



OGGETTO

## Perizia stato dell'inquinamento atmosferico causato dagli NO<sub>2</sub>

TITOLO 140225 B 01

## Mappe di immissioni di NO<sub>2</sub> in Ticino

COMMITTENTE

Ufficio dell'aria, del clima e delle energie rinnovabili  
Dr Moser Mirco  
via Salvioni 2a  
CH - 6500 Bellinzona

LUOGO E DATA

Rivera, 03.12.2013

BER / 140226 B\_AMB 01\_2 BER-CAM-PIF Mappe NO2 Ticino / Pagine complessive: 59

ESTENSORI

Dr. Angelo Bernasconi



Dr. Mike Campana



IFEC Consulenze SA

Via Lischedo 9  
CH - 6802 Rivera

T + 41 91 935 97 00  
F + 41 91 935 97 09

contact@ifec.ch  
www.ifec.ch

**INDICE**

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>4</b>
1.1	PREMESSA .....	4
1.2	OBIETTIVI .....	4
1.3	PERIMETRO DI STUDIO .....	5
1.3.1	DELIMITAZIONE GEOGRAFICA.....	5
1.3.2	DELIMITAZIONE TEMPORALE .....	5
<b>2</b>	<b>CONFRONTO E VERIFICA MODELLO 2010 CON VALORI MISURATI</b> .....	<b>6</b>
2.1	CONFRONTO VALORI NO <sub>2</sub> MISURATI E CALCOLATI .....	6
2.2	CONFRONTO TRA LE SIMULAZIONI 2010 CON LE IMMISSIONI MISURATE.....	7
2.2.1	VALUTAZIONI E CONFRONTI .....	7
2.2.1	SITUAZIONI DI INQUINAMENTO PARTICOLARE.....	10
2.2.2	CONFRONTO CON STUDIO DELL'UFFICIO FEDERALE DELLE STRADE .....	10
2.2.3	CONSIDERAZIONI.....	11
2.3	SENSITIVITÀ DEL MODELLO.....	12
2.4	VALUTAZIONE COMPLESSIVA SUL CONFRONTO E SULLA VERIFICA DEI MODELLI PRECEDENTI .	13
<b>3</b>	<b>CALCOLO DELLE EMISSIONI</b> .....	<b>14</b>
3.1	TRAFFICO STRADALE .....	14
3.1.1	EMISSIONI SULLE STRADE.....	14
3.1.2	EMISSIONI A MOTORE A FREDDO .....	20
3.1.3	GRANDI PARCHEGGI .....	21
3.2	CAMINI .....	21
3.2.1	COMBUSTIONE A OLIO E A GAS.....	21
3.2.2	COMBUSTIONE LEGNA.....	23
3.2.3	IMPIANTI DI PROCESSO.....	23
3.3	SETTORE EDILE .....	25
3.4	EMISSIONI DEL TRAFFICO OFFROAD .....	25
3.4.1	HOBBY E GIARDINAGGIO.....	25
3.4.2	MACCHINE INDUSTRIALI .....	26
3.4.3	TRAFFICO LACUSTRE .....	26
3.4.4	FERROVIA .....	27
3.4.5	AVIAZIONE.....	27

3.5	AGRICOLTURA E SELVICOLTURA .....	27
3.6	RIEPILOGO EMISSIONI .....	28
<b>4</b>	<b>CALCOLO DELLE IMMISSIONI .....</b>	<b>30</b>
4.1	MODELLO POLLUMAP .....	30
4.2	DETERMINAZIONE VALORE DI FONDO .....	31
<b>5</b>	<b>RISULTATI E DISCUSSIONE.....</b>	<b>33</b>
5.1	EMISSIONI .....	33
5.1.1	CATASTO DELLE EMISSIONI.....	33
5.1.2	RIPARTIZIONE DELLE FONTI DI EMISSIONE ALL'INTERNO DEL CANTONE.....	38
5.2	IMMISSIONI .....	43
5.2.1	MAPPE.....	43
5.2.2	“ALPENFAKTOR” .....	45
5.2.3	VALIDAZIONE DEL MODELLO.....	46
5.3	MAPPE ED ESPOSIZIONE DEGLI ABITANTI.....	52
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>56</b>
<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>57</b>
	<b>ALLEGATI .....</b>	<b>59</b>

L'allestimento di questo documento è stato curato dallo studio IFEC Consulenze SA a Rivera (Dr. Angelo Bernasconi, Dipl. Phys. ETH; Dr. Mike Campana, dipl. kult-ing. ETH; ing. Rffaella Piffarero, dipl. geologia Uni Losanna).

## 1 Introduzione

### 1.1 Premessa

A partire dal 1997 sono stati introdotti in Ticino dei Piani di Risanamento dell'aria (PRAL Luganese [1], PRAM Mendrisiotto [2] e Comparto Sopraceneri [3]) promossi dall'Ufficio aria, clima e energie rinnovabili (UACER), ente cantonale preposto alla protezione della qualità dell'aria.

La capacità delle strutture viarie e soprattutto la qualità dell'aria (quest'ultima valutata con il parametro degli ossidi d'azoto,  $\text{NO}_x$ ) sono fortemente influenzate dal traffico motorizzato. La gestione del traffico è un'importante base per la delimitazione, la gestione e lo sviluppo sostenibile del territorio.

Oggi, a distanza di qualche anno dai precedenti studi, si ritiene opportuno valutare nuovamente l'evoluzione degli inquinanti, in questo contesto il presente studio si propone principalmente di aggiornare le mappe di emissione di  $\text{NO}_x$  e di immissioni di biossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ) su tutto il territorio cantonale. Prima di presentare i risultati di tale aggiornamento sono tuttavia riportate delle valutazioni sui calcoli previsionali eseguiti nel passato e inseriti nei documenti dell'Autorità citata.

### 1.2 Obiettivi

Gli obiettivi principali di questo documento sono:

- esprimere un apprezzamento della corrispondenza tra le simulazioni POLLUMAP e valori misurati in base ai dati disponibili provenienti dai precedenti studi (PRAL, PRAM e Sopraceneri) e proporre possibili ottimizzazioni del modello;
- aumentare la qualità dei dati di base da inserire nella simulazione, composti dalle principali fonti di emissione di  $\text{NO}_x$  prodotte dai processi di combustione (trasporti, economie domestiche, edilizia, primario e hobbies e giardinaggio, processi e macchine industriali).
- calcolare le emissioni stradali di  $\text{NO}_x$  in base alla versione del Modello Informatizzato dei Coefficienti di Emissione vers. 3.1 (HBEFA<sup>1</sup> [6]);
- rappresentare graficamente le emissioni di  $\text{NO}_x$ ;
- calcolare e rappresentare graficamente le immissioni totali di  $\text{NO}_2$ ;
- calcolare l'esposizione della popolazione ticinese all'inquinante  $\text{NO}_2$ .

Il presente studio mira a fornire indicazioni quantitative sull'inquinamento atmosferico (in particolare generato dal traffico). A tale scopo verranno aggiornati il catasto delle emissioni di  $\text{NO}_x$  e le mappe dell'inquinamento di  $\text{NO}_2$  sia per lo stato attuale (anno 2012) e per uno scenario temporale di medio - lungo termine (anno 2025).

---

<sup>1</sup> HBEFA è la sigla di „Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs“.

### **1.3 Perimetro di studio**

#### **1.3.1 *Delimitazione geografica***

Il perimetro di studio comprende il territorio del Canton Ticino suddiviso nelle macro regioni del Mendrisiotto, del Luganese e del Sopraceneri (cfr. Allegato 1).

#### **1.3.2 *Delimitazione temporale***

I calcoli e le rappresentazioni grafiche si riferiscono a due orizzonti temporali:

- situazione di riferimento: anno 2012;
- scenario futuro: anno 2025.

I valori e le mappe riprodotte in questo studio si riferiscono sempre una situazione media annua.

## 2 Confronto e verifica modello 2010 con valori misurati

### 2.1 Confronto valori NO<sub>2</sub> misurati e calcolati

Nei precedenti studi nell'ambito dei diversi Piani di risanamento cantonali dell'aria (cfr. Piano di Risanamento dell'Aria del Luganese (PRAL), 2005 [1], Piano di Risanamento dell'Aria del Mendrisiotto (PRAM), 2005 [2]; Piano di Risanamento dell'Aria Comparto Sopraceneri, 2008 [3]) erano state simulate le previsioni di immissioni di NO<sub>2</sub> per l'anno 2010 scenario futuro. Prima di iniziare l'aggiornamento delle mappe è stata effettuata una verifica dell'attendibilità di tali previsioni. Sono stati raccolti i dati relativi ai campionatori passivi sul territorio cantonale per il periodo 2009-2011<sup>2</sup> (cfr. Allegato 2), la media di questi valori misurati è stata quindi paragonata con la media delle immissioni calcolate con POLLUMAP (il valore simulato utilizzato per il confronto corrisponde alla media dei valori simulati medi annui dei 4 centri ettaro più vicini al campionatore passivo sotto analisi).

I risultati del confronto effettuato tra le simulazioni precedenti e i dati dei campionatori passivi 2010 (media 2009-2010-2011) sono presentati nel cap. 2.2.

Dal confronto sono stati scartati i campionatori che presentano condizioni particolari che rende complicata una corretta restituzione del valore simulato da parte del modello. Le caratteristiche che determinano l'eliminazione del campionatore sono:

- vicinanza a strade cantonali o all'A2 (pochi metri): la risoluzione dell'output del modello (100 m x 100 m) permette solo parzialmente di simulare le condizioni particolari esistenti nei primissimi metri di distanza da una strada fortemente trafficata .
- orografia: il modello POLLUMAP considera solo indirettamente l'orografia (tramite la determinazione del valore di fondo che dipende dall'altitudine), mentre il modulo di diffusione dell'inquinante dalla sorgente non considera nessun tipo di orografia.
- abitati zone remote: alcuni campionatori situati a elevata altitudine presentano valori misurati estremamente bassi i quali sono difficilmente riproducibili dal modello che vuole simulare il più possibile fedelmente le immissioni in un comparto antropizzato su cui il modello di simulazione è calibrato.
- grandi generatori di traffico (GGT): la previsione del traffico per la rete stradale 2010 disponibile al momento della simulazione non contemplava determinate opere di pianificazione della viabilità, pertanto la simulazione non contempla queste sorgenti di emissione di NO<sub>x</sub> (p. es. area commerciale a S. Antonino).

La lista dei campionatori scartati con le relative motivazioni è riportata all'Allegato 3.

---

<sup>2</sup> Si sceglie di utilizzare per il confronto il valore medio tra i 3 anni per evitare che l'effetto di eventuali particolari condizioni atmosferiche verificatesi durante l'anno di riferimento condizionino il valore dei campionatori passivi utilizzati per il confronto.

## **2.2 Confronto tra le simulazioni 2010 con le immissioni misurate**

### **2.2.1 Valutazioni e confronti**

L'apprezzamento della qualità della proiezione futura delle simulazioni POLLUMAP dei precedenti studi (PRAL, PRAM e Sopraceneri) è stato effettuato confrontando i valori simulati in passato per lo scenario 2010 con le concentrazioni effettivamente misurate nell'ambito del monitoraggio ambientale.

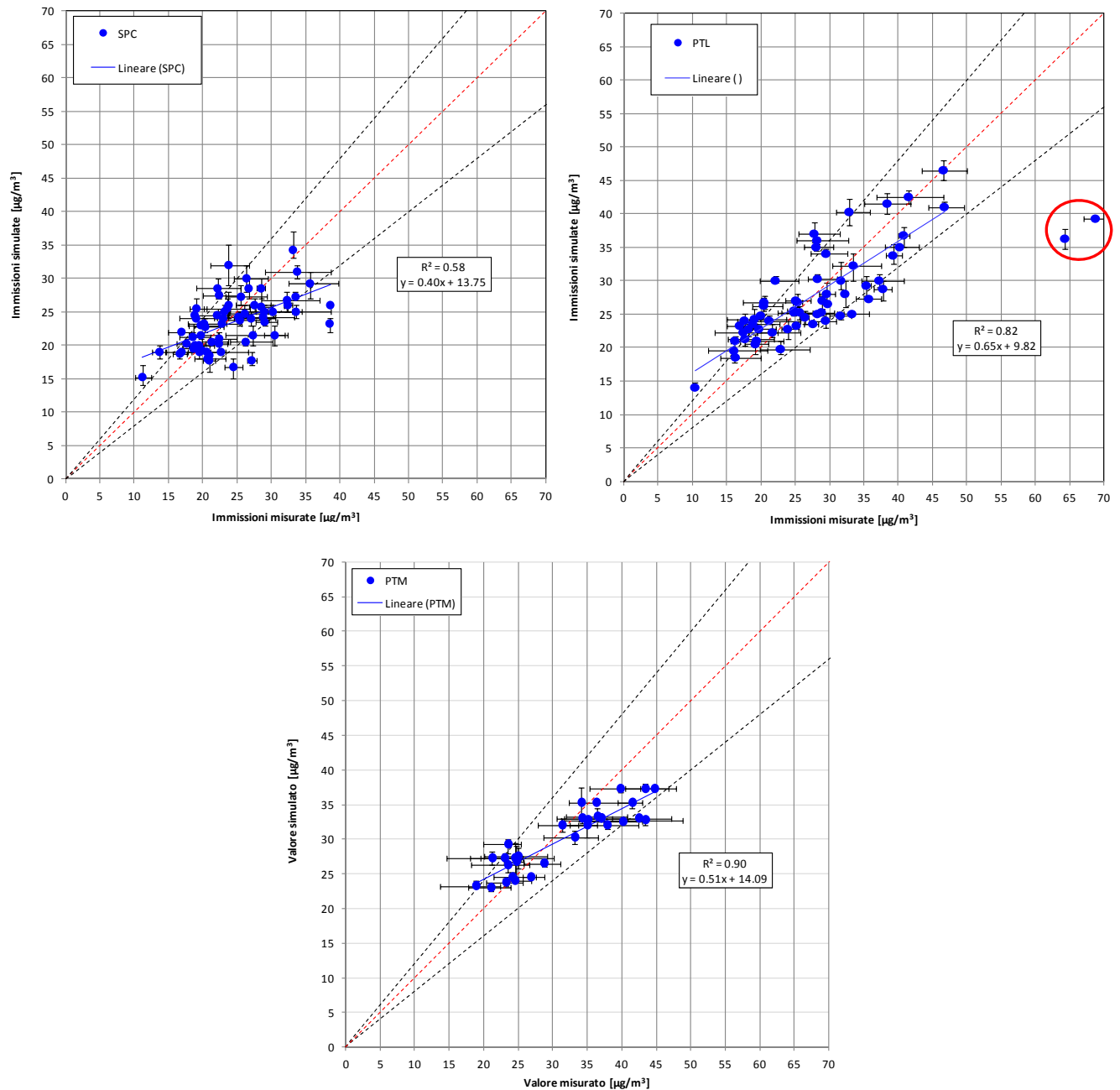
La qualità della simulazione nello scenario 2010 è stata valutata in base a:

- capacità di previsione spaziale (idoneità del modello a ripartire le emissioni/immissioni all'interno dell'area di studio);
- capacità di previsione temporale.

Il procedimento seguito comprende:

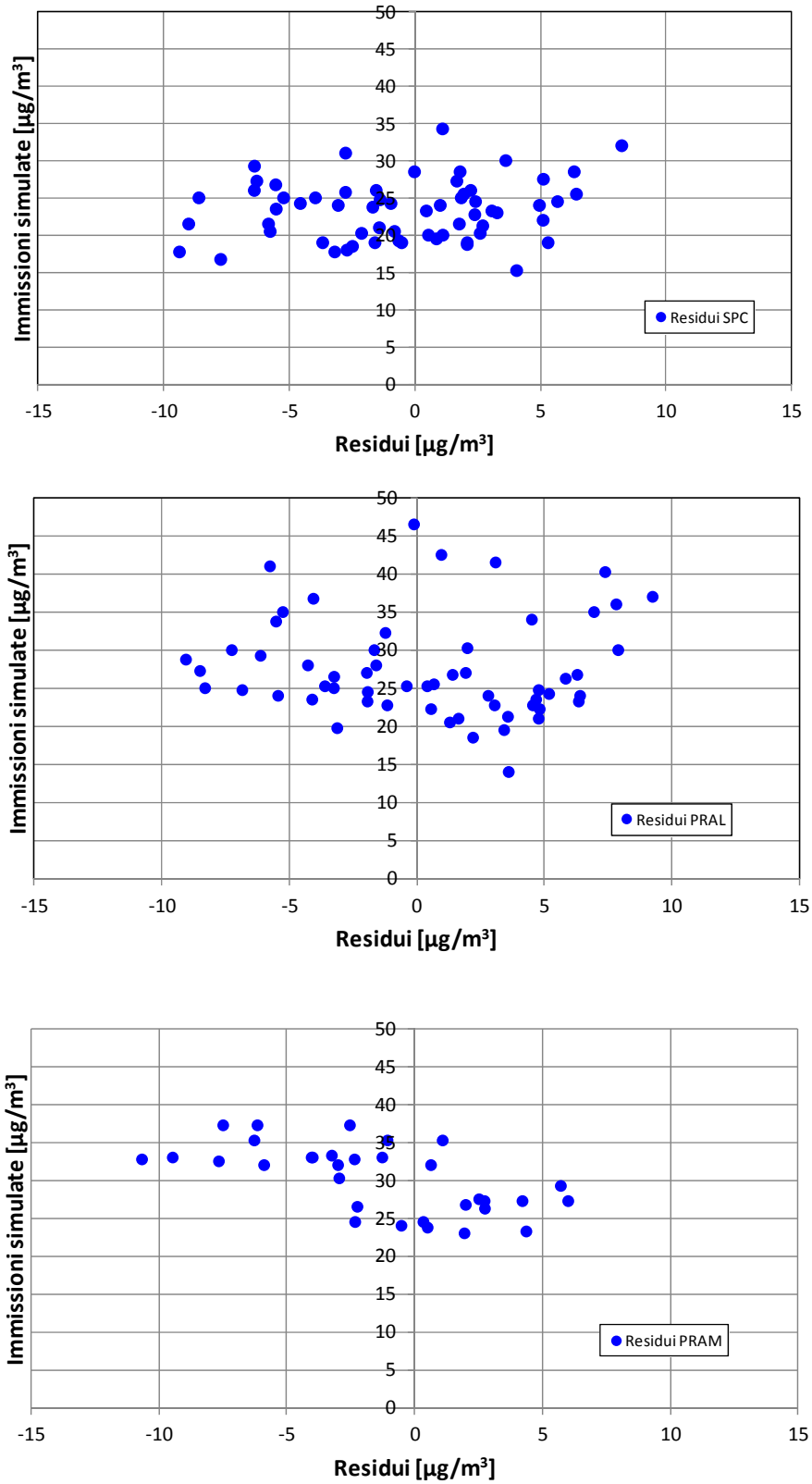
- la rappresentazione grafica dei valori simulati dal modello in funzione dei valori misurati nei campionatori passivi nei vari comparti di studio;
- l'analisi grafica (apprezzamento qualitativo della dispersione della nuvola di punti, e valutazione dell'allineamento dei punti intorno alla retta dell'identità  $X=Y$ );
- l'analisi statistica (valutazione quantitativa dei parametri scelti tramite analisi grafica)
  - valutazione di  $R^2$ : coefficiente di correlazione che esprime l'interdipendenza tra le due variabili ( $X=$  immissioni misurate e  $Y=$ immissioni simulate);
  - valutazione dei valori: coefficiente angolare ( $a$ ) e ordinata all'origine ( $b$ ) della regressione lineare ( $Y = aX + b$  con idealmente  $a=1$  e  $b=0$ ; retta dell'identità  $X=Y$ ).

Nella Figura 1 sono rappresentati i valori simulati in funzione dei valori misurati nei campionatori passivi nel periodo 2009-2011, in ogni grafico è rappresentato il coefficiente di correlazione  $R^2$  e i due parametri  $a$  e  $b$ , mentre la Figura 2 rappresenta i residui corrispondenti allo scarto tra i valori simulati e misurati.



**Figura 1** Confronto fra valori di immissione misurati (2009 – 2011) e simulati con POLLUMAP (simulazioni orizzonte temporale 2010) per i diversi comparti. In alto a sinistra il comparto Sopraceneri (scenario di riferimento 2010,  $A(t) = 32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), in alto a destra il Luganese (PRAL, scenario Zt base 2010,  $A(t) = 38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), in basso a sinistra il Mendrisiotto (PRAM, scenario Zt base 2010,  $A(t) = 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Le linee continue blu rappresentano la regressione lineare dei valori. Le linee tratteggiate nere costituiscono le rette con scarti  $\pm 20\%$  rispetto alla retta con pendenza 1 (linea tratteggiata rossa). Cerchiati in rosso i due campionatori passivi non considerati nella valutazioni statistiche del modello PRAL (per maggiori dettagli cfr. cap. 2.2.1).





**Figura 2** Distribuzione dei residui in relazione ai valori simulati per i tre comparti in oggetto (in alto Sopraceneri, in centro Luganese e in basso Mendrisiotto). Per il Luganese sono stati esclusi dalla rappresentazione i residui già citati in Figura 1.

### 2.2.1 Situazioni di inquinamento particolare

Nel grafico relativo al PRAL si notano due valori che si discostano notevolmente dalla nuvola di punti. I due valori (cfr. Tabella 1) non sono stati considerati nelle valutazioni statistiche perché poco rappresentativi della qualità generale del modello:

**Tabella 1** *Descrizione e coordinate geografiche dei due campionatori passivi non considerati nella valutazioni statistiche del modello PTL.*

X	Y	Z	CAP	Comune	Location	Location code
716587	96877	385	6900	Massagno	Via S.Gottardo 91	556.02
717059	95540	283	6900	Lugano	Lungolago- Zegna	552.21

Per quanto riguarda questi due punti si ipotizzano condizioni locali particolari:

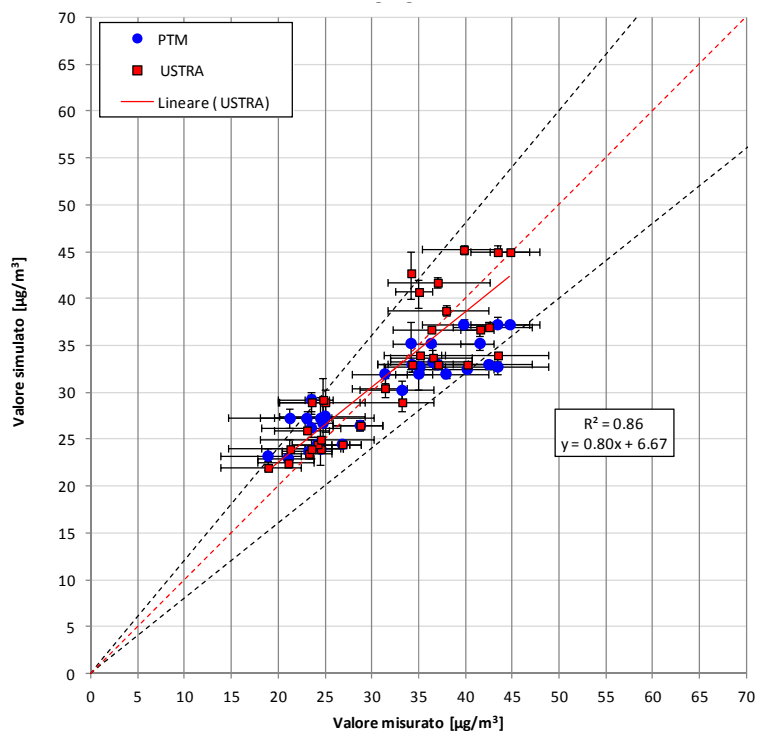
- 556.02 Massagno: vicinanza della fermata dell'autobus importante fenomeno di colonna (circolazione fortemente congestionata che presuppone puntualmente la scelta di fattori di emissione più elevati)
- 552.21 Lugano (Lungolago): vicinanza del cantiere LAC (fenomeno temporaneo non contemplato nel modello previsionale PRAL) che prevede anche traffico cantieristico via lago e maggior congestionamento della strada rispetto alle indicazioni del modello cantonale del traffico.

