



**POLITECNICO DI MILANO**  
**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE E**  
**AMBIENTALE**  
**Sezione Ambientale**

Brianza Energia Ambiente S.p.A.

**VALUTAZIONE DEL CONTRIBUTO RELATIVO DELLE EMISSIONI**  
**ATMOSFERICHE DELL'IMPIANTO DI BRIANZA ENERGIA AMBIENTE**

***RAPPORTO FINALE***

Responsabile scientifico:  
Prof. ing. Giovanni Lonati

DATA FEBBRAIO 2018	REDATTO SEZIONE AMBIENTALE	APPROVATO	RELAZIONE N° 815.8102.20.32
-----------------------	----------------------------------	-----------	--------------------------------

**VALUTAZIONE DEL CONTRIBUTO RELATIVO DELLE EMISSIONI  
ATMOSFERICHE DELL'IMPIANTO DI BRIANZA ENERGIA AMBIENTE**

Prof. ing. Giovanni Lonati

DICA Sezione Ambientale

POLITECNICO DI MILANO

---

## INDICE

<b>1. Introduzione</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Materiali e metodi</b> .....	<b>2</b>
2.1 Modello di dispersione atmosferica .....	2
2.2 Condizioni di applicazione del modello.....	2
2.2.1 Area di studio .....	2
2.2.2 Dati meteorologici.....	4
2.2.3 Regimi emissivi.....	6
<b>3. Risultati</b> .....	<b>14</b>
3.1 Impianto .....	14
3.2 Traffico veicolare .....	24
3.3 Considerazioni comparative .....	28
<b>4. Conclusioni</b> .....	<b>32</b>
<b>Allegato I – Caratteristiche del modello CALPUFF</b> .....	<b>35</b>
<b>Allegato II – Stima dei flussi di traffico</b> .....	<b>39</b>

---

---

## 1. Introduzione

Nel 2017 la società Servizi Territorio S.r.l. ha sviluppato uno studio modellistico degli impatti sulla qualità dell'aria delle emissioni dell'impianto di termovalorizzazione di Brianza Energia Ambiente localizzato nel Comune di Desio (MB) (*Analisi degli effetti sulla qualità dell'aria delle emissioni dell'impianto di termovalorizzazione di Brianza Energia Ambiente S.p.A localizzato nel Comune di Desio (MB)*). Tale studio, svolto con esclusivo riferimento alle emissioni di ossidi di azoto (NOx) dell'impianto, mostra che, coerentemente con il regime anemologico dell'area, le ricadute delle emissioni interessano anche il territorio del Comune di Desio ed il suo centro abitato. Peraltro, lo studio indica un contributo dell'impianto sostanzialmente limitato, sia con riferimento ai valori medi di lungo periodo sia a quelli estremi su base oraria fissati dalla normativa vigente, e non pone in confronto tali valori né con i contributi di altre sorgenti né con gli effettivi livelli di concentrazione nell'aria. I risultati del citato studio sono tuttavia largamente cautelativi in quanto, utilizzando i valori di esercizio massimi autorizzati per portata volumetrica e concentrazione di NOx nei fumi, sovrastimano il reale regime emissivo dell'impianto.

Per avere una più accurata e realistica valutazione del ruolo delle emissioni dell'impianto sulla qualità dell'aria a scala locale, Brianza Energia Ambiente S.p.A ha commissionato il presente studio al Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale.

Questo studio intende replicare lo studio già effettuato da Servizi Territorio S.r.l., utilizzando gli stessi strumenti modellistici e dati meteorologici, ma basandosi sul reale regime emissivo dell'impianto, quantificabile sulla base dei dati raccolti dal sistema di monitoraggio in continuo delle emissioni e delle analisi discontinue di caratterizzazione dei fumi.

In aggiunta, per evidenziare l'effetto degli interventi di potenziamento della linea di trattamento fumi, attuati nel corso del 2016 con l'introduzione di un sistema catalitico SCR per l'abbattimento degli NOx, lo studio considera due distinti regimi emissivi: il primo relativo all'anno 2015 (Scenario 2015) prima dell'introduzione del sistema SCR, il secondo relativo all'anno 2017 (Scenario 2017) con il sistema SCR in esercizio.

Da ultimo, per evidenziare in confronto il ruolo delle emissioni dell'impianto rispetto a quello di altre sorgenti locali, lo studio ha sviluppato anche una valutazione dell'impatto sulla qualità dell'aria del traffico veicolare che interessa il territorio del Comune di Desio. Tale valutazione si limita considerare esclusivamente i principali assi stradali prossimi o situati sul territorio del Comune di Desio e non considera il traffico "diffuso" che interessa la rete stradale urbana. I risultati così ottenuti forniscono, pertanto, una sottostima del reale impatto del traffico sulla qualità dell'aria ma costituiscono comunque un utile termine di paragone per interpretare i risultati delle valutazioni relative all'impianto.

Nello specifico, la stima del contributo del traffico ha riguardato i seguenti assi viari:

- S.S. 35, S.S. 36 e S.S. 527 che contornano a Est, Sud e Ovest il territorio del Comune di Desio;
- S.P. 9, S.P. 132, S.P. 151 e S.P. 173 che attraversano il territorio del Comune di Desio.

Tutte le valutazioni sviluppate in questo studio hanno riguardato le emissioni di polveri e NOx, inquinati per cui il rispetto dei limiti di qualità dell'aria è particolarmente critico in Lombardia e nell'intera pianura padana, e quelle di cadmio (Cd) e diossine e furani (PCDD/F), inquinanti tossici e persistenti tipicamente considerati nelle valutazioni di impatto di impianti di trattamento termico di rifiuti.

---

Nei successivi paragrafi si presentano gli strumenti modellistici, i dati utilizzati nelle simulazioni modellistiche ed i risultati delle simulazioni stesse tramite rappresentazioni grafiche che mostrano la distribuzione spaziale delle concentrazioni attese per tutti gli inquinanti considerati per i due scenari emissivi dell'impianto e per il traffico veicolare.

## **2. Materiali e metodi**

### **2.1 Modello di dispersione atmosferica**

La valutazione dell'impatto sulla qualità dell'aria delle emissioni dell'impianto e del traffico ha l'obiettivo di stimare i contributi attesi di tali sorgenti, in termini di valori di concentrazione in atmosfera al suolo nell'area di studio, in corrispondenza degli scenari emissivi analizzati.

In questo studio è stato utilizzato il modello CALPUFF che, come già precisato precedentemente, è lo stesso modello di dispersione utilizzato nello studio di Servizi Territorio S.r.l.

CALPUFF è un modello tridimensionale di trasporto e diffusione degli inquinanti atmosferici in grado di rappresentare adeguatamente le caratteristiche del regime anemologico dell'area di studio ed, in particolare, i fenomeni di calma che caratterizzano gran parte della pianura padana.

Il modello CALPUFF si basa su un approccio di tipo lagrangiano gaussiano a puff, non stazionario, multistrato e multispecie, e comprende una serie di opzioni per la stima del trasporto e diffusione in atmosfera di emissioni prodotte da diverse configurazioni di sorgenti (puntuale, areale, lineare), in situazioni orografiche semplici o complesse.

Dettagli sulle caratteristiche del modello CALPUFF sono riportati nell'Allegato I.

### **2.2 Condizioni di applicazione del modello**

#### **2.2.1 Area di studio**

L'area di studio in cui si è valutato l'impatto delle emissioni dell'impianto è la medesima considerata nello studio di Servizi e Territorio S.r.l., costituita da un quadrato di 10 km per 10 km centrato sulla localizzazione dell'impianto.

Nella scala di riferimento UTM32-WGS84, tale area di studio ha coordinate comprese tra 509.500 km e 591.5 km lungo la direzione X e tra 5045 km e 5055 km lungo la direzione Y.

Ai fini dell'applicazione del modello di diffusione per la stima delle concentrazioni al suolo, l'area di studio è stata disaggregata in un grigliato cartesiano ortogonale, costituito da maglie quadrate di 100 m di lato per un totale complessivo di 10201 punti di calcolo. L'estensione dell'area di studio è riportata nella seguente Figura 2.1.

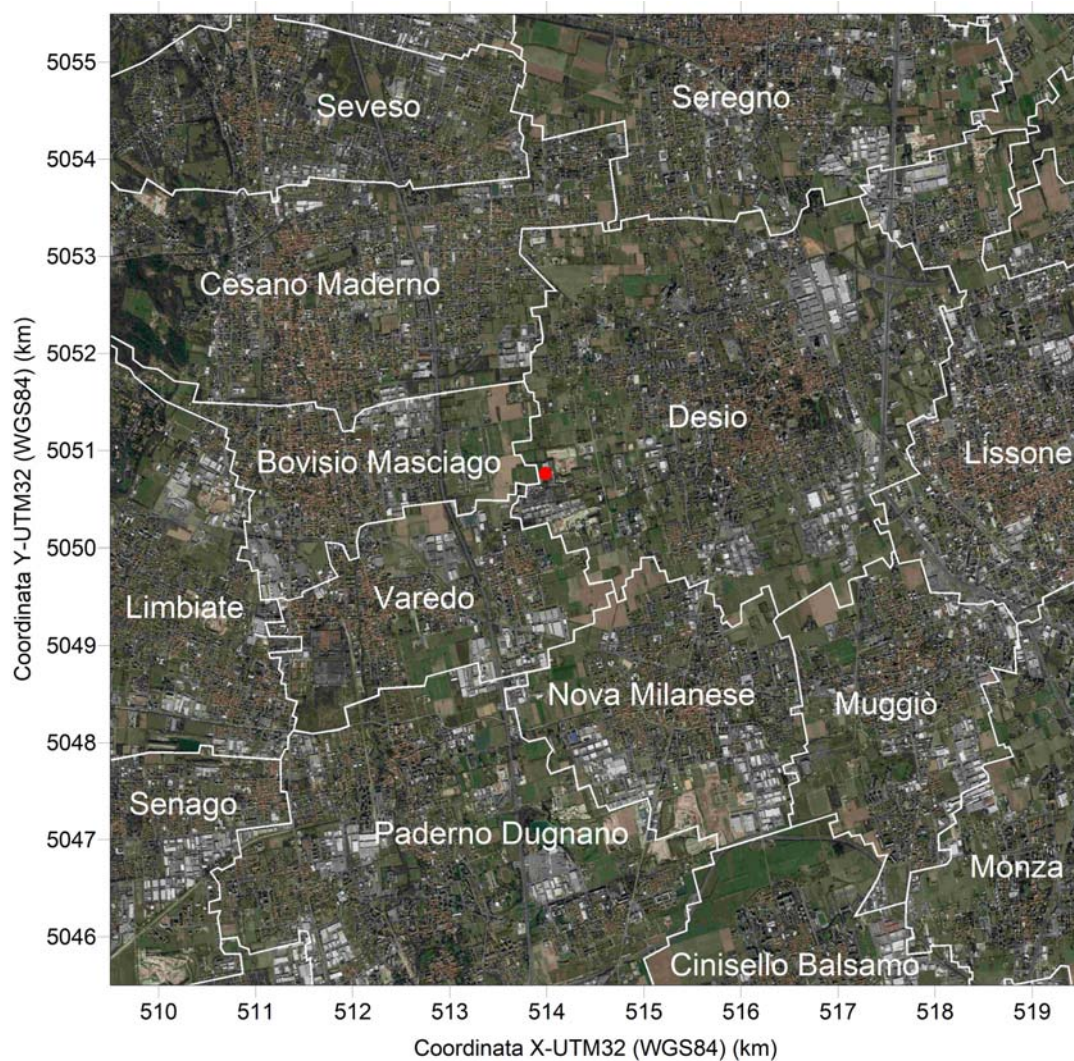


Figura 2.1 – Estensione area di studio per la valutazione dell’impatto delle emissioni dell’impianto

L’area di studio in cui viene valutato l’impatto delle emissioni da traffico in termini di concentrazioni in atmosfera è una sottoarea di quella utilizzata per la valutazione dell’impatto delle emissioni dell’impianto; ha dimensioni di 6 km x 6 km, è centrata sul comune di Desio e sugli assi stradali analizzati.

Nella scala di riferimento UTM32-WGS84, l’area di studio ha coordinate comprese tra 512.5 km e 518.5 km lungo la direzione X e tra 5048 km e 5054 km lungo la direzione Y.

Per una corretta valutazione delle concentrazioni in atmosfera da traffico sono comunque stati considerati tutti gli archi stradali contenuti in un quadrato più ampio dell’area di studio, di ampiezza 6.75 km x 6.75 km centrato sull’area di studio e indicata come area di valutazione.

Ai fini dell’applicazione del modello di diffusione per la stima delle concentrazioni al suolo, l’area di studio per il traffico è stata disaggregata in un grigliato cartesiano ortogonale, costituito da maglie quadrate di 100 m di lato per un totale complessivo di 3721 punti di calcolo.

L’estensione dell’area di studio e dell’area di valutazione per la valutazione dell’impatto delle emissioni da traffico sono riportate nella seguente Figura 2.2.



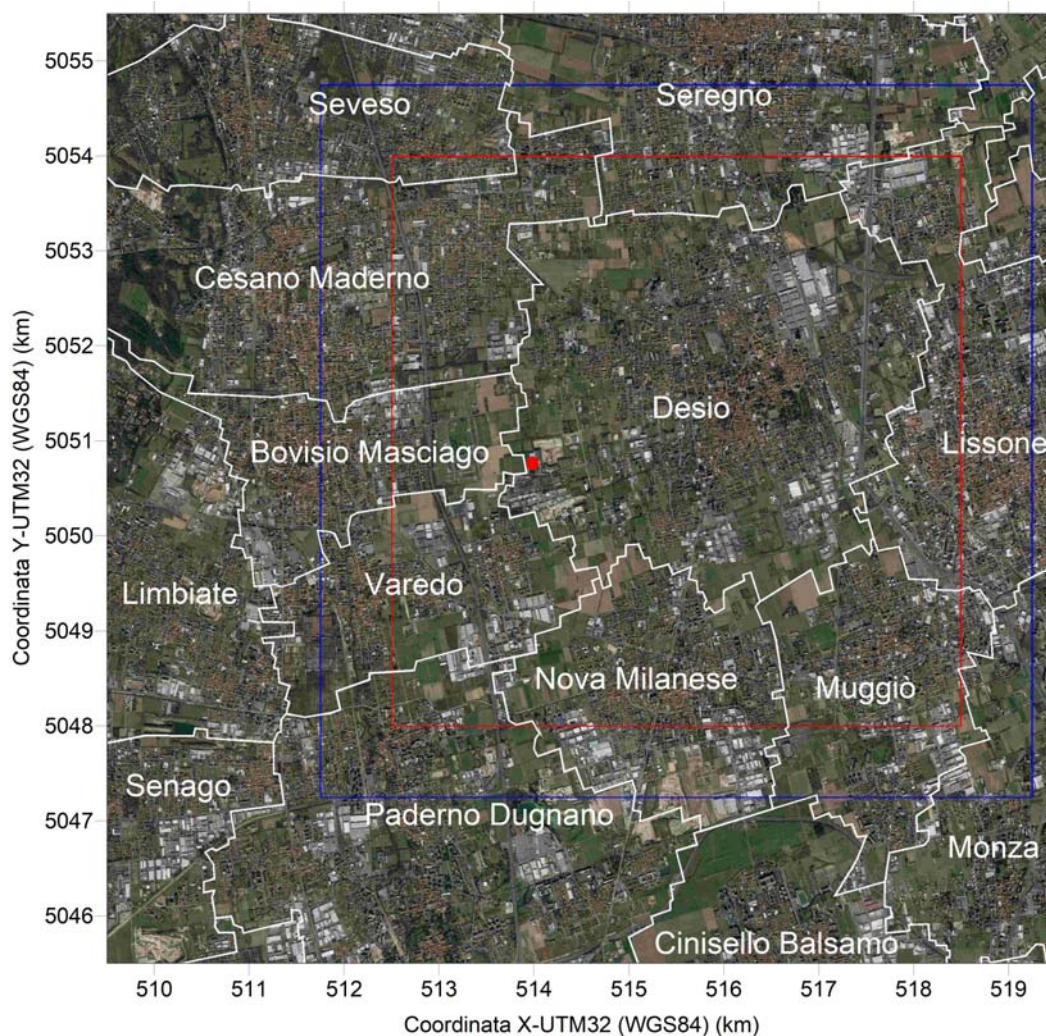


Figura 2.2.1 – Estensione area di studio (in rosso) e area di valutazione (in blu) per la valutazione dell’impatto delle emissioni da traffico

### 2.2.2 Dati meteorologici

I dati meteorologici utilizzati nel presente studio sono i medesimi utilizzati nello studio di Servizi e territorio S.r.l.. Tali dati, relativi all’anno solare 2016 su base oraria, sono stati forniti da ARPA Emilia Romagna e provengono dalla base di dati LAMA (Limited Area Meteorological Analysis) che è stato prodotto sfruttando le simulazioni del modello meteorologico COSMO e le osservazioni della rete meteorologica internazionale (dati GTS). Il modello COSMO è il modello di riferimento italiano per le previsioni del tempo a breve termine. Rimandando ai paragrafi 2.1, 2.2 e 2.3 dello studio di Servizi e Territorio S.r.l. per la descrizione dei dati meteorologici, nelle Figure 2.3 e 2.4 si riportano le rose dei venti al suolo ed alla quota di 114 m, dove, in base alle caratteristiche geometriche del camino di emissione ed alle modalità di rilascio dei fumi, si può assumere che il pennacchio raggiunga l’altezza di livellamento.

Come già evidenziato nello studio di Servizi e Territorio S.r.l. le rose dei venti presentano componenti principali che provengono dai settori compresi tra Nord Ovest e Nord Est. e componenti secondarie disposte lungo l’asse Est-Ovest. I venti provenienti dalle direzioni comprese tra Sud Est e Sud Ovest risultano, invece, decisamente molto meno frequenti.

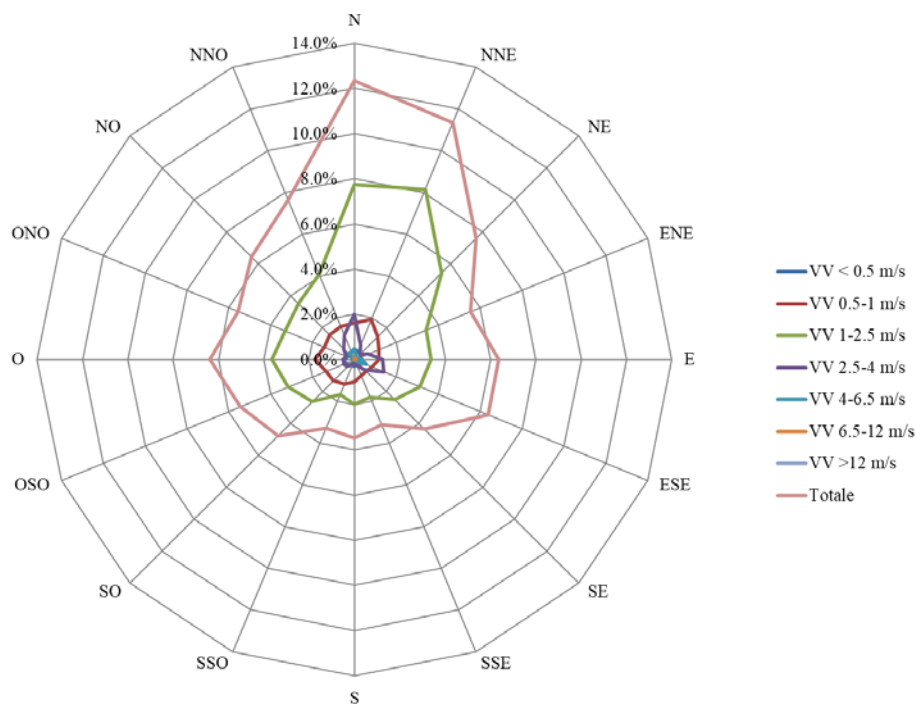


Figura 2.3 - Rosa dei venti per classe di velocità del vento alla quota di 10 m

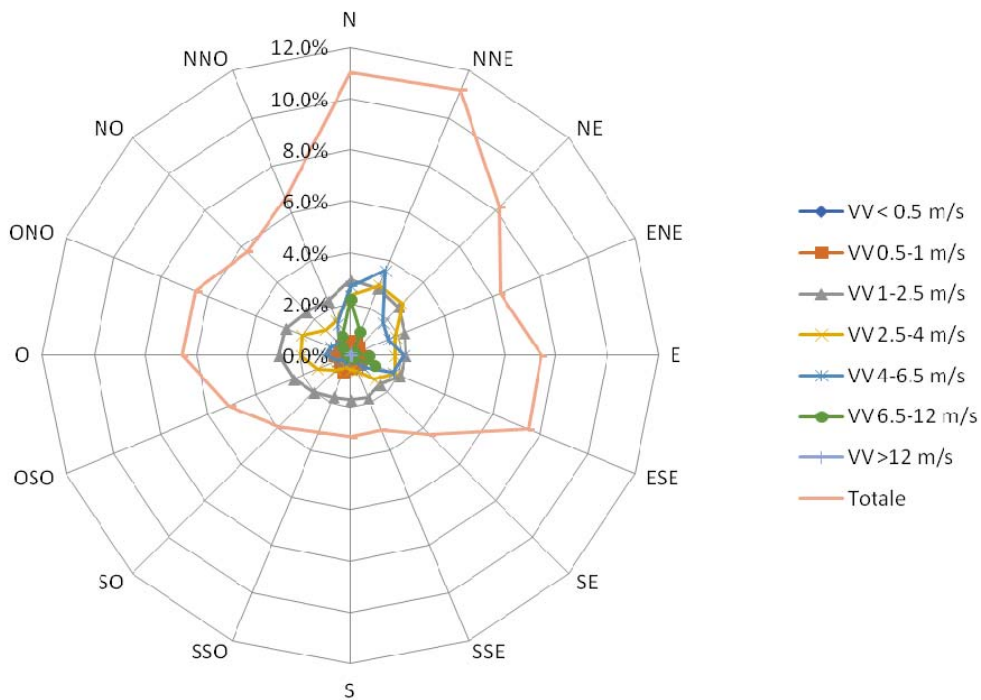


Figura 2.4 - Rosa dei venti per classe di velocità del vento alla quota di 114 m



---

### 2.2.3 Regimi emissivi

#### Impianto

Il modello di dispersione atmosferica richiede in ingresso i dati del regime emissivo dell'impianto nei termini delle modalità di rilascio dei fumi (temperatura e velocità di sbocco dal camino) e di portata in massa degli inquinanti emessi. La definizione del regime emissivo è stata effettuata sulla base dei dati registrati dal sistema di monitoraggio in continuo delle emissioni dell'impianto (SME) e di quelli delle misure discontinue di caratterizzazione delle emissioni. Nello specifico, lo SME registra i valori di portata volumetrica e di temperatura dei fumi e di concentrazione di polveri e NO<sub>x</sub> (espressi come NO<sub>2</sub>) che consentono la quantificazione delle corrispondenti portate in massa. Pertanto, per entrambi gli scenari emissivi considerati (Scenario 2015 e Scenario 2017) il regime emissivo utilizzato nelle simulazioni modellistiche relative a polveri e NO<sub>x</sub> riproduce il reale regime emissivo orario dell'impianto, tanto per quanto riguarda temperatura e velocità dei fumi quanto per le portate in massa dei due inquinanti. Relativamente a cadmio (Cd) ed al complesso delle diossine e furani (PCDD/F), per cui sono invece disponibili solo dati di concentrazione discontinui, la definizione del regime emissivo si è sempre basata sul reale regime di funzionamento dell'impianto (temperatura e velocità dei fumi), determinando i flussi di massa nel seguente modo:

- per Cd si è considerata una concentrazione oraria costante pari al massimo valore di concentrazione misurato nei tre campionamenti discontinui effettuati nel corso degli anni (Tabella 2.2.1), rispettivamente pari a 0.000193 mg m<sup>-3</sup> in condizioni normali per lo Scenario 2015 ed a 0.000323 mg m<sup>-3</sup> in condizioni normali per lo Scenario 2017;

Tabella 2.2.1 – Concentrazioni di Cd (mg m<sup>-3</sup> in condizioni normali) misurate nei campionamenti discontinui

	<b>Rapporto analisi 30-04-15</b>	<b>Rapporto analisi 08-07-15</b>	<b>Rapporto analisi 25-11-15</b>
<b>Anno 2015</b>	< 0.0001	< 0.000193	< 0.000159
	<b>Rapporto analisi 16-03-17</b>	<b>Rapporto analisi 27-07-17</b>	<b>Rapporto analisi 27-11-17</b>
<b>Anno 2017</b>	0.000323	0.000244	0.000243

- per PCDD/F, disponendo della serie di valori medi mensili di concentrazione in termini di tossicità equivalente (TEQ), derivanti dal campionamento in continuo delle emissioni (Tabella 2.2.2), si è considerata una concentrazione oraria costante su base mensile;

Tabella 2.2.2 – Concentrazioni medie mensili di PCDD/F ( $\text{ng}_{\text{TEQ}} \text{m}^{-3}$  in condizioni normali) misurate nei campioni prelevati dal sistema di campionamento in continuo

Mese	Anno 2015	Anno 2017
Gen	0.00110	0.00041
Feb	0.00061	0.00026
Mar	0.00071	0.00048
Apr	0.00100	0.00074
Mag	0.00106	0.00076
Giu	0.00043	0.000039
Lug	0.00125	0.00071
Ago	0.00072	0.00067
Set	0.00171	0.00041
Ott	0.00147	0.00135
Nov	0.00115	0.00071
Dic	0.00254	0.00061(*)

(\*) Non essendo disponibile il dato del mese di Dicembre 2017 si è assunto il valore medio degli 11 mesi precedenti

- per entrambi gli inquinanti i valori orari del flusso di massa si ottengono dal prodotto della portata volumetrica misurata dei fumi per i valori di concentrazione sopra definiti. L'approccio adottato consente di riprodurre quanto più fedelmente possibile il reale regime emissivo di PCDD/F mentre risulta particolarmente cautelativo nel caso di Cd, avendo ipotizzato che in tutte le ore dell'anno la concentrazione sia sempre pari al valore massimo misurato.

