

# Uno sguardo all'aria

## 2023







# Relazione annuale sui dati rilevati dalla rete metropolitana di monitoraggio della qualità dell'aria

Anno 2023

Testi ed elaborazioni a cura di:

Città metropolitana di Torino – Dipartimento Ambiente e Vigilanza ambientale:

A. Bertello

ARPA Piemonte - Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest:

C. Musto, E. Calderaro, M. Sacco, A.M. Scibelli, M. Fontana, S. Possamai

ARPA Piemonte - Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali:

M. Bernardi, S. Bande, D. Gandini, M. Nicoletta

Hanno collaborato alla gestione della rete di monitoraggio, all'acquisizione dei dati ed alle attività analitiche:

ARPA Piemonte - Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest

F. Pitasi, S. Bertero, C. Bugnone, M. Carrera, G. Gallina, R. Mua, F. Romeo, L. Milizia, P. Rosina, R. Sergi, D. Simondi, I. Coretti, C. Cappa, T. Giampiccolo, S. La Porta, B. Racca, N. Santamaria, P. Spagnolo

CSI Piemonte

Il personale tecnico della Sala Ambiente della Regione Piemonte presso il CSI Piemonte

Si ringrazia la Regione Piemonte per i dati di composizione del parco veicolare

O. Munafò

Copertina

Martina Uccisella, "Non cantar vittoria" 2023

## INDICE

SOMMARIO .....	6
LA RETE DI MONITORAGGIO DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO .....	8
MONOSSIDO DI CARBONIO .....	11
BIOSSIDO D'AZOTO .....	13
BIOSSIDO DI ZOLFO .....	18
OZONO .....	20
BENZENE .....	27
PARTICOLATO SOSPESO .....	29
METALLI .....	39
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI .....	45
MERCURIO ELEMENTARE GASSOSO .....	50
DEPOSIZIONI ATMOSFERICHE "BULK" DI IPA E METALLI .....	54
DETERMINAZIONE DI PCDD/PCDF E PCB PRESSO LA STAZIONE DI BEINASCO (TRM) .....	64
CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'ANNO 2023 .....	75
EMISSIONI INQUINANTI DEI VEICOLI A MOTORE .....	98
IL PROTOCOLLO ANTISMOG NELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO .....	104

## SOMMARIO

L'analisi dei dati di qualità dell'aria 2023 evidenzia che nove dei dodici inquinanti per i quali sono stabiliti valori di riferimento rispettano i valori limite e obiettivo su tutto il territorio metropolitano (TABELLA 1).

Il 2023 è stato leggermente più siccitoso e più caldo rispetto alla media dei 10 anni precedenti ma complessivamente ha avuto condizioni favorevoli alla dispersione degli inquinanti. Il valore dell'indicatore utilizzato per individuare il numero di giorni potenzialmente favorevoli all'accumulo del PM10 è stato il terzo più basso della serie storica a disposizione (FIGURA 74). I confronti con i rilevamenti degli anni precedenti dovranno prevalentemente riferirsi agli anni 2021 e 2018 che hanno avuto un numero di giorni critici confrontabile. Il 2022 invece è stato un anno particolarmente critico.

		Rispetto dei valori di riferimento
particolato atmosferico	PM10	NO
	PM2,5	SI
biossido di azoto		NO
ozono		NO
metalli	Piombo	SI
	Arsenico	SI
	Cadmio	SI
	Nichel	SI
benzene		SI
benzo(a)pirene		SI
monossido di carbonio		SI
biossido di zolfo		SI

TABELLA 1: rispetto dei valori limite e obiettivo per inquinante, anno 2023.

I dati di PM10 rilevati nel 2023 presentano un netto miglioramento sia rispetto al 2022 ma anche rispetto al 2021 e al 2018 che hanno avuto condizioni meteo dispersive confrontabili. Nel 2023 per la prima volta i superamenti del valore limite giornaliero di PM10 sono concentrati nelle stazioni dell'agglomerato torinese caratterizzate da intenso traffico veicolare e nella stazione di Carmagnola, anch'essa prossima ad una strada molto trafficata. In tutte le stazioni di fondo, indicative dell'esposizione media della popolazione, il valore limite giornaliero è rispettato con l'eccezione di una stazione in Torino.

Il valore limite annuale dei parametri PM10 e PM2,5 è rispettato in tutti i siti di monitoraggio.

Il valore limite annuale del biossido di azoto è superato solo nella stazione di traffico più critica dell'agglomerato torinese. Il valore limite di 18 superamenti della soglia oraria è rispettato ovunque.

Il valore obiettivo per la protezione della salute umana definito per l'ozono è superato in tutte le stazioni del territorio metropolitano. Nel 2023 si è osservata una diminuzione significativa delle concentrazioni rispetto ai due anni precedenti. La controtendenza registrata nel corso del 2023 potrebbe essere dovuta al fatto che i mesi primaverili ed estivi, i più critici per l'accumulo di ozono troposferico, sono stati interessati da cielo nuvoloso e precipitazioni persistenti.

Il particolato PM10, il biossido di azoto e l'ozono si confermano, al netto del miglioramento, inquinanti critici per i quali non sono ancora rispettati i valori limite e il valore obiettivo.

Le serie storiche di lungo periodo evidenziano, sostanzialmente per tutti gli inquinanti, una evidente riduzione delle concentrazioni.

Relativamente al parco veicolare, indicatore di una delle principali fonti di inquinamento, si è osservato un costante aumento del numero di autoveicoli (+ 18% rispetto al 2007) e di autocarri < 3,5 t (+21% rispetto al 2007). All'aumento del numero dei veicoli si affianca un'importante penetrazione dei veicoli Euro 6 e una contrazione percentuale degli autoveicoli diesel controbilanciata da un aumento percentuale dei veicoli a benzina e GPL-CH4; Gli autoveicoli totalmente elettrici sono lo 0,5% del totale (8072 nel 2023, erano 5092 nel 2022, 4194 nel 2021 e 3055 nel 2020). Una criticità è rappresentata dalla vetustà del parco di veicoli commerciali. Gli autocarri <3,5t ante Euro5 senza filtro antiparticolato sono ancora il 55%.

Il 2023 è stato un anno favorevole per la qualità dell'aria. L'analisi complessiva dei rilevamenti dei parametri PM10 e biossido di azoto, evidenzia una situazione che negli ultimi anni si è evoluta

positivamente, in particolare se si considera l'esposizione media della popolazione. I miglioramenti non sono ancora tali da garantire il rispetto dei valori limite e obiettivo su tutto il territorio.

Occorre ancora e con determinazione ridurre le emissioni di inquinanti dalle principali sorgenti, in particolare traffico veicolare, combustione della biomassa e attività zootecniche per garantire a tutti i cittadini un ambiente salubre e una qualità dell'aria soddisfacente.

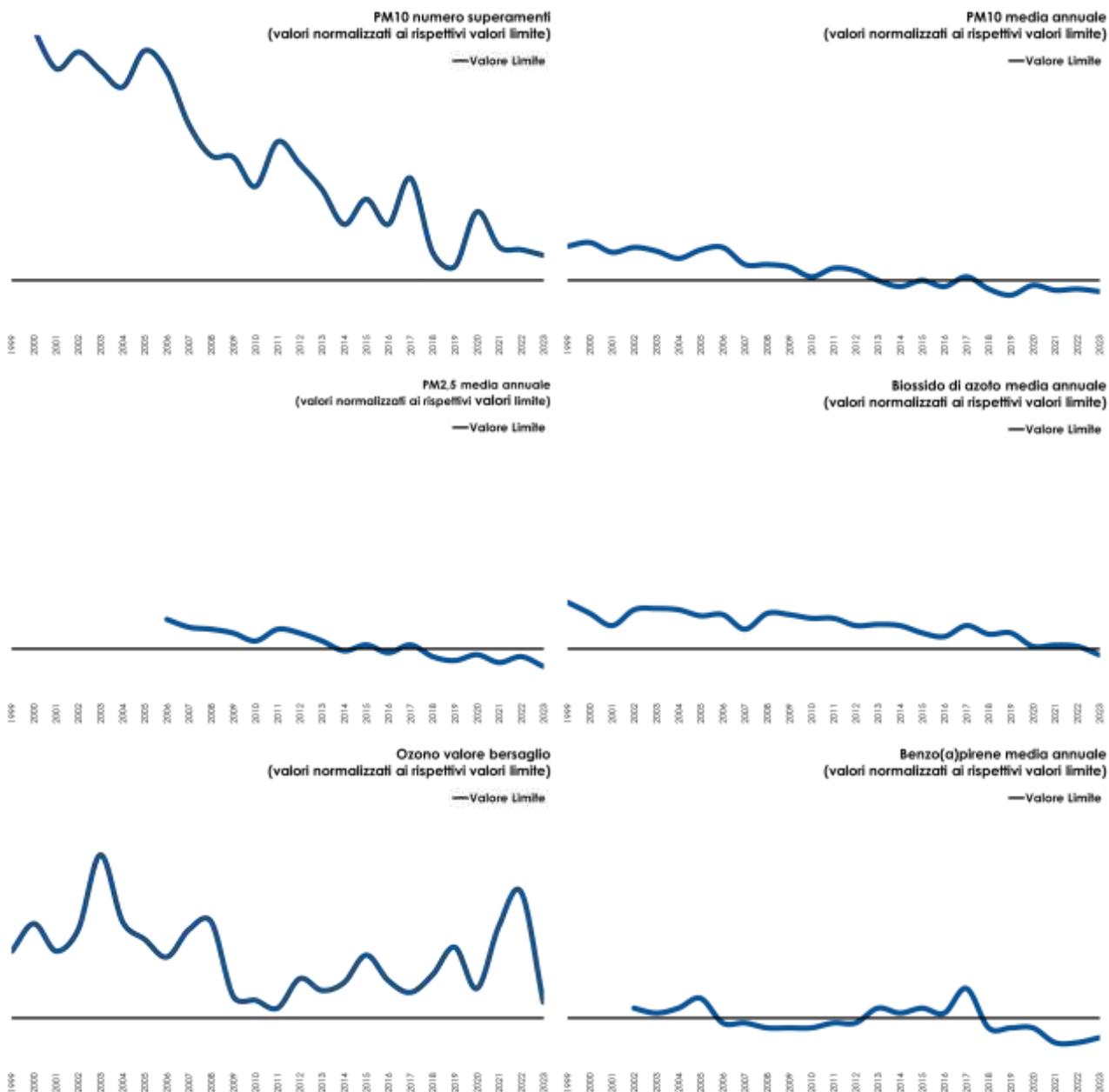


FIGURA 1: evoluzione degli inquinanti nella città di Torino.

## LA RETE DI MONITORAGGIO DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO

*Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:*

**M. Sacco (Arpa Piemonte, Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest)**

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria, operante sul territorio della Città metropolitana di Torino e gestita da Arpa Piemonte, è composta da 18 postazioni fisse di proprietà pubblica, da 3 stazioni fisse di proprietà privata e da un mezzo mobile per la realizzazione di campagne di rilevamento della qualità dell'aria. Tutte le postazioni sono collegate attraverso linee telefoniche al centro di acquisizione dati e trasmettono con cadenza oraria i risultati delle misure effettuate, permettendo così un costante controllo dei principali fattori che influenzano la qualità dell'aria. L'elenco delle stazioni di misura, la loro ubicazione e i parametri misurati sono riportati in TABELLA 2.

Nella TABELLA 2 dopo PM10/PM2,5 si trova in alcuni casi l'indicazione "beta ( $\beta$ )" in relazione al metodo di misura utilizzato.

Ciò sta a indicare che la misura è effettuata tramite un analizzatore automatico, per cui il dato di concentrazione media di PM10 o PM2,5 riferita a un determinato giorno dell'anno è disponibile nella giornata immediatamente successiva; con questo tipo di analizzatori non è però possibile determinare quei componenti del particolato, in particolare idrocarburi policiclici aromatici e i metalli, per i quali la normativa, in relazione alla loro rilevanza tossicologica, prevede specifici valori limite.

Quando invece non vi è alcuna indicazione la misura è effettuata mediante il prelievo del particolato su appositi filtri e una successiva determinazione di laboratorio, per cui il dato è disponibile solo alcuni giorni dopo il termine del prelievo. Le procedure interne di Arpa Piemonte prevedono che il dato di PM10 o PM2,5 sia disponibile entro 12 giorni dal prelievo nel periodo novembre-aprile e entro 18 giorni dal prelievo negli altri mesi. Questo tipo di determinazione, a differenza della prima, permette l'analisi della composizione del particolato.

La collocazione sul territorio delle postazioni di misura (FIGURA 2) è un fattore fondamentale per effettuare un efficace monitoraggio della qualità dell'aria. I luoghi prescelti devono essere rappresentativi della tipologia di sito individuato. Una corretta collocazione dei punti di misura permette così di ottenere indicazioni estremamente rappresentative sulla qualità dell'aria. Un aumento dei punti di monitoraggio porterebbe quasi sicuramente all'effettuazione di misure ridondanti e, visti gli elevatissimi costi di acquisto e di gestione delle reti di monitoraggio, comporterebbe una spesa difficilmente sostenibile dalle amministrazioni pubbliche e sicuramente non giustificata in relazione ai risultati ottenuti.

La rete di monitoraggio è completata da una stazione mobile di rilevamento, la cui peculiarità risiede nella possibilità di poter essere collocata ovunque si ritenga necessario realizzare brevi campagne di monitoraggio, permettendo di effettuare valutazioni sulla qualità dell'aria in tutte quelle zone non direttamente interessate dalla rete fissa. Il laboratorio mobile fornisce, in questo senso, un valido supporto nella valutazione dello stato ambientale, in previsione della costruzione di nuovi insediamenti produttivi o di modifiche della rete viaria, offrendo significativi elementi per una corretta pianificazione delle opere strutturali o per la definizione di interventi volti alla riduzione dell'intensità dei fenomeni di inquinamento.

Tutti i siti monitorati sono oggetto di specifiche relazioni tecniche curate dal Dipartimento ARPA di Torino; copia delle relazioni è disponibile sia presso tale Dipartimento che presso l'Area Risorse Idriche e Qualità dell'Aria della Città Metropolitana di Torino e sono scaricabili via internet all'indirizzo:

<http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/ambiente/qualita-aria/rete-monitoraggio/relazioni-campagne-rilevamento>

STAZIONE	INDIRIZZO	PARAMETRI	TIPOLOGIA
Baldissero (GDF)(1)	Str. Pino Torinese, 1 – Baldissero	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , CO, PM10 <sub>B</sub> , Deposimetro Metalli, NH <sub>3</sub>	Fondo-rurale
Beinasco (TRM) (1)	Via San Giacomo c/o giardino pubblico Aldo Mei - Beinasco	NO <sub>x</sub> , PM10 <sub>B</sub> , PM2,5 <sub>B</sub> , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, Hg, Campionatore PCDD/DF e PCB, Deposimetro Metalli/PA, Deposimetro Hg, Deposimetro PCDD/DF e PCB	Fondo-suburbano
Borgaro	Via Italia c/o Giardini dei Caduti Borgaresi – Borgaro	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10 <sub>B</sub> , PM2,5 <sub>B</sub> , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX	Fondo-suburbano
Carmagnola	P.zza I maggio– Carmagnola	NO <sub>x</sub> , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Traffico-urbano
Ceresole Reale	c/o cent. Idroelettrica - Ceresole	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10 <sub>B</sub> , PM2,5 <sub>B</sub> , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Fondo-rurale
Chieri	c/o Scuola Infanzia B.go Venezia Via Bersezio– Chieri	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10 <sub>B</sub> , PM2,5 <sub>B</sub>	Fondo-suburbano
Collegno	C.so Francia, 137 - Collegno	NO <sub>x</sub> , PM10	Traffico-urbano
Druento	parco La Mandria c/o cascina Peppinella – Druento	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Fondo rurale
Ivrea	Viale della Liberazione, 1 – Ivrea	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10 <sub>B</sub> , PM2,5, B(a)P	Fondo-suburbano
Leini (GDF) (1)	Via Vittime di Bologna, 12 - c/o Grande Torino - Leini	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , CO, PM10 <sub>B</sub> , PM2,5 <sub>B</sub> , NH <sub>3</sub>	Fondo-suburbano
Mezzo Mobile		NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , CO, PM10, PM2,5, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX	
Orbassano	Via Riesi c/o Complesso Sportivo Comunale – Orbassano	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub>	Fondo-suburbano
Oulx	Via Roma angolo via Des Moines – Oulx	NO <sub>x</sub> , CO, PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Traffico-suburbano
Pinerolo	P.zza III Alpini, 1 – Pinerolo	PM10 <sub>B</sub>	Fondo-urbano
Settimo T.se	Via Milano, 31 – Settimo	NO <sub>x</sub> , PM10 <sub>B</sub> , PM2,5 <sub>B</sub> , BTX, B(a)P	Traffico-urbano
Susa	P.zza della Repubblica – Susa	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Fondo-suburbano
To-Consolata	Via Consolata, 10 – Torino	NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, PTS	Traffico-urbano
To-Grassi	Via P.Veronese ang. via Reiss Romoli c/o ITIS Grassi – Torino	PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Traffico-urbano
To-Lingotto	Viale Augusto Monti, 21 zona Lingotto – Torino	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10-PM10 <sub>B</sub> , PM2,5-PM2,5 <sub>B</sub> , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, BC, NH <sub>3</sub>	Fondo-urbano
To-Rebaudengo	P.zza Rebaudengo, 23 - Torino	NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, PM10 <sub>B</sub> , PM2,5 <sub>B</sub>	Traffico-urbano
To-Rubino	Via Edoardo Rubino c/o giardini Rubino - Torino	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, PM10 <sub>B</sub> orario, PM2,5 <sub>B</sub> orario	Fondo-urbano
Vinovo	via Garibaldi ang. via Volontari Italiani – Vinovo	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , BTX	Fondo-suburbano

(1) stazione di proprietà di Ente privato gestita da Arpa Piemonte

TABELLA 2: elenco delle stazioni di monitoraggio, ubicazione e parametri misurati.

CODICE PARAMETRO	DESCRIZIONE
As-Cd-Ni-Pb	Arsenico, Cadmio, Nichel, Piombo
B(a)P	Benzo(a)pirene
BC	Black Carbon
BTX	Benzene, toluene, xilene
CO	Monossido di carbonio
Hg	Misuratore mercurio gassoso
NH <sub>3</sub>	Ammoniaca
NO <sub>x</sub>	Ossidi di azoto
O <sub>3</sub>	Ozono
PCDD/DF	Policlorodibenzodiossine / Policlorodibenzofurani
PCB	Policlorobifenili
PM10	Particolato sospeso < 10 µm
PM10 <sub>B</sub>	Particolato sospeso < 10 µm metodo automatico a radiazione β
PM2,5	Particolato sospeso < 2,5 µm
PM2,5 <sub>B</sub>	Particolato sospeso < 2,5 µm metodo automatico a radiazione β
PTS	Polveri totali sospese
SO <sub>2</sub>	Biossido di zolfo

TABELLA 3: descrizione dei codici dei parametri.

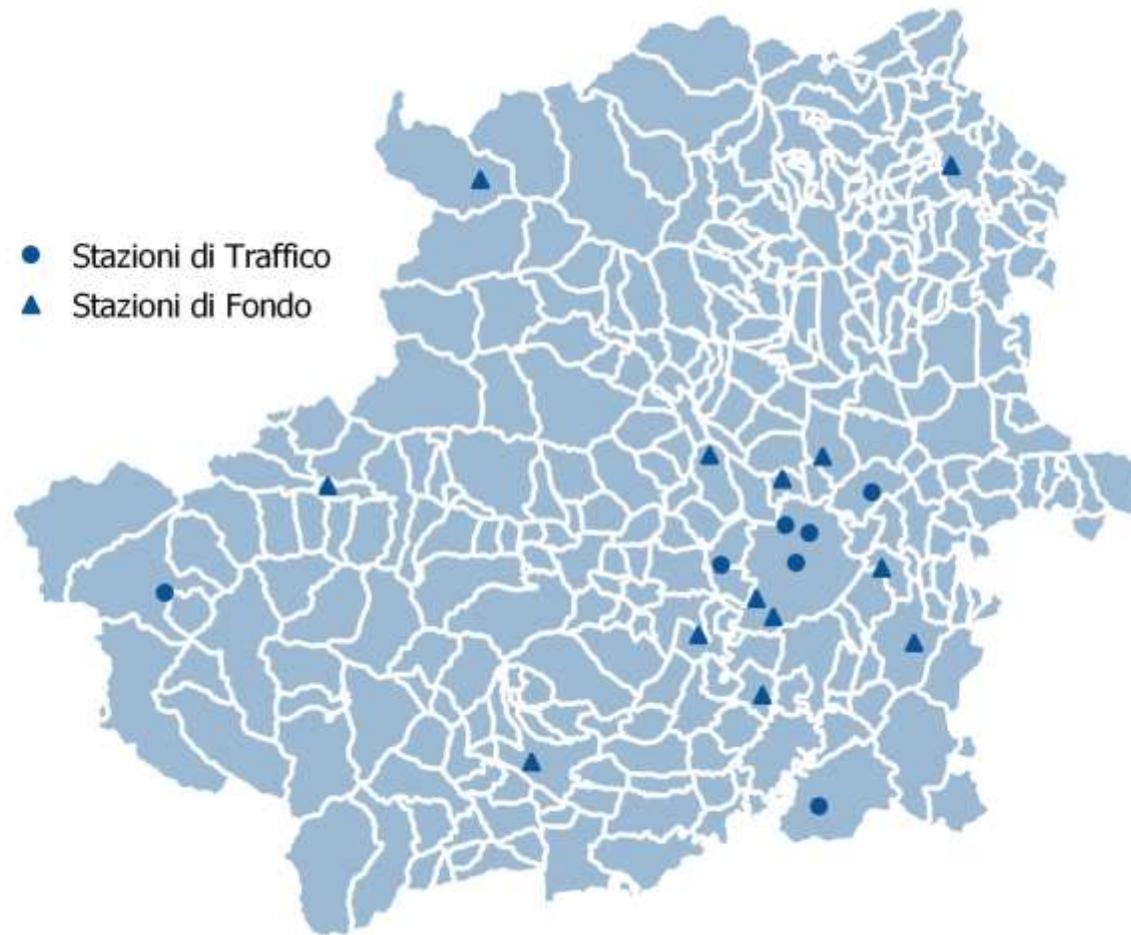


FIGURA 2: disposizione delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria.