### 2.2.2 Confronto con studio dell'Ufficio federale delle strade

Per il comparto del Mendrisiotto è stato recentemente eseguito uno studio analogo che doveva quantificare l'effetto sulla qualità dell'aria di una misura di gestione del traffico con riduzione parziale della velocità sull'A2 (studio USTRA; cfr. [5]) per l'orizzonte temporale 2012 (stato attuale). La Figura 3 mostra un confronto tra i valori calcolati e i valori misurati per la simulazione USTRA e quella del PRAM. La corrispondenza tra restituzione del modello e valori sperimentali per lo studio USTRA 2012, risulta migliore se confrontata con quella ottenuta utilizzando le simulazioni del PRAM, in particolare per le concentrazioni più elevate di NO<sub>2</sub>. Dato che la differenza tra gli orizzonti temporali 2010 e 2012 risulta essere molto contenuta, la differenza tra queste due correlazioni è verosimilmente da attribuire alla migioria del modello apportata attraverso la maggior qualità dei dati di base.

Nei dati di base utilizzati per la simulazione effettuata nel 2012 si riscontra infatti:

- una rete viaria più completa e capillare;
- maggiori informazioni sul fenomeno del congestionamento;
- migliori dati di base per le altre emissioni (p. es. catasto caldaie georeferenziato);



**Figura 3** Confronto tra i valori simulati e i valori misurati per le due simulazioni effettuate nel Mendrisiotto. In blu la simulazione dell'“orizzonte futuro 2010”<sup>3</sup> nell'ambito del PRAM 2005 (●) e in rosso la simulazione dello “stato attuale 2012” nell'ambito dello studio USTRA 2012 (■).

### 2.2.3 Considerazioni

I valori simulati di immissioni di NO<sub>2</sub> sono globalmente più elevati nel Mendrisiotto e più bassi nel Sopraceneri<sup>4</sup>.

La Tabella 2 riassume i valori dei tre parametri scelti per la valutazione statistica della validità della restituzione del modello, mentre la Tabella 3 propone un sistema empirico di classificazione della bontà del modello in base ai tre parametri considerati.

<sup>3</sup> Il modello del PRAM prevedeva differenti scenari di calcolo a seconda dell'evoluzione del traffico, il confronto qui effettuato si basa sullo scenario Zt base.

<sup>4</sup> Sopraceneri: Media valori misurati: 24.3 µg/m<sup>3</sup> e Media valori di calcolo 23.4 µg/m<sup>3</sup>;  
Luganese: Media valori misurati: 28.4 µg/m<sup>3</sup> e Media valori di calcolo 27.9 µg/m<sup>3</sup>;  
Mendrisiotto PRAM: Media valori misurati: 31.7 µg/m<sup>3</sup> e Media valori di calcolo 30.3 µg/m<sup>3</sup>;  
Mendrisiotto USTRA: Media valori misurati: 31.7 µg/m<sup>3</sup> e Media valori di calcolo 32 µg/m<sup>3</sup>

**Tabella 2** Valori dei coefficienti statistici scelti per la valutazione della corrispondenza valori simulati/valori misurati per i tre modelli di proiezione temporale 2010 (PRAL; PRAM e Sopraceneri).

Comparto	R <sup>2</sup>	a	b
Sopraceneri	0.58	0.40	13.75
Luganese PRAL	0.82	0.65	9.82
Mendrisiotto PRAM	0.90	0.51	14.09
Mendrisiotto USTRA	0.86	0.80	6.67

**Tabella 3** Matrice di classificazione della corrispondenza modello/misure in base ai tre parametri considerati (PRAL; PRAM e Sopraceneri). Il modello che ha un valore del parametro più vicino all'obiettivo (idealmente R<sup>2</sup>=1; a=1 e b=0) riceve un punteggio di 1 mentre quello più lontano un punteggio di 4.

Comparto	R <sup>2</sup>	a	b	Punteggio	Rango
Sopraceneri	4	4	3	11	4
Luganese PRAL	3	2	2	7	2
Mendrisiotto PRAM	1	3	4	8	3
Mendrisiotto USTRA	2	1	1	4	1

Sulla base della valutazione empirica la corrispondenza tra i valori misurati e i valori simulati risulta essere migliore nel Luganese. Tale relazione è più debole nel Sopraceneri, mentre che nel Mendrisiotto la corrispondenza tra le due grandezze si pone in una situazione intermedia.

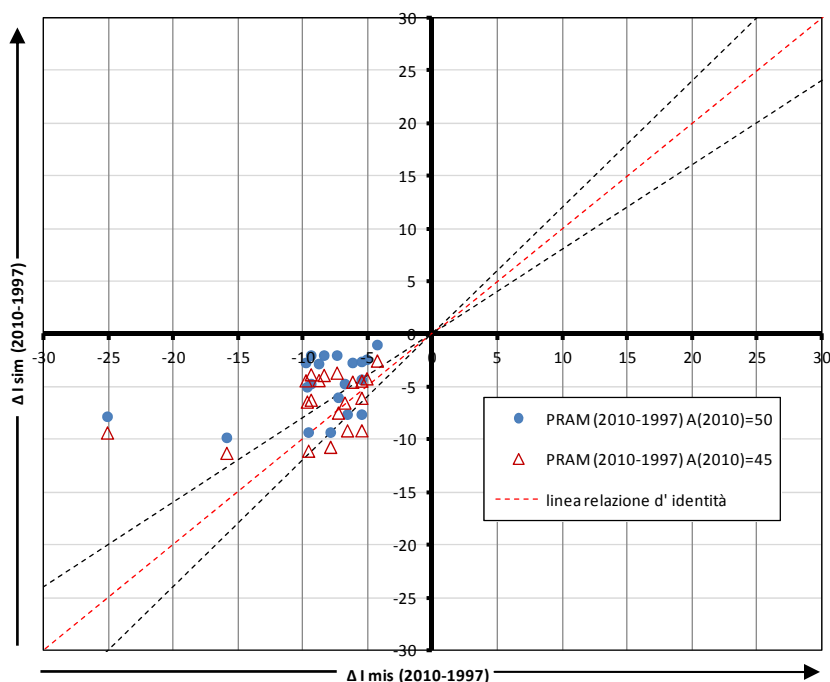
Osservando quanto ottenuto nel Mendrisiotto con la recente simulazione svolta nell'ambito dell'incarico USTRA si deduce l'importanza di disporre di dati di base di qualità (rete stradale capillare, catasto caldaie, congestionamento, ecc.).

### 2.3 Sensitività del modello

La Figura 4 rappresenta la variazione dei valori di NO<sub>2</sub> misurati e simulati tra i due orizzonti temporali disponibili per il comparto del Mendrisiotto.

Il confronto tra le differenze nei valori misurati ( $\Delta_{\text{mis}} = \text{valori misurati 2010} - \text{valori misurati 1997}$ ) e le differenze nei valori simulati ( $\Delta_{\text{sim}} = \text{valori simulati previsione 2010} - \text{valori simulati stato attuale 1997}$ ) evidenzia in entrambi i casi una diminuzione generalizzata delle immissioni di NO<sub>2</sub> per i valori misurati dovuta in particolar modo alla migioria tecnica dei veicoli. La tendenza evolutiva del modello rispecchia la tendenza evolutiva delle misure. I valori simulati da POLLUMAP mostrano una riduzione, anche se più contenuta rispetto a quella sperimentale.

Nell'ambito delle simulazioni del PRAM, il parametro di fondo è stato mantenuto costante, pari a  $A(t) = 50$ , se si adegua il valore di fondo utilizzato per la previsione 2010 al miglioramento tecnologico si aumenta leggermente la corrispondenza tra valori misurati e simulati.



**Figura 4** Confronto tra le variazioni della misura di  $\text{NO}_2$  tra gli anni 1997-2010 per il comparto Mendrisiotto. In blu (●) i risultati della simulazione con il valore di fondo originale e in rosso (Δ) con il valore di fondo aggiornato e utilizzato per le valutazioni nello studio USTRA 2012. Tutti i punti risultano trasposti verso valori più bassi per un delta compreso tra  $1.4$  e  $1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 2.4 Valutazione complessiva sul confronto e sulla verifica dei modelli precedenti

Il modello POLLUMAP rappresenta un utile mezzo di valutazione per l'inquinamento generato da fonti inquinanti a grande impatto come il traffico autostradale o le emissioni stazionarie: le verifiche svolte indicano che l'andamento generale delle immissioni degli ossidi di azoto è stato riprodotto in modo convincente e soddisfacente pure in forma previsionale (cfr. mappe 2010).

Il modello non sempre permette di riprodurre fedelmente situazioni particolari come quelle che si presentano in stazioni remote (in particolare se l'area di studio è molto variegata e vasta) e la sua risoluzione non è sempre adatta a descrivere quelle situazioni particolari che si presentano in punti di misura "troppo" prossimi alle sorgenti di inquinanti (coincidenti, dove pure tuttavia la simulazione della sorgente a volte non è ancora esaustiva). L'analisi esposta al cap. 2.3 mostra che, la tendenza evolutiva del modello rispecchia la tendenza evolutiva delle misure, ovvero la differenza tra la simulazione e i valori misurati è simile sia per lo "stato attuale" che per lo scenario futuro. Il grado di precisione ottenuto tramite il modello è simile sia per le rappresentazioni dello stato attuale sia per le rappresentazioni dello stato futuro.

Le recenti simulazioni (cfr. studio USTRA [5]) lasciano presupporre che l'introduzione di dati di base più dettagliati (catasto caldaie, rete stradale più capillare, congestionamento, ecc.) si traduca in un miglioramento della restituzione del modello.

Un aggiornamento delle mappe di immissione di  $\text{NO}_2$  appare pertanto interessante e giustificato alla luce della diminuzione generalizzata delle emissioni e delle migliorie apportate ai dati di base del modello (p.es. rete del traffico più capillare, informazioni sul congestionamento, catasto georeferenziato degli impianti di combustione, ecc.).

## 3 Calcolo delle emissioni

### 3.1 Traffico stradale

#### 3.1.1 *Emissioni sulle strade*

I calcoli delle emissioni stradali si basano sui dati del modello cantonale di traffico (“Trend 2025+” e “2007Stato”) con 2 orizzonti temporali: 2007 e 2025, che è stato fornito dalla Sezione della mobilità. La rete stradale che lo caratterizza si compone di ca. 106'000 segmenti stradali, per ognuno dei quali il traffico è descritto in base alla categoria di veicoli: pesanti e leggeri e volumi di traffico sono riferiti a un giorno feriale medio (cfr. Allegato 4 per anno 2007).

La rete stradale dell'anno 2025 comprende alcune modifiche in base ai progetti di costruzione di nuovi assi stradali. Le principali differenze sono:

- Nuovo asse Mendrisio-Gaggiolo
- Galleria Vedeggio-Cassarate e nuovo piano viario delle città di Lugano (l'orizzonte 2012 non comprende la nuova galleria).

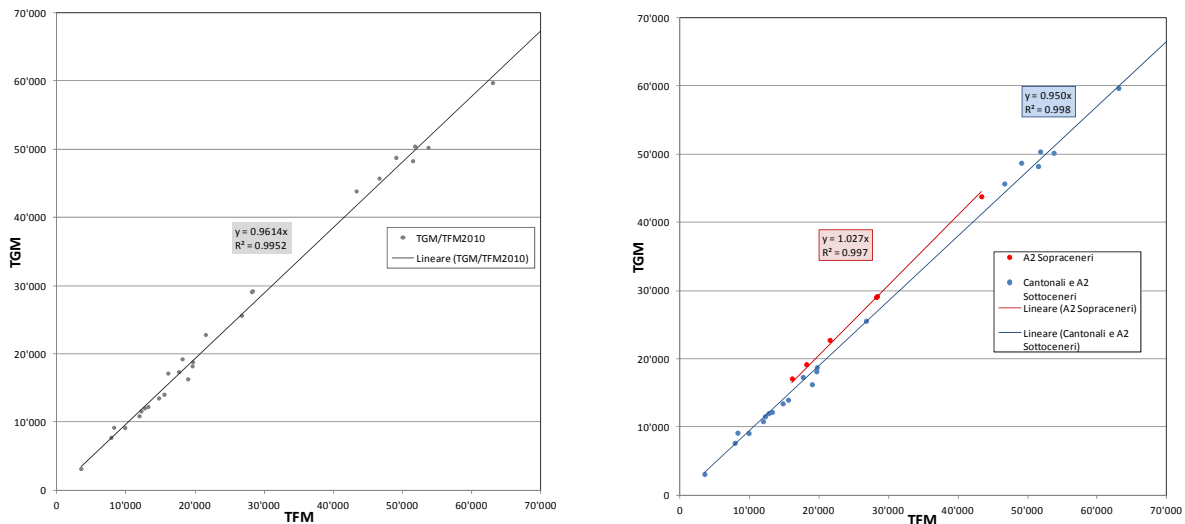
##### 3.1.1.1 Trasformazione da TFM a TGM

Considerato che l'impatto sull'inquinamento dell'aria è determinato da tutti i giorni della settimana si è dovuto mettere a punto una funzione di conversione da traffico feriale medio (TFM) a traffico giornaliero medio (TGM). Per determinare la funzione di conversione dei valori da TFM a TGM ci si è basati sui dati delle postazioni automatiche di conteggio del traffico.

Nella Figura 5 a sinistra, sono rappresentati graficamente i dati delle 30 stazioni di conteggio automatico (13 sull'autostrada e 17 sulla rete locale delle strade) a disposizione. L'insieme di punti è approssimabile con una relazione lineare semplice:

$$TGM = a \cdot TFM, \quad (1)$$

dove  $a = 0.96$ . Se si osserva più in dettaglio (cfr. Figura 5) è visibile una distinzione tra l'autostrada nel Sopraceneri e il resto della rete viaria (A2 Sottoceneri e rete locale). I conteggi situati sull'A2 a nord di Bellinzona presentano una costante di proporzionalità superiore a 1 (mentre per il resto della rete viaria vale  $a \leq 1$ ). In altre parole si constatata che per la maggior parte della rete viaria cantonale, il traffico settimanale è superiore al traffico del fine settimana con unica eccezione del tratto autostradale a nord di Bellinzona.



**Figura 5** Rappresentazione grafica dei valori di TGM in funzione dei rispettivi valori di TFM delle 30 stazioni di conteggio automatico (per l'anno 2010).

Si è quindi deciso di applicare, sia per il 2012 che per il 2025, un coefficiente generale sulle cantonali e sull'A2 nel Sottoceneri e uno particolare per la A2 nel Sopraceneri come descritto nella Tabella 4:

**Tabella 4** Coefficienti di proporzionalità per la conversione tra TFM e TGM secondo l'equazione (1).

Tratta	a
A2 Sopraceneri	1.03
A2 Sottoceneri	0.95
Rete locale Sopraceneri	0.95
Rete locale Sottoceneri	0.95

### 3.1.1.2 Proiezione dati traffico per l'anno 2012

Per il presente studio sono stati scelti come orizzonti temporali l'anno 2012 e l'anno 2025. Mentre per quest'ultimo si possono utilizzare direttamente i dati contenuti nel modello di traffico, per il 2012 è stato necessario ricavare i dati di traffico partendo dai dati riferiti al 2007. A tale scopo si è proceduto differenziando l'autostrada, che rappresenta un notevole volume di traffico, dalle altre strade.

L'autostrada è stata suddivisa in "tronconi", ognuno dei quali determina un tratto di autostrada compreso tra un'entrata e un'uscita. Per ognuno di questi tronconi è stato calcolato un incremento partecolareggiato utilizzando un sistema di interpolazione tra i dati disponibili. Il procedimento utilizzato per l'interpolazione prevede la costruzione dei valori compresi tra il dato del conteggio (per comodità

valore 2007)<sup>5</sup> e il valore del modello cantonale 2025. La rappresentazione grafica di questo procedimento è disponibile all'Allegato 6.

L'interpolazione si basa sull'equazione (2), che descrive l'evoluzione del traffico considerando un tasso di crescita  $\alpha$  costante:

$$TGM_{2007+n} = TGM_{2007} (1 + \alpha/100)^n, \quad (2)$$

dove per il traffico giornaliero medio del 2007 si utilizza il valore effettivamente misurato e non quello contenuto nel modello di traffico 2007<sup>5</sup>, che in generale appare troppo elevato. I valori  $\alpha$  variano a seconda delle tratte e quelli utilizzati nei calcoli sono riassunti nella Tabella 5 assieme ai TGM del 2007. Si riconosce come i volumi di traffico e i relativi fattori di crescita aumentino progressivamente in direzione dei due principali poli di Lugano e Bellinzona.

**Tabella 5** *Evoluzione del traffico sulle diverse tratte autostradali nell'area di studio: traffico giornaliero medio nel 2007 e fattore  $\alpha$  di crescita annuo. Per Camignolo è riportato il fattore di crescita corretto.*

Tratta	Contatore	TGM 2007 (v/d)	$\alpha$
Chiasso Dogana – Chiasso	Chiasso (77)	36'632	1.29
Chiasso – Mendrisio	Mendrisio (199)	48'865	1.4
Mendrisio – Melide/Bissone	Maroggia (908)	58'362	1.83
Melide/Bissone – Lugano Sud	Grancia (76)	63'915	1.9
Lugano Sud - Lugano Nord	Circonvall. Lugano (908)	47536	3.5
Lugano Nord – Rivera	Camignolo (289)	49620 <sup>6</sup>	1.14
Rivera - Bellinzona Sud	Monte Ceneri (137)	43976 <sup>6</sup>	1.25
Bellinzona Sud - Bellinzona Nord	Circonvall. Bellinzona (100)	38186 <sup>6</sup>	4.46
Bellinzona Nord – Biasca	Biasca Sud (166)	27892	1.68
Biasca – Faido	Lavorgo (204)	21539	1.48
Faido – Quinto	-	-	1.97
Quinto – Airolo	Quinto (293)	17863 <sup>6</sup>	2.34
Airolo - Galleria S. Gottardo	Galleria S. Gottardo (150)	16624	2.45

Anche per le strade cantonali si è determinato un fattore di crescita annuo. Tuttavia, in considerazione dei numerosi segmenti che costituiscono la rete viaria locale, si è optato per un fattore di crescita univoco per comparto (Sopraceneri, Luganese e Mendrisiotto). Per determinare tale fattore è stata analizzata la crescita prevista dal modello di traffico per il periodo dal 2007 al 2025. La maggior parte delle strade presenta un valore di crescita mediano complessivo (per i 18 anni) compreso tra l'1.14 del Sopraceneri e l'1.28 del Luganese. La rappresentazione grafica dei risultati in forma di istogramma è disponibile nell'Allegato 7.

<sup>5</sup> Per la costruzione dei valori TGM 2012 viene di regola utilizzato il valore del conteggio 2007 (che corrisponde al valore realmente misurato per lo stesso orizzonte temporale dell'altro modello cantonale a disposizione "shape-stato2007") il quale viene interpolato linearmente con il valore del modello cantonale 2025. Quando il valore del conteggio 2007 non è disponibile si utilizza il valore 2010.

<sup>6</sup> Conteggi per i quali non è disponibile un dato 2007, che è stato ricostruito a partire dal conteggio 2010 applicando l'inverso della relazione (2).

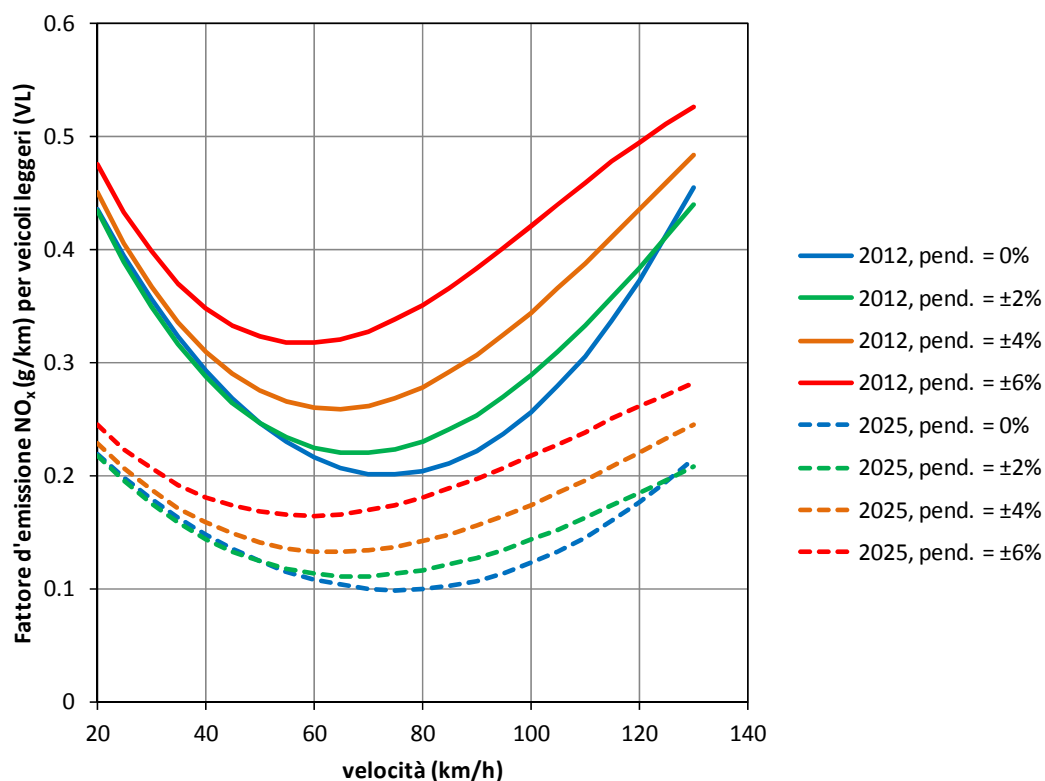


**Tabella 6** Tabella riassuntiva dei valori di crescita mediani tra il 2007 il 2025 e dei fattori  $\alpha$  di crescita annua corrispondenti secondo la relazione (2), per i tre comparti di studio.