In tutti i casi i regimi emissivi utilizzati dal modello di dispersione rispecchiano il reale funzionamento dell'impianto, tenendo cioè conto dei periodi di fermata dell'impianto, in cui le emissioni sono nulle, come evidenziato nelle Figure 2.5-2.8 in cui si riportano in confronto gli andamenti delle portate in massa degli inquinanti nei due scenari emissivi considerati.

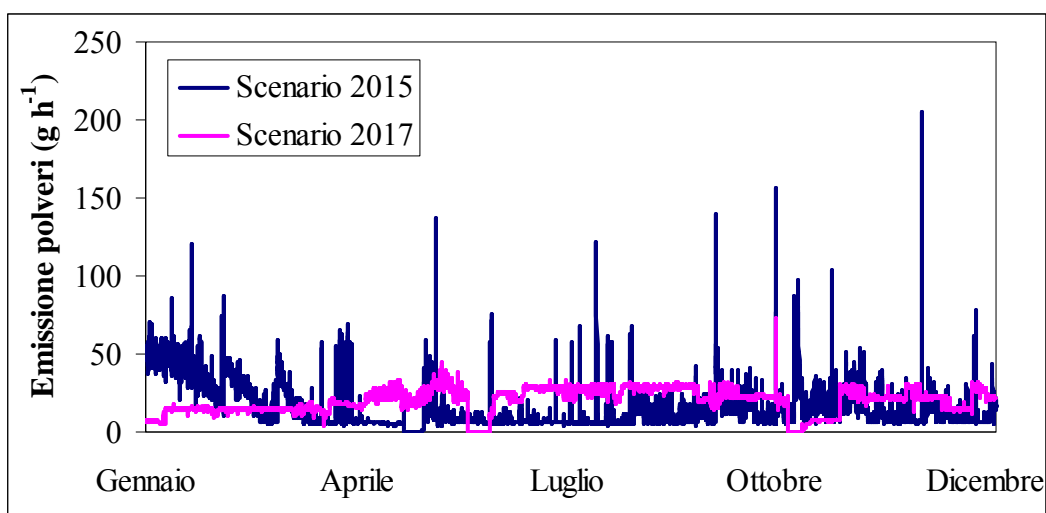


Figura 2.5 – Regime emissivo di polveri ( $\text{g h}^{-1}$ ) negli Scenari emissivi 2015 e 2017

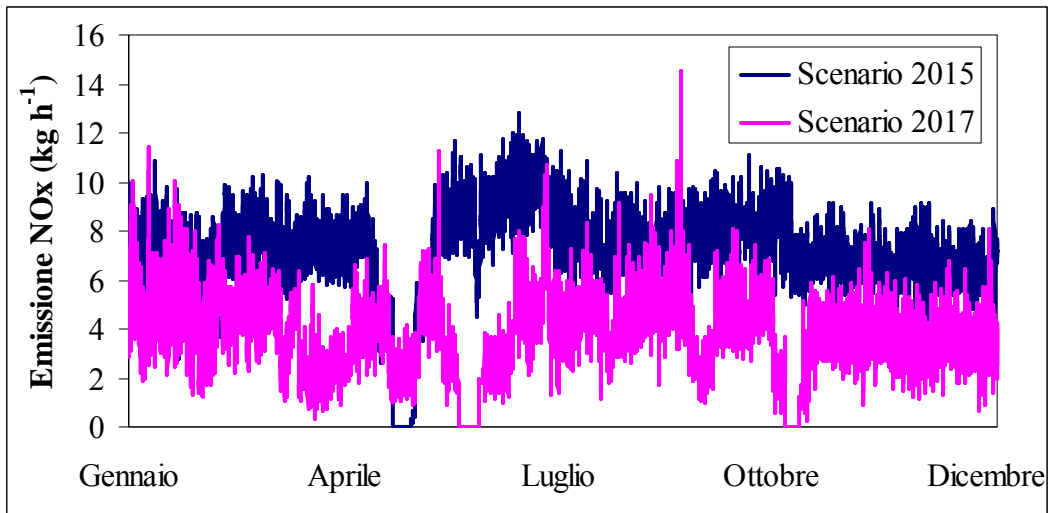


Figura 2.6 – Regime emissivo di NOx (kg h<sup>-1</sup>) negli Scenari emissivi 2015 e 2017

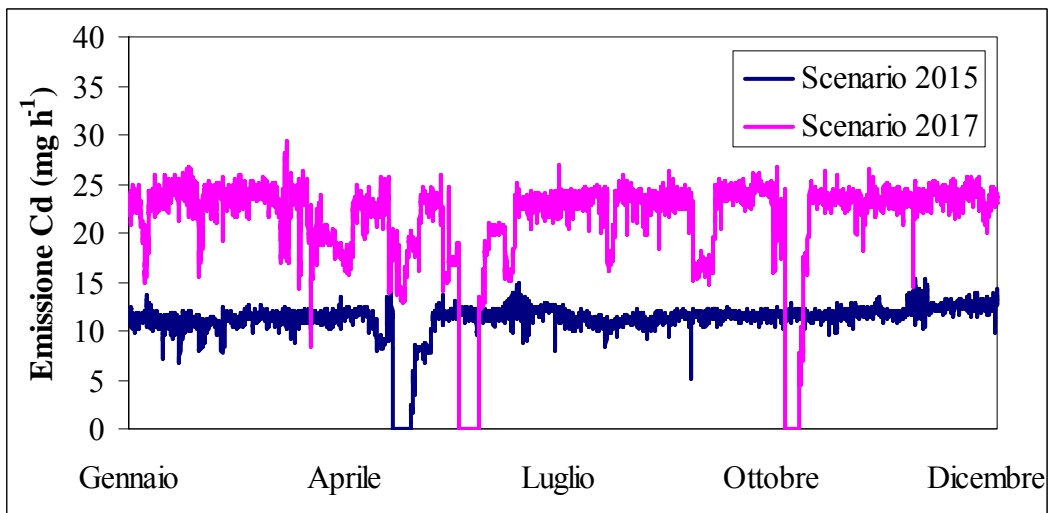


Figura 2.7 – Regime emissivo di Cd (mg h<sup>-1</sup>) negli Scenari emissivi 2015 e 2017

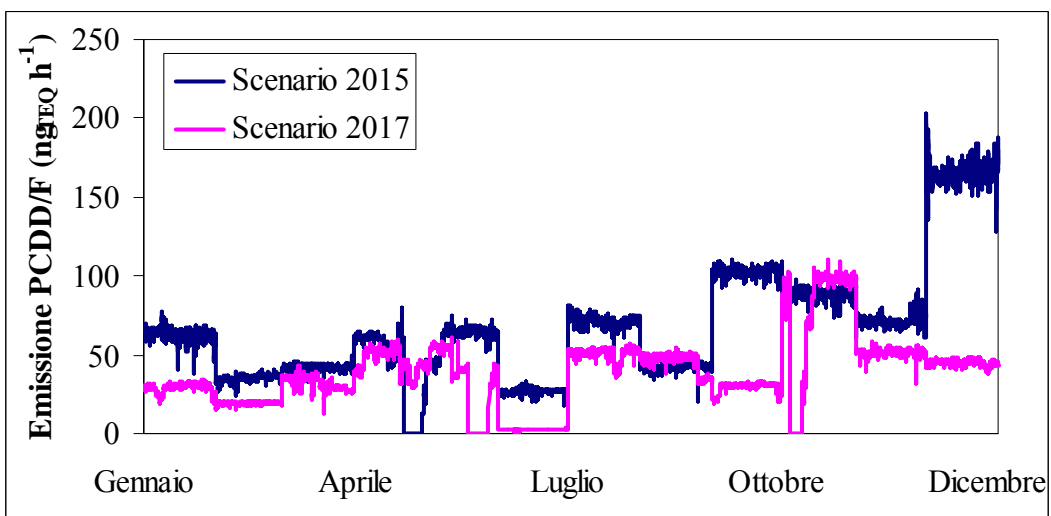


Figura 2.8 – Regime emissivo di PCDD/F (ng<sub>TEQ</sub> h<sup>-1</sup>) negli Scenari emissivi 2015 e 2017

Il confronto tra i regimi emissivi dell'impianto nei due scenari di simulazione evidenzia i seguenti aspetti:

- il regime orario di esercizio si differenzia per durata complessiva e distribuzione temporale dei periodi di fermata, costituiti da un unico periodo nello Scenario 2015 (22-29 aprile) e da due periodi distinti nello Scenario 2017 (19-28 maggio e 4-9 ottobre)
- lo Scenario 2015 presenta un maggior numero complessivo di ore di esercizio dell'impianto (8578) rispetto allo Scenario 2017 (8411); i dettagli delle modalità di esercizio dell'impianto sono riassunti nella Tabella 2.2.3.

Tabella 2.2.3 – Modalità di esercizio (numero di ore) dell'impianto

	<b>Cod. 30</b>	<b>Cod. 31</b>	<b>Cod. 36</b>	<b>Cod. 34</b>
<b>Scenario 2015</b>	8456	48	74	182
<b>Scenario 2017</b>	7841	110	460	349

Codice 30: entrambe le linee in funzionamento regolare

Codice 31: una delle due linee ferma e l'altra linea in avviamento o spegnimento

Codice 36: una delle due linee in funzionamento regolare e l'altra in avviamento o spegnimento

Codice 34: entrambe le linee ferme

- la temperatura e velocità di sbocco dei fumi dal camino sono mediamente più alte nello Scenario 2017 rispetto allo Scenario 2015, favorendo così una maggiore dispersione delle emissioni. In particolare, i valori medi di temperatura e velocità passano da 144 °C e 9.4 m s<sup>-1</sup> nello Scenario 2015 a 162 °C e 11.4 m s<sup>-1</sup> nello Scenario 2017
- in entrambi gli scenari emissivi considerati i livelli di concentrazione misurati dallo SME per polveri e NO<sub>x</sub> ed osservati dalle misure discontinue per Cd e PCDD/F risultano sempre inferiori ai corrispondenti limiti emissivi di legge (rispettivamente pari a 10 mg m<sup>-3</sup>, 200 mg m<sup>-3</sup>, 0.05 mg m<sup>-3</sup>, 0.1 ng<sub>TEQ</sub> m<sup>-3</sup> nei fumi in condizioni normali, secchi all'11% O<sub>2</sub>).
- la portata oraria in massa di NO<sub>x</sub> e di PCDD/F è più bassa nello Scenario 2017 rispetto allo scenario 2015. In particolare, in termini medi orari riferiti alle effettive ore di esercizio dell'impianto, si passa da 7.38 kg h<sup>-1</sup> per NO<sub>x</sub> e da 69.1 ng<sub>TEQ</sub> h<sup>-1</sup> per PCDD/F nello Scenario 2015 a 4.00 kg h<sup>-1</sup> per NO<sub>x</sub> ed a 39.9 ng<sub>TEQ</sub> h<sup>-1</sup> per PCDD/F nello Scenario 2017 (Tabella 2.2.4)
- la portata oraria in massa di polveri e di Cd è più alta nello Scenario 2017 rispetto allo Scenario 2015, con valori medi orari che passano da 15.5 g h<sup>-1</sup> per polveri e da 11.4 mg h<sup>-1</sup> per Cd nello Scenario 2015 a 20.9 g h<sup>-1</sup> per polveri ed a 22.2 mg h<sup>-1</sup> per Cd nello Scenario 2017 (Tabella 2.2.4)
- per tutti gli inquinanti considerati e per entrambi gli scenari i massimi flussi di massa del reale regime emissivo dell'impianto risultano sempre inferiori al massimo flusso autorizzato (Tabella 2.2.4), quantificabile considerando la concentrazione degli inquinanti esattamente pari ai valori limite di autorizzazione dell'impianto sopra citati. Nello specifico, in virtù dei livelli di concentrazione ampiamente inferiori ai limiti emissivi, in entrambi gli scenari considerati la massima emissione oraria è di circa due ordini di grandezza inferiore al flusso di massa ammissibile per PCDD/F e di oltre due ordini di grandezza inferiore per Cd. Per le polveri, la massima emissione oraria nello Scenario 2015 (circa 205 g h<sup>-1</sup>), registrata in occasione di un picco

emissivo isolato, è cinque volte inferiore al flusso di massa autorizzato ( $1100 \text{ g h}^{-1}$ ); nello Scenario 2017, invece, la massima emissione oraria (circa  $73 \text{ g h}^{-1}$ ) è di oltre due ordini di grandezza inferiore al flusso autorizzato. Per gli NOx, la differenza tra massima emissione oraria e massimo flusso autorizzato è meno rilevante, con la massima emissione oraria pari a circa il 58% del flusso autorizzato nello Scenario 2015 ( $12.82 \text{ kg h}^{-1}$  rispetto a  $22 \text{ kg h}^{-1}$ ) ed a circa il 66% nello Scenario 2017 ( $14.5 \text{ kg h}^{-1}$  rispetto a  $22 \text{ kg h}^{-1}$ ).

Tabella 2.2.4 - Parametrici statistici riassuntivi delle distribuzioni dei valori orari delle portate in massa negli Scenari 2015 e 2017 e confronto con le massime portate autorizzate dell'impianto

	Polveri ( $\text{g h}^{-1}$ )		NOx ( $\text{kg h}^{-1}$ )		Cd ( $\text{mg h}^{-1}$ )		PCDD/F ( $\text{ng}_{\text{TEQ}} \text{h}^{-1}$ )	
	Sc.2015	Sc.2017	Sc.2015	Sc.2017	Sc.2015	Sc.2017	Sc.2015	Sc.2017
Media	15.5	20.9	7.38	4.00	11.4	22.2	69.1	39.9
Mediana	10.8	21.6	7.38	4.00	11.6	23.3	64.8	40.7
Minimo	0.4	1.4	0.07	0.22	0.6	4.5	3.2	1.8
Massimo	205.6	72.7	12.82	14.54	15.4	29.4	202.7	110.2
Max Aut.(*)	1100		22		5500		11000	

(\*) La portata massima autorizzata è data dal prodotto della portata di progetto dell'impianto ( $110000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  in condizioni normali) per la concentrazione limite di emissione

- per quanto riguarda gli NOx, rispecchiando le reali condizioni di funzionamento dell'impianto, in entrambi gli scenari emissivi i valori di portata in massa utilizzati nelle simulazioni modellistiche sono sempre inferiori al valore di  $6.11 \text{ g s}^{-1}$  ( $22 \text{ kg h}^{-1}$ ) riportato nella Tabella 3-1 dello studio effettuato da Servizi e Territorio S.r.l., in cui si è assunta la concentrazione esattamente pari al limite di emissione e la portata volumetrica dei fumi pari alla portata massima di progetto dell'impianto. Nello specifico, come desumibile dalla Tabella 2.2.4, il valore massimo della portata di NOx è pari a  $3.56 \text{ g s}^{-1}$  (media:  $2.05 \text{ g s}^{-1}$ ) per lo Scenario 2015 ed a  $4.04 \text{ g s}^{-1}$  (media:  $1.11 \text{ g s}^{-1}$ ) per lo Scenario 2017.

Per contestualizzare i regimi emissivi definiti per i due scenari considerati, la Tabella 2.2.5 mostra i valori delle emissioni annue di Cd, NOx e PM10 riportate nell'inventario regionale delle emissioni INEMAR<sup>1</sup> per il Comune di Desio nell'anno 2014 relativamente al macrosettore 9 (Trattamento e smaltimento rifiuti) e quelli calcolati nel presente studio. Il confronto tra le portate massiche annue mostra un sostanziale accordo per Cd (come media tra i due scenari) e valori di inventario superiori al reale regime emissivo misurato tanto per NOx (con un flusso di massa circa 2 volte rispetto allo Scenario 2015, temporalmente più prossimo al dato di inventario) quanto, e soprattutto, per le polveri (flusso di massa circa un ordine di grandezza superiore, potendo ragionevolmente assumere che le emissioni dell'impianto siano tutte costituite da PM10 visti i dispositivi di abbattimento utilizzati dall'impianto).

<sup>1</sup> INEMAR - ARPA Lombardia (2018), INEMAR, Inventario Emissioni in Atmosfera: emissioni in Regione Lombardia nell'anno 2014 - dati finali. ARPA Lombardia Settore Monitoraggi Ambientali.



Tabella 2.2.5 – Emissioni annue del Macrosettore 9 (Trattamento e smaltimento rifiuti) riportate nell’inventario regionale INEMAR per il Comune di Desio e regimi emissivi degli Scenari 2015 e 2017

	<b>Cd</b> <b>(kg anno<sup>-1</sup>)</b>	<b>NOx</b> <b>(t anno<sup>-1</sup>)</b>	<b>PM10</b> <b>(t anno<sup>-1</sup>)</b>
Dati INEMAR 2014	0.152	124.1	2.17
Questo studio:			
Scenario 2015	0.098	63.3	0.13
Scenario 2017	0.187	33.5	0.17

### Traffico veicolare

Per la valutazione della dispersione delle emissioni del traffico veicolare il modello di calcolo richiede in ingresso le emissioni relative ai singoli archi che costituiscono il grafo stradale considerato. La stima di tali emissioni si basa sulla lunghezza dei singoli archi, sul volume di traffico che insiste su tale archi e sui fattori di emissione degli inquinanti per le diverse tipologie di veicoli. Pertanto, l’emissione oraria di un inquinante per un singolo arco stradale è stimata attraverso la seguente relazione:

$$E_{i,j} = \sum_c (FE_{i,c} \cdot F_{c,j}) \cdot L_j \quad (1)$$

in cui:

$E_i$  = emissione oraria dell’inquinante  $i$  nell’arco di strada  $j$  ( $g\ h^{-1}$ )

$FE_{i,c}$  = fattore di emissione ( $g\ km^{-1}$ ) dell’inquinante  $i$  per la categoria di veicolo  $c$

$F_{c,j}$  = numero di veicoli della categoria  $c$  transitanti sull’arco  $j$  in un’ora (veicoli  $h^{-1}$ )

$L_j$  = lunghezza dell’arco stradale  $j$  (km).

Il grafo stradale considerato nel presente studio, rappresentato in Figura 2.9 contempla i principali assi viari prossimi o situati sul territorio del Comune di Desio e precisamente:

- le strade statali S.S. 35, S.S. 36 e S.S. 527 che contornano a Est, Sud e Ovest il territorio del Comune di Desio;
- le strade provinciali S.P. 9, S.P. 132, S.P. 151 e S.P. 173 che attraversano il territorio del Comune di Desio.

I flussi di traffico lungo tali assi sono stati stimati con uno specifico studio (Allegato II) che ha quantificato i flussi dell’ora di punta per le tre principali classi veicolari (autovetture, veicoli commerciali leggeri e pesanti) da cui, con opportuni coefficienti di modulazione temporale, si è stimato l’andamento giornaliero del traffico su base oraria. I valori dei flussi totali i veicoli nell’ora di punta sono rappresentati in Figura 2.10.

I fattori di emissione utilizzati per la stima delle emissioni del traffico sono riassunti nella Tabella 2.2.6. Per le polveri sono stati utilizzati i fattori di emissione complessivi (scappamento + abrasione superficiale) medi per tipologia di veicolo forniti dall’inventario INEMAR ARPA Lombardia, per  $NO_2$  e Cd, non presenti nell’inventario regionale, sono stati utilizzati i fattori di emissione riportati nel database nazionale elaborato da ISPRA per l’anno 2015, per PCDD/F i fattori di emissione sono stati ricavati dai valori riportati per le diverse classi veicolari nell’ *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016* e dai dati ACI di composizione del parco circolante in Lombardia nel 2016.

Tabella 2.2.6 - Fattori di emissione medi da traffico per tipo di veicolo

	<b>Unità di misura</b>	<b>Automobili</b>	<b>Veicoli comm. leggeri (&lt; 3.5 t)</b>	<b>Veicoli comm. pesanti (&gt; 3.5 t)</b>
PM10 (1)	mg km <sup>-1</sup>	39.9	77.4	217.9
NO <sub>2</sub> (2)	mg km <sup>-1</sup>	152.8	347.9	598.3
Cd (2)	mg km <sup>-1</sup>	0.0007	0.0009	0.0024
PCDD/F (3)	pg <sub>TEQ</sub> km <sup>-1</sup>	21.3	39.6	49.4

(1) Fonte: INEMAR - ARPA Lombardia (2018), INEMAR, Inventario Emissioni in Atmosfera: emissioni in Regione Lombardia nell'anno 2014 - revisione pubblica.

(2) Fonte: ISPRA - La banca dati dei fattori di emissione medi del trasporto stradale in Italia

(3) Fonte: Elaborazione dati *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016* e dati ACI su parco circolante in Lombardia nel 2016

L'applicazione dell'equazione (1) ai singoli archi degli assi stradali considerati ha consentito di stimare l'andamento giornaliero delle emissioni su base oraria. Nelle successive simulazioni modellistiche, l'andamento giornaliero così stimato è stato replicato per tutto l'anno, senza introdurre alcuna modulazione su base stagionale o settimanale. Tale approccio tende tuttavia a sovrastimare l'effettiva emissione lungo gli assi stradali considerati, con una conseguente sovrastima dei contributi attesi alle concentrazioni atmosferiche da parte del traffico insistente sugli assi stessi. Per contro, in termini di valutazione complessiva dell'impatto del traffico sulla qualità dell'aria, il ruolo di tale sorgente risulta sottostimato perché, come già precisato, l'analisi svolta non considera il traffico "diffuso" che interessa la rete stradale urbana del Comune di Desio.

