

**Zeitschrift:** Archi : rivista svizzera di architettura, ingegneria e urbanistica = Swiss review of architecture, engineering and urban planning

**Herausgeber:** Società Svizzera Ingegneri e Architetti

**Band:** - (2002)

**Heft:** 2

**Artikel:** Ossidi di azoto : tra tendenze positive e problemi aperti

**Autor:** Bernasconi, Angelo

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-132422>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Ossidi di azoto: tra tendenze positive e problemi aperti

Angelo Bernasconi  
Ufficio della protezione dell'aria

## 1. Introduzione

Gli ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ) si formano durante tutti i processi di combustione, quando a elevate temperature (attorno ai  $1000^\circ\text{C}$ ) i due principali costituenti dell'atmosfera – azoto ( $\text{N}_2$ ) e ossigeno ( $\text{O}_2$ ) – si combinano tra di loro. Non stupisce quindi che le principali fonti di  $\text{NO}_x$  siano i motori delle nostre auto e dei camion e le caldaie per la produzione del calore necessario per il riscaldamento delle nostre abitazioni e per i processi industriali.

Come si può direttamente osservare dalla figura 1, le emissioni di ossidi di azoto in Ticino sono dominate sin dal 1950 da quelle del traffico stradale. Si constatano, in particolare, due fasi principali: quella della crescita, che si estende dal 1950 fino a metà degli anni '80, e quella successiva della diminuzione delle emissioni. Da un'attenta osservazione della fase di crescita si possono distinguere due momenti particolari:

- l'accelerazione, tra il 1965 e il 1970, avvenuta in concomitanza dell'apertura della galleria del S. Bernardino (dicembre 1967);
- l'impennata, dopo il 1980, anno dell'apertura della galleria del S. Gottardo.

A partire dalla metà degli anni '80 le emissioni hanno fatto segnare una progressiva diminuzione, che – seppur notevolmente rallentata – dovrebbe confermarsi anche per i prossimi 10 anni. L'evoluzione favorevole è da ricondurre principalmente all'introduzione di prescrizioni sempre più severe sui gas di scarico dei veicoli a motore (sia leggeri che pesanti). Anche gli impianti di riscaldamento hanno fatto registrare una riduzione delle emissioni. Grazie ai controlli della combustione effettuati sugli impianti a olio e a gas e all'accorciamento dei termini di risanamento (introdotto con il Piano cantonale di risanamento dell'aria), nel 2010 si prevede che le emissioni dovute a questa fonte saranno dimezzate rispetto al 1990. Le industrie responsabili delle emissioni di  $\text{NO}_x$  sono poche e perciò il contributo complessivo del settore industriale è limitato.

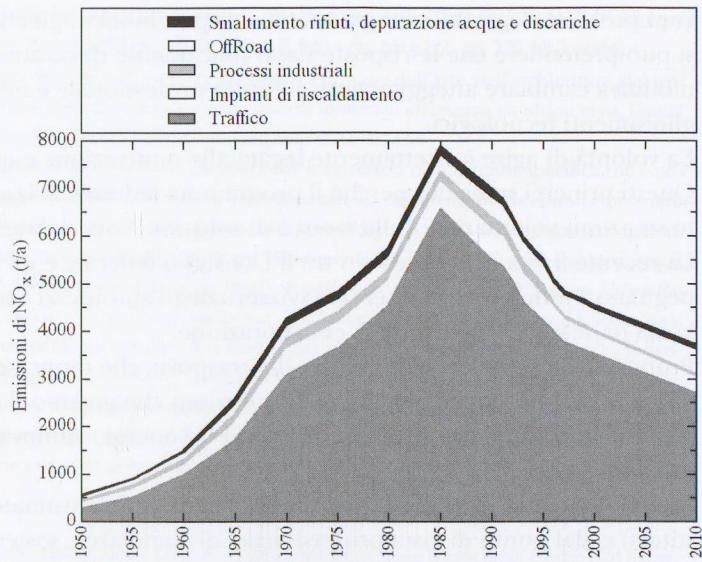


Fig. 1 – Evoluzione delle emissioni annue di ossidi di azoto in Ticino dal 1950 al 2000 e prospettive fino al 2010 per le diverse fonti di inquinamento

In controtendenza appare invece il settore Off-Road, che raggruppa le emissioni di tutti quei mezzi mobili che si utilizzano fuori dalle strade, come le macchine da cantiere, le macchine agricole e forestali, le macchine impiegate nei lavori di giardinaggio, gli aerei e i battelli. In questo settore l'aumento delle attività – in particolare quelle edili (v. ad es. i cantieri AlpTransit) – e il ritardo accumulato nell'introduzione di norme sui gas di scarico produrranno anche in futuro un aumento delle emissioni di ossidi di azoto, così che nel 2010 sarà responsabile di quasi il 16% delle emissioni cantonali.