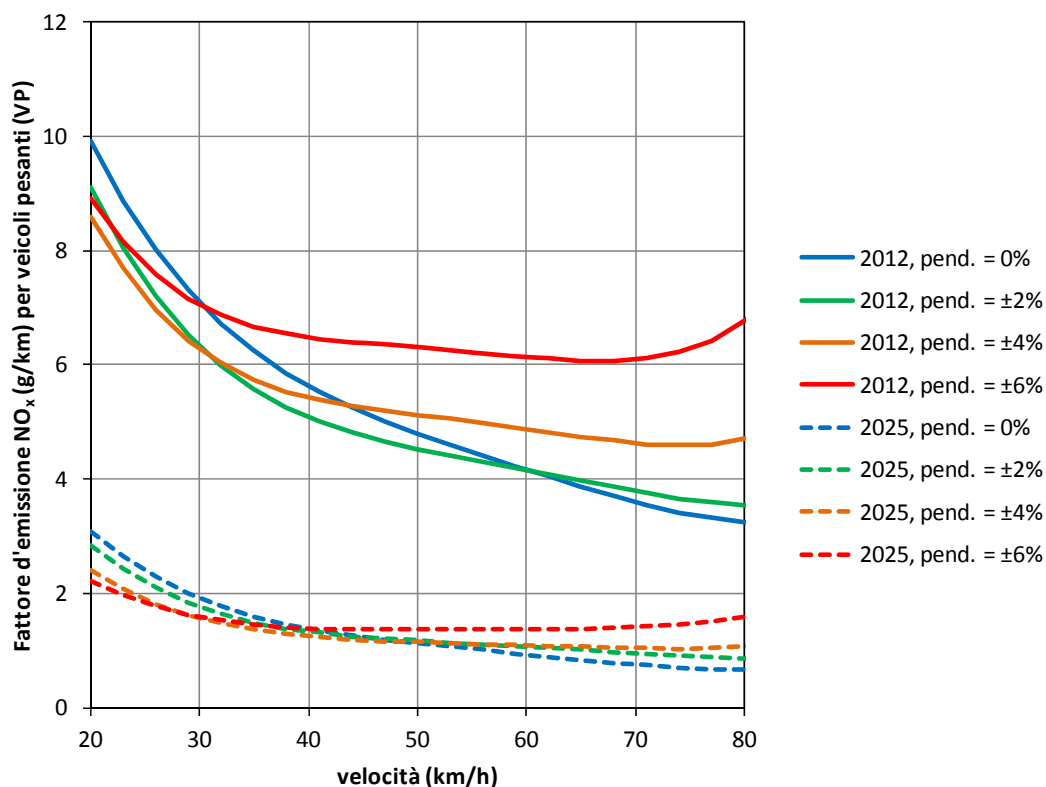
Comparto	Fattore mediano	$\alpha$
Sopraceneri	0.58	13.75
Luganese PRAL	0.82	9.82
Mendrisiotto PRAM	0.90	14.09

### 3.1.1.3 Fattori di emissione per i veicoli leggeri e pesanti

I fattori di emissione di NO<sub>x</sub> dei veicoli leggeri (VL) e dei veicoli pesanti (VP) sono stati estratti dalla banca dati HBEFA 3.1 [6]. Essi dipendono dalla velocità, dalla pendenza della strada e dall'anno di riferimento (2012 e 2025). La Figura 6 mostra i fattori di emissione per il 2012 e per il 2025 per i veicoli leggeri, mentre la Figura 7 raffigura quelli dei veicoli pesanti. Si osserva come i veicoli pesanti abbiano dei fattori di emissione 8-24 (anno 2012), rispettivamente 4-14 (anno 2025), volte maggiori rispetto ai veicoli leggeri. In generale i fattori di emissione di NO<sub>x</sub>, per pendenze inferiori a 2%, raggiungono un minimo attorno alla velocità di 80 km/h.



**Figura 6** Fattori di emissione per i veicoli leggeri (VL) in funzione della velocità, della pendenza della strada e dell'anno (2012, 2025) in base alla banca dati HBEFA vers. 3.1 [6].



**Figura 7** Fattori di emissione per i veicoli pesanti (VP) in funzione della velocità, della pendenza della strada e dell'anno (2012, 2025) in base alla banca dati HBEFA vers. 3.1 [6].

#### 3.1.1.4 Congestionamento

In alcuni punti della rete stradale si formano notoriamente forti rallentamenti e colonne. Durante fenomeni di questo tipo l'emissione di inquinante di un veicolo non dipende unicamente dai parametri considerati nel cap. 3.1.1.3, ma anche dall'emissione di un veicolo prodotta in condizioni di ripetute soste e fasi di accelerazione.

Il grado di congestionamento è stato considerato in base al grado di saturazione (G.Sat)<sup>7</sup> della rete stradale, calcolato sulla base delle simulazioni dei volumi di traffico e delle capacità delle strade contenute nei Modelli cantonali del traffico. L'informazione sui volumi di carico è disponibile per le due fasce orarie di punta (ora di punta mattutina 7-8 e serale 17-18<sup>8</sup>) per i due orizzonti temporali disponibili 2007 e 2025. Il grado di saturazione attribuito alla strada viene definito come il più alto dei due calcolati nell'ora di punta mattutina e serale, in un'ottica conservativa (cfr. Allegato 8). Un grado

<sup>7</sup> Il Grado di saturazione (G.Sat) di una strada rappresenta uno strumento di misura della capacità della strada a sopportare determinato volume di traffico, per il calcolo è stata utilizzata la relazione:

$$\text{Grado di saturazione} = (VL + 2 \cdot VP) / \text{capacità massima strada}$$

L'informazione sulla capacità massima di traffico sopportabile da una strada è contenuta nel modello cantonale di traffico ed è disponibile sia per il 2007 che per il 2025.

<sup>8</sup> MSP Shape-Stato 2007: modello cantonale 2007 ora di punta mattutina;  
 ASP Shape-Stato 2007: modello cantonale 2007 ora di punta serale;  
 ASP\_Obiettivo 2025: modello cantonale 2025 ora di punta mattutina;  
 MSP\_Obiettivo 2025: modello cantonale 2025 ora di punta serale.

di saturazione  $\leq 80\%$  corrisponde ad una situazione di traffico fluido, un grado di saturazione  $>80\%$  e  $\leq 95\%$  corrisponde ad una situazione di disagi al traffico limitati, mentre un grado di saturazione  $>95\%$  corrisponde ad una situazione di traffico congestionato/fortemente congestionato.

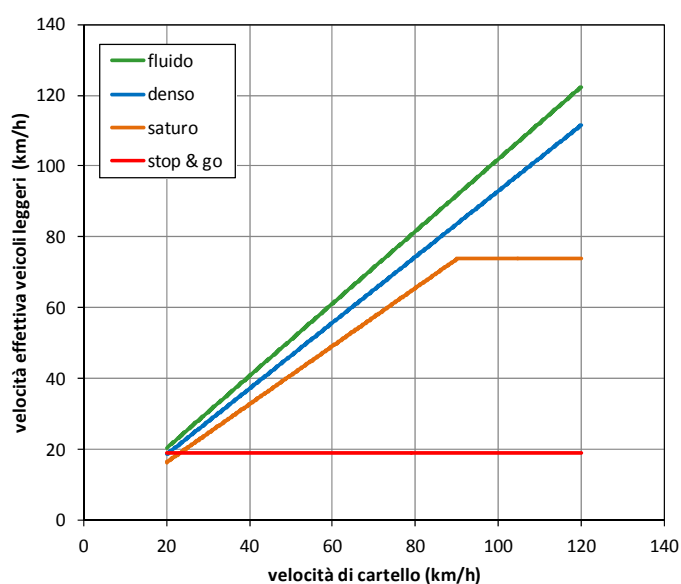
Il congestionamento è stato diviso in tre categorie corrispondenti ai tre gradi di saturazione (G.Sat; fluido, denso e congestionato) come riportato nella Tabella 7. In base al G.Sat proprio del link stradale considerato si definisce il suo fattore di emissione.

**Tabella 7** Composizione del fattore di emissione della strada considerata in base al Grado di saturazione raggiunto nel corso della giornata e alle categorie di emissione contenute nella banca dati HBEFA [6].

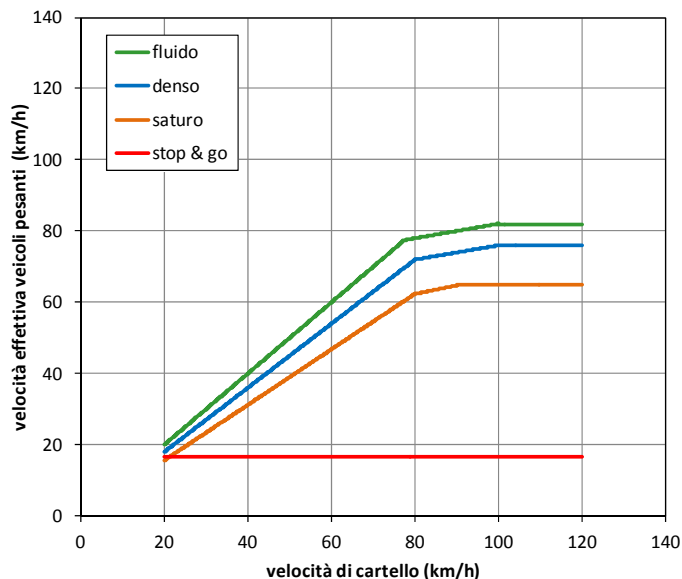
Cat. HBEFA \ G.Sat	G.Sat $\leq 80\%$	G.Sat $>80\%$ e $\leq 95\%$	G.Sat $>95\%$
Fluido (a)	100%	70%	55%
Denso (b)	0%	15%	15%
Saturo (c)	0%	15%	15%
Stop&Go (d)	0%	0%	15%

Analogamente a quanto eseguito per l'evoluzione dei TGM, per la rete viaria locale ad ogni segmento stradale corrisponde un unico grado di congestionamento, mentre per l'autostrada (e la semi-autostrada), ogni troncone autostradale e ogni direzione sono caratterizzati da un proprio grado di saturazione.

Utilizzando in seguito le curve caratteristiche della riduzione della velocità in funzione del livello di congestionamento elaborate a partire dalla banca dati HBEFA (cfr. Figura 8 e Figura 9), è possibile trovare la velocità effettiva dei veicoli e scegliere quindi il fattore di emissione corrispondente come definito nel cap. 3.1.1.3.



**Figura 8** Riduzione della velocità dei veicoli leggeri in funzione del grado di congestionamento definito in base alla banca dati HBEFA vers. 3.1 [6].



**Figura 9** Riduzione della velocità dei veicoli pesanti in funzione del grado di congestionamento definito in base alla banca dati HBEFA vers. 3.1 [6].

### 3.1.1.5 Calcolo emissioni stradali

Le emissioni stradali sono state calcolate moltiplicando, per tutte le tratte stradali, il TGM con la lunghezza del tratto stradale e il fattore di emissione. Come descritto in dettaglio nei capitoli precedenti, il fattore di emissione utilizzato dipende dalle seguenti variabili:

- tipo di veicolo (leggero o pesante);
- anno (2012 o 2025);
- pendenza della strada;
- velocità di cartello.
- grado di congestionamento proprio della strada.

I risultati dei calcoli delle emissioni stradali sono presentati al cap. 5.

### 3.1.2 **Emissioni a motore a freddo**

Le emissioni per partenza a freddo sono state calcolate sulla base dei dati relativi alle automobili in circolazione (anno di riferimento 2012, Ufficio cantonale di statistica [11]). Si è poi utilizzato un valore medio di 3.1 accensioni per veicolo<sup>9</sup> e i coefficienti di emissione per partenze a freddo tratti dal HBEFA vers. 3.1 [6] (per l'anno 2012). Il calcolo è stato eseguito in modo analogo ma separatamente per i tre comparti (Sopraceneri, Luganese e Mendrisiotto).

È inoltre stata considerata l'emissione da partenza a freddo dei veicoli di lavoratori frontalieri (auto non registrate nel Cantone) sulla base del numero dei lavoratori frontalieri attivi nel perimetro di studio e ammettendo che l'80% di essi si rechi sul posto di lavoro con l'auto. I risultati per l'area di studio sono riassunti nella Tabella 8.

<sup>9</sup> Sezione mobilità, Comunicazione telefonica

Gli ossidi di azoto espulsi dai motori a freddo sono da considerare come delle emissioni supplementari, che non si avrebbero se il motore fosse già avviato e caldo. Tali emissioni sono distribuite sulle aree edificate e edificabili (nuclei, zone residenziali e industriali) dei vari Comuni di ogni comparto di studio.

### 3.1.3 Grandi parcheggi

I parcheggi di ampie dimensioni che servono grandi infrastrutture, possono provocare un traffico indotto, che localmente può avere sia conseguenze sulla viabilità sia sulla qualità dell'aria. In questa categoria rientrano in particolare i parcheggi delle grandi superfici di vendita al dettaglio, che sia per numeri di stallo sia per ricambio, sono da considerare maggiormente problematici. Di questa categoria fanno parte anche i parcheggi del tipo autosilo, "Park&Ride" e quelli di altre infrastrutture (ospedali, del tempo libero, ecc.). Una lista dei principali grandi parcheggi del cantone con la relativa stima del numeri di posti auto per ognuno è riportata nell' Allegato 9. Per quanto riguarda le emissioni 2025, il numero di automobili in circolazione è stato mantenuto costante mentre i fattori di emissione sono stati estratti per il 2025 dalla banca dati HBEFA 3.1.

Sulla base di questa lista, ipotizzando – come per le partenze a freddo dei residenti – un valore medio di 3.1<sup>9</sup> accensioni per veicolo e utilizzando i coefficienti di emissione per partenze a freddo tratti dal HBEFA vers. 3.1 [6]. I risultati sono illustrati nella Tabella 8.

**Tabella 8 Emissioni del traffico (per gli anni 2012 e 2025) suddivise per comparto e tipologia.**

Categoria	Sopraceneri		Luganese		Mendrisiotto		Ticino	
	(t/a)		(t/a)		(t/a)		(t/a)	
	2012	2025	2012	2025	2012	2025	2012	2025
Motore a freddo	45	16	48	17	18	6	111	39
Grandi parcheggi	1	<1	1	2	2	1	4	4
<b>Totale emissioni partenze a freddo</b>	<b>46</b>	<b>16</b>	<b>49</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>7</b>	<b>115</b>	<b>43</b>

## 3.2 Camini

In questo settore si sono considerate le emissioni di NO<sub>x</sub> provocate dalla combustione di olio, gas e legna e dai processi industriali.

### 3.2.1 Combustione a olio e a gas

Le emissioni di ossidi di azoto prodotte dalle caldaie per riscaldamento sono state quantificate sulla base del catasto degli impianti di combustione (DT/UACER), allestito e tenuto a giorno grazie ai controlli periodici di tutti gli impianti (ca. 60'000) presenti sul territorio cantonale da parte dei comuni. Nel catasto sono presenti sia impianti di piccola dimensione (potenza installata <1MW; prevalentemente economie domestiche), che di media dimensione (potenza installata ≥1MW; prevalentemente impianti artigianali/industriali).

Punto di partenza della metodologia seguita sono i consumi totali cantonali di olio combustibile e di gas metano e i fattori specifici di emissione (espressi in g/kWh) per i 2 combustibili. Questi dati sono

riportati per l'anno 2012 e per l'anno 2025 nella Tabella 9, dove i valori dei consumi sono stati raccolti presso l'Ufficio Cantonale di Statistica, mentre per i fattori di emissione si è fatto riferimento ai dati pubblicati dal Cantone [9] (scenario attuale) e dall'Ufficio federale dell'ambiente [8] (scenario futuro).

Combustibile	Consumo (GWh/a)	EF 2012 (mg/kWh)	EF 2025 (mg/kWh)
Olio combustibile	2739	155	104
Gas metano	909	126	72

**Tabella 9** Consumi cantonali di olio combustibile e gas [14] e fattori di emissione ([8],[9]) per gli anni 2012 e 2025. I dati emissivi dedotti dalle misure recenti (2010) dei controllori della combustione sono più bassi di quelli riportati in tabella (olio ca. 130 mg/kWh e gas ca. 72 mg/kWh). Vista la miglior corrispondenza tra il modello e le immissioni misurate di NO<sub>2</sub> applicando i valori più elevati si sono mantenuti per lo scenario i dati riportati in [9] anche se riferiti alla situazione del 2003.

Dato che il catasto non contiene informazioni complete sui consumi dei singoli impianti, è stato applicato il modello già usato in passato dall'Istituto di sostenibilità applicata all'ambiente costruito (ISAAC) nell'ambito dell'allestimento della scheda di Piano Direttore sull'energia [10]. Tale modello permette una stima dei consumi e si basa sulle seguenti ipotesi:

- il catasto comprende la totalità degli impianti di combustione in funzione in Ticino;
- il consumo di ogni impianto (i) è proporzionale alla sua potenza P<sub>i</sub>;
- la potenza viene ponderata con un fattore φ<sub>i</sub> calcolato sulla base delle ore di funzionamento annuali deducibile dall'ubicazione geografica del comune dove è in funzione l'impianto. Per località con elevata insolazione e a basse quote altimetriche è stato assegnato un numero di mesi di funzionamento pari a 5, mentre per comuni con meno sole e a quote più elevate si sono considerati 8 mesi all'anno di funzionamento.

In altre parole, questo modello permette di stimare il consumo (W<sub>i</sub>) di olio o di gas per ogni impianto (i) catalogato a partire dal consumo globale (W) di tutti gli impianti separatamente per l'olio combustibile e il gas secondo la seguente formula:

$$W_i = W \cdot \frac{\phi_i \cdot P_i}{\sum_j \phi_j \cdot P_j} \quad (3)$$

Al riguardo occorre rilevare che così facendo si commette una piccola imprecisione, in quanto gli impianti industriali funzionano per un maggior numero di ore. Ad ogni modo, gli impianti di combustione per processi industriali rappresentano (dal profilo numerico) una piccola fetta e quindi complessivamente l'approssimazione introdotta ha per effetto un lieve aumento delle emissioni di ogni singolo impianto.

### **3.2.2 Combustione legna**

#### **3.2.2.1 Impianti di piccola potenza**

Per quanto riguarda le emissioni di NO<sub>x</sub> attribuibili alla combustione della legna nelle economie domestiche, esse sono state stimate inizialmente sulla base del consumo di legna (espresso in energia) nelle diverse categorie di impianti con una potenza < 50 kW. Questi dati [12], riferiti al contesto nazionale, sono stati riportati al perimetro di studio sulla base del numero delle economie domestiche nell'intero comprensorio ([11]). I coefficienti di emissioni utilizzati sono riportati in [8]. Il quantitativo calcolato del consumo di legna (sommato a quello calcolato per gli impianti di grande potenza, cfr. sotto) differiva in modo non trascurabile dal dato più "certo" fornito dall'amministrazione cantonale (Sezione forestale) si è deciso di ridurre del 50 % le emissioni inizialmente calcolate.

Il valore emissivo è stato distribuito sulle aree dei nuclei e delle zone residenziali.

#### **3.2.2.2 Impianti di grande potenza**

In questo settore sono incluse le emissioni provocate dall'esercizio di impianti a legna di grande potenza inserite nell'inventario dell'UACER. Sono stati considerati unicamente quegli impianti in cui la potenza era conosciuta e questa era > 50 kW. Le emissioni sono state inizialmente stimate sulla base dei consumi di legna forniti dal catasto. Laddove il consumo reale non è riportato nel catasto, è stata fatta una stima dello stesso in base alla "Holzenergiestatistik", ipotizzando un utilizzo di cippato. È stato utilizzato un unico fattore di emissione riportato. Successivamente è stata fatta una correzione del valore emissivo sulla base di stime del quantitativo di legname da ardere prodotto e consumato annualmente in Ticino (cfr. sopra).

Il valore emissivo è stato distribuito sulle aree dei nuclei, delle zone residenziali e delle aree industriali.

### **3.2.3 Impianti di processo**

In questo settore si sono considerate le emissioni di NO<sub>x</sub> provocate dalle combustioni di grandi camini di processi industriali. Tra quest'ultimi vi sono anche camini di 5 aziende di cui 4 situate nel Mendrisiotto che sono responsabili di un'elevata quota di emissioni e possono essere molto importanti a livello locale [20]. Le emissioni di tali industrie sono già oggetto di progetti di risanamento, la cui attuazione conformemente ai dispositivi dell'OIAI (termine di risanamento massimo di 10 anni) è prevista prima del 2025<sup>10</sup>. In questa categoria sono anche incluse le emissioni del nuovo impianto di smaltimento rifiuti cantonale di Giubiasco.

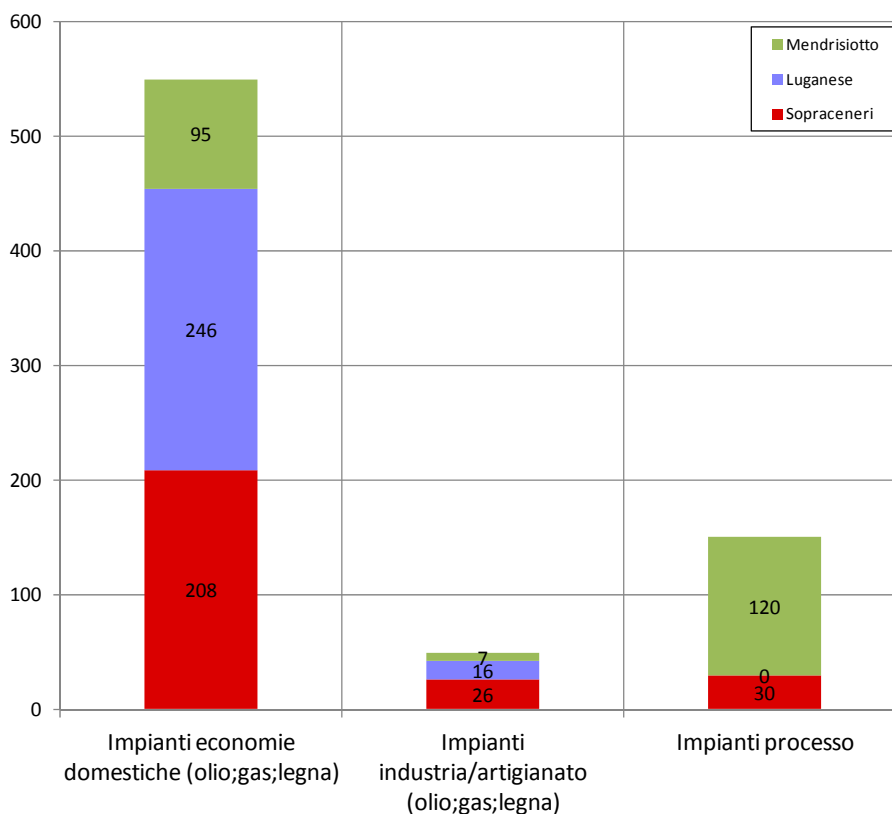
Le emissioni degli impianti di processo e dell'impianto di smaltimento rifiuti sono inserite sulla base delle misure cantonali del 2012 eseguite annualmente dall'UACER. Per l'anno 2025 i dati sono stati considerati in base ai progetti di risanamento previsti in collaborazione tra le aziende e l'autorità cantonale. Le emissioni sono state distribuite sul territorio in base all'ubicazione conosciuta degli impianti (coordinate geografiche).

Emissioni complessive emesse tramite camini.

---

<sup>10</sup> UACER, Comunicazione verbale 23.07.2012

In base a quanto descritto nei cap. 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.3, nella Figura 10 sono illustrate le emissioni utilizzate nel presente studio a livello cantonale per l'anno 2012. Esse comprendono le emissioni introdotte nell'atmosfera tramite i camini, che si dividono in impianti di riscaldamento con altezza inferiore ai 20 m e grandi camini di processi industriali che per la loro produzione emettono ossidi di azoto.



**Figura 10 Emissioni complessive dei camini (economie domestiche; industrie/artigianato; processi) nell'anno 2012.**



### 3.3 Settore edile

Il calcolo delle emissioni di ossidi d'azoto provenienti dai gas di scarico delle macchine da cantiere si basa sulle emissioni svizzere (2620 t/a nel 2010 e 1526 t/a nel 2015 [13]) e sugli investimenti nel settore delle costruzioni pubbliche e private a livello Svizzero (59.6 miliardi di CHF per l'anno 2011) e per i tre comparti di studio: per il Sopraceneri e per il Luganese 1.5 miliardi di CHF e per il Mendrisiotto 0.5 miliardi di CHF per l'anno 2011 [14])<sup>11</sup>. I risultati della stima sono riassunti nella Tabella 10.

$$E_{TI} = E_{CH} \cdot \frac{Investimenti_{TI}}{Investimenti_{CH}}, \quad (4)$$

**Tabella 10** Investimenti nel settore delle costruzioni e relative emissioni di NO<sub>x</sub> per il Ticino in base al dato nazionale [13].

