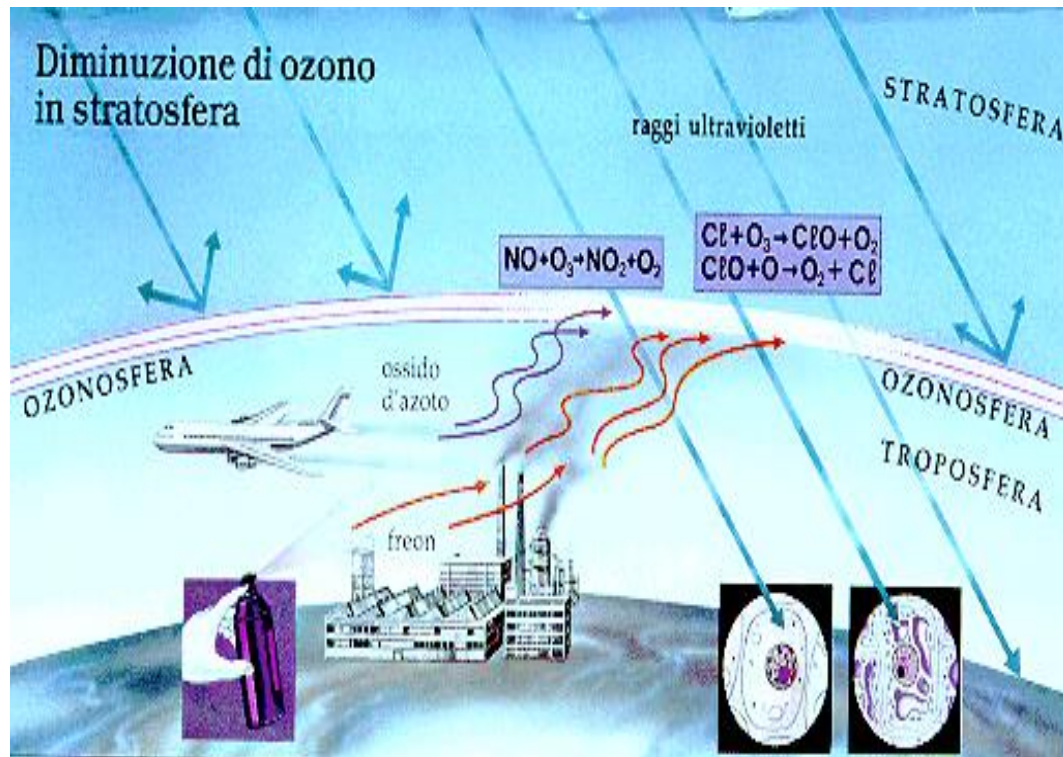


# L'OZONO A TORINO

Giovanni d'Amore – Arpa Piemonte

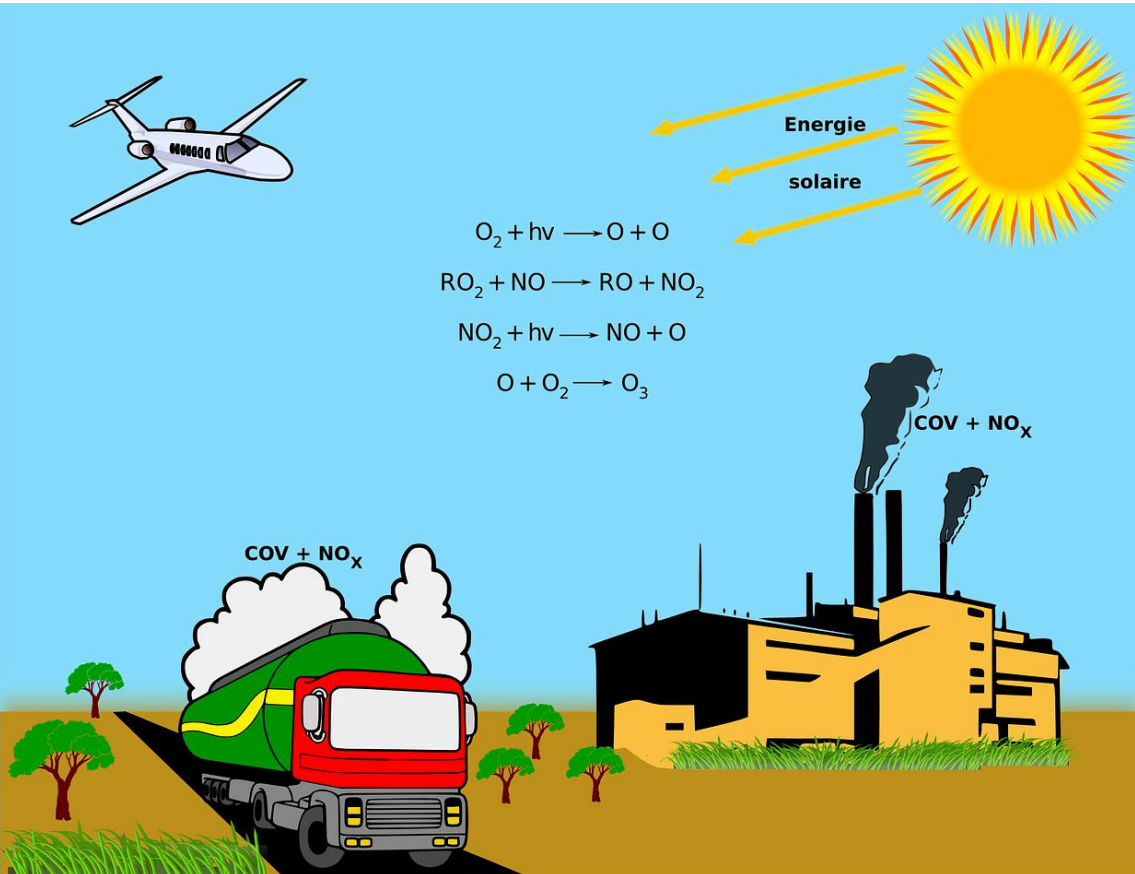
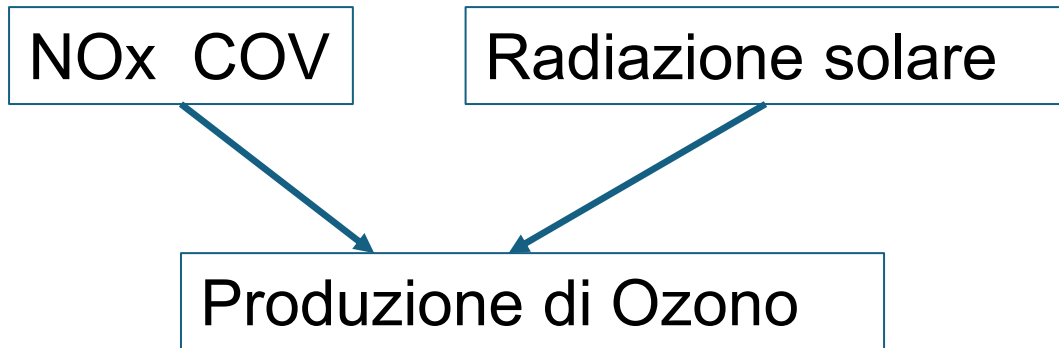


# L'ozono stratosferico



L'**ozono** è un gas naturale che si forma nella **stratosfera**, tra circa **10 e 30 km** di altezza, con una concentrazione massima intorno ai **20–25 km**. È un gas **instabile**, che si forma e si distrugge continuamente attraverso le **reazioni di Chapman**, assorbendo la **radiazione ultravioletta (UV-B e UV-C)** più dannosa per la vita, producendo calore, contribuendo al riscaldamento della stratosfera e influenzando la circolazione atmosferica. In condizioni naturali, la sua concentrazione varia con le **stagioni** ma rimane in equilibrio. Tuttavia, **attività umane** come l'emissione di **Freon** e di **ossidi di azoto (NO)** favoriscono la **diminuzione dell'ozono stratosferico**, riducendo la sua funzione protettiva.

# L'ozono troposferico



Durante le **giornate estive e soleggiate**, l' $NO_2$  si scinde per effetto della luce solare e favorisce la **formazione di ozono troposferico**, che tende ad accumularsi nei bassi strati, soprattutto nelle **aree verdi**. In condizioni di **scarsa ventilazione**, l'ozono può ristagnare a lungo, rendendo poco efficace anche il blocco del traffico nel breve periodo.

# L'ozono: effetti sulla salute

## EFFETTI DELL'OZONO SULLA SALUTE



IRRITAZIONE  
DELLE VIE  
RESPIRATORIE



MALESSERE



PEGGIORAMENTO  
DISTURBI  
POLMONARI

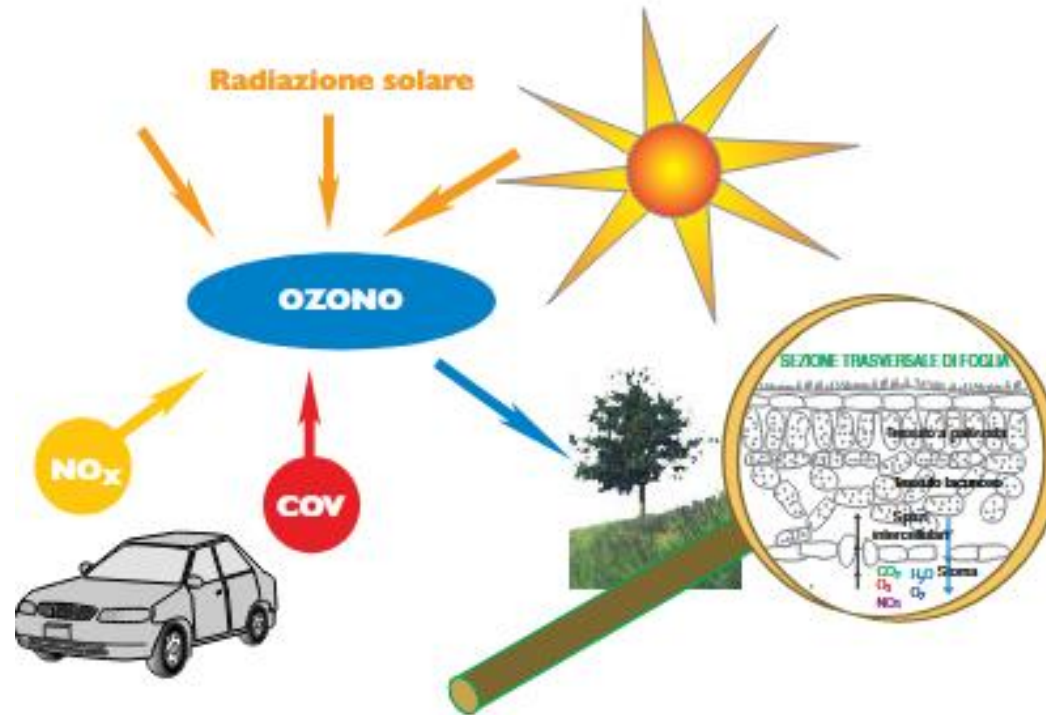
L'**ozono**, insieme al **biossido di azoto (NO<sub>2</sub>)**, è un inquinante di origine fotochimica e un **potente agente broncocostrittore**.