## MONOSSIDO DI CARBONIO

*Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:*

**A. Bertello, Città metropolitana di Torino.**

### DESCRIZIONE

Il carbonio, legandosi all'ossigeno, forma due composti (ossidi): il monossido di carbonio (CO) ed il biossido di carbonio (CO<sub>2</sub>).

È un elemento molto comune in natura, sia allo stato elementare sia allo stato combinato negli idrocarburi, nel calcare, nella dolomite e nei carboni fossili.

Il CO è l'unico inquinante gassoso per il quale l'unità di misura con la quale si esprimono le concentrazioni è il milligrammo al metro cubo (mg/m<sup>3</sup>), a differenza degli altri parametri inquinanti misurati in µg/m<sup>3</sup> o in ng/m<sup>3</sup> in quanto presenti in minore concentrazione in aria ambiente.

Il monossido di carbonio è un gas inodore ed incolore ed è prodotto principalmente dalla combustione incompleta dei combustibili organici (carbone, olio, legno, carburanti).

La principale sorgente di CO è rappresentata dai gas di scarico dei veicoli a benzina funzionanti a regimi di motore al minimo ed in fase di decelerazione, condizioni tipiche di traffico urbano intenso e rallentato.

Il CO ha la proprietà di fissarsi all'emoglobina del sangue impedendo il normale trasporto dell'ossigeno nelle varie parti del corpo ed ha nei confronti dell'emoglobina un'affinità 220 volte maggiore rispetto all'ossigeno. Il composto che si genera (carbossi-emoglobina) è estremamente stabile. Gli organi più colpiti sono il sistema nervoso centrale ed il sistema cardiovascolare, soprattutto nelle persone affette da cardiopatie.

Concentrazioni elevatissime di CO possono anche condurre alla morte per asfissia.

I valori limite definiti dalla normativa vigente sono riportati nella TABELLA 4.

Periodo di mediazione	VALORE LIMITE <sup>1</sup>	
	Valore limite (293°K e 101,3 kPa)	Data alla quale il valore limite deve essere rispettato
Media massima giornaliera su 8 ore	10 mg/m <sup>3</sup>	1 gennaio 2005

TABELLA 4: D.Lgs. 155/2010, valori limite per il monossido di carbonio.

### ESAME DEI DATI

I dati relativi al 2023 evidenziano concentrazioni medie annuali comprese fra 0,3 e 0,5 mg/m<sup>3</sup>.

Viene confermato il rispetto del limite di protezione della salute umana di 10 mg/m<sup>3</sup>, calcolato come media mobile trascinata su otto ore (D.Lgs. 155/2010). Il valore massimo della media calcolata su 8 ore è di 3,0 mg/m<sup>3</sup> e si attesta ben al di sotto del valore limite.

A partire dai primi anni '80 fino al 2008 le misurazioni di CO evidenziano concentrazioni medie nella stazione di To-Rebaudengo, che rappresenta un hot spot di traffico, in nettissimo calo (FIGURA 3). Questa riduzione è dovuta allo sviluppo della tecnologia dei motori per autotrazione ad accensione comandata e all'introduzione del trattamento dei gas esausti tramite i convertitori catalitici.

Negli ultimi 10 anni (TABELLA 5) le concentrazioni medie annuali misurate nella stazione di To-Rebaudengo, stazione che normalmente presenta i valori più elevati, sono sostanzialmente stabili e si attestano su valori compresi fra 0,4 e 1,5 mg/m<sup>3</sup>. Negli ultimi tre anni le concentrazioni sono ulteriormente diminuite fino a raggiungere il valore di 0,4 mg/m<sup>3</sup> nel 2023. Non si sono registrati negli ultimi 10 anni superamenti del valore limite per la protezione della salute umana.

<sup>1</sup> Valore limite: livello fissato in base alle conoscenze scientifiche, incluse quelle relative alle migliori tecnologie disponibili, al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi per la salute umana o per l'ambiente nel suo complesso, che deve essere raggiunto entro un termine prestabilito e che non deve essere successivamente superato (D.Lgs 13 agosto 2010, n. 155 - Art.2, comma 1, lett. h)

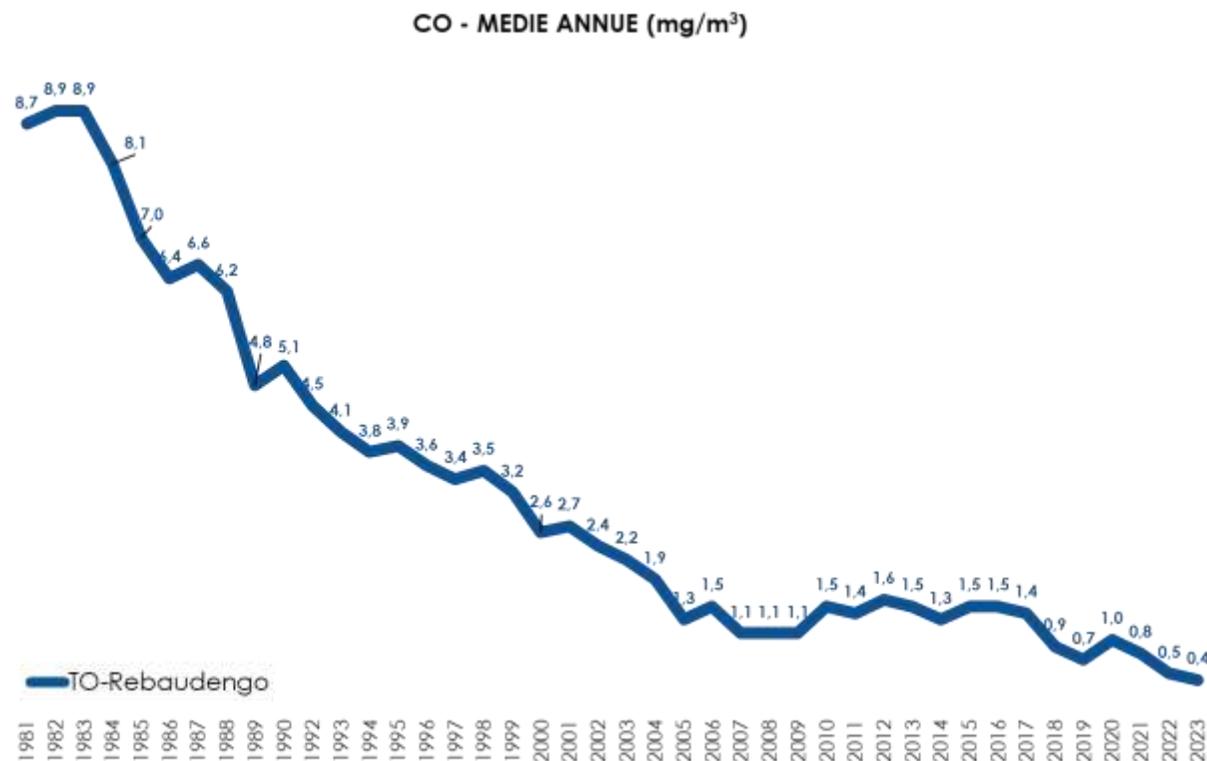


FIGURA 3: parametro CO, concentrazioni medie annuali rilevate presso la stazione di To-Rebaudengo dal 1981 al 2023.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2023 (% dati validi)	Media Annuale mg/m³										Valore limite Numero di giorni con la media massima calcolata su 8 ore superiore a 10 mg/m³								Valore massimo delle medie calcolate su 8 ore mg/m³												
		'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	
Baldissero	93%	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4*	0,3	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0	0	1	1,2	1,1	1,1	1,0	1,2	0,9	1,2*	1,2	1,1
Leinì	97%	0,6	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1	2	1,9	1,7	1,6	2,1	1,6	1,6	1,7	1,6
Oulx	93%	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8	1,8	1,5	2,3	1,5	1,8*	1,3	1,6	0,8	1,1
To-Consolata	86%	1,2	1,5	1,2	1,1	0,7	0,5*	0,8	0,7	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0*	0	0	0	0	0	3,4	3,8	3,3	4,5	2,9	2,8*	2,9	3,4	3	2,7
To-Rebaudengo	95%	1,3	1,5	1,5	1,4	0,9	0,7	1,0	0,8	0,5	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,2	3,1	3,6	4,0	2,4	2,1	2,5	2,7	2,2	2,9

(\*) Rendimento strumentale inferiore all'85%

TABELLA 5: dati relativi alle stazioni di monitoraggio del monossido di carbonio.

## BIOSSIDO D'AZOTO

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

A. Bertello, Città metropolitana di Torino.

### DESCRIZIONE

Gli ossidi di azoto (N<sub>2</sub>O, NO, NO<sub>2</sub> ed altri) sono generati in tutti i processi di combustione (veicoli, centrali termiche, riscaldamento domestico...) quando viene utilizzata aria come comburente (in relazione alla reazione tra ossigeno e azoto ad alta temperatura) e quando i combustibili contengono azoto come nel caso delle biomasse.

Il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) è da ritenersi fra gli inquinanti atmosferici maggiormente pericolosi, sia perché è per sua natura irritante, sia perché dà inizio, in presenza di forte irraggiamento solare, ad una serie di reazioni fotochimiche che portano alla formazione di sostanze inquinanti (ad esempio l'ozono), complessivamente indicate con il termine di "smog fotochimico".

Un contributo fondamentale all'inquinamento da biossido di azoto e derivati fotochimici è dovuto ai fumi di scarico dei veicoli.

Il biossido di azoto è un gas tossico, irritante per le mucose, ed è responsabile di specifiche patologie a carico dell'apparato respiratorio con diminuzioni delle difese polmonari (bronchiti, allergie, irritazioni). Recenti studi effettuati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità hanno associato eventi quali mortalità, ricoveri ospedalieri e sintomi respiratori, con l'esposizione a breve e lungo termine al biossido di azoto in concentrazioni pari o al di sotto degli attuali valori limite UE.

Gli ossidi di azoto contribuiscono alla formazione delle piogge acide e favoriscono l'accumulo di nitrati nel suolo che possono provocare alterazione di equilibri ecologici ambientali.

I valori limite, il livello critico e la soglia di allarme definiti dalla normativa vigente per NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> sono riportati nella TABELLA 6.

VALORE LIMITE		
Periodo di mediazione	(293 °K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore limite
1 ora	200 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> da non superare più di 18 volte per anno civile	1 gennaio 2010
Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub>	1 gennaio 2010
LIVELLO CRITICO <sup>2</sup>		
Periodo di mediazione	(293 °K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del livello critico
Anno civile	30 µg/m <sup>3</sup> NO <sub>x</sub>	19 luglio 2001
SOGLIA DI ALLARME <sup>3</sup>		
400 µg/m <sup>3</sup> (293 °K e 101,3 kPa) misurati su tre ore consecutive in località rappresentative della qualità dell'aria su almeno 100 km <sup>2</sup> oppure una zona o un agglomerato completi, se tale zona o agglomerati sono meno estesi.		

TABELLA 6: D.Lgs. 13 agosto 2010, n. 155, valori limite per gli ossidi di azoto.

### ESAME DEI DATI

I dati misurati nel corso del 2023 mostrano che il valore limite annuale per la protezione della salute è stato superato in 1 stazione su 19. La stazione che non rispetta il limite annuale è collocata nell'area urbana torinese in un sito di traffico. Questo dato è particolarmente positivo perché indica che le situazioni di superamento del valore limite sono sempre più limitate sul territorio a siti del capoluogo posti ai margini di strade con intenso traffico veicolare. Relativamente alla verifica del rispetto del valore limite orario, i risultati dei monitoraggi evidenziano invece che tale limite è stato rispettato in tutte le stazioni operative sul territorio metropolitano.

La FIGURA 4 presenta l'andamento storico delle concentrazioni a Torino nel periodo 1991-2023, sono riportate le medie annuali misurate in due stazioni del capoluogo, To-Lingotto, stazione di fondo urbano, e To-Rebaudengo, caratterizzata da intenso traffico veicolare. Si rileva sul lungo periodo una generale tendenza alla diminuzione della concentrazione di NO<sub>2</sub> che però sembrava aver rallentato nel corso degli anni fra il 2010 e il 2017 con concentrazioni medie annue che oscillano intorno al valore di 70 µg/m<sup>3</sup> nella stazione di traffico di To- Rebaudengo e in prossimità del valore

<sup>2</sup> Livello critico: livello fissato in base alle conoscenze scientifiche, oltre il quale possono sussistere effetti negativi diretti su recettori quali gli alberi, le altre piante o gli ecosistemi naturali, esclusi gli esseri umani (D.Lgs 13 agosto 2010, n. 155 - Art.2, comma 1, lett. i);

<sup>3</sup> Soglia di allarme: livello oltre il quale sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per la popolazione nel suo complesso ed il cui raggiungimento impone di adottare provvedimenti immediati (D.Lgs 13 agosto 2010, n. 155 - Art.2, comma 1, lett. n);

limite ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nella stazione di fondo di To-Lingotto. Gli anni 2018-2019-2020 presentavano invece un significativo miglioramento sia nella stazione di traffico sia, anche se in misura minore, nella stazione di fondo rispetto al decennio precedente. Occorre ricordare che il netto miglioramento osservato nel 2020 era stato favorito dalla forte riduzione delle emissioni dovuta alle misure legate alla pandemia Covid 19. Gli ultimi 3 anni, vedono consolidarsi in modo diffuso e sistematico questo risultato.

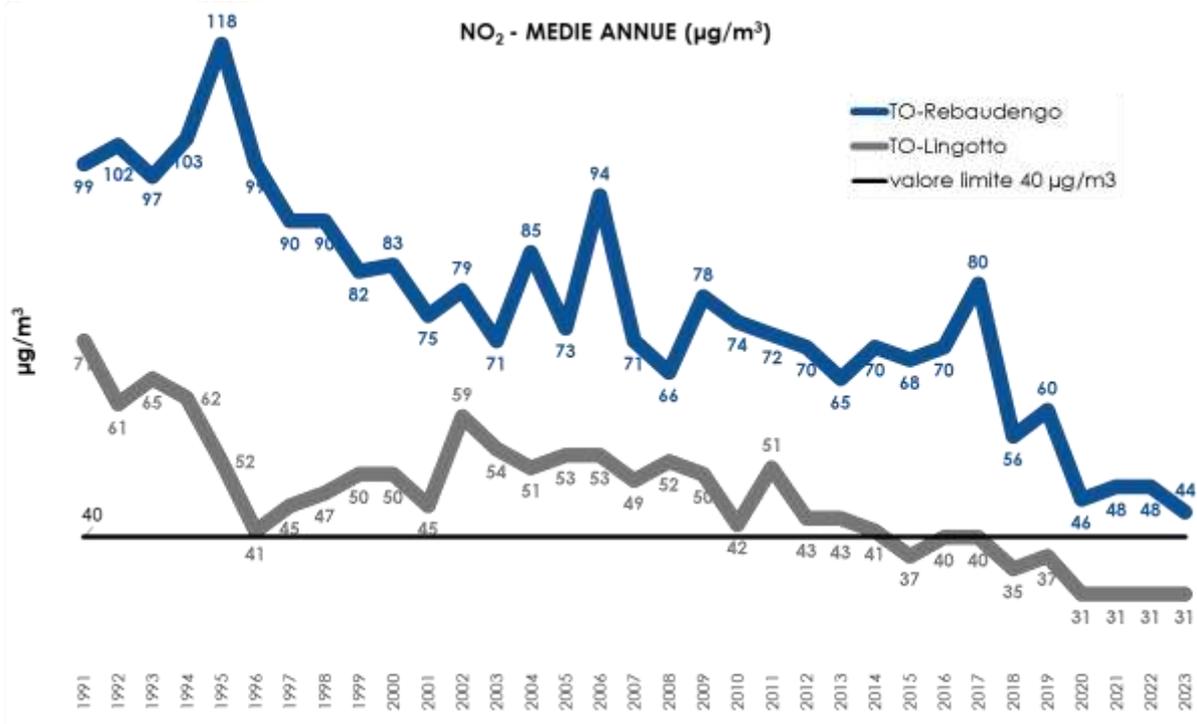


FIGURA 4: parametro NO<sub>2</sub>, andamento storico delle medie annuali, stazioni di To-Lingotto e To-Rebaudengo.

In FIGURA 5 ed in FIGURA 6 si riporta, sotto forma di grafico Box-plot, la distribuzione dei valori medi annuali misurati nelle stazioni di monitoraggio della città metropolitana di Torino suddivise fra fondo e traffico. Si osserva il consolidato, dal 2018, rispetto del limite in tutte le stazioni di fondo e le residue criticità precedentemente descritte tipiche delle stazioni di traffico.

Nella FIGURA 7 e nella FIGURA 8 sono rappresentate le serie temporali delle concentrazioni medie di NO<sub>2</sub> misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre nelle stazioni di traffico e di fondo dell'agglomerato di Torino, area più critica del territorio metropolitano. Per poter permettere una migliore leggibilità dei grafici sono state rappresentate le medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere.

Si evidenzia il tipico andamento stagionale e la differenza particolarmente evidente fra le concentrazioni misurate nei siti di traffico e quelle misurate nei siti di fondo.

Relativamente ai dati del 2023 per quanto riguarda le stazioni di traffico, si evidenzia la riduzione delle concentrazioni su tutto il periodo annuale rispetto alla media del periodo storico 2013-2022, è possibile osservare inoltre, nei primi 7 mesi dell'anno, un miglioramento rispetto al 2022. Tale comportamento è proporzionalmente osservato anche nelle stazioni di fondo. Sia per le stazioni di traffico che per quelle di fondo le concentrazioni misurate nel 2023 si attestano sui livelli inferiori della fascia di variabilità Min-Max del periodo di riferimento 2013-2022.

Gli andamenti osservati evidenziano l'efficacia delle misure adottate per limitare le emissioni di NO<sub>2</sub> dal traffico veicolare ed in particolare dei veicoli Diesel.

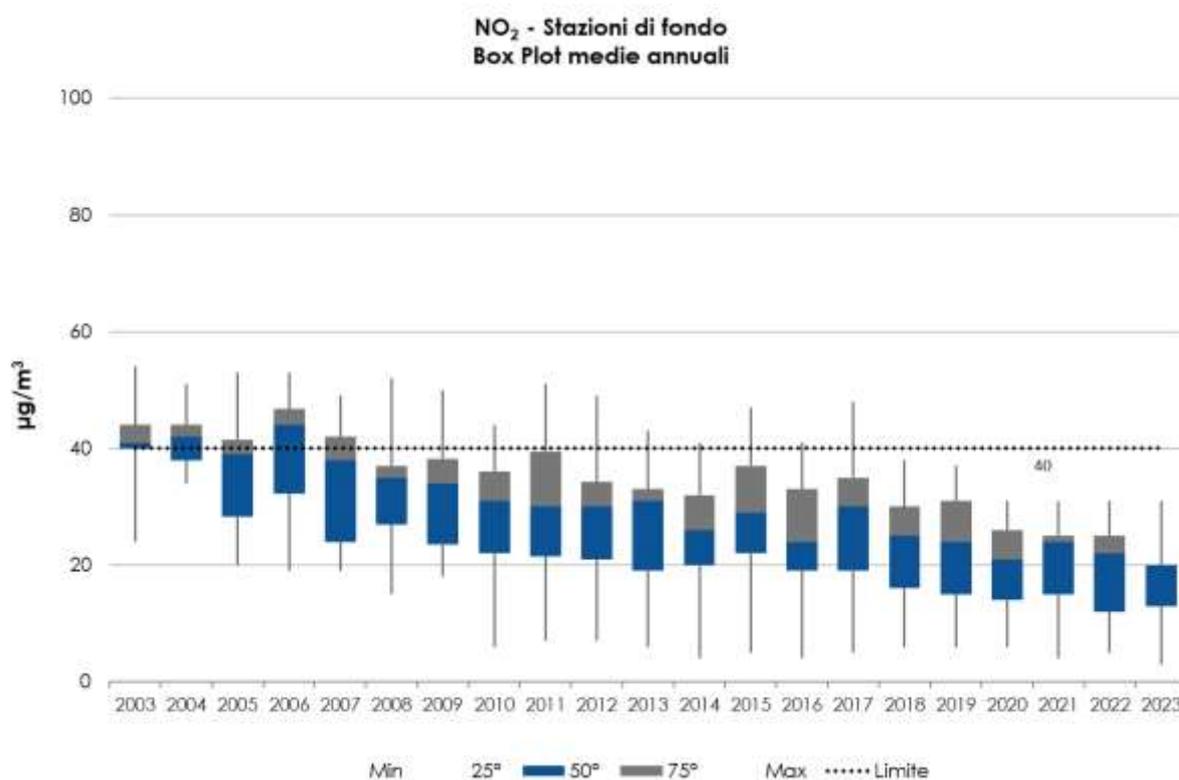


FIGURA 5: parametro NO<sub>2</sub> - distribuzione medie annuali rilevate nelle stazioni di rilevamento di fondo e di traffico.