Comparto	Investimenti 2011 Mia CHF	ENO <sub>x</sub> 2012 (t/a)	ENO <sub>x</sub> 2025 (t/a)
Sopraceneri	1.45	48.8	17.1
Luganese	1.55	51.9	18.2
Mendrisiotto	0.49	16.3	5.7

Le emissioni così stimate sono state distribuite per 1/3 sui centro ettari toccati dalla rete stradale e per 2/3 sulle aree edificate (aree residenziali, industriali e artigianali).

### 3.4 Emissioni del traffico Offroad

#### 3.4.1 Hobby e giardinaggio

Le emissioni di questo settore comprendono gli inquinanti provocati da macchine e apparecchi (combustione di carburante) utilizzati per attività ricreative e di giardinaggio. Il valore è calcolato sulla base di un dato aggregato a livello nazionale [15] e risulta in un'emissione annua pro capite riassunta nella tabella seguente.

<sup>11</sup> Gli investimenti nel settore delle costruzioni pubbliche e private complessivi in Ticino ammontano a 3.5 miliardi di CHF per l'anno 2011 [14].

**Tabella 11 Emissioni di NO<sub>x</sub> pro capite prodotte dal settore ricreativo e di giardinaggio.**

Comparto	ENO <sub>x</sub> 2012 (t/a)	ENO <sub>x</sub> 2025 (t/a)	ENO <sub>x</sub> pro ca- pate 2012 (g/a)	ENO <sub>x</sub> pro ca- pate 2025 (g/a)
Sopraceneri	1.5	1.0	10.5	7.0
Luganese	1.1	0.7	7.6	5.1
Mendrisiotto	0.4	0.3	8.4	5.6

Le emissioni totali sono state distribuite sui centro ettari delle superfici residenziali dei diversi comuni.

### 3.4.2 Macchine industriali

In questo settore ricadono gli inquinanti prodotti da veicoli industriali, come muletti ed elevatori che funzionano con un motore termico. Anche in questo caso le emissioni sono state calcolate da un dato aggregato a livello svizzero (778 t/a nel 2010 e 707 t/a nel 2015 [15]). Come criterio di ripartizione è stata utilizzata la popolazione residente in Svizzera e nell'area di studio.

Le emissioni risultanti, riassunte nella Tabella 12, sono state ridistribuite sui centro ettari delle superfici industriali.

**Tabella 12 Emissioni di NO<sub>x</sub> generate dai veicoli industriali.**

Comparto	ENO <sub>x</sub> 2012 (t/a)	ENO <sub>x</sub> 2025 (t/a)
Sopraceneri	13.9	9.7
Luganese	9.7	6.8
Mendrisiotto	8.2	5.7

### 3.4.3 Traffico lacustre

Nel caso della navigazione, le emissioni possono essere ricavate dal valore aggregato a livello svizzero (1166 t/a nel 2010 e 964 t/a nel 2015 [13]) In base alla superficie dei laghi in svizzera e alla superficie in Ticino [14], e nell'ipotesi che la superficie rimanga immutata per il 2025, sulla base dei dati aggiornati a livello svizzero si sono calcolate le emissioni di ossidi di azoto sui laghi suddividendo in parti uguali le emissioni tra Ceresio e Verbano.

**Tabella 13 Emissioni di NO<sub>x</sub> del traffico lacustre.**

Lago	ENO <sub>x</sub> 2012 (t/a)	ENO <sub>x</sub> 2025 (t/a)
Verbano	38.5	26.7
Ceresio	26.7	18.5

Il traffico di linea segue generalmente le stesse rotte. In questo studio i valori emissivi sono distribuiti in modo uniforme su tutta la superficie dei laghi.

### 3.4.4 Ferrovia

Sulla base del dato nazionale relativo al consumo di gasolio dei locomotori diesel [13] si è stimato il contributo di questa sorgente a livello regionale. Come criterio di ripartizione sono stati utilizzati i dati relativi alla lunghezza in Svizzera e in Ticino. Le emissioni 10.7 t/a (per l'anno 2012) e 8.4 t/a (per l'anno 2025) sono state distribuite lungo la linea ferroviaria.

### 3.4.5 Aviazione

Sulla base dei dati delle emissioni del traffico aereo da e per la Svizzera, fornite dall'Ufficio federale di aviazione civile [16], sono state riportate le emissioni di ossidi d'azoto all'interno del modello per i due principali aeroporti e aerodromi del cantone.

**Tabella 14 Emissioni di NO<sub>x</sub> del traffico aereo.**

Aeroporto /aerodromo	N. Ha di distribuzione	ENO <sub>x</sub> 2012 (t/a)	ENO <sub>x</sub> 2025 (t/a)
Lugano	117	9	6
Locarno	45	1	1

## 3.5 Agricoltura e selvicoltura

Le emissioni in questo settore sono principalmente originate dall'utilizzo di macchinari e mezzi con motore termico e dall'incenerimento di rifiuti vegetali. Esse sono calcolate a partire da dati aggregati sul piano nazionale (7837 t/a nel 2010 e 6584 t/a nel 2015 [15]). Come chiave di ripartizione si utilizza la superficie agricola utile (SAU) in Svizzera (dato riferito al 2004 [17]), e nei comparti in esame (dato riferito al 2011 [14]).

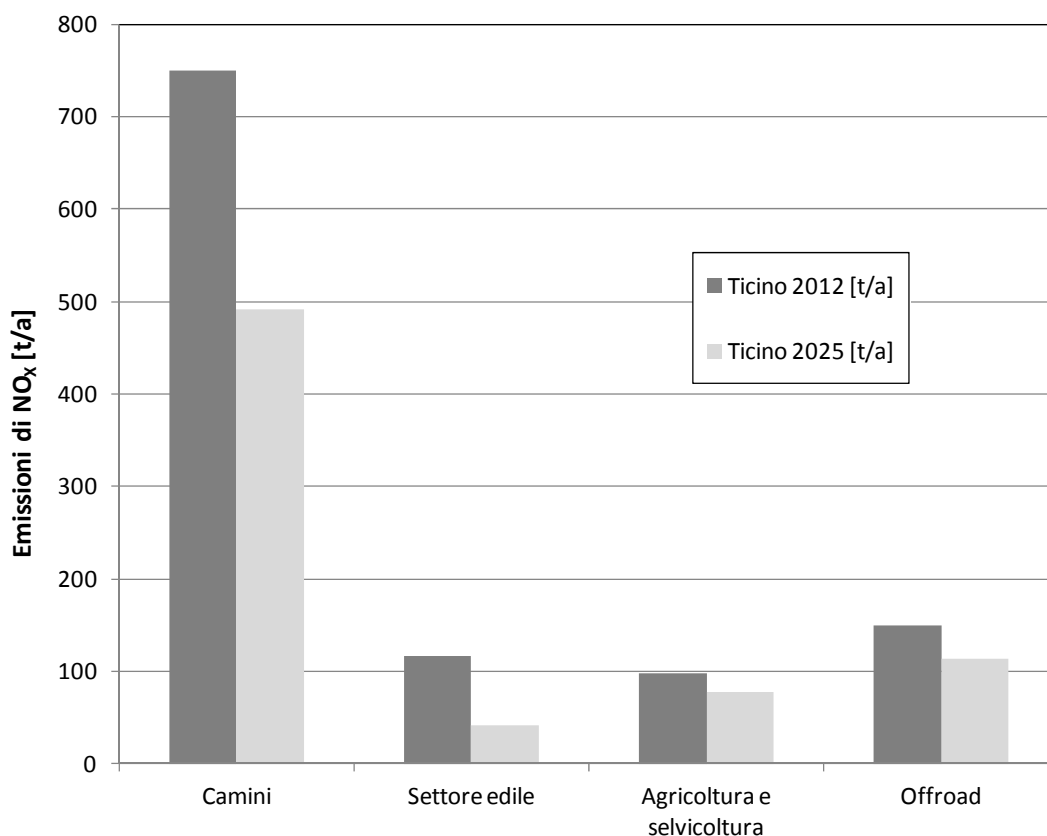
**Tabella 15 Emissioni di NO<sub>x</sub> generate dalle macchine agricole.**

Comparto	SAU (Ha)	ENO <sub>x</sub> 2012 agricoltura (t/a)	ENO <sub>x</sub> 2012 selvicoltura (t/a)	ENO <sub>x</sub> 2025 agricoltura (t/a)	ENO <sub>x</sub> 2025 selvicoltura (t/a)
Sopraceneri	ca. 1'020'000	68	2	55	1
Luganese	ca. 202'700	13	1	11	0
Mendrisiotto	ca. 189'500	13	1	10	1

L'emissione del settore è stata ridistribuita sui centro ettari delle aree SAC e dei restanti terreni agricoli.

### 3.6 Riepilogo emissioni

Le "altre emissioni" sono riassunte nella Tabella 16 per l'anno 2012 e nella Tabella 17 per l'anno 2025. Un confronto grafico per tutto il territorio del cantone è invece presentato nella Figura 11, dove si osserva come la maggior parte di queste emissioni avvenga attraverso i camini di impianti stazionari.



**Figura 11** Altre fonti di NO<sub>x</sub> aggiuntive alla principale fonte (traffico stradale) divise per categoria, i quantitativi si riferiscono a tutto il Ticino per gli anni 2012 e 2025.

**Tabella 16 Altre emissioni suddivise per tipologia e nei vari comparti per l'anno 2012.**

<b>Categoria</b>	<b>Sopraceneri</b>	<b>Luganese</b>	<b>Mendrisiotto</b>	<b>Ticino</b>
	(t/a)	(t/a)	(t/a)	(t/a)
<b>Camini</b>				
Camini economie domestiche	208	246	95	550
Camini industrie e artigianato	26	16	7	49
Camini processi industriali e riciclaggio rifiuti	30	-	120	150
<b>Settore edile</b>				
Cantieri edifici	33	35	11	78
Cantieri stradali	16	17	5	39
<b>Agricoltura e selvicoltura</b>				
Agricoltura	68	13	13	94
Selvicoltura	2	1	1	4
<b>Offroad</b>				
Traffico aereo	1	9	-	10
Traffico lacustre	39	26	1	65
Macchine industriali	14	10	8	32
Ferrovia	26	9	2	37
Hobby e giardinaggio	2	1	0	3
Mezzi militari	1	1	0	2
<b>Totale</b>	<b>466</b>	<b>384</b>	<b>263</b>	<b>1'113</b>

**Tabella 17 Altre emissioni suddivise per tipologia e nei vari comparti per l'anno 2025.**

<b>Categoria</b>	<b>Sopraceneri</b>	<b>Luganese</b>	<b>Mendrisiotto</b>	<b>Ticino</b>
	(t/a)	(t/a)	(t/a)	(t/a)
<b>Camini</b>				
Camini economie domestiche	138	156	61	355
Camini industrie e artigianato	15	9	3	27
Camini processi industriali e riciclaggio rifiuti	30	-	79	109
<b>Macchine edili</b>				
Cantieri edifici	11	12	4	27
Cantieri stradali	6	6	2	14
<b>Agricoltura e selvicoltura</b>				
Agricoltura	55	11	10	76
Selvicoltura	1	-	1	2
<b>Offroad</b>				
Traffico aereo	1	6	-	7
Traffico lacustre	27	18	1	46
Macchine industriali	10	7	6	23
Ferrovia	25	8	3	36
Hobby e giardinaggio	1	1	0	2
Mezzi militari	1	0	0	1
<b>Totale</b>	<b>321</b>	<b>234</b>	<b>170</b>	<b>723</b>

## 4 Calcolo delle Immissioni

### 4.1 Modello Pollumap

POLLUMAP è un modello che permette di stimare su una griglia formata da quadrati di 1 ettaro (100 m x 100 m) sia il valore medio annuo sia il 95° percentile delle immissioni di NO<sub>2</sub>, ovvero 2 dei valori limite d'immissione definiti dall'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIAI).

La diffusione dell'inquinante (NO<sub>x</sub>) è ottenuta in modo deterministico mediante funzioni P di diffusione empiriche e simmetriche (diffusione isotropa), caratterizzate in modo univoco da due parametri, *a* e *b*:

$$P(r, a, b) = \frac{a}{2^{br}}, \quad (5)$$

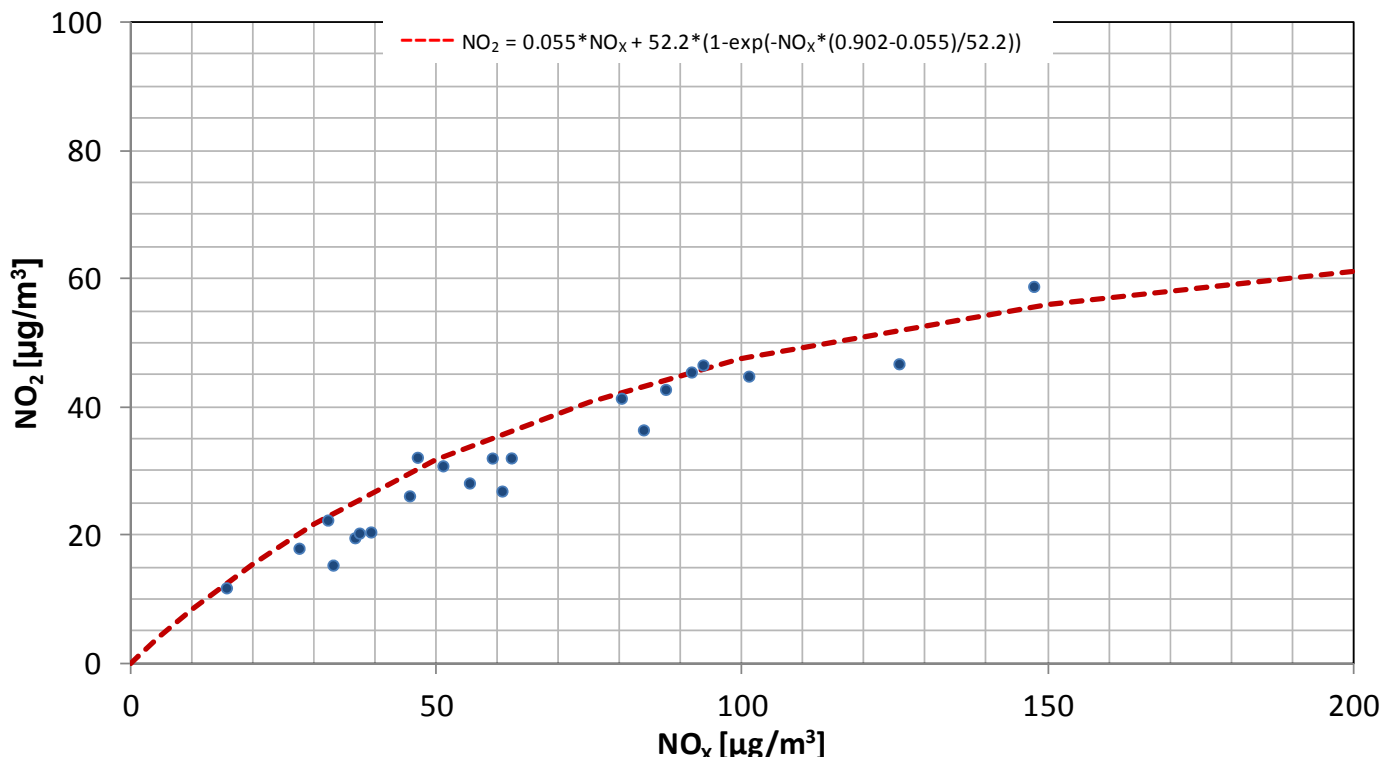
dove *r* è la distanza tra la sorgente e il ricettore. Ad ogni categoria di sorgente di NO<sub>x</sub> è associata una coppia (*a*,*b*) di parametri, che dipende dalla facilità con cui l'inquinante diffonde in atmosfera. Essi tengono conto delle caratteristiche della sorgente (ad es. altezza al di sopra del terreno) e di quelle del territorio circostante (presenza o meno di ostacoli come edifici all'interno di un centro abitato, ...).

Il modello POLLUMAP [18] determina dapprima per ogni sorgente l'immissione di NO<sub>x</sub> in ogni cella della griglia di calcolo. In seguito, somma su ogni ettaro tutti i contributi di immissione delle varie sorgenti e aggiunge anche un valore di fondo di immissione, ovvero un inquinamento diffuso da NO<sub>x</sub> non facilmente e chiaramente attribuibile ad una particolare sorgente (cfr. cap. seguente).

Infine, un modulo del modello provvede alla trasformazione dell'immissione totale espressa in NO<sub>x</sub> in NO<sub>2</sub> sfruttando la curva empirica data dall'equazione:

$$I^{NO_2} = \alpha \cdot I_{total}^{NO_x} + I_0 \cdot \left( 1 - \exp \left( I_{total}^{NO_x} \cdot \frac{(\beta - \alpha)}{I_0} \right) \right), \quad (6)$$

dove  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $I_0$  sono dei parametri, che dipendono dal potere ossidante dell'atmosfera. Per verificare la validità dei parametri applicati in passato ( $\alpha = 0.055$ ,  $\beta = 0.902$  e  $I_0 = 52.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nella Figura 12 la curva dell'equazione (6) è confrontata con i valori misurati nel 2012. È interessante notare come le coppie formate dalle medie delle concentrazioni di NO<sub>x</sub> e NO<sub>2</sub> misurate nelle diverse stazioni di analisi presenti sul territorio cantonale, nei Grigioni e nella vicina Lombardia, seguano abbastanza fedelmente la curva citata sopra.



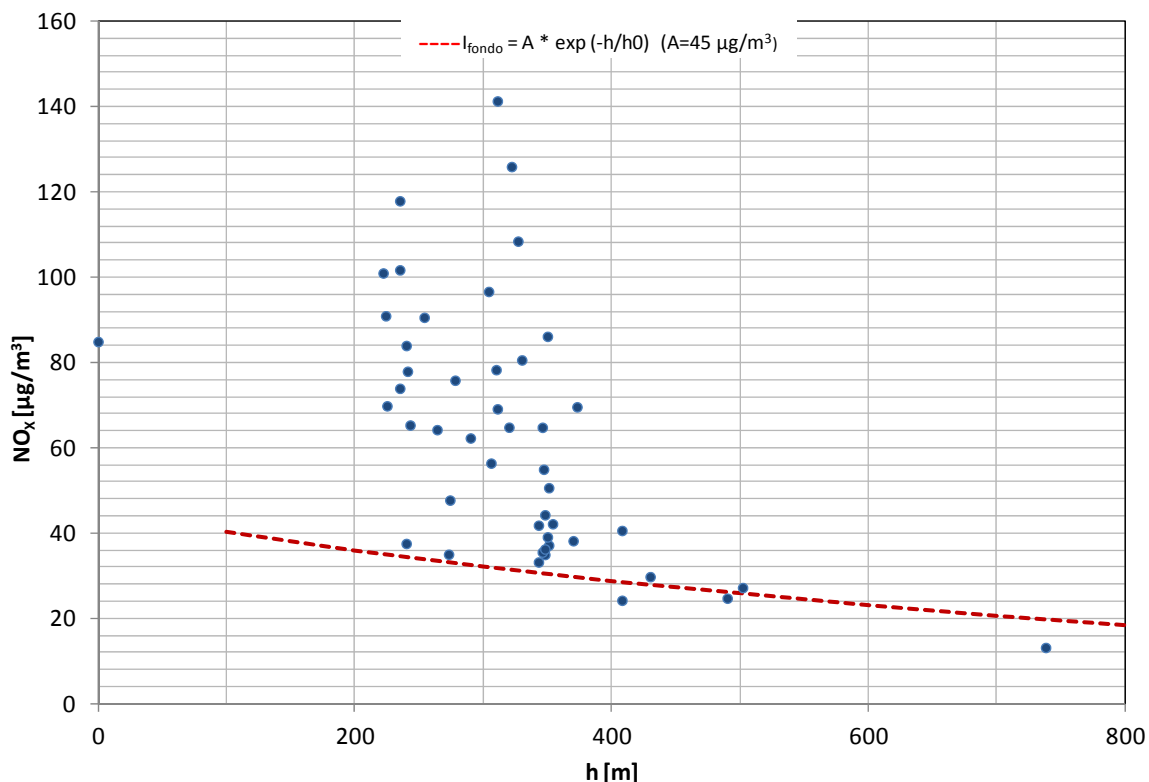
**Figura 12** Medie annue di NO<sub>2</sub> in funzione delle medie annue di NO<sub>x</sub> misurate dalle diverse stazioni ubicate in Ticino, nei Grigioni e in Lombardia durante il 2012. In rosso è riportata la curva ottenuta con l'equazione (6) per  $\alpha = 0.055$ ,  $\beta = 0.902$  e  $I_0 = 52.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

#### 4.2 Determinazione valore di fondo

Con livello del fondo si intende l'inquinamento diffuso non imputabile ad una sorgente particolare. Il modello POLLUMAP tiene conto di questo contributo che dipende dalla quota. Più precisamente esso è implementato secondo il seguente modello matematico (cfr. anche [18]):

$$I_{\text{fondo}}^{NO_x} = A(t) \cdot e^{-h/h_0} \quad \text{con } h_0 = 900\text{m}. \quad (7)$$

Il parametro  $A$  dipende dall'anno  $t$ . Per l'anno 2012 esso è stato determinato sulla base delle concentrazioni di diossido di azoto misurate nel 2011-2012, che sono state trasformate in concentrazioni di NO<sub>x</sub> applicando l'inversa della funzione di equazione (6). I dati così ottenuti sono rappresentati graficamente in funzione della quota  $h$  come p. es. nel caso del Mendrisiotto nella Figura 13. Il parametro  $A(2012)$  può essere stimato assumendo che nei punti lontani da sorgenti l'immissione misurata coincida fondamentalmente con il valore di fondo. Nei punti di misura a bassa altitudine, il valore d'immissione misurato sarà maggiore di quello di fondo in modo più o meno marcato a dipendenza della distanza del singolo punto dalle sorgenti. Nel caso in esame fittando il modello matematico ai punti si è pervenuti a  $A(2012) = 45 \mu\text{g NO}_x/\text{m}^3$  (v. curva punteggiata nel grafico).



**Figura 13** Dati di immissione di NO<sub>x</sub> (calcolati applicando l'inversa della funzione dell'equazione (6) alle concentrazioni di NO<sub>2</sub> misurate con campionatori passivi) per la media degli anni 2011-2012. La linea punteggiata rappresenta l'andamento del fondo che si ottiene fittando il modello dell'equazione (7) ai valori più bassi (A(2011-2012) = 45.0 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub>).

Nel 2025 in Ticino si prevede una riduzione delle emissioni (-47% rispetto all'anno 2012<sup>12</sup>), si ipotizza pertanto una riduzione dell'inquinamento di fondo. Per determinare A(2025) si è valutata l'evoluzione del valore A(t) nel periodo a partire dal 2000. Per il comparto del Mendrisiotto si è potuto riscontrare una significativa riduzione dell'inquinamento di fondo (cfr. Allegato 10). Nel Luganese questa riduzione è stata assai più contenuta mentre nel Sopraceneri il metodo applicato non fornisce una riduzione rilevante.

I valori di A(t) utilizzati per il calcolo del fondo sono riassunti nella Tabella 18.

Valore A(t) Comparto	2012 [µg/m <sup>3</sup> ]	2025 [µg/m <sup>3</sup> ]
Sopraceneri	32	30
Luganese	38	35
Mendrisiotto	45	38

**Tabella 18** Parametri A(t) utilizzati per il calcolo del fondo nelle mappe di immissione per gli anni 2012 e 2025.

<sup>12</sup> La riduzione generalizzata sul territorio cantonale corrisponde al 47%, che si compone di una riduzione del 49% prevista per il Sopraceneri, del 46% per il Luganese e del 44% per il Mendrisiotto.



