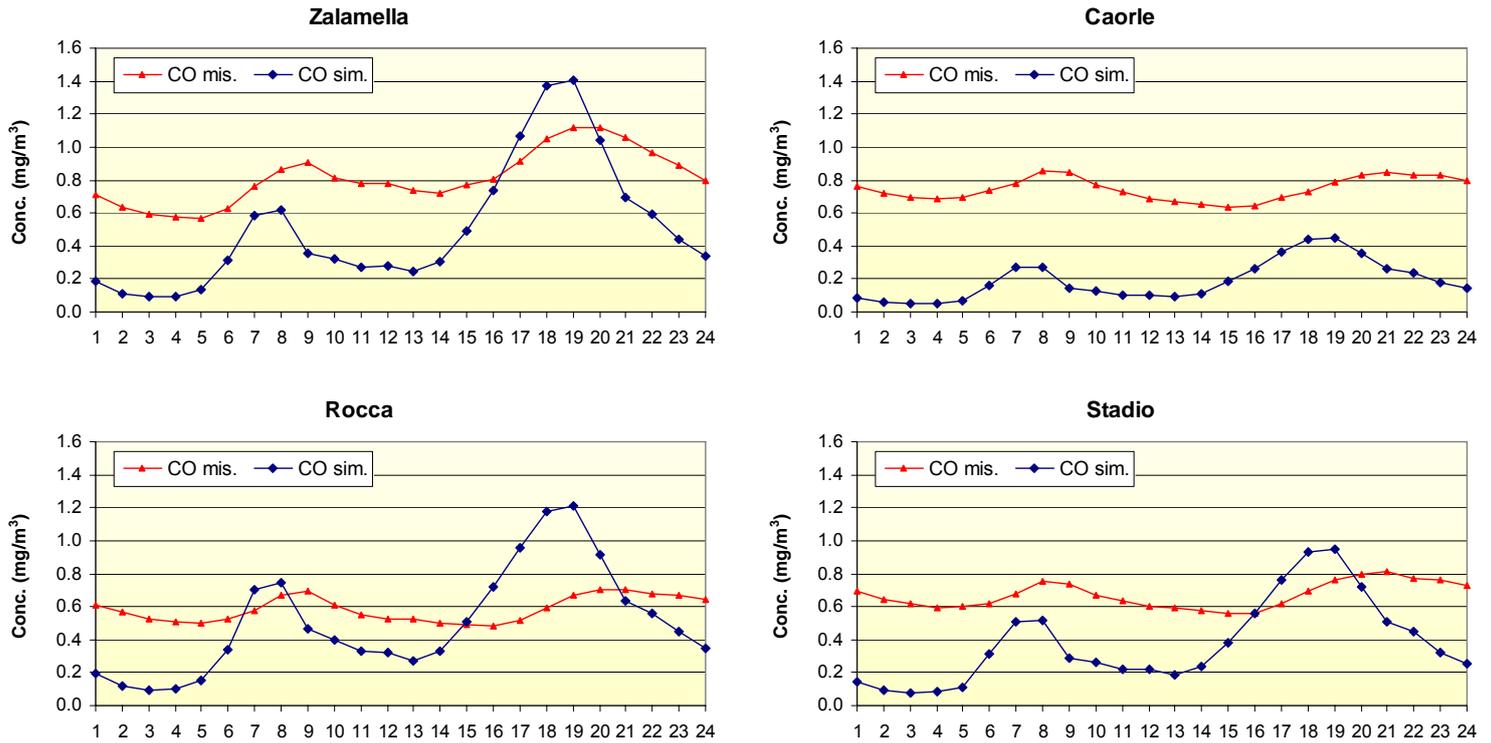


Figura 8.3 – Giorno tipico simulato e misurato di monossido di carbonio

In figura 8.4 sono rappresentate le medie mensili misurate e simulate per il biossido di azoto, mentre in figura 8.5 sono mostrati i giorni tipici. Dai grafici, così come dagli indici di performance, risulta un generale buon accordo fra dati simulati e rilevati, sia nelle centraline dell'area urbana che in quelle dell'area industriale.

I valori delle medie mensili osservate a Zorabini assumono valori particolarmente elevati nel primo trimestre, non riscontrati nella simulazione; per il resto dell'anno la concordanza fra simulato e misurato è molto buona. Si rileva inoltre una sottostima nei mesi autunnali presso Sapor, non riscontrata dalle altre centraline dell'area industriale.

Dall'analisi dei grafici rappresentanti il giorno tipico, così come osservato per il CO, nelle tre stazioni più interessate dal traffico veicolare (Zalamella, Rocca e Stadio) risulta nel dato simulato una modulazione temporale (legata al traffico) più accentuata rispetto alla situazione reale (dato misurato), in particolare nella fascia oraria 14 – 21. Il giorno tipico è invece molto ben simulato nelle centraline di monitoraggio ubicate al di fuori dell'area urbana.

Non è stato graficato il giorno tipico relativo alla centralina di Zorabini, in quanto, a causa dei valori anomali osservati durante il primo trimestre, non è corretto il confronto fra dato simulato ed osservato.