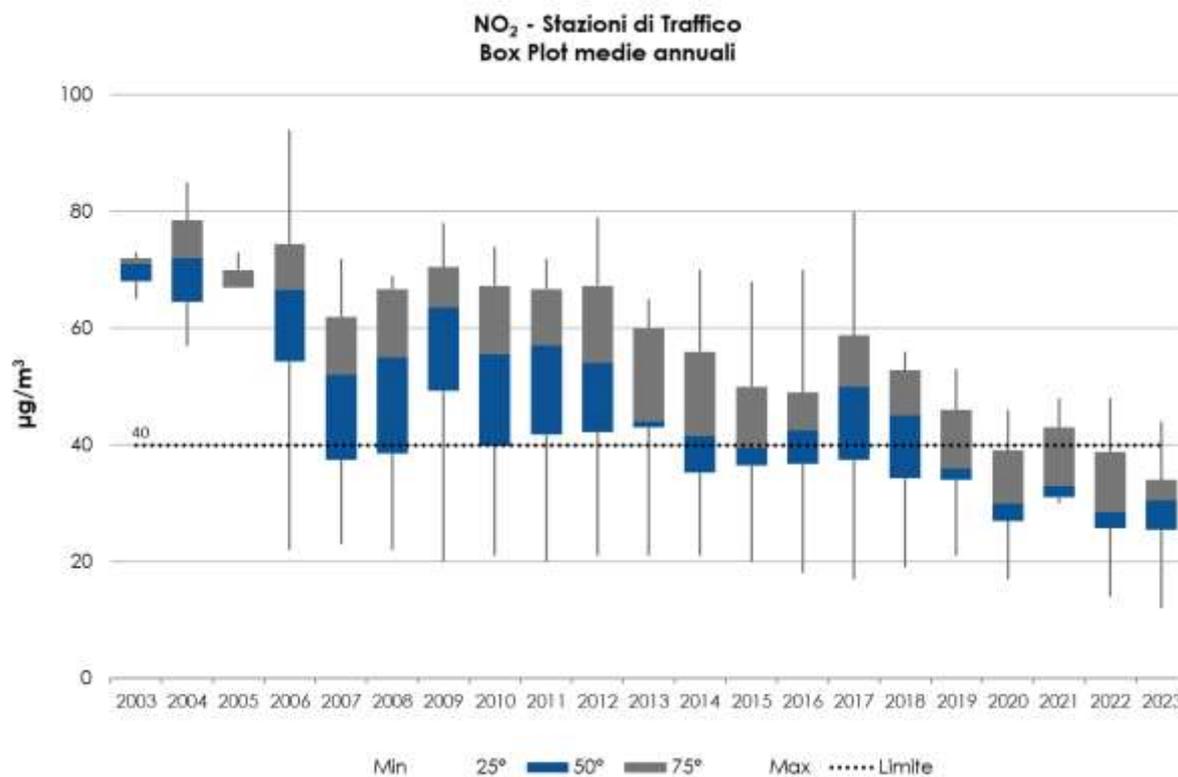


FIGURA 6: parametro NO<sub>2</sub> - distribuzione medie annuali rilevate nelle stazioni di rilevamento di fondo e di traffico.

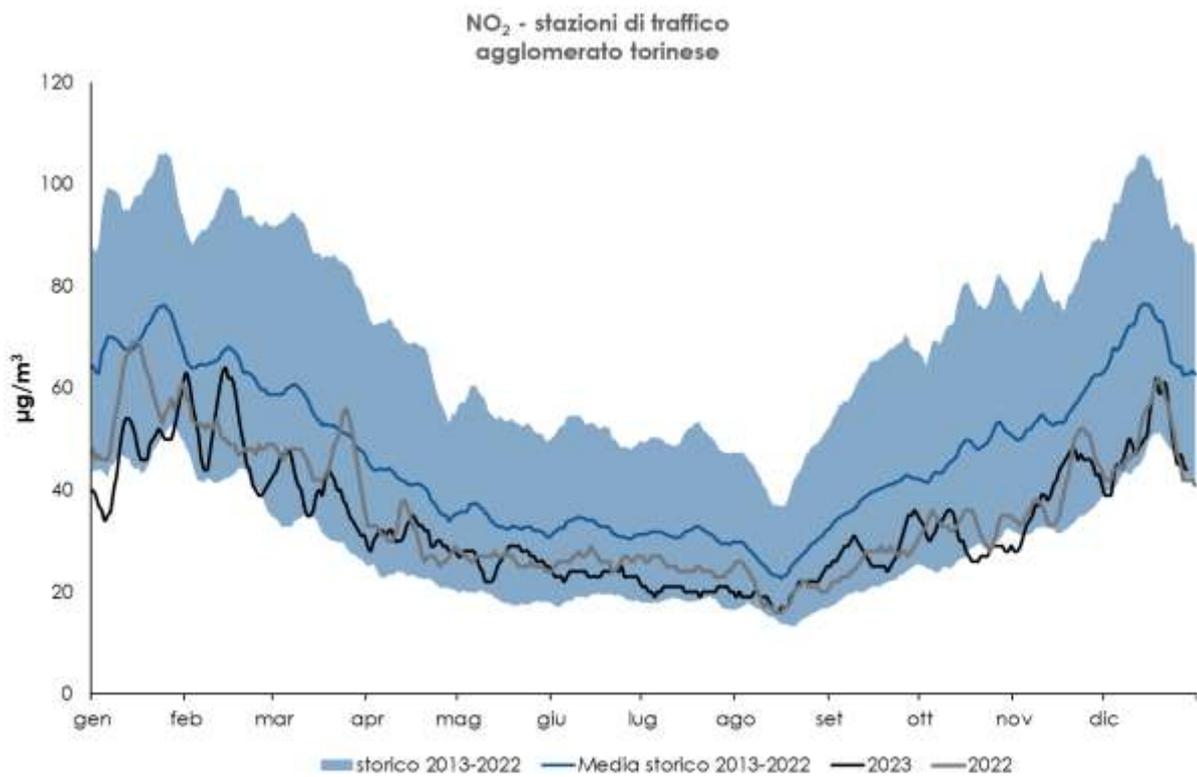


FIGURA 7: parametro NO<sub>2</sub> stazioni di traffico - serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 e del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

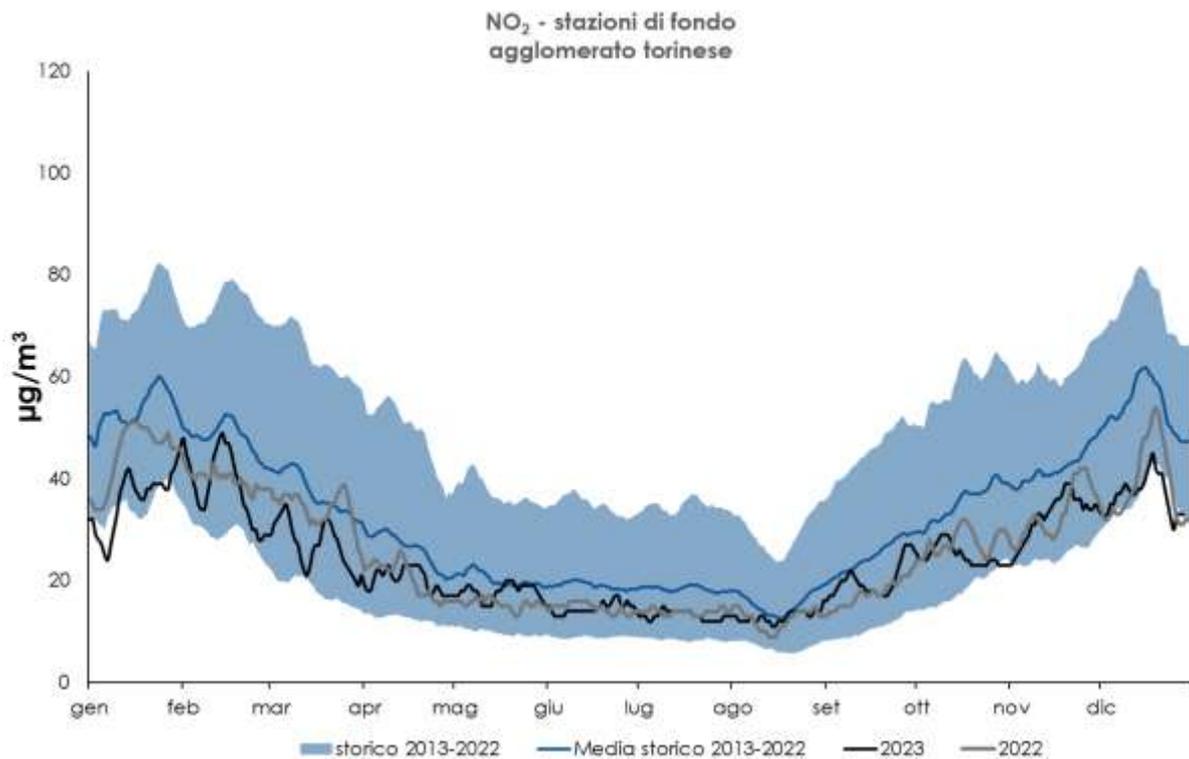


FIGURA 8: parametro NO<sub>2</sub> stazioni di fondo - serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 e del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2023 (% dati validi)	Valore limite annuale per la protezione della salute umana (40 µg/m3)										Valore limite orario per la protezione della salute									
		Media Annuale (µg/m3)										Numero di superamenti del valore di 200 µg/m3 come media oraria									
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Baldissero	86%	14	14	12	15	11	15	11	10	10*	13*	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0*
Beinasco TRM	98%	38	47	41	48	38	31	26	27	27	20	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Borgaro	97%	26	29	30	30	30	25	23	24	22	20	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Carmagnola	99%	36	38	39	42	38	34	30	31	29	30	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Ceresole reale	89%	4	5	4	5	6	6	6	4	5*	3*	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0
Chieri	96%	23	25	19	23	20	21	14	17	18	20	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Collegno	85%	47	36	46	58	53	46	30	33	25	31	0	0	4	6	0	0	3	0	0	0
Druento	81%	14	16	11	12	12	11	11	9	9	9*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0*
Ivrea	89%	24	26	23	25	22	24	22	22	24	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leinì	95%	31	31	24	32	25	23	21	24	22	19	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Orbassano	96%	32	35	32	34	30	31	29	29	25	23	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Oulx	99%	21	20	18	17	19	21	17	13*	14	12	0	0	0	0	0	0	0	0*	0	0
Settimo	99%	35	41	36	36	33	36	26	30	28	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Susa	99%	20	22	20	19	16	15	14	15	12	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
To-Consolata	98%	59	53	50	59	52	53	42	43	42	35	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
To-Lingotto	96%	41	37	40	40	35	37	31	31	31*	31	0	0	5	0	0	0	0	0	0*	0
To-Rebaudengo	99%	70	68	70	80	56	60*	46	48	48	44	0	21	28	25	1	11*	0	4	2	0
To-Rubino	98%	39	44	35	37	31	33	26	25	28	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vinovo	99%	30	43	33	35	26	28	21	25	24	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(\*) Rendimento strumentale inferiore all'85%

TABELLA 7: dati relativi alle stazioni di monitoraggio che rilevano il biossido di azoto.

## BIOSSIDO DI ZOLFO

*Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:*

**A. Bertello, Città metropolitana di Torino.**

### DESCRIZIONE

Il biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) è il naturale prodotto di ossidazione dello zolfo e dei composti che lo contengono allo stato ridotto. È un gas incolore, di odore pungente ed è molto irritante per gli occhi, la gola e le vie respiratorie; per inalazione può causare edema polmonare ed una prolungata esposizione può portare alla morte.

La principale fonte di inquinamento è costituita dall'utilizzo di combustibili fossili (carbone e derivati del petrolio) in cui lo zolfo è presente come impurezza. Viene inoltre emesso in atmosfera durante le eruzioni vulcaniche e quando raggiunge la stratosfera si trasforma in acido solforico.

L'acido solforico contribuisce all'acidificazione delle precipitazioni con effetti fitotossici sui vegetali e corrosivi sui materiali da costruzione.

La concentrazione di biossido di zolfo presenta valori massimi nella stagione invernale in concomitanza con le peggiori condizioni dispersive (es.: fenomeni di inversione termica) ed il funzionamento degli impianti termici industriali e domestici.

Tuttavia, a partire dal 1980, le emissioni antropiche (produzione di energia e traffico) sono notevolmente diminuite grazie al crescente utilizzo del metano e alla diminuzione del tenore di zolfo contenuto nel gasolio ed in altri combustibili liquidi.

I valori limite, il livello critico e la soglia di allarme definiti dalla normativa vigente sono riportati in TABELLA 8.

VALORE LIMITE		
Periodo di mediazione	(293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore limite
1 ora	350 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 24 volte per anno civile	1 gennaio 2005
24 ore	125 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 3 volte per anno civile	1 gennaio 2005
LIVELLO CRITICO		
Periodo di mediazione	(293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del livello critico
anno civile e inverno (1° ottobre – 31 marzo)	20 µg/m <sup>3</sup>	19 luglio 2001
SOGLIA DI ALLARME		
500 µg/m <sup>3</sup> (293°K e 101,3 kPa) misurati su tre ore consecutive in località rappresentative della qualità dell'aria su almeno 100 km <sup>2</sup> oppure una zona o un agglomerato completi, se tale zona o agglomerati sono meno estesi		

TABELLA 8: D.Lgs. 155/2010, valori limite per il biossido di zolfo.

### ESAME DEI DATI

I due siti oggetto di monitoraggio (To-Consolata e To-Rebaudengo) presentano valori che rispettano ampiamente i limiti previsti dalla normativa.

Sia i massimi valori orari che le medie giornaliere sono notevolmente inferiori rispetto ai limiti stabiliti sulle rispettive basi temporali.

Il livello critico per la protezione degli ecosistemi, 20 µg/m<sup>3</sup> calcolato come valore medio nei mesi freddi dell'anno, è ampiamente rispettato anche nelle stazioni che sono posizionate in siti di traffico urbano.

Si può affermare che il parametro SO<sub>2</sub> non rappresenti più una criticità per il territorio della città metropolitana di Torino, è in ogni caso opportuno mantenere attivo il monitoraggio per controllare il mantenimento dei risultati raggiunti.

Occorre inoltre considerare che le emissioni di ossidi di zolfo contribuiscono alla formazione di particolato, attraverso il processo secondario di trasformazione del biossido di zolfo in solfati. Tali composti nel territorio metropolitano costituiscono in media tra il 5 e il 10% della massa totale di PM10. Per tale ragione occorre continuare a garantire un adeguato monitoraggio delle concentrazioni di SO<sub>2</sub> e mantenere in vigore le misure che ne hanno ridotto la presenza in atmosfera.

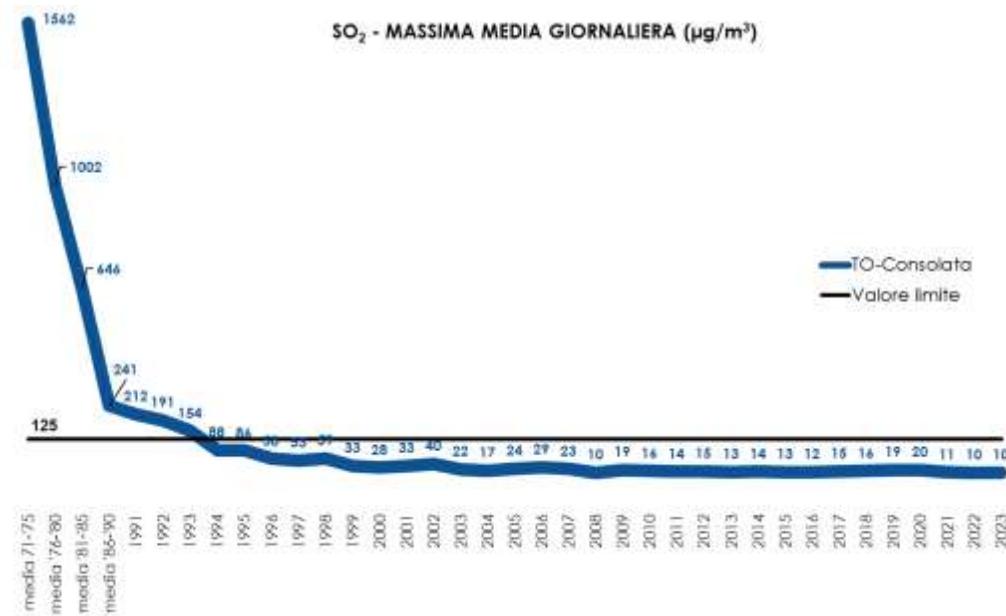


FIGURA 9: parametro SO<sub>2</sub>, massima media giornaliera su base annuale rilevata nella stazione di To-Consolata.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2023 (% dati validi)	Media Annuale µg/m <sup>3</sup>												Valore limite orario per la protezione della salute umana 350 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 24 volte nell'anno civile Numero di superamenti												Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana 125 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 3 volte nell'anno civile Numero di superamenti											
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23						
To-Consolata	<b>71%</b>	7	7	6	7	7	7	7	5	4	<b>6*</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0*</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0*</b>					
To-Rebaudengo	<b>85%</b>	7	6	7	8	11	11	8	5	5	<b>4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>					
STAZIONE	Rendimento Strumentale 2023 (% dati validi)	Valore limite per la protezione degli ecosistemi 20 µg/m <sup>3</sup> Media calcolata sul periodo di riferimento 1 gen - 31 mar e 1 ott - 31 dic												Soglia di allarme 500 µg/m <sup>3</sup> Numero di superamenti												Massimo orario µg/m <sup>3</sup>											
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23						
To-Consolata	<b>71%</b>	9	7	7	9	9	9	9	6	4	<b>6*</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0*</b>	19	19	19	21	23	26	27	17	16	<b>14*</b>					
To-Rebaudengo	<b>85%</b>	9	5	8	10	13	12	9	6	5	<b>4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	24	17	25	39	21	21	22	29	31	<b>10</b>					

(\*) Rendimento strumentale inferiore all'85%

TABELLA 9: dati delle stazioni di monitoraggio che rilevano il biossido di zolfo.

## OZONO

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

Elisa Calderaro, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.

### DESCRIZIONE

L'ozono è un gas altamente reattivo dotato di un elevato potere ossidante, di odore pungente e ad elevate concentrazioni di colore blu.

Negli strati alti dell'atmosfera terrestre (stratosfera) è di origine naturale e aiuta a proteggere la vita sulla Terra, creando uno scudo che filtra i raggi ultravioletti del Sole. L'ozono presente nella troposfera (lo strato atmosferico compreso fra il livello del mare e i 10 km di quota), ed in particolare nelle immediate vicinanze della superficie terrestre, è invece un componente dello "smog fotochimico" che si origina soprattutto nei mesi estivi in concomitanza di intenso irraggiamento solare e di temperature elevate. È un inquinante sostanzialmente ubiquitario e, a differenza di quanto avviene per gli inquinanti di tipo primario, situazioni critiche possono riscontrarsi anche in zone rurali distanti dai grossi centri urbani, in zone collinari e montane.

VALORE OBIETTIVO PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA		
Periodo di mediazione	Valore obiettivo (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore obiettivo
Media massima giornaliera su 8 ore (a)	120 µg/m <sup>3</sup> da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni (b)	Il raggiungimento del valore obiettivo è valutato nel 2013, con riferimento al triennio 2010-2012.
VALORE OBIETTIVO PER LA PROTEZIONE DELLA VEGETAZIONE		
Periodo di mediazione	Valore obiettivo (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore obiettivo
AOT 40(c), calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	18000 µg/m <sup>3</sup> ·h come media su 5 anni (b)	Il raggiungimento del valore obiettivo è valutato nel 2015, con riferimento al triennio 2010-2014.
OBIETTIVO A LUNGO TERMINE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA		
Periodo di mediazione	Valore obiettivo (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore obiettivo
Media massima giornaliera su 8 ore (a)	120 µg/m <sup>3</sup> per anno civile	Non definita
OBIETTIVO A LUNGO TERMINE PER LA PROTEZIONE DELLA VEGETAZIONE		
Periodo di mediazione	Valore obiettivo (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore obiettivo
AOT 40(c), calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	6000 µg/m <sup>3</sup> ·h	Non definita
SOGLIA DI INFORMAZIONE		
Periodo di mediazione	Valore soglia (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore soglia
1 ora	180 µg/m <sup>3</sup>	9 marzo 2002
SOGLIA DI ALLARME		
Periodo di mediazione	Valore soglia (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore soglia
1 ora (d)	240 µg/m <sup>3</sup>	9 marzo 2002

(a) La massima concentrazione media giornaliera su 8 ore sarà determinata analizzando le medie consecutive su 8 ore, calcolate in base a dati orari e aggiornate ogni ora. Ogni media su 8 ore così calcolata sarà assegnata al giorno nel quale finisce; in pratica la prima fascia di calcolo per ogni singolo giorno sarà quella compresa fra le ore 17:00 del giorno precedente e le ore 01:00 del giorno stesso; l'ultima fascia di calcolo per ogni giorno sarà quella compresa tra le ore 16:00 e le ore 24:00 del giorno stesso.