Gli ossidi di azoto, nonostante l'evoluzione tutto sommato positiva, sono ancora all'origine di concentrazioni inquinanti troppo elevate. Infatti, gli ossidi di azoto sono direttamente responsabili dell'inquinamento da diossido di azoto ( $\text{NO}_2$ ), per il quale i limiti di immissione fissati dall'Ordinanza federale contro l'inquinamento atmosferico (oiat) sono tuttora ampiamente superati<sup>1</sup>. Gli ossidi di azoto sono poi, assieme ai composti organici, i

principali precursori dell'ozono, per il quale, durante i mesi estivi, si registrano massicci superamenti dei limiti OIAT<sup>1</sup>. Infine, giova rilevare che gli ossidi di azoto contribuiscono anche all'inquinamento da polveri fini, con la formazione di particelle a base di nitrati<sup>2</sup>.

Considerato che il superamento dei limiti di immissione per il diossido di azoto è particolarmente importante in prossimità delle vie di traffico, dove è anche maggiormente concentrata la popolazione residente, e visto lo sviluppo del traffico di transito, in particolare di quello pesante, appare di fondamentale importanza capire su scala regionale la *reale esposizione della popolazione residente all'inquinamento da diossido di azoto*.

Una risposta a tale domanda può essere fornita dal seguente approccio metodologico in due tappe.

- Dapprima si tratta - tramite l'applicazione di un opportuno modello matematico - di estendere le attuali indicazioni di inquinamento sulle immissioni di NO<sub>2</sub> ad un'intera regione, allestendo delle cosiddette «mappe di esposizione».
- In secondo luogo occorre «sovraporre» le mappe di inquinamento a quella di distribuzione della popolazione residente. In tal modo si ottiene una prima valutazione del numero di persone esposte a un determinato grado di inquinamento.

Tale metodologia è stata applicata per la prima volta nel Cantone Ticino nell'ambito del Piano dei Trasporti del Mendrisiotto e Basso Ceresio<sup>3</sup>. Di seguito sono riassunti i risultati principali.

## 2. Mappe dell'esposizione al diossido di azoto per il Mendrisiotto e Basso Ceresio

L'allestimento di mappe di inquinamento pre-suppone l'uso di un adeguato modello matematico. Nel caso specifico si è deciso di adottare il modello Pollumap, utilizzato sia da diversi altri cantoni svizzeri (Zurigo, Soletta<sup>4</sup>, Lucerna, ecc.), sia dal BUWAL, per valutazioni di inquinamento su scala cantonale, rispettivamente nazionale [5].

Pollumap è un modello semplice che permette di calcolare le immissioni medie annue di NO<sub>2</sub> su una griglia di ampie dimensioni, formata da quadrati di 1 ettaro (100m x 100m). La diffusione dell'inquinante (NO<sub>x</sub>) è ottenuta mediante adeguate funzioni P di diffusione simmetriche, caratterizzate in modo univoco da due parametri, a e b:

$$P(r;a,b) = \frac{a}{2^{b \cdot r}}$$

dove r è la distanza tra la sorgente e il ricettore. Ad ogni tipo di sorgente di NO<sub>x</sub> è associata una

coppia (a,b), che dipende dall'altezza della sorgente medesima e dalla facilità con cui l'inquinante si può diffondere (presenza o meno di ostacoli ecc.). Pollumap determina per ogni sorgente, separatamente, l'immissione di NO<sub>x</sub> in ogni cella della griglia di calcolo, poi somma tutte le immissioni e aggiunge anche un valore di fondo. Da ultimo trasforma l'immissione totale di NO<sub>x</sub> in NO<sub>2</sub> secondo una curva empirica.

### 2.1 I dati di ingresso del modello

Per applicare il modello e calcolare le immissioni, è necessario conoscere le principali fonti di NO<sub>x</sub>, le loro emissioni annue e la loro ubicazione sul territorio. Esse vengono trattate separatamente da Pollumap (ognuna con la propria funzione di dispersione), ma possono essere suddivise da un profilo concettuale in due categorie.