La sua inalazione provoca **forte irritazione delle vie respiratorie** e può causare **asma**, alterazioni della funzionalità polmonare e **danni alle cellule dell'apparato respiratorio**.

A concentrazioni superiori a **200 µg/m<sup>3</sup>**, frequenti nei mesi estivi, l'ozono provoca **bruciore agli occhi e alla gola, difficoltà respiratorie e mal di testa**, soprattutto nelle persone con **patologie respiratorie o allergie**.

# L'ozono: effetti sugli ecosistemi

- Riduzione fotosintesi e crescita delle piante
- Danni fogliari (necrosi, ingiallimento)
- Minore resistenza a parassiti

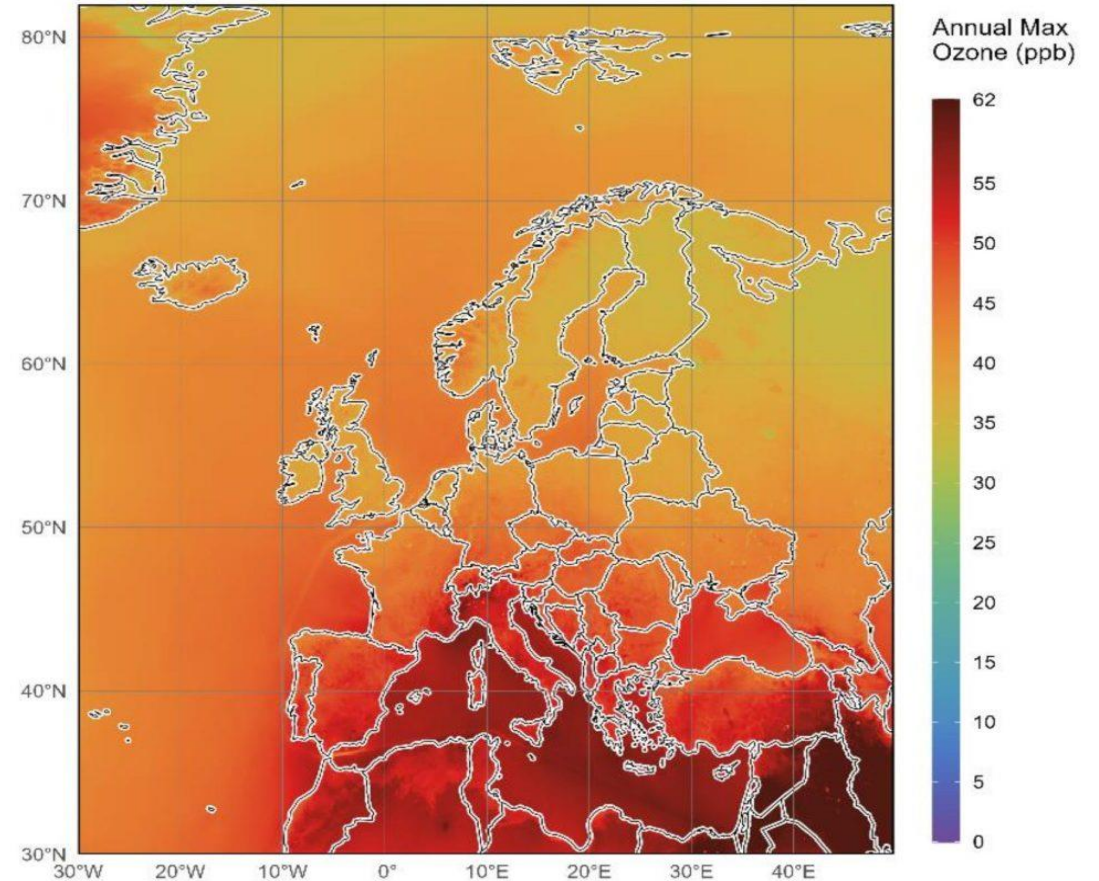


Pesanti ripercussioni oltre che di carattere ambientale anche di tipo economico con elevate perdite di raccolto e danni visibili che rendono le colture non sfruttabili commercialmente

# L'ozono: un inquinante transfrontaliero

I precursori possono viaggiare per centinaia di chilometri, rendendo l'inquinamento da ozono un problema che supera i confini nazionali.

La conformazione geografica, con Alpi e Appennini, ostacola la dispersione degli inquinanti, favorendo accumuli che grazie alle temperature elevate possono raggiungere valori di concentrazione elevati



# L'ozono e la vegetazione

Nelle aree urbane e suburbane con livelli significativi di  $\text{NO}_x$ , l'isoprene (COV di origine biogenica prodotto dalle piante) contribuisce alla formazione dell'ozono a livello del suolo.

Fra i principali produttori di isoprene troviamo alcune specie di quercia (*Quercus* spp.), il pioppo (*Populus* spp.), la robinia (*Robinia pseudoacacia*) il Liquidambar (*Liquidambar styraciflua*) e il platano (*Platanus x acerifolia*).

La vegetazione è apparsa collegata in media al 12% dell'ozono nei periodi totali estivi con valori massimi del 60% in alcuni giorni durante periodi di ondate di caldo



Galina Churkina et al., 2017. Effect of VOC Emissions from Vegetation on Air Quality in Berlin during a Heatwave. Environ. Sci. Technol., 51 (11), pp 6120–6130. DOI: 10.1021/acs.est.6b06514

# L'ozono: il protocollo di Goteborg

Il Protocollo di Göteborg del 1999, nell'ambito della Convenzione UNECE del 1979 sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza (CLRTAP), modificato nel 2012, resta il principale strumento internazionale volto alla riduzione dell'acidificazione, dell'eutrofizzazione e dell'ozono troposferico. Esso stabilisce impegni vincolanti di riduzione per SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM, NH<sub>3</sub> e PM<sub>2,5</sub>, con particolare attenzione agli effetti transfrontalieri delle emissioni atmosferiche; l'Unione europea vi aderisce con la Decisione 2003/507/CE.



# L'ozono: la nuova direttiva

La **Direttiva (UE) 2024/2881**, rafforza in modo significativo il trattamento dell'**inquinamento atmosferico transfrontaliero** all'interno dell'UE. In particolare, la direttiva:

- **Riconosce esplicitamente la natura transfrontaliera dell'inquinamento atmosferico**, imponendo agli Stati membri di tenerne conto nella valutazione della qualità dell'aria e nella predisposizione dei piani di risanamento, soprattutto nelle zone prossime ai confini nazionali.
- Introduce **obblighi rafforzati di cooperazione tra Stati membri**, prevedendo che, in caso di superamenti dei valori limite dovuti in misura significativa a emissioni provenienti da un altro Stato UE, le autorità competenti cooperino nell'elaborazione di misure coordinate e coerenti.
- Richiede che i **piani per la qualità dell'aria** e le **roadmap verso il 2030** includano un'analisi delle fonti esterne all'area o allo Stato interessato, con il supporto di **modellistica atmosferica** e dati condivisi a livello europeo, al fine di individuare la quota di contributo transfrontaliero all'inquinamento locale

# L'ozono: i valori di riferimento

Valore di riferimento	Indice statistico	Dlgs 155/2010	Direttiva 2024/2881/EC
Valore obiettivo	Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore consecutive	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 25 volte/anno (come media su 3 anni)	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte/anno (come media su 3 anni)
Obiettivo a lungo termine	Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore consecutive	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 3 giorni per anno civile
Soglia di allarme	Media oraria	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per tre ore consecutive	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Soglia di informazione	Media oraria	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