(b) Se non è possibile calcolare la media su 3 o 5 anni in base ad una serie intera e consecutiva di dati annui, la valutazione della conformità ai valori obiettivo si può riferire, come minimo, ai dati relativi a:

per il valore obiettivo per la protezione della salute umana: dati validi relativi ad un anno

per il valore obiettivo per la protezione della vegetazione: dati relativi a tre anni

(c) Per AOT40 (espresso in µg/m<sup>3</sup>·h) s'intende la somma della differenza fra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m<sup>3</sup> (=40 ppb) e 80 µg/m<sup>3</sup> in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari medi rilevati ogni giorno tra le 08:00 e 20:00, ora dell'Europa centrale.

(d) Per l'attuazione dei piani di azione a breve termine, previsti all'art. 10 comma 1 del D.Lgs 155/2010, il superamento della soglia deve essere misurato o previsto per tre ore consecutive.

TABELLA 10: D. Lgs. 13/08/10 n. 155 – ozono - valori obiettivo, obiettivo a lungo termine, e soglie di informazione ed allarme.

Concentrazioni relativamente basse di ozono provocano effetti quali irritazioni alla gola, alle vie respiratorie e bruciore agli occhi; concentrazioni superiori possono portare alterazioni delle funzioni respiratorie. L'ozono è responsabile anche di danni alla vegetazione, determinando una riduzione della fotosintesi e conseguenti ripercussioni sulla crescita dei vegetali.

In TABELLA 10 sono riportati i valori obiettivo e le soglie di informazione e di allarme attualmente in vigore. Le soglie di informazione e di allarme indicano il livello oltre il quale sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata da parte dei gruppi più sensibili della popolazione (informazione) e di tutta la popolazione (allarme). I valori obiettivo, invece, definiscono i livelli di concentrazione da non superare al fine di evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi sulla salute umana e sull'ambiente. Gli obiettivi a lungo termine stabiliscono il livello da raggiungere nel lungo periodo mediante misure proporzionate, per assicurare un'efficace protezione della salute umana e dell'ambiente.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nell'ultimo aggiornamento delle linee guida sulla qualità dell'aria<sup>4</sup> ha confermato per l'ozono il valore guida di 100 µg/m<sup>3</sup>, come media massima su 8 ore e ha introdotto un nuovo limite che nel periodo estivo non deve superare la media giornaliera di 60 µg/m<sup>3</sup>. Le linee guida OMS non sono vincolanti legalmente, ma si spera siano destinate a pesare sugli orientamenti di governi e autorità portando ad un adeguamento della normativa comunitaria e nazionale. L'OMS non ha ritenuto di raccomandare un valore limite annuale per l'ozono, nonostante alcune evidenze sperimentali dimostrino che anche l'esposizione a lungo termine può avere effetti cronici sulla salute.

## ESAME DEI DATI

L'ozono, insieme al PM10 e al biossido di azoto, è uno degli inquinanti di maggiore rilevanza in Europa, con un gradiente che aumenta da nord a sud del continente e le cui concentrazioni più elevate si registrano nelle stazioni di monitoraggio dell'area mediterranea. In contrasto con gli altri parametri, le concentrazioni di ozono sono generalmente maggiori d'estate e nelle località rurali, minori d'inverno e nelle stazioni urbane, soprattutto di traffico<sup>5</sup>. Ciò dipende principalmente dalle modalità di formazione dell'ozono, influenzata positivamente da alcune variabili meteorologiche, quali elevata radiazione solare e alte temperature, e dalla concentrazione dei precursori di origine antropica (es. benzene e toluene) o naturale (terpeni, alcani, alcheni etc.). Nelle stazioni di traffico il processo dominante è invece rappresentato dall'interazione tra ozono e ossidi di azoto; in particolare la reazione tra NO e ozono con formazione di NO<sub>2</sub> – la cosiddetta "NO<sub>x</sub> titration" – contribuisce a diminuire la concentrazione di ozono nei siti urbani influenzati dal traffico veicolare.

Il rapporto dell'EEA (European Environmental Agency - Agenzia Europea dell'Ambiente), uscito nel 2024<sup>6</sup>, riconosce che 16 stati membri dell'UE su 27 presentano nel 2023 concentrazioni giornaliere di ozono mediate su 8 ore superiori al valore obiettivo di 120 µg/m<sup>3</sup> (da non superare più di 25 volte in un anno civile come media su 3 anni). L'Italia, che possiede il maggior numero di stazioni di misura sul proprio territorio, si trova nella parte alta della classifica, tra Grecia e Slovenia, con frequenti violazioni del limite normativo dei 25 superamenti annui consentiti. In particolare, come si osserva dalla figura 19 di pagina 34 del suddetto report europeo, in Italia il 93.2 percentile (equivalente al 26esimo superamento) si colloca tra i 120 e i 140 µg/m<sup>3</sup>, e il territorio della Pianura Padana, cui la Città Metropolitana di Torino appartiene, è tra i più critici a livello italiano. Rispetto agli ultimi 4 anni di misure, però, l'ozono nel 2023 ha registrato i valori più bassi.

In TABELLA 11 sono riportati i superamenti della soglia di informazione per l'ozono - concentrazione oraria di 180 µg/m<sup>3</sup> - degli ultimi 10 anni di misure nell'area metropolitana torinese. Dall'analisi dei dati si rileva come il 2023 sia stato un anno eccezionalmente positivo per l'ozono e in controtendenza rispetto agli ultimi anni di misura. Per la maggior parte delle stazioni dell'area della Città Metropolitana di Torino nel 2023 non sono stati registrati superamenti della soglia di informazione e ci sono stati complessivamente solo 14 superamenti, valore completamente differente da quello riscontrato nel 2022 in cui erano stati registrati 424 superamenti totali e inferiore anche al 2021 (35 superamenti) e al 2020 (34 superamenti).

In nessuna stazione della Città Metropolitana di Torino nel corso del 2023 è stata superata la soglia di allarme di 240 µg/m<sup>3</sup>.

<sup>4</sup> WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide - Global update 2021

<sup>5</sup> EEA Air quality in Europe – 2017 report, 38-40

<sup>6</sup> EEA Status report of air quality in Europe for year 2023, using validated data (ETC-HE Report 2024/5), 31-40

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2023 (% dati validi)	Soglia di informazione 180 µg/m <sup>3</sup> come media oraria Numero di superamenti									
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Baldissero	96%	14	26	1	3	0	3	0	0	29	0
Borgaro	93%	2	32	15	6	2	5	0*	4	20	0
Ceresole	84%	0	0	1	1	0	0	0	0	3	0*
Chieri	92%	9	0	1	4	0*	1	0	0	14	0
Druento	87%	26	69	36	46	3	17	32*	10	25	8
Ivrea	92%	1	4	0	7	0	1	2	0	6	0
Leini	94%	2	3	4	1	0	5	0	0	8	0
Orbassano	89%	7	68	39	79	9	34	1	18	125	0
Susa	96%	0	0	12	5	0	0	0	0	11	4
To-Lingotto	83%	18	8	8	7	3	18	0	1*	39	1*
To-Rubino	93%	6	3	12	6	4	29	0	2	58	1
Vinovo	95%	4	1	4	12	9	8	0	0	86	0

\* la percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal DLgs 155/2010 (85%)

TABELLA 11: ozono, confronto con le soglie di informazione come da D.Lgs. n. 155/2010.

Come più volte sottolineato nelle precedenti relazioni e ricordato a più riprese dallo stesso report europeo citato, un fattore di influenza importante per le concentrazioni annuali e stagionali di ozono è rappresentato dalla meteorologia, spesso in grado di spiegare molta se non tutta la variabilità inter-annuale delle concentrazioni di ozono.

La controtendenza registrata nel corso del 2023 relativamente alle concentrazioni di ozono potrebbe essere dovuta al fatto che i mesi primaverili ed estivi sono stati interessati da intense precipitazioni. Infatti, come si evince dai documenti di Arpa Piemonte sull'andamento meteo-climatico del 2023<sup>7</sup>, nella primavera 2023 in Piemonte le precipitazioni sono state superiori alla media degli anni 1991-2020, con 329,3 mm medi e un surplus di 34,6 mm (pari al 12%). È stata la 28° primavera più piovosa dal 1958 e ha interrotto una sequenza di 8 stagioni consecutive, dalla primavera 2021 all'inverno 2023, con deficit precipitativo rispetto alla climatologia. Anche nell'estate 2023 le precipitazioni sono state superiori alla media degli anni 1991-2020, con 273,1 mm medi ed un surplus precipitativo di 36 mm (pari al 15% circa).

Relativamente alle temperature, pur risultando la temperatura media annuale superiore di 1,3 °C rispetto al periodo climatico di riferimento (il trentennio 1991-2020), il 2023 è stato meno caldo del 2022, in particolare è risultato essere il secondo anno più caldo dopo il 2022 nella distribuzione storica compresa tra il 1958 e il 2023. Nei mesi di aprile e maggio è stata registrata un'anomalia termica negativa (unici due mesi ad avere avuto una temperatura leggermente inferiore alla norma degli anni 1991-2020). Lo scostamento termico positivo è stato marcato soprattutto nell'ultimo quadrimestre dell'anno, a settembre, ottobre e dicembre, ossia in mesi in cui l'ozono non presenta particolari criticità.

Come si evince dal grafico di FIGURA 10, presso la stazione meteorologica di Torino Consolata, il quantitativo di pioggia caduto nel periodo aprile-settembre 2023 è maggiore rispetto ai valori misurati dal 2012 e la temperatura media è inferiore a quella registrata nel 2022.

In TABELLA 12 sono riportate le elaborazioni necessarie per la verifica del conseguimento del valore obiettivo per la protezione della salute umana. Dalle elaborazioni è risultato che tale valore è stato rispettato nel 2023 solo per le stazioni di Borgaro, Ceresole, Ivrea e Vinovo.

<sup>7</sup>ARPA PIEMONTE Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali: Il Clima in Piemonte 2023, Il Clima in Piemonte Primavera 2023, Il Clima in Piemonte Estate 2023

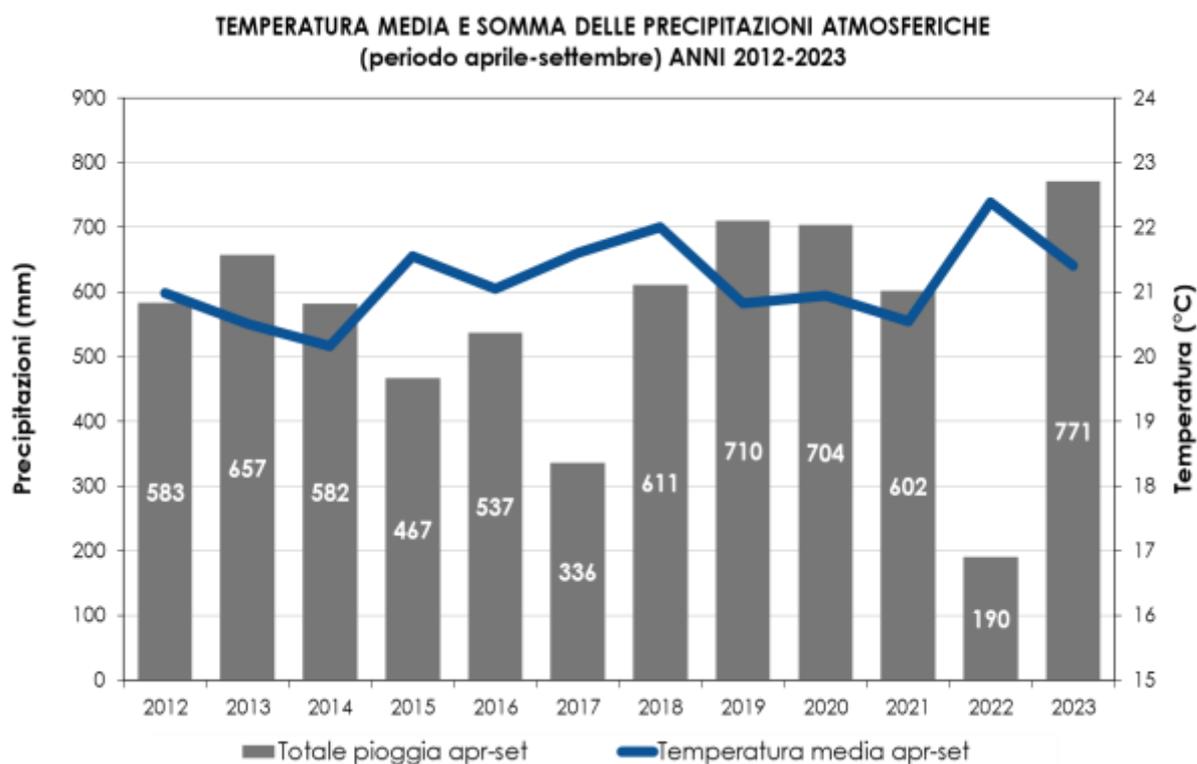


FIGURA 10: temperatura media e somma delle precipitazioni atmosferiche, nel periodo aprile-settembre, anni 2012-2023, stazione di To-Consolata.

STAZIONE	Valore obiettivo per la protezione della salute umana Numero di giorni con la media massima, calcolata su 8 ore, superiore a 120 µg/m <sup>3</sup>										MEDIA 2021-2023 (1)
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Baldissero	51	62	60	72	61	67	46	70	108	54	77
Borgaro	10	71	51	40	39	31	34*	63	78	14	52
Ceresole	26	57	40	38	10	24	21	21	74	7*	48
Chieri	41	73	52	56	58*	42	5	31	36	38	35
Druento	21	59	59	54	49	41	56*	63	64	32	53
Ivrea	19	61	24	48	44	33	37	45	62	22	43
Leini	8	39	45	34	23	40	28	46	70	26	47
Orbassano	34	74	78	83	76	59	70	83	123	33	80
Susa	5	20	46	56	31	23	22	49	65	43	52
To-Lingotto	43	57	44	38	47	61	40	72	89	33*	65
To-Rubino	18	53	52	43	47	51	53	55	99	49	68
Vinovo	13	31	42	52	64	46*	34	38	105	15	53

(1) i valori degli anni con insufficiente rendimento strumentale non sono stati considerati nel calcolo della media

\* la percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal DLgs 155/2010 (85%)

TABELLA 12: ozono, confronto con i valori bersaglio per la protezione della salute umana.

In tutte le stazioni di monitoraggio della CMT il numero di giorni di superamento del valore obiettivo per la protezione della salute umana, mediato negli ultimi tre anni di misurazioni, è superiore ai 25 consentiti. Si precisa che nel calcolo del numero medio di superamenti è stato considerato anche il dato degli anni con insufficiente rendimento strumentale, qualora i superamenti annuali fossero comunque maggiori di 25. Trattandosi di superamenti e di non valori di concentrazione, infatti, si ritiene corretto considerarli validi, ancorché parziali per il ridotto rendimento strumentale, poiché superano comunque il parametro "soglia del valore obiettivo".

Il numero dei giorni in cui è stato registrato il superamento del valore obiettivo per la salute umana è compreso tra i 35 superamenti della stazione di Chieri e gli 80 della stazione di Orbassano, con una media a livello di città Metropolitana di Torino di 56 superamenti, numero più che doppio rispetto a quelli ammessi dalla normativa e molto maggiore della media degli ultimi anni di misurazioni.

Nel grafico di FIGURA 11 sono espressi sotto forma di box plot alcuni indici statistici relativi al parametro "soglia del valore obiettivo" nella Città Metropolitana di Torino a partire dal 2004. Dall'analisi dei dati è possibile individuare una lieve diminuzione dei superamenti del valore obiettivo

nelle stazioni di fondo della CMT soprattutto nei primi anni di misurazioni (2004-2007), mentre negli ultimi 15 anni fino al 2021 gli indici statistici rimangono abbastanza costanti nel tempo, al netto delle peculiarità meteorologiche del singolo anno di misura. L'anno 2023 invece, è in evidente controtendenza rispetto al 2022, anno in cui è stata registrata una delle medie provinciali più alte degli ultimi 20 anni, nonché il valore massimo di superamenti annuali. I valori riscontrati nel 2023 sono in linea con quelli del 2014, anno in cui si è verificata una situazione meteorologica molto simile caratterizzata da cielo nuvoloso e precipitazioni persistenti in alcuni dei mesi più critici per l'accumulo di ozono troposferico.

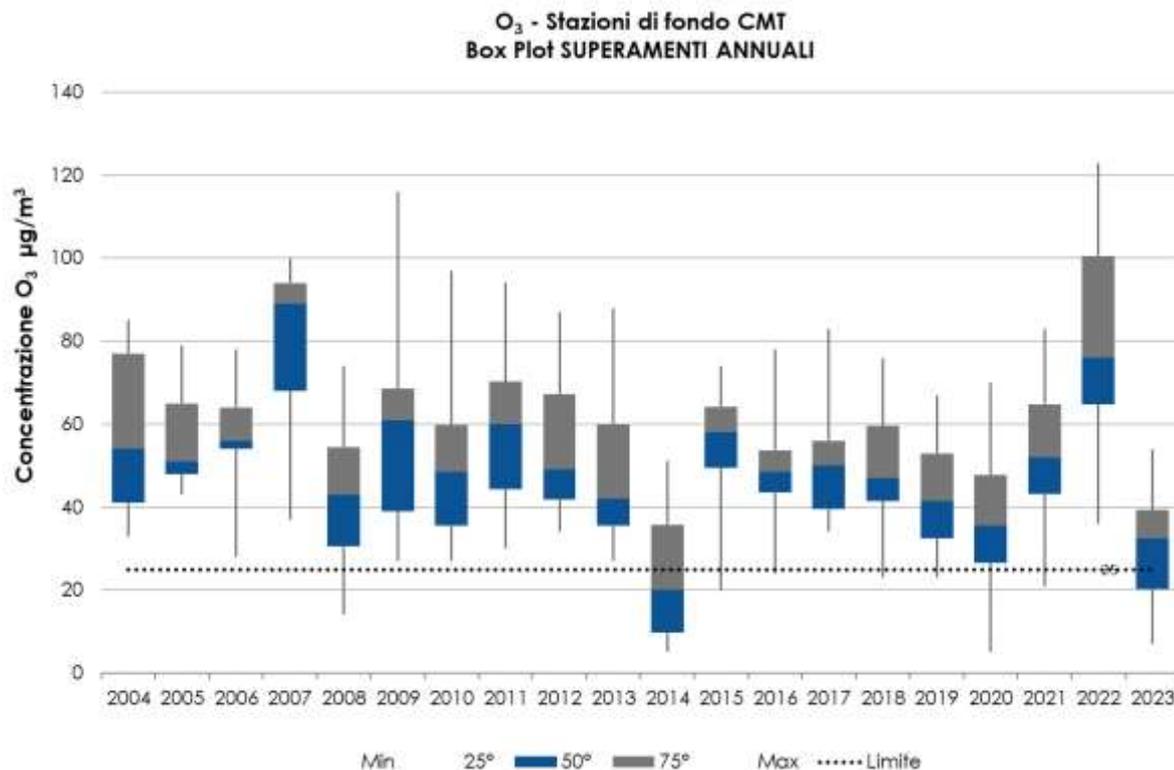


FIGURA 11: rappresentazione a "box plot" dei superamenti annuali del valore obiettivo nella CMT anni 2004-2023.

Come è noto, l'inquinamento da ozono ha effetti anche sugli ecosistemi naturali e sulla biodiversità, danneggiando la crescita e la riproduzione delle piante nei campi e nelle foreste. Le legislazioni europea ed italiana, hanno quindi stabilito un valore bersaglio per la protezione della vegetazione, l'AOT40, pari a 18.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ . Si tratta dello standard di qualità dell'aria - espresso come concentrazione oraria - che definisce un parametro legato all'esposizione accumulata all'ozono nella fascia oraria 8:00 – 20:00 da inizio maggio a fine luglio di ogni anno.

Si specifica che l'Allegato VIII del D. Lgs. 155/2010 stabilisce che le stazioni per la misura dell'ozono, per ciò che concerne la verifica del rispetto del valore obiettivo per la protezione della vegetazione, siano ubicate in siti suburbani e rurali e ne stabilisce la rappresentatività spaziale; tra le stazioni in cui viene effettuata la misura dell'ozono, in questo capitolo sono state selezionate per il calcolo dell'AOT40 quelle classificate come fondo rurale, ubicate in aree con presenza significativa di ecosistemi naturali. Si specifica tuttavia che la Regione Piemonte con la D.G.R. 41-855 del 29 dicembre 2014 ha individuato come stazione di fondo in sito rurale per la misurazione dell'ozono la sola stazione di Dernice, in Provincia di Alessandria. Le considerazioni successive relative alle stazioni di Baldissero, Ceresole e Druento hanno quindi un puro valore indicativo.

In TABELLA 13 sono riportate le elaborazioni utilizzate per verificare il rispetto del valore obiettivo per la protezione della vegetazione, che nel 2023 risulta essere stato rispettato sia nella stazione di Druento che in quella di Ceresole (centralina presso la quale il rendimento strumentale è stato dell'84%, inferiore di 1 solo punto alla percentuale di significatività stabilito dalla normativa).

La media degli ultimi cinque anni del calcolo dell'AOT40 risulta leggermente inferiore rispetto al quinquennio 2018-2022 per tutte le stazioni considerate. In ogni caso, in tutte e tre le stazioni il dato mediato negli ultimi 5 anni di misura non rispetta il valore bersaglio stabilito dalla normativa europea

ed italiana di  $18.000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$  e rimane molto superiore all'obiettivo a lungo termine di  $6.000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ , fissato dalla legislazione europea nella direttiva 2008/50/CE.