- *Sorgenti legate al traffico stradale* (determinate sulla base di un modello del traffico) Comprendono il traffico stradale fuori località, il traffico stradale interno alle località, il traffico di zona e le gallerie. Nel Mendrisiotto sono responsabili di circa l'82% di tutte le emissioni di NO<sub>x</sub>.
- *Altre sorgenti*

Comprendono gli impianti di riscaldamento, suddivisi in base all'altezza dei loro camini (2-20 m, 20-50 m e 50-80 m), le macchine edili fuori località, le macchine edili interne alle località, l'agricoltura (senza traffico veicolare agricolo) e il traffico Offroad.

Per poter effettuare un calcolo corretto, le sorgenti sono state estese di circa 3 km oltre il perimetro di interesse del Mendrisiotto e del Basso Ceresio (prolungamento nel Luganese e in Italia).

### 2.2 Taratura e sensibilità del modello

Il modello può essere calibrato sulla base dei dati sperimentali, mediante l'adattamento delle funzioni di dispersione e/o la scelta del valore di fondo. Nel caso in esame si è optato per una scelta accurata del livello di fondo, senza modificare le funzioni di dispersione. Più precisamente ci si è basati sulle seguenti ipotesi.

- il decadimento delle immissioni di NO<sub>x</sub> con l'altitudine (h) è esponenziale secondo la formula

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

- il parametro A(t) - che dipende dall'anno t, come conseguenza della variazione delle emissioni - può essere stimato, assumendo che nei punti lontani dalle vie di traffico, ad una quota elevata, (738 m) l'immissione coincida fondamentalmente con il valore di fondo (v. figura 2). In tutti gli

altri punti di misura il valore di immissione risulterà maggiore di quello di fondo, in modo più o meno marcato, a dipendenza della distanza del singolo punto dalle fonti di  $\text{NO}_x$ . Nel caso in esame, utilizzando i dati misurati tra il 1996 e il 1997, si è ottenuto  $A(1997) = 55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Per verificare l'attendibilità del modello e convalidare la scelta del parametro  $A(t)$ , i valori calcolati sono stati confrontati con quelli misurati (v. figura 3). Siccome Pollumap calcola dei valori medi su celle di 1 ettaro, dal confronto sono stati scartati tutti i dati rilevati a pochi metri di distanza dalla A2 e dalle strade cantonali. Inoltre, dai valori forniti dal modello (riferiti ai centri celle della griglia di calcolo) sono stati estrapolati i valori da associare ai punti di rilevamento mediante una media pesata (inversamente proporzionale alla distanza) sulle 4 celle più vicine.

Se a partire dai valori di calcolo e misura si effettua una regressione lineare passante per (0,0), si ottiene una retta di pendenza  $(0,975 \pm 0,012)$  molto prossima al valore di 1 (che significherebbe la corrispondenza fra valori misurati e calcolati) e un coefficiente di correlazione  $R$  di 0,972.<sup>1</sup>

Malgrado il risultato sia più che soddisfacente, il modello tende a sovrastimare leggermente le immissioni basse e a sottostimare quelle alte, ciò che implica la presenza di un lieve errore sistematico. Tale errore non sembrerebbe imputabile alle immissioni di fondo (che sono già state leggermente sovrastimate), ma potrebbe originarsi dalle emissioni reali del traffico stradale, superiori a quanto ipotizzato. Se si ipotizza, ad esempio, che le emissioni dovute al traffico pesante sulla A2 siano esattamente il doppio rispetto ai valori oggi<sup>6</sup>, si ottiene una coincidenza ottima fra misura e calcolo. Tale ipotesi non è arbitraria, ma si fonda sui risultati delle analisi effettuate recentemente presso la galleria del Gübrist<sup>7</sup> e andrebbe verificata sulla tratta ticinese della A2.

### 2.3 Mappa delle immissioni medie annue di diossido di azoto

Le immissioni medie annue di  $\text{NO}_2$  possono essere rappresentate sotto forma di mappe (v. figura 4), in cui sono evidenziate le zone con immissioni comprese in intervalli di  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , sia al di sotto che al di sopra del limite oiat ( $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### 2.4 Esposizione della popolazione residente al diossido di azoto

La gravità della situazione è meglio evidenziata da un'analisi della popolazione esposta ai valori medi annui di  $\text{NO}_2$ . Essa rappresenta la base per poter successivamente valutare l'impatto sulla salute