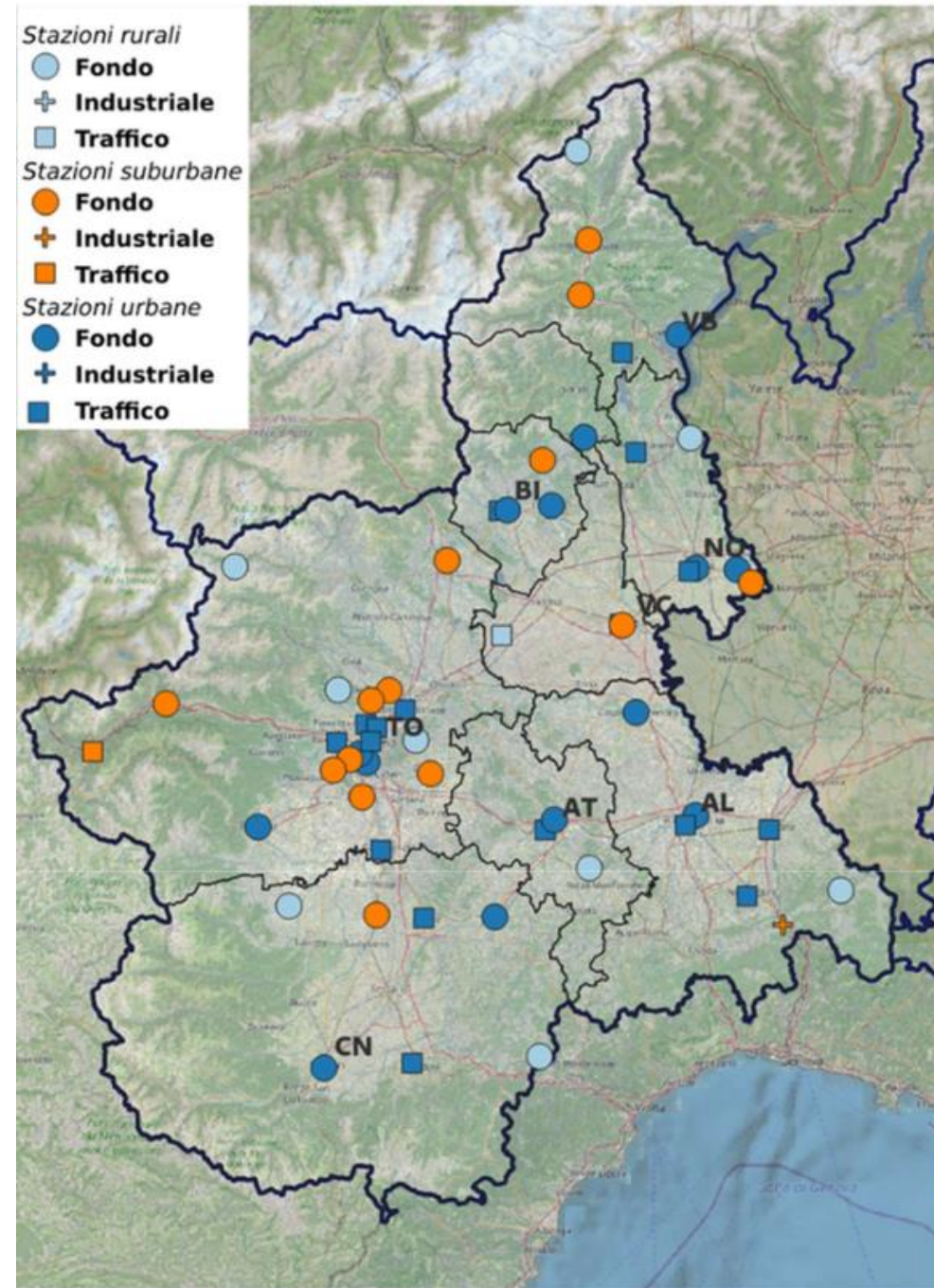
# Il Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria

58 stazioni fisse (4 in prossimità di impianti industriali) obiettivo per la protezione della salute umana:

TIPO DI STAZIONE: traffico/fondo/industriale

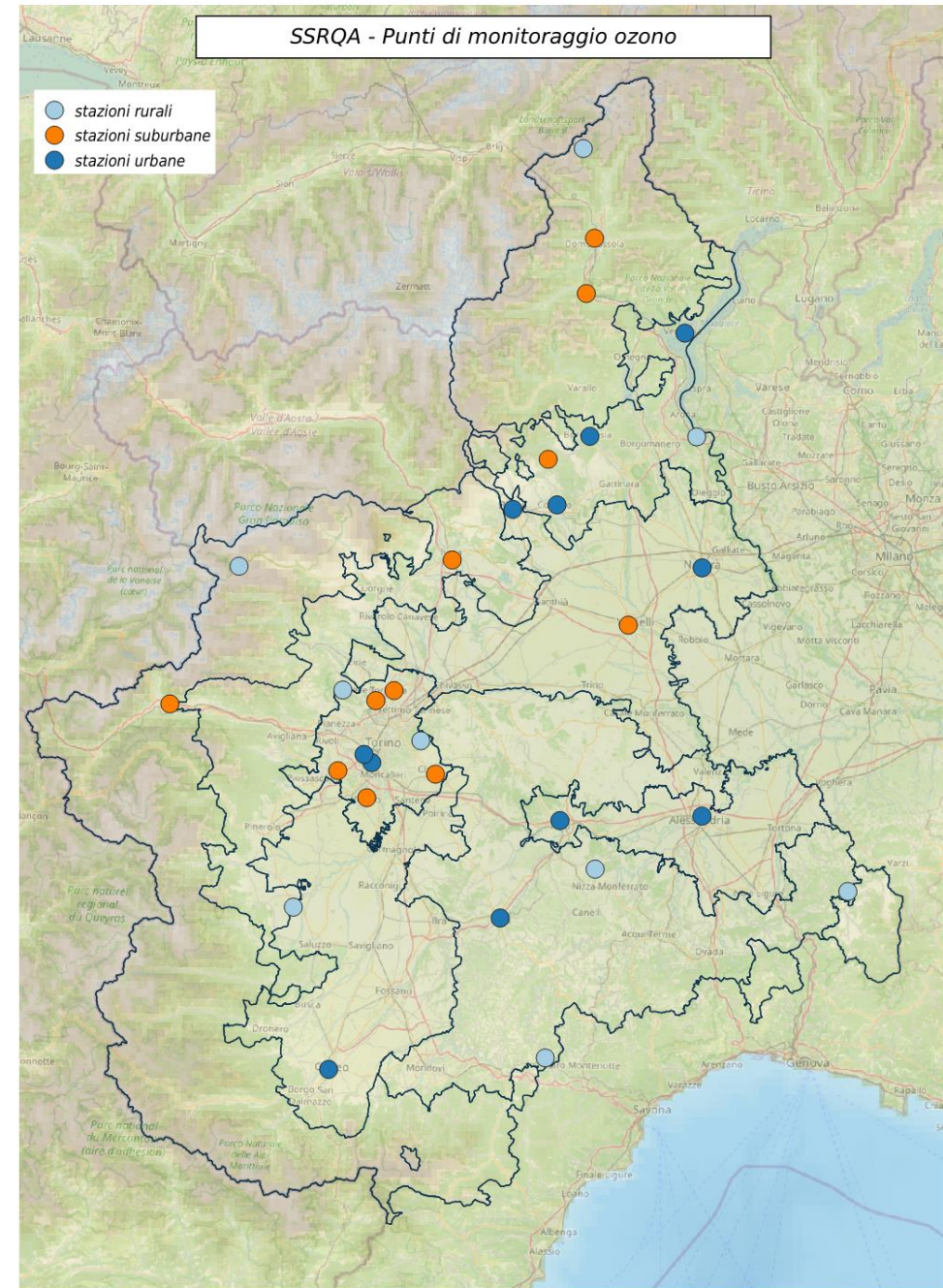
COLLOCAZIONE: urbana/suburbana/rurale

PARAMETRI MONITORATI: SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, BTX, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, (As, Cd, Ni, Pb), IPA, NMHC, (HCL, HF), NH<sub>3</sub>, BC, CH<sub>4</sub>)



# Il Sistema Regionale di Rilevamento della Qualità dell'Aria

31 STAZIONI CON IL MONITORAGGIO DELL'OZONO

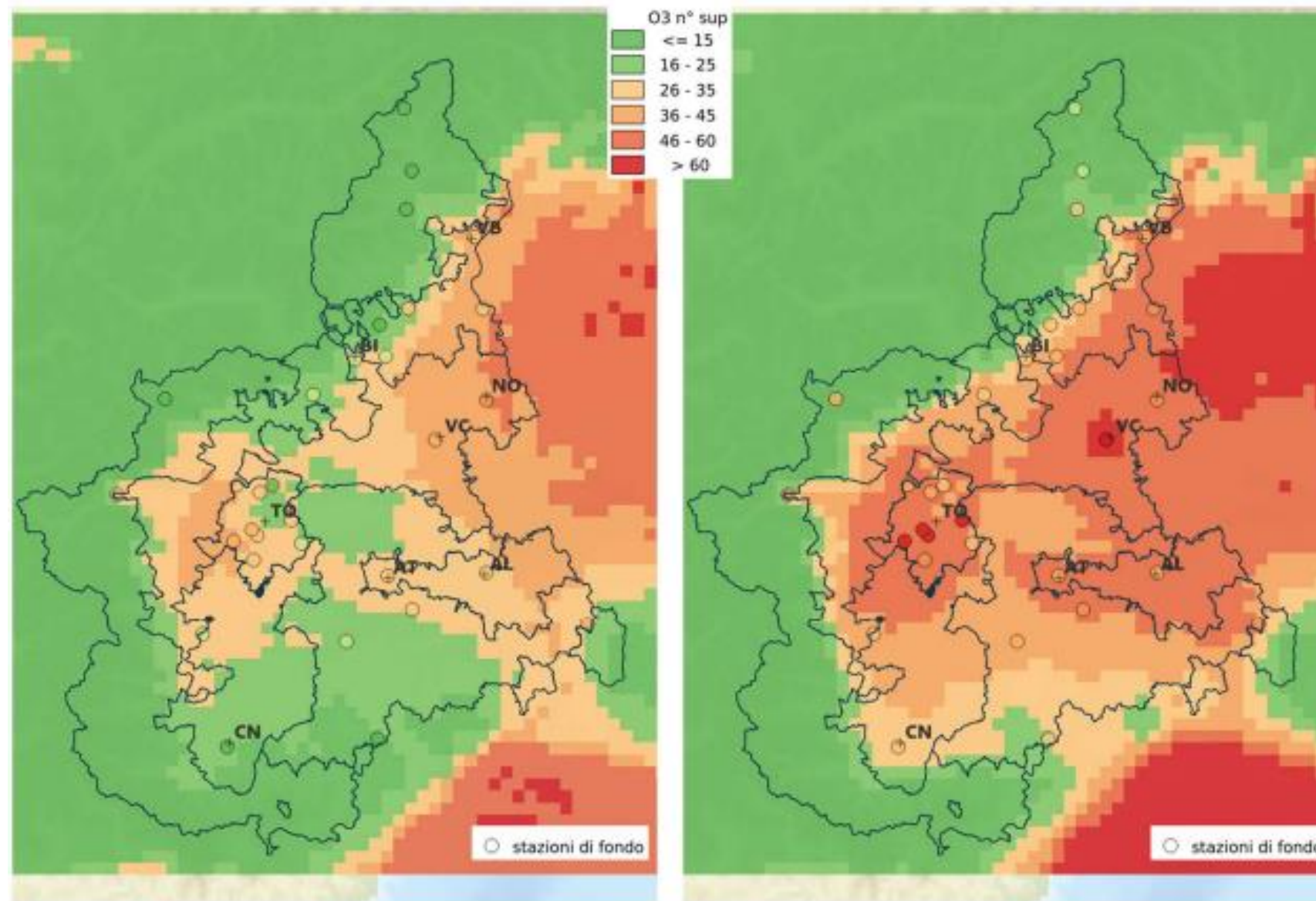


# L'ozono in Piemonte – valutazione modellistica

Numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  max giornaliero) nel 2024 – Mappa SX