## 5 Risultati e discussione

### 5.1 Emissioni

#### 5.1.1 Catasto delle emissioni

Uno studio UFAM del 2011 [15], quantifica le emissioni NO<sub>x</sub> in Svizzera a livello nazionale a 76'778 t per l'anno 2010, dividendo le emissioni nelle seguenti macrocategorie: i trasporti con un contributo del 57%, l'industria (con l'edilizia) 22%, le emissioni domestiche e del commercio 10% e l'agricoltura/selvicoltura 11%. Lo stesso studio riporta come principali aree sottoposte a emissioni di NO<sub>x</sub>, le grandi città (Zurigo, Ginevra e Basilea) e le zone lungo e intorno alle autostrade. Il traffico motorizzato è considerato la maggiore fonte di produzione di NO<sub>x</sub>, sorgente che però evolve più rapidamente e significativamente verso un miglioramento in una proiezione dal 2005 al 2015.

Nel perimetro dei cantoni orientali della Svizzera e del Liechtenstein (Ostluft) lo studio [23] quantifica per l'anno 2010 le emissioni di NO<sub>x</sub> a 20'078 t con i trasporti al 54%, l'industria (con l'edilizia) al 20%, le emissioni domestiche e del commercio al 16% e l'agricoltura/selvicoltura al 10%. La città di Zurigo [25] quantifica le emissioni di NO<sub>x</sub> a 1817 t/a per il 2010 così ripartite: emissioni dei trasporti 46%, industria e commercio 16%, edilizia 9% ed emissioni domestiche 29%. Inoltre il Canton Zurigo [24] presenta la sua ripartizione nel 2010 (10'161 t) in trasporti 62%, industria ed edilizia al 15%, emissioni domestiche (e commercio) al 17% e agricoltura/selvicoltura al 6% (cfr. Tabella 19).

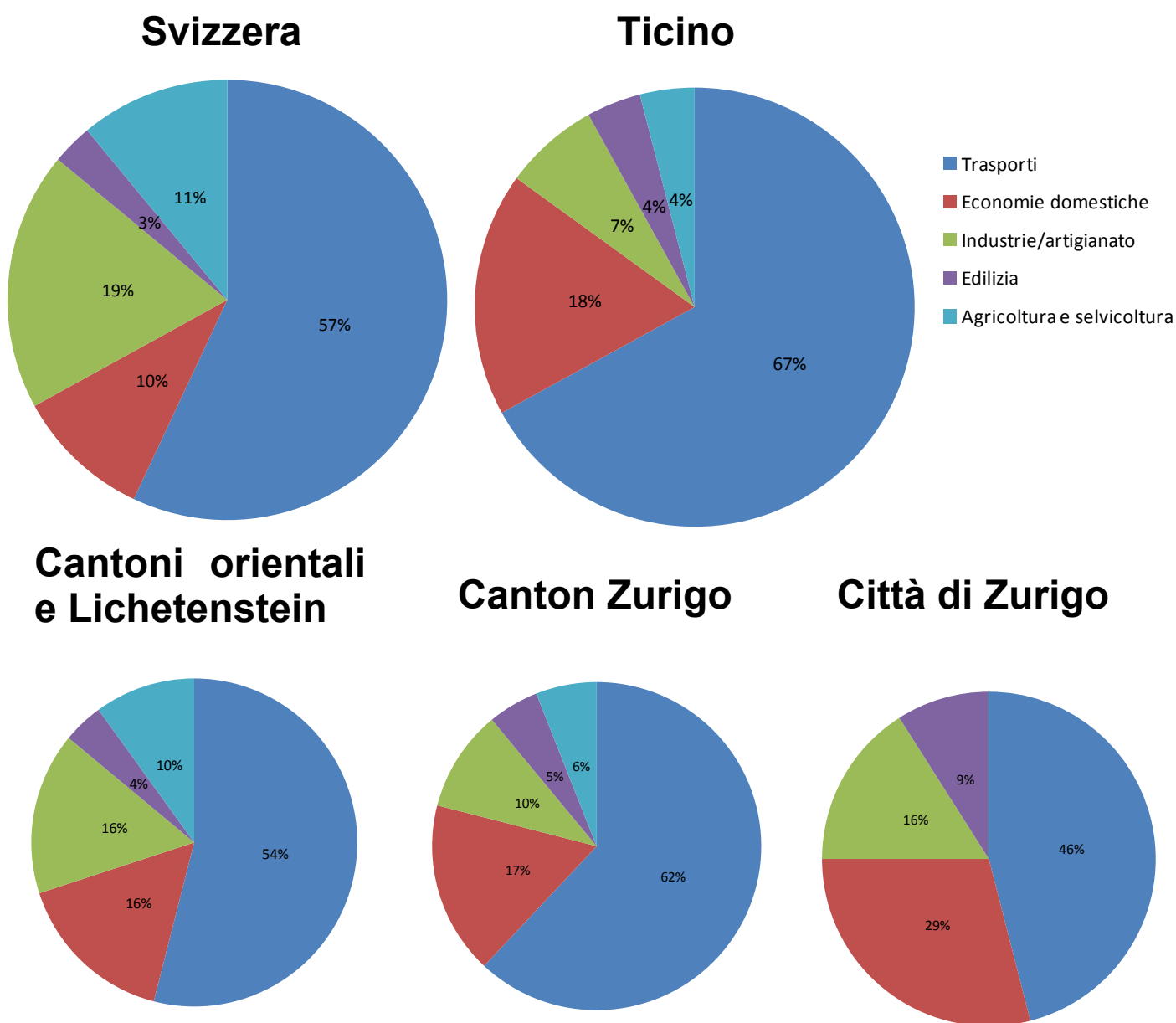
**Tabella 19** Percentuali delle emissioni di NO<sub>x</sub> per i diversi studi a disposizione a confronto (trasporti, industria, emissioni domestiche/commercio e l'agricoltura/selvicoltura).

	Svizzera <sup>13</sup>	Ticino	Cantoni orientali e Liechtenstein <sup>13</sup>	Canton Zurigo <sup>13</sup>	Città di Zurigo <sup>13</sup>
	2010	2012	2010	2010	2010
Trasporti	57%	67%	54%	62%	46%
Economie domestiche	10%	18%	16%	17%	29%
Industrie/artigianato	19%	7%	16%	10%	16%
Edilizia	3%	4%	4%	5%	9%
Agricoltura e selvicoltura	11%	4%	10%	6%	-

In Ticino non vi sono grandi città e l'industria ha un peso minore nel complesso delle emissioni (cfr. Tabella 20 e Tabella 21), diventa quindi ancora più importante il contributo dell'autostrada, come si riscontra nei risultati del presente studio dove il contributo dei trasporti si situa al 67% (2'236 t/a nel 2012), quello dell'industria/edilizia all'11% (267 t/a nel 2012), mentre le emissioni domestiche contribuiscono al 18% (599 t/a nel 2012) e l'agricoltura/selvicoltura 4% (98 t/a nel 2012).

<sup>13</sup> Somma delle emissioni Svizzere secondo UFAM [15]; Somma delle emissioni Cantoni Orientali e Liechtenstein secondo OSTLUFT [23]; Somma delle emissioni Canton Zurigo secondo AWEL [24]; Somme delle emissioni della città di Zurigo secondo [25].

Un apprezzamento della ripartizione delle emissioni di NO<sub>x</sub> in Ticino e nelle altre regioni della Svizzera è visibile alla Figura 14, dove si vede che i dati del cantone sono in generale in linea con quelli degli altri studi, in particolare il Ticino sembra avere una ripartizione delle diverse emissioni di NO<sub>x</sub> simile a quella del Canton Zurigo. Rispetto alla media nazionale, in Ticino il traffico risulta superiore così come il contributo delle economie domestiche mentre l'industria/artigianato, l'agricoltura/selvicoltura risultano meno rilevanti.



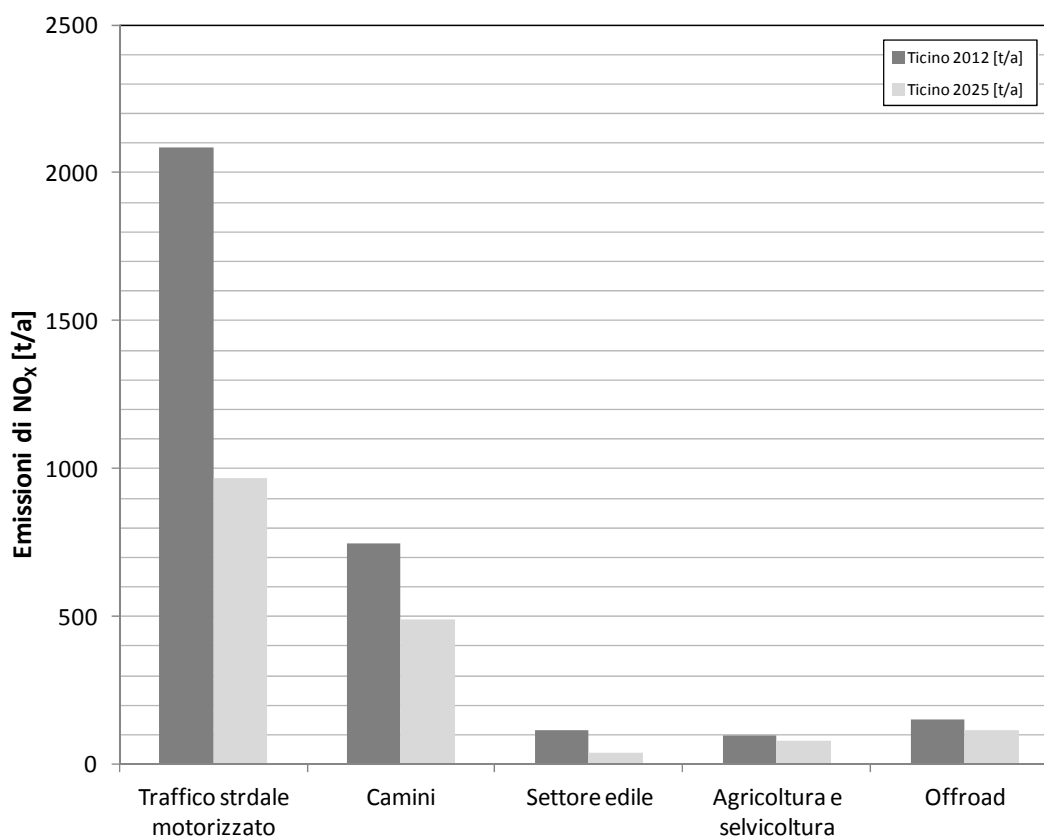
**Figura 14** *Rappresentazione grafica della ripartizione delle emissioni di NO<sub>x</sub> per i diversi studi a disposizione messi a confronto.*

La prognosi di evoluzione delle emissioni nel corso dei prossimi anni prevede diversi approcci, lo studio dell'UFAM [15] propone una riduzione complessiva delle emissioni di ca. il 27% tra il 2005 e il 2015, mentre lo studio dell'Ostluft [23] prevede una riduzione globale del 41%, lo studio del Canton Zurigo [24], identifica differenti scenari di prognosi secondo i quali la riduzione complessiva delle emissioni di ossidi d'azoto tra il 2010 e il 2025 dovrebbe essere di ca. il 28% (scenario di riferimento) proponendo però diversi scenari di sensibilità in un intervallo compreso tra il 37% (scenario ottimistico) e il 18% (intervallo pessimistico).

Le emissioni globali di ossidi di azoto per il Ticino si situano a ca. 3200 t/a per il 2012 e 1690 t/a per il 2025, con una riduzione di ca. 47% prevista nei prossimi 13 anni (cfr. Tabella 20; Tabella 21 e Figura 15).

I dati delle emissioni, sono illustrati nella Figura 15 per le 5 categorie del programma POLLUMAP. Nelle Tabella 20 e Tabella 21 le emissioni sono riportate con maggiore dettaglio per i due orizzonti temporali e nelle Tabella 22 e Tabella 23 sono riportati i rispettivi valori percentuali.

Le distribuzioni spaziali delle emissioni di  $\text{NO}_x$  sono illustrate con una scala colorimetrica nell'Allegato 12 per il 2012 e nell'Allegato 13 per il 2025. Nonostante la generale riduzione delle emissioni tra i due orizzonti, in entrambi gli scenari è sempre ben riconoscibile il tracciato dell'autostrada.



**Figura 15** *Categorie di sorgenti di  $\text{NO}_x$  a confronto in Ticino per gli anni 2012 e 2025.*

**Tabella 20 Emissioni di NO<sub>x</sub> in t/a suddivise per categoria per l'anno 2012 nei tre comparti di studio.**

<b>Categoria</b>	<b>Sopraceneri</b> (t/a)	<b>Luganese</b> (t/a)	<b>Mendrisiotto</b> (t/a)	<b>Ticino</b> (t/a)
<b>Traffico stradale motorizzato</b>				
Emissioni motore a caldo	1047	600	325	1972
Emissioni motore a freddo	46	48	20	115
<b>Camini</b>				
Camini economie domestiche	208	246	95	549
Camini industrie e artigianato	26	16	7	49
Camini processi industriali e riciclaggio rifiuti	30	-	120	150
<b>Settore edile</b>				
Cantieri edifici	33	35	11	79
Cantieri stradali	16	17	5	38
<b>Agricoltura e selvicoltura</b>				
Agricoltura	68	13	13	94
Selvicoltura	2	1	1	4
<b>Offroad</b>				
Traffico aereo	1	9	-	10
Traffico lacustre	39	26	1	66
Macchine industriali	14	10	8	32
Ferrovia	26	9	2	37
Hobby e giardinaggio	2	1	0	3
Mezzi militari	1	1	0	2
<b>Totale</b>	<b>1559</b>	<b>1032</b>	<b>608</b>	<b>3200</b>

**Tabella 21 Emissioni di NO<sub>x</sub> in t/a suddivise per categoria per l'anno 2025 nei tre comparti di studio.**

<b>Categoria</b>	<b>Sopraceneri</b> (t/a)	<b>Luganese</b> (t/a)	<b>Mendrisiotto</b> (t/a)	<b>Ticino</b> (t/a)
<b>Traffico stradale motorizzato</b>				
Emissioni motore a caldo	455	302	168	925
Emissioni motore a freddo	16	19	7	43
<b>Camini</b>				
Camini economie domestiche	138	156	61	355
Camini industrie e artigianato	15	9	3	27
Camini processi industriali e riciclaggio rifiuti	30	-	79	109
<b>Settore edile</b>				
Cantieri edifici	11	12	4	27
Cantieri stradali	6	6	2	14
<b>Agricoltura e selvicoltura</b>				
Agricoltura	55	11	10	76
Selvicoltura	1	0	1	2
<b>Offroad</b>				
Traffico aereo	1	6	-	7
Traffico lacustre	27	18	1	46
Macchine industriali	10	7	5	22
Ferrovia	25	8	3	36
Hobby e giardinaggio	1	1	0	2
Mezzi militari	1	0	0	1
<b>Totale</b>	<b>792</b>	<b>555</b>	<b>344</b>	<b>1691</b>

**Tabella 22 Emissioni di NO<sub>x</sub> in % suddivise per categoria per l'anno 2012 nei tre comparti di studio.**

<b>Categoria</b>	<b>Sopraceneri</b>	<b>Luganese</b>	<b>Mendrisiotto</b>	<b>Ticino</b>
<b>Traffico stradale motorizzato</b>				
Emissioni motore a caldo	67%	58%	53%	62%
Emissioni motore a freddo	3%	5%	3%	4%
<b>Camini</b>				
Camini economie domestiche	13%	24%	16%	17%
Camini industrie e artigianato	2%	2%	1%	2%
Camini processi industriali e riciclaggio rifiuti	2%	-	20%	5%
<b>Settore edile</b>				
Cantieri edifici	2%	3%	2%	2%
Cantieri stradali	1%	2%	1%	1%
<b>Agricoltura e selvicoltura</b>				
Agricoltura	4%	1%	2%	3%
Selvicoltura	<1%	<1%	<1%	<1%
<b>Offroad</b>				
Traffico aereo	<1%	1%	-	<1%
Traffico lacustre	2%	2%	<1%	2%
Macchine industriali	1%	1%	1%	1%
Ferrovia	2%	1%	<1%	1%
Hobby e giardinaggio	<1%	<1%	<1%	<1%
Mezzi militari	1%	<1%	<1%	<1%
<b>Totale</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

**Tabella 23 Emissioni di NO<sub>x</sub> in % suddivise per categoria per l'anno 2025 nei tre comparti di studio.**

<b>Categoria</b>	<b>Sopraceneri</b>	<b>Luganese</b>	<b>Mendrisiotto</b>	<b>Ticino</b>
<b>Traffico stradale motorizzato</b>				
Emissioni motore a caldo	58%	54%	49%	55%
Emissioni motore a freddo	2%	4%	2%	3%
<b>Camini</b>				
Camini economie domestiche	18%	28%	17%	21%
Camini industrie e artigianato	2%	2%	1%	2%
Camini processi industriali e riciclaggio rifiuti	4%	-	23%	6%
<b>Settore edile</b>				
Cantieri edifici	1%	2%	1%	2%
Cantieri stradali	1%	1%	1%	1%
<b>Agricoltura e selvicoltura</b>				
Agricoltura	7%	2%	3%	4%
Selvicoltura	<1%	<1%	<1%	<1%
<b>Offroad</b>				
Traffico aereo	<1%	1%	-	<1%
Traffico lacustre	3%	3%	<1%	3%
Macchine industriali	1%	1%	2%	1%
Ferrovia	3%	1%	1%	2%
Hobby e giardinaggio	<1%	<1%	<1%	<1%
Mezzi militari	<1%	<1%	<1%	<1%
<b>Totale</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

### 5.1.2 Ripartizione delle fonti di emissione all'interno del Cantone

Come base di confronto tra le emissioni distribuite nei tre comparti di studio si noti che le emissioni sono spesso in relazione con la superficie e/o la distribuzione della popolazione. Queste due grandezze sono ripartite come nella Tabella 24:

**Tabella 24 Superficie e popolazione nei comparti di studio [14]<sup>14</sup>.**

Comparto	Superficie [Ha]	% Superficie-Cantonale	N. Abitanti	% Abitanti del Cantone
Sopraceneri	233'254	85%	144'872	43%
Luganese	30'805	11%	143'042	42%
Mendrisiotto	10'088	4%	49'029	15%
Ticino	274'147	100%	336'943	100%

La distribuzione delle emissioni di NO<sub>x</sub> all'interno del territorio Cantonale è riassunta nella Tabella 25. La produzione di NO<sub>x</sub> non è ripartita uniformemente sul territorio cantonale in quanto il Sopraceneri, che rappresenta ca. l'85% alla superficie cantonale è sottoposto a una frazione di ca. il 49% delle emissioni complessive cantonali, mentre il Mendrisiotto che comprende solo ca. il 4% del territorio è sottoposto al 19% delle emissioni.

**Tabella 25 Distribuzione cantonale delle emissioni di NO<sub>x</sub> nel 2012.**

Comparto	Emissioni di NO <sub>x</sub> nel 2012 [t/a]	Densità ENO <sub>x</sub> 2012 [kg/a/ha]	Emissioni di NO <sub>x</sub> nel 2025 [t/a]	Densità ENO <sub>x</sub> 2025 [kg/a/ha]
Sopraceneri	1559	7	792	3
Luganese	1032	34	555	18
Mendrisiotto	608	60	345	34
Ticino	3200	12	1691	6

#### 5.1.2.1 Emissioni stradali

Poiché gli NO<sub>x</sub> sono generati dalla combustione di carburanti e combustibili, soprattutto ad alte temperature, non sorprende che il traffico stradale motorizzato rappresenti la sorgente principale (ca. 64%<sup>15</sup> nel 2012).

Nel Sopraceneri il 70% delle emissioni di NO<sub>x</sub> sono prodotte dal traffico, nel Luganese il traffico genera il 63% delle emissioni e nel Mendrisiotto il 56% (dati 2012). La ripartizione delle emissioni generate dal traffico sul territorio cantonale è in linea con la distribuzione delle emissioni globali come riportato nella Tabella 26. Come già nei precedenti studi, il Mendrisiotto risulta essere il territorio più sollecitato dall'inquinamento atmosferico.

<sup>14</sup> Superficie cantonale nel 2009 in ettari, senza tenere conto dei laghi Ceresio e Maggiore, USTAT 2012.

<sup>15</sup> Compresa le emissioni dei grandi posteggi e per motore a freddo.

**Tabella 26 Distribuzione cantonale delle emissioni stradali di NO<sub>x</sub> nel 2012.**

Comparto	Emissioni di NO <sub>x</sub> nel 2012 [t/a]	% ENO <sub>x</sub> stradali del comparto rispetto al Ticino nel 2012	% ENO <sub>x</sub> stradali all'interno del comparto nel 2012	ENO <sub>x</sub> /ha 2012 [kg/a]
Sopraceneri	1093	52%	70%	5
Luganese	648	31%	63%	21
Mendrisiotto	345	17%	56%	34
Ticino	2088	100%	66%	8

Il contributo delle emissioni stradali nel Sopraceneri risulta con ca. 1093 t nel 2012, pari a ca. il 70% delle emissioni totali di NO<sub>x</sub>. Il valore è in linea con i precedenti studi condotti nello stesso comparto (cfr. [3]), dove il contributo del traffico veicolare ammontava a ca. 76% per l'anno 2004 e a ca. 67 % per un orizzonte temporale 2010.

Anche per quanto riguarda il Luganese l'apporto del traffico veicolare, ca. 648 t pari al 63%, ammon-tava ad una percentuale simile di ca. il 70% per l'anno 2000 [1]. Lo stesso studio [1], per un orizzon-te temporale 2010, prevedeva a seconda di differenti scenari di gestione ed evoluzione del traffico, un contributo del traffico compreso tra 41% e 50% delle emissioni totali. Il valore qui calcolato del 63% è pertanto più alto, vi è però da segnalare che a suo tempo le emissioni delle altre sorgenti e-rano state considerate costanti nei 2 scenari temporali, ciò ha pertanto portato ad una sovrastima del contributo emissivo delle stesse.

Le emissioni del comparto stradale nel Mendrisiotto si attestano in questo studio a ca. 345 t, ovvero ca. 56% rispetto al totale. La quota percentuale è sostanzialmente in linea con quanto calcolato nel-lo studio [19] con anno di riferimento 2012<sup>16</sup>. Si tratta di un valore inferiore ai precedenti studi nel Sud del Cantone, dove il contributo del traffico veicolare, per diversi scenari nel 2010 era compreso tra 62% e 72% [2].