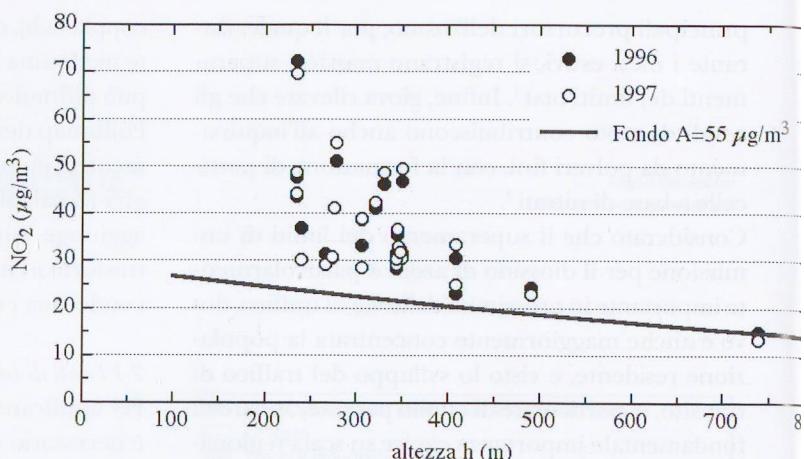


Fig. 2 – Dati di immissione dei campionatori passivi nel biennio 1996/97. La linea continua rappresenta il probabile andamento del fondo, ammettendo un valore  $A(1997) = 55 \mu\text{g}/\text{m}^3$

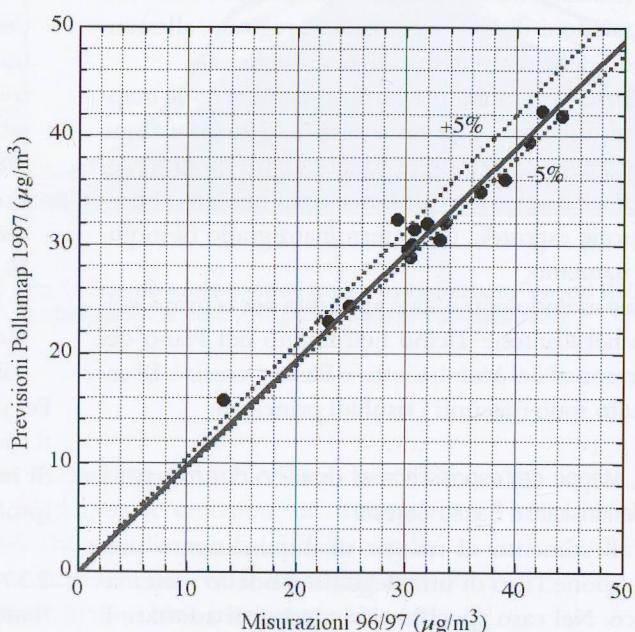


Fig. 3 – Dati di immissione dei campionatori passivi nel biennio 1996/97. La linea continua rappresenta il probabile andamento del fondo, ammettendo un valore  $A(1997) = 55 \mu\text{g}/\text{m}^3$

pubblica (per mezzo ad es. dei risultati degli studi Sapaldia e Scarpol) e quantificarne i relativi costi.

### 3. Conclusioni

È fuori di dubbio che l'inquinamento provocato dagli ossidi di azoto durante l'ultimo decennio sia diminuito. Rispetto alla metà degli anni '80, le emissioni di questo inquinante sono quasi dimezzate. Ma l'obiettivo fissato dal Consiglio Federale di riportare le emissioni ai livelli della metà del secolo rimane per gli  $\text{NO}_x$  ancora lontano. La conseguenza di ciò sono immissioni troppo elevate di diossido di azoto e di ozono, come pure un contributo al già eccessivo carico di polveri fini.

In particolare, sulla base di un modello matematico si valuta che nel Mendrisiotto e Basso Ceresio il 60% della popolazione risiede in zone dove il limite OIA per la concentrazione media annua di  $\text{NO}_2$  è superato. Con ogni probabilità questo risultato è rappresentativo anche per il resto del Cantone.

Il prossimo passo è rappresentato dall'estensione della metodica al resto del Cantone, dopo aver adattato il modello Pollumap al calcolo delle situazioni vallive del Cantone Ticino (effetto del vento, inversioni termiche, presenza di ostacoli naturali o artificiali a ridosso delle strade).

Sempre a livello di sviluppi futuri, sarà di capitale importanza completare la catena casuale, dalle emissioni di  $\text{NO}_x$  fino alla valutazione dei costi della salute provocati da questo tipo di inquinamento, con lo scopo di mettere a disposizione delle autorità decisionali uno strumento in grado di valutare l'efficacia delle misure da adottare per riportare la qualità dell'aria negli obiettivi prestabiliti.