STAZIONE	DECRETO LEGISLATIVO n. 155/ del 13/08/2010										
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione										
	AOT 40 ( $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ )										
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	MEDIA 2019-2023
Baldissero	28525	36285	23327	32186	24211*	35254	22378	28382	44093	25885	30185
Druento	23341	36839	27031	33531	19952	21808	17039*	22785	26188	17905	22293
Ceresole	23159	32688	23285	25714	15148*	23358	21016	19360	34600	16549	22881

\* la percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal DLgs 155/2010 (90%)

TABELLA 13: ozono, confronto degli ultimi 5 anni con i valori bersaglio per la protezione della vegetazione.

In FIGURA 12 è riportata, per l'anno 2023, la distribuzione mensile dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per tre stazioni: To-Lingotto, rappresentativa del fondo urbano metropolitano; Baldissero Torinese e Ceresole Reale, poste più in quota e rappresentative del fondo rurale. Dal grafico è ben evidente l'influenza della temperatura e quindi della radiazione solare sulla formazione di ozono troposferico. Per tutte le stazioni, infatti, il numero di giorni di superamenti del limite di  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mediato su 8 ore segue l'andamento della temperatura media mensile registrata nella stazione di Torino-Consolata. I superamenti riscontrati a Ceresole invece sono stati più contenuti e limitati ai mesi di aprile, giugno, luglio e agosto. Da marzo a settembre del 2023 per Baldissero, Torino-Lingotto e Ceresole sono stati riscontrati rispettivamente 54, 33 e 7 superamenti del limite annuale di  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ammessi dalla normativa. Pertanto, solamente presso la stazione di Ceresole è stato rispettato il limite di 25 giorni di superamenti annui previsti dalla normativa.

**O<sub>3</sub> - Confronto temperatura e distribuzione temporale dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana (numero di giorni con la media massima, calcolata su 8 ore, superiore a  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) - anno 2023**

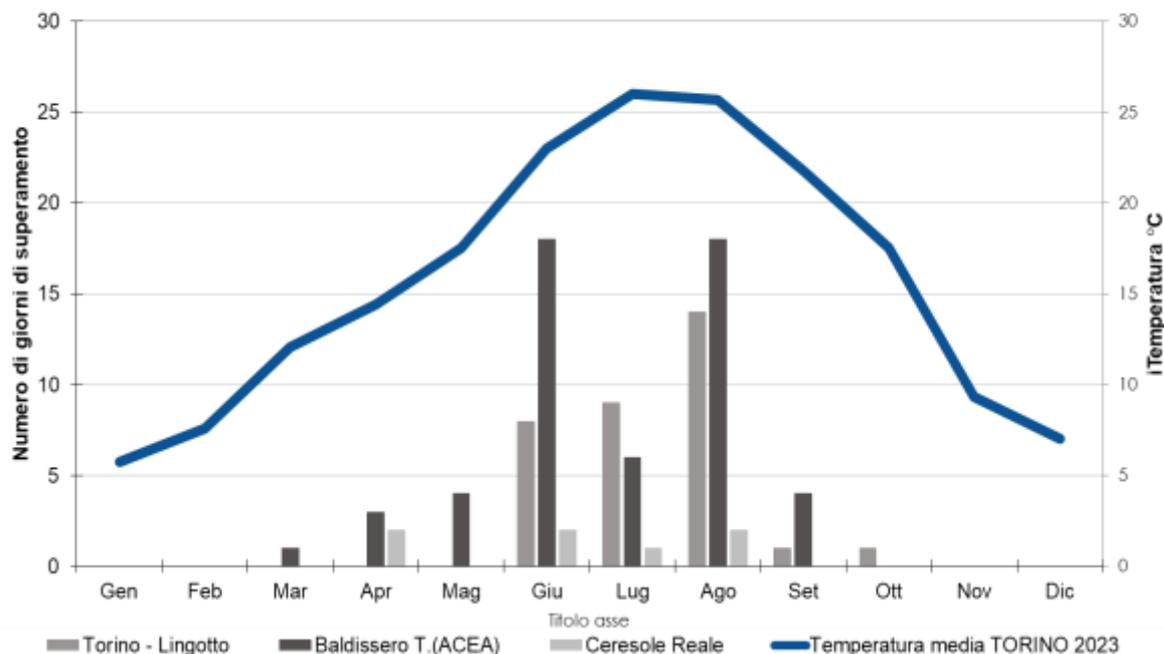


FIGURA 12: ozono - distribuzione temporale dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per le stazioni di Torino-Lingotto, Baldissero Torinese e Ceresole, anno 2023.

Nel grafico di FIGURA 13 sono state rappresentate le concentrazioni medie di ozono misurate durante il semestre caldo (aprile-settembre) nelle stazioni di To-Lingotto, Baldissero Torinese e Ceresole Reale. La serie storica considerata parte dal 1993, anno in cui sono iniziate le misurazioni di questo inquinante presso la stazione di To-Lingotto.

Al di là delle singole variazioni annuali, per le stazioni rurali - Baldissero Torinese e Ceresole Reale, fino al 2021 è ben evidente una tendenza alla diminuzione delle concentrazioni medie di ozono del periodo aprile-settembre da quando sono iniziate le misurazioni. Baldissero Torinese era passata da

110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 1995 a 97  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2021; le concentrazioni medie di Ceresole Reale erano diminuite da 102  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2010 a 85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2021. Il decremento registrato era stato rispettivamente del 12% e del 15%. I dati esposti confermavano quanto già rilevato dall'EEA nei suoi report: nel corso degli anni era stato possibile individuare in tutto il territorio europeo un leggero e generalizzato calo nelle concentrazioni di ozono in particolare presso le stazioni rurali. Nel 2022, le particolari condizioni climatiche di caldo e siccità eccezionali hanno, invece, interrotto la diminuzione dei valori medi di ozono in atto da diversi anni per le stazioni rurali: le concentrazioni del periodo aprile-settembre sono aumentate rispetto all'anno precedente, con incrementi dal 7 al 9%. Il 2023 invece è stata registrata una controtendenza rispetto al 2022 con un evidente calo delle concentrazioni presso tutte le stazioni considerate: -19% per la stazione di Baldissero T.se, -14% per Ceresole e -30% per To-Lingotto. Nonostante la diminuzione riscontrata, anche nel 2023 i maggiori valori di concentrazione di ozono si confermano essere quelli della stazione urbana di To-Lingotto. Questa situazione di maggiori concentrazioni di ozono presso le stazioni urbane è comune a molti ambienti urbani della pianura padana e del territorio europeo. In questi contesti territoriali è probabile che a mantenere alte le concentrazioni medie di ozono concorrano più fattori tra i quali solo la maggiore presenza di precursori di origine antropica, ma anche l'instaurarsi in città, rispetto alle circostanti zone periferiche e rurali, di un microclima più caldo, la cosiddetta "isola di calore", che favorisce la formazione di ozono troposferico.

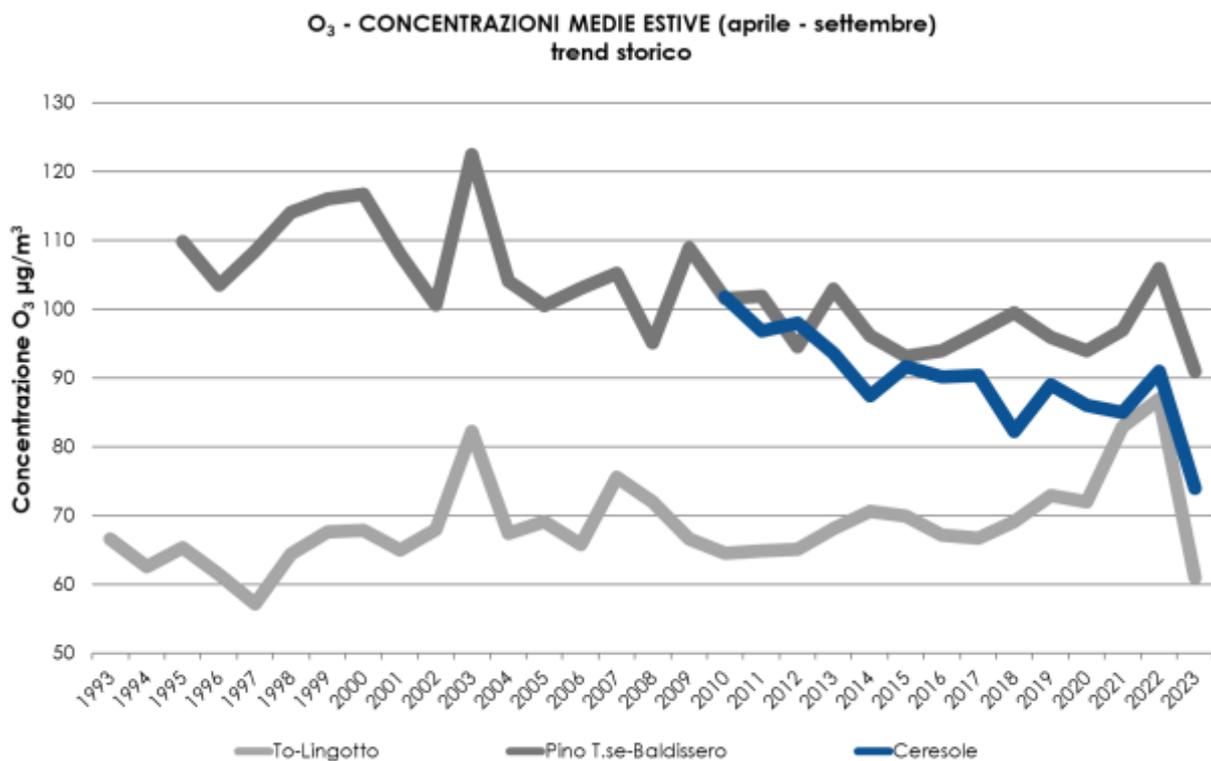


FIGURA 13: ozono, medie di concentrazione nel periodo aprile-settembre dal 1993 al 2023.

Seppur l'anno 2023 mostri una situazione in controtendenza rispetto agli ultimi anni del trend storico considerato, la criticità per l'ozono, inquinante ubiquitario e dalla genesi complessa, rimane alta per la Città Metropolitana di Torino e per tutto il Nord Italia in generale, come riconosciuto dalla stessa Agenzia Europea dell'Ambiente. Purtroppo, come detto, a differenza di altri inquinanti, per i quali le politiche ambientali mirate hanno portato ad una diminuzione delle concentrazioni nel corso degli anni, nel caso dell'ozono gli effetti delle politiche volte alla riduzione dei precursori sono ancora poco evidenti. Il report EEA del 2020<sup>8</sup> in particolare riconosce che la migliore misura per ridurre l'inquinamento da ozono nelle aree urbane del territorio europeo è quella di effettuare interventi strutturali a lungo termine sulla riduzione permanente di VOC e NO<sub>x</sub>, quali ad esempio la riduzione del consumo di energia, la produzione di motori migliori a più bassa emissione di ossidi di azoto per gli autoveicoli e l'introduzione di tariffe di ingresso nelle grandi aree metropolitane.

<sup>8</sup> EEA Air quality in Europe – 2020 report, 59-70

## BENZENE

*Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:*

**A. Bertello, Città metropolitana di Torino.**

### DESCRIZIONE

Il benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) è un composto chimico che a temperatura ambiente e pressione atmosferica si presenta allo stato liquido.

Viene sintetizzato a partire da diversi composti chimici presenti nel petrolio ed impiegato come antidetonante nella benzina. Si produce inoltre durante la combustione a partire soprattutto da altri idrocarburi aromatici. Stime effettuate dall'Unione Europea attribuiscono alle emissioni dei veicoli a benzina più del 70% del totale delle emissioni di benzene.

La maggior fonte di esposizione per la popolazione deriva pertanto dai gas di scarico dei suddetti autoveicoli.

La normativa italiana in vigore fissa, a partire dal 1 luglio 1998, il tenore massimo di benzene nelle benzine all'1%.

Il benzene è una sostanza classificata:

- dalla Comunità Europea come cancerogeno di categoria 1, R45;
- dalla I.A.R.C. (International Agency for Research on Cancer) nel gruppo 1 (sostanze per le quali esiste un'accertata evidenza in relazione all'induzione di tumori nell'uomo);
- dalla A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) in classe A1 (cancerogeno accertato per l'uomo).

Studi di mutagenesi evidenziano inoltre che il benzene agisce sul bagaglio genetico delle cellule.

Con esposizione a concentrazioni elevate, superiori a milioni di ppb, si osservano danni acuti al midollo osseo. Un'esposizione cronica può provocare la leucemia (casi di questo genere sono stati riscontrati in lavoratori dell'industria manifatturiera, dell'industria della gomma e dell'industria petrolifera).

Stime dell'Organizzazione Mondiale della Sanità indicano che, a fronte di un'esposizione a 1 µg/m<sup>3</sup> di benzene per l'intera vita, quattro persone ogni milione sono sottoposte al rischio di contrarre la leucemia.

VALORE LIMITE		
Periodo medio	Valore limite (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore limite
Anno civile	5 µg/m <sup>3</sup>	1 gennaio 2010

TABELLA 14: D.lgs. 155/2010, valori limite per il benzene.

### ESAME DEI DATI

La FIGURA 14 mostra i valori medi annui di Benzene misurati nella stazione di To-Consolata a partire dal 1996. Dal 2004 in poi il valore limite (pari a 5 µg/m<sup>3</sup> come media annuale) è rispettato, anche grazie all'introduzione, da luglio 1998, del limite dell'1% del tenore di benzene nelle benzine ed al progressivo aumento del numero di auto con catalizzatore ossidante sul totale degli autoveicoli circolanti.

La TABELLA 15 evidenzia che le medie annuali misurate nel 2023 in tutte le centraline della rete di monitoraggio sono ampiamente sotto il limite di legge. I valori misurati negli ultimi anni sono sostanzialmente stabili e si attestano su concentrazioni 5 volte inferiori al valore limite. Il 2023 conferma la significativa riduzione delle concentrazioni osservata nell'ultimo periodo in tutti i siti di monitoraggio. Tutte le misure sembrano assestarsi su un valore di fondo pari a circa 1 µg/m<sup>3</sup> di media annuale. Solo il sito di traffico di To-Rebaudengo presenta una concentrazione media annuale lievemente più alta, pari a 1,2 µg/m<sup>3</sup>. I dati misurati confermano che il parametro benzene è efficacemente sotto controllo.

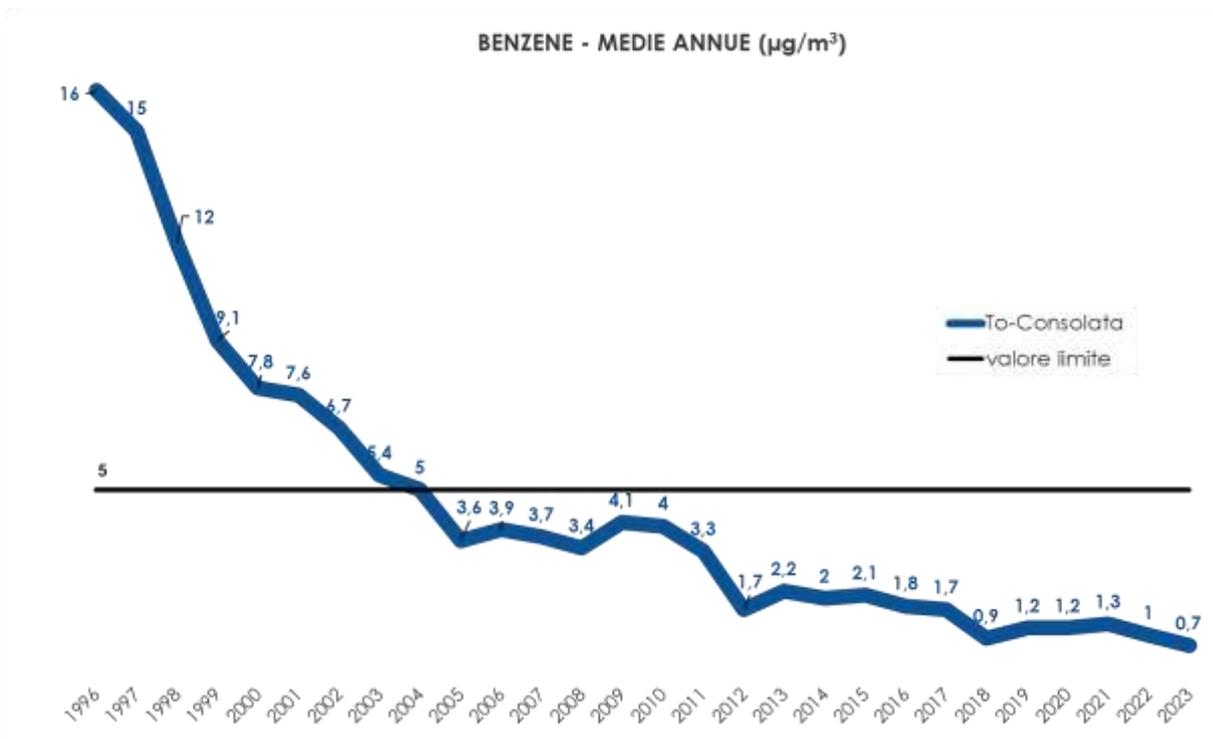


FIGURA 14: concentrazioni medie annue di benzene rilevate negli anni 1996-2023.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2023										
	(% dati validi)	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Beinasco (TRM)	89%	2,1*	1,3	1,3	1,3	1	1	1	1	0,9	1*
Borgaro T.se	76%	1,4	1,3	1,2	1,3	1,1	1	1,2*	1	1	0,8*
Settimo T.se	91%	2,1	2,3	2,1	1,6*	0,9	1,1	1,2	1,1	1	0,9
To-Consolata	93%	2,0	2,1	1,8	1,7	0,9	1,2	1,2*	1,3	1	0,7
To-Lingotto	90%	1,0	1,1*	1,1	1,1*	1*	0,9	0,8*	1	1	0,9
To-Rebaudengo	91%	2,4	2,6	2,1	2,3	1,5	1,8*	1,6	1,6	1,3	1,2
To-Rubino	73%	2,2	2,1*	1,6	1,3	1,1	1	1	0,9	0,8	0,7*
Vinovo	93%	1,2	1,6	1,4	1,5	1,1	1	1,1	1,1	0,9	0,9

(\*) Rendimento strumentale inferiore all'85%

TABELLA 15: dati relativi alle stazioni di monitoraggio che rilevano il benzene.

## PARTICOLATO SOSPESO

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

M. Sacco, ARPA Piemonte, Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest.

### DESCRIZIONE

Il particolato sospeso è costituito dall'insieme di tutto il materiale non gassoso, generalmente solido, in sospensione nell'aria. La natura delle particelle aerodisperse è molto varia: ne fanno parte le polveri sospese, il materiale organico disperso dai vegetali (pollini e frammenti di piante), il materiale inorganico prodotto da agenti naturali (vento e pioggia), dall'erosione del suolo o dei manufatti (frazione più grossolana), etc. Nelle aree urbane il materiale particolato di natura primaria può avere origine da lavorazioni industriali (cantieri edili, fonderie, cementifici), dagli impianti di riscaldamento (soprattutto a combustibili solidi), dall'usura dell'asfalto, degli pneumatici, dei freni, delle frizioni e dalle emissioni di scarico degli autoveicoli, in particolare quelli dotati di motore a ciclo diesel. Una componente significativa del particolato di minori dimensioni ha inoltre origine da processi secondari, che comportano la trasformazione in particelle di inquinanti originariamente emessi in forma gassosa.

Gli studi epidemiologici hanno mostrato una correlazione tra le concentrazioni di polveri in aria e la manifestazione di malattie croniche alle vie respiratorie, in particolare asma, bronchiti ed enfisemi. A livello di effetti indiretti, inoltre, il particolato fine agisce da veicolo di sostanze ad elevata tossicità, quali ad esempio gli idrocarburi policiclici aromatici e i metalli.

Il rischio sanitario legato alle sostanze presenti in forma di particelle sospese nell'aria dipende, oltre che dalla loro concentrazione, anche dalla dimensione delle particelle stesse. Le particelle di dimensioni inferiori costituiscono un pericolo maggiore per la salute umana, in quanto possono penetrare in profondità nell'apparato respiratorio. In prima approssimazione:

- le particelle con diametro superiore ai 10 µm si fermano nelle prime vie respiratorie;
- le particelle con diametro tra i 5 e i 10 µm raggiungono la trachea e i bronchi;
- le particelle con diametro inferiore ai 5 µm possono raggiungere gli alveoli polmonari.

I valori limite sono riportati nella TABELLA 16.

PM10 VALORE LIMITE		
Periodo di mediazione	Valore limite (condizioni di campionamento)	Data di entrata in vigore del valore limite
24 ore	50 µg/m <sup>3</sup> PM10 non superare più di 35 volte per anno civile	1 gennaio 2005
Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup> PM10	1 gennaio 2005
PM2,5 FASE 1 <sup>9</sup> - VALORE LIMITE		
Periodo di mediazione	Valore limite (condizioni di campionamento)	Data di entrata in vigore del valore limite
Anno civile	25 µg/m <sup>3</sup> PM2,5	1 gennaio 2015

TABELLA 16: D.Lgs. 13/8/2010 n. 155, valori limite per il PM10 e il PM2,5.

### FRAZIONE PM10 E PM2,5

I dati di particolato nel 2023 mostrano un decremento nelle medie annuali rispetto all'anno precedente, così anche per quanto riguarda il numero di superamenti del valore limite di 24 ore, per i quali il decremento è stato percentualmente più elevato.