Numero di superamenti dell'obiettivo per la protezione della salute umana ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , media su tre anni) – Mappa DX

Valori misurati e concentrazioni stimate

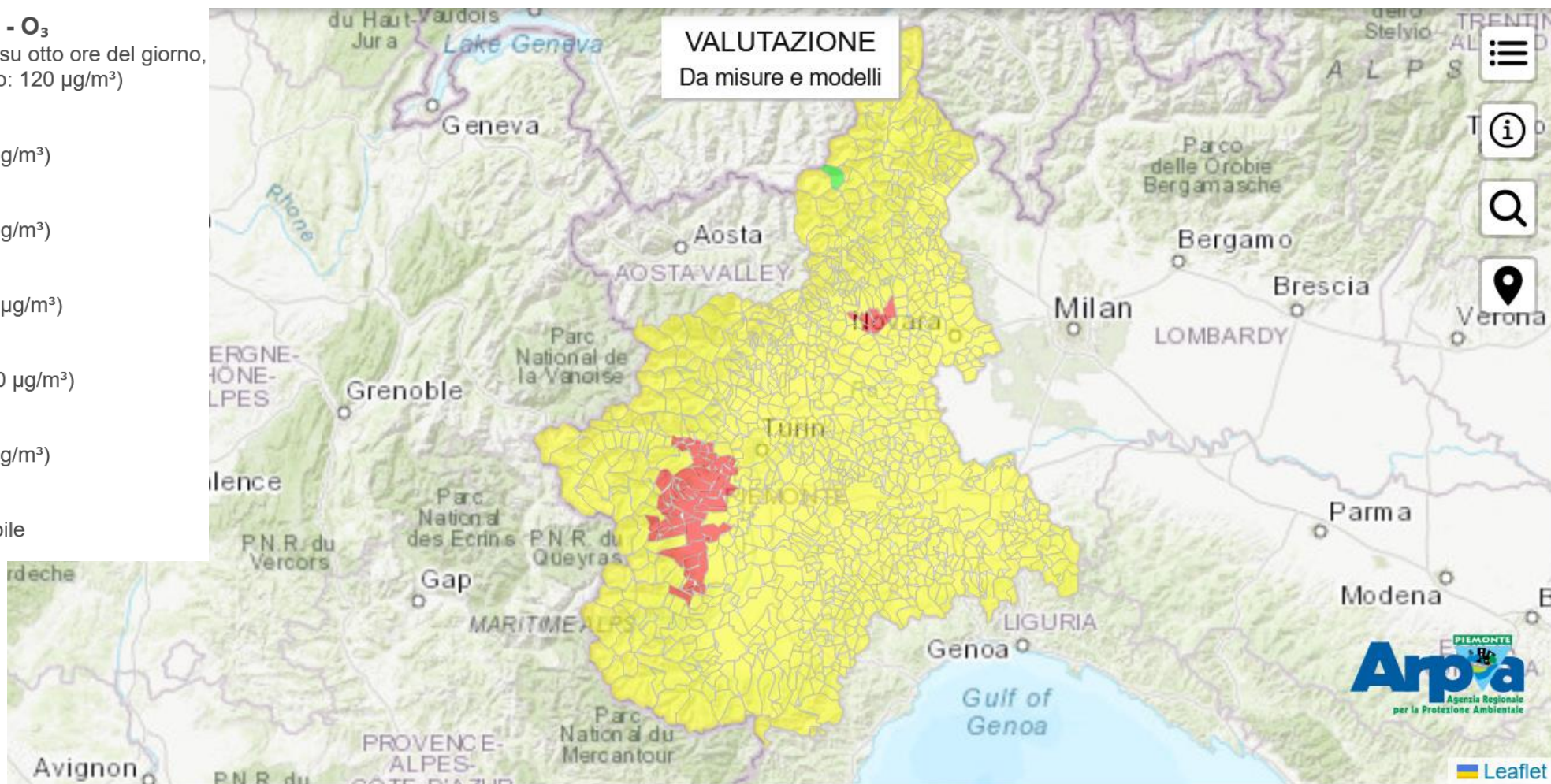


# L'ozono in Piemonte – valutazione modellistica

## Ozono - O<sub>3</sub>

(Massima media mobile su otto ore del giorno, valore obiettivo: 120 µg/m<sup>3</sup>)

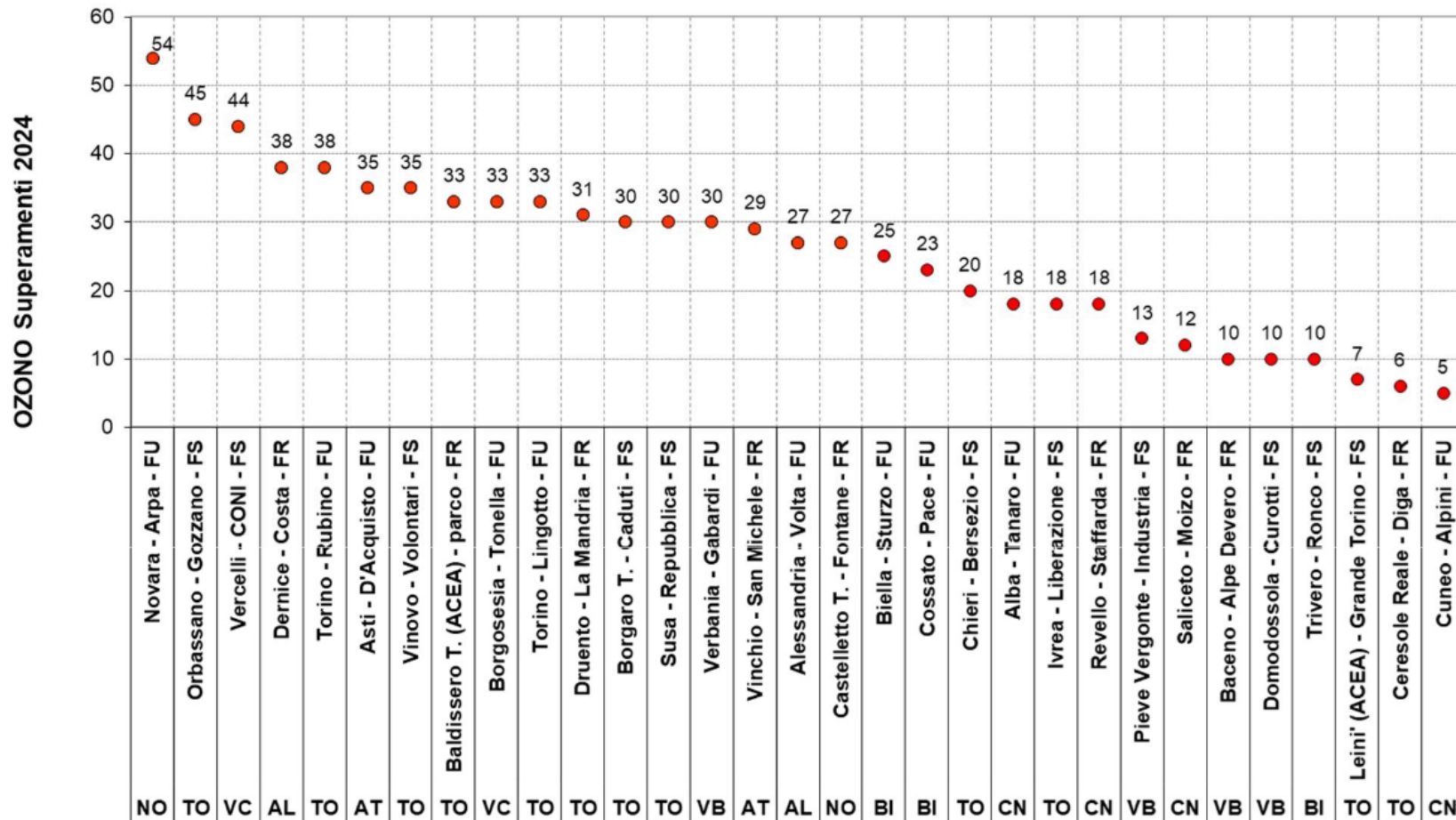
-  Classe 1 (<= 60 µg/m<sup>3</sup>)
-  Classe 2 (61-84 µg/m<sup>3</sup>)
-  Classe 3 (85-120 µg/m<sup>3</sup>)
-  Classe 4 (121-240 µg/m<sup>3</sup>)
-  Classe 5 (> 240 µg/m<sup>3</sup>)
-  Dato non disponibile