Il confronto tra le emissioni del traffico stimate in questo studio per gli assi stradali principali del Comune di Desio ed il totale delle emissioni del macrosettore 7 (Trasporto su strada) secondo l'inventario regionale delle emissioni INEMAR<sup>2</sup> per il Comune di Desio nell'anno 2014, evidenzia chiaramente che tale sottostima complessiva si attesta attorno al 70% per tutti gli inquinanti. (Tabella 2.2.6).

Tabella 2.2.6 – Emissioni annue del Macrosettore 7 (Trasporto su strada) riportate nell'inventario regionale INEMAR per il Comune di Desio ed emissioni considerate in questo studio.

	<b>Cd (kg anno<sup>-1</sup>)</b>	<b>NOx (t anno<sup>-1</sup>)</b>	<b>PM10 (t anno<sup>-1</sup>)</b>
Dati INEMAR 2014	0.222	168.1	12.9
Questo studio (*)	0.144	116.2	9.2

(\*) Emissioni lungo i tratti delle strade provinciali S.P. 9, S.P. 132, S.P. 151 e S.P. 173 sul territorio del Comune di Desio

<sup>2</sup> INEMAR - ARPA Lombardia (2018), INEMAR, Inventario Emissioni in Atmosfera: emissioni in Regione Lombardia nell'anno 2014 - dati finali. ARPA Lombardia Settore Monitoraggi Ambientali.

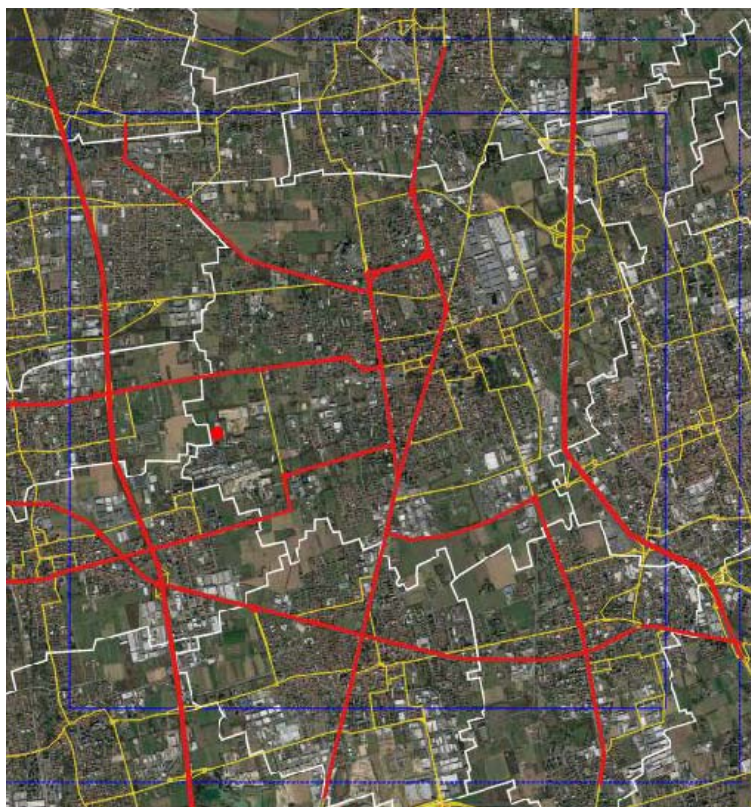


Figura 2.9 - Grafo stradale che insiste sul Comune di Desio e sui Comuni limitrofi. In rosso le strade considerate nella presente valutazione

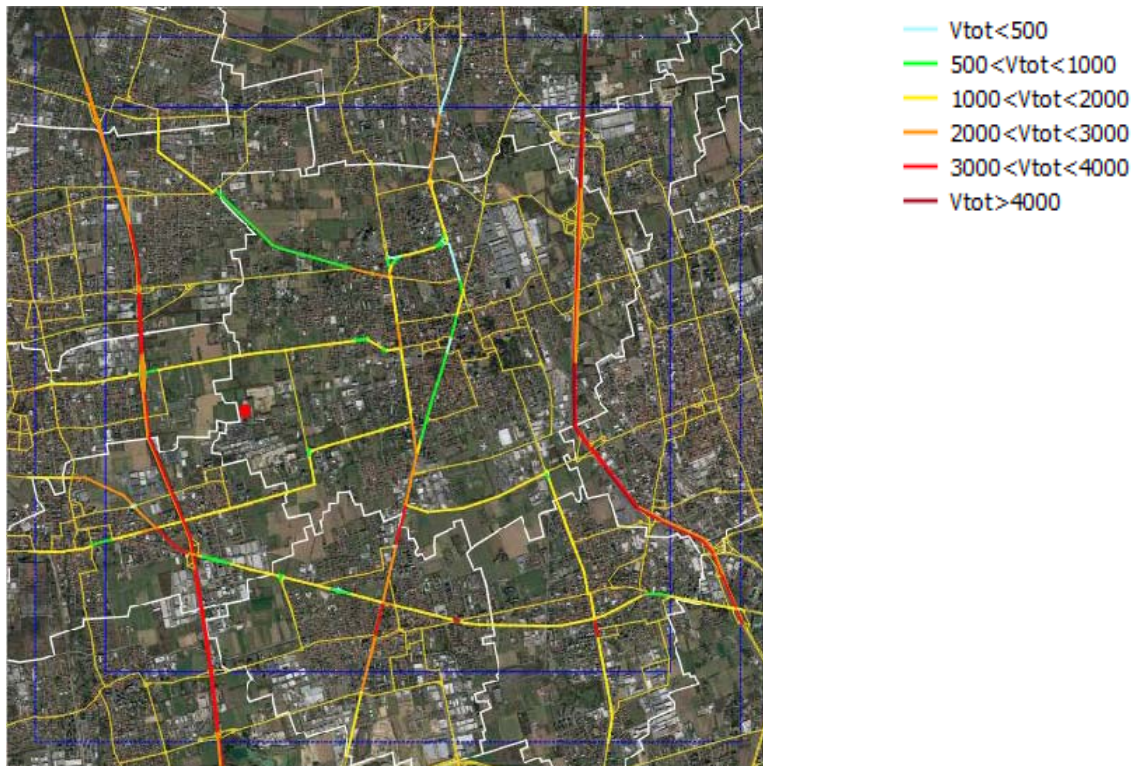


Figura 2.10 - Flussi di traffico totale per carreggiata relativi all'ora di punta (veicoli h<sup>-1</sup>) sul grafo stradale considerato nella valutazione. (N.B.: S.S. 35 e S.S. 36 a due carreggiate separate)

---

### 3. Risultati

Il modello di calcolo fornisce in uscita la serie temporale delle concentrazioni al suolo per ciascun nodo della griglia di calcolo. I dati grezzi vengono quindi processati dalla componente CALPOST del sistema modellistico per determinare parametri statistici riassuntivi di interesse, quali la concentrazione media annua, i valori massimi orari/medi giornalieri, particolari percentili della serie di concentrazioni medie orarie/medie giornaliere. I dati così elaborati costituiscono la base per rappresentazioni grafiche che illustrano la distribuzione spaziale delle concentrazioni in termini di linee di isoconcentrazione nell'area di studio.

#### 3.1 Impianto

Le Figure 3.1-3.4 riportano, in confronto per lo Scenario 2015 e lo Scenario 2017, le mappe dei contributi alle concentrazioni medie annue determinati dalle emissioni dell'impianto per i quattro inquinanti considerati. La struttura della distribuzione spaziale nei due scenari emissivi è sostanzialmente analoga poiché le simulazioni sono state effettuate con gli stessi dati meteorologici, relativi al 2016. Le differenze che si possono apprezzare sono pertanto determinate dal diverso regime emissivo e riguardano i valori di concentrazione stimati. Coerentemente con il regime anemologico, la distribuzione spaziale dei valori medi annui presenta una struttura trilobata, con le aree di influenza localizzate a Est, Ovest e Sud dell'impianto. L'area di maggior influenza si colloca a Est Nord Est dell'impianto con i valori massimi di concentrazione stimati a circa 1 km, al margine occidentale dell'area edificata del Comune di Desio. L'area di influenza dell'impianto si estende ulteriormente verso Est, interessando il centro storico e l'intero abitato di Desio, come già evidenziato nello studio di Servizi Territorio S.r.l..

Nella Tabella 3.1 si riassumono i valori massimi delle concentrazioni medie annue e l'intervallo dei valori stimati per l'area urbanizzata del comune di Desio nei due scenari emissivi considerati. Per agevolare l'interpretazione dei risultati, che indicano il contributo dell'impianto ai livelli ambientali di qualità dell'aria, la Tabella 3.1 riporta anche i valori limite di qualità dell'aria fissati dalla vigente normativa (D.Lgs. 155 del 13/08/2010 e ss.mm.ii.) per le concentrazioni medie annue di PM10, NO<sub>2</sub> e Cd. Per PCDD/F, in assenza di limiti di qualità dell'aria, la Tabella 3.1 riporta il valore indicato dalle linee guida della Germania per l'aria ambiente (*LAI-Laenderausschuss fur Immissiosschutz*).

A titolo cautelativo, coerentemente con i sistemi di abbattimento presenti nella linea di trattamento dell'impianto, si è assunto che l'emissione di polveri sia interamente costituita da PM10, per il quale, ai fini della dispersione in atmosfera si può assumere un comportamento assimilabile a quello di un gas. I risultati della simulazione si riferiscono alla sola componente primaria del particolato atmosferico e non considerano la frazione secondaria che potrebbe formarsi in atmosfera a partire dai precursori gassosi emessi dall'impianto. Sempre con approccio cautelativo, si è assunta la completa ossidazione a NO<sub>2</sub> degli NO<sub>x</sub> emessi dall'impianto.

Tabella 3.1 - Valori massimi, intervallo dei valori stimati per l'area urbanizzata del comune di Desio, valori limite di qualità dell'aria per le concentrazioni medie annue di PM10, NO<sub>2</sub> e Cd

		<b>PM10</b> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	<b>NO<sub>2</sub></b> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	<b>Cd</b> ( $\text{ng m}^{-3}$ )	<b>PCDD/F</b> ( $\text{fg}_{\text{TEQ}} \text{m}^{-3}$ )
Scenario 2015	Valore massimo	$5.2 \cdot 10^{-4}$	0.20	$3.3 \cdot 10^{-4}$	$2.3 \cdot 10^{-3}$
	Intervallo area urbanizzata	$3-4.5 \cdot 10^{-4}$	0.12-0.18	$2-3 \cdot 10^{-4}$	$1.2-1.8 \cdot 10^{-3}$
Scenario 2017	Valore massimo	$4.4 \cdot 10^{-4}$	0.08	$4.8 \cdot 10^{-4}$	$8.1 \cdot 10^{-4}$
	Intervallo area urbanizzata	$2-3.5 \cdot 10^{-4}$	0.05-0.07	$3-4 \cdot 10^{-4}$	$5-7 \cdot 10^{-4}$
Limiti qualità dell'aria (media annua)		40	40	1	150 (*)

(\*) Linee guida della Germania per l'aria ambiente

Il confronto dei contributi attesi con tali valori di riferimento evidenzia, per entrambi gli scenari emissivi, un ruolo estremamente limitato per le emissioni dell'impianto: infatti, in termini percentuali il contributo massimo dell'impianto nello Scenario 2017 è dell'ordine dello 0.001% per PM10, dello 0.2% per NO<sub>2</sub>, dello 0.05% per Cd e dello 0.0005% per PCDD/F.

In termini comparativi tra gli Scenari 2015 e 2017 i risultati ottenuti evidenziano, in pieno accordo con le variazioni del regime emissivo:

- una netta diminuzione del contributo atteso per NO<sub>2</sub>, tanto nel valore massimo quanto per quelli relativi all'area urbanizzata di Desio. In corrispondenza del punto di massima ricaduta tale diminuzione è dell'ordine del 60%, maggiore della semplice riduzione delle emissioni medie per effetto delle diverse modalità di rilascio dei fumi più favorevoli per la dispersione atmosferica
- un'altrettanto netta riduzione (60%) del contributo atteso per PCDD/F sia con riferimento al valore massimo sia all'intervallo dei valori nell'area urbanizzata di Desio
- contributi sostanzialmente invariati per quanto riguarda il PM10, con valori leggermente minori nello Scenario 2017, nonostante il maggiore carico emissivo, per la già citata migliore dispersione atmosferica e l'assenza di punte di carico nel profilo temporale dell'emissione
- un netto incremento del contributo atteso per il Cd (+40% circa), in conseguenza del sostanziale raddoppio dell'emissione. A tal proposito, si ricorda che la stima dell'emissione di Cd si basa su una serie di dati estremamente limitata e che i valori utilizzati, seppur cautelativi, potrebbero non rappresentare le caratteristiche medie dei fumi.

Relativamente al caso di NO<sub>2</sub> si segnala che i risultati del presente studio mostrano contributi stimati, tanto per lo Scenario 2015 quanto, a maggior ragione, per lo Scenario 2017 inferiori a quello ottenuto nello studio di Servizi Territorio S.r.l., basato sul massimo regime emissivo autorizzato. Nello specifico, con riferimento al massimo contributo medio annuo stimato, i valori di  $0.2 \mu\text{g m}^{-3}$  e  $0.08 \mu\text{g m}^{-3}$ , rispettivamente ottenuti per lo Scenario 2015 e 2017, sono circa 2 e quasi 6 volte inferiori a quello di  $0.46 \mu\text{g m}^{-3}$  riportato nello studio di Servizi Territorio S.r.l.



Le Figure 3.5 e 3.6 mostrano la distribuzione spaziale dei valori di concentrazione corrispondenti ai parametri di riferimento per le concentrazioni medie di breve periodo (concentrazioni medie giornaliere e orarie). Nella Figura 3.5 sono tracciate le linee di isoconcentrazione per il 90.4-esimo percentile delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 e nella Figura 3.6 quelle del percentile 99.8-esimo delle concentrazioni medie orarie di NO<sub>2</sub>. Le strutture delle distribuzioni spaziali nei due scenari emissivi rimangono sostanzialmente simili tra loro e simili a quelle ottenute per le concentrazioni medie annue. Si può tuttavia osservare che:

- l'influenza delle emissioni dell'impianto è meno marcata nella zona a Ovest dello stesso;
- i valori massimi si collocano nella zona a Est Nord Est dell'impianto, dove si era stimato anche il massimo contributo per le concentrazioni medie annue;
- a Sud dell'impianto, a circa 1 km di distanza, si ha una seconda zona di influenza con valori di breve periodo stimati analoghi a quelli ottenuti per la zona di massima ricaduta a Est Nord Est dell'impianto.

Nella Tabella 3.2 si riportano per i due scenari emissivi considerati i valori massimi, gli intervalli dei valori stimati per l'area urbanizzata di Desio ed i valori di riferimento fissati dai vigenti limiti di qualità dell'aria (D.Lgs. 155 del 13/08/2010 e ss.mm.ii.).

Tabella 3.2 - Valori massimi, intervallo dei valori stimati per l'area urbanizzata del comune di Desio, valori limite di qualità dell'aria per le concentrazioni medie di breve periodo di PM10 e NO<sub>2</sub>

		<b>PM10: p90.4-24h (<math>\mu\text{g m}^{-3}</math>)</b>	<b>NO<sub>2</sub>: p99.8-1h (<math>\mu\text{g m}^{-3}</math>)</b>
Scenario 2015	Valore massimo	$1.58 \cdot 10^{-3}$	10.7
	Intervallo area urbanizzata	$0-8-1.2 \cdot 10^{-3}$	5-9
Scenario 2017	Valore massimo	$1.50 \cdot 10^{-3}$	5.5
	Intervallo area urbanizzata	$0-8-1.2 \cdot 10^{-3}$	2.5-4
Limiti qualità dell'aria		50	200

p90.4-24h: 90.4-esimo percentile delle concentrazioni medie giornaliere

p99.8-1h: 99.8-esimo percentile delle concentrazioni medie orarie

Sebbene il confronto dei valori ottenuti con i valori di riferimento sia meno immediato rispetto al caso delle medie annue, tuttavia esso fornisce utili indicazioni per l'interpretazione del contributo dell'impianto alle concentrazioni medie di breve periodo.

Per il PM10 tale contributo appare del tutto irrisorio, con un rapporto percentuale tra valore massimo atteso e limite di qualità dell'aria pari allo 0.001%, senza significative variazioni nei due scenari emissivi considerati. Per NO<sub>2</sub>, sempre con riferimento al valore massimo atteso, il rapporto

---

percentuale con il limite di qualità dell'aria risulta pari a circa il 5% nello Scenario 2015, riducendosi a circa il 3% nello Scenario 2017.

Come già per le concentrazioni medie annue, i risultati del presente studio per mostrano valori stimati del percentile 99.8-esimo delle concentrazioni medie orarie di NO<sub>2</sub> inferiori a quello riportati nello studio di Servizi Territorio S.r.l. In particolare, i valori massimi di tale percentile, 10.7 µg m<sup>-3</sup> e 5.5 µg m<sup>-3</sup>, rispettivamente ottenuti per lo Scenario 2015 e 2017, sono circa 2.5 e 5 volte inferiori a quello di 28.7 µg m<sup>-3</sup> riportato nello studio di Servizi Territorio S.r.l..

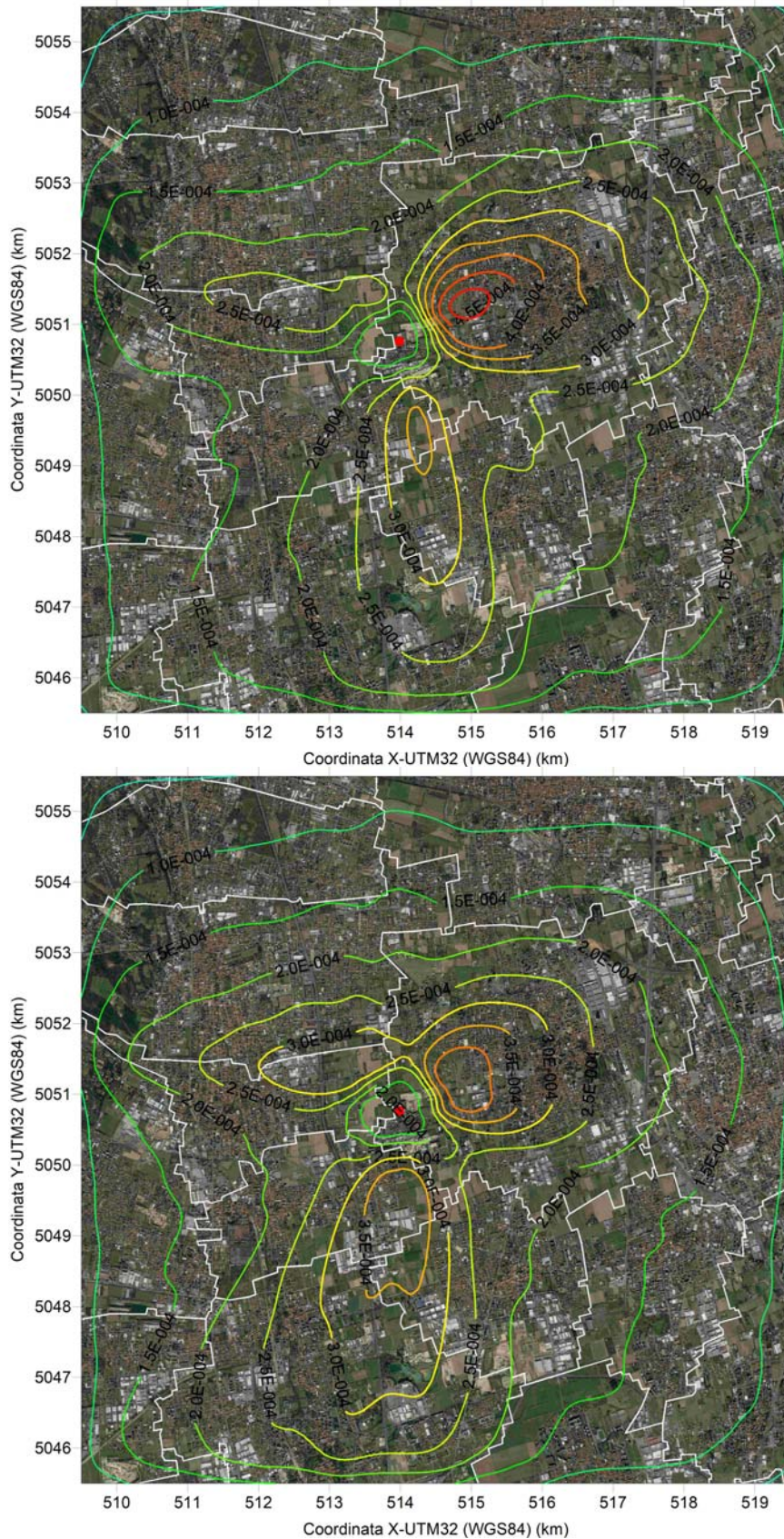


Figura 3.1 - Distribuzione spaziale delle concentrazioni medie annue di PM10 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) dovute alle emissioni dell'impianto: Scenario 2015 (in alto), Scenario 2017 (in basso)



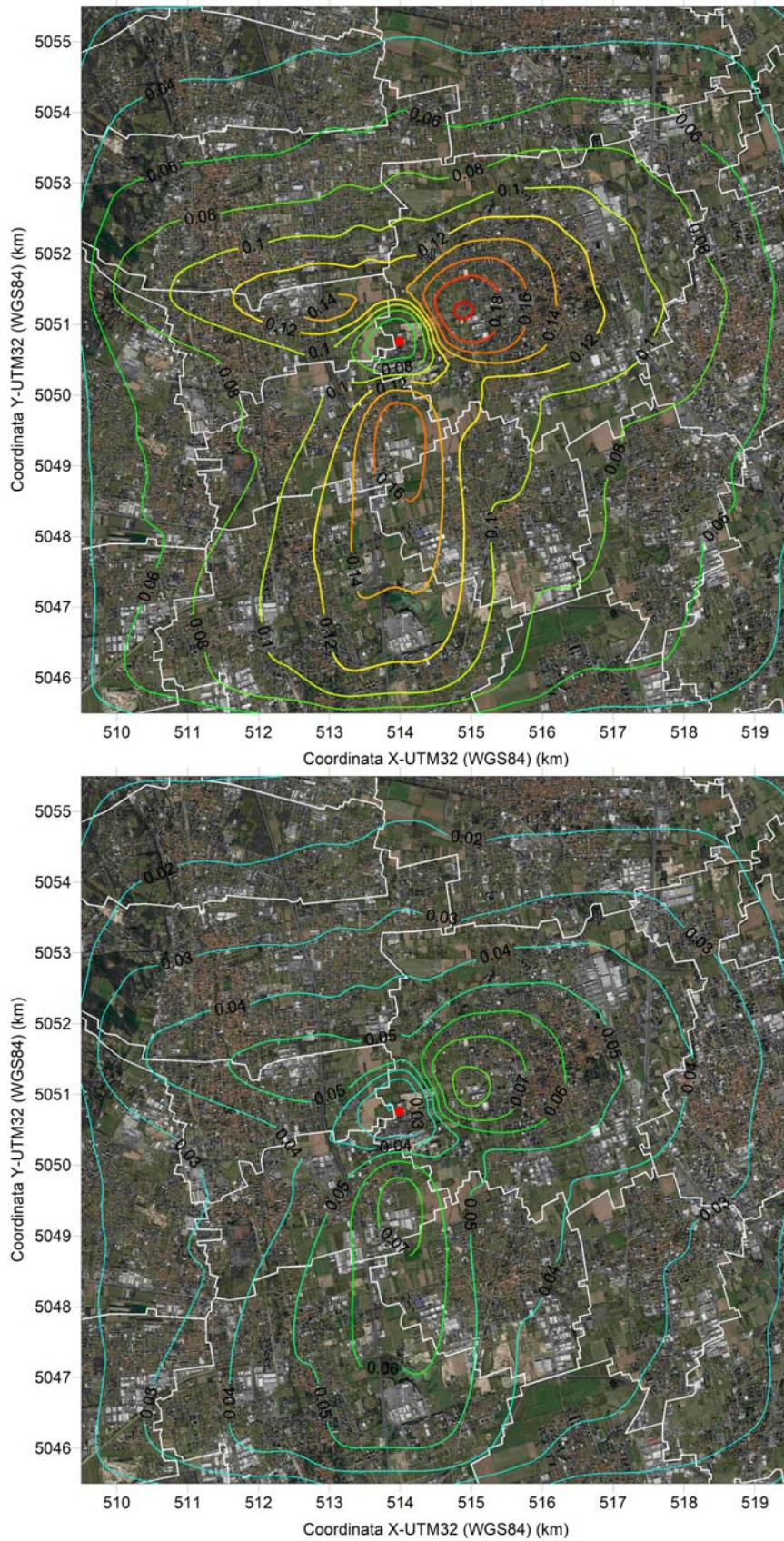


Figura 3.2 - Distribuzione spaziale delle concentrazioni medie annue di NO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) dovute alle emissioni dell'impianto: Scenario 2015 (in alto), Scenario 2017 (in basso)