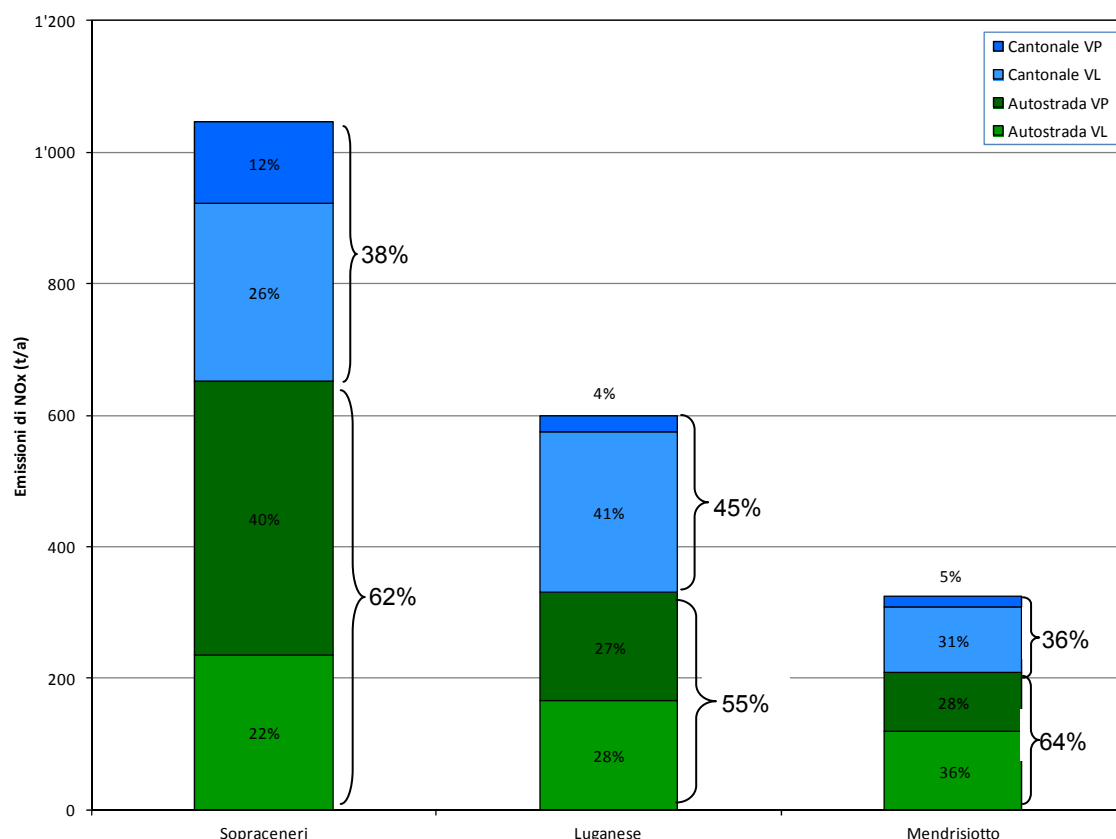
Nella Tabella 27, rispettivamente nella Figura 16, è riportato il dettaglio del contributo delle autostra-de e della strade cantonali per il 2012, mentre la Tabella 28 e la Figura 17 mostrano il dettaglio per il 2025. L'autostrada rappresenta per tutti i comparti di studio il maggior apporto emissivo di NO<sub>x</sub>. Per il Sopraceneri e per il Mendrisiotto l'apporto di NO<sub>x</sub> autostradale è più marcato che per il Luganese, dove il contributo della rete stradale cantonale (più sviluppata rispetto agli altri comparti) è solo di poco inferiore a quello dell'autostrada.

Per il Sopraceneri vi è un'importante contributo generato dai veicoli pesanti soprattutto sulla rete au-tostradale (416 t pari a ca. 40% delle emissioni di NO<sub>x</sub> generate dal traffico nel 2012), mentre per i due comparti di studio del Sottoceneri l'apporto dei veicoli pesanti autostradali si attesta attorno al 27-28% (cfr. Figura 16). Una situazione simile si riscontra anche sulle strade cantonali dove i veicoli pesanti nel Sopraceneri contribuiscono con ca. 125 t al 12% delle emissioni del traffico, mentre nel Sottoceneri tale valore si attesta ad un valore decisamente più contenuto (ca.4-5%).

<sup>16</sup> Il confronto è effettuato con lo scenario S1 senza provvedimenti di riduzione della velocità sull'A2 (cfr. [19]).

**Tabella 27 Ripartizione delle emissioni stradali secondo veicoli leggeri (VL) e veicoli pesanti (VP) e secondo autostrada e cantonale, all'interno dei vari comparti di studio per il 2012 espressa in [t/a].**

Comparto	Autostrada			Cantonale			Totale		
	VL	VP	VL+VP	VL	VP	VL+VP	VL	VP	VL+VP
Sopraceneri	236	416	652	270	125	395	506	541	1'047
Luganese	166	165	331	244	25	269	410	190	600
Mendrisiotto	119	90	209	100	17	116	218	107	325
Ticino	521	671	1'192	614	167	780	1'135	837	1'972



**Figura 16 Grafico dei contributi di veicoli leggeri (VL), veicoli pesanti (VP) ripartiti secondo autostrada e cantonale, all'interno dei vari comparti di studio per il 2012.**

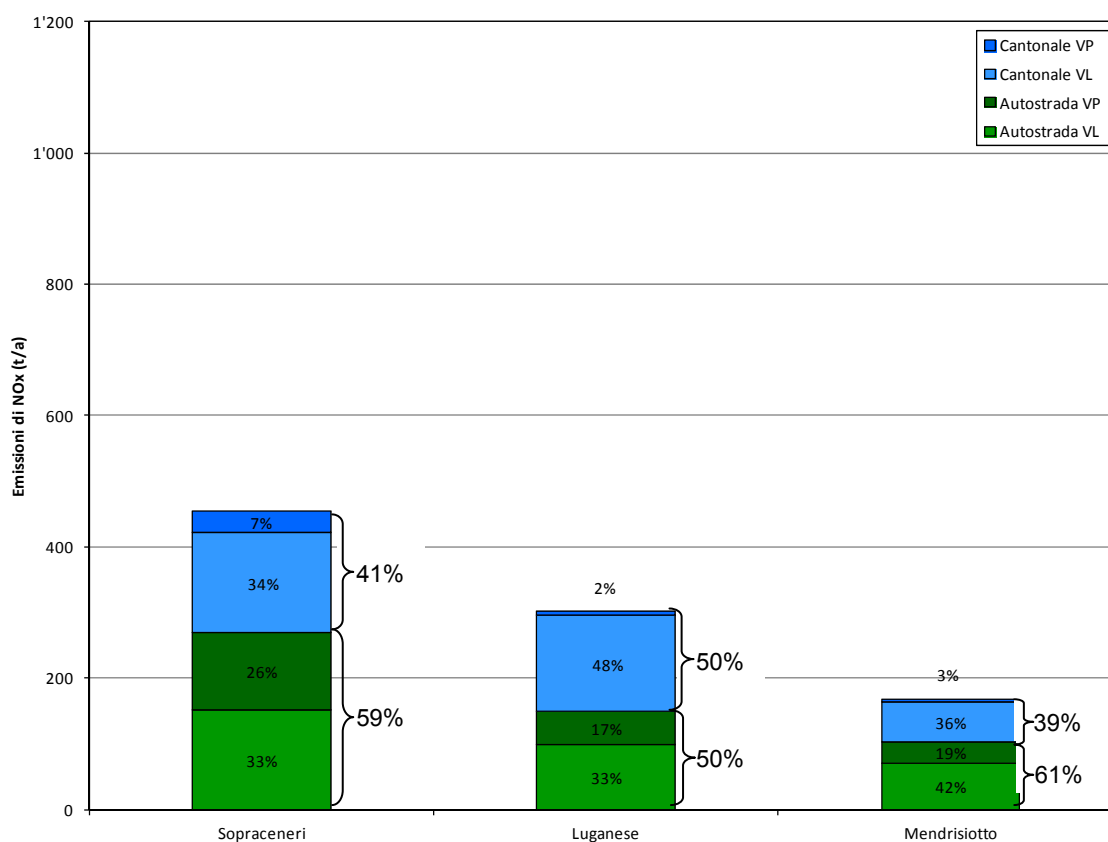
Per quanto riguarda il 2025 è previsto una diminuzione generalizzata del contributo dei veicoli pesanti, a livello cantonale si passa da ca. 873 t par al 44% nel 2012 a ca. 244 t pari al 26% nel 2025<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> Contributo veicoli pesanti: Sopraceneri ca. 52% nel 2012 e ca. 33% nel 2025; Luganese ca. 32% nel 2012 e ca. 19% nel 2025; Mendrisiotto ca. 33% nel 2012 e ca. 22% nel 2025.



**Tabella 28 Ripartizione delle emissioni stradali secondo veicoli leggeri (VL) e veicoli pesanti (VP) e secondo autostrada e cantonale, all'interno dei vari comparti di studio per il 2025 espressa in [t/a]**

Comparto	Autostrada			Cantonale			Totale		
	VL	VP	VL+VP	VL	VP	VL+VP	VL	VP	VL+VP
Sopraceneri	152	116	269	153	34	187	305	150	455
Luganese	99	51	150	146	7	152	244	58	302
Mendrisiotto	71	32	103	60	5	65	131	37	168
Ticino	322	200	521	359	45	404	681	244	925



**Figura 17 Grafico dei contributi di veicoli leggeri (VL), veicoli pesanti (VP) ripartiti secondo autostrada e cantonale, all'interno dei vari comparti di studio per il 2025.**

### 5.1.2.2 Emissioni dei camini

Seguendo una graduatoria di importanza per l'apporto di NO<sub>x</sub>, dopo le emissioni stradali si trovano le emissioni prodotte dalla categoria dei camini (suddivisi in economie domestiche, impianti industriali/artigianali e impianti di processo cfr. cap. 3.2), che globalmente sul territorio cantonale rappresentano ca. il 24% delle emissioni nel 2012 e ca. il 29% nel 2025. La ripartizione delle emissioni di NO<sub>x</sub> rispecchia la ripartizione della popolazione residente in ogni comparto di studio.

Le emissioni generate dai camini di processo (cfr. cap. 3.2.3), producono nel comparto del Mendrisiotto ca. 120 t che rappresentano il 19% delle emissioni totali prodotte nel 2012 in Mendrisiotto. Nel caso del Sopraceneri l'apporto dei camini di processo si attesta a ca. il 2% delle emissioni totali<sup>18</sup> mentre che per quanto riguarda il Luganese non sono censiti impianti nel catasto.

Nel 2025 (cfr. cap. 3.2.3) è prevista una riduzione delle emissioni generate dai processi industriali: per il Mendrisiotto, dove sono in corso misure di risanamento, e si considera che le emissioni si ridurranno a ca. 79 t (tuttavia dato il miglioramento prevedibile per le altre fonti nello stesso lasso di tempo, e nonostante i miglioramenti citati, i camini di processo rappresenteranno nel 2025 ancora il 23% ca. delle emissioni totali del comparto Mendrisiotto).

#### 5.1.2.3 Settore edile, agricoltura e Offroad

Le emissioni sommate di queste categorie si attestano complessivamente a ca. il 5% per il 2012 e al 7% per il 2025 sul territorio cantonale (cfr. Tabella 22 e Tabella 23). Il Sopraceneri risulta essere il comparto con maggiori emissioni legate all'agricoltura, mentre il Luganese quello con maggiori emissioni legate ai cantieri, risultati che rispecchiano il carattere più cittadino del Luganese e più rurale del Sopraceneri.

---

<sup>18</sup> Nel complessivo delle emissioni di NO<sub>x</sub> per il Sopraceneri sono incluse le emissioni dell'ICTR di Giubiasco (ca. 10.2 t nel 2012).

## 5.2 Immissioni

### 5.2.1 *Mappe*

Partendo dalle emissioni di NO<sub>x</sub> distribuite nell'area di studio, il programma POLLUMAP calcola le relative immissioni di NO<sub>2</sub> con una risoluzione spaziale di 100 m x 100 m. Il valore calcolato per ogni centro – ettaro è quindi rappresentativo dell'immissione annua media nella rispettiva area di 100 m X 100 m<sup>19</sup>.

Il dettaglio delle immissioni di NO<sub>2</sub> calcolate per lo “stato di riferimento” (anno 2012) e per lo “scenario futuro” (anno 2025) sono rappresentate graficamente nell'Allegato 14 (“stato di riferimento”) e nell'Allegato 15 (“scenario futuro”). Nell'Allegato 16 e nell'Allegato 17 sono invece riportate le stesse mappe di immissione in una visione d'insieme per tutto il Ticino. Nelle mappe sono evidenziate in colori diversi le zone con immissioni suddivise in intervalli di 5 µg/m<sup>3</sup> sia al di sotto sia al di sopra del valore limite di 30 µg/m<sup>3</sup> fissato dall'OIA.

A livello svizzero, lo studio UFAM [15] propone delle mappe di immissione di NO<sub>2</sub> relative all'anno 2010, e identifica come aree maggiormente sollecitate Basilea, Berna e Friburgo, Ginevra, Losanna, Lucerna e Zugo, Zurigo e il sud del Ticino. Queste aree sono indicate con la categoria massima di immissioni prevista dal modello (> 36 µg/m<sup>3</sup>). La mappa UFAM del sud del Ticino (2010), identifica chiaramente valori elevati nella tratta autostradale Chiasso-Lugano, che mantiene la sua importanza anche nella rappresentazione 2015. Lo studio dell'Ostluft [23], presenta invece una situazione per l'anno 2005, dove gli assi autostradali Basilea-Sargans e St. Margreten-Coira giocano un ruolo importante (concentrazioni fino a 50 µg/m<sup>3</sup>) ma le zone più densamente cariche di immissioni di NO<sub>2</sub> si localizzano nella città di Zurigo e sulla tratta autostradale Zurigo-Winterthur con concentrazioni sopra i 50 µg/m<sup>3</sup>.

Per quanto riguarda il Ticino, in corrispondenza degli assi più trafficati si hanno le maggiori immissioni. Nello “stato di riferimento” anno 2012, le aree maggiormente sollecitate si situano lungo l'asse autostradale Airolo-Chiasso, anche se le concentrazioni più alte si trovano in Mendrisiotto. Forti immissioni si trovano in zona Mendrisio alla congiunzione tra l'autostrada e l'asse Mendrisio-Gaggiolo (territorio di Mendrisio e Rancate). Il carico di NO<sub>2</sub> nel 2012 allo svincolo di Mendrisio supera puntualmente anche i 45 µg/m<sup>3</sup>. Un'altra zona con valori considerevoli si trova a Chiasso (con massimi di 40 µg/m<sup>3</sup>) e lungo tutta la tratta Mendrisio-Lugano Sud (valori di calcolo compresi tra 35 e 39 µg/m<sup>3</sup>). Percorrendo l'A2 verso nord i valori diminuiscono progressivamente. La tratta tra Gentilino e Torricella è caratterizzata da immissioni di 30-35 µg/m<sup>3</sup>, mentre la seguente tratta fino alla galleria del Ceneri presenta valori di 30-32 µg/m<sup>3</sup>. A nord del Ceneri le concentrazioni permangono intorno a 30-32 µg/m<sup>3</sup> (tratta Cadenazzo-Gorduno), mentre in seguito diminuiscono a 27 µg/m<sup>3</sup> sino a Biasca. Tra Biasca e Airolo si trovano concentrazioni comprese tra i 20-23 µg/m<sup>3</sup>, ad eccezione di Bodio - Personico dove si osserva il contributo dell'area di sosta dei veicoli pesanti (ca. 32 µg/m<sup>3</sup>), di Airolo dove si nota quello che presumibilmente è l'influsso del traffico in entrata al tunnel del Gottardo e di Faido dove il risultato è spiegabile parzialmente con la pendenza della rampa e la presenza del portale del tunnel (qui è altresì da segnalare che l'importante altezza del viadotto non può essere considerata dal calcolo, si desume pertanto che i valori siano sovrastimati rispetto alla reale immissione).

---

<sup>19</sup> Inoltre, il modello POLLUMAP restituisce valori di immissioni per unità intere, ad es. 17 e 18 µg/m<sup>3</sup>. Non esistono valori intermedi, ad es. 17,5 µg/m<sup>3</sup>.

Sono inoltre ben distinguibili altri due assi stradali, la semi autostrada Mendrisio-Stabio (ca. 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e la strada cantonale Bioggio-Ponte Tresa (ca. 20-25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Considerando il peso dell'autostrada a livello di emissioni, non sorprende che, anche nelle immissioni, l'asse autostradale sia ben riconoscibile nelle mappe. Nella tratta da Chiasso fino a Arbedo l'autostrada è la fonte di un superamento costante (mediamente su di un'area di 1 ettaro) del valore limite d'immissione di 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . A partire da una distanza di 0.5 -1 km dall'autostrada l'influsso del traffico si attenua e i valori di immissioni di  $\text{NO}_2$  sono di ca. 20-25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel Luganese, nel Mendrisiotto, e 15-20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sul Piano di Magadino.

Il centro cittadino di Lugano, sebbene non direttamente toccato da assi stradali fondamentali è sottoposto a un'immissione compresa tra 30 e 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , verosimilmente frutto dell'impatto dei riscaldamento e delle attività artigianali e commerciali del centro, con il contributo dei relativi trasporti pubblici, personali e di merci, oltre che del traffico cittadino intenso. A questo proposito la "situazione attuale" (anno 2012) considera una rete stradale antecedente la messa in esercizio della Galleria Vedeggio Cassarate.

Per l'orizzonte temporale 2025, la distribuzione è simile a quella del 2012 con una notevole riduzione delle concentrazioni, secondo le simulazioni si evidenziano unicamente due zone con superamento del limite di 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  localizzate a Mendrisio e in centro Lugano<sup>20</sup>. L'impatto dell'autostrada rimane ben visibile anche se il corridoio che ne subisce l'impatto si restringe notevolmente (cfr. ad esempio la fascia con immissione  $\geq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Soprattutto si riducono considerevolmente, o addirittura scompaiono le aree con forte impatto ( $\text{NO}_2 \geq 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). A titolo di paragone con il paragrafo che tratta lo "stato di riferimento" (2012), nel 2025 a Mendrisio il massimo valore simulato è di 34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , a Chiasso di 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , lungo tutta la tratta Mendrisio-Lugano Sud nell'intervallo 25-34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e tra Lugano e Torricella 20-25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con un'eccezione nell'area di Grancia per la quale è previsto un valore massimo di ca. 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . A nord del Ceneri la tratta Cadenazzo-Gorduno comprende valori nell'intervallo tra 18 e 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  con alcuni ettari isolati nell'agglomerato di Bellinzona che raggiungono i 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , dirigendosi verso nord tra Arbedo e Giornico la concentrazione è dell'ordine di 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , mentre più a nord diminuisce ulteriormente fino a raggiungere valori intorno ai 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , con le eccezioni di Faido (18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e Airolo (15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Nell'ottica di un'evoluzione futura, lo studio UFAM [15], quantifica la riduzione di immissioni nelle zone più sollecitate della Svizzera tra il 2005 e il 2010, a ca. 3-5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Lo studio Ostluft [23], per lo stesso periodo, prevede anch'esso una riduzione delle immissioni sebbene più contenuta e compresa tra 1-3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Secondo il modello del presente studio tra il 2012 e il 2025, la riduzione generale su tutto il territorio cantonale si aggira intorno a 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , l'area del Sopraceneri mostra la riduzione più contenuta (ca. 0.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; 1 a 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nelle aree più sollecitate), mentre nel territorio del Luganese si attesta intorno al 2.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (1 a 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nella maggioranza dei casi) e nel Mendrisiotto propone la riduzione più rilevante di ca. 4.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (2 a 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nella maggioranza dei casi). La riduzione così calcolata è contenuta dato che si considera tutto il territorio cantonale comprensivo delle aree discoste con basse immissioni (aree montagnose, boschi, ecc.), mentre per un'analisi delle aree abitate si rimanda al cap. 5.3.

<sup>20</sup> Un ridotta area di superamento si evidenzia anche ai portali della galleria del S. Salvatore, tuttavia i portali rappresentano condizioni particolari e localizzate di inquinamento legate alla raccolta dei fumi della galleria.

### 5.2.2 “Alpenfaktor”

In questo approfondimento si è cercato di considerare almeno parzialmente l'effetto orografico delle vallate alpine: la diffusione degli inquinanti è condizionata dalle particolari condizioni meteorologiche (bidirezionalità dei venti, inversioni termiche) che POLLUMAP non riesce a considerare direttamente. In [21] viene definito “Alpenfaktor” il fattore che rappresenta la differenza relativa tra un'immissione che si osserva in una vallata alpina e l'immissione provocata da una medesima emissione in una pianura priva di ostacoli. Secondo questo studio, l'emissione di un'asse autostradale può provocare in una vallata alpina un'immissione che, a 500 m di distanza dall'asse, risulta 20 – 25 % superiore all'immissione che la stessa sorgente avrebbe provocata alla medesima distanza sull'altopiano svizzero. Le indagini di [22] confermano questa ipotesi, che in vallate alpine il fattore I/E (“Immissionen/Emissionen”) determinato comunque con misure svolte immediatamente a ridosso della sorgente risulta addirittura 3-5 volte superiore rispetto a quanto osservato in pianura.

Non potendo intervenire sui parametri delle funzioni di diffusione del programma POLLUMAP si è apportato un correttivo alle emissioni<sup>21</sup> che, unicamente per il calcolo delle immissioni, sono state maggiorate di un fattore. Si ipotizza quindi che una sorgente con emissioni artificialmente maggiorate ed una sorgente ubicata in un ambiente in cui la dispersione dell'inquinante è limitata riproducano indicativamente la medesima immissione.

In base alla verifica delle simulazioni con le misure sperimentali (cfr. cap. 5.2.3), si è optato per un fattore di 1,3 applicato a tutte le emissioni presenti a nord di Bellinzona (da Arbedo ad Airolo, incl. Valle Bedretto e da Biasca a Olivone). Per il resto del Ticino il calcolo delle immissioni si è basato sulle emissioni effettivamente calcolate nel catasto.

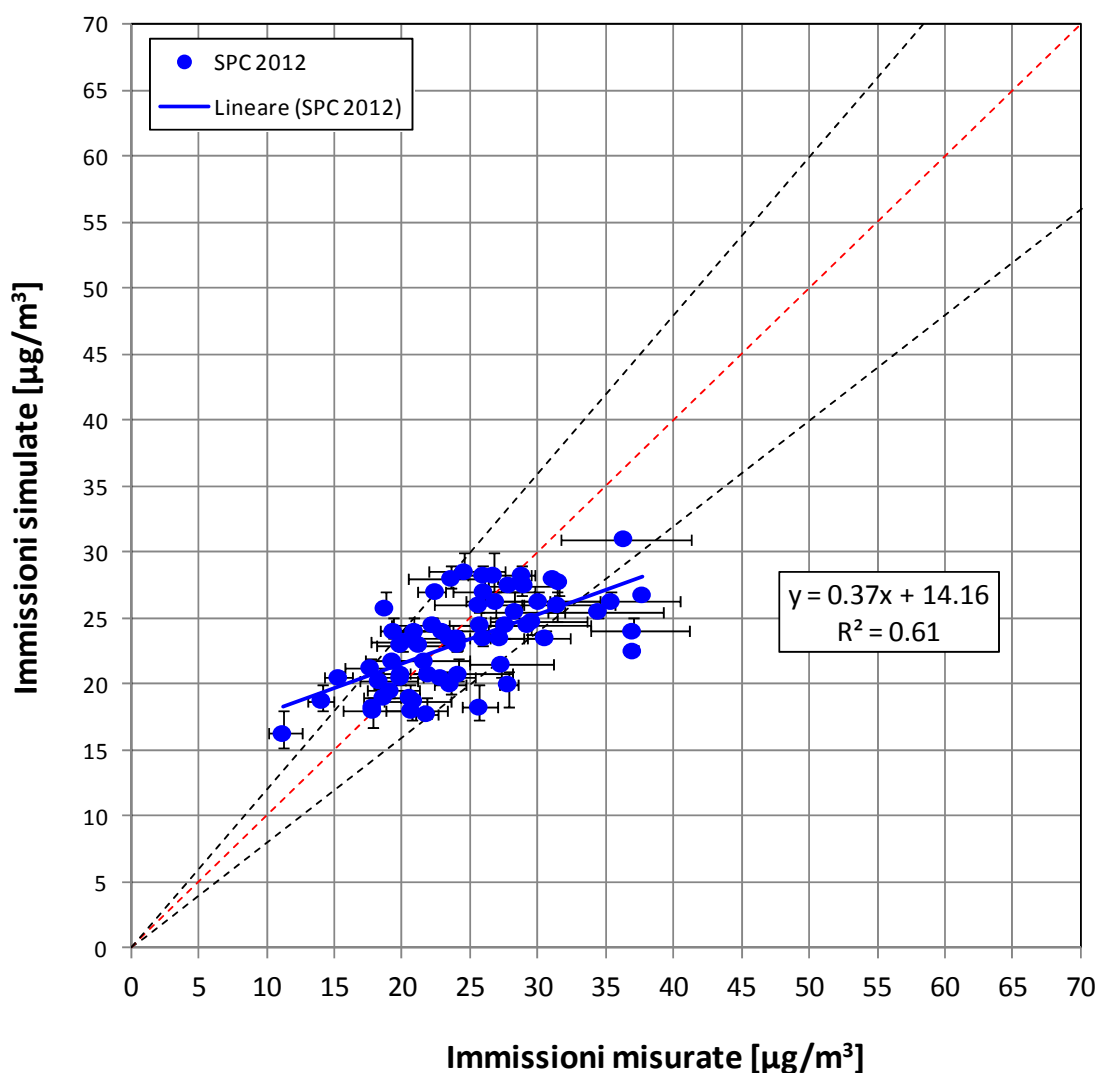
---

<sup>21</sup> Il riassunto delle emissioni nelle Tabella 20 e nella Tabella 21 riporta le emissioni “originali”, che sono intese come le emissioni calcolate secondo la procedura al cap. 3 non maggiorate da nessun fattore.