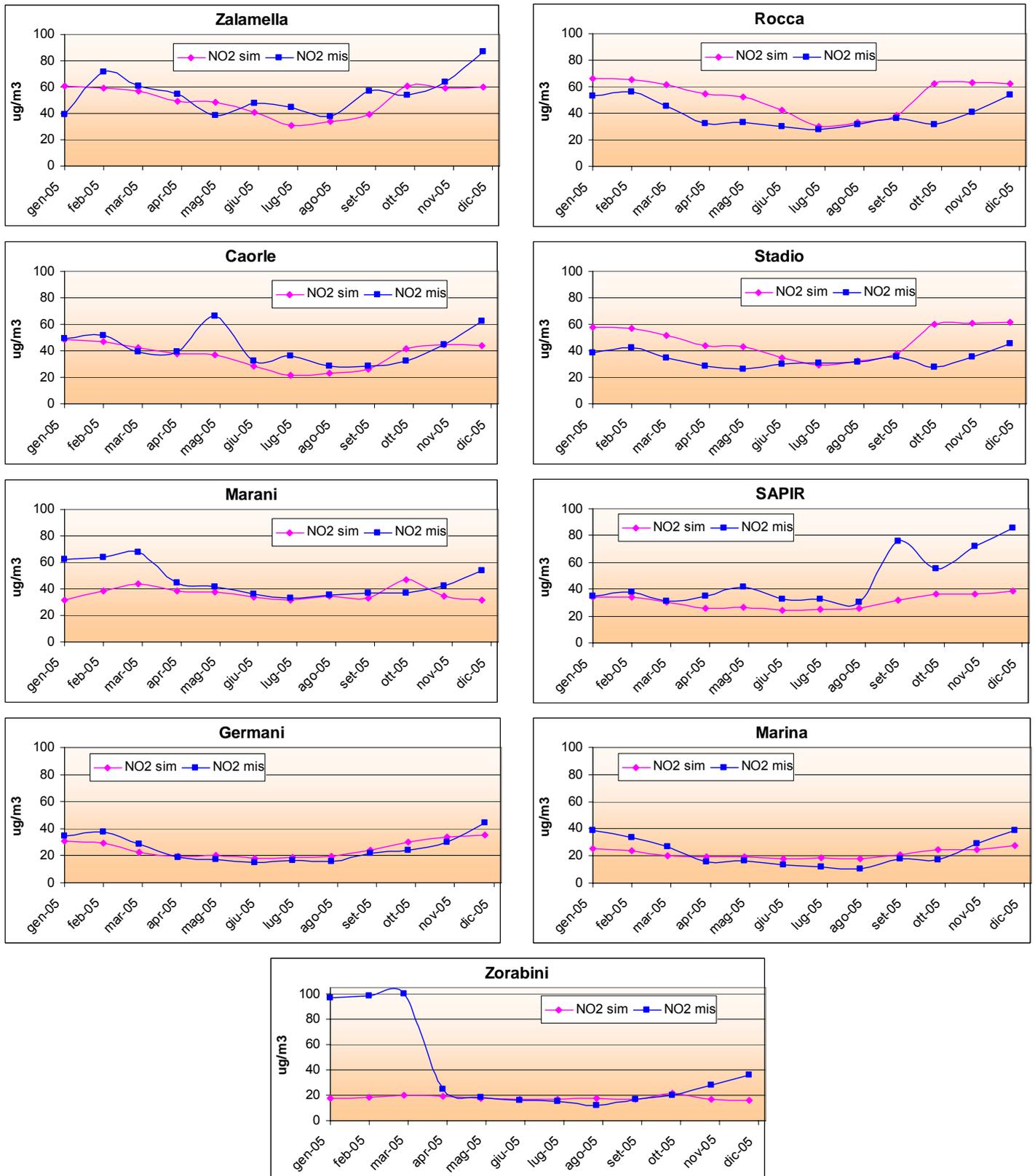


Figura 8.4 – Medie mensili simulate e misurate di biossido di azoto

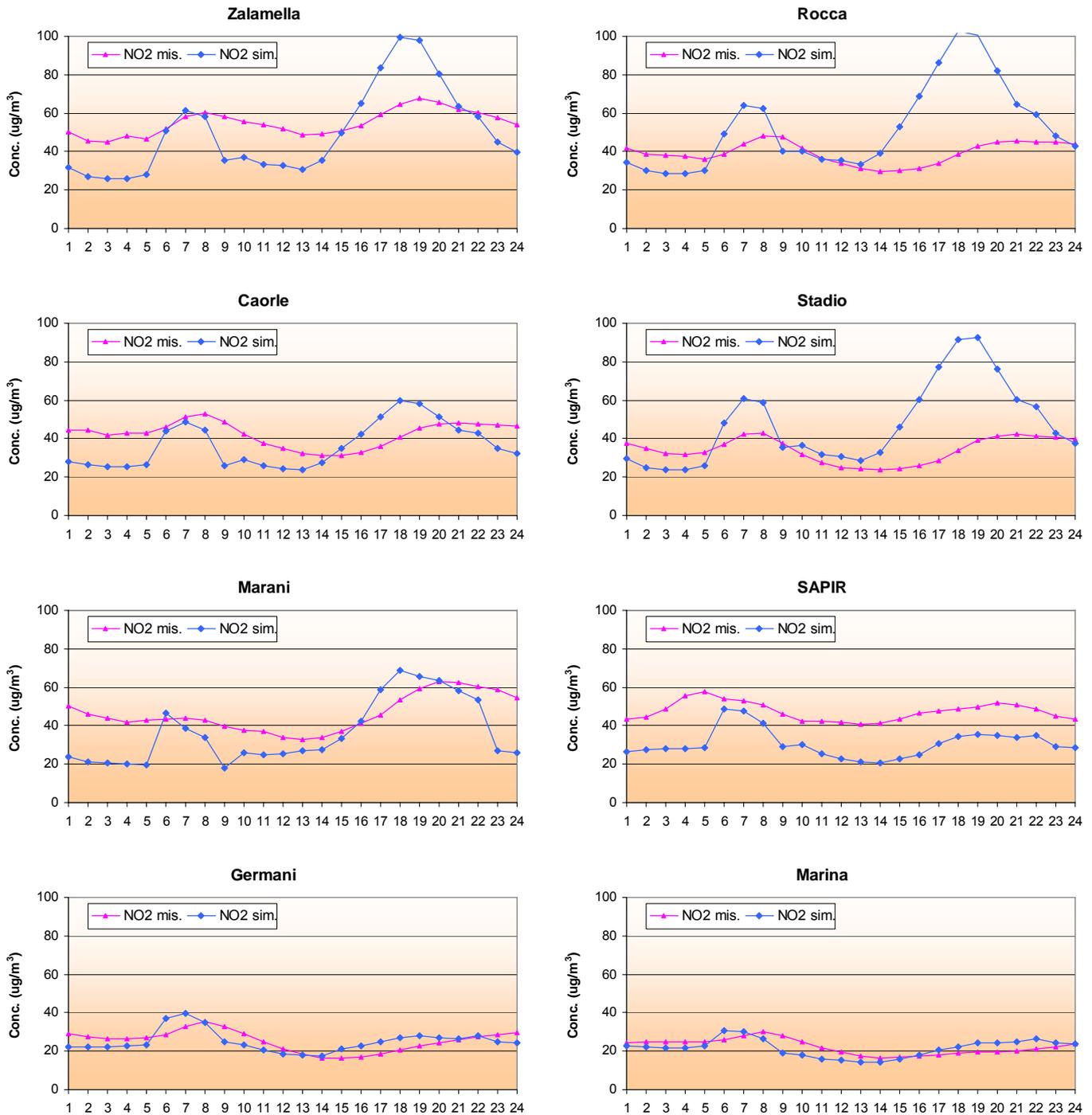


Figura 8.5 – Giorno tipico simulato e misurato di biossido di azoto

Anche dalle medie mensili del PM₁₀ si evidenzia un ottimo accordo fra dato simulato e misurato (Figura 8.6). Si riscontra una sottostima di circa $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante i mesi invernali (da dicembre a marzo) nelle centraline di Zalamella e Rocca all'interno dell'area urbana, e a Marani, Germani e Agip29 fra le stazioni interessate dalla diffusione di polveri generate in area industriale.

Presso Sapir la simulazione risulta buona durante tutto l'arco dell'anno, ciò è dovuto all'apporto preponderante del settore portuale (in giallo nel grafico), considerato costante durante tutto il corso dell'anno e quindi modulato in fase di immissione dalle sole condizioni meteorologiche.

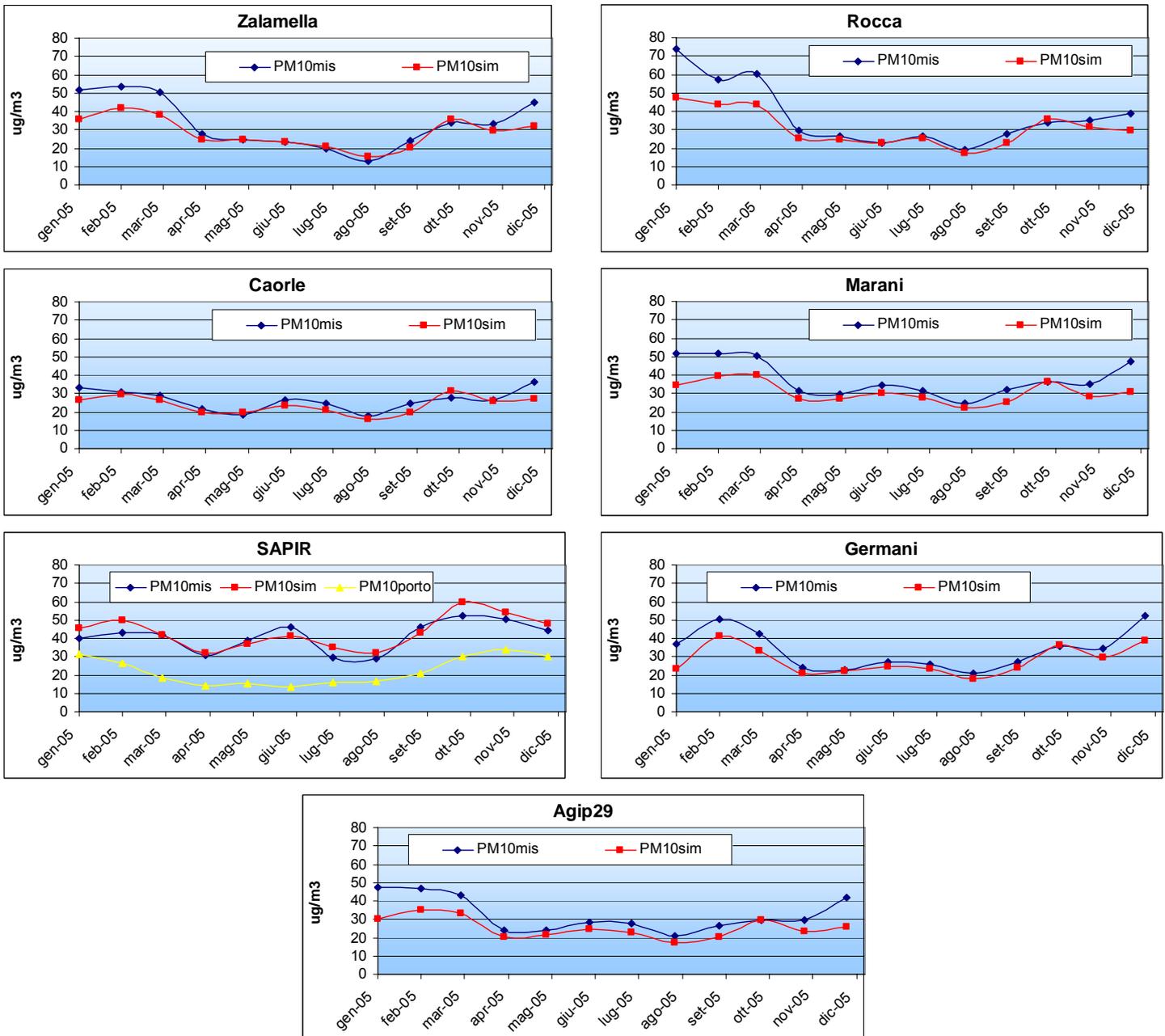


Figura 8.6 – Medie mensili simulate e misurate di polveri sottili

8.2 ANALISI D'INSIEME

L'analisi d'insieme ha come oggetto lo studio delle immissioni degli inquinanti utilizzando un'unica simulazione, in modalità *long term*, comprensiva di tutte le sorgenti prese in considerazione ed il calcolo dei contributi percentuali che le stesse determinano alle immissioni.

8.2.1 Simulazione finale

Per la simulazione finale sono complessivamente state inserite nel modello 4010 sorgenti di cui:

- 2500 celle di griglia, nelle quali sono stati aggregati i tassi emissivi derivanti dal contributo del riscaldamento e delle attività portuali;
- 840 archi stradali e
- 670 sorgenti industriali, esplicitando in 4 diverse simulazioni i singoli camini (al max 150 per run, cfr. cap.5); per questa simulazione finale sono stati considerati i soli tassi emissivi ridotti.

I dati delle sorgenti sono stati accompagnati dalle informazioni relative alla variabilità temporale delle emissioni e dal file meteo relativo all'anno di simulazione scelto.

Il run di simulazione copre un dominio di 15x15 km, con risoluzione di 300 metri ovvero una griglia di 50x50 punti ricettori.

Le mappe che seguono mostrano la diffusione degli inquinanti al suolo e le relative concentrazioni medie annue, espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La Figura 8.7 mostra i livelli di **isoconcentrazione medi annuali di CO**, espressi in mg/m^3 .

Risulta evidente il contributo della sorgente "traffico". Le isoconcentrazioni infatti si distribuiscono prevalentemente lungo gli assi viari, diffondendosi con valori minori all'interno del centro urbano. Le aree di massima ricaduta sono localizzate principalmente lungo la strada statale Adriatica e la Via Classicana, esterne al centro abitato. In area urbana le concentrazioni raggiungono valori superiori a $1.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ lungo i viali di circonvallazione e nelle direttrici al centro cittadino (Viale Galilei, Viale Randi, Via Faentina, Via Romea Sud, Circonvallazione San Gaetanino, Circonvallazione al Molino, viale Santi Baldini). Nel centro storico di Ravenna i valori medi annui non superano i $0.5 \text{ mg}/\text{m}^3$.