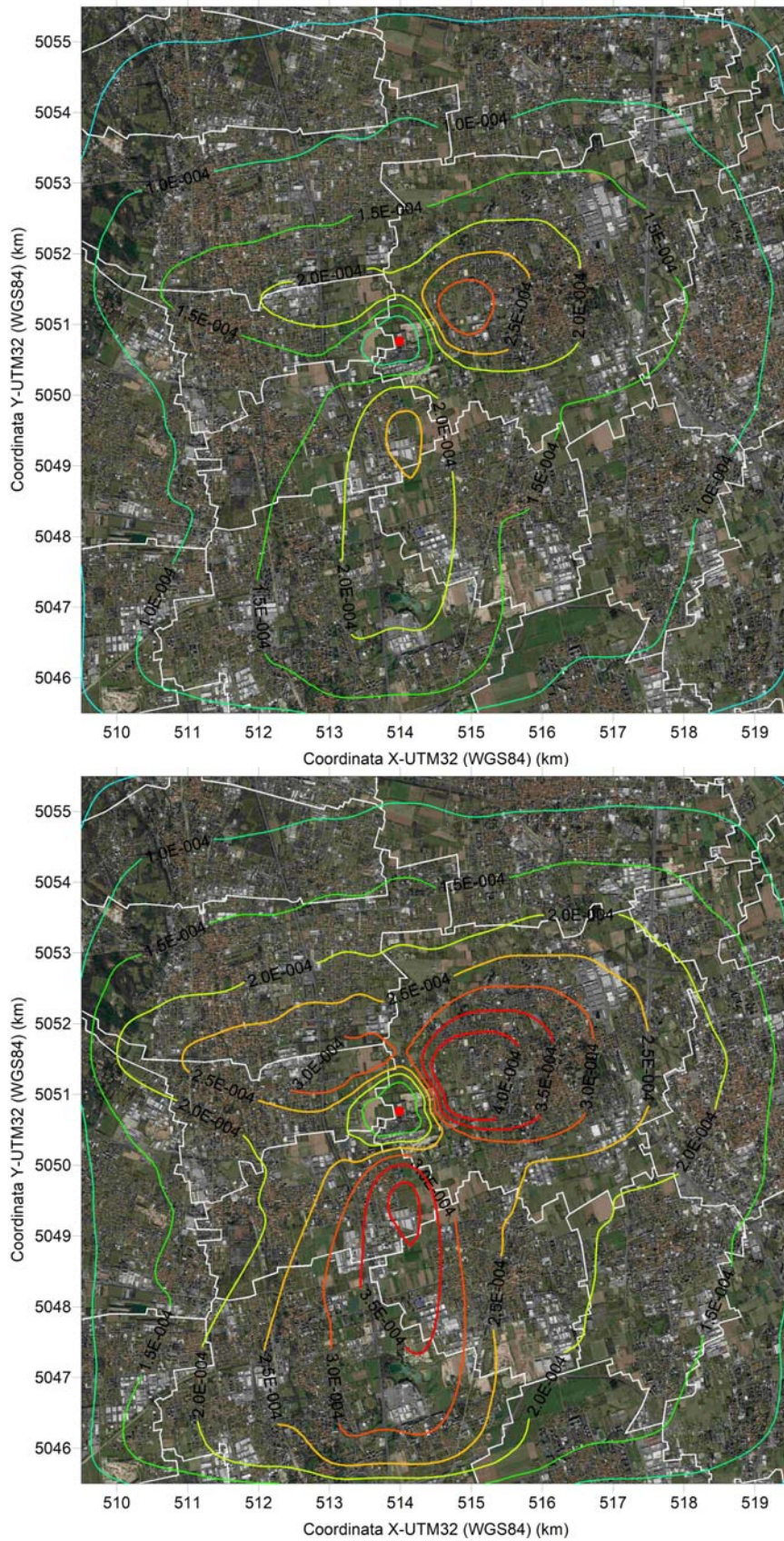


Figura 3.3 - Distribuzione spaziale delle concentrazioni medie annue di Cd ( $\text{ng m}^{-3}$ ) dovute alle emissioni dell'impianto: Scenario 2015 (in alto), Scenario 2017 (in basso)



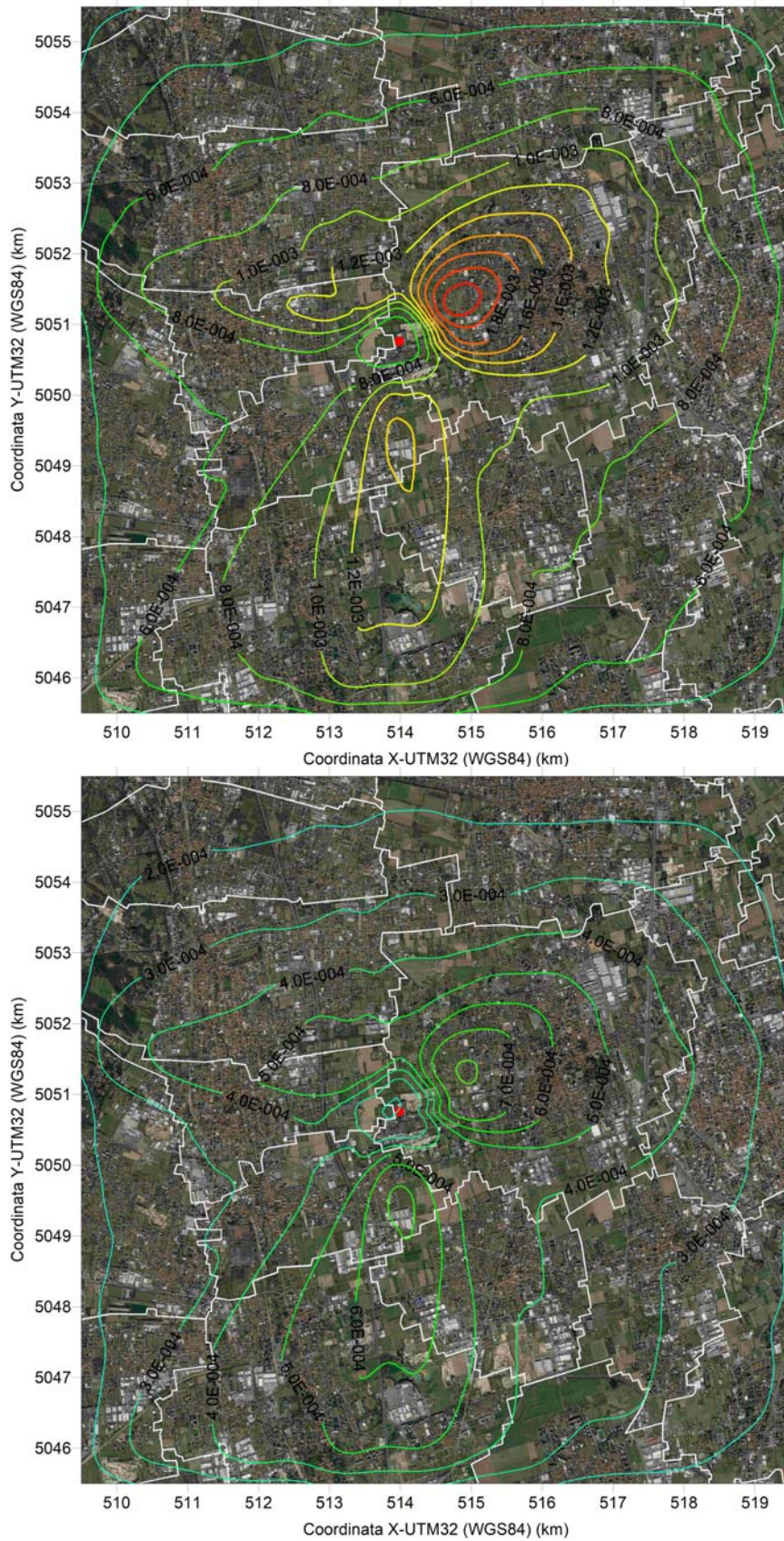


Figura 3.4 - Distribuzione spaziale delle concentrazioni medie annue di PCDD/F (fg<sub>TEQ</sub> m<sup>-3</sup>) dovute alle emissioni dell'impianto: Scenario 2015 (in alto), Scenario 2017 (in basso)



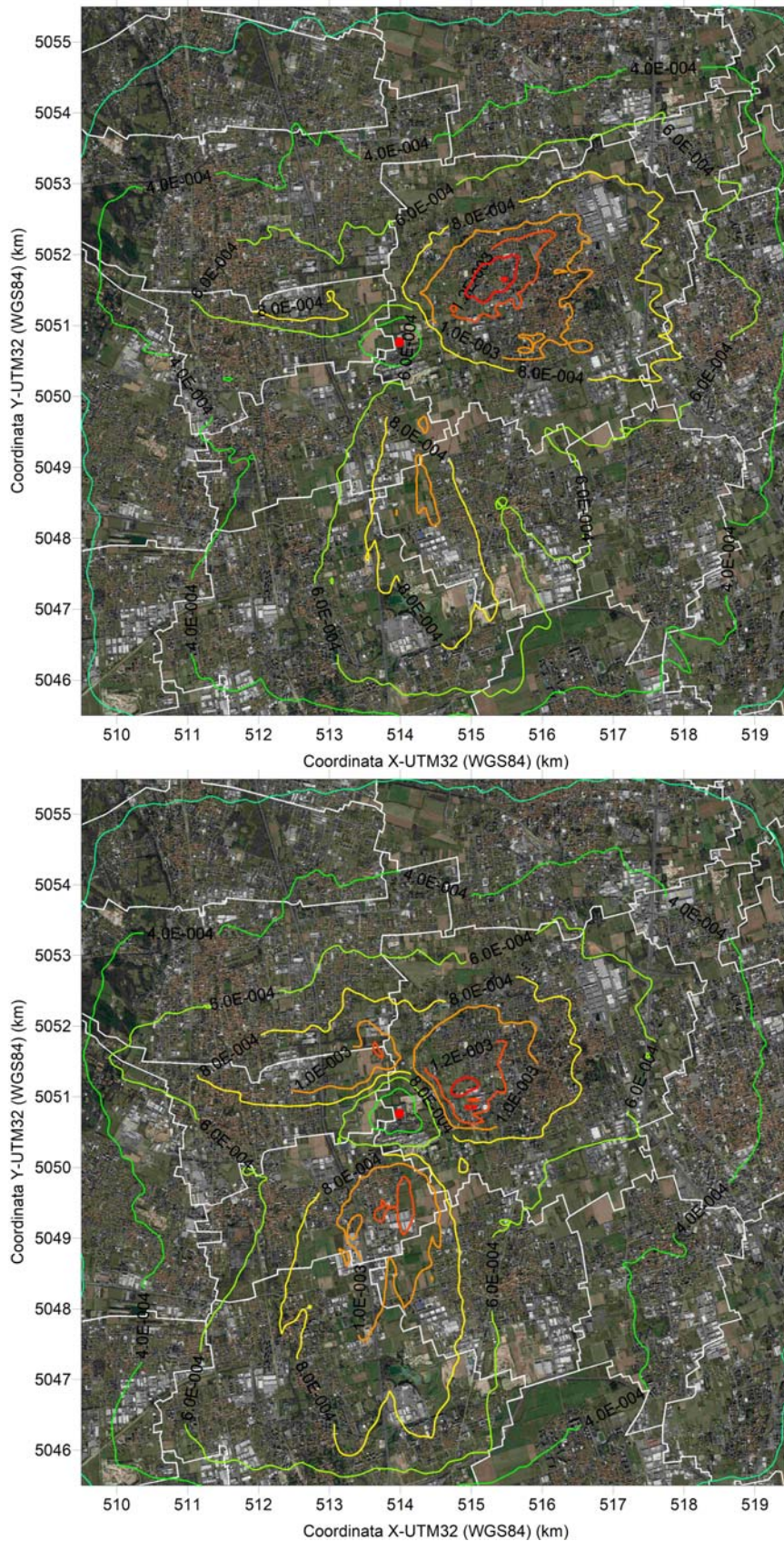


Figura 3.5 - Distribuzione spaziale del percentile 90.4-esimo delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) dovute alle emissioni dell'impianto: Scenario 2015 (in alto), Scenario 2017 (in basso)



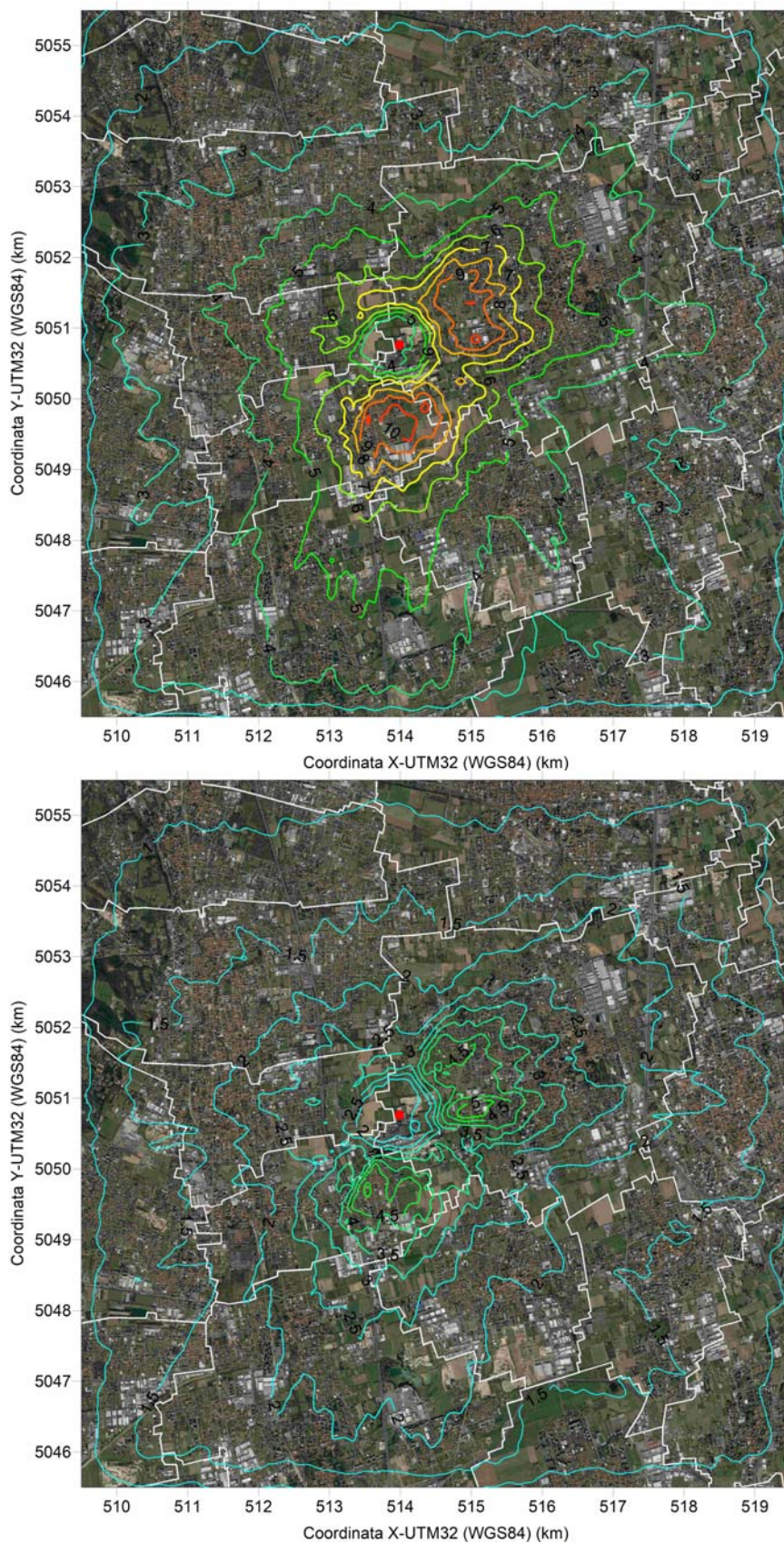


Figura 3.6 - Distribuzione spaziale del percentile 99.8-esimo delle concentrazioni medie orarie di NO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) dovute alle emissioni dell'impianto: Scenario 2015 (in alto), Scenario 2017 (in basso)

### 3.2 Traffico veicolare

I risultati delle simulazioni relative alle emissioni del traffico sono rappresentate nelle Figure 3.7-3.10, che riportano le distribuzioni spaziali dei contributi stimati alle concentrazioni medie annue di quattro inquinanti considerati, e nelle Figure 3.11 e 3.12, relative ai percentili di riferimento delle concentrazioni medie di breve periodo di PM10 e NO<sub>2</sub>. Così come per le emissioni dell'impianto, i risultati della simulazione per il PM10 si riferiscono solo alla sua componente primaria derivante dallo scappamento e dai processi di abrasione superficiale. Per le modalità di esecuzione della valutazione, che ha considerato solo gli assi stradali principali, trascurando il traffico "diffuso" distribuito sulla rete urbana, le distribuzioni spaziali sono molto più irregolari rispetto a quelle ottenute per l'impianto. Infatti, i valori massimi si collocano lungo o nelle immediate vicinanze degli assi stradali a maggior flusso di traffico (S.S. 35 e S.S. 36), con gradienti spaziali che si fanno molto marcati già a breve distanza. I valori massimi stimati per le medie annue sono dell'ordine di 5-6 µg m<sup>-3</sup> per il PM10, di 15-20 µg m<sup>-3</sup> per NO<sub>2</sub>, di 0.08-0.1 ng m<sup>-3</sup> per Cd e di 2-3 fg<sub>TEQ</sub> m<sup>-3</sup> per PCDD/F. Tuttavia, anche per le zone dell'area urbanizzata di Desio non situate ad immediato ridosso degli assi stradali considerati si stimano contributi apprezzabili, dell'ordine di 2-3 µg m<sup>-3</sup> per il PM10, di 6-10 µg m<sup>-3</sup> per NO<sub>2</sub>, di 0.02-0.03 ng m<sup>-3</sup> per Cd e di 0.5-1 fg<sub>TEQ</sub> m<sup>-3</sup> per PCDD/F, come riassunto nella Tabella 3.3. Tali contributi rappresentano rispettivamente circa il 5% del valore limite di qualità dell'aria per la media annua di PM10, il 15-25% per NO<sub>2</sub>, il 2-3% per Cd e meno dell'1% per il valore guida dei PCDD/F.

Tabella 3.3 - Valori massimi, intervallo dei valori stimati per l'area urbanizzata del comune di Desio, valori limite di qualità dell'aria per le concentrazioni medie annue di PM10, NO<sub>2</sub> e Cd

	<b>PM10</b> (µg m <sup>-3</sup> )	<b>NO<sub>2</sub></b> (µg m <sup>-3</sup> )	<b>Cd</b> (ng m <sup>-3</sup> )	<b>PCDD/F</b> (fg <sub>TEQ</sub> m <sup>-3</sup> )
Valori massimi	5-6	15-20	0.08-1	2-3
Intervallo area urbanizzata	2-3	6-10	0.02-0.03	0.5-1
Limiti qualità dell'aria (media annua)	40	40	1	150 (*)

(\*) Linee guida della Germania per l'aria ambiente

Considerazioni del tutto analoghe valgono anche per i risultati relativi al 90.4-esimo percentile delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 (p90.4-24h) ed al percentile 99.8-esimo percentile delle concentrazioni medie orarie di NO<sub>2</sub> (p99.8-1h). I valori massimi si collocano sempre in corrispondenza degli assi stradali principali con forti gradienti spaziali; ciononostante, anche nelle aree più discoste da essi si apprezzano valori di tutto rispetto e percentualmente significativi in riferimento ai valori limite di qualità dell'aria. Per il centro storico di Desio, infatti, si stimano valori di 3-6 µg m<sup>-3</sup> per il p90.4-24h di PM10 e di 100-150 µg m<sup>-3</sup> per il p99.8-1h di NO<sub>2</sub>, rispettivamente pari a circa il 10% ed al 50-70% dei corrispondenti valori limite di breve periodo.