La meteorologia, come di consueto, ha giocato un ruolo determinante nel modulare le concentrazioni del particolato atmosferico ed il 2023, a differenza dell'anno precedente, è stato caratterizzato da una meteorologia favorevole alla dispersione atmosferica degli inquinanti, con precipitazioni più che raddoppiate rispetto al 2022, anno estremamente siccitoso. Questo ha determinato un decremento delle concentrazioni del particolato atmosferico. Dal punto di vista climatico in Piemonte l'anno 2023 è stato il secondo anno più caldo dopo il 2022 nella distribuzione storica compresa tra il 1958 e il 2023. La precipitazione cumulata è stata di circa 944 mm, con un deficit pluviometrico di 86 mm (pari all'8%) nei confronti della media climatica del trentennio 1991-2020, posizionandosi al 27° posto tra gli anni meno piovosi valutati a partire dal 1958. Gli episodi di

<sup>9</sup> Il Decreto Legislativo 155/2010, che ha sostituito il DM 60/2002, ha poi previsto una fase 2 per il PM2,5, da raggiungere entro il 2020, con un valore limite più restrittivo che sarà stabilito con successivo decreto, tenuto conto del valore indicativo di 20 µg/m<sup>3</sup> e delle verifiche effettuate dalla Commissione Europea alla luce di ulteriori informazioni circa le conseguenze sulla salute e sull'ambiente, la fattibilità tecnica e l'esperienza circa il perseguimento del valore obiettivo negli Stati membri.

foehn annuali sono risultati 92 e rappresentano anche il numero annuale massimo dal 2000. Infine, è stato l'anno con il minor numero di giorni nebbiosi (89) da quando è attiva la rete dei visibilimetri ARPA (2004).<sup>10</sup>

Il numero di occorrenze di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 nel 2023 è stato pari a 106 giorni (FIGURA 74), il terzo valore più basso della serie storica a disposizione. L'andamento mensile dell'indice, rappresentato in FIGURA 75, si attesta sui valori mediani del periodo di riferimento nei mesi di gennaio, febbraio, novembre e dicembre, su valori di poco superiori ai minimi del periodo nei mesi di marzo, settembre e ottobre.

In FIGURA 15 si osserva che il valore limite annuale ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) è stato rispettato in tutte le stazioni del territorio della città metropolitana, compresa la stazione di To-Grassi, usualmente la più critica in tutto il territorio della Città Metropolitana, dove il valore è pari a quello limite.

Considerando l'insieme delle stazioni metropolitane esistenti e con dati validi in entrambi gli anni 2022-2023, si osserva un decremento delle concentrazioni medie del 12% rispetto al 2022.

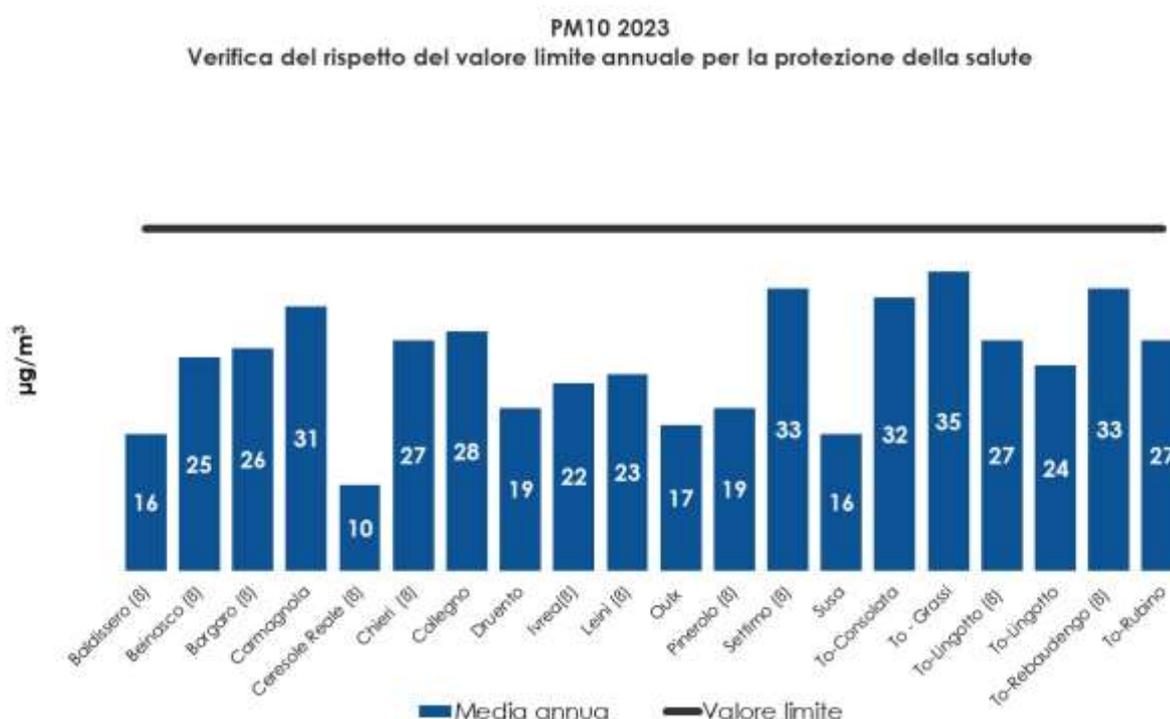


FIGURA 15: valore medio annuale misurato presso le stazioni di monitoraggio metropolitane.

In FIGURA 16 sono riportate le medie mensili per tre stazioni rappresentative della rete metropolitana; le concentrazioni maggiori si misurano in inverno, periodo in cui si aggiungono le emissioni degli impianti di riscaldamento e contemporaneamente si verificano le condizioni meteorologiche più sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti. Nel 2023 i mesi più critici sono stati i siccitosi gennaio, febbraio e dicembre. Da aprile a settembre prevalgono condizioni di instabilità atmosferica favorevoli alla dispersione degli inquinanti; pertanto, anche nelle stazioni più critiche i valori medi mensili risultano nell'intorno dei  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Il Decreto Legislativo 155/2010 stabilisce anche un limite giornaliero ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e un numero massimo di superamenti di tale valore nel corso dell'anno, pari a 35. Tale limite risulta più stringente di quello annuale<sup>11</sup> e pertanto nella maggior parte delle stazioni non è rispettato (FIGURA 17). Il numero maggiore di superamenti del limite giornaliero si è verificato a To-Grassi ed è stato pari a 66, seguito da To-Rebaudengo con 63 superamenti, entrambe stazioni di traffico, mentre nelle stazioni di fondo urbano torinesi l'obiettivo è stato quasi raggiunto, a To-Rubino i superamenti sono 37, ma a To-Lingotto (beta) il limite non è stato superato (35 superamenti).

<sup>10</sup> [https://www.arpa.piemonte.it/sites/default/files/media/2024-03/anno\\_2023\\_solare.pdf](https://www.arpa.piemonte.it/sites/default/files/media/2024-03/anno_2023_solare.pdf)

<sup>11</sup> Si veda il capitolo Analisi del rapporto di correlazione fra media annuale e numero di superamenti del valore limite per il particolato PM10 – la situazione nella città metropolitana di Torino nel quadro europeo, [Uno sguardo all'aria 2014](#)

Al di fuori della città di Torino le stazioni più critiche sono quelle di Settimo Torinese (55 superamenti) Carmagnola (39 superamenti), mentre a Collegno per la prima volta non è stato raggiunto il limite, avendo registrato 35 superamenti.

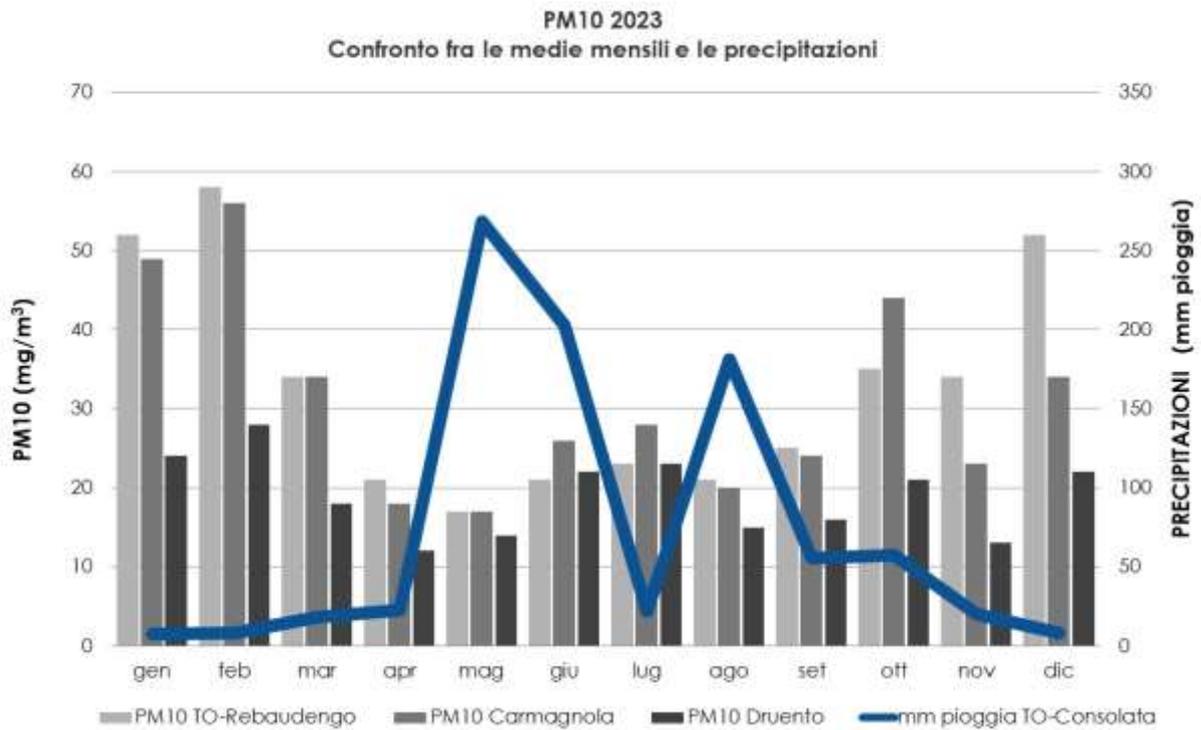


FIGURA 16: andamento delle precipitazioni atmosferiche e delle concentrazioni di PM10 in alcune stazioni della città metropolitana di Torino nell'anno 2023.

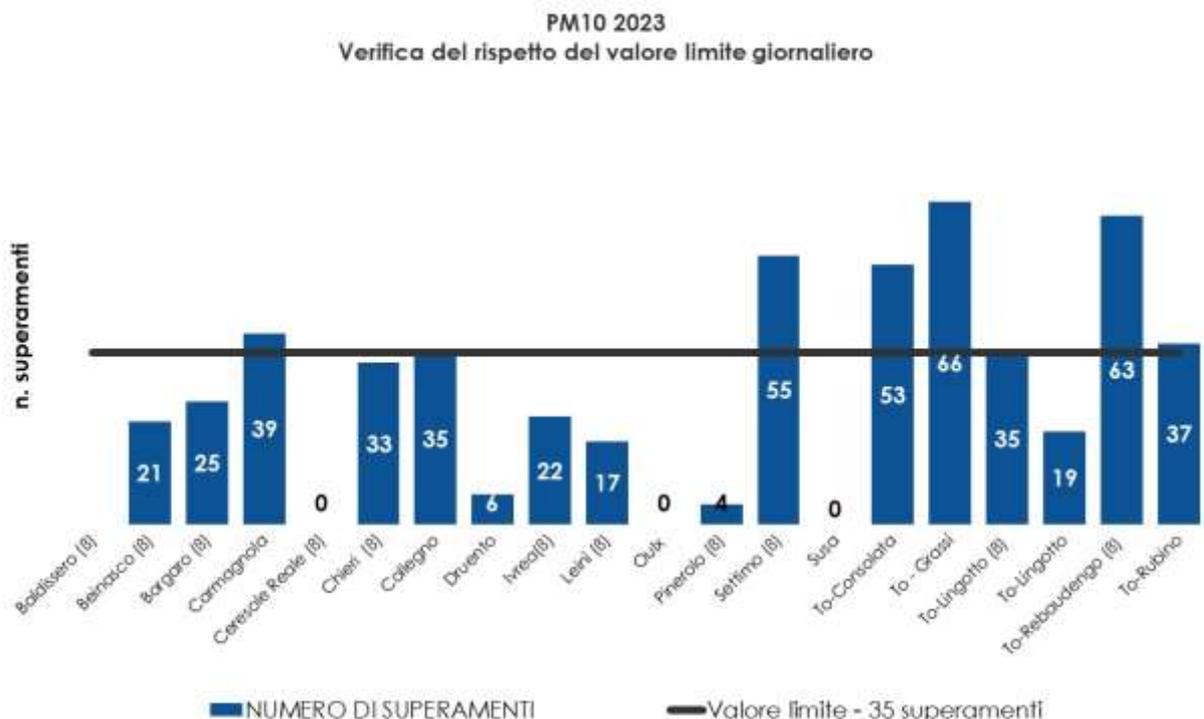


FIGURA 17: parametro PM10, numero di superamenti del limite di 24 ore per la protezione della salute ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come media giornaliera). NB: il dato di To-Lingotto è sottostimato per insufficiente rendimento strumentale, pertanto si può fare riferimento al dato di To-Lingotto (beta).

I dati di PM10 sul lungo periodo (FIGURA 18) presentano un andamento decrescente, sia per le stazioni di traffico sia per quelle di fondo; negli ultimi cinque anni i valori annuali oscillano mediamente intorno ai 32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nelle stazioni di traffico e ai 23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nelle stazioni di fondo.

I siti di fondo rispettano il valore limite annuale dal 2013, per i siti di traffico il rispetto del limite è generalmente avvenuto dal 2018, con la sola eccezione della stazione di Torino-Grassi, per la quale si è registrato un superamento nel 2020.

Anche il trend del numero di superamenti del valore limite giornaliero è in decrescita (FIGURA 19), ma il rispetto del valore limite è ancora difficile da raggiungere, soprattutto per le stazioni di traffico, per le quali questo non è mai rispettato. L'eccezione è il sito di Oulx, che pur essendo in prossimità della SS24, è caratterizzata da condizioni di ventosità locali che favoriscono la dispersione degli inquinanti atmosferici. Nel 2023 anche la stazione di Collegno ha rispettato il limite, raggiungendo un numero di superamenti pari a 35.

Nelle stazioni di fondo il raggiungimento del limite è più vicino, come si può vedere in FIGURA 19, nel 2023 solo il 10% delle stazioni supera l'indicatore normativo, contro il 45% dell'anno precedente.

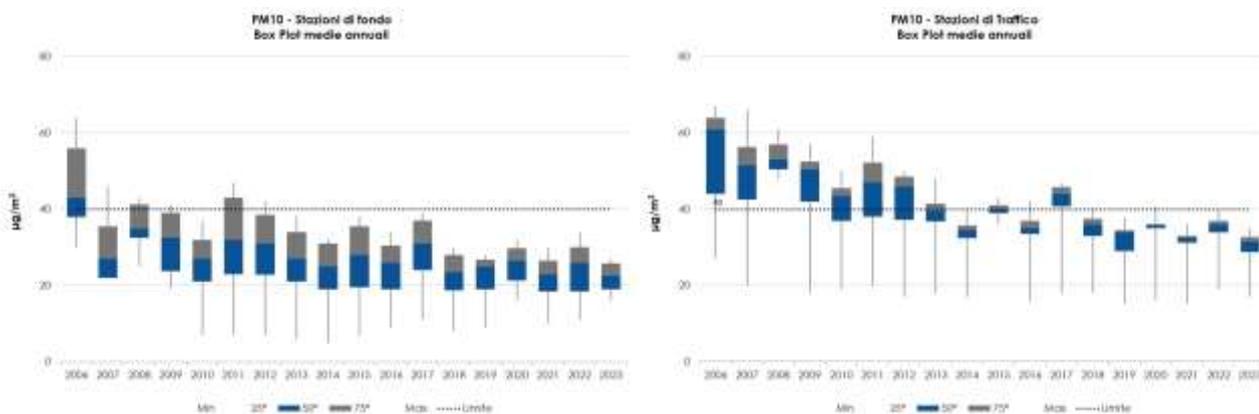


FIGURA 18: distribuzione medie annuali rilevate nelle stazioni di monitoraggio di traffico e di fondo

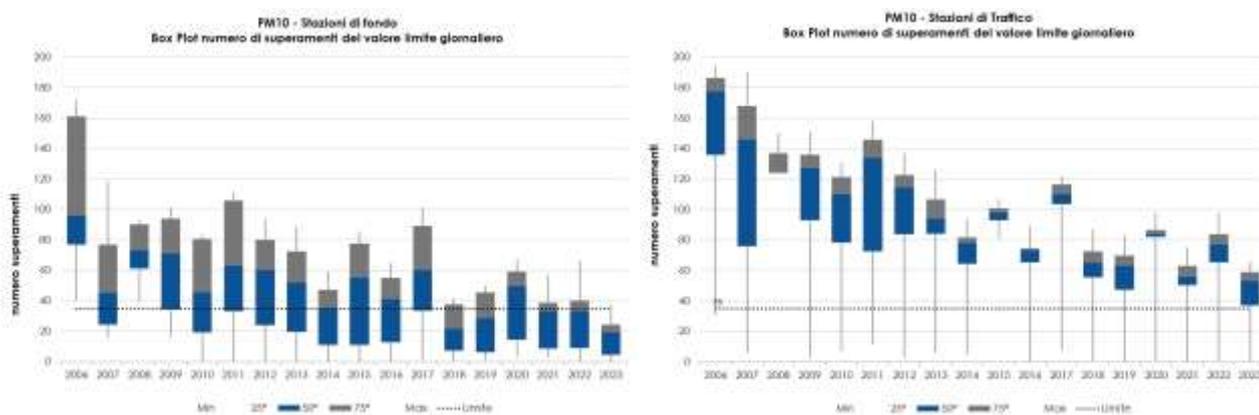


FIGURA 19: box plot delle distribuzioni del numero di superamenti del valore limite per le concentrazioni medie giornaliere misurate presso le stazioni di monitoraggio di traffico e di fondo

Nei grafici di FIGURA 20 sono riportate le serie temporali delle concentrazioni delle polveri PM10 misurate nel 2023 dalle stazioni della Città Metropolitana rispetto al periodo di riferimento 2013-2022. Per poter permettere una migliore leggibilità dei grafici, a partire dalle concentrazioni giornaliere, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni.

In ognuno di questi grafici le concentrazioni del 2023 sono confrontate con i valori massimi, minimi e medi misurati dai medesimi gruppi di stazioni negli anni presi come riferimento (2013-2022).

I gruppi di stazioni esaminati sono le stazioni di traffico e di fondo ubicate a Torino e prima cintura, in FIGURA 20(a) "Traffico Area Metropolitana Torinese" e (b) "Fondo Area Metropolitana Torinese", le stazioni di fondo in pianura FIGURA 20(c) e le stazioni di fondo in quota (d), in modo da poter cogliere la differenza nei valori di PM10 misurati in zone diverse. Come osservabile, anche dal fondo scala, la zona più critica è l'area metropolitana torinese, sia in stazioni di traffico sia in quelle di fondo, ma

l'analogia meteorologica provoca periodi di alte concentrazioni anche nelle stazioni di fondo in pianura. Per entrambe le zone si evidenzia il comportamento stagionale degli inquinanti, ovvero come le concentrazioni generalmente diminuiscano in modo progressivo nel passaggio dall'inverno ai mesi estivi per crescere nuovamente nell'autunno. Diverso è il caso delle stazioni di fondo in quota (Baldissero, Ceresole Reale, Oulx, Susa), per le quali l'andamento è molto più costante.

Oltre all'andamento stagionale, emergono importanti oscillazioni delle concentrazioni nel corso dell'anno, dovute all'avvicinarsi di condizioni meteorologiche differenti: massimi di concentrazione generalmente corrispondenti a periodi di alta pressione persistente e minimi in corrispondenza di fenomeni di rimozione degli inquinanti (precipitazioni, vento).

Il PM10 nel 2023 si pone quasi sempre al di sotto della media del periodo di riferimento 2013-2022, tranne alcuni giorni intorno a metà febbraio, la prima metà del mese di ottobre e nella seconda decade di luglio. I giorni a febbraio e ad ottobre coincidono con un periodo di stabilità atmosferica ed assenza di precipitazioni, che ha determinato un incremento delle concentrazioni e vari superamenti del valore limite in tutte le stazioni di pianura, situate sia all'interno che all'esterno dell'area metropolitana torinese. Dal 20 al 23 febbraio è avvenuto anche un fenomeno di trasporto di sabbia sahariana a lungo raggio attraverso la penisola iberica e la Francia verso l'Europa settentrionale e centrale che ha coinvolto anche il Piemonte. Nella seconda metà di luglio l'aumento delle concentrazioni è avvenuto in concomitanza con un periodo di caldo estremo, il 18 luglio si sono verificati diversi record termometrici nelle stazioni della rete meteorologica, causati dalla presenza di un'area anticiclonica sul bacino del Mediterraneo.