I valori medi annui simulati non si discostano da quelli ottenuti nella simulazione relativa al traffico veicolare, dimostrando che per questo inquinante l'apporto dalle altre sorgenti è marginale.

Lo scenario relativo alle **concentrazioni medie annuali di NO₂**, espresso in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, è riportato in Figura 8.8. Anche dalla mappa di diffusione del biossido di azoto risulta evidente il contributo derivante dal traffico veicolare.

In questo scenario le concentrazioni medie annue più elevate simulate si riscontrano lungo tutte le direttrici a maggiore flusso veicolare sia esterne al centro cittadino (strade statali e provinciali), dove incide molto il traffico veicolare dei mezzi pesanti, principali responsabili, tra i veicoli a motore, dell'emissione di questo inquinante, sia dell'area urbana (viali e circonvallazioni).

Nelle aree residenziali del centro cittadino le concentrazioni assumono valori più elevati ($40 - 70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) evidenza del contributo dovuto al riscaldamento domestico, riscontrabile anche nella

zona tra Via Caorle e Viale Europa. Livelli di isoconcentrazione superiori ($70 - 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) si osservano nell'area della darsena San Vitale e in sinistra al Bacino Trattaroli e tendono a diffondersi dalla zona industriale di Via Baiona e verso il Canale Piomboni, raggiungendo i valori massimi a metà della Via Baiona e all'imbocco del porto canale.

L'inquinante si distribuisce in tutto il dominio preso in considerazione con valori di concentrazione annui, compresi fra 10 e $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dimostrando che tutte le sorgenti contribuiscono alla sua diffusione.

I valori medi annui tendono in via generale ad aumentare rispetto ai singoli scenari, a testimonianza di un apporto proveniente anche dalle altre sorgenti.

Per lo scenario relativo alle **concentrazioni medie annuali di PM10 primario**, la distribuzione dell'inquinante al suolo è riportata in Figura 8.9.

Le aree di massima ricaduta, superiori a $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sono localizzate nell'area del Porto San Vitale, con spot di concentrazione tra 45 e $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lungo la via Baiona, in adiacenza alle aziende metalmeccaniche. Livelli di concentrazione inferiori ($40 - 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sono evidenziati lungo alcune strade principali : la direttrice autostradale e Via Romea Nord area Bassette.

Valori compresi tra 20 e $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sono visibili nella parte settentrionale della Via Baiona - in cui prevalgono le movimentazioni su gomma dei materiali sfusi e le attività ad essi legate ed in misura minore gli apporti dei camini industriali - e nelle aree adiacenti il Canale Candiano dove sono insediate aziende che effettuano sbarco e movimentazione di materiali polverulenti.

Le concentrazioni si distribuiscono più uniformemente all'interno dell'area urbana: allontanandosi dalla viabilità principale le concentrazioni si attestano su valori dell'ordine di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

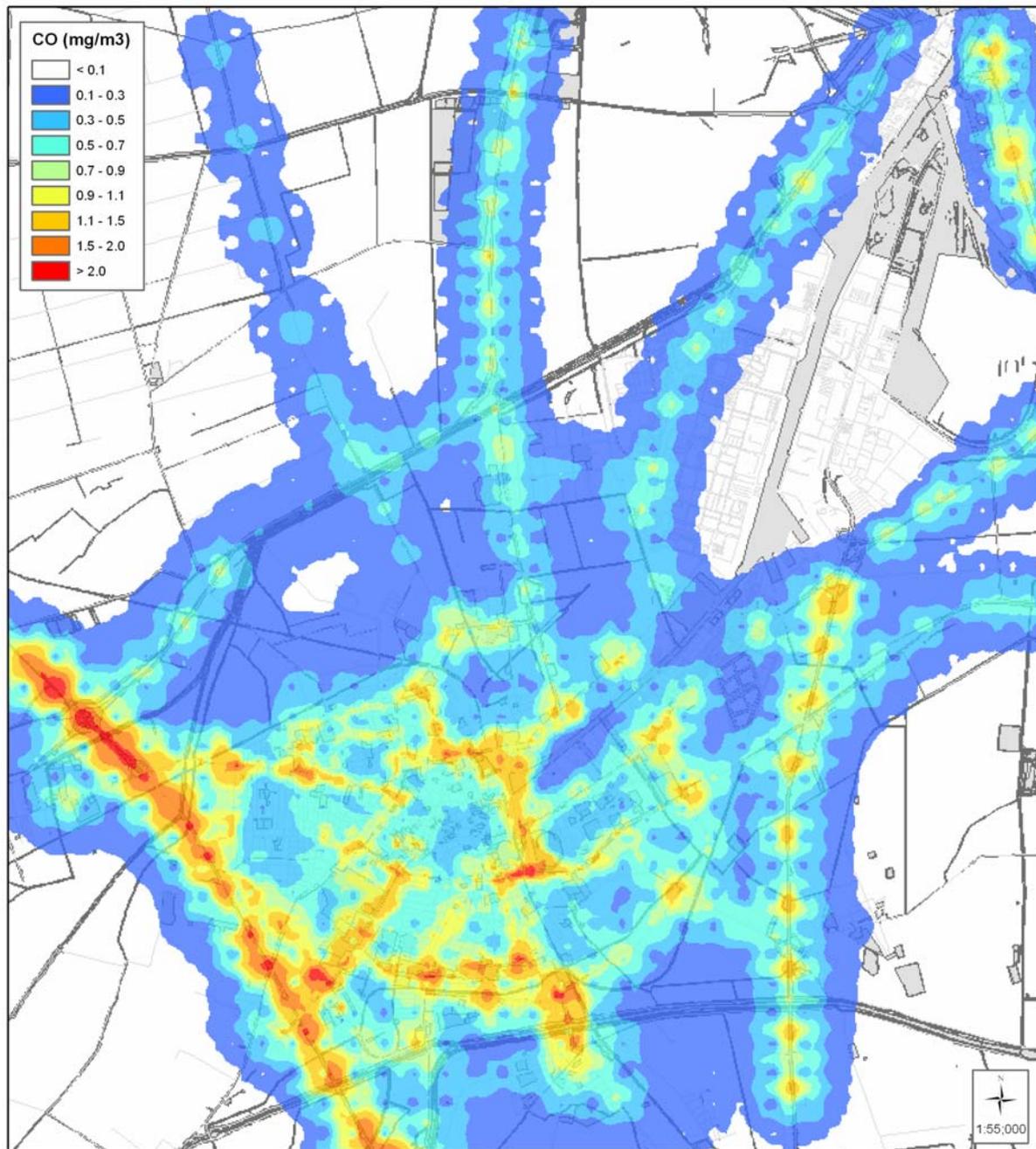


Figura 8.7 – Simulazione scenario complessivo monossido carbonio, concentrazioni medie annuali CO

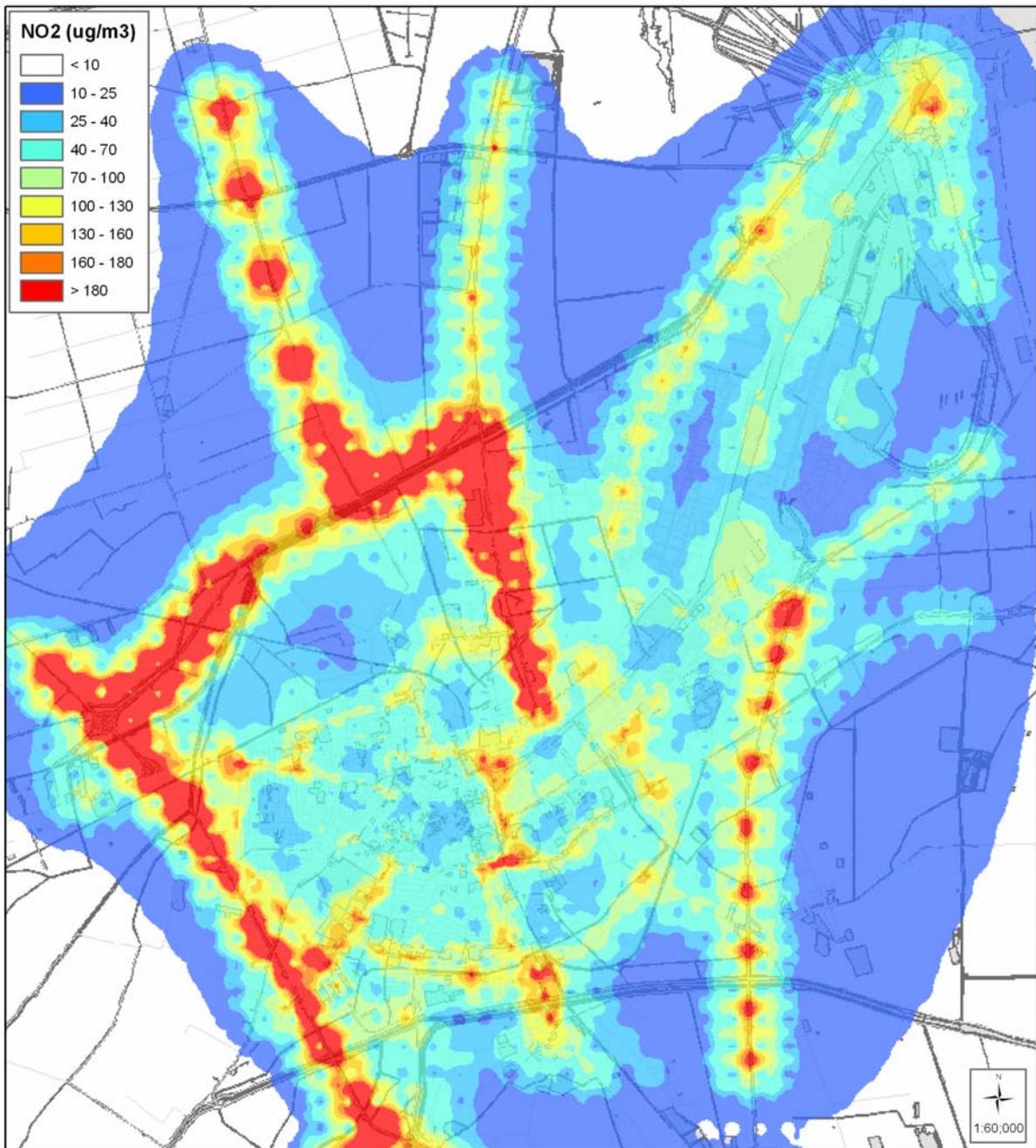


Figura 8.8 – Simulazione scenario complessivo biossido di azoto, concentrazioni medie annuali NO₂