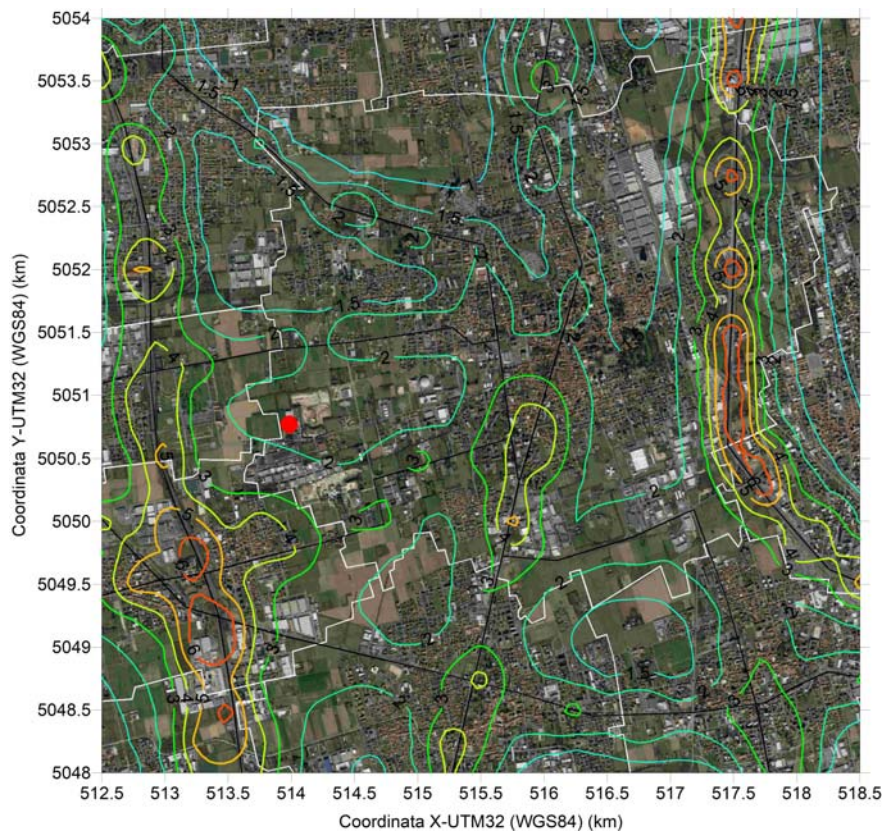


Figura 3.7 - Distribuzione spaziale delle concentrazioni medie annue di PM10 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) dovute alle emissioni del traffico

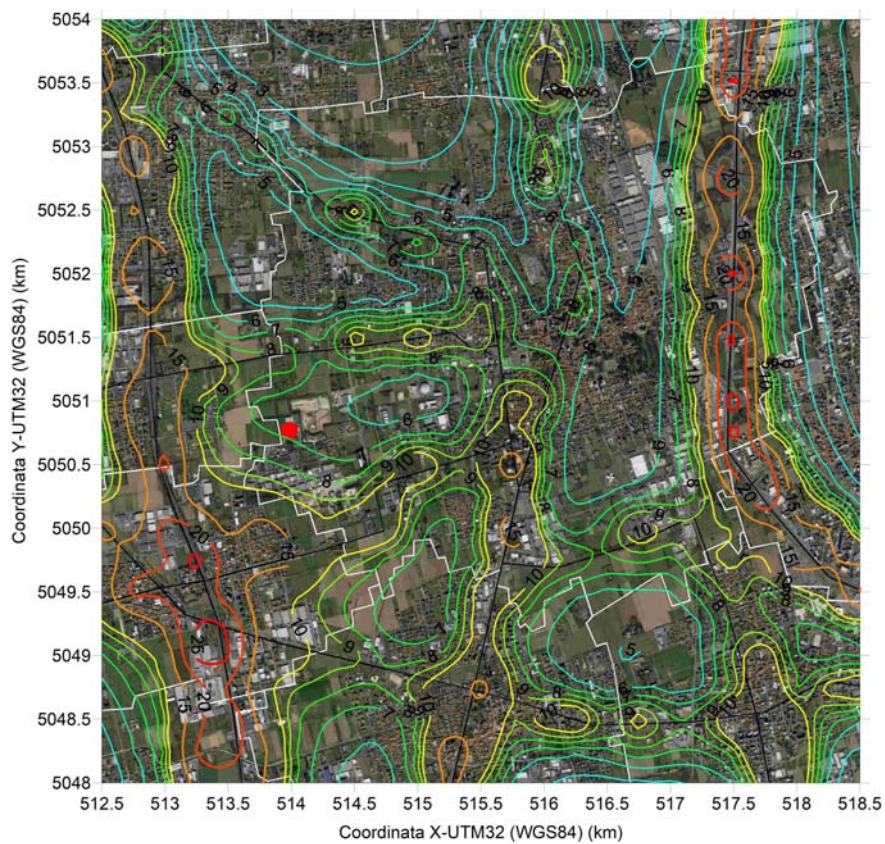


Figura 3.8 - Distribuzione spaziale delle concentrazioni medie annue di NO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) dovute alle emissioni del traffico



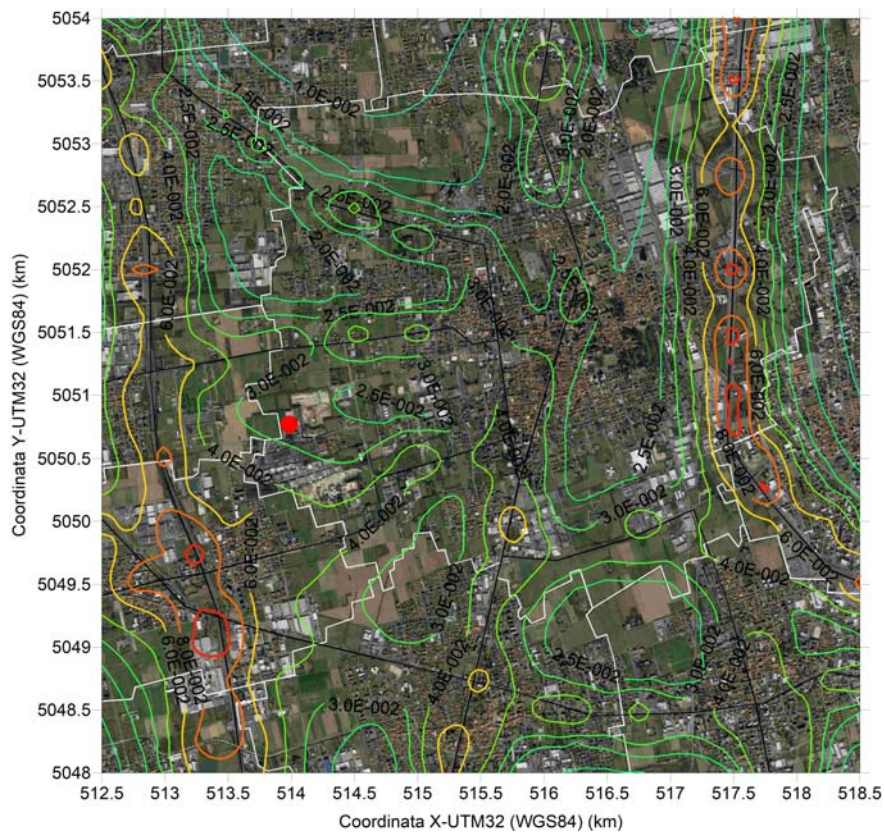


Figura 3.9 - Distribuzione spaziale delle concentrazioni medie annue di Cd ( $\text{ng m}^{-3}$ ) dovute alle emissioni del traffico

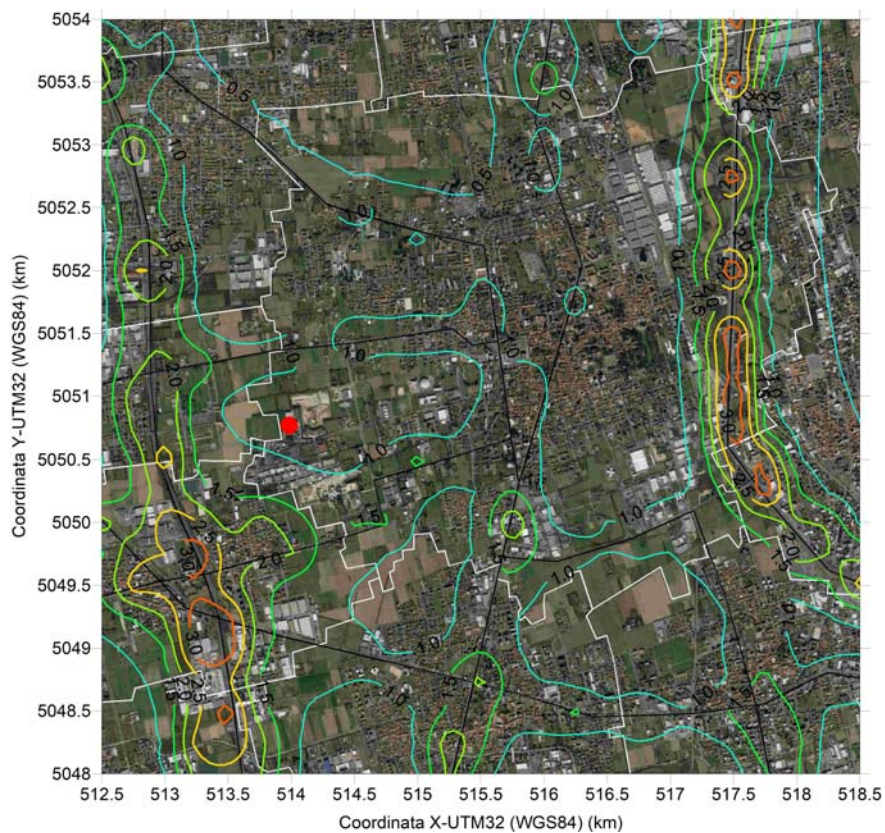


Figura 3.10 - Distribuzione spaziale delle concentrazioni medie annue di PCDD/F ( $\text{fg}_{\text{TEQ}} \text{m}^{-3}$ ) dovute alle emissioni del traffico



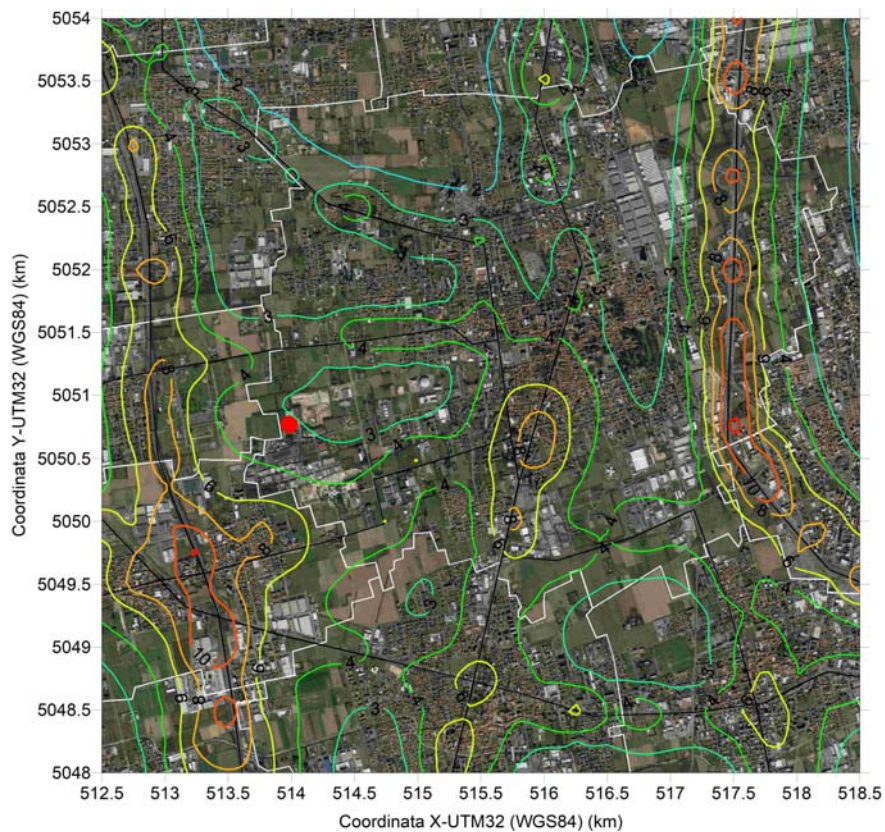


Figura 3.11 - Distribuzione spaziale del percentile 90.4-esimo delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) dovute alle emissioni del traffico

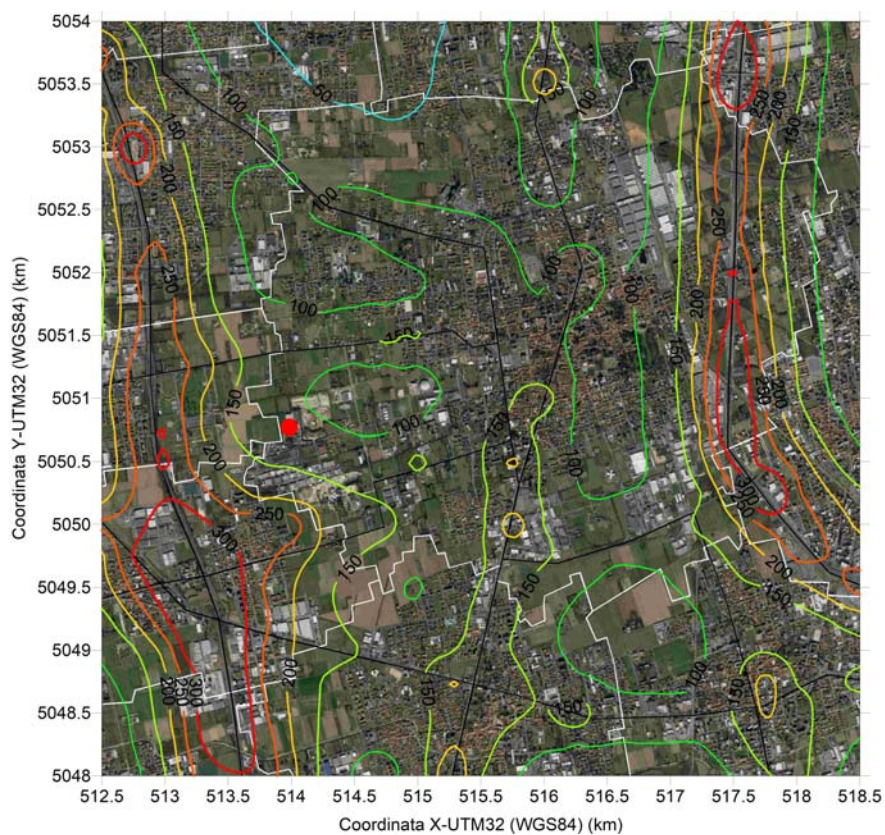


Figura 3.12 - Distribuzione spaziale del percentile 99.8-esimo delle concentrazioni medie orarie di NO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) dovute alle emissioni del traffico



### 3.3 Considerazioni comparative

Il confronto tra i contributi ai valori di concentrazione medie annue stimati per le emissioni dell'impianto e del traffico veicolare mostrano un ruolo decisamente superiore per quest'ultima sorgente, tanto per quanto riguarda i valori massimi quanto relativamente all'area urbanizzata del comune di Desio. Richiamando i risultati già esposti nelle Tabelle 3.1 e 3.3, nella Tabella 3.4 si riportano in confronto gli intervalli dei valori stimati per l'area urbanizzata di Desio.

Tabella 3.4 - Intervallo dei valori stimati per le concentrazioni medie annue di PM10, NO<sub>2</sub>, Cd, PCDD/F per l'area urbanizzata del comune di Desio

	<b>PM10</b> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	<b>NO<sub>2</sub></b> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	<b>Cd</b> ( $\text{ng m}^{-3}$ )	<b>PCDD/F</b> ( $\text{fg}_{\text{TEQ}} \text{m}^{-3}$ )
Impianto (Scenario 2017)	0.0002-0.00035	0.05-0.07	0.0003-0.0004	0.0005-0.0007
Traffico	2-3	6-10	0.02-0.03	0.5-1

Per tutti gli inquinanti il contributo stimato del traffico è di almeno due ordini di grandezza superiore a quello determinato dalle emissioni dell'impianto. Nello specifico, il contributo del traffico è di 4 ordini di grandezza superiore (10000 volte) per il PM10, di tre ordini di grandezza (1000 volte) superiore per PCDD/F e di due ordini di grandezza (100 volte) superiore per NO<sub>2</sub> e Cd.

Anche nel caso delle concentrazioni medie di breve periodo di PM10 e NO<sub>2</sub> il contributo del traffico risulta largamente superiore a quello dell'impianto, come evidenziato in Tabella 3.5 con riferimento agli intervalli di concentrazione stimati nell'area urbanizzata del comune di Desio. Per il PM10 il contributo del traffico è di 3 ordini di grandezza superiore (1000 volte) e per l'NO<sub>2</sub> di almeno un ordine di grandezza superiore (40-50 volte).

Tabella 3.5 - Intervallo dei valori stimati per le concentrazioni medie di breve periodo di PM10 e NO<sub>2</sub> nell'area urbanizzata del comune di Desio

	<b>PM10: p90.4-24h</b> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	<b>NO<sub>2</sub>: p99.8-1h</b> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
Impianto (Scenario 2017)	0-8-1.2·10 <sup>-3</sup>	2.5-4
Traffico	3-6	100-150

p90.4-24h: 90.4-esimo percentile delle concentrazioni medie giornaliere

p99.8-1h: 99.8-esimo percentile delle concentrazioni medie orarie

Tali considerazioni valgono anche per il punto in cui si stimano le massime ricadute dell'impianto, dove l'impatto delle emissioni da traffico è meno marcato data la sua distanza dagli assi stradali principali considerati nello studio (Tabella 3.6)

Tabella 3.6 – Confronto tra i contributi stimati per il punto di massima ricaduta dell'impianto

	<b>PM10</b> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	<b>NO<sub>2</sub></b> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	<b>Cd</b> ( $\text{ng m}^{-3}$ )	<b>PCDD/F</b> ( $\text{fg}_{\text{TEQ}} \text{m}^{-3}$ )	<b>PM10</b> <b>p90.4-24h</b> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	<b>NO<sub>2</sub></b> <b>p99.8-1h</b> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
Impianto (Scenario 2017)	$4.4 \cdot 10^{-4}$	0.08	$4.8 \cdot 10^{-4}$	$8.1 \cdot 10^{-4}$	$1.50 \cdot 10^{-3}$	5.5
Traffico	2	6	0.02	1	3	100

Il diverso ruolo delle due sorgenti è ulteriormente evidenziato nelle Figure 3.13 e 3.14 in cui si riportano rispettivamente gli andamenti temporali delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 e di NO<sub>2</sub> per il Comune di Desio fornite da ARPA Lombardia ed i contributi stimati in questo studio per effetto delle emissioni dell'impianto e del traffico per un punto recettore nel centro di Desio (via Lombardia a circa 200 m di distanza dalla S.P. 9)

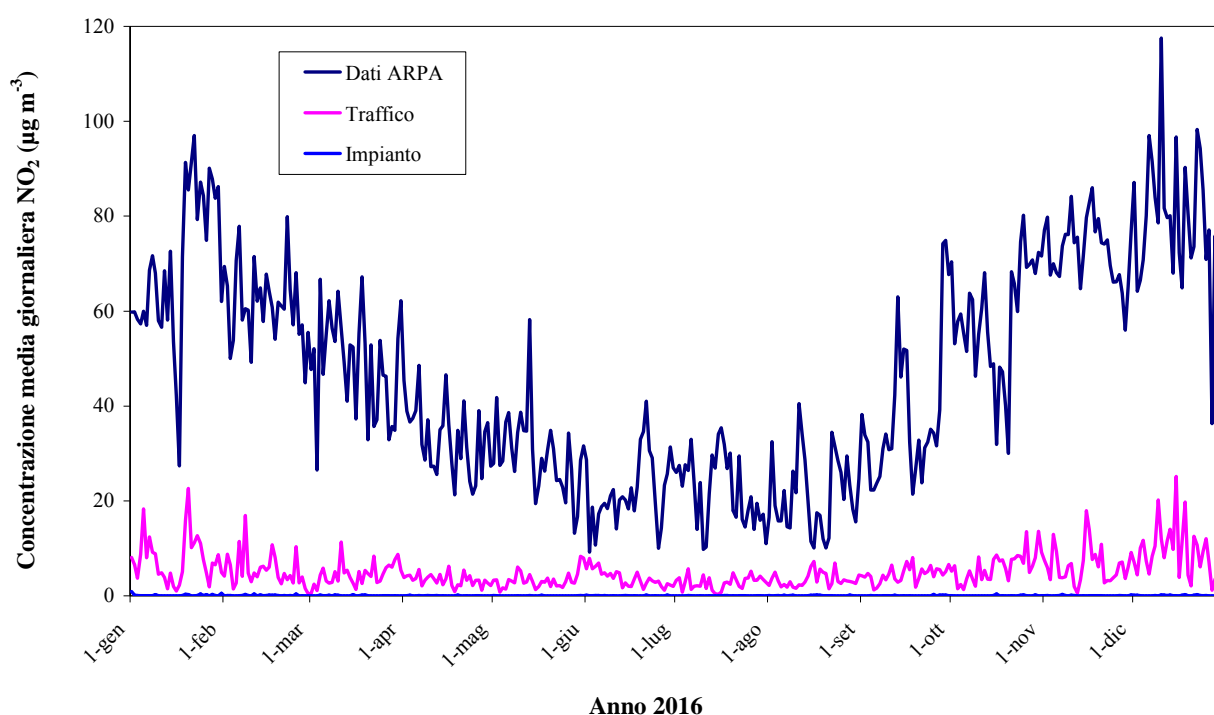


Figura 3.13 – Andamento delle concentrazioni medie giornaliere di NO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nel 2016: dato ARPA Lombardia per il Comune di Desio e contributi stimati in questo studio

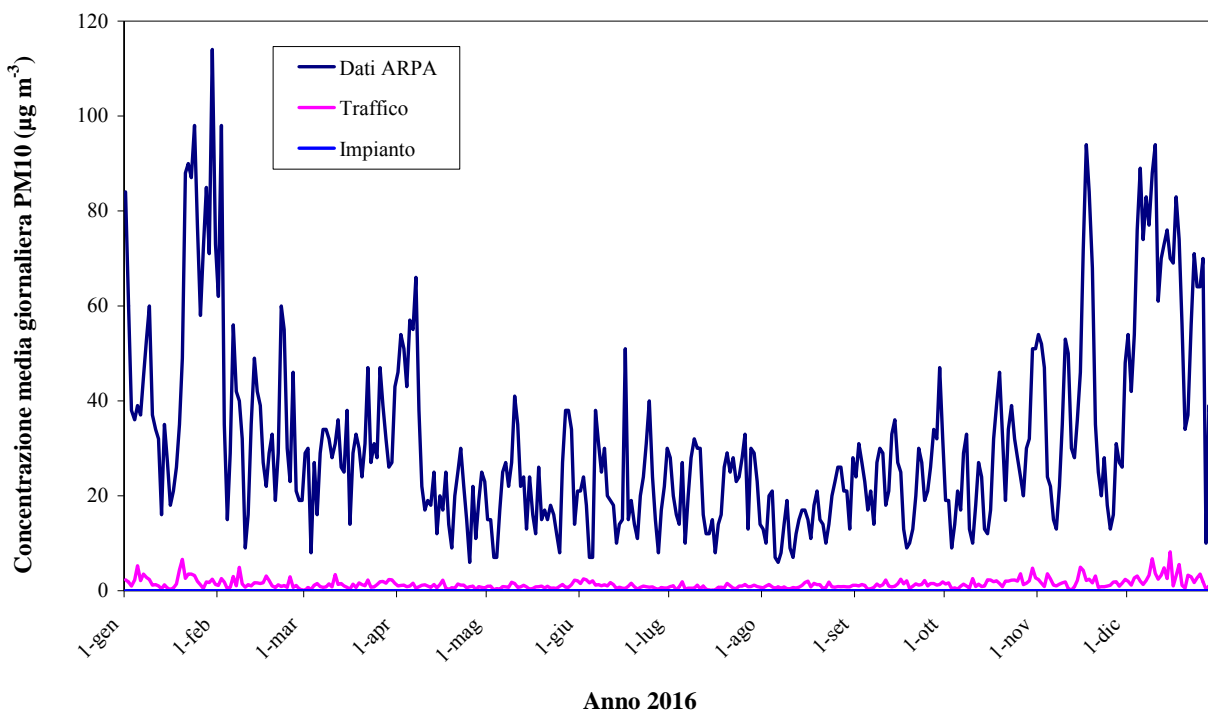


Figura 3.14 – Andamento delle concentrazioni medie giornaliere di PM10 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) nel 2016: dato ARPA Lombardia per il Comune di Desio e contributi stimati in questo studio

Le valutazioni modellistiche hanno avuto come principale oggetto di studio il territorio del Comune di Desio. Tuttavia, poiché i domini di calcolo utilizzati si estendono anche al territorio dei comuni confinanti (Cesano Maderno, Bovisio Masciago, Varedo, Nova Milanese, Muggiò, Lissone e Seregno), è stato possibile stimare l’impatto sulla qualità dell’aria delle due sorgenti considerate anche per tali Comuni. Nella Tabella 3.7 si riportano in confronto gli intervalli dei valori stimati per le aree urbanizzate dei Comuni circoscriventi a Desio che ricadono nei domini di calcolo utilizzati. Per quanto riguarda le emissioni dell’impianto, i contributi stimati sono pienamente rappresentativi dell’impatto in quanto il dominio di calcolo ricopre la totalità o la gran parte del territorio di tali comuni, come evidenziato nella Figura 2.1. Per le emissioni del traffico, invece, i contributi stimati non possono essere considerati come completamente rappresentativi del ruolo di tale sorgente per i seguenti motivi:

- in primo luogo perché il dominio di calcolo, essendo centrato sul Comune di Desio, ricopre solo parzialmente, e spesso in maniera molto limitata, il territorio di tali Comuni;
- in secondo luogo perché i contributi stimati sono determinati soltanto dal traffico insistente sugli assi stradali principali che interessano il Comune di Desio;
- in terzo luogo perché le simulazioni modellistiche non considerano le emissioni del traffico insistente sugli assi stradali considerati che si estendono al di fuori dell’area di valutazione (Figura 2.2) e che ricadono nel territorio di alcuni dei Comuni limitrofi a Desio.