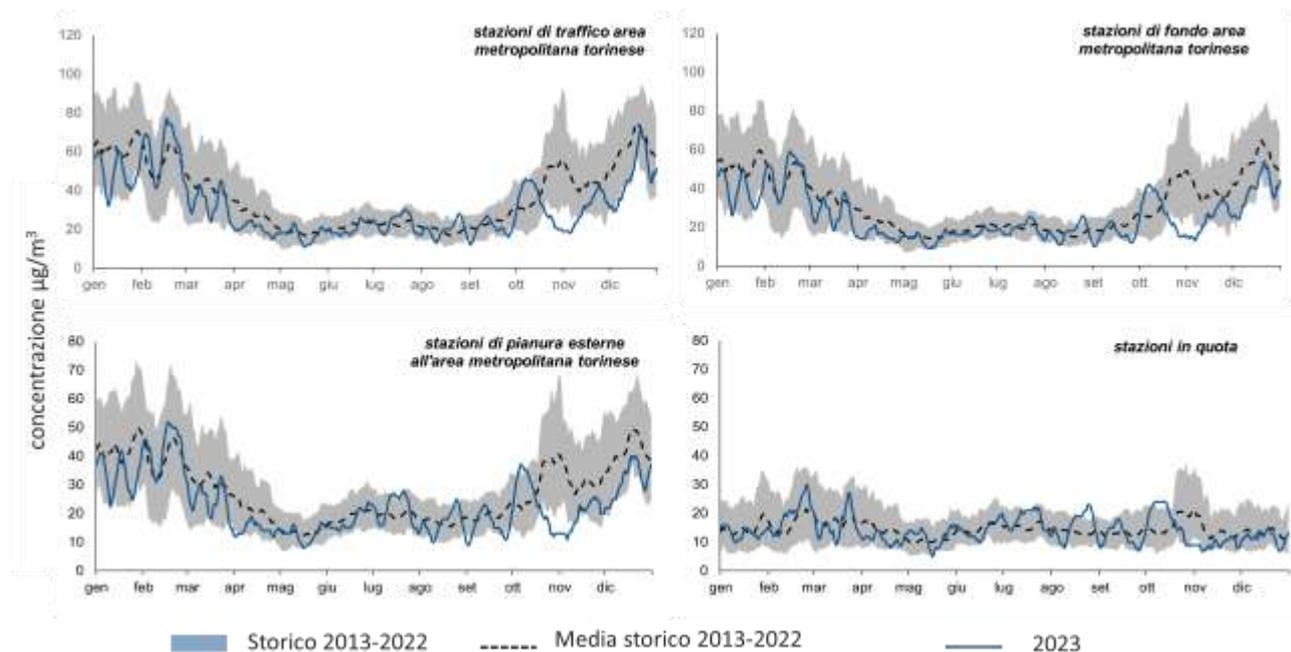


FIGURA 20: PM10 Città Metropolitana di Torino: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 confrontate con i dati del periodo di riferimento

Negli ultimi anni la normativa ha preso in considerazione anche le particelle di minori dimensioni e il Decreto Legislativo 155/2010 ha introdotto un valore limite per il PM<sub>2,5</sub> (la cosiddetta frazione fine del particolato) pari a 25 µg/m<sup>3</sup> come media annua da raggiungere entro il 1 gennaio 2015. La Direttiva Europea sulla qualità dell'aria ambiente ha inoltre stabilito un obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione umana per il PM<sub>2,5</sub> basato sull'indicatore di esposizione media (IEM), valido a livello nazionale. L'IEM è un livello medio di concentrazioni (sulla base di 3 anni di dati), misurato in stazioni di monitoraggio di fondo urbano (rappresentanti dell'esposizione della popolazione urbana in generale) selezionate in ogni Stato Membro. Il DM 13/3/2013 ha scelto 23 stazioni, tra le quali anche quella di To-Lingotto, per valutare se l'obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione è stato raggiunto. L'IEM serve anche per stabilire se l'obbligo di concentrazione dell'esposizione, stabilito a 20 µg/m<sup>3</sup> da raggiungere entro l'anno 2015, sia stato rispettato.

La rete della città metropolitana di Torino nel corso degli anni è stata arricchita di numerosi campionatori, infatti oltre a quelli "storici" delle stazioni di To-Lingotto e Leini, attivi da diciassette

anni, attualmente il monitoraggio del PM2,5 avviene in ulteriori nove siti, scelti per rappresentare varie situazioni emissive (TABELLA 17). Da settembre 2012 inoltre Arpa Piemonte gestisce la stazione di Beinasco-Aldo Mei, di proprietà TRM, installata per monitorare la zona di massima ricaduta dell'inceneritore.

Nel 2023 la concentrazione media di PM2,5 su base annuale è diminuita ed il valore limite è stato rispettato in tutte le stazioni, come avviene dal 2018. Il trend su lungo periodo è decrescente per tutte le stazioni. La stazione di Ceresole invece rappresenta un'area rurale non soggetta ad emissioni antropiche e pertanto ha valori minimi.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2023 (% giorni validi)	PM2,5 - VALORE MEDIO ANNUO										
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Beinasco – TRM (β)	97%	23	26	23	26	20	20	21	18	19	17	
Borgaro (β)	97%	23	26	23	27	22	19	21	20	21	18	
Ceresole Reale (β)	79%	4	6	7	9	8*	6*	6*	7	9	7*	
Chieri (β)	94%	22	24	22	27	22	20	21	21	22	19	
Ivrea	94%	19*	24*	20	24	19	16	19	17	19	16	
Leini (β)	93%	22	30	24	26	17*	20*	22	16	16	16	
Settimo (β)	82%	26	31	26	30	24	22	23	23	24	21*	
To-Lingotto (β)	88%	-	-	-	-	-	-	-	20	23*	17	
To-Lingotto	97%	24	27	23	27	21	19	22	18*	21*	16	
To-Rebaudengo (β)	95%	25	27	29*	33	25	25	22	23	23	20	
To-Rubino (β)	95%	23	28*	23*	27	23*	20	20	19	20	16	

(\*) Rendimento strumentale inferiore all'85%

TABELLA 17: parametro PM2,5, valutazione statistica anni 2014-2023. Borgaro-Chieri-Settimo dal 2021 sono misurati con un analizzatore automatico a raggi beta.

In FIGURA 21 sono riportati i valori mensili di PM2,5 a confronto con quelli di PM10 a To-Lingotto, prendendo in considerazione solo i giorni in cui entrambi gli strumenti erano funzionanti.

In questa stazione, ed in generale in quelle di fondo urbano, la frazione più fine incide mediamente in maniera maggiore nei mesi freddi, mentre nei mesi estivi è percentualmente meno alta rispetto al PM10. Nel 2023 nella stazione di To-Lingotto il PM2,5 costituisce in media circa il 68% del PM10 nel semestre freddo e il 58% nel semestre caldo.

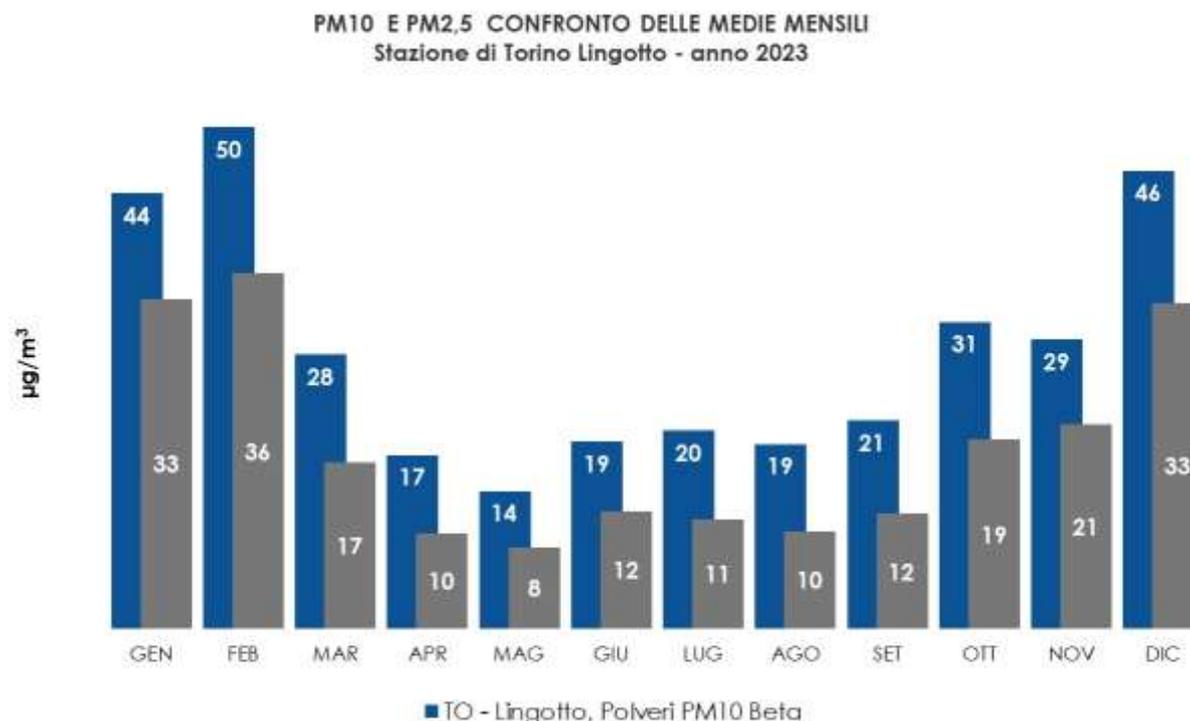


FIGURA 21: confronto tra PM2,5 e PM10 presso la stazione di To-Lingotto.

Tale fenomeno, confermato dalle analisi sulla serie storica, è attribuibile al fatto che la componente secondaria del particolato si concentra maggiormente nella frazione PM<sub>2,5</sub> ed è maggiore in periodo invernale rispetto a quello estivo. Da analisi eseguite in un sito urbano nell'area metropolitana torinese è risultato che nel periodo freddo la componente secondaria rappresenta il 61 % del PM<sub>2,5</sub>, mentre nel periodo caldo cala al 49,5%<sup>12</sup>.

La formazione secondaria del particolato a partire da sostanze gassose (i "precursori") è favorita dall'irraggiamento solare, ma occorre considerare che nei mesi freddi la concentrazione al suolo degli inquinanti precursori (idrocarburi, ossidi di azoto, ecc.) è maggiore sia a causa delle condizioni meteorologiche di stabilità atmosferica sia per il contributo degli impianti di riscaldamento.

Ciò vale in particolare nel caso dei nitrati, che sono una delle componenti principali del particolato secondario. Come evidenziato dai risultati del progetto iMonitraf!, descritti nell'edizione 2011 di "Uno sguardo all'aria", i nitrati si concentrano maggiormente nelle frazioni inferiori a 1,5 µm e nei mesi freddi arrivano a costituire circa il 25% in massa del PM<sub>10</sub>. Quest'ultimo risultato è stato confermato anche nell'ambito del Progetto LIFE-IP PREPAIR<sup>13</sup> per il sito di fondo urbano di To-Lingotto, nel quale il nitrato d'ammonio nei mesi freddi (15/10-14/4) rappresenta mediamente il 24% del PM<sub>10</sub> (periodo di indagine 15.9.2018 – 31.3.2021). Il nitrato d'ammonio, che è la forma prevalente, è un composto semivolatile, per cui in condizioni di bassa temperatura (in autunno-inverno) è favorita la sua condensazione in fase particolato<sup>14</sup>. Nei mesi freddi aumenta inoltre l'emissione di ossidi di azoto a causa dell'accensione degli impianti di riscaldamento e sono meno intensi i processi di fotolisi dell'acido nitrico aerodisperso, la cui presenza è necessaria alla formazione dei nitrati in fase particellare.

Un altro fattore che può risultare rilevante sulla distribuzione dimensionale delle particelle è la velocità del vento, che mediamente aumenta da marzo ad agosto e quindi può incrementare il risollevarsi della frazione più grossolana del particolato nel periodo estivo.

Il ruolo dell'irraggiamento solare quale fattore influenzante la formazione del particolato più fine è più evidente nella stazione di Ceresole Reale, lontana da fonti di emissione e posta a una quota più elevata dell'altezza dello strato rimescolato invernale, da cui hanno origine le elevate concentrazioni del particolato misurate in pianura durante i mesi freddi. In questa stazione si osserva che l'andamento delle medie mensili è opposto a quello delle stazioni collocate in ambiti urbani di pianura: mentre in queste ultime i valori massimi di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> si registrano in inverno, a Ceresole i valori mensili massimi solitamente si verificano nella stagione estiva, in corrispondenza della massima insolazione. Nel 2023 le massime medie mensili si sono registrate da giugno ad agosto; i valori medi mensili si collocano sopra le medie del periodo 2010-2020 negli stessi mesi, come si può osservare in FIGURA 22, dove è rappresentato un confronto con le medie mensili registrate negli anni 2010-2022. Il massimo si è registrato il 12 luglio, pari a 32 µg/m<sup>3</sup> in corrispondenza ad un fenomeno di trasporto di sabbia dal Sahara iniziato il giorno precedente.

<sup>12</sup> Arpa Piemonte, Dipartimento Provinciale di Torino "Progetto di studio delle sorgenti di inquinamento atmosferico nel territorio circostante la centrale termoelettrica di IRIDE "Torino Nord", maggio 2013

<sup>13</sup> Perrone Maria Grazia et al, Seasonal variations in chemical composition and in vitro biological effects of fine PM from Milan, March 2010, Chemosphere, Volume 78, Issue 11 , pag 1368-1377

<sup>14</sup> Arpa Lombardia, Arpa Emilia Romagna, Arpa Piemonte, Arpa Veneto, Arpa Valle D'Aosta, Monitoring the environmental effects of pollutants reduction measures implemented by air quality improvement plans, Interim Report Action D6, PM<sub>10</sub> Chemical Composition on special stations, dicembre 2021, <https://www.lifeprepare.eu/>

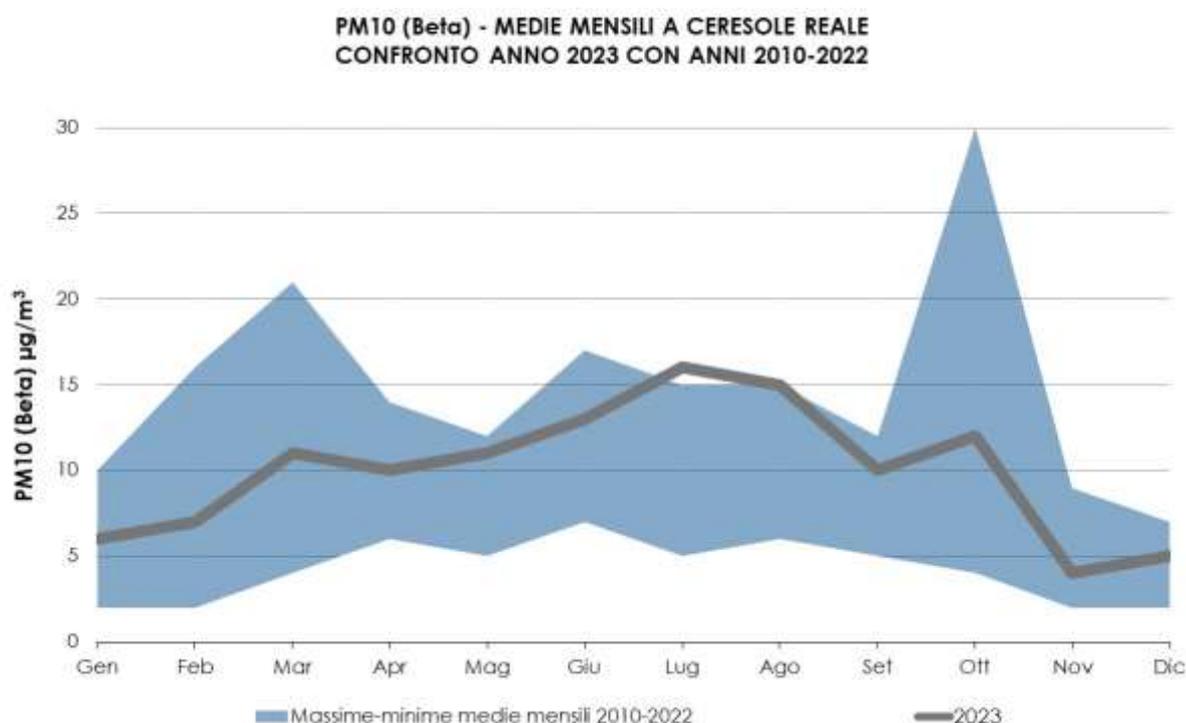


FIGURA 22: confronto tra le medie mensili di PM10 nel 2023 con le medie 2010-2022 presso la stazione di Ceresole Reale.

### PARTICELLE SOSPESSE TOTALI

L'attenzione normativa si è incentrata negli ultimi anni sulla frazione di particolato PM10 e PM2,5, in quanto gli studi tossicologici ed epidemiologici hanno evidenziato che le particelle di minori dimensioni sono quelle più dannose per la salute umana. Le particelle sospese totali, che precedentemente al recepimento delle Direttive Europee costituivano il parametro di riferimento di legge, sono ancora misurate presso la stazione in via Consolata a Torino. L'esame dell'andamento della concentrazione delle polveri totali, vista la lunga serie storica di dati, è utile per avere un'indicazione del trend relativo al PM10 anche in periodi nei quali questo parametro non veniva misurato. Infatti, come si osserva in FIGURA 23 nella quale per la stazione di To-Consolata sono riportate le medie annuali di PTS e PM10, il PM10 costituisce circa il 70% delle polveri totali.

In FIGURA 23 per il PTS sono riportate le concentrazioni medie annue rilevate in 44 anni di monitoraggio. I valori che si misurano oggi sono molto minori rispetto agli anni '80, quando mediamente erano intorno ai 150 µg/m³. Dal 1999 al 2006 si sono stabilizzati intorno ai 100 µg/m³, mentre, dopo una serie di valori intorno ai 60 µg/m³ registrati dal 2012 al 2015, dal 2016 i valori sono poco sopra ai 40 µg/m³. Il minimo storico si è toccato proprio nel 2023, con 41 µg/m³.

La diminuzione registrata rispetto ai primi anni di rilevamento è stata ottenuta grazie a molteplici fattori, quali il trasferimento all'esterno dell'area metropolitana e la chiusura di alcuni impianti industriali di notevole impatto ambientale, la progressiva sostituzione con il metano di combustibili altamente inquinanti, come l'olio combustibile e il carbone, la diminuzione del biossido di zolfo e degli ossidi di azoto, precursori del particolato, i miglioramenti nell'efficienza dei motori e nelle emissioni degli autoveicoli.

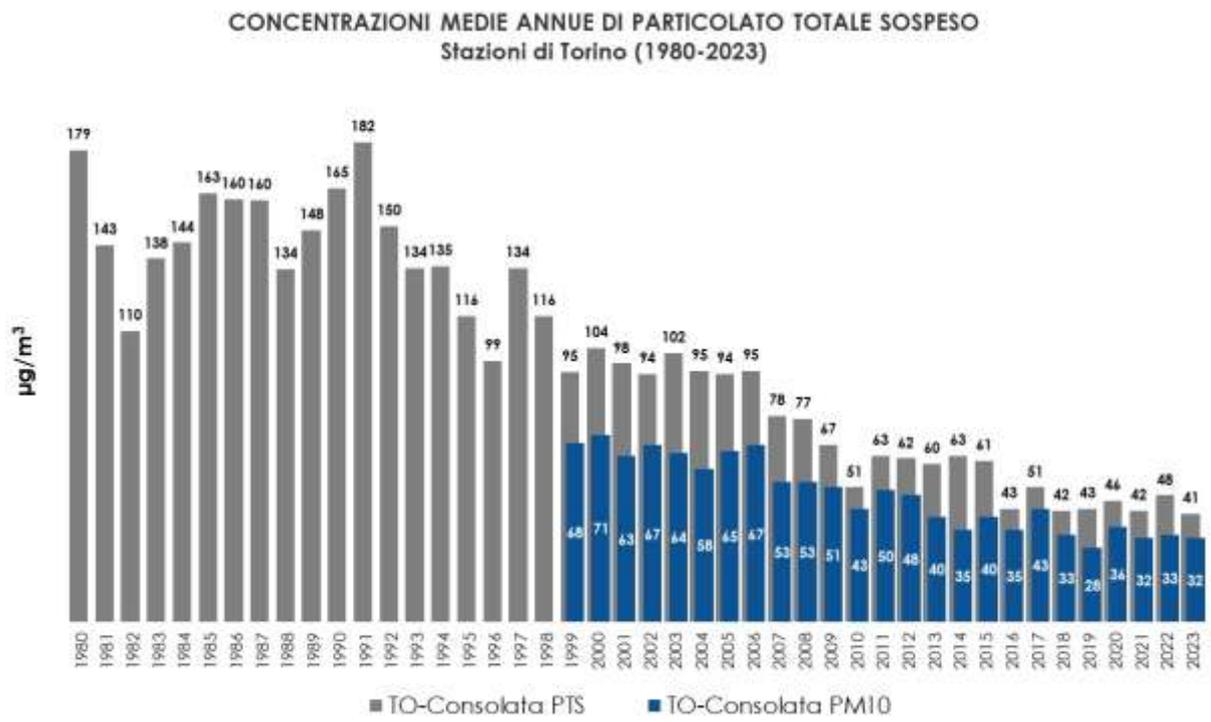


FIGURA 23: parametro PTS, medie annuali misurate nelle stazioni di Torino dal 1980 al 2023.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2023 (% giorni validi)	PM10 – VALORE MEDIO ANNUO Valore limite annuale: 40 µg/m³										PM10- NUMERO DI SUPERAMENTI del valore limite di 24 ore (50 µg/m³)									
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Baldissero (β)	94%	14*	17	14	11	8	18*	22	20*	18	16	6*	8	1	1	0	5*	22	15*	9	0
Beinasco (β)	96%	30	33	29	36	28	27	28	27	29	25	47	68	52	88	41	49	59	39	36	21
Borgaro (β)	97%	-	-	-	-	-	-	-	27	31	26	-	-	-	-	-	-	-	33	39	25
Borgaro	-	31*	35	31	38	30	26	30	28	-	-	44*	71	54	90	42	28	51	37	-	-
Carmagnola	85%	36	41	37	45	36	35	36	33*	37	31	82	107	73	122	69	69	81	49*	82	39
Ceresole Reale (β)	84%	5	7	9	11	11*	9*	10*	10	11*	10*	0	0	0	6	0*	1*	1*	3	0*	0*
Chieri (β)	93%	-	-	-	-	-	-	28	28	31	27	-	-	-	-	-	-	55	40	48	33
Collegno	94%	32	36	32	40	33	30	35	32	36	28	61	81	61	102	56	50	85	57	74	35
Druento	92%	19	23	21	27	22	19	21*	21	21	19	11	23	22	41	15	10	11*	7	10	6
Ivrea - Liberazione (β)	99%	-	-	-	-	-	-	25	23	26	22	-	-	-	-	-	-	48	33	41	22
Ivrea - Liberazione	-	23	28	26	31*	25	24*	27	-	-	-	30	55	41	60*	28	29*	43	-	-	-
Leinì (β)	94%	25	36	30	34	33*	26	29	26	27	23	35	84	57	79	28*	44	59	38	33	17
Oulx	89%	17	18*	16	18	18	15	16	15	19	17	5	7*	0	8	1	0	1	0	1	0
Pinerolo	92%	-	21	23	26	21	19	18	17	19	19	-	11	15	40	11	5	12	10	9	4
Settimo (β)	82%	-	-	-	-	-	-	-	31	35	33*	-	-	-	-	-	-	-	55	77	55*
Settimo	-	34	39	35	44*	36	34	35	34	-	-	81	98	70	99*	65	63	83	64	-	-
Susa	87%	16	18	17	22	18	15	16	17	18	16	1	11	10	27	6	1	3	5	4	0
To - Consolata	88%	35	40	35	43	33*	28	36*	28*	33	32	75	93	75	108	55	45	84*	30*	57	53
To - Grassi	89%	43*	52*	42	47	40*	38	41	36	40	35	77*	75*	89	112	76*	83	98	75	98	66
To - Lingotto (β)	88%	31	36	32	38	31	28	31	29	34	27	56	85	60	101	45	50	72	46	66*	35
To - Lingotto	84%	32	38	34	39	28	27	30	26	28	24*	59	86	62	92	39	48	67	40	37	19*
To - Rebaudengo (β)	95%	40	43	37	46	39	34	36	33	37	33	94	101	74	118	87	71	88	65	86	63
To - Rubino (β)	95%	32	36*	30*	37	30*	28	28	26*	31	24	55	53*	46*	91	36*	46	53	26*	47	26
To - Rubino	93%	31	36	32	38	29	28*	32	30	32	27	58	84	65	97	33	42*	66	57	58	37