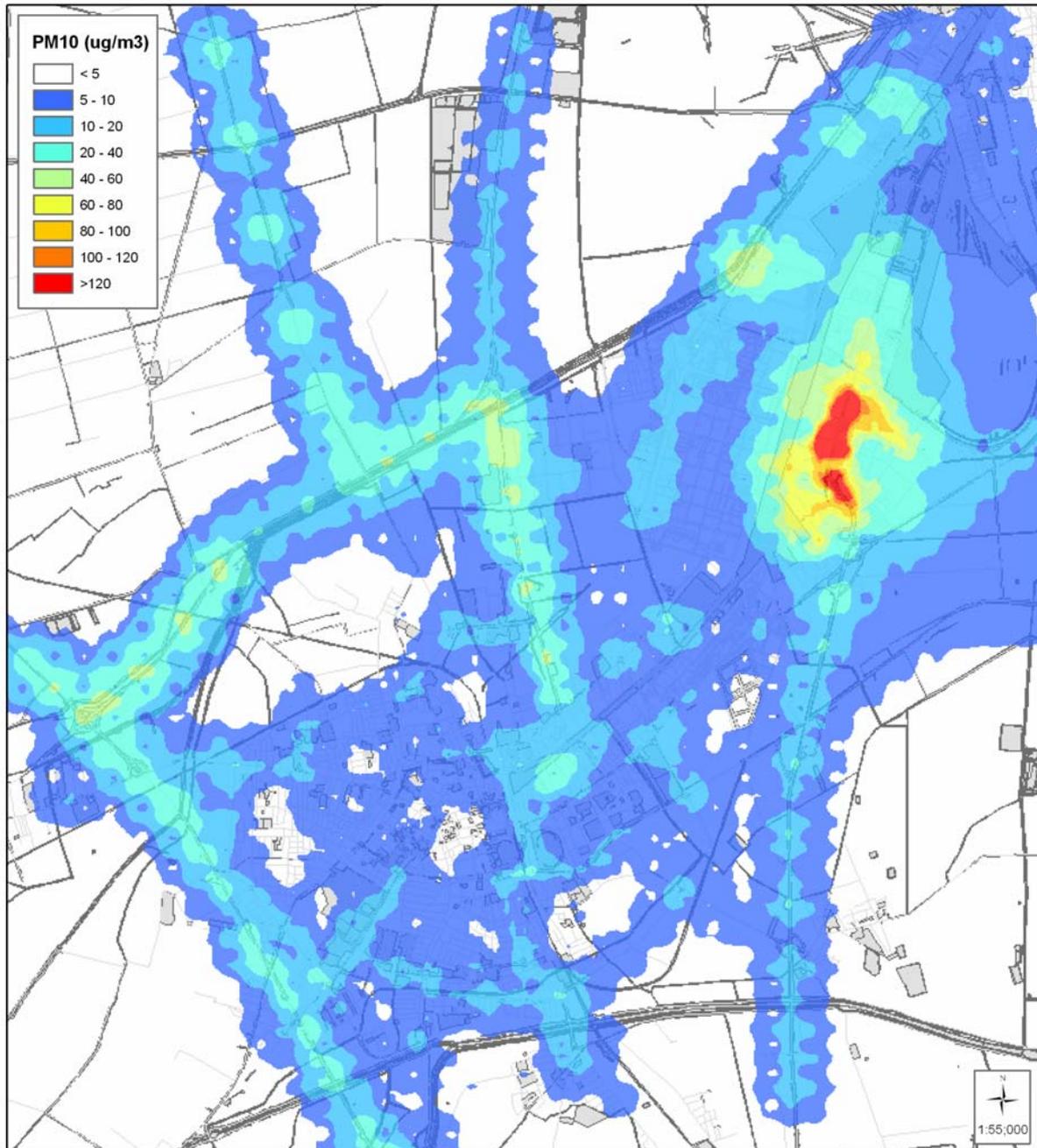


Figura 8.9 – Simulazione scenario complessivo particolato primario, concentrazioni medie annuali PM10

8.2.2 Contributi delle diverse fonti

Lo studio prosegue con la valutazione del peso dei contributi delle singole sorgenti alle concentrazioni degli inquinanti misurate in corrispondenza delle stazioni della rete di controllo della qualità dell'aria.

A tal fine sono stati esaminati i valori medi annuali di concentrazione per PM₁₀, NO₂ e CO ottenuti dalle simulazioni *short term* effettuate per ognuno dei quattro settori valutati.

Anche in questo caso ai valori stimati dal modello è stato aggiunto il contributo medio di background stimato dal modello europeo Chimere per PM₁₀ e NO₂, e per il PM₁₀ è stato ulteriormente aggiunta la quota di particolato secondario (50% dell'osservato – CESI, 2005). Nelle centraline maggiormente influenzate (>15%) dalle attività portuali (Sapir e Germani) il calcolo del secondario è stato effettuato sul 50% del misurato al netto del contributo del settore "porto". Questo perché le attività di movimentazione merci sono state considerate fonte solo di PM₁₀ primario. Si è ottenuto così il valore "simulato corretto", utilizzato per la valutazione.

Il contributo percentuale dei singoli settori in corrispondenza delle postazioni è stato quindi ottenuto come rapporto fra il dato simulato per ogni settore e il valore totale stimato (Tabelle 8.5 – 8.7).

Nelle figure seguenti è illustrato il contributo percentuale delle varie sorgenti all'immissione degli inquinanti studiati, nelle centraline di monitoraggio della Rete di rilevamento della qualità dell'aria a Ravenna (Figure 8.10, 8.11, 8.12). Le elaborazioni grafiche riportate nelle mappe consentono di visualizzare la distribuzione spaziale degli impatti delle sorgenti di inquinamento sul territorio considerato.

La mappa relativa al **CO** (Figura 8.10) mostra con assoluta evidenza come il contributo principale alle immissioni risulta essere il traffico stradale, con percentuali superiori al 95% in tutte le centraline del dominio. Tale percentuale conferma anche per Ravenna il dato di letteratura.

La stazione di Via Caorle risente per il 5% del contributo derivante dal riscaldamento domestico, mentre nella stazione di monitoraggio Sapir il 4% del monossido di carbonio è di origine industriale.

Anche la mappa dei contributi percentuali di **NO₂** (Figura 8.11) mostra come la sorgente principale alle immissioni di questo inquinante sia il traffico stradale in tutte le centraline, sebbene con percentuali variabili, comprese fra il 45% e l'80%.

In area urbana percentuali significative si possono attribuire al riscaldamento domestico (Zalamella 26%, Rocca 33%, Stadio 19%, Caorle 39%), mentre il contributo delle altre sorgenti è inferiore al 2%.

Nelle centraline dell'area est (Germani e Sapir) il settore industriale rappresenta la seconda fonte impattante, con percentuali pari a 23% e 30%, mentre a Marina un peso significativo è dato dalle attività marittime (32%) seguite dalle industrie (19%). Il riscaldamento invece contribuisce in misura minore, con percentuali inferiori al 5%.

Nelle stazioni poste nell'area ovest del dominio (Agip29, Marani e Zorabini) il secondo importante contributo è quello delle industrie, con un peso maggiore a Zorabini (24%) rispetto a Marani (13%) e Agip29 (14%). La sorgente portuale è significativa solo a Zorabini (16%), mentre il riscaldamento assume valori di circa il 5% in tutte e tre le centraline.

Per quanto riguarda il **PM10** (Figura 8.12), nelle centraline dislocate nel centro abitato (Zalamella, Rocca, Stadio, Caorle) è molto evidente l'apporto determinato dal traffico, dove i contributi percentuali sono tutti superiori al 60%. Il contributo delle fonti domestiche è sempre inferiore al 5%, mentre le altre sorgenti raggiungono valori leggermente più alti, ad eccezione della stazione Caorle influenzata in misura maggiore dal contributo derivante dalle fonti industriali e portuali, con percentuali superiori al 10%.

Nelle centraline collocate nell'area est del dominio (Marina, Germani e Sapir) è prevalente il contributo derivante dal porto e dalle attività ad esso connesse, con percentuali che oscillano nell'intervallo 45-86%. La seconda fonte che contribuisce alle immissioni risulta essere l'industria con percentuali decrescenti da Marina (36%) verso Germani (24%) fino a Sapir (10%). Il fatto di avere contributi percentuali inversamente proporzionali alla distanza dal polo industriale è legato all'altezza effettiva³ delle emissioni industriali: in generale aumentando l'altezza effettiva si allontanano le aree di massima ricaduta. In queste stazioni di monitoraggio il peso del riscaldamento domestico è praticamente nullo. Il traffico veicolare assume percentuali comprese fra 10 e il 20% in Germani e Marina, dove è evidente il contributo dei veicoli transitanti lungo Via Trieste nel tratto Piomboni - Marina di Ravenna. Alla centralina Sapir si registra una percentuale del 4% dovuta al traffico, sicuramente sottostimata poiché non sono disponibili i dati di flusso veicolare in area portuale.