Pur con queste limitazioni, i valori riportati nella Tabella 3.7 ribadiscono quanto già evidenziato con riferimento al territorio del Comune di Desio, ovvero che per tutti gli inquinanti il contributo stimato del traffico risulta largamente superiore, almeno di due ordini di grandezza, a quello determinato dalle emissioni dell’impianto nella sua attuale configurazione di esercizio.

Tabella 3.7 – Intervallo dei valori stimati per le concentrazioni medie annue di PM10, NO<sub>2</sub>, Cd, PCDD/F e per le concentrazioni medie di breve periodo di PM10 e NO<sub>2</sub> per le aree urbanizzate dei comuni confinanti con il comune di Desio derivanti dalle emissioni dell’impianto (Scenario 2017) e del traffico

Comune	Sorgente	PM10 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	Cd ( $\text{ng m}^{-3}$ )	PCDD/F ( $\text{fg}_{\text{TEQ}} \text{m}^{-3}$ )	PM10 p90.4-24h ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )	NO <sub>2</sub> p99.8-1h ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )
Cesano Maderno	Impianto	1.5-3.0·10 <sup>-4</sup>	0.03-0.05	1.5-3.0·10 <sup>-4</sup>	3.0-5.0·10 <sup>-4</sup>	4-8·10 <sup>-4</sup>	1.5-2.0
	Traffico	1-3	3-12	0.01-0.06	0.5-2.0	2-6	50-250
Bovisio Masciago	Impianto	1.7-3.0·10 <sup>-4</sup>	0.03-0.05	1.7-3.0·10 <sup>-4</sup>	3.0-5.0·10 <sup>-4</sup>	6-10·10 <sup>-4</sup>	1.5-3.0
	Traffico	2-4	8-15	0.04-0.06	1.0-2.0	4-8	100-250
Varedo	Impianto	1.7-2.5·10 <sup>-4</sup>	0.03-0.05	1.7-2.5·10 <sup>-4</sup>	3.0-5.0·10 <sup>-4</sup>	6-10·10 <sup>-4</sup>	2.0-4.0
	Traffico	3-5	10-20	0.04-0.08	1.5-3.0	6-10	150-300
Nova Milanese	Impianto	1.5-3.0·10 <sup>-4</sup>	0.04-0.06	2.0-3.5·10 <sup>-4</sup>	3.7-6.0·10 <sup>-4</sup>	5-8·10 <sup>-4</sup>	1.8-2.5
	Traffico	2-4	7-10	0.03-0.05	1.0-2.0	4-6	100-200
Muggiò	Impianto	1.2-1.7·10 <sup>-4</sup>	0.02-0.04	1.5-2.0·10 <sup>-4</sup>	2.8-3.5·10 <sup>-4</sup>	3-5·10 <sup>-4</sup>	1.3-1.8
	Traffico	2-3	6-10	0.03-0.05	1.0-1.5	3-6	100-200
Lissone	Impianto	1.0-2.0·10 <sup>-4</sup>	0.02-0.04	1.0-2.2·10 <sup>-4</sup>	2.5-4.0·10 <sup>-4</sup>	3-5·10 <sup>-4</sup>	1.0-2.0
	Traffico	1-4	4-6	0.02-0.04	0.5-1.0	1-6	100-250
Seregno	Impianto	1.0-1.5·10 <sup>-4</sup>	0.01-0.03	1.0-2.0·10 <sup>-4</sup>	2.0-3.0·10 <sup>-4</sup>	3-5·10 <sup>-4</sup>	1.0-1.5
	Traffico	1-3	2-10	0.01-0.08	0.3-1.0	1-4	50-150
Limiti qualità dell’aria		40	40	1	150 (*)	50	200

(\*) Linea guida della Germania per l’aria ambiente

---

## 4. Conclusioni

I risultati delle simulazioni modellistiche condotte in questo studio confermano quanto già evidenziato nello studio di Servizi Territorio S.r.l. relativamente all'area di influenza delle emissioni dell'impianto che si estende sull'area urbanizzata del Comune di Desio. Tuttavia, con specifico riferimento al caso dell'NO<sub>2</sub>, l'utilizzo di dati emissivi reali, basati sulle misure continue e discontinue all'emissione, ridimensiona sensibilmente il contributo stimato dell'impianto alla qualità dell'aria rispetto alla valutazione condotta da Servizi Territorio S.r.l., basata sulla massima emissione autorizzata durante l'intero anno. Infatti, questo studio stima un contributo massimo alla media annua di NO<sub>2</sub> compreso tra 0.08 µg m<sup>-3</sup> (Scenario 2017) e 0.20 µg m<sup>-3</sup> (Scenario 2015) fronte di 0.46 µg m<sup>-3</sup> riportato nello studio di Servizi Territorio S.r.l. In maniera del tutto analoga, anche la distribuzione dei valori orari risulta spostata verso concentrazioni più basse, con il valore massimo del 99.8-esimo percentile dell'ordine di 5.2 µg m<sup>-3</sup> (Scenario 2017) e 10.7 µg m<sup>-3</sup> (Scenario 2017) rispetto a 28.7 µg m<sup>-3</sup> riportato nello studio di Servizi Territorio S.r.l..

Le valutazioni condotte evidenziano altresì l'effetto positivo del potenziamento della linea di trattamento dei fumi: l'introduzione del sistema catalitico di controllo degli NO<sub>x</sub> ha determinato una riduzione della loro emissione di circa il 50% nello Scenario 2017 rispetto allo Scenario 2015, con altrettanto benefici effetti anche sulle emissioni di microinquinanti organici come PCDD/F. Congiuntamente con le condizioni di rilascio dei fumi (temperatura e velocità dei fumi più alte) più favorevoli per la dispersione delle emissioni, le minori emissioni hanno determinato la marcata diminuzione (-60% circa) dei contributi attesi ai valori medi annui di concentrazione in atmosfera.

Più in generale, i risultati ottenuti evidenziano un contributo estremamente modesto delle emissioni dell'impianto ai livelli di concentrazione in atmosfera, sia in termini medi annui sia per i tempi di integrazione orari e giornalieri, tanto per gli inquinanti principali come polveri ed ossidi di azoto quanto per microinquinanti organici ed inorganici tossici e persistenti come cadmio e diossine. In termini medi annui, rispetto ai vigenti limiti di qualità dell'aria le emissioni nell'attuale configurazione di impianto (Scenario 2017) determinano contributi massimi dell'ordine dello 0.001% per PM10, dello 0.2% per NO<sub>2</sub>, dello 0.05% per Cd. Per le diossine il contributo rispetto al valore guida indicato dalle linee guida della Germania per l'aria ambiente dell'ordine dello 0.0005%.

L'esiguità del ruolo delle emissioni dell'impianto appare chiaramente dal confronto con l'impatto delle emissioni del traffico, peraltro largamente sottostimato in quanto questo studio ha considerato solo le emissioni degli assi stradali principali che interessano il territorio del Comune di Desio, trascurando il traffico diffuso distribuito sulla rete stradale urbana. In termini medi annui, il contributo del traffico è infatti di 2 a 4 ordini di grandezza superiore a quello dell'impianto. Nello dettaglio, il contributo del traffico è di 4 ordini di grandezza superiore (10000 volte) per il PM10, di tre ordini di grandezza (1000 volte) superiore per PCDD/F e di due ordini di grandezza (100 volte) superiore per NO<sub>2</sub> e Cd. In riferimento a tempi di integrazione più brevi di interesse per polveri ed ossidi di azoto il confronto indica che per il PM10 il contributo del traffico è di 3 ordini di grandezza superiore (1000 volte) e che per l'NO<sub>2</sub> è di almeno un ordine di grandezza superiore (40-50 volte).

In conclusione, lo studio evidenzia che l'impatto sulla qualità dell'aria delle reali emissioni dell'impianto è estremamente modesto sia per quanto riguarda polveri ed ossidi di azoto, per cui il confronto con i dati medi giornalieri prodotti da ARPA Lombardia indica contributi scarsamente apprezzabili, sia per i microinquinanti organici ed inorganici. D'altro canto, pur nelle limitazioni

---

determinate dalle approssimazioni nella quantificazione delle emissioni del traffico, lo studio evidenzia per quest'ultima sorgente un impatto sulla qualità dell'aria decisamente superiore rispetto all'impianto, tanto per gli inquinanti convenzionali considerati (polveri ed ossidi di azoto) quanto per i microinquinanti organici ed inorganici.





---

## Allegato I – Caratteristiche del modello CALPUFF

Per la valutazione dell'impatto sulla qualità dell'aria è stato utilizzato il sistema modellistico CALPUFF (Scire et al., 2000 - *A user's guide for CALPUFF dispersion model*), nella versione approvata dall'US-EPA (Official US EPA-Approved Version: CALPUFF - Version 5.8.4 - Level 130731 Luglio 2013; CALMET - Version 5.8.4 - Level 130731 Luglio 2013; CALPOST - Version 6.221 - Level 082724 Luglio 2008), composto dalle tre componenti principali:

- CALMET: modello diagnostico per la ricostruzione a scala locale di campi meteorologici tridimensionali;
- CALPUFF: modello diffusionale a puff per la valutazione dei livelli di concentrazione e dei flussi di deposizione;
- PRTMET, CALPOST: modelli per il postprocessamento dei risultati prodotti dai modelli CALMET e CALPUFF.

CALPUFF è un modello di dispersione atmosferica non stazionario e multispecie che simula gli effetti di una meteorologia variabile nello spazio e nel tempo sul trasporto, la trasformazione e la rimozione degli inquinanti.

CALPUFF appartiene alla tipologia di modelli descritti al paragrafo 3.1.2 della linea guida RTI CTN\_ ACE 4/2001 "*Linee guida per la selezione e l'applicazione dei modelli di dispersione atmosferica per la valutazione della qualità dell'aria*", Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, Centro Tematico Nazionale – Aria Clima Emissioni, 2001.

Il modello di dispersione CALPUFF, nel modo in cui è impiegato nell'ambito del presente studio, è classificabile nella tipologia 2 della scheda 9 della norma UNI 10796:2000 "*Valutazione della dispersione in atmosfera di effluenti aeriformi - Guida ai criteri di selezione dei modelli matematici*", ma ha alcune caratteristiche avanzate tali da classificarlo nella tipologia 3 della medesima scheda 9.

Inoltre, le Linee Guida in materia di odori della Regione Lombardia (DGR n. 3018/2012), fra i modelli raccomandati per le valutazioni di impatto olfattivo, indicano i modelli non stazionari a puff oppure a segmenti oltre ai modelli 3D lagrangiani (a puff o a particelle) e i modelli 3D euleriani.

Il modello CALPUFF si basa su un approccio di tipo lagrangiano gaussiano a puff, non stazionario, multistrato e multispecie, e comprende una serie di opzioni per la stima del trasporto e diffusione in atmosfera di emissioni prodotte da diverse configurazioni di sorgenti (puntuale, areale, lineare), in situazioni orografiche semplici o complesse.

Le principali caratteristiche del modello sono:

- la capacità di trattare sorgenti puntuali, lineari, aerali, volumetriche, con caratteristiche variabili nel tempo (flusso di massa dell'inquinante, velocità di uscita dei fumi, temperatura, ecc.);
- la notevole flessibilità relativamente all'estensione del dominio di simulazione, da poche decine di metri (scala locale) a centinaia di chilometri dalla sorgente (mesoscala);
- la possibilità di effettuare simulazioni short-term e long-term: nel primo caso vengono definiti dei casi di studio di alcuni giorni e le concentrazioni sono da considerarsi come tipiche per una data condizione meteorologica; nel secondo caso si ottengono concentrazioni medie per periodi temporali più significativi (ad esempio un anno);

- la capacità di trattare situazioni meteorologiche variabili e complesse, come calma di vento, parametri dispersivi non omogenei, effetti vicino alla sorgente (come l'innalzamento del pennacchio in prossimità dalla sorgente), il building downwash (effetti locali di notevole turbolenza dovuti alla presenza di ostacoli lungo la direzione del flusso), la parziale penetrazione del pennacchio nello strato di inversione, i fenomeni di fumigazione;
- la capacità di trattare condizioni di orografia complessa e caratterizzata da una significativa rugosità, nelle quali gli effetti della fisionomia del terreno influenzano la dispersione degli inquinanti;
- la capacità di trattare effetti a lungo raggio quali le trasformazioni chimiche, trasporto su specchi d'acqua ed interazione tra zone marine e zone costiere;
- la possibilità di applicazione ad inquinanti inerti e polveri, soggetti a rimozione a secco o ad umido, e ad inquinanti reagenti: si possono considerare sia la formazione di inquinanti secondari che il fenomeno di smog fotochimico.

Per poter tener conto della non stazionarietà dei fenomeni, l'emissione di inquinante (plume) viene suddivisa in "pacchetti" discreti di materiale (puff o slug) la cui forma e dinamica dipendono dalle condizioni di rilascio e dalle condizioni meteorologiche locali. In particolare la dinamica dei puff, che simula l'innalzamento del pennacchio, viene descritta con un algoritmo che include i principali effetti che influenzano le modalità di innalzamento: galleggiamento termico e quantità di moto, stratificazione verticale del vento in atmosfere stabili, parziale penetrazione del pennacchio nel livello d'inversione stabile, effetti di depressione dovuti alla presenza del camino (stack-tip downwash) o di edifici (building downwash).

Il contributo di ogni puff alle concentrazioni rilevate presso un recettore viene valutato mediante un metodo "ad istantanea": ad intervalli di tempo regolari (sampling step), ogni puff viene "congelato" e viene calcolato il suo contributo alla concentrazione. Il puff può quindi muoversi, evolversi in forma e dimensione fino all'intervallo successivo. Applicando il principio di sovrapposizione degli effetti, la concentrazione di inquinante in un recettore è quindi calcolata come sommatoria del contributo di tutti i puff vicini, considerando la media di tutti gli intervalli temporali (sampling step) contenuti nel periodo di base, in genere equivalente ad un'ora.

Il contributo di concentrazione al suolo  $C$  di un puff presente nel dominio istantanea derivante dalla sua presenza in un generico recettore è descritto dalla seguente relazione:

$$C = \left( \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \right) g \exp\left( -\frac{d_a^2}{2\sigma_x^2} \right) \exp\left( -\frac{d_c^2}{2\sigma_y^2} \right)$$

in cui:

$Q$  = massa di inquinante nel puff;

$\sigma_x, \sigma_y$  = coefficienti di dispersione orizzontale e verticale, rispettivamente;

$d_a$  = distanza tra il recettore ed il centro del puff nella direzione del vento;

$d_c$  = distanza tra il recettore ed il centro del puff nella direzione trasversale al vento;

$g$  = termine che tiene conto delle riflessioni multiple della copertura e del suolo in funzione dell'altezza dello strato di mescolamento  $h$ , dell'altezza effettiva del centro del puff da terra  $H$  e della dispersione turbolenta lungo la verticale  $\sigma_z$ :

$$g = \frac{Q}{(2\pi)^{0,5} \sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(H + 2nh)^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

In un generico recettore tutti i puff presenti nel dominio di calcolo contribuiscono alla concentrazione totale con un proprio apporto proporzionale alla distanza orizzontale tra il loro baricentro e il recettore, all'altezza del proprio baricentro, al valore delle proprie deviazioni standard ed alla quantità di inquinante contenuto.

Oltre ad essere trasportato dal movimento medio delle masse d'aria, un puff è soggetto all'azione della dispersione turbolenta, che determina il progressivo inglobamento di aria associata a vortici turbolenti di piccole e medie dimensioni, con una conseguente progressiva diminuzione della concentrazione entro il puff ed un aumento irreversibile di omogeneità nella sua distribuzione interna. Per trattare questo aspetto, è consuetudine ipotizzare che il processo di dispersione turbolenta sia descrivibile con una distribuzione della concentrazione di inquinante di forma gaussiana nelle tre direzioni coordinate. I coefficienti di dispersione rappresentano le deviazioni standard delle distribuzioni spaziali delle concentrazioni e forniscono, quindi, una misura della dispersione dei valori di concentrazione attorno all'asse del pennacchio. Le deviazioni standard  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  delle tre distribuzioni gaussiane lungo gli assi coordinati, dipendono principalmente dalla turbolenza dello strato limite planetario, ma anche dalla geometria della sorgente e dalla spinta di galleggiamento posseduta dal puff.

Le formulazioni parametriche utilizzate per la determinazione dei coefficienti di dispersione considerano il tempo di volo del puff, cioè il tempo trascorso dalla sua emissione, le deviazioni standard della componente trasversale e verticale del vento nel baricentro del puff, il tempo di scala per i movimenti orizzontali e per i movimenti verticali. In particolare, i coefficienti di dispersione risultano direttamente proporzionali alle deviazioni standard delle componenti del vento in quanto queste rappresentano effettivamente la reale capacità disperdente dell'atmosfera.

Il modello è in grado di considerare anche l'effetto di trascinamento al suolo del pennacchio indotto dalla presenza di edifici sottovento alla sorgente di emissione. Il fenomeno, definito come "downwash" nella terminologia anglosassone, è conseguenza della turbolenza meccanica generata dalla presenza dell'edificio nella zona sottovento adiacente all'edificio stesso, e determina un incremento delle concentrazioni massime al suolo ed un avvicinamento della loro localizzazione al punto di emissione. La possibilità che il fenomeno si verifichi e la sua entità dipendono dalla distanza tra l'emissione e gli edifici circostanti e dalle dimensioni relative degli edifici stessi rispetto all'altezza effettiva della sorgente. A tale proposito, l'algoritmo di calcolo considera le interazioni tra ogni singola sorgente e gli edifici che la circondano in funzione della meteorologia e della direzione del vento dominante, provvedendo ad apportare le eventuali correzioni richieste all'innalzamento dell'emissione secondo due distinte procedure (modello di Huber-Snyder, modello di Schulman-Scire) individuate in base all'altezza della sorgente ed alle dimensioni degli edifici.

Il sistema modellistico CALPUFF può correttamente riprodurre fenomeni quali la stagnazione degli inquinanti (calme di vento), il ricircolo dei venti, e la variazione temporale e spaziale delle condizioni meteorologiche.

Per quanto riguarda il trattamento delle calme di vento, il modello prevede:

- per i puff rilasciati in atmosfera durante le ore di calma di vento
  - la posizione del centro del puff rimane immutata;

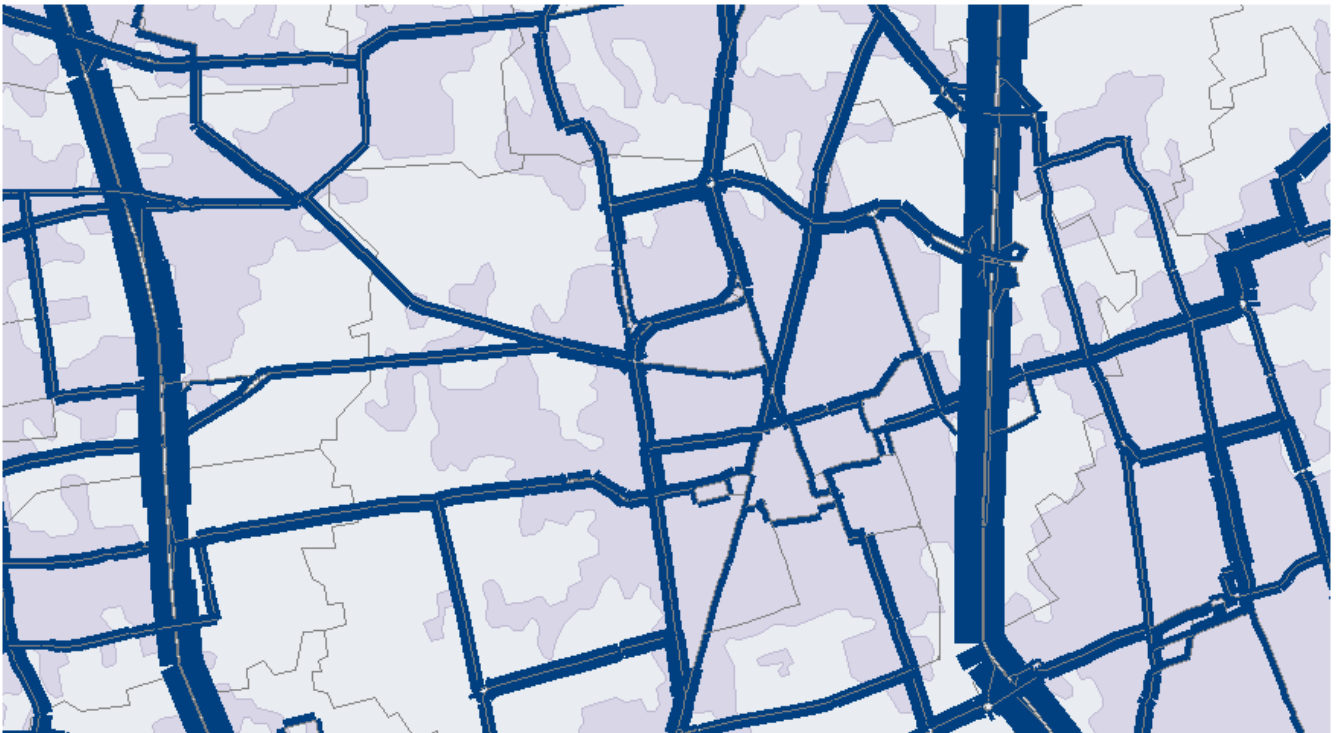
- 
- l'intera massa di inquinante da rilasciare nel corso dell'ora è posta in un unico puff;
  - il puff è posto istantaneamente alla quota finale di innalzamento;
  - non sono calcolati gli effetti scia degli edifici;
  - la crescita dei parametri  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  è calcolata esclusivamente in funzione del tempo;
  - i parametri  $\sigma_v$  e  $\sigma_w$  sono eventualmente modificati affinché non siano inferiori ad un minimo prefissato.
- per i puff rilasciati in atmosfera prima dell'ora di calma di vento
- la posizione del centro del puff rimane immutata;
  - il puff è posto istantaneamente alla quota finale di innalzamento;
  - la crescita dei parametri  $\sigma_y$  e  $\sigma_z$  è calcolata esclusivamente in funzione del tempo;
  - i parametri  $\sigma_v$  e  $\sigma_w$  sono eventualmente modificati affinché non siano inferiori ad un minimo prefissato.