**VALUTAZIONE - Dom 19/04**

# L'ozono in Piemonte – I dati delle stazioni di monitoraggio

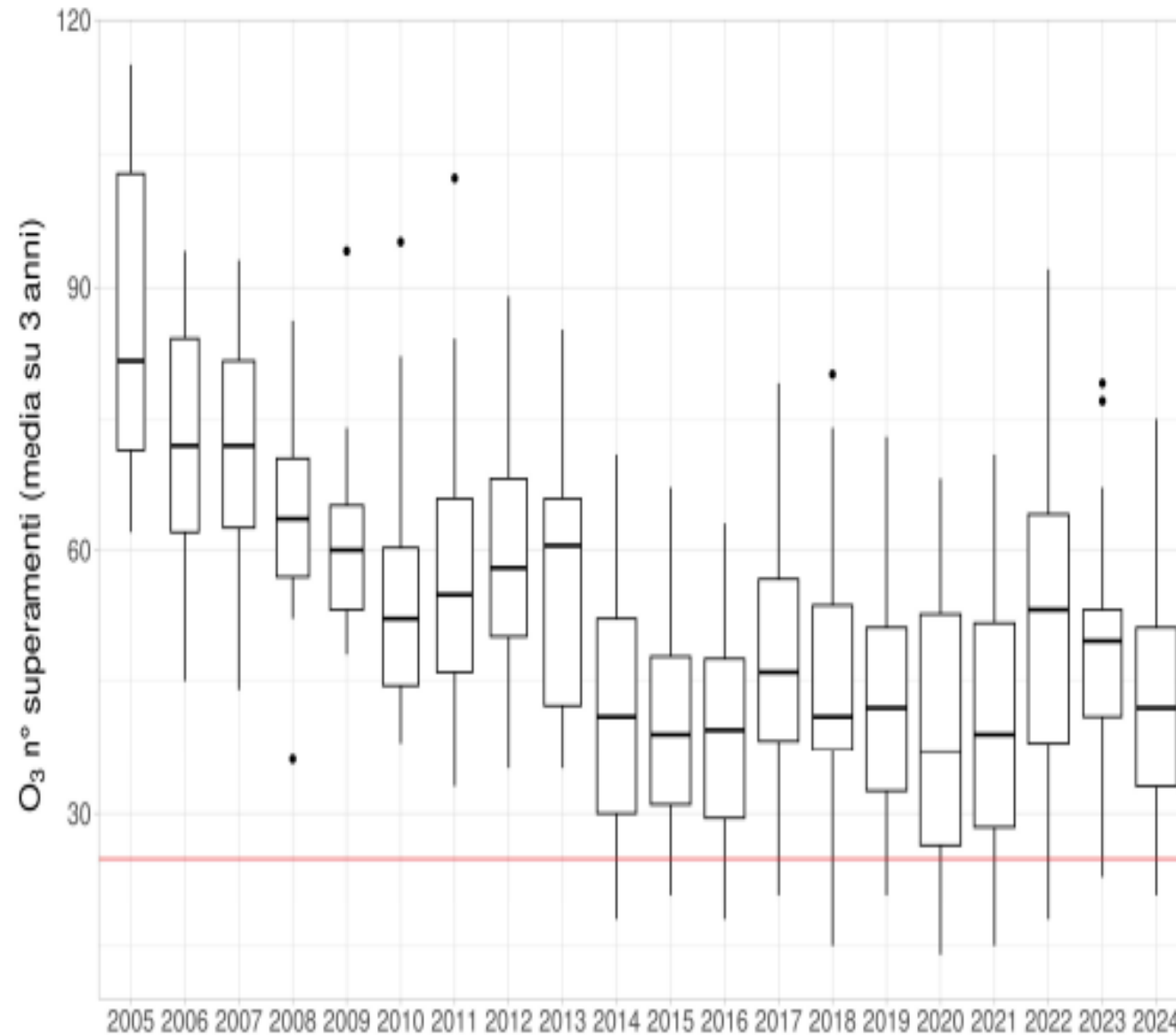
Numero di superamenti dell'obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana per l'anno 2024



# L'ozono in Piemonte – superamenti valore obiettivo per la protezione della salute

obiettivo per la protezione della salute umana:

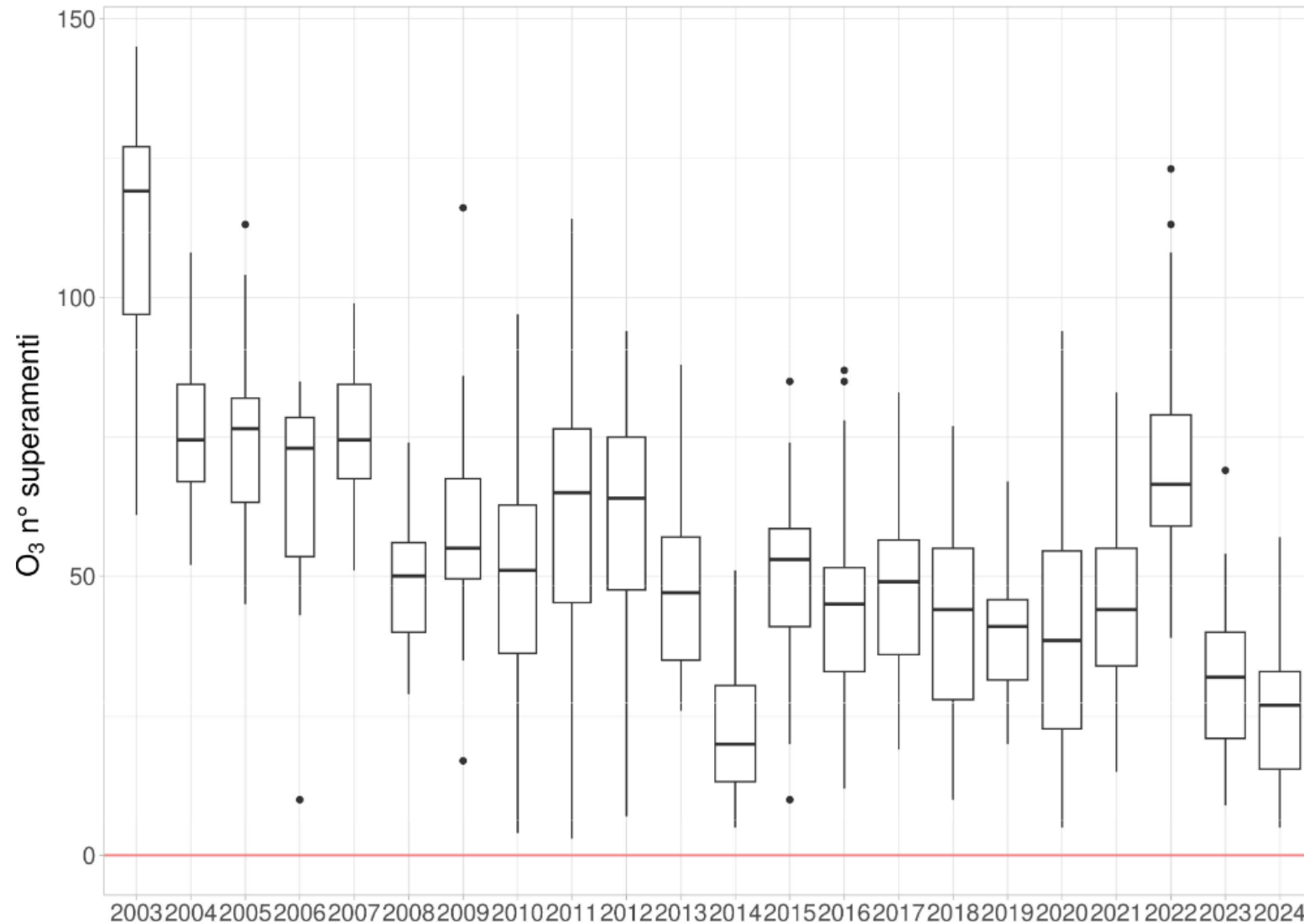
120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  calcolato come massima media giornaliera sulle 8 ore che non deve essere superata più di 25 volte per anno civile come media su tre anni



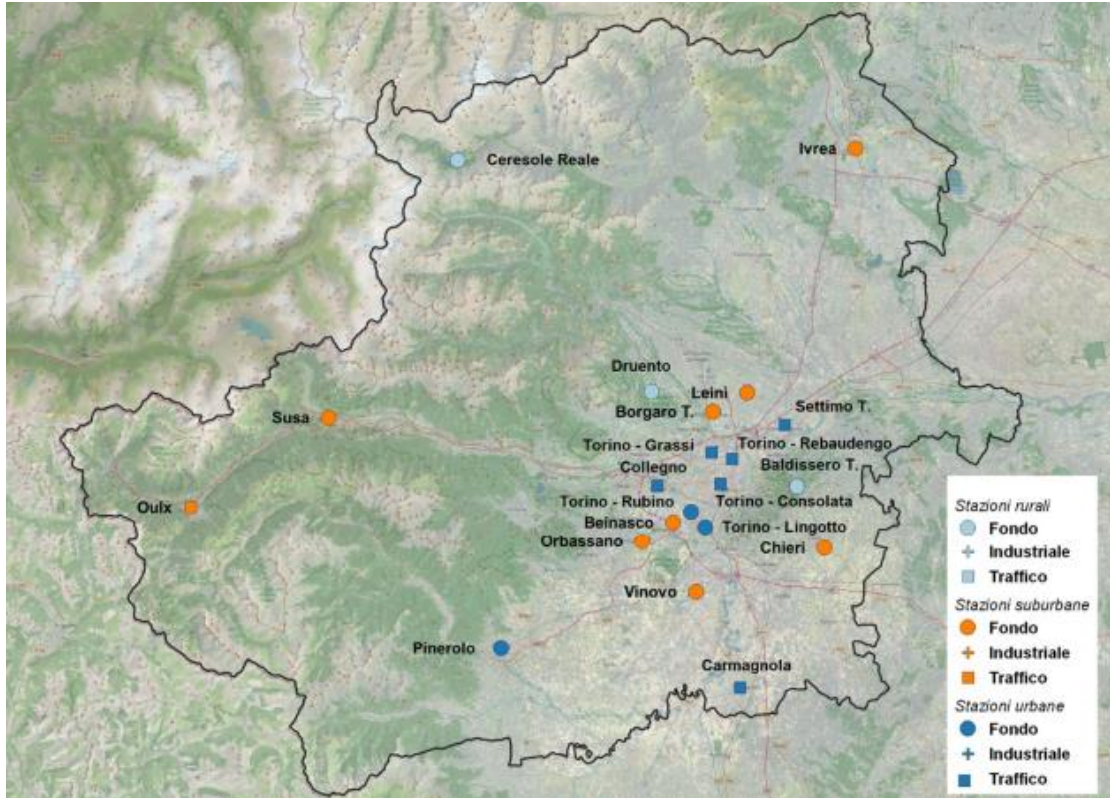
# L'ozono in Piemonte – superamenti obiettivo a lungo termine per la protezione della salute

obiettivo a lungo termine  
per la protezione della  
salute umana :

120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  calcolato come  
massima media giornaliera  
sulle 8 ore