Nelle stazioni poste nell'area ovest del dominio (Agip29, Marani e Zorabini) sembrerebbe prevalere la componente traffico, ad esclusione di Zorabini dove però la sorgente stradale non è rappresentata interamente nel modello geometrico simulato. Nelle stazioni Agip29 e Marani il contributo percentuale è rispettivamente pari a 59% e 56%, mentre a Zorabini è del 27%.

La sorgente industriale appare come seconda fonte impattante con percentuali crescenti da Agip29 (25%), a Marani (27%), a Zorabini (40%). In quest'ultima sembra avere un peso importante anche il porto con una percentuale stimata pari al 35%, mentre nelle altre due il peso di questa fonte si attesta su valori intorno al 25%.

Anche in queste centraline il riscaldamento ha un impatto non significativo.

³ All'uscita di una ciminiera il pennacchio di fumo è soggetto ad una fase di innalzamento (transizionale) ed ad una in cui si può considerare livellato. L'altezza effettiva della sorgente di emissione è definita come l'altezza a cui il pennacchio raggiunge la situazione di livellamento ed è data dalla somma di due componenti: l'altezza geometrica della sorgente e il sovrainnalzamento.

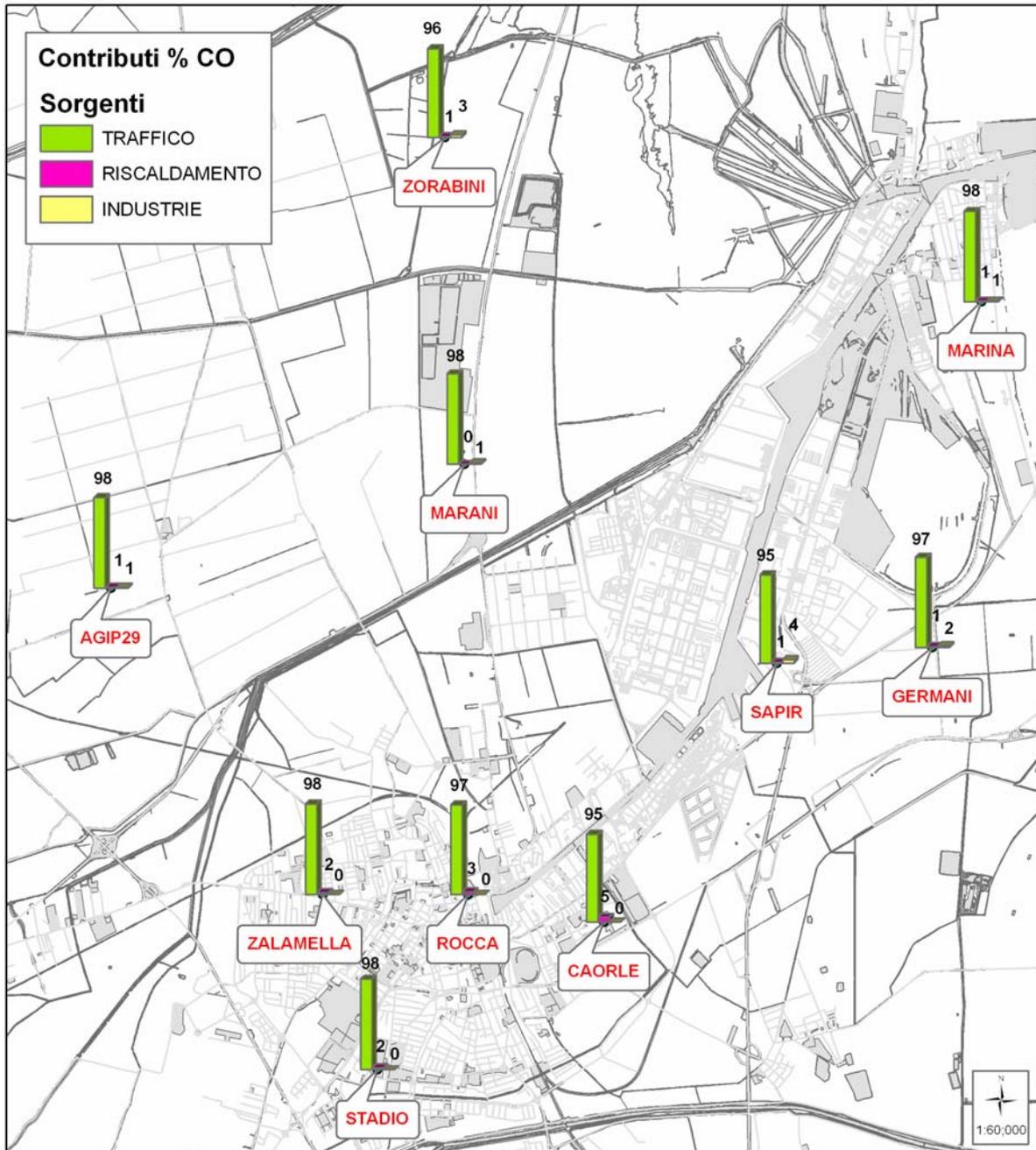


Figura 8.10 – Mappa dei contributi percentuali alle immissioni di CO

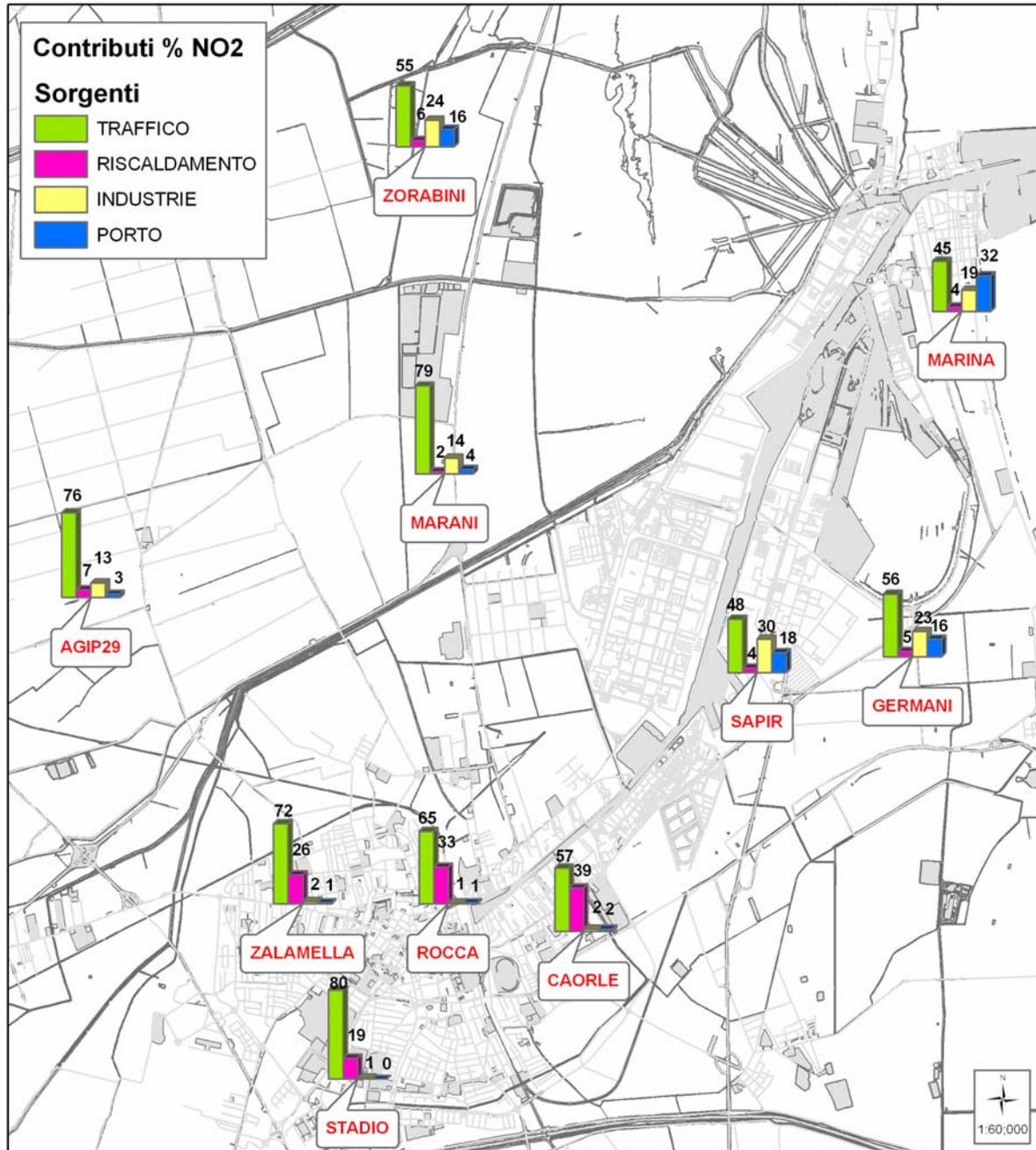


Figura 8.11 – Mappa dei contributi percentuali alle immissioni di NO₂

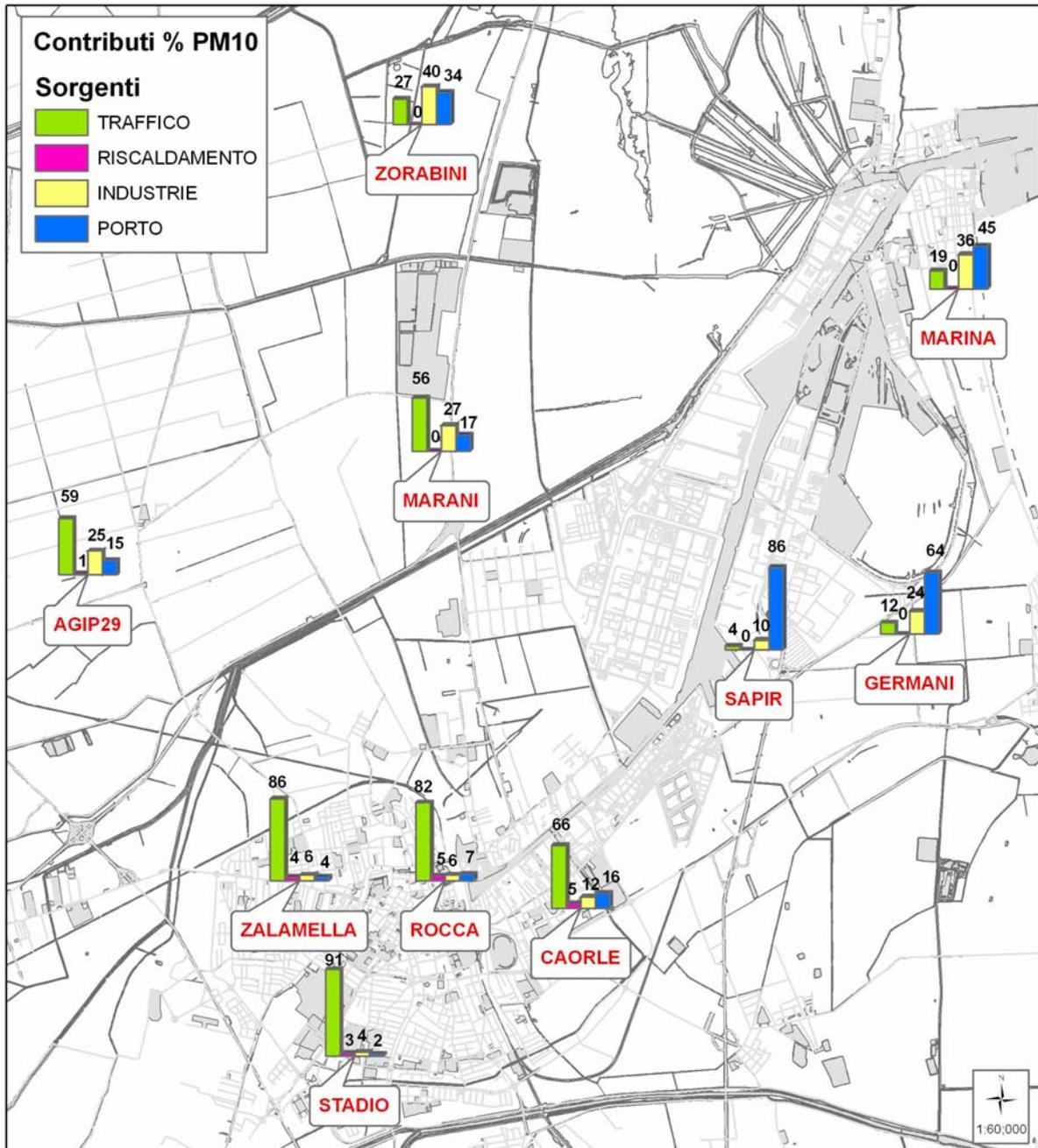


Figura 8.12 – Mappa dei contributi percentuali alle immissioni di PM10

| CO Contributi % | ZALAMELLA | ROCCA | STADIO | CAORLE | AGIP29 | MARANI | ZORABINI | SAPIR | GERMANI | MARINA |
|--------------------|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|----------|-------|---------|--------|
| | TRAFFICO | 98 | 97 | 98 | 95 | 98 | 98 | 96 | 95 | 97 |
| RISCALDAMENTO | 2 | 3 | 2 | 5 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| INDUSTRIE | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 2 | 1 |

Tabella 8.5 – Contributi percentuali al CO

| NO ₂ Contributi % | ZALAMELLA | ROCCA | STADIO | CAORLE | AGIP29 | MARANI | ZORABINI | SAPIR | GERMANI | MARINA |
|---------------------------------|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|----------|-------|---------|--------|
| | TRAFFICO | 72 | 65 | 80 | 57 | 76 | 79 | 55 | 48 | 56 |
| RISCALDAMENTO | 26 | 33 | 19 | 39 | 7 | 2 | 6 | 4 | 5 | 4 |
| INDUSTRIE | 2 | 1 | 1 | 2 | 13 | 14 | 24 | 30 | 23 | 19 |
| PORTO | 1 | 1 | 0 | 2 | 3 | 4 | 16 | 18 | 16 | 32 |

Tabella 8.6 – Contributi percentuali al NO₂