---

**Allegato II – Stima dei flussi di traffico**



**COMUNE DI DESIO**



## **ANALISI MACROMODELLISTICHE**

### **RICOSTRUZIONE DELLO SCENARIO DI TRAFFICO ATTUALE SULLA VIABILITA' PRINCIPALE DEL COMUNE DI DESIO**

---

Studio redatto da Ing. Giovanni Vescia  
via Carducci 2 – 20092 – Cinisello Balsamo (MI)  
Tel. 349.12 49 750 / 329.33 18 707  
E-mail: [gianni.vescia@fastwebnet.it](mailto:gianni.vescia@fastwebnet.it)  
Albo dell'ordine degli ingegneri della provincia di Milano n° A23726

Ing. Giovanni Vescia

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONI DELLE BANCHE DATI UTILIZZATE .....</b>	<b>4</b>
2.1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	6
<b>3</b>	<b>MODELLO DI SIMULAZIONE: SCENARIO ATTUALE .....</b>	<b>7</b>
3.1	MODELLO DI OFFERTA .....	7
3.2	MODELLO DI DOMANDA .....	10
3.3	PROCEDURA DI CALIBRAZIONE .....	11

## 1 PREMESSA

Il presente studio ha lo scopo ricostruire, mediante l'utilizzo di un modello di macrosimulazione del traffico, l'attuale regime di circolazione sulla viabilità principale del comune di Desio necessario per la stima delle emissioni in atmosfera.

Nello specifico verrà sviluppato un modello di traffico relativo alla ricostruzione dell'attuale regime di circolazione che interessa la viabilità principale del comune di Desio con particolare riferimento ai seguenti assi stradali: S.S. 35, S.S. 36 e S.S. 527 che contornano a Est, Sud e Ovest il territorio del Comune di Desio e S.P. 9, S.P. 132, S.P. 151 e S.P. 173 che attraversano il territorio del Comune di Desio.

I dati di traffico verranno successivamente elaborati ed esportati in shape files per essere utilizzati all'interno delle simulazioni atmosferiche, strutturandoli per intervalli di tempo adeguati (per fascia oraria) separando la matrice dei leggeri da quella dei pesanti.

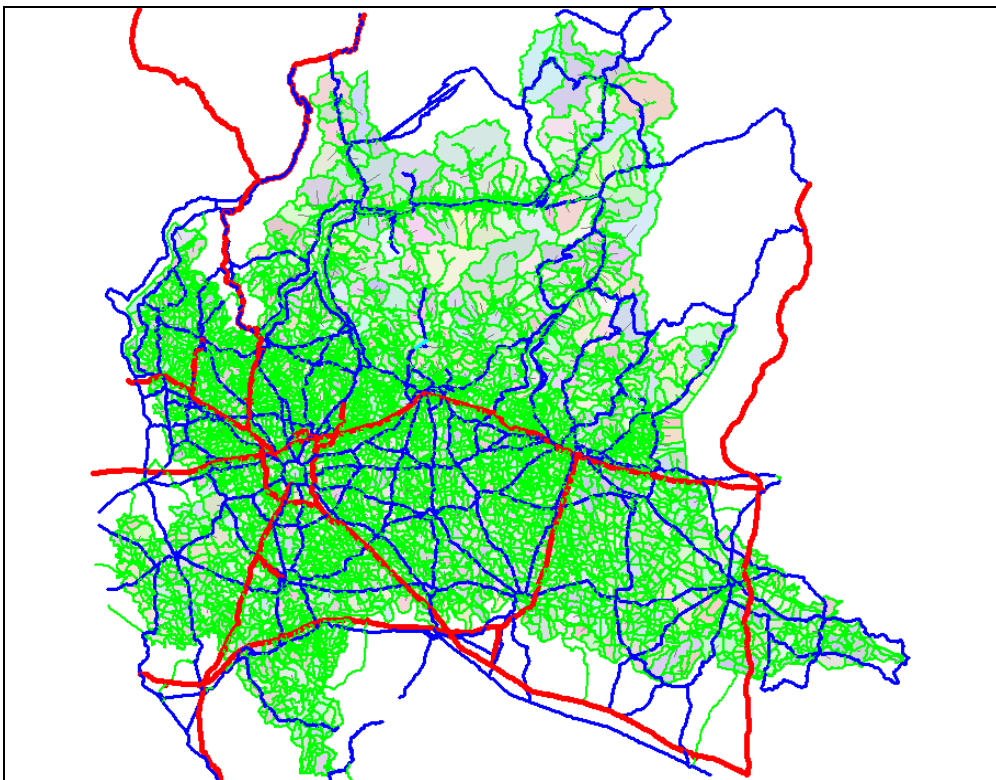
## 2 DESCRIZIONI DELLE BANCHE DATI UTILIZZATE

Il primo passo metodologico per giungere alle previsioni di traffico necessarie per caratterizzare l'attuale regime di circolazione che interessa la viabilità principale del comune di Desio, riguarderà la modellazione dello scenario trasportistico attuale, cioè la ricostruzione delle relazioni origine – destinazione degli spostamenti generati dal territorio in esame e la loro distribuzione sulla rete.

Tale fase verrà sviluppata mettendo a punto, nel modello di simulazione, sia il grafo stradale che rappresenta il sistema dell'offerta di trasporto, sia la matrice origine – destinazione che rappresenta il sistema della domanda di mobilità.

Per quanto concerne il grafo della rete stradale, sarà considerata un'area vasta, che includerà non solo la Città di Desio ed i comuni confinanti, ma l'intero territorio regionale. Una tale estensione permetterà di tenere in considerazione anche degli effetti dovuti ad interventi previsti nelle zone non immediatamente adiacenti a quella di studio. Al contempo, il grafo sarà caratterizzato da un livello di dettaglio tanto maggiore quanto più prossima è l'area di studio.

Di seguito è schematizzato il grafo che sarà utilizzato nella procedura modellistica.



**Figura 1 – Estensione del grafo di rete che sarà adottato all'interno del modello di simulazione**

Per quanto invece attiene la domanda degli spostamenti, la matrice O-D attuale sarà ottenuta a partire dalle seguenti banche dati che sono state tra loro integrate in forma matriciale:

- la matrice OD della Regione Lombardia (anno 2014);
- la matrice OD Istat;

- le banche dati delle indagini di traffico su area vasta condotte direttamente sul campo (2014 – 2016);
- i rilievi di traffico contenuti all'interno del PGTU del Comune di Desio.

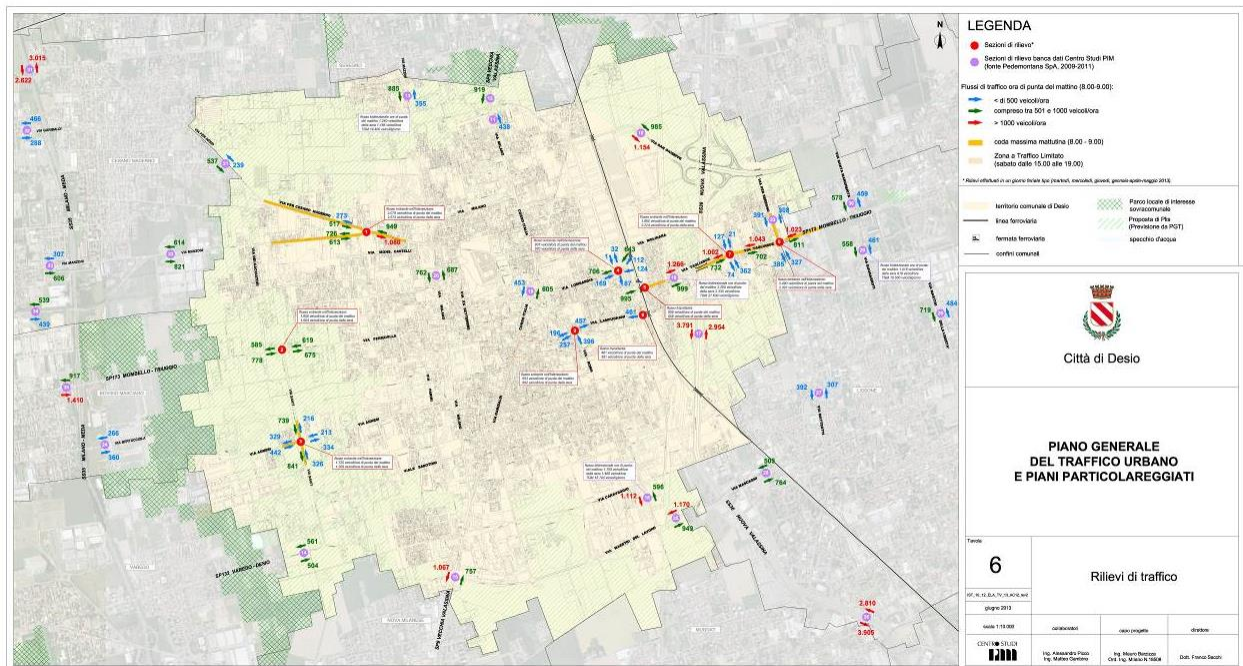
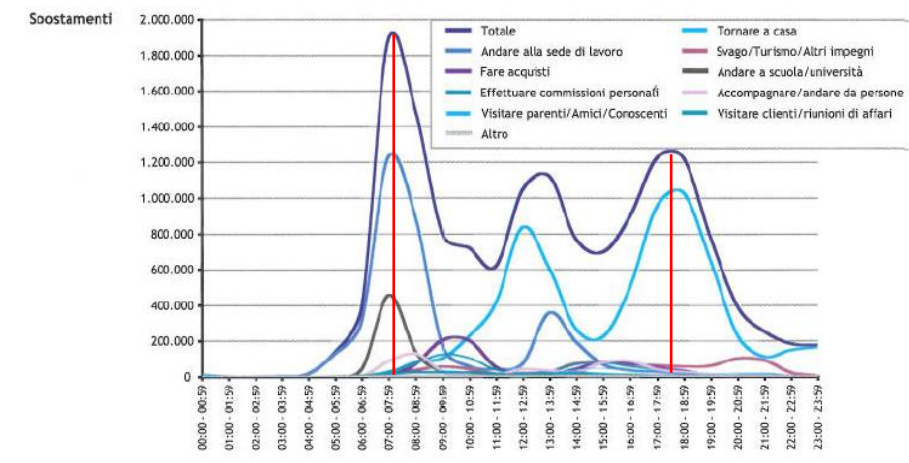


Figura 2 – PGTU – TAVOLA 6 - Rilievi di Traffico

Le successive analisi saranno inoltre riferite all'ora di punta giornaliera, identificabile, considerando l'area di studio, tra le ore 8.00 e le ore 9.00. A conferma di ciò si riporta il grafico relativo alla distribuzione oraria degli spostamenti per motivo, elaborato dalla base dati relativi all'Indagine Origine/Destinazione regionale (indagine promossa nel 2002 dalla d.g.r. Infrastrutture e Mobilità).



Regione Lombardia - Direzione Generale Infrastrutture e Mobilità

Grafico 1 – Distribuzione oraria degli spostamenti per motivo



## 2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il comune di Desio è localizzato nel quadrante nord del capoluogo lombardo, nell'area territoriale delimitata ad ovest dalla SS35, a sud dalla SP ex SS527 ed ad est dalla SS36.

Il territorio comunale inoltre è attraversato da una serie di strade provinciali (SP9, SP132, SP151 e SP173) che consentono la connessione tra la città di Desio con i comuni limitrofi e la rete viabilistica primaria.

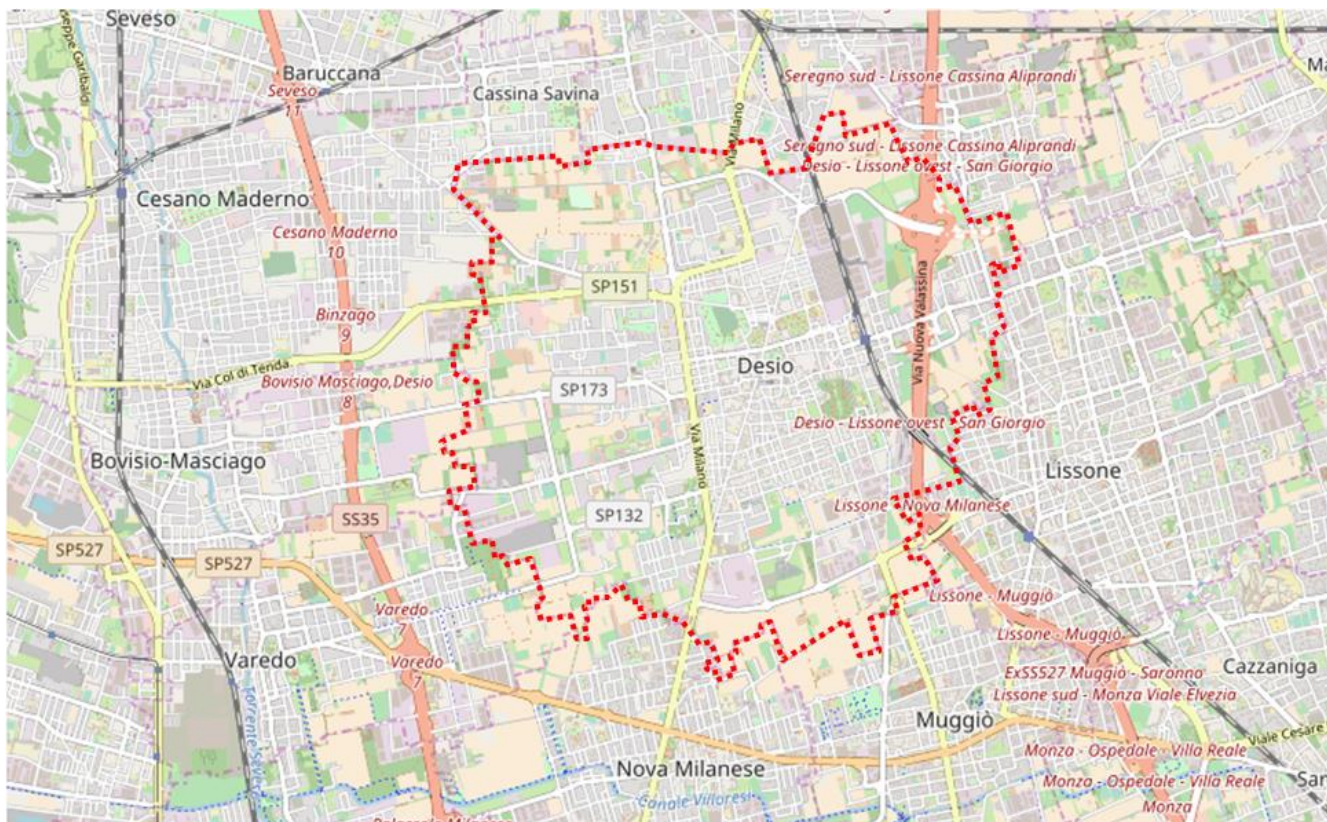


Figura 3 - Inquadramento territoriale



### 3 MODELLO DI SIMULAZIONE: SCENARIO ATTUALE

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni relativo alla definizione dello scenario attuale. Le procedure di seguito riportate fanno riferimento all'offerta infrastrutturale riferita all'orizzonte temporale 2017.

#### 3.1 MODELLO DI OFFERTA

Il sistema dell'offerta è modellizzato implementando un grafo stradale costituito da una serie di archi mono o bi-direzionali, con i quali è compiutamente descritto un tratto di strada. Complessivamente la rete stradale considerata, costituita da poco più di 322 mila archi, comprende l'intero territorio della Regione Lombardia, con un livello di dettaglio tanto più alto quanto più ci si approssima all'area di studio considerata.

Una tale estensione permetterà in fase di analisi degli interventi proposti, di tenere in considerazione anche degli effetti dovuti ad interventi previsti nelle zone non immediatamente adiacenti a quella di studio, con particolare riferimento alle infrastrutture di livello provinciale e regionale.

Gli archi del grafo sono classificati in funzione del rango della strada che rappresentano, e ad essi è associata una serie di informazioni necessarie per alimentare il modello di macrosimulazione, tra le quali:

- nodo inizio;
- nodo fine;
- lunghezza [Km];
- tipo arco (autostrada, strade primarie, strade secondarie, locali, uso esclusivo TPL, connettore);
- velocità di libero deflusso [Km/h];
- capacità [Veq];
- curva di deflusso.

In particolare, in ragione delle specifiche caratteristiche di deflusso (autostrade, superstrade e arterie di grande viabilità, strade statali, strade provinciali, strade comunali principali e secondarie), sono associati i seguenti range di velocità di flusso libero e capacità per corsia.

Classe	Tipologia strada	Capacità (veic eq/h) per corsia	Vo, Velocità a vuoto (Km/h)
1	Rete autostradale	2000 - 2300	110 - 140
2	Superstrade e tangenziali	2000	70 - 130
3	Rete di rango statale	1500 - 1800	60 - 90
4	Rete di rango provinciale	1200 - 1500	50 - 80
5	Rete urbana principale	1000 - 1200	40 - 60
6	Rete urbana di quartiere	600 - 1000	30 - 40

**Tabella 1 – Classificazione funzionale della rete stradale**

Per ciascun arco è definita una specifica curva di deflusso, adeguata alle caratteristiche e al rango dello stesso.

Le curve utilizzate sono di tipo esponenziale nella formulazione BPR, il cui andamento è messo in evidenza nel grafico seguente, con tempo a carico espresso sulla base della relazione seguente:

$$TC_E = T_E * [1 + a * (F/C)^b]$$

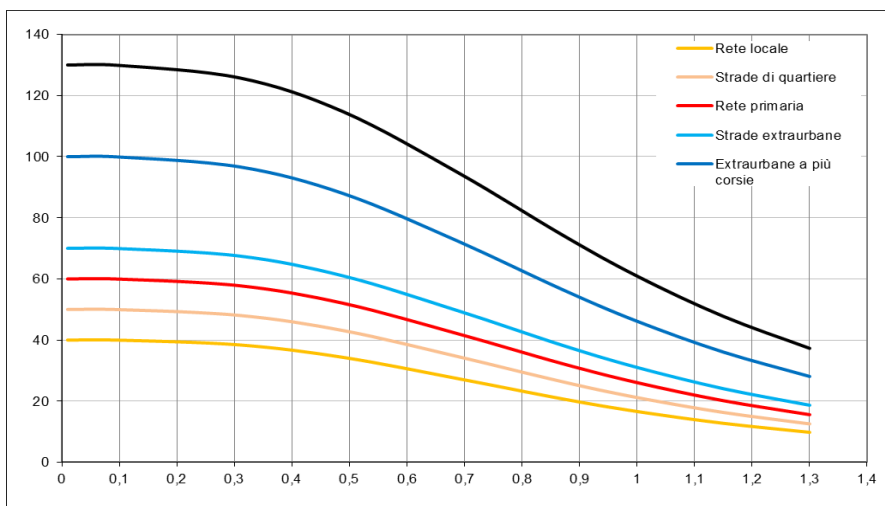
con:

$T_E$  = tempo di percorrenza alla velocità di flusso libero

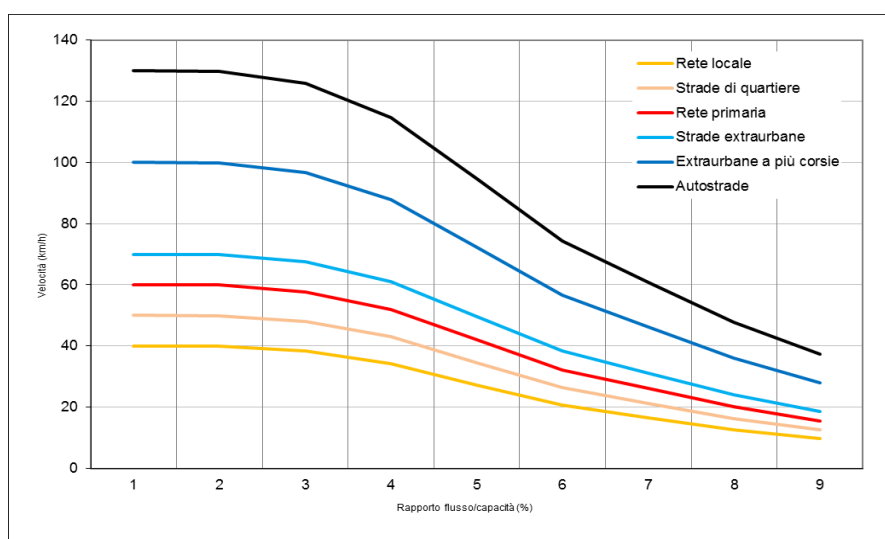
F = flusso orario sull'arco

C = capacità di deflusso oraria dell'arco

a, b = parametri dipendenti dalla categoria dell'arco (come indicato nel grafico seguente).

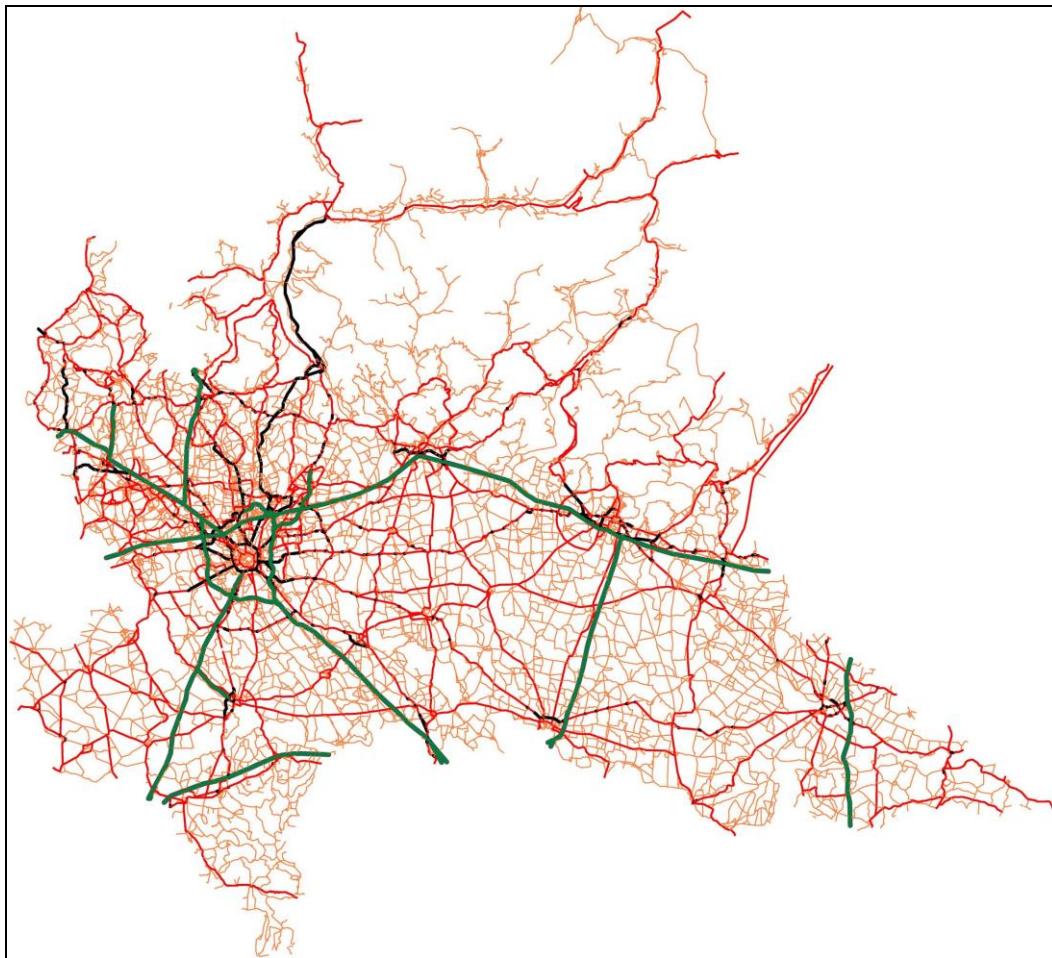


**Grafico 2 – Andamento delle funzioni di costo BPR**

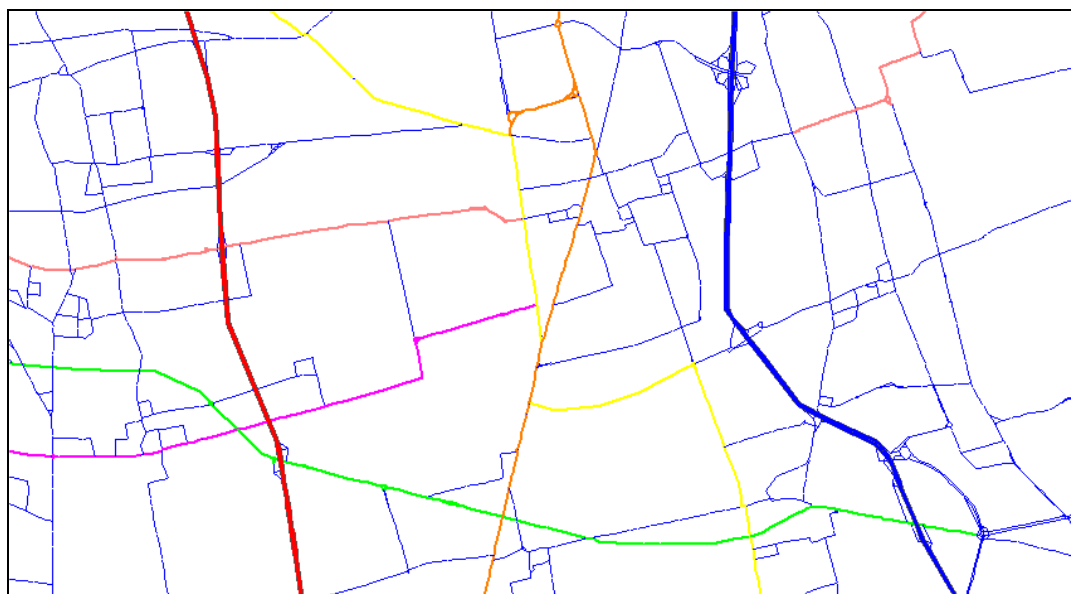


**Grafico 3 – Esempio dell'andamento delle funzioni di costo BPR- ambito urbano**

Le immagini seguenti schematizzano l'estensione del grafo di rete adottato all'interno del modello di simulazione, per lo scenario attuale.