### Riferimenti bibliografici

1. *Analisi della qualità dell'aria 2000*, Ufficio della protezione dell'aria (2001)
2. *Modellierung der PM10 - Belastung in der Schweiz*, Quaderno dell'ambiente n. 310, BUWAL (2000)
3. *Piano dei Trasporti del Mendrisiotto: valutazione delle immissioni di  $\text{NO}_2$* , IFEC Consulente (2001)
4.  *$\text{NO}_2$ -Immissionen im Kanton Solothurn 1995-2010*, Schlussbericht Meteotest (2000)
5. *Immissions de  $\text{NO}_2$  en Suisse de 1990 à 2010*, Quaderno dell'ambiente n. 289, BUWAL (1997)
6. *Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1950-2010*, Quaderno dell'ambiente n. 255, BUWAL (1995)
7. *Modelling emission factors of road traffic from a tunnel study*, Environmetrics 8, 219-239, J. Staehelin e collaboratori (1997)

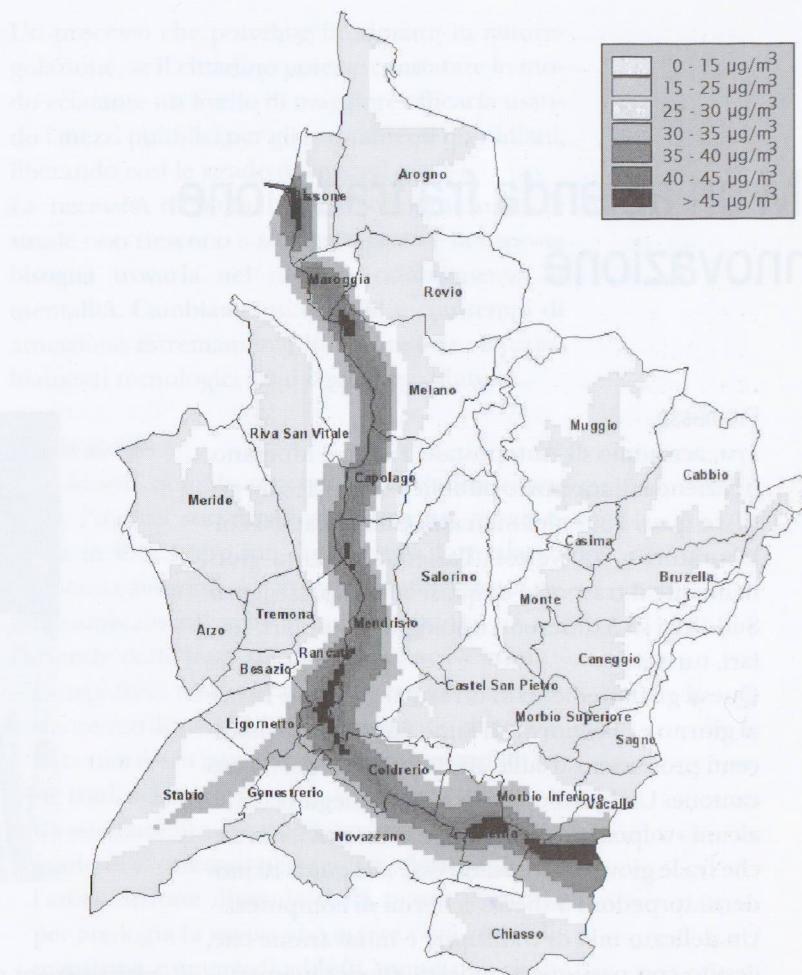


Fig. 4 – Mappa di esposizione alle immissioni medie annue di diossido di azoto per il 1997

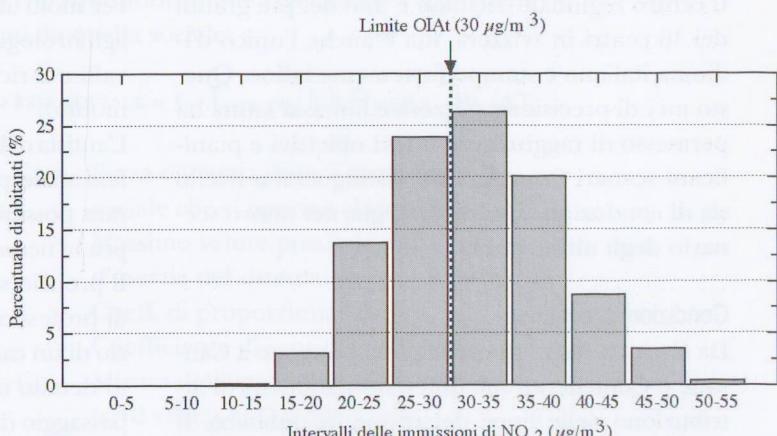


Fig. 5 – Esposizione della popolazione del Mendrisiotto e del Basso Ceresio all'inquinamento da diossido di azoto (medie annue per il 1997)