| PM 10 Contributi % | ZALAMELLA | ROCCA | STADIO | CAORLE | AGIP29 | MARANI | ZORABINI | SAPIR | GERMANI | MARINA |
|-----------------------|-----------|-------|--------|--------|--------|--------|----------|-------|---------|--------|
| | TRAFFICO | 86 | 82 | 91 | 66 | 59 | 56 | 27 | 4 | 12 |
| RISCALDAMENTO | 4 | 5 | 3 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| INDUSTRIE | 6 | 6 | 4 | 12 | 25 | 27 | 40 | 10 | 24 | 36 |
| PORTO | 4 | 7 | 2 | 16 | 15 | 17 | 34 | 86 | 64 | 45 |

Tabella 8.7 – Contributi percentuali al particolato PM10

Un dato di sintesi, che costituisce però una notevole semplificazione rispetto alle peculiarità delle zone precedentemente illustrate, può essere ricavato considerando i contributi medi dei macrosettori nel dominio di calcolo (Tab.8.8 e Fig.8.13)

| Contributi % medi nel dominio | CO | PM 10 | NO ₂ |
|-------------------------------|----|-------|-----------------|
| TRAFFICO | 97 | 50 | 63 |
| RISCALDAMENTO | 2 | 2 | 15 |
| INDUSTRIE | 1 | 19 | 13 |
| PORTO | -- | 29 | 9 |

Tabella 8.8 – Contributi percentuali dati dai macrosettori nel dominio di calcolo

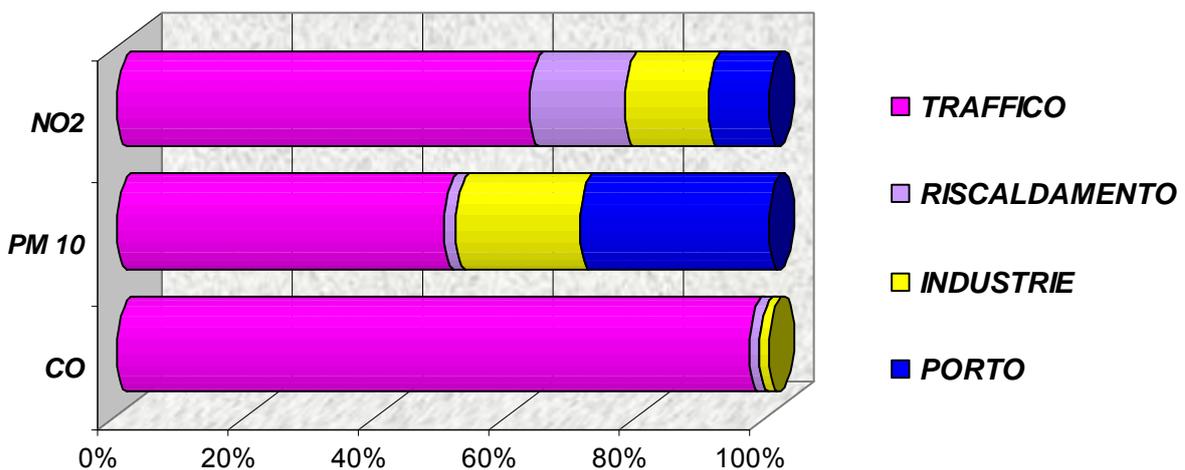


Figura 8.13 – Contributi medi percentuali alle immissioni degli inquinanti

9 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le elaborazioni dei dati della rete di controllo della qualità dell'aria e del laboratorio mobile hanno indicato gli ossidi di azoto ed il particolato PM10 quali inquinanti critici per il territorio ravennate.

La valutazione dei contributi emissivi dei diversi macrosettori relativa al territorio del Comune di Ravenna, svolta nell'ambito del quadro conoscitivo del Piano Provinciale di Risanamento della Qualità dell'Aria, indica che il 35% degli NOx emessi derivano dal settore "Combustione per produzione di energia" e il 29% dal settore industriale, seguono i trasporti stradali (20%), il traffico marittimo e mezzi agricoli (10%) ed il riscaldamento civile (4%). Nello stesso documento è stato stimato che il contributo principale alle emissioni di PM 10 sia dato dalle industrie (75%), seguito da trasporti stradali (13%) e da traffico marittimo e mezzi agricoli (11%). Il quadro sopra descritto si riferisce alle emissioni, cioè al quantitativo di inquinante emesso in atmosfera espresso in tonnellate/anno. In realtà il dato di interesse, in termini di impatto sull'ambiente e sulla salute, è riferito alle immissioni cioè alla concentrazione (espressa $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dell'inquinante misurata in corrispondenza dei ricettori e rilevata dalla rete di controllo della qualità dell'aria.