*Figura 4 – Estensione del grafo di rete adottato per le successive simulazioni*



*Figura 5 – Dettaglio grafo di rete area di studio*

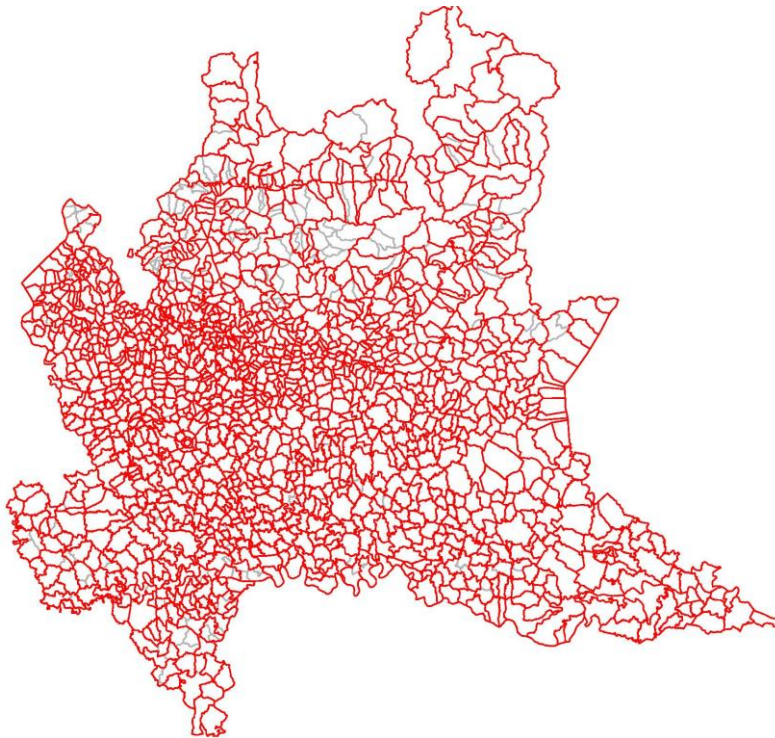
### 3.2 MODELLO DI DOMANDA

La ricostruzione della domanda della mobilità attuale è stata effettuata considerando differenti fonti informative che permettono di analizzare e stimare gli spostamenti, sia sul sistema della grande viabilità autostradale sia sulla rete ordinaria urbana.

In particolare la matrice Origine – Destinazione degli spostamenti è stimata incrociando le seguenti informazioni:

- la matrice OD della Regione Lombardia;
- la matrice OD Istat;
- le banche dati delle indagini di traffico su area vasta condotte direttamente sul campo (2014 – 2017);
- i rilievi di traffico desunti dai rilievi di traffico riportati all'interno del PGTU del comune di Desio.

L'azzoneamento considerato nelle elaborazioni fa riferimento a quello adottato all'interno della Matrice della Regione Lombardia: si è considerato pertanto l'azzoneamento su scala comunale, con un livello di dettaglio maggiore per le principali città della regione (suddivise in più zone), mentre per le zone più periferiche caratterizzate da minor densità abitativa, le zone sono ricavate come aggregazioni di più comuni. Il comune di Desio è stato inoltre maggiormente dettagliato mediante 7 zone di Origine/Destinazione



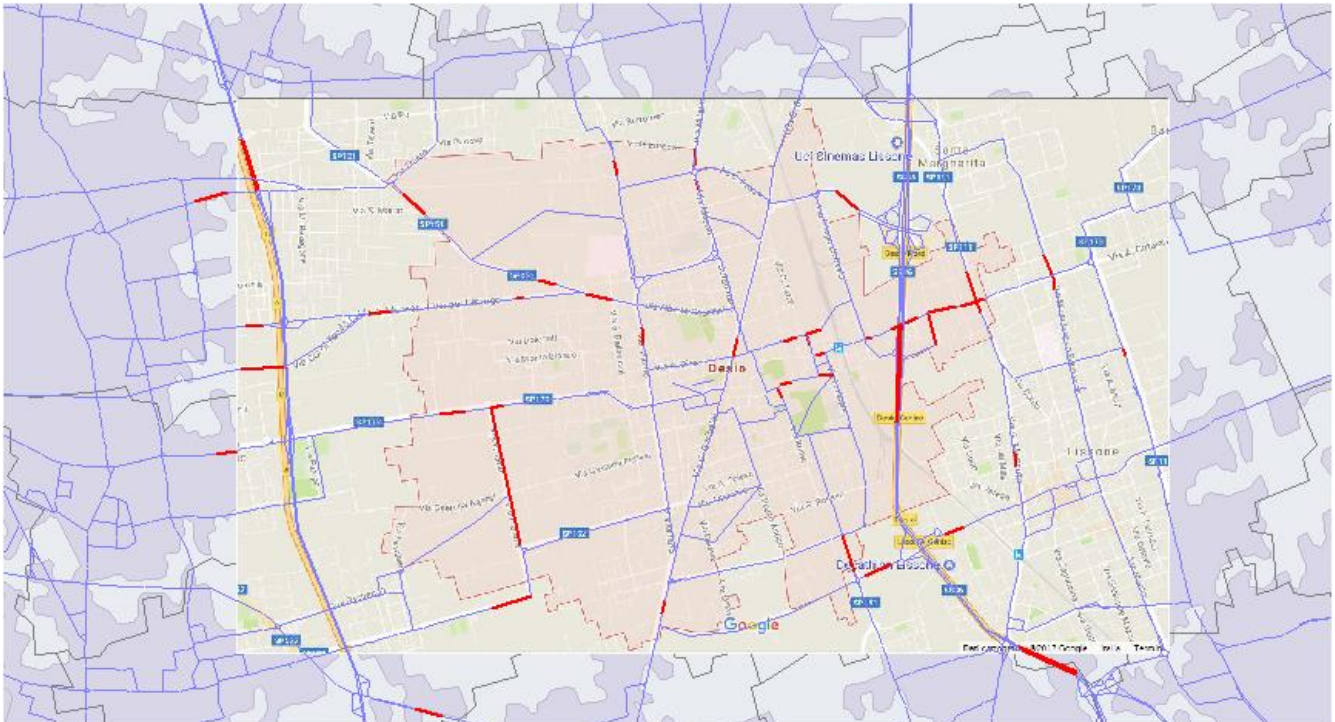
**Figura 6 – Azzoneamento relativo all'intera rete regionale**



### 3.3 PROCEDURA DI CALIBRAZIONE

Nella fase di calibrazione, sono incrociate le informazioni del modello di offerta e di domanda al fine di riprodurre la realtà osservata durante le indagini di traffico.

In particolare sono stati considerati i dati ricavati dalla matrice OD Lombardia, i dati di traffico rilevati all'interno del PGU è riportati all'interno della Tavola 6 – Rilievi di traffico. Si è pervenuto a considerare per l'area di studio circa 114 sezioni di rilievo.



**Figura 7 - Localizzazione delle sezioni di conteggio dei flussi veicolari - area di studio**

Per la calibrazione del modello di simulazione è stato utilizzato il modulo ANALYST del software di simulazione CUBE 6: mediante i dati dei rilievi di traffico e degli spostamenti sulla rete autostradale, è stato possibile aggiornare la matrice OD di partenza al fine di riprodurre l'effettivo andamento dei flussi di traffico in attraversamento sull'area di studio.

Il processo di calibrazione iterativo è stato strutturato su 4 livelli di analisi:

- vengono inserite nel grafo di rete le screenline relative ai flussi acquisiti attraverso i dati di traffico rilevati: viene eseguita una prima assegnazione in modo da associare ad ogni screenline (dato rilevato) le OD in transito sull'arco considerato;
- successivamente viene associata alla matrice OD di base una seconda matrice OD con i livelli di confidenza correlati alla matrice base; vengono inoltre calcolati per ogni zona i Trip Ends cioè i totali di riga e di colonna della matrice OD di partenza con i relativi livelli di confidenza.
- allo stesso modo viene associato ad ogni screenline un livello di confidenza: i livelli di confidenza per le screenline e la matrice di base indicano al modello l'attendibilità dei dati utilizzati;
- infine, attraverso l'utilizzo del modulo Analyst vengono analizzati i dati della matrice di partenza, i conteggi di traffico contenuti nelle screenline, i Trip Ends e le informazioni sui percorsi in modo da aggiornare la matrice in input affinché questa si adatti nel miglior

modo possibile ai dati di traffico rilevati: per far ciò il modulo Analyst utilizza la funzione di Massima Verosimiglianza per produrre la matrice OD stimata.

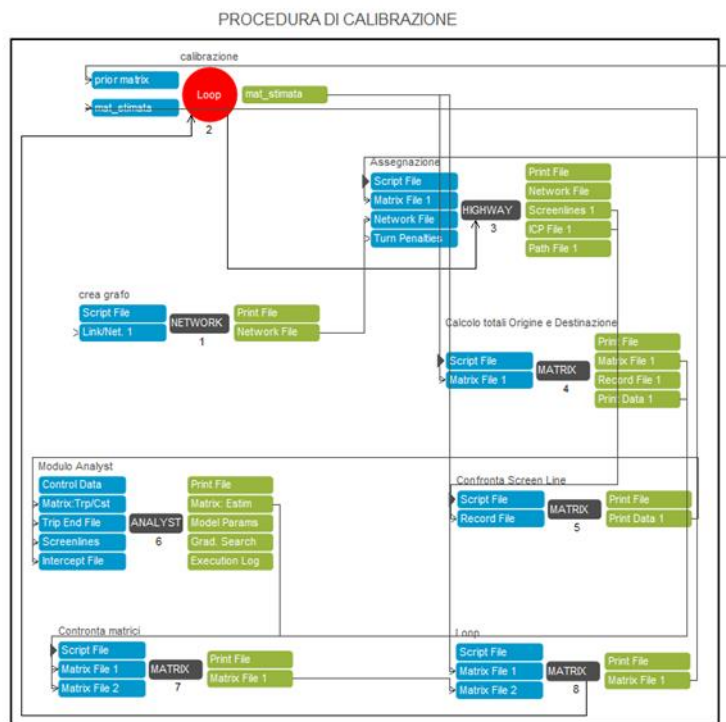


Figura 8 – Processo di calibrazione messo a punto all'interno di CUBE 6

Di seguito si riporta lo scattergram relativo al livello di correlazione raggiunto fra i volumi rilevati ed i volumi calcolati nel modello finale calibrato. L'indice  $R^2$  dell'intera rete si attesta attorno allo 0,97, che conforta sulla bontà della rappresentazione ottenuta.

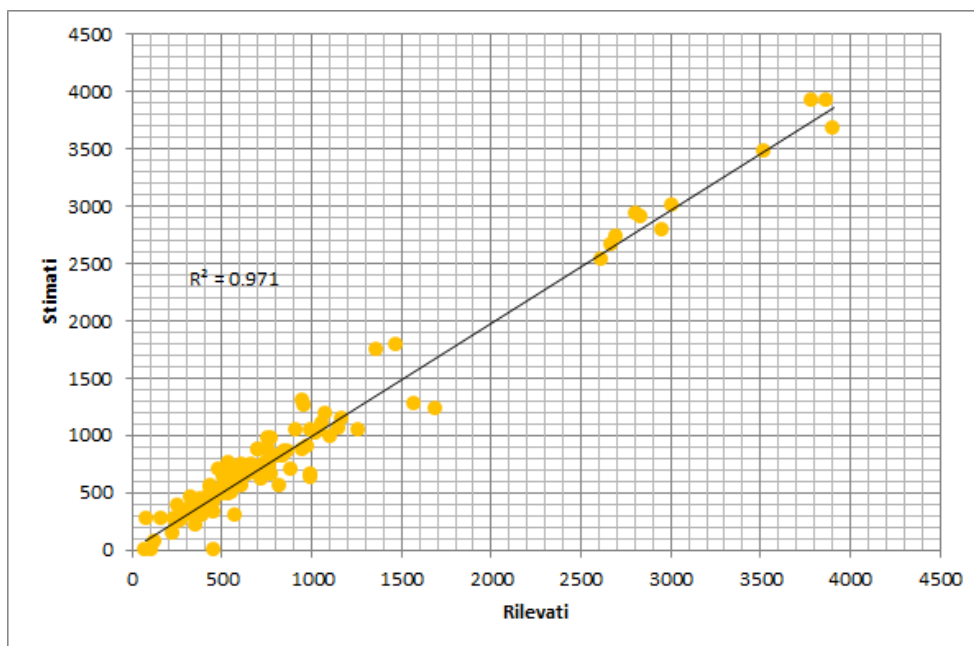
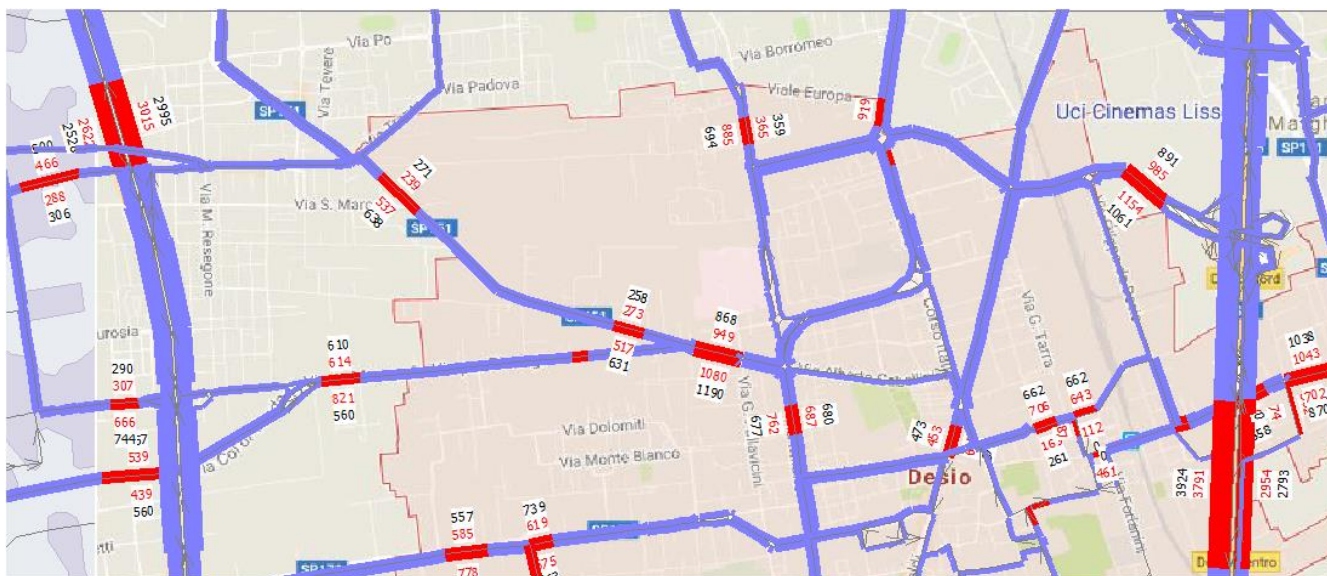


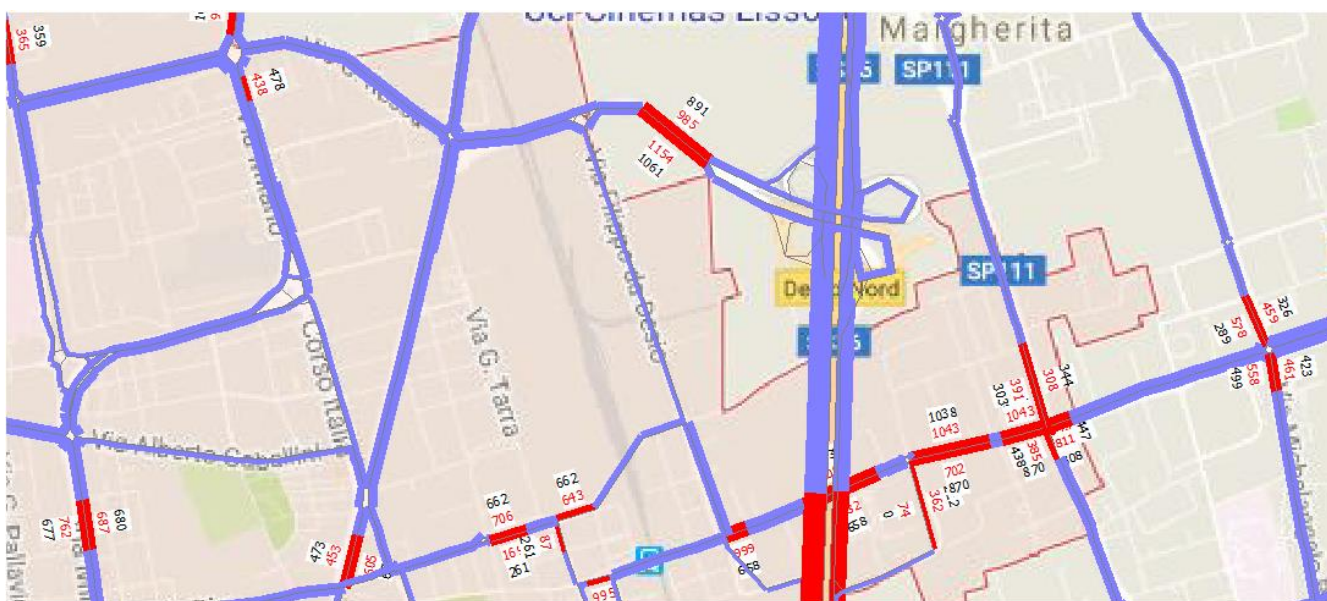
Grafico 4 – Scattergram rete complessiva



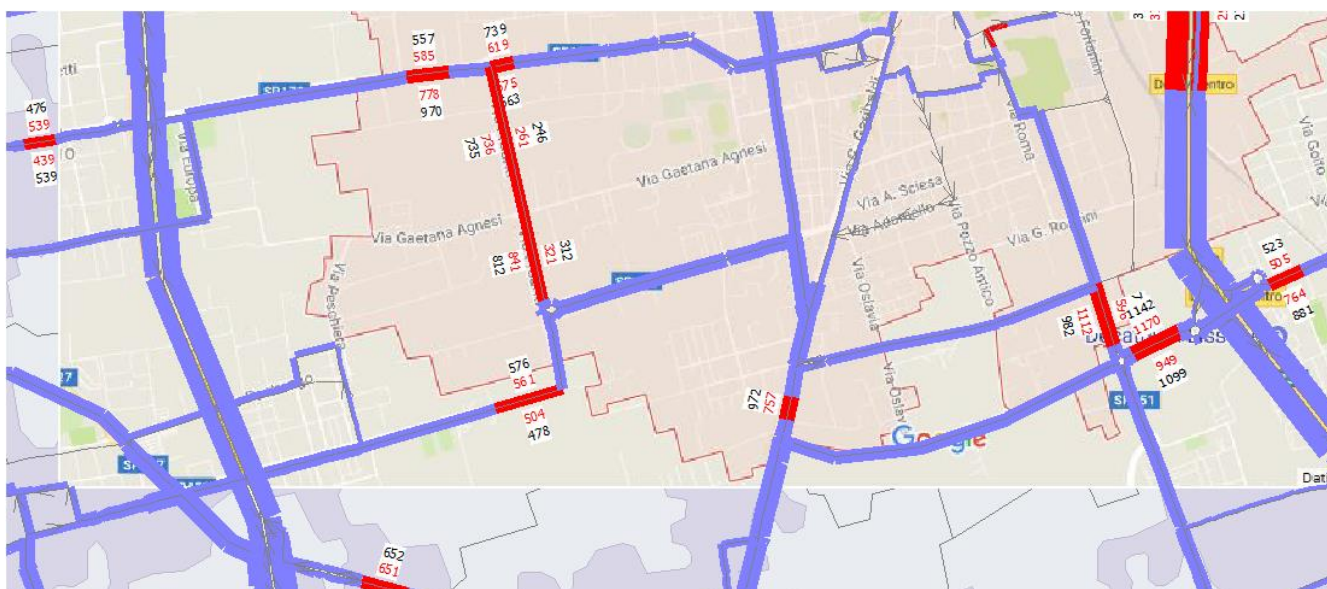
Di seguito è riportato il raffronto tra i valori rilevati e stimati dal modello in corrispondenza delle principali sezioni stradali dell'area di studio.



**Figura 9 –Raffronto flussi rilevati (in rosso) e simulati (in nero) – Area di Studio nord**



**Figura 10 – Raffronto flussi rilevati (in rosso) e simulati (in nero) – Area di Studio – zona est**



**Figura 11 – Raffronto flussi rilevati (in rosso) e simulati (in nero) – Area di Studio – zona sud**

Successivamente i dati riportati all'interno del modello di simulazione sono stati disaggregati per classi veicolari, sulla base di sezioni di conteggio automatiche su assi viari similari a quelli oggetto di analisi e distribuiti per singola fascia oraria.

Per le classi veicolari si è fatto riferimento alla classificazione prevista dalla normativa Regionale. Nello specifico le classi di lunghezza individuate sono così distribuite:

- LN1 = veicoli di lunghezza da 0 a 2m
- LN2 = veicoli di lunghezza da 2 a 5m
- LN3 = veicoli di lunghezza da 5 a 7,5m
- LN4= veicoli di lunghezza da 7,5 a 10m
- LN5= veicoli di lunghezza da 10 a 12,5m
- LN6= veicoli di lunghezza da 12,5 a 16,5m
- LN7= veicoli di lunghezza da 16,5 a 19m
- LN8= veicoli di lunghezza superiore a 19m

Le classi evidenziate in precedenza sono state accorpate all'interno di tre macro classi:

- veicoli leggeri: LN2
- veicoli commerciali medi: LN3, LN4, LN5
- veicoli commerciali pesanti: LN6, LN7, LN8