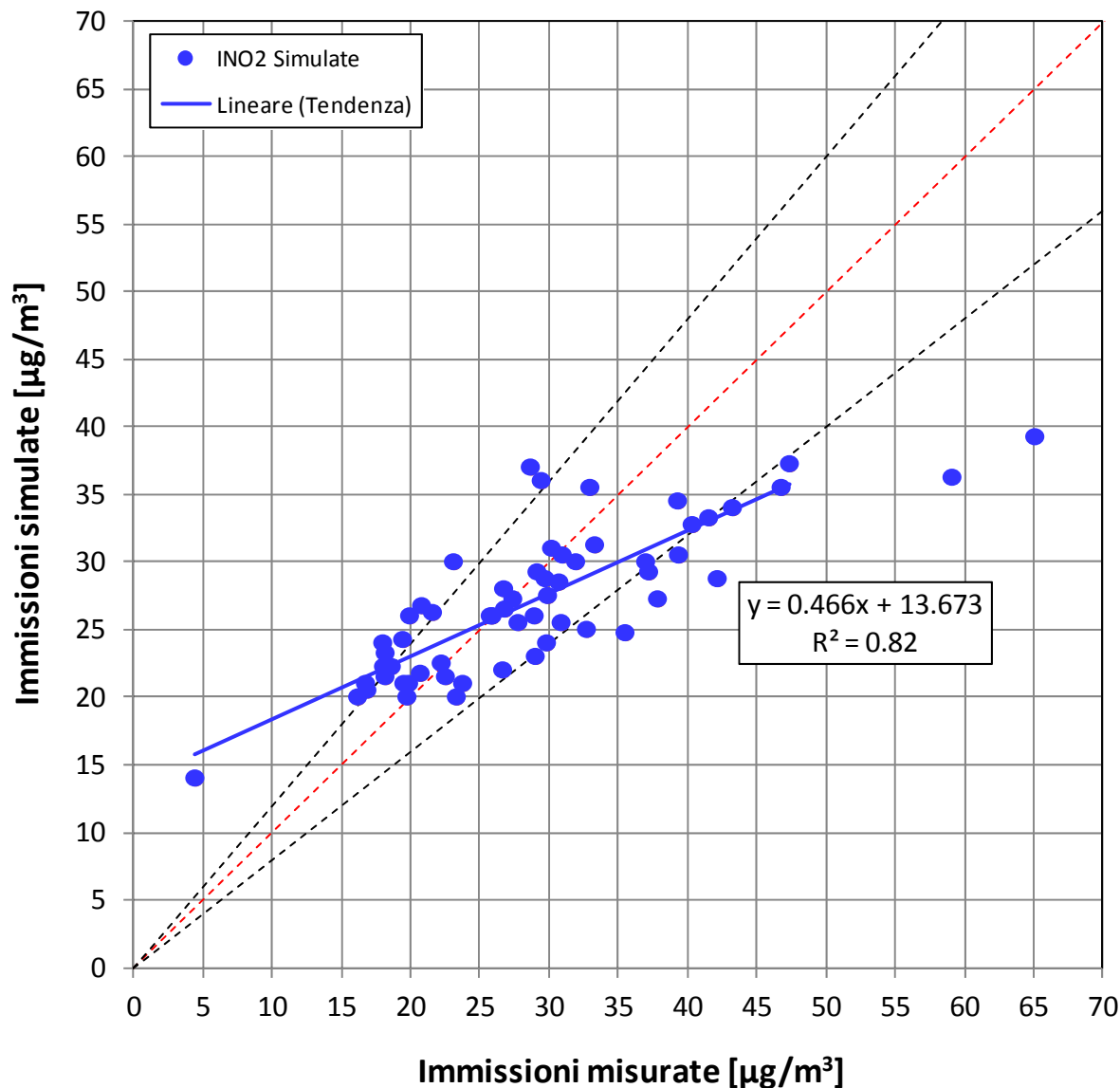
### 5.2.3 Validazione del modello

In Figura 18, Figura 19 e Figura 20, i valori delle simulazioni per il 2012 sono confrontati con i valori medi annui misurati nell'intervallo temporale 2010-2012, dove quest'ultimi sono rappresentati graficamente in funzione della media delle immissioni simulate per i 4 centri ettaro più vicini al punto di misura. Con questa analisi si è voluto tenere conto del fatto che il programma POLLUMAP calcola dei valori (medi annui) su celle di un ettaro il cui centro normalmente non coincide con la posizione dei campionatori passivi.

Per il comparto Sopraceneri (cfr. Figura 18), la media dei valori di calcolo ( $23.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) è di poco inferiore a quella dei valori sperimentali ( $24.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



**Figura 18** Confronto fra valori di immissione misurati (2010 – 2012) e simulati con POLLUMAP (simulazioni orizzonte temporale 2012) per il comparto Sopraceneri (scenario di riferimento 2012,  $A(t) = 32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La linea continua blu rappresenta la regressione lineare dei valori. Le linee tratteggiate nere costituiscono le rette con scarti  $\pm 20\%$  rispetto alla retta con pendenza 1 (linea tratteggiata rossa). Ad ogni punto è associata un'incertezza: in verticale determinata dalla differenza tra il valore più alto e quello basso delle immissioni dei 4 centri ettari più vicini al punto di misura e in orizzontale determinata dall'imprecisione tipica di una misura con campionatori passivi ( $\pm 10\%$ ).

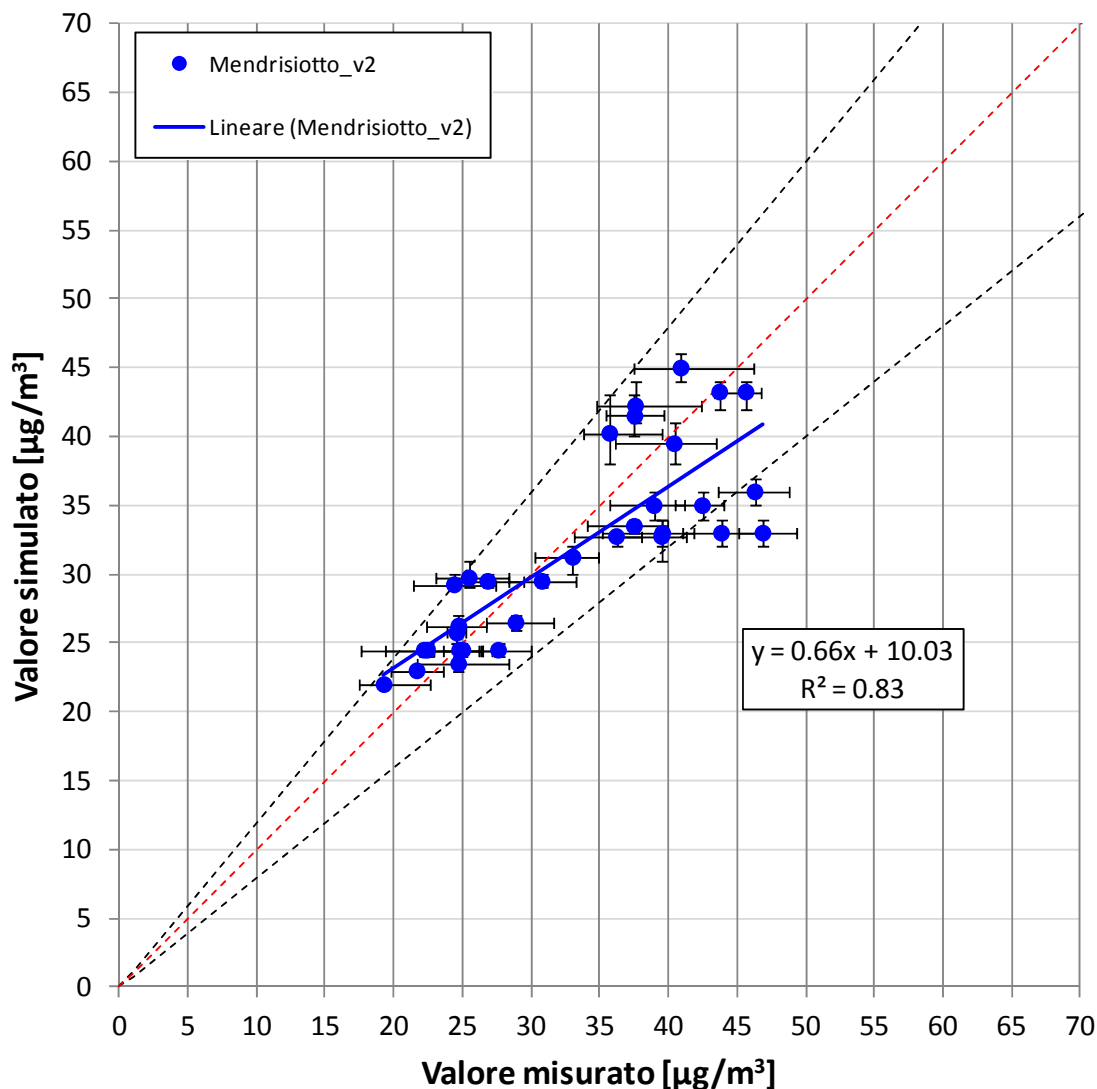


**Figura 19** Confronto fra valori di immissione misurati (2010 – 2012) e simulati con POLLUMAP (simulazioni orizzonte temporale 2012) per il comparto Luganese (scenario di riferimento 2012,  $A(t) = 38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La linea continua blu rappresenta la regressione lineare dei valori.

Per il Luganese (cfr. Figura 19), la media dei valori di calcolo ( $27.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) è inferiore a quella dei valori sperimentali ( $29.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) complessivamente di  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Nel grafico del Luganese, sono visibili due valori che si discostano notevolmente dalla nuvola di punti, si tratta degli stessi due valori estromessi dalle valutazioni dello studio PRAL precedentemente eseguito sul territorio del Luganese (cfr. cap. 2.2.1). Anche nelle valutazioni del presente studio questi due campionatori non saranno considerati perché poco rappresentativi della qualità generale del modello.

Nel grafico del Mendrisiotto (cfr. Figura 20), la media dei valori di calcolo ( $31.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) è di poco inferiore a quella dei valori sperimentali ( $33.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )<sup>22</sup>.



**Figura 20** Confronto fra valori di immissione misurati (2010 – 2012) e simulati con POLLUMAP (simulazioni orizzonte temporale 2012) per il comparto Mendrisiotto (scenario di riferimento 2012,  $A(t) = 45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La linea continua blu rappresenta la regressione lineare dei valori<sup>23</sup>.

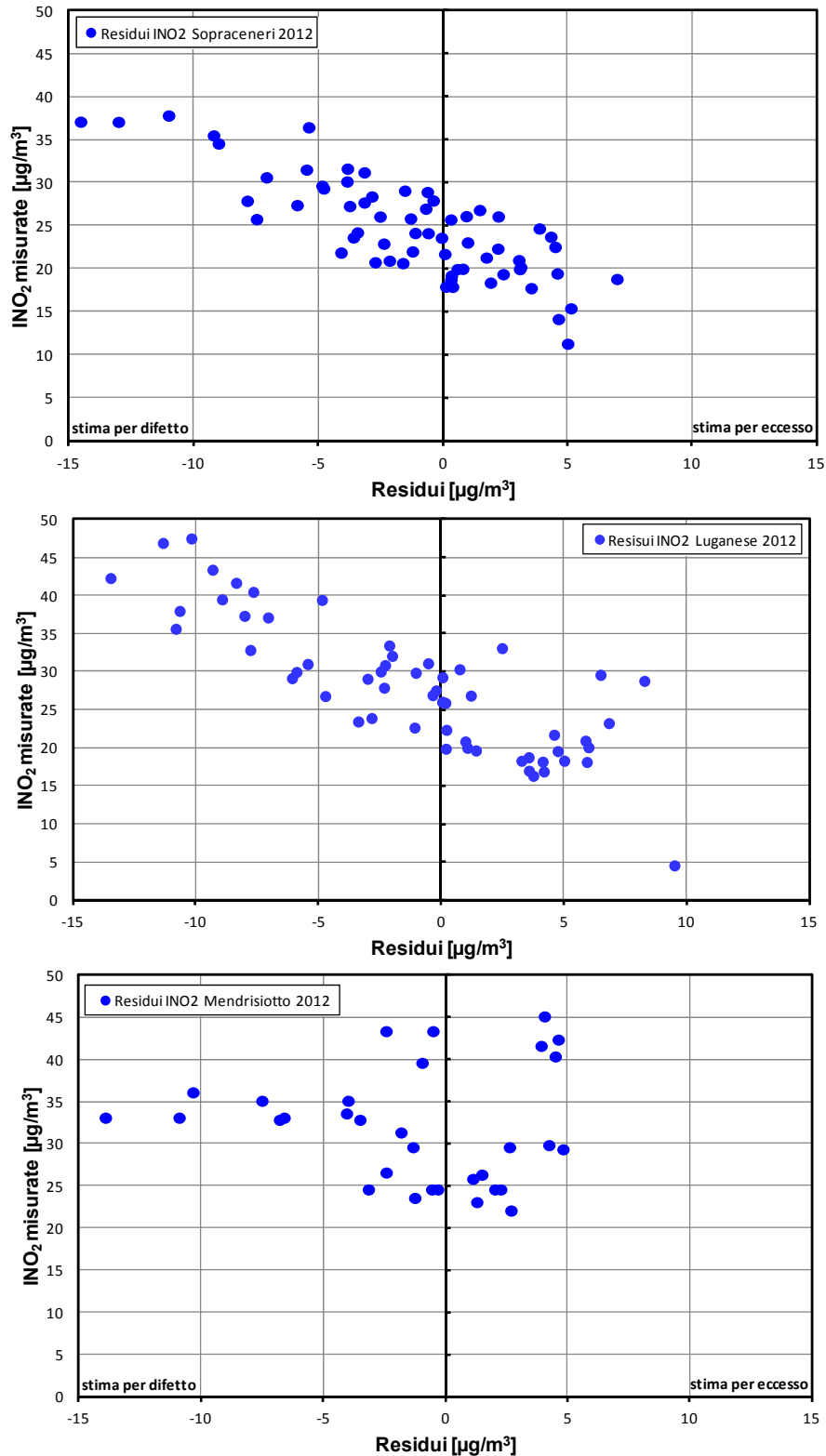
I residui (differenze tra i valori calcolati e misurati) sono dispersi in modo casuale rispetto allo 0, indipendentemente dal valore di immissione, nella Figura 21 si osserva che la differenza tra valore

<sup>22</sup> Lo stesso confronto eseguito tra i valori simulati ( $31.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e i valori misurati del periodo 2009-2011 ( $31.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) presenta delle medie pressoché identiche. I valori sperimentali dell'anno 2012 si discostano notevolmente da quelli registrati negli anni precedenti.

<sup>23</sup> Si noti che in questo caso il confronto è eseguito tra la simulazione (Anno 2012) e le misure dei campionatori passivi effettuate nell'intervallo 2010-2012. Nel caso della simulazione eseguita per lo studio USTRA [5], i valori sperimentali si riferivano al periodo 2009-2011. Nonostante i valori simulati nei due studi siano pressoché identici, la differenza riscontrata nei valori sperimentali dei due periodi risulta in una minor corrispondenza modello-misure nel presente studio (cfr. cap. 2.2.2).



simulato e calcolato è tendenzialmente maggiore a elevate concentrazioni. Per concentrazioni basse (< 20 µg/m³) si assiste, invece, in generale ad una stima per eccesso del modello.



**Figura 21** Distribuzione dei residui in relazione ai valori simulati per i tre comparti in oggetto (in alto Sopraceneri, in centro Luganese e in basso Mendrisiotto).

Come anche nei precedenti studi, i valori simulati di immissioni di NO<sub>2</sub> sono globalmente più elevati nel Mendrisiotto e più bassi nel Sopraceneri, l'andamento generale del modello è confermato dalle misure dei campionatori passivi. Sulla base della procedura d'analisi seguita al cap. 2.2.3, la Tabella 29 riassume i valori dei tre parametri scelti per la valutazione statistica del modello (cfr. cap. 2.2.3), mentre la Tabella 30 ripropone il sistema empirico di classificazione secondo lo stesso tipo di valutazione.

**Tabella 29** Coefficienti statistici per la valutazione della corrispondenza valori simulati/valori misurati orizzonte temporale 2012 (stato attuale).

Comparto	R <sup>2</sup>	A	b
Sopraceneri	0.61	0.37	14.16
Luganese	0.82	0.47	13.67
Mendrisiotto	0.83	0.66	10.03

**Tabella 30** Matrice di classificazione della corrispondenza modello/misure in base ai tre parametri considerati. Il modello che ha un valore del parametro più vicino all'obiettivo (idealmente R<sup>2</sup> =1; a=1 e b= 0) riceve un punteggio di 1 mentre quello più lontano un punteggio di 3.

Comparto	R <sup>2</sup>	A	b	Punteggio	Rango
Sopraceneri	3	3	3	9	3
Luganese	2	2	2	6	2
Mendrisiotto	1	1	1	3	1

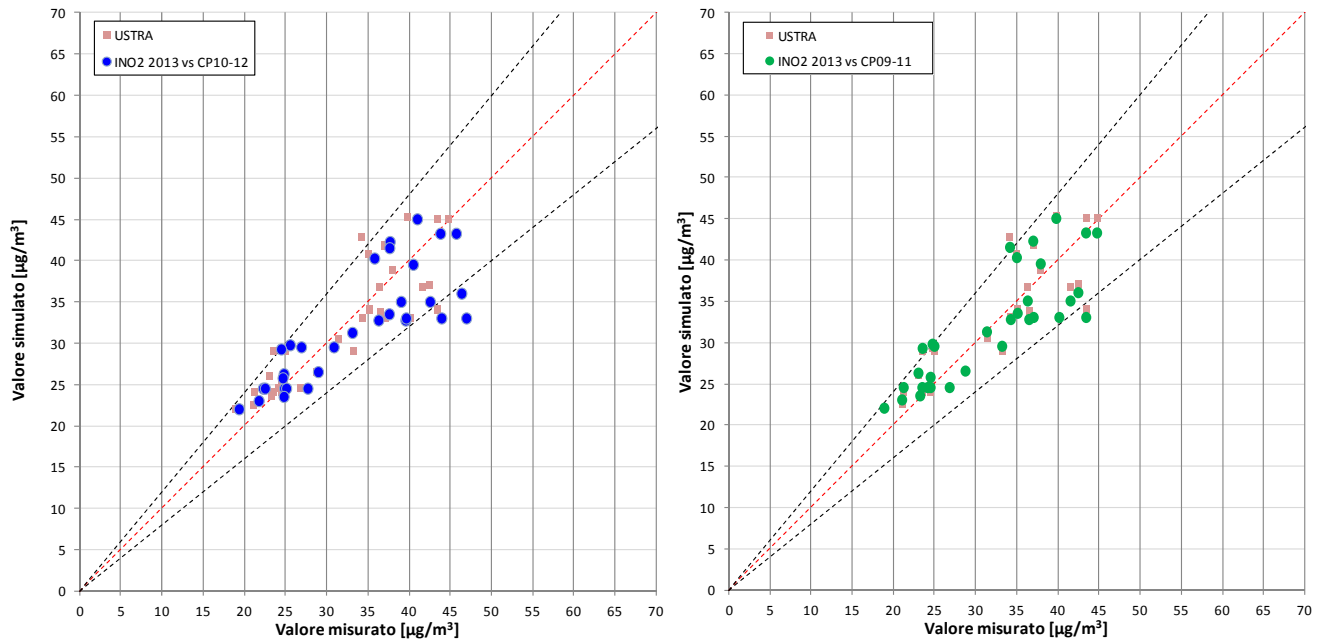
Sulla base della valutazione empirica risulta che la corrispondenza tra i valori misurati e i valori simulati risulta essere migliore nel Mendrisiotto mentre che nel Sopraceneri essa tende a essere più debole, il Luganese si situa in una situazione intermedia.

### 5.2.3.1 Confronto con studio dell'Ufficio federale delle strade

Per il comparto del Mendrisiotto è stato recentemente eseguito uno studio analogo per conto di USTRA (cfr. [5]) per l'orizzonte temporale 2012 (stato attuale). La Figura 22 mostra un confronto tra i valori calcolati e i valori misurati tra le simulazioni dello studio USTRA [5] e quella del presente studio. I risultati delle simulazioni per i due studi a confronto sono praticamente identici, tuttavia i valori sperimentali con i quali si effettua il confronto risultano diversi pertanto il grafico appare trasportato verso destra (cfr. Figura 22; grafico a sinistra). Per effettuare una verifica più immediata si sono quindi riportati i dati della simulazione del presente studio in relazione con i campionatori passivi del periodo 2009-2011<sup>24</sup>. Il risultato di questa valutazione è visibile in verde (cfr. Figura 22; grafico a destra), dove è rappresentata la corrispondenza tra le due simulazioni. Sul grafico a destra, risulta visibile una leggera differenza legata esclusivamente ai valori simulati. Questa leggera differenza è dovuta al contributo delle emissioni dei camini, in effetti i dati di base utilizzati per lo studio USTRA (consumo di olio e consumo di gas) si riferivano al consumo 2007 (cfr. [7]), mentre quelli utilizzati per il presente studio si riferiscono all'anno 2012 (cfr. [14]). Siccome il consumo di olio è diminuito

<sup>24</sup> I campionatori del periodo 2009-2011 sono gli stessi utilizzati per il confronto nell'ambito dello studio USTRA [5].

tra il 2007 e il 2012, mentre quello di gas è aumentato<sup>25</sup>. le emissioni NO<sub>x</sub> di ogni caldaia a gas sono aumentate mentre quelle di ogni caldaia a olio è diminuita.



**Figura 22** Confronto tra i valori simulati e i valori misurati per le simulazioni effettuate nel Mendrisiotto. In rosso la simulazione dello “stato attuale 2012” nell’ambito dello studio USTRA 2012 (■), nel grafico a sinistra in blu la simulazione nell’ambito del presente studio (●) in relazione con i valori sperimentali del periodo 2010-2012 e a destra in verde a simulazione nell’ambito del presente studio (●) in relazione con i valori sperimentali del periodo 2009-2011.