I due dati sono ovviamente correlati, ma la funzione che esprime tale relazione non è semplicemente lineare in quanto occorre tener conto di come le emissioni sono distribuite sul territorio (georeferenziazione delle sorgenti) e di come vengono disperse e/o diffuse (meteorologia e modelli di diffusione).

Scopo dello studio commissionato ad Arpa dal Comune di Ravenna era proprio valutare, in via generale, il contributo percentuale alle immissioni determinato da ognuno dei settori individuati come a maggior impatto sulla qualità dell'aria della città, attraverso l'applicazione di modelli diffusionali.

A tale scopo è stato utilizzato il modello diffusionale ADMS Urban del CERC di Cambridge-UK, adatto a simulare la dispersione degli inquinanti in area urbana ed in grado di gestire sorgenti di tipo puntuale, lineare, areale, volumetriche.

Il lavoro, svolto nel corso degli ultimi due anni, si è articolato in diverse fasi, propedeutiche all'applicazione del modello diffusionale.

In prima istanza è stato necessario ricostruire gli inventari delle sorgenti di emissione relativi ai settori analizzati (traffico veicolare, riscaldamento domestico, settore industriale, attività portuali e marittime) per una migliore quantificazione degli inquinanti emessi in atmosfera e della collocazione delle sorgenti nel dominio di indagine.

Gli inquinanti trattati sono quelli risultati critici, cui si è aggiunto il monossido di carbonio in ragione della peculiarità di essere un buon tracciante dell'inquinamento veicolare (Harrison, 1996) e pertanto utile alla validazione dei risultati ottenuti.

Si è quindi proceduto definendo il quadro emissivo dettagliato di ogni singolo macrosettorio considerato, raccogliendo le informazioni sulle attività che originano emissioni in atmosfera allo scopo di quantificare, attraverso delle stime legate alle caratteristiche delle attività, i contributi alle emissioni delle diverse sorgenti inquinanti, valutandone la distribuzione spaziale e temporale.

La stima dei quantitativi emessi da parte delle sorgenti ricadenti nel dominio di studio è stata effettuata attraverso l'applicazione di metodologie implementate a livello europeo (Corinair, MEET) e da agenzie internazionali (EPA), basate sull'utilizzo di specifici fattori di emissione.

Confrontando le emissioni totali di inquinanti provenienti dalle fonti esaminate con i corrispondenti dati riportati nel Quadro Conoscitivo del Piano di Risanamento della Qualità dell'Aria e relativi all'intero Comune, emerge una sostanziale concordanza nelle percentuali di attribuzione, mentre i valori assoluti sono diversi in quanto si riferiscono ad ambiti territoriali diversi.

Le risultanze di questa quantificazione hanno permesso di ottenere i dati necessari per l'elaborazione dei tassi di emissione da inserire nel modello, differenziati a seconda delle tipologie delle sorgenti da simulare.

Sulla base dei risultati ottenuti da un'analisi meteorologica preliminare, che ha preso in esame i dati degli ultimi 3 anni (2004 -2006) delle stazioni meteorologiche presenti nei pressi dell'area urbana ravennate, sono stati individuati la stazione meteorologica (stazione Ravenna centro) e l'anno di riferimento (2005) più rappresentativi delle condizioni meteorologiche tipiche dell'area.

Si sono quindi condotte le simulazioni per ogni inquinante sui singoli scenari emissivi per i macrosettori individuati ed è stata infine trattata in un unico scenario la combinazione di tutte le sorgenti considerate. Per gli scenari singoli le simulazioni sono state effettuate scegliendo un dominio di calcolo sufficientemente ampio da contenere le aree in cui gravavano le sorgenti esaminate, mentre per lo scenario unico finale è stata considerata l'intera area urbana.

Propedeutica all'analisi finale è la validazione del modello. Per validare il modello sono stati confrontati, in singoli punti ricettore, coincidenti con le centraline di monitoraggio, i dati misurati e quelli simulati. Il confronto è basato su serie annuali di dati orari per CO ed NO₂ e su dati giornalieri per il PM10.

La validazione è stata eseguita calcolando specifici indici statistici proposti in letteratura e ha dato buoni risultati, soprattutto per quanto concerne la previsione delle concentrazioni dei due inquinanti più critici: biossido di azoto e polveri sottili. Le performance sono soddisfacenti, caratterizzate generalmente da una lieve sottostima, sia per le centraline dell'area urbana che per quelle ubicate in area industriale.

Allo scopo di indagare le prestazioni del modello durante l'anno e durante il corso della giornata sono state infine calcolate medie mensili e giorno tipico. L'analisi di questi dati ha permesso di rilevare che le sottostime individuate tendono a concentrarsi nei mesi invernali e, per le centraline maggiormente impattate dal traffico veicolare, durante le ore notturne. In queste stazioni di monitoraggio si riscontrano inoltre sovrastime pomeridiane, coincidenti con l'ora di punta del traffico (16 – 19), probabilmente causate dalla modulazione oraria dei flussi veicolari impostata nel modello diffusionale.

I risultati dell'applicazione modellistica sulla diffusione delle concentrazioni medie di inquinanti e l'elaborazione dei contributi percentuali delle sorgenti impattanti sembrano indicare nel traffico veicolare una delle fonti principali di inquinamento. Particolarmente evidente è il contributo alle immissioni di monossido di carbonio (CO), che raggiunge contributi percentuali superiori al 95% in tutte le centraline del dominio.

Gli assi viari sono sempre interessati da valori di concentrazioni di inquinanti elevati, che tendono ad aumentare per l'apporto delle altre fonti.

Anche per il biossido di azoto i contributi percentuali calcolati indicano il traffico come prima sorgente d'impatto, seguita, nelle stazioni urbane, dal riscaldamento (che provoca nelle zone residenziali e in prossimità delle strade un innalzamento delle concentrazioni medie stimate) e dalle industrie nelle centraline localizzate attorno all'area industriale-portuale, dove ha ruolo importante anche il traffico marittimo. Per quest'ultima sorgente d'impatto valgono però le considerazioni sviluppate nell'ambito del relativo paragrafo, circa l'incertezza delle valutazioni per le scarse informazioni sulle dinamiche dei transiti dei mezzi navali.

Nel caso del particolato PM10 invece le concentrazioni stimate lungo gli assi stradali risultano decisamente inferiori a quelle riscontrabili nell'area industriale-portuale. In tale area risultano infatti localizzate le emissioni più importanti di PM10 primario in termini di concentrazione e di quantitativi emessi, inoltre le altezze di emissione non risultano sufficienti a garantire una adeguata dispersione e la ricaduta avviene in aree prossime all'emissione stessa. Di conseguenza, le centraline più impattate percentualmente da queste sorgenti (industrie e porto) risultano essere quelle localizzate nell'area est (Marina, Germani e Sapir) e le centraline dell'area ovest, dove però la simulazione di alcune fonti risente di carenze nella modellizzazione geometrica, ad esempio la statale Romea non è completamente rappresentata.

Il progetto ha permesso di mettere a punto uno strumento utile per eseguire simulazioni numeriche sulla distribuzione degli inquinanti e per analizzare i contributi alle concentrazioni in aria delle sorgenti, anche attraverso mappe georeferenziate.

Il sistema modellistico "semplice" (perché a *scala locale*) che è stato impostato per la valutazione degli impatti sul comparto atmosferico derivanti da più sorgenti, produce scenari di simulazione che sono articolati in moduli separati di data set in ingresso al modello e per ciascun modulo può essere ridefinito ed aggiornato il data set. È stata cioè predisposta una procedura di applicazione del modello in cui sono già fissati i requisiti generali richiesti in ingresso (rappresentazione geometrica delle fonti, informazioni meteorologiche, punti di controllo, caratterizzazione delle sorgenti, inventari emissivi) e che perciò offre la possibilità di applicazione a singoli scenari, a scenari combinati e scenari aggiornati sull'intensità emissiva delle varie sorgenti. Applicazione di elezione risulta lo studio di scenari alternativi utili nell'ambito della pianificazione territoriale. In tale modalità è stato utilizzato, ad esempio, per valutare l'impatto della realizzazione di un sistema di teleriscaldamento nell'area urbana di Ravenna.

Il sistema modellistico così impostato presenta alcune limitazioni legate alla difficoltà di accesso ad informazioni georeferenziate sui set di dati utili alla sua applicazione (strade e riscaldamento), alla scarsità di informazioni necessarie per la caratterizzazione delle fonti (porto) e alla mancanza della trattazione del particolato secondario.

In una prospettiva futura occorrerà approfondire e specializzare i risultati ottenuti, affrontando in modo più accurato la trattazione geometrica e la caratterizzazione di alcune fonti.

Relativamente al traffico veicolare, per migliorare le capacità predittive del modello si potrebbero apportare dettagli maggiori alla modellizzazione geometrica della sorgente nel suo complesso (grafo stradale) e soprattutto, ai fini della precisione e semplificazione della costruzione dell'input di dati, sarebbe opportuno che gli output dei modelli previsionali di flusso di traffico fossero georeferenziate ed espressi in termini di veicoli/ora, nonchè suddivisi per

categorie (veicoli leggeri e pesanti). Inoltre una stima più affidabile, supportata da un numero maggiore e più diversificato di misure, dell'andamento temporale dei flussi nell'arco della giornata e dell'emissione relativa all'ora di punta (questo dato sembra infatti sovrastimato) influirebbe positivamente sulle previsioni ottenute.

Per il riscaldamento civile la scala di dettaglio è già sufficientemente affinata, occorrerebbe però che i dati fossero già georeferenziati all'origine per evitare errori di attribuzione dei consumi nel passaggio manuale dal data base alla cartografia. In questo caso la stima potrebbe essere aggiornata annualmente.