# Città Metropolitana di Torino

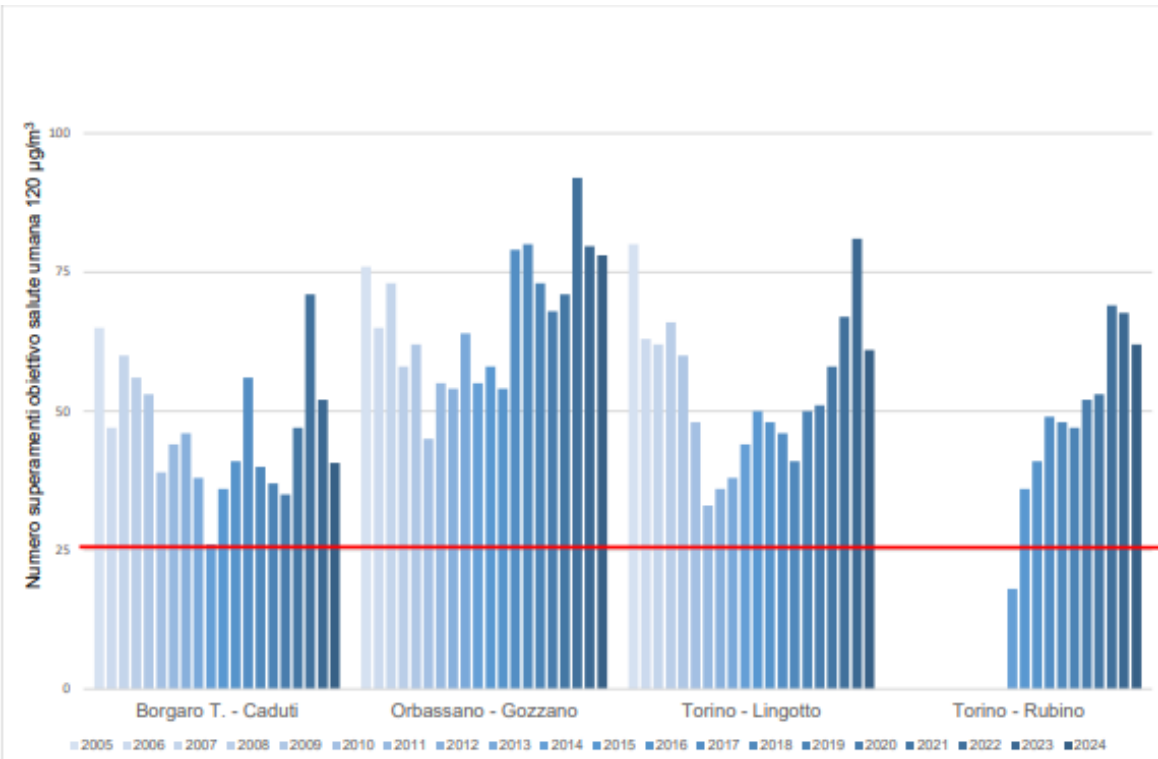


La rete di monitoraggio della qualità dell'aria della Città metropolitana di Torino è composta da 21 stazioni fisse.

Le stazioni sono collocate in modo da rappresentare la qualità dell'aria dell'area metropolitana torinese, ma anche contesti territoriali (vallivi, montani, di pianura) ed emissivi diversi (traffico, fondo).

L'ozono viene misurato presso le stazioni di fondo (urbano-suburbano) di Borgaro, Chieri, Ivrea, Leini, Orbassano, Susa, Torino - Lingotto, Torino - Rubino e Vinovo ed in quelle di fondo rurale di Baldissero Torinese, Ceresole Reale e Druento.

# Città Metropolitana di Torino – stazioni di fondo urbano



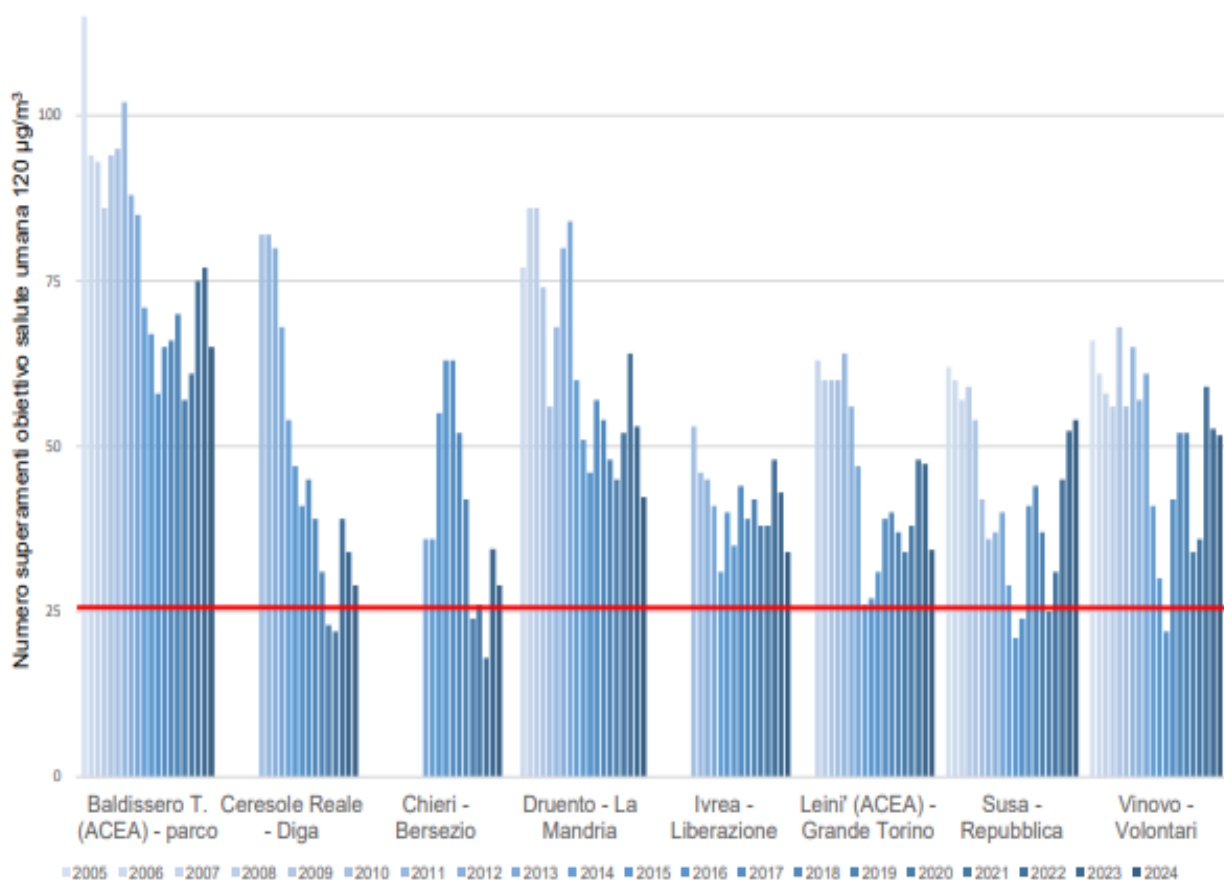
Superamenti del valore obiettivo per la salute umana dal 2005 al 2024.

Il valore obiettivo è superato in tutte le stazioni del territorio metropolitano. Valori particolarmente elevati si registrano nella stazione di Orbassano – Gozzano.

Anche Torino Lingotto mostra massimi significativi nello stesso periodo.

# Città Metropolitana di Torino – stazioni esterne all'area metropolitana

Superamenti del valore obiettivo per la salute umana dal 2005 al 2024



Valori sistematicamente **sopra la soglia dei 25 superamenti** (indicata dalla linea rossa). L'ozono non mostra un chiaro trend di miglioramento negli anni

Valori particolarmente elevati si registrano nella stazione di Baldissero Torinese, stazione di fondo rurale ubicata nella collina torinese (COV biogenici).

# Confronto tra area metropolitana e area extra urbana

## **Extra-urbane:**

valori generalmente più elevati (n. superamenti anche >80–100 giorni/anno).

## **Area metropolitana:**

valori leggermente inferiori, ma comunque elevati (spesso n. sup. 40–80 giorni/anno).

## **Variabilità interannuale**

Entrambe le tipologie mostrano forti oscillazioni anno per anno imputabili alle condizioni meteorologiche (temperature, radiazione solare, stagnazione dell'aria)

# Città Metropolitana di Torino – andamento giornaliero

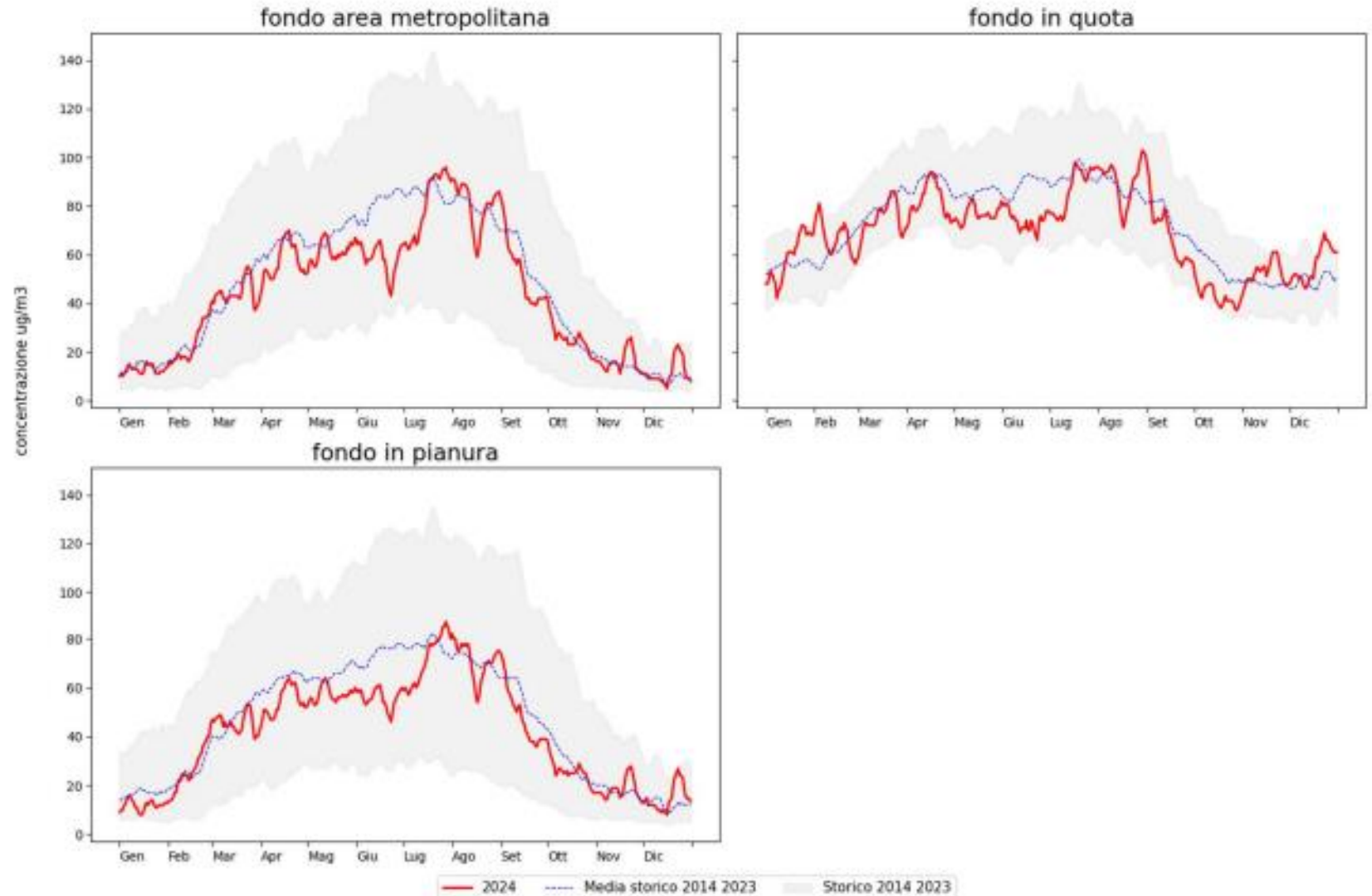
## Fondo area metropolitana e pianura:

Livelli bassi in inverno perché in città e in pianura le emissioni di traffico (monossido di azoto) "consumano" l'ozono durante i mesi freddi.

**Fondo in quota:** i livelli non scendono mai sotto i 40 – 50 mg/mc

In quota mancano le sostanze inquinanti urbane che distruggono l'ozono e c'è un maggiore apporto di ozono dalla stratosfera o dal trasporto a lungo raggio.

## andamento giornaliero medio dell'ozono (O<sub>3</sub>) nel corso dell'anno



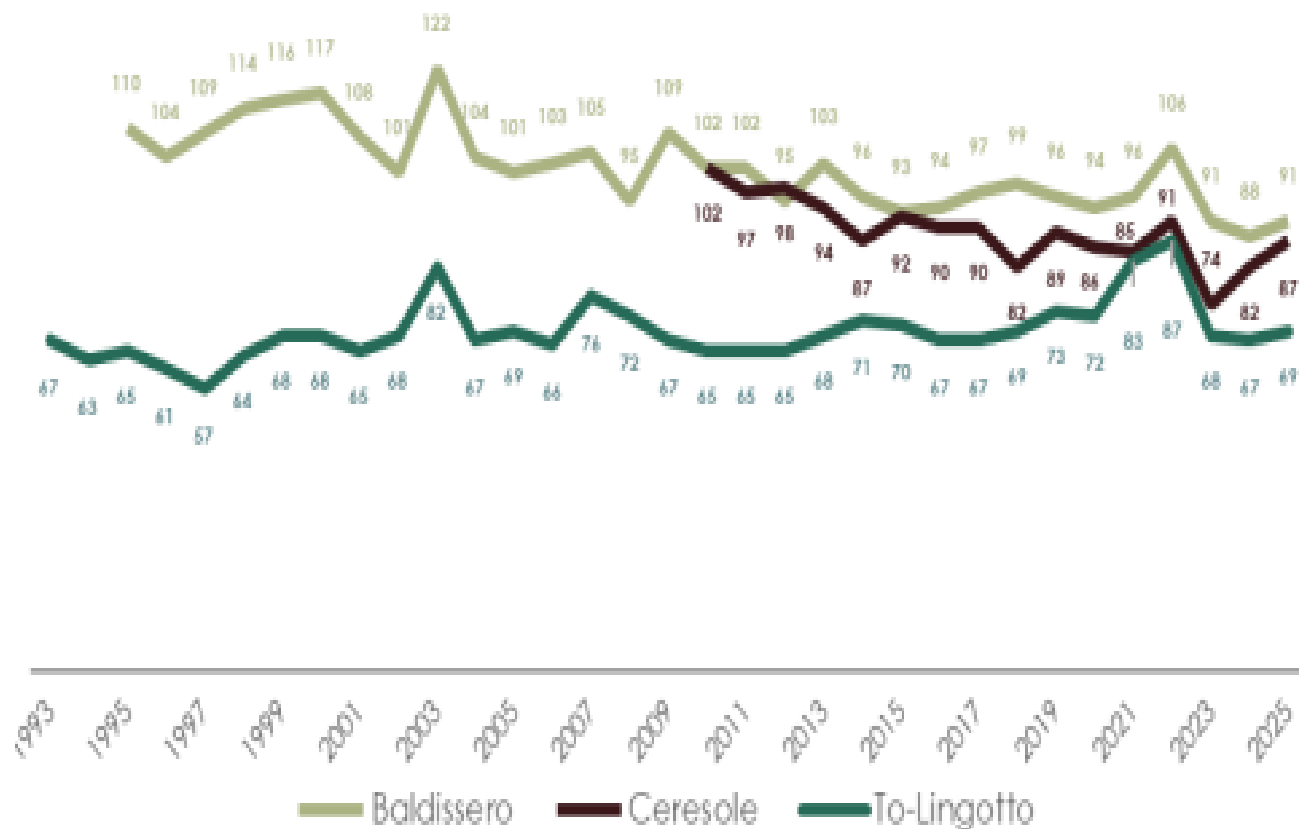
# Città Metropolitana di Torino – 2025

Il valore obiettivo per la protezione della salute umana è superato in 9 stazioni su 12 del territorio metropolitano.

Stazione	% validi	N° di giorni con superamenti della soglia oraria di informazione	N° superamenti del valore obiettivo (media 2023-2025)
Baldissero	96%	0	46
Borgaro	96%	4	32
Ceresole	91%	1	13
Chieri	97%	0	31
Druento	96%	3	32
Ivrea	91%	1	22
Leinì	95%	0	18
Orbassano	97%	0	51
Susa	96%	6	43
To-Lingotto	94%	0	33
To- Rubino	96%	1	48
Vinovo	97%	0	34

# Città Metropolitana di Torino – 2025

Concentrazioni medie estive aprile – settembre ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



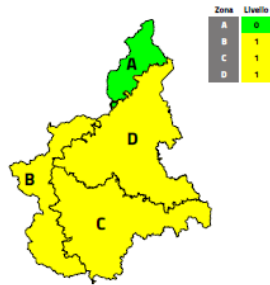
Sostanziale stabilità dei valori di concentrazione

# Bollettino Ozono

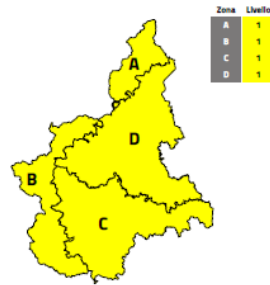
BOLLETTINO N°	DATA EMISSIONE	VALIDITÀ	AGGIORNAMENTO	SERVIZIO A CURA DI	AMBITO
108/2026	18/04/2026 ore 12:30	72 ore	19/04/2026 ore 12:30	Dipartimento Rischi Naturali ed Ambientali	Regione Piemonte

Emissioni effettuate con sistemi automatici

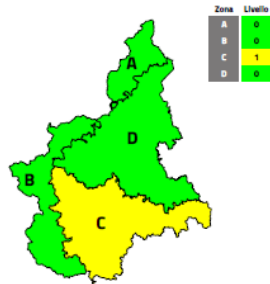
### Analisi di Venerdì, 17 Aprile 2026



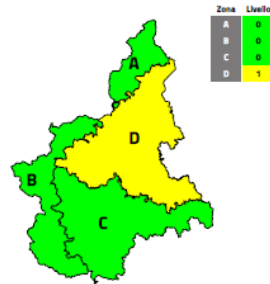
### Previsione per Sabato, 18 Aprile 2026



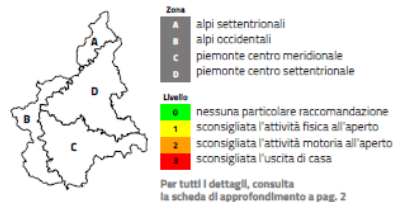
### Previsione per Domenica, 19 Aprile 2026



### Previsione per Lunedì, 20 Aprile 2026



### Legenda



### Note:

NULLA DA SEGNALARE

0

Inferiore a  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 8 ore, o inferiore a  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 1 ora.

Nessuna particolare raccomandazione

1

Tra  $110$  e  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 8 ore, o tra  $180$  e  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 1 ora.

Sconsigliata l'attività fisica all'aperto

2

Tra  $140$  e  $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 8 ore, o tra  $240$  e  $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 1 ora.

Sconsigliata l'attività motoria all'aperto

3

Oltre  $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 8 ore, o oltre  $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in 1 ora.

Sconsigliata l'uscita di casa

Informazioni sui livelli di Ozono osservati il giorno che precede quello di emissione e previsti per i due giorni successivi, su quattro aree omogenee (due relative alla zona alpina e due alla zona di pianura-collina) in cui è stato suddiviso il territorio regionale. Viene emesso nel periodo tarda primavera-estate, nei giorni feriali entro le ore 14.