<sup>25</sup> Si noti che il fattore di emissione per l’olio combustibile (155 µg/m<sup>3</sup>) è superiore a quello del gas metano (126 µg/m<sup>3</sup>).

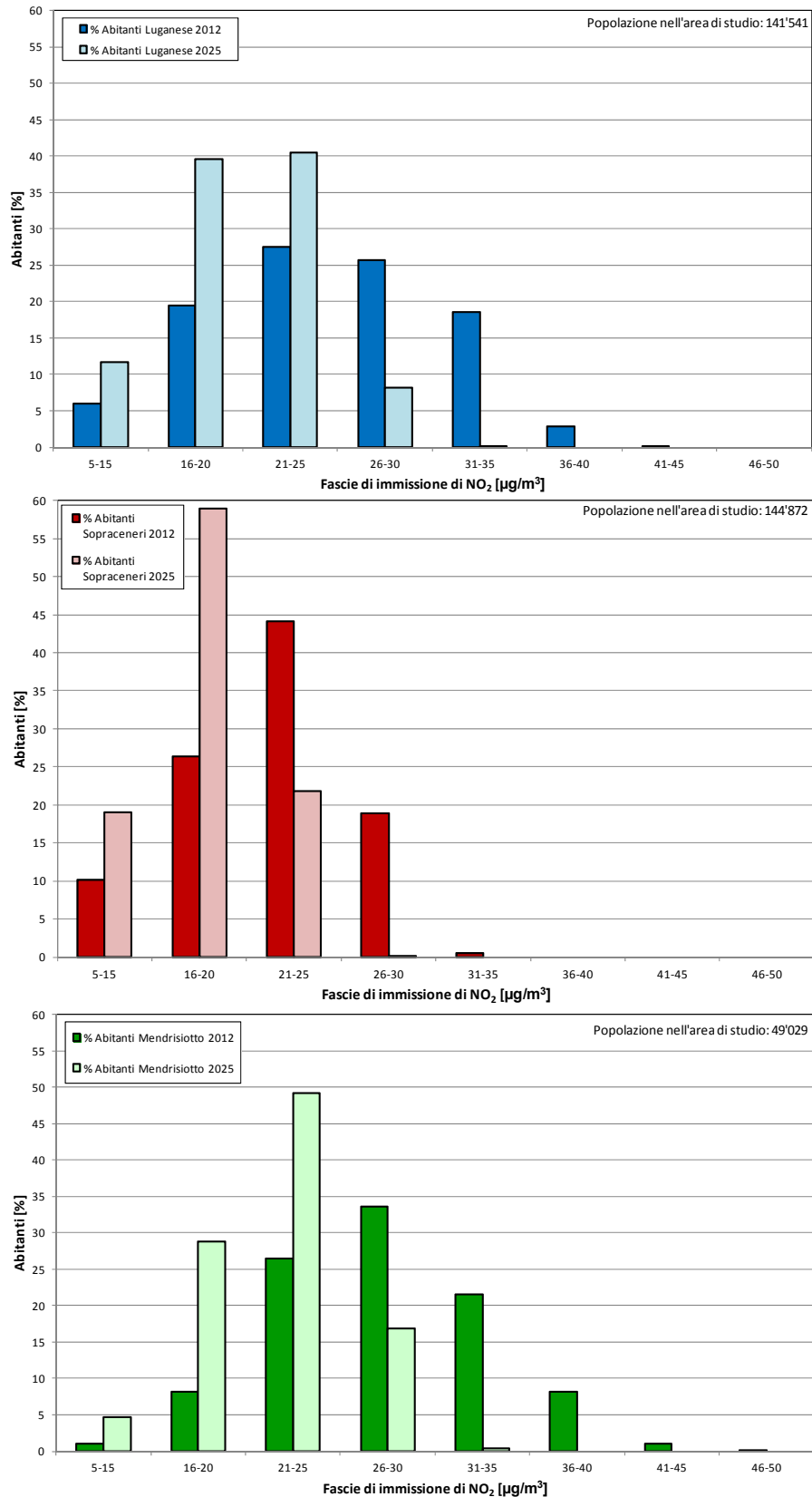
### 5.3 Mappe ed esposizione degli abitanti

Partendo dalle emissioni di NO<sub>x</sub> distribuite nell'area di studio il programma POLLUMAP calcola le relative immissioni di NO<sub>2</sub>. Tali immissioni sono rappresentate sotto forma di mappe in cui sono evidenziati con una scala colorimetrica le zone con immissioni comprese in intervalli di 5 µg/m<sup>3</sup> sia al di sotto sia al di sopra del valore limite di 30 µg/m<sup>3</sup> fissato dall'Ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIAt).

La Tabella 31 e la Figura 23 riportano il risultato della sovrapposizione delle mappe di immissione di NO<sub>2</sub> con la distribuzione della popolazione nel Cantone. I dati relativi alla popolazione si riferiscono all'anno 2011 [14] e sono considerati costanti per il 2025.

**Tabella 31** *Grado di esposizione degli abitanti nell'area di studio alle immissioni di NO<sub>2</sub> (espresso in n. abitanti) per i diversi comparti considerati per gli anni 2012 e 2025. Le ultime due righe riportano il numero di abitanti e la percentuale della popolazione esposta ad un'immissione superiore al valore limite di 30 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>.*

Categoria di immissione di NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Sopraceneri		Luganese		Mendrisiotto		Ticino	
	2012	2025	2012	2025	2012	2025	2012	2025
5-15	14'702	27'591	8'487	12'070	500	2'304	23'689	46'389
16-20	38'189	85'501	27'586	48'011	3'986	14'102	69'761	155'626
21-25	63'930	31'671	38'899	56'889	12'961	24'128	115'790	113'169
26-30	27'324	109	36'295	23'865	16'497	8'292	80'116	19'929
31-35	727	0	26'231	706	10'533	203	37'491	329
36-40	0	0	4'037	0	4'015	0	8'052	0
41-45	0	0	6	0	509	0	515	0
46-50	0	0	0	0	28	0	28	0
<i>Totale popolazione</i>	<i>144'872</i>		<i>141'541</i>		<i>49'029</i>		<i>335'442</i>	
<b>n. abitanti &gt; 30 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>727</b>	<b>0</b>	<b>30'274</b>	<b>126</b>	<b>15'057</b>	<b>203</b>	<b>46'086</b>	<b>329</b>
<b>Parte pop. &gt; 30 µg/m<sup>3</sup> (in %)</b>	<b>0.5%</b>	<b>0.0%</b>	<b>21.4%</b>	<b>0.1%</b>	<b>29.7%</b>	<b>0.4%</b>	<b>13.7%</b>	<b>0.1%</b>



**Figura 23** Grado di esposizione degli abitanti nei tre comparti di studio alle immissioni medie annue di NO<sub>2</sub> (in alto in rosso Sopraceneri, al centro in blu Luganese e in basso in verde Mendrisiotto). Gli istogrammi di colore scuro si riferiscono all'anno 2012, mentre quelle in colore chiaro alla previsione per il 2025.

Nella maggior parte dei casi si osserva che allo stato attuale (anno 2012) le immissioni medie annue superano il limite OIAt soprattutto nella fascia attorno all'autostrada e nel centro città di Lugano. Si tratta di un risultato non sorprendente, se si considera l'importanza del contributo del traffico motorizzato alla somma delle emissioni (cfr. Tabella 20). Le situazioni non conformi all'OIAt si riscontrano soprattutto nel Mendrisiotto e nel Luganese, e vi sono poi alcune situazioni critiche nel Bellinzonese e nel Locarnese.

L'esposizione media ponderata della popolazione cantonale alle immissioni di NO<sub>2</sub> nello scenario "stato attuale" è di ca. 24 µg/m<sup>3</sup> nel 2012, con una media di ca. 21 µg/m<sup>3</sup> nel Sopraceneri, 25 µg/m<sup>3</sup> nel Luganese e 27 µg/m<sup>3</sup> nel Mendrisiotto. L'esposizione media ponderata della popolazione cantonale alle immissioni di NO<sub>2</sub> prevista per il 2025 è di 20 µg/m<sup>3</sup> nel 2012, con una media di ca. 18 µg/m<sup>3</sup> nel Sopraceneri, 21 µg/m<sup>3</sup> nel Luganese e 22 µg/m<sup>3</sup> nel Mendrisiotto.

Secondo le mappe di immissione di NO<sub>2</sub>, nel 2012 ca. 14% della popolazione risulta esposta a un'immissione superiore al valore limite OIAt di 30 µg/m<sup>3</sup>. Nel Sopraceneri la percentuale di popolazione esposta mediamente a concentrazioni elevate (superiori al limite) è dello 0.5%, nel Luganese è di 21 % ca. e nel Mendrisiotto del 30% ca. (cfr. Figura 24). Nel 2025 tale percentuale si riduce drasticamente (ca. 0.1 %; ca. 330 abitanti). Inoltre, diminuisce il modo sensibile il numero di persone esposte ad alte concentrazioni (NO<sub>2</sub> > 40 µg/m<sup>3</sup>).

Secondo le cifre riportate in [15], l'esposizione media ponderata della popolazione in Svizzera per l'anno 2005<sup>26</sup> era di ca. 23.2 µg/m<sup>3</sup> con una percentuale di persone esposte ad una concentrazione superiore al valore limite di ca. 16%<sup>27</sup>, mentre per il 2015 prevede un'esposizione media ponderata di 18.9 µg/m<sup>3</sup> con una riduzione della percentuale di persone sopra il limite al 3%. L'esposizione della popolazione in Ticino a livello cantonale risulta essere superiore alle previsioni a livello nazionale riportate in [15] sia in valore assoluto sia in percentuale (cfr. Figura 24).

A titolo di paragone, nel Sopraceneri<sup>28</sup> la previsione (2010) di esposizione a concentrazioni superiori al valore limite ammontava all'1% della popolazione del Sopraceneri [3], che risulta in linea con quanto riscontrato nel presente studio. Nel Luganese<sup>29</sup> la previsione (2010) di esposizione a concentrazioni superiori al valore limite ammontava a ca. 30'000 - 35'000 persone (ovvero il 20 - 25%<sup>30</sup> della popolazione del Luganese) [1] e nel Mendrisiotto (sempre nel 2010<sup>30</sup>), si prevedeva che il numero di persone esposte ad un'immissione superiore al valore limite di 30 µg/m<sup>3</sup> sarebbe stato di ca. 18'000-21'000 unità (ovvero il 39-44% della popolazione, [2]). I valori calcolati nell'aggiornamento dello studio riferimento (2012) sono pertanto più bassi di quanto calcolato in passato (scenario 2010).

La riduzione dei valori di immissione prevista per il 2025 è di ca. 4 µg/m<sup>3</sup> (ca. 3 µg/m<sup>3</sup> nel Sopraceneri, ca. 4 µg/m<sup>3</sup> nel Luganese e ca. 5 µg/m<sup>3</sup> nel Mendrisiotto). A questo proposito lo studio relativo alla comunità Ostluft [23] stima la riduzione delle immissioni di NO<sub>2</sub> nelle zone abitate dell'est della Svizzera a ca. 1-3 µg/m<sup>3</sup> per il periodo 2005-2010.

---

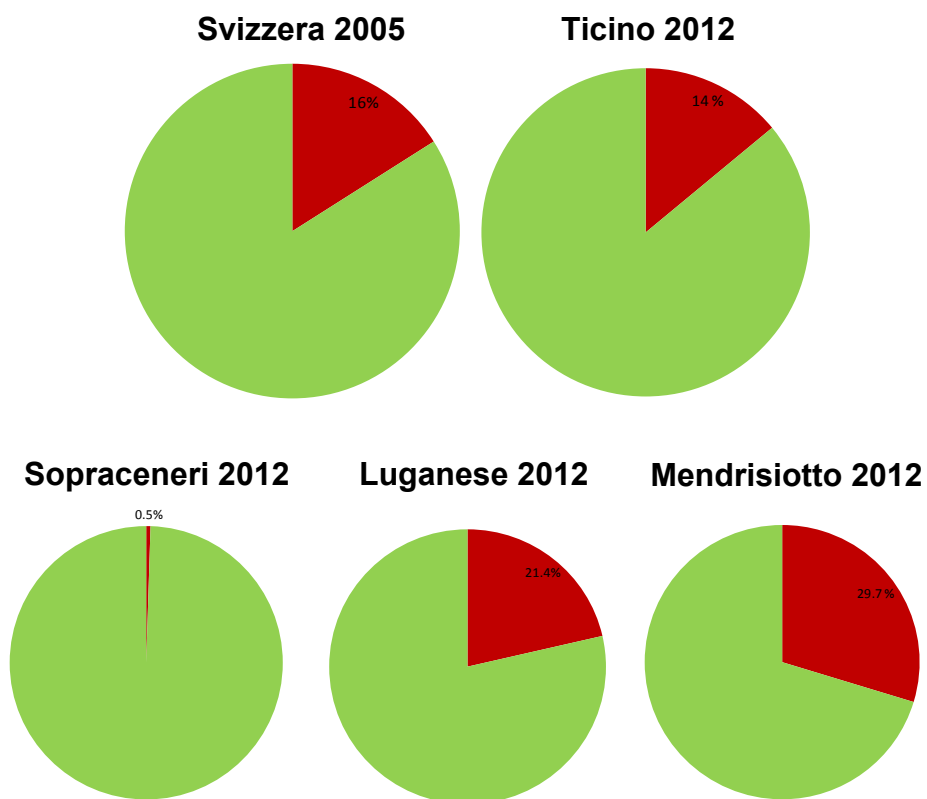
<sup>26</sup> Dati secondo censimento della popolazione 2000.

<sup>27</sup> In seguito ad un'analisi di sensibilità del modello la percentuale più plausibile è di 16% nel 2005, ma la pubblicazione riporta un intervallo compreso tra 6 e 34%. Per il 2010 è di 7% (intervallo 2-9%) e per il 2015 del 3% con (1-10%).

<sup>28</sup> Dati secondo censimento della popolazione 2004.

<sup>29</sup> Dati secondo censimento della popolazione 1990.

<sup>30</sup> Sia nel Luganese che nel Mendrisiotto sono stati considerati più scenari futuri, ragion per cui viene indicato un intervallo.



**Figura 24** Rappresentazione grafica della percentuale di popolazione esposta a un'immissione superiore a limite OIA di  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nell'anno 2012.

## 6 Conclusioni

Con questo lavoro è stato aggiornato l'impatto dell'inquinamento da NO<sub>x</sub> sulla qualità dell'aria nel cantone e sull'esposizione della popolazione a tale inquinante. Il tema dell'immissione di ossidi d'azoto, già trattato attraverso lo sviluppo dei Piani di Risanamento dell'aria, è stato aggiornato ed approfondito. La qualità delle informazioni di partenza è stata incrementata, in modo da ottenere delle simulazioni adeguate alla situazione odierna e una prognosi di evoluzione futura per uno scenario di medio termine 2025. Grazie alla corrispondenza tra le simulazioni di previsione effettuate nei precedenti studi e i valori dai campionatori passivi misurati nel corso degli anni, le mappe simulate attraverso questa procedura appaiono come un utile mezzo di valutazione e di previsione dell'evoluzione dell'inquinamento generato da fonti inquinanti a grande impatto come il traffico autostradale e le emissioni stazionarie.

Lo studio dimostra come, nonostante gli indubbi miglioramenti registrati negli anni a livello di emissioni e immissioni di inquinanti, i limiti dell'OIA del diossido di azoto (NO<sub>2</sub>) continuano ad essere superati su un'ampia fascia di territorio soprattutto a sud del Cantone. Allo stato attuale (anno 2012) 46'086 abitanti (17.3% della popolazione) risiede in zone dove le concentrazioni medie annue di NO<sub>2</sub> eccedono il limite OIA di 30 µg/m<sup>3</sup>. Dallo studio emerge inoltre che il traffico motorizzato è tuttora responsabile di una quota importante di emissioni di ossidi di azoto (62% nel 2012) che si ripercuote anche a livello di immissioni (di NO<sub>2</sub>) soprattutto nelle fasce di territorio poste attorno al percorso autostradale che si conferma una fonte determinante. Nonostante il miglioramento tecnologico il traffico stradale motorizzato rimarrà anche in futuro la sorgente di emissioni di NO<sub>x</sub> più rilevante, come esposto attraverso le mappe di previsione per il 2025 (apporto del traffico alle emissioni di NO<sub>x</sub> nel 2025 ca. 55%). A livello di esposizione di abitanti a immissioni elevate, si osserva una radicale diminuzione entro il 2025. Sulla base della distribuzione attuale della popolazione residente, nello scenario futuro solo una quota dello 0.1% della popolazione (ca. 350 persone) sarà esposta a livelli superiore al limite OIA.

A questo proposito, sono infatti previste ulteriori significative riduzioni delle emissioni d'azoto per i prossimi anni (- 47% dal 2012 al 2025), grazie soprattutto alle migliorie nei processi di combustione. In futuro si prevede un'ulteriore e forte riduzione delle emissioni del traffico veicolare. Considerando la rilevanza quantitativa di questa sorgente è chiaro che i risultati qui presentati avverranno unicamente se il reale sviluppo tecnologico confermerà le previsioni e le sempre più severe esigenze per i nuovi modelli di veicoli, sia leggeri sia pesanti. Affinché la riduzione delle emissioni sia effettiva anche il rinnovo del parco veicoli dovrà corrispondere a quanto atteso nella banca dati HBEFA 3.1 sui fattori di emissione. Per apportare una maggiore solidità alle previsioni, si suggerisce di monitorare nel medio-lungo termine l'evoluzione del parco veicoli, e dei fattori di emissione (è infatti atteso un aggiornamento della banca dati HBEFA), confrontando i dati con quanto previsto nel presente studio. Il presente studio ha permesso inoltre di identificare le zone critiche a livello di carico eccessivo d'inquinante all'interno del territorio cantonale. Esse si situano perlopiù nel Sottoceneri, dove spesso il superamento dei limiti dell'OIA non è unicamente legato a un'unica fonte emissiva ma è il risultato di una somma di più apporti differenti come ad esempio il traffico e le attività cittadine (p. es. Lugano) o le attività industriali (p. es. svincolo di Mendrisio). A questo proposito lo studio fornisce una base per le valutazioni di proposte di eventuali provvedimenti di risanamento dell'aria (p. es. gestione del traffico, limitazione delle emissioni di impianti stazionari, ecc.) sia di carattere generale sia localizzati in zone critiche.



## 7 Bibliografia

- [1] Piano di Risanamento dell'Aria del Luganese (PRAL), Valutazione delle immissioni di NO<sub>2</sub>, SPAAS, 2005
- [2] Piano di Risanamento dell'Aria del Mendrisiotto (PRAM), Valutazione delle immissioni di NO<sub>2</sub>, SPAAS, 2005
- [3] Piano di Risanamento dell'Aria Comparto Sopraceneri, Valutazione delle emissioni di NO<sub>x</sub> e immissioni di NO<sub>2</sub>, SPAAS, 2008
- [4] SAEFL, Modelling of NO<sub>2</sub> and Benzene ambient concentrations in Switzerland - 2000 to 2020, Documentation no. 188, Air, Berne 2004.
- [5] Riduzione limite massimo di velocità sull'A2 tratta a sud di Lugano – Perizia misure di contenimento inquinamento atmosferico A2, USTRA, Bellinzona 2012 (redatto da IFEC Consulenze SA).
- [6] HBEFA, Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs 3.1, Infras, 2010
- [7] Piano Energetico Cantonale, Dipartimento del Territorio, 2010
- [8] Arbeitsblatt Emissionsfaktoren Feuerungen, BAFU, 2005
- [9] L'Ambiente in Ticino, Rapporto cantonale sulla protezione dell'ambiente, Dipartimento del Territorio, 2003
- [10] Rapporto tecnico sulla scheda di Piano Direttore sull'energia – Obiettivo 27, Istituto di sostenibilità applicata all'ambiente costruito, SUPSI, 2007
- [11] Ufficio cantonale di statistica, annuario statistico, Cantone, Bellinzona 2005.
- [12] BFE, Schweizerische Holzenergiestatistik – Folgerhebung für das Jahr 2004, Bern, 2005.
- [13] Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen des Offroad-Sektors, BAFU, 2008
- [14] Ufficio cantonale di statistica ([www3.ti.ch/DFE/DR/USTAT/](http://www3.ti.ch/DFE/DR/USTAT/))
- [15] NO<sub>2</sub> ambient concentrations in Switzerland, modelling results for 2005, 2010 and 2015, BAFU, 2011
- [16] Statistica aerea - Série temporelle pour les années 2009 bis 2012, UFAC 2012.
- [17] Annuaire statistique de la Suisse, 2006
- [18] Immission de NO<sub>2</sub> en Suisse de 1990 à 2010, Cahier de l'environnement n°289 Air, OFEV
- [19] Riduzione limite massimo di velocità sull'A2 - Riduzione limite massimo di velocità sull'A2 a Sud di Lugano, USTRA 2013, Redatto da IFEC Consulenze SA.
- [20] Emissioni di ossidi d'azoto delle 7 aziende con maggiori emissioni, UACER 2012.
- [21] AfU Graubünden, Dispersionsmodellierung für das Churer Rheintal, ein Bericht des INFRAS, , Bern, 2001.
- [22] Ökoscience, Lufthygienische Auswirkungen des Alpentransitverkehrs im Tessin 2001 – 2002, Chur 2003.

- [23] OSTLUFT NO<sub>2</sub> Immissionen Ostschweiz/Liechtenstein – Modell und Resultate 2005-2020, Redatto da Infrac, Zurigo 2012.
- [24] AWEL, NO<sub>x</sub>-/PM10-Emissionen Kanton Zürich Sensitivitätsanalysen, Radatto da Infrac Zurigo-Berna 2012.
- [25] Città di Zurigo, <http://www.stadt-zuerich.ch> (Umwelt/Umweltschutz/Luft/Schadstoffe/Stickoxide)
- [26] UFAM, Impatto ambientale del traffico merci attraverso le Alpi, Berna 2011

**Allegati**

- Allegato 1 Perimetro di studio
- Allegato 2 Dati di immissione di NO<sub>2</sub> (campionatori passivi).
- Allegato 3 Lista dei campionatori passivi scartati dalla valutazione.
- Allegato 4 Dati di base del Modello cantonale di traffico.
- Allegato 5 Posti di conteggio del traffico (fonte: Sezione mobilità).
- Allegato 6 Interpolazione dei valori di traffico autostradali per l'orizzonte 2012.
- Allegato 7 Distribuzione del fattore di crescita dei TFM sulle strade cantonali per i tre comparti di studio
- Allegato 8 Rappresentazione grafica del Grado di saturazione massimo (G. Sat) 2012 e 2025
- Allegato 9 Lista dei principali grandi posteggi sul territorio cantonale considerati nel presente studio
- Allegato 10 Apprezzamento dell'evoluzione del parametro di fondo nel Mendrisiotto
- Allegato 11 Situazione allo svincolo di Mendrisio
- Allegato 12 Mappe di emissioni di NO<sub>x</sub>, anno 2012
- Allegato 13 Mappe di emissioni di NO<sub>x</sub>, anno 2025
- Allegato 14 Mappe di immissione di NO<sub>2</sub>, anno 2012
- Allegato 15 Mappe di immissione di NO<sub>2</sub>, anno 2025
- Allegato 16 Visione d'insieme per le immissioni di NO<sub>2</sub>, anno 2012
- Allegato 17 Visione d'insieme per le immissioni di NO<sub>2</sub>, anno 2025