Per il settore industriale è prevedibile un aggiornamento ed un miglioramento dei dati per l'elaborazione del quadro emissivo di questa macrosorgente.

In primo luogo è ovvio che maggiore è il numero di autocontrolli disponibili, quindi maggiore è l'aggiornamento ed il completamento dei dati archiviati nel database, più realistico sarà il fattore di riduzione calcolato per una determinata categoria produttiva.

Infatti il calcolo dei fattori di riduzione coinvolti nella valutazione delle emissioni ridotte e alla definizione dei rispettivi tassi emissivi, deriva dalla raccolta dei dati degli autocontrolli effettuati alle emissioni e forniti dalle stesse aziende. Risulta evidente che tale valutazione è viziata dall'origine del dato utilizzato: gli autocontrolli sono rilevazioni alle emissioni dei camini effettuate dalle aziende e come tali svolte nel momento in cui l'impianto ha le sue migliori performance. È possibile quindi affinare il calcolo dei fattori di riduzione per ottenere stime delle emissioni ridotte più obiettive che tengano in considerazione nell'applicazione della metodologia sia gli autocontrolli delle aziende sia i controlli dell'Agenzia.

Inoltre, poiché l'inventario delle emissioni ridotte ed autorizzate è stato elaborato esclusivamente sulla base delle aziende soggette ad autorizzazione provinciale esplicita alle emissioni (aziende non a ridotto inquinamento atmosferico) si può prevedere di ampliare il quadro emissivo del settore industriale integrandolo con le ditte definite a ridotto inquinamento atmosferico.

Nel caso del settore portuale si profilano due percorsi di miglioramento, uno relativo al traffico navale e uno relativo alle attività che determinano polverosità per operazioni di carico-scarico, rimaneggiamento e deposito di rinfuse all'aperto. Nel primo caso, per rappresentare in modo più accurato le sorgenti di emissione sarebbe opportuno approfondire le conoscenze circa le dinamiche di transito (manovra e ormeggio) nei vari tratti del porto canale; mentre relativamente al loro censimento si potrebbero colmare le lacune in materia di meccanica navale (stato ed età dei motori, ore di marcia, manutenzione).

Come già anticipato nel rispettivo paragrafo, le maggiori fonti di incertezza sono a carico dei dati utilizzati per le attività portuali, in quanto le informazioni utili all'applicazione della metodologia di stima non erano state richieste alle aziende nell'ambito del primo censimento dati e per tale ragione sono frutto di ipotesi di lavoro, ragionevolmente plausibili, o di riferimenti reperiti in letteratura.

Al fine di impiegare dati migliori e il più possibile adeguati alla realtà locale ravennate si potrebbero superare i limiti sopra citati avendo a disposizione direttamente dalle aziende che trattano le varie tipologie di merci, il set di informazioni necessarie all'applicazione della metodologia.

A questo proposito viene in aiuto il Protocollo d'Intesa sottoscritto il 25 settembre 2007 tra Provincia, Comune, Autorità Portuale e associazioni di categoria inerente il miglioramento della qualità dell'aria nell'area portuale di Ravenna, avente come obiettivi l'individuazione di azioni di miglioramento e regolamentazione delle emissioni convogliate e diffuse, finalizzate alla riduzione e alla limitazione della polverosità e l'applicazione concreta di quanto indicato dal Piano di Risanamento della Qualità dell'Aria (PRQA).

Il Protocollo istituisce un Gruppo Tecnico di lavoro avente, tra gli altri, l'obiettivo di acquisire uno studio dell'area che permetta una valutazione degli impatti sulla qualità dell'aria derivanti dalle attività nel loro complesso e dalle sorgenti più impattanti. A tale scopo è previsto il censimento e la caratterizzazione delle attività ubicate nell'area portuale/industriale, per la definizione di un catasto aggiornato delle emissioni presenti nell' area.

Bibliografia

- ACI Italia, 2005. <<http://www.aci.it>> [data ultima consultazione: ottobre 2006].
- Arpa Lombardia, 2007. "INEMAR, *Inventario Emissioni in Atmosfera*". <<http://www.ambiente.regione.lombardia.it/inemar/inemarhome.htm>>.
- Bessagnet B., A. Hodzic, R. Vautard, M. Beekman, S. Cheinet, C. Honoré, C. Liousse and L. Rouil, 2004. "Aerosol modelling with CHIMERE: preliminary evaluation at the continental scale". *Atmospheric Environment*, 38, 2803 – 2817.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 2001. < <http://www.iiasa.ac.at/>>.
- Cavaggion A., 2006 "Studio dell'inquinamento da traffico veicolare nell'area urbana di Ravenna tramite l'applicazione del modello Adms – Urban". Tesi di laurea, Università di Bologna, Italia
- CERC, 2001. ADMS-Urban: Urban Air Quality Management System. User Guide. Version 1.6. CERC Limited, Cambridge.
- Cesari G., 2003. "L'impegno di APAT per migliorare la qualità dell'aria", Arpa 5, 18. Seminario di Matera, 30 settembre 2003. "Modelli per la valutazione della qualità dell'aria".
- Cirillo M.C., G. Finzi, F. Fortezza, G. Mamolini, A. Marani, M. Tamponi, T. Tirabassi, 1992. "Modelli matematici a supporto delle reti di controllo della qualità dell'aria, acqua e aria".
- Cooper D.A., 2003, Exhaust emissions from ship at berth, *Atmospheric Environment*, 37 (2003), 3817-3830.
- CTN-ACE, 2000. Inventari locali di emissioni in atmosfera: prima indagine conoscitiva, RTI CTN-ACE 1/2000
- Desiato F., Brusisca G., Deserti M., Zanini G., ANPA, 2000. "I modelli nella valutazione della qualità dell'aria". RTI CTN_ ACE 2/2000.
- EEA, 1999. *Atmospheric Emission Inventory Guidebook*, 3rd Edition, 2001
- European Commission (2002), Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community, Final Report, Entec UK.
- Fox, D. G., 1981. "Judging air quality model performance. A summary of AMS Workshop on Dispersion Model Performance". *Bulletin American Meteorological Society*, 62, 5 , 599 – 609.
- Gilli, G., Traversi, D., Rovere, R., Pignata, C., Schilirò, T., 2007. "Airborne particulate matter: Ionic species role in different Italian sites". *Environmental Research* 103 (1), 1-8.
- Goyal P., M.P. Singh, T.K. Bandopadhyay, T.V.B.P.S. Rama Krishna, 1985. "Comparative study of line source models for estimating lead levels due to vehicular traffic in Delhi". *Environmental Software*, 10,4,288-289.
- Gupta A.K. et al., 2002, Emissions of gaseous and particulate pollutants in a port and harbour region in India, *Environmental Monitoring and Assessment*, 80 (2002), 187-205.

- Hanna S., R. J. Paine, 1989. "Hybrid plume dispersion model (HPDM) development and evaluation". J. Appl. Met. 28,206-221.
- Harrison M.R., 1996."Pollution causes, Effects and Control – Terza Edizione". The Royal Society of Chemistry.
- Hurley, J. P., Physick, L.W., Luhar, K. A., 2005. "A practical approach to prognostic meteorological and air pollution modelling". Environmental Modelling & Software, 20, 737 – 752.
- Hurley, J.P., L. W. Physick, K.A. Luhar, 2005. "TAPM: a practical approach to prognostic meteorological and air pollution modelling". Environmental Modelling & Software, 20, 737 – 752.
- Kean. A.J., R. Sawyer, R.A. Harley, A fuel-based assessment of off-road diesel engine emissions, J. Air Waste Manage Assoc., 50(11), 1929-1939, 2000.
- Kousa, A., J. Kukkonen, A. Karppinen, P. Aarnio, T. Koskentalo, 2001. "Statistical and diagnostic evaluation of a new generation urban dispersion modelling system against an extensive dataset in the Helsinki area". Atmospheric Environmental. 35, 4617 – 4628.
- Kukkonen, J., E. Valkonen, J. Walden, T. Koskentalo, P. Aarnio, A. Karppinen, R. Berkowicz, R. Kartastenpaa, 2001. "A measurement campaign in a street canyon in Helsinki and comparisons of results with predictions of the OSPM model". Atmospheric Environment 35, 231-243.
- Lucialli P., P. Ugolini, E. Pollini, 2007. "Harbour of Ravenna: the contribution of harbour traffic to air quality". Atmospheric Environment Volume 41, Issue 30, 6421 – 6431.
- Marcazzan, G.M., Cerini, M., Valli, G., Vecchi, R., 2003. "Source apportionment of PM10 and PM2.5 in Milan (Italy) using receptormodelling". The Science of The Total Environment 317 (1-3), 137–147.
- Moreira D.M., T. Tirabassi, J.C. Carvalho, 2005. "Plume dispersion simulation in low wind conditions in stable and convective boundary layers". Atmospheric Environment, 39, 3634-3650.
- Pertot C. et al., 2005, "Inventari delle emissioni in atmosfera nelle aree urbane", CESI.
- Tirabassi T., 2003 "Modelli matematici per la descrizione del trasporto e diffusione di inquinanti in atmosfera", Istituto ISAC del C.N.R., Bologna.
- Trozzi C., Vaccaro R. (1998), Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships, Techne report MEET RF98.
- UNECE/EMEP (2002), Group 8: Other mobile sources and machinery, in EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 3rd Edition October 2002 Update (Technical Report n.30).
- US EPA (2006), AP 42, Fifth Edition, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Volume 1
- Wilmott C.J., 1982. "Some comments on the Evaluation of model Performance". Bulletin American Meteorological Society, 63,11,1309 - 1313.