# Bollettino Ozono

BOLLETTINO N°	DATA EMISSIONE	VALIDITÀ	AGGIORNAMENTO	SERVIZIO A CURA DI	AMBITO
110/2026	20/04/2026 ore 12:30	72 ore	21/04/2026 ore 12:30	Dipartimento Rischi Naturali ed Ambientali	Regione Piemonte

## Legenda dettagliata

Livello	Concentrazione Ozono	Raccomandazioni
0	Inferiore a 110 µg/m <sup>3</sup> in 8 ore, o inferiore a 180 µg/m <sup>3</sup> in 1 ora.	Non si rendono necessarie particolari raccomandazioni.
1	Tra 110 e 140 µg/m <sup>3</sup> in 8 ore, o tra 180 e 240 µg/m <sup>3</sup> in 1 ora.	Le categorie più sensibili, cioè bambini, anziani, asmatici, bronchitici cronici, cardiopatici, devono evitare di svolgere attività fisica anche moderata all'aperto, come ad esempio camminare velocemente, in particolare nelle ore più calde e di massima insolazione della giornata. Si consiglia a tutta la popolazione di integrare la propria dieta con cibi contenenti sostanze antiossidanti. Nella tabella che segue sono riportate alcune indicazioni in merito.
2	Tra 140 e 220 µg/m <sup>3</sup> in 8 ore, o tra 240 e 360 µg/m <sup>3</sup> in 1 ora.	Le categorie più sensibili, cioè bambini, anziani, asmatici, bronchitici cronici, cardiopatici, devono evitare di svolgere qualsiasi attività fisica all'aperto, come ad esempio correre, in particolare nelle ore più calde e di massima insolazione della giornata. I soggetti mediamente sensibili come gli adolescenti, devono evitare di svolgere all'aperto attività fisica intensa, come ad esempio correre, in particolare nelle ore più calde e di massima insolazione della giornata. Tutta la popolazione, quindi anche i soggetti meno sensibili, come gli adulti sani, devono evitare nelle ore più calde e di massima insolazione della giornata, di fare sforzi fisici all'aperto che comportano un'attività fisica molto intensa, come ad esempio correre velocemente. Si consiglia a tutta la popolazione di integrare la propria dieta con cibi contenenti sostanze antiossidanti. Nella tabella che segue sono riportate alcune indicazioni in merito.
3	Oltre 220 µg/m <sup>3</sup> in 8 ore, o oltre 360 µg/m <sup>3</sup> in 1 ora.	Le categorie più sensibili, cioè bambini, anziani, asmatici, bronchitici cronici, cardiopatici, devono evitare di uscire di casa e di svolgere qualsiasi attività fisica all'aperto, in particolare durante le ore più calde e di massima insolazione della giornata. I soggetti mediamente sensibili, come gli adolescenti, devono evitare di svolgere all'aperto attività fisica anche moderata, come ad esempio camminare velocemente, in particolare nelle ore più calde e di massima insolazione della giornata. Tutta la popolazione, quindi anche i soggetti meno sensibili, come gli adulti sani, devono evitare nelle ore più calde e di massima insolazione della giornata, di fare sforzi fisici all'aperto che comportano un'intensa attività fisica, come ad esempio correre. Si consiglia a tutta la popolazione di integrare la propria dieta con cibi contenenti sostanze antiossidanti. Nella tabella che segue sono riportate alcune indicazioni in merito.

## Sostanze antiossidanti e alimenti che le contengono

Vitamina C	Pomodori, peperoni rossi e verdi, patate, cavoli, broccoli, verdure a foglia verde, agrumi, fragole, meloni.
Vitamina E	Fegato, uova, asparagi, avocado, noci, mandorle, germe di grano, farina di grano intero, olio di oliva, olio di arachidi, olio di germe di grano, olio di fegato di merluzzo.
Selenio	Pollo, rognone, fegato, tonno, molluschi, pomodori, broccoli, cavoli, cipolle, funghi, cereali integrali, noci del Brasile, lievito di birra, germe di grano.



Categorie sensibili (bambini, anziani, asmatici, cardiopatici): NO attività fisica all'aperto



Soggetti mediamente sensibili (adolescenti): NO attività fisica intensa

Tutta la popolazione: Evitare sforzi fisici nelle ore più calde



Categorie sensibili: NO uscite di casa

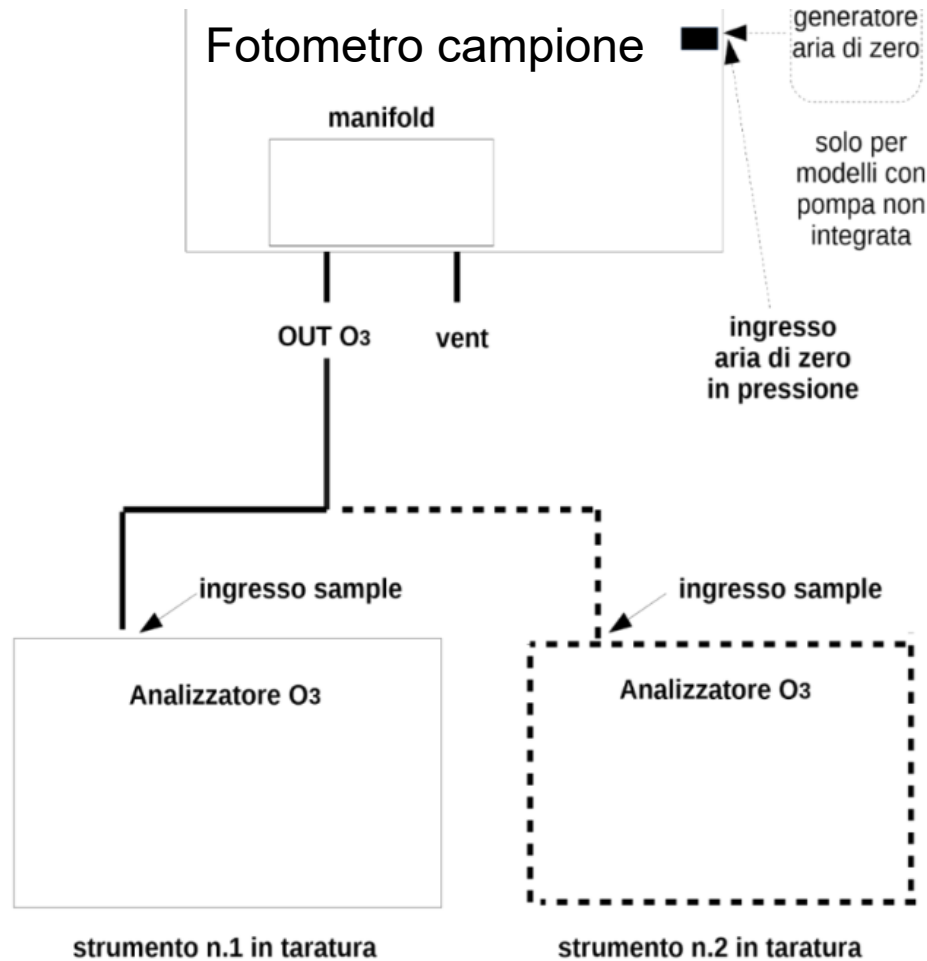
Soggetti mediamente sensibili: NO attività fisica all'aperto

Tutta la popolazione: Evitare sforzi fisici all'aperto

Integrazione dieta con antiossidanti

# LA MISURA DELL'OZONO: CONTROLLI E TARATURE

Laboratorio dedicato con controllo dei parametri ambientali e cablaggio strumentale a rack



# LA MISURA DELL'OZONO: CONTROLLI E TARATURE

## TARATURE ANNUALI IN LABORATORIO

Verifica della linearità (lack of fit)

Retta di correzione

Scarto tipo di ripetibilità ( $S_{rz}$ )

Limite di rivelabilità LoD:  $LoD = 3,3 \cdot \frac{S_{rz}}{B}$

$B$ : coefficiente angolare retta taratura

## RAPPORTO DI TARATURA

Concentrazione non corretta strumento in taratura (ppb)	Concentrazione di riferimento (ppb)
1,7	0,1
97,0	100,1
193,2	200,0
289,3	300,0
384,8	400,0
456,9	475,2

Slope = 0,988

Offset = -1,6

Determinazione	Valore riscontrato	Criteri di accettabilità
Scarto tipo a zero ( $S_{r,z}$ )	0,10	< 1,5 ppb
scarto tipo di ripetibilità alla concentrazione di span ( $s_{r,s}$ ) 400 ppb	0,09	< 2 %
Limite di rivelabilità (LoD)	0,33	/

# LA MISURA DELL'OZONO: CONTROLLI E TARATURE

## CONTROLLI QA/QC

### Controlli zero-span (ogni 15 giorni da remoto)

$$\Delta X_z = |Z_i - Z_0|$$

$$\Delta X_s = \frac{|S_i - S_0| - \Delta X_z}{S_0} \cdot 100$$

dove

$\Delta X_z$  = differenza tra la lettura del corrente controllo di zero e la lettura del valore di zero del primo controllo effettuato dopo l'ultima taratura valida

$Z_i$  = lettura del corrente controllo di zero

$Z_0$  = lettura dello zero del primo controllo effettuato dopo l'ultima taratura valida dell'analizzatore

$\Delta X_s$  = differenza espressa in percentuale tra la lettura del corrente controllo di span e la lettura dello span del primo controllo effettuato dopo l'ultima taratura valida dell'analizzatore

$S_i$  = lettura del corrente controllo di span

$S_0$  = lettura dello span del primo controllo effettuato dopo l'ultima taratura valida dell'analizzatore.

### Verifiche taratura (ogni 3 mesi in campo)

Calcolo dello scarto tipo di ripetibilità allo zero ( $S_{r,z}$ ) ed alla concentrazione di span ( $S_{r,s}$ ) effettuando 10 prove a 60 secondi una dall'altra

$$(S_{r,z}) < 1,5 \text{ ppb}$$

$$(S_{r,s}) < 2,0 \%$$

Sono accettabili scostamenti inferiori al  $\pm 5\%$  per  $\Delta X_s$ , e inferiori a  $|4|$  ppb per  $\Delta X_z$ .

# LA MISURA DELL'OZONO: VARIAZIONE DELLA CROSS SECTION E CORREZIONE DATI

$$I = I_0 \times e^{(-\alpha Cl)}$$

- $I$  is the intensity of light measured in sampled air;
- $I_0$  is the intensity of light measured in ozone-free sampled air;
- $\alpha$  is the absorption cross section area in  $\text{m}^2/\mu\text{g}$ ;
- $C$  is the ozone concentration in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;
- $l$  is the length of absorption cell in m.

**Revisione del valore della cross-section, da  $1,1476 \times 10^{-17} \text{ cm}^2$  a  $1,1293 \times 10^{-17} \text{ cm}^2$**



**Applicazione ai dati di un fattore correttivo pari a 1,01293**

**Grazie per l'attenzione!**