(\*) Rendimento strumentale inferiore all'85%

TABELLA 18: parametro PM10, valutazione statistica anni 2014-2023.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2023 (% giorni validi)	PTS – VALORE MEDIO ANNUO									
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
To-Consolata	86%	63*	61*	43	51	42	43	46*	42*	48*	41

(\*) Rendimento strumentale inferiore all'85%

TABELLA 19: parametro polveri totali (PTS), valutazione statistica anni 2014-2023.

## METALLI

*Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:*

*M.Sacco, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.*

### DESCRIZIONE

I metalli pesanti costituiscono una classe di sostanze inquinanti estremamente diffusa nelle varie matrici ambientali. La loro presenza in aria, acqua e suolo può derivare da fenomeni naturali (erosione, eruzioni vulcaniche), ai quali si sommano gli effetti derivanti dalle attività antropiche.

Riguardo l'inquinamento atmosferico i metalli che maggiormente preoccupano sono generalmente As (arsenico), Cd (cadmio), Co (cobalto), Cr (cromo), Mn (manganese), Ni (nicel) e Pb (piombo), che sono veicolati dal particolato atmosferico. La loro origine è varia. Cd, Cr e As provengono principalmente dalle industrie minerarie e metallurgiche; Cu dalla lavorazione di manufatti e da processi di combustione; Ni dall'industria dell'acciaio, della numismatica, da processi di fusione e combustione; Co e Zn da materiali cementizi ottenuti con il riciclaggio degli scarti delle industrie siderurgiche e degli inceneritori. L'incenerimento dei rifiuti può essere una fonte di metalli pesanti quali antimonio, cadmio, cromo, manganese, mercurio, stagno, piombo. L'effetto dei metalli pesanti sull'organismo umano dipende dalle modalità di assunzione del metallo, nonché dalle quantità assorbite. Alcuni metalli sono oligoelementi necessari all'organismo per lo svolgimento di numerose funzioni quali il metabolismo proteico (Zn), quello del tessuto connettivo osseo e la sintesi dell'emoglobina (Cu), la sintesi della vitamina B12 (Co) e altre funzioni endocrino-metaboliche ancora oggetto di studio. L'assunzione eccessiva e prolungata di tali sostanze, invece, può provocare danni molteplici a tessuti ed organi.

L'avvelenamento da zinco si manifesta con disturbi al sistema nervoso centrale, anemia, febbre e pancreatite. Il rame, invece, produce alterazioni della sintesi di emoglobina e del tessuto connettivo osseo oltre a promuovere epatiti, cirrosi e danni renali. L'intossicazione da cobalto provoca un blocco della captazione dello iodio a livello tiroideo con conseguente gozzo da ipotiroidismo, alterazioni delle fibre muscolari cardiache e disturbi neurologici. Cromo e nichel, sono responsabili, in soggetti predisposti, di dermatiti da contatto e di cancro polmonare. L'enfisema polmonare (per deficit di  $\alpha 1$  antitripsina) è la principale manifestazione dell'intossicazione cronica da cadmio, cui generalmente si accompagnano danni ai tubuli renali e osteomalacia. Sia il piombo, che l'arsenico, inoltre, sono responsabili di numerose alterazioni organiche. L'avvelenamento cronico da piombo (saturnismo), ad esempio, è responsabile di anemia emolitica e danni neurologici.

Tra i metalli che sono più comunemente monitorati nel particolato atmosferico, quelli di maggiore rilevanza sotto il profilo tossicologico sono il nichel, il cadmio e il piombo. I composti del nichel e del cadmio sono classificati dalla Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro come cancerogeni per l'uomo; l'Organizzazione Mondiale della Sanità stima che, a fronte di una esposizione ad una concentrazione di nichel nell'aria di  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per l'intera vita, quattro persone su diecimila siano a rischio di contrarre il cancro. Nella TABELLA 20 sono riportati i valori obiettivo per As, Cd e Ni e il valore limite per la protezione della salute umana per il Pb previsti dal D.Lgs. 13/8/2010 n. 155.

PIOMBO (Pb)		
Periodo di mediazione	Valore limite (condizioni di campionamento)	Data alla quale il valore limite deve essere rispettato
Anno civile	$0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1 gennaio 2005
ARSENICO (As)		
Periodo di mediazione	Valore Obiettivo (condizioni di campionamento)	Data alla quale il valore obiettivo deve essere rispettato
Anno civile	$6 \text{ ng}/\text{m}^3$	31 dicembre 2012
CADMIO (Cd)		
Periodo di mediazione	Valore Obiettivo (condizioni di campionamento)	Data alla quale il valore obiettivo deve essere rispettato
Anno civile	$5 \text{ ng}/\text{m}^3$	31 dicembre 2012
NICHEL (Ni)		
Periodo di mediazione	Valore Obiettivo (condizioni di campionamento)	Data alla quale il valore obiettivo deve essere rispettato
Anno civile	$20 \text{ ng}/\text{m}^3$	31 dicembre 2012

TABELLA 20: D.Lgs. 13/8/2010 n. 155, valori limite e valori obiettivo per i metalli.

## ESAME DEI DATI

I dati riportati nelle tabelle che seguono (TABELLA 21, TABELLA 22, TABELLA 23 e TABELLA 24) si riferiscono alle concentrazioni medie annuali di arsenico, cadmio, nichel e piombo determinate nel materiale particolato aerodisperso PM10, campionato in 12 stazioni ubicate nella città metropolitana di Torino. Dal 2021 presso i punti di misura di Ivrea e Settimo è stata condotta la determinazione degli IPA e non dei metalli.

Le concentrazioni di As, Cd e Ni sono espresse in ng/m<sup>3</sup>, quelle relative al piombo in µg/m<sup>3</sup>.

I limiti previsti dal D.Lgs. 155 del 13/8/2010 sono rispettati per tutti i parametri in tutti i siti monitorati e mostrano un generale decremento nel corso del 2023 rispetto al biennio precedente, tranne che per il Nichel.

La presenza di **arsenico** nelle polveri inalabili si conferma trascurabile, con valori dell'ordine del limite di quantificazione del metodo in tutte le stazioni, anche in siti caratterizzati da traffico veicolare o presenza di attività industriali.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2023 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di ARSENICO nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )										
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Beinasco-TRM	92	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
Borgaro	89	0,7*	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7*	<b>0,7</b>
Carmagnola	85	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	<b>0,7</b>
Ceresole Reale	84	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	<b>0,7*</b>
Druento	92	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
Ivrea	-	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7*	0,7*				
Oulx	89	0,7*	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	<b>0,7</b>
Settimo	-				0,7*	0,7*	0,7	0,7				
Susa	87	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
To-Consolata	87	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	<b>0,7</b>
To-Grassi	89	0,7*	0,7*	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7*	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
To-Lingotto	84	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7*	<b>0,7*</b>
To-Rebaudengo	75	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	<b>0,7*</b>
To-Rubino	93	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 85%

TABELLA 21: concentrazioni medie annuali di arsenico determinate sul Particolato Atmosferico, 2014-2023.

Per il **cadmio** in tutti i siti la concentrazione è significativamente inferiore rispetto al valore obiettivo di 5 ng/m<sup>3</sup>. Nel 2023 si osserva un miglioramento rispetto all'anno precedente nella stazione di Torino-Grassi e Torino-Rebaudengo ed una stabilità di valori per le altre stazioni. Il quadro d'insieme conferma i livelli registrati nel biennio 2018/2019.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2023 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Cadmio nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )										
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Beinasco-TRM	92	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	<b>0,1</b>
Borgaro	89	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1*	0,2	0,1	0,1*	0,1*	<b>0,1</b>
Carmagnola	85	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	0,1	0,1	<b>0,1</b>
Ceresole Reale	84	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*	<b>0,1*</b>
Druento	92	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	0,1	0,1	0,1	<b>0,1</b>
Ivrea	-	0,1	0,1	0,1	0,1*	0,1	0,1*	0,1*				
Oulx	89	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	0,1	0,1	<b>0,1</b>
Settimo	-				0,3*	0,1*	0,1	0,2				
Susa	87	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	<b>0,1</b>
To-Consolata	87	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2*	0,1*	0,1*	0,1*	<b>0,1</b>
To-Grassi	89	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2*	0,2	0,3*	0,3	0,2	0,2	<b>0,1</b>
To-Lingotto	85	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1*	0,1	0,2	0,1	0,1*	0,1*	<b>0,1*</b>
To-Rebaudengo	75	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	<b>0,1*</b>
To-Rubino	93	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1*	0,1*	0,2	0,1	0,1	0,1	<b>0,1</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 85%

TABELLA 22: concentrazioni medie annuali di cadmio determinate sul Particolato Atmosferico, 2014-2023.

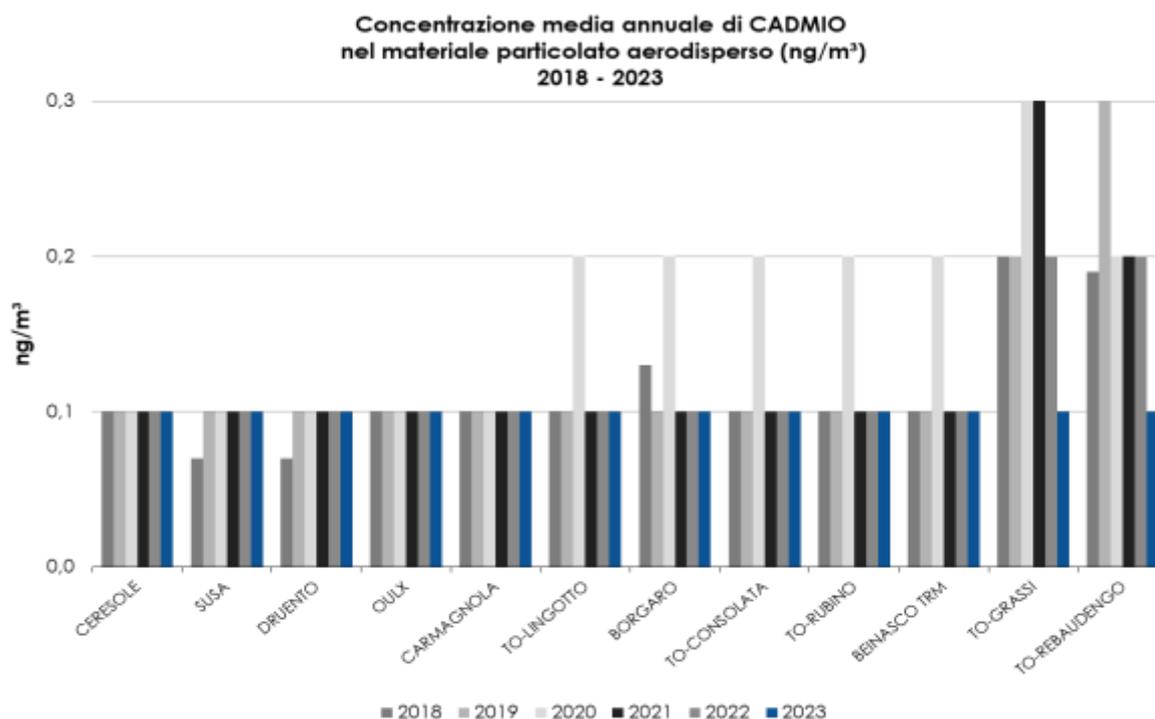


FIGURA 24: concentrazioni medie annuali di cadmio determinate sul Particolato Atmosferico 2018-2023.

Per il **nicel** i valori si confermano ampiamente al di sotto del valore obiettivo previsto dal D.Lgs. n. 155/2010 (20 ng/m<sup>3</sup>); nel dettaglio si osserva che le concentrazioni nel 2023 sono stabili o in aumento rispetto all'anno precedente. L'andamento nel lungo periodo è in decrescita.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2023 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Nichel nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )										
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
Beinasco-TRM	92	2,7	3,0	2,2	2,7	2,2	2,4	1,7	1,8	2,2	<b>2,0</b>	
Borgaro	89	3,0*	4,3*	2,4	4,2	2,2	2,2*	2,1	1,9	1,7*	<b>1,8</b>	
Carmagnola	85	2,5	3,0	1,9	2,9	2,2	2,7	1,8	1,6*	1,5	<b>3,3</b>	
Ceresole Reale	84	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8*	0,8*	0,9*	0,7*	0,8*	<b>0,7*</b>	
Druento	92	1,5	3,8	1,1	2,6	1,3	1,8	1,2*	2,5	1,1	<b>1,3</b>	
Ivrea	-	2,2	3,0	1,6	2,2*	1,4	1,5*	1,5*				
Oulx	89	1,8*	1,7*	1,3	2,0	1,3	1,6	1,1	1,3*	1,2	<b>1,4</b>	
Settimo	-				4,0*	2,3*	5,6	2,2				
Susa	87	1,9	2,7	1,4	1,4	1,0	1,2	0,9	0,9	0,8	<b>1,0</b>	
To-Consolata	87	4,8	5,3	3,7	3,7	2,7	3,3	3,5*	2,6*	3,2*	<b>3,2</b>	
To-Grassi	89	5,0*	5,5*	3,9	4,8	3,2*	4,6	4,2*	3,8	3,8	<b>4,1</b>	
To-Lingotto	85	3,2	3,3	2,2	2,5	1,4*	1,6	1,3	1,1	1,3*	<b>1,2*</b>	
To-Rebaudengo	75	4,5	4,6	3,0	3,0	2,3	4,0	2,1	1,6	1,9	<b>2,4*</b>	
To-Rubino	93	3,2	3,4	2,0	2,8	1,7*	2,4*	2,3	2,0	1,7	<b>1,9</b>	

\* percentuale di giorni validi inferiore al 85%

TABELLA 23: concentrazioni medie annuali di nichel determinate sul Particolato Atmosferico, 2014-2023.

La concentrazione media annuale più bassa è stata rilevata presso il sito montano di Ceresole e a Susa con un valore pari a 0,7 ng/m<sup>3</sup> mentre nelle altre stazioni della provincia le concentrazioni sono comprese tra 1,0 ng/m<sup>3</sup> e 4,1 ng/m<sup>3</sup>; quest'ultimo è stato registrato presso la stazione di Torino – Grassi ed è il valore più elevato rilevato nel territorio provinciale. Anche a livello di presenza percentuale di nichel nelle polveri PM10 si osserva un generale decremento nel lungo periodo.

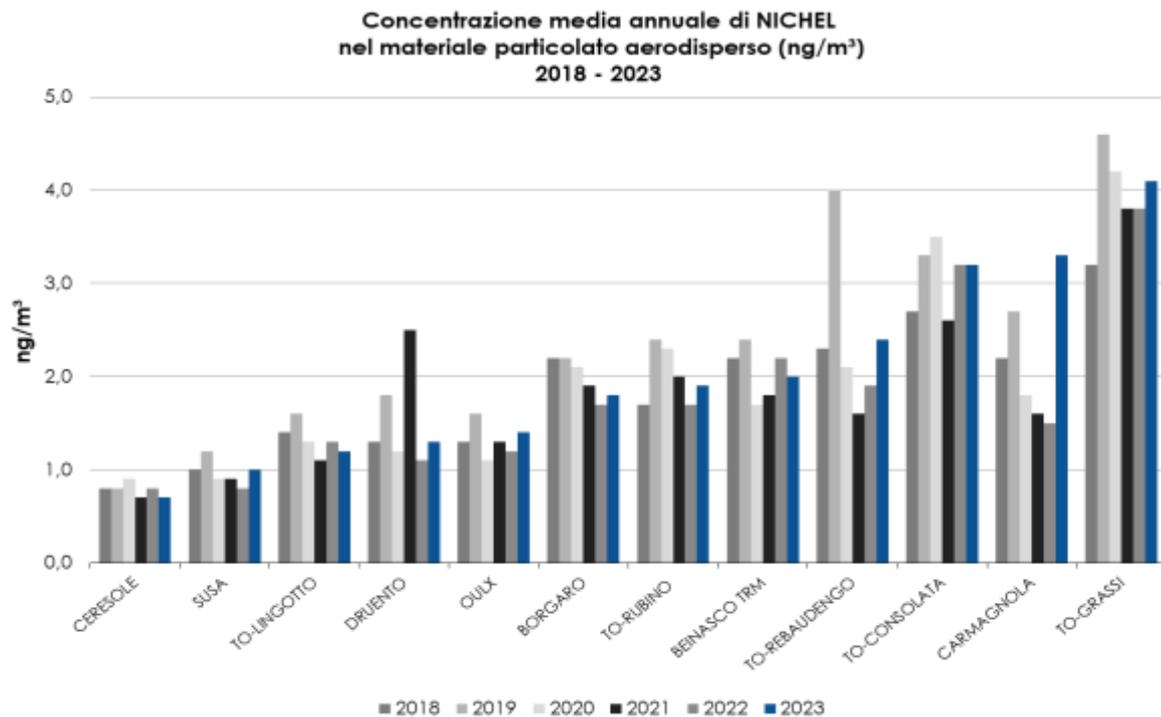


FIGURA 25: concentrazioni medie annuali di nichel determinate sul Particolato Atmosferico – 2018-2023.

Per quanto riguarda il **piombo** in FIGURA 26 è riportata la serie storica a partire dagli anni '70. Attualmente i livelli di piombo sono due ordini di grandezza inferiori rispetto ai rilevamenti dei primi anni di monitoraggio. Già a partire dal 2001 le medie annuali sono di un ordine di grandezza inferiori al limite previsto dalla normativa (0,5 µg/m<sup>3</sup>). Anche per il piombo, si osservano gli andamenti descritti per gli altri metalli: rispetto al 2022 si registra un miglioramento delle concentrazioni, in accordo con l'andamento in decrescita nel lungo periodo.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2023 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Piombo nel materiale particolato aerodisperso (µg/m <sup>3</sup> )									
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Beinasco-TRM		0,008	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	<b>0,004</b>
Borgaro		0,006	0,009	0,007	0,007	0,006	0,005*	0,005	0,005	0,004*	<b>0,003</b>
Carmagnola		0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005*	0,004	<b>0,003</b>
Ceresole Reale		0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001*	0,002*	0,001*	0,002*	<b>0,001*</b>
Druento		0,004	0,004	0,004	0,005	0,003	0,003	0,003*	0,003	0,003	<b>0,002</b>
Ivrea		0,004	0,005	0,004	0,006	0,004	0,004*	0,003*			
Oulx		0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,001	0,002*	0,001	<b>0,001</b>
Settimo					0,015	0,006	0,006	0,007			
Susa		0,004	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	<b>0,002</b>
To-Consolata		0,008	0,010	0,008	0,009	0,006	0,006	0,007*	0,005*	0,006*	<b>0,005</b>
To-Grassi		0,012	0,020	0,011	0,011	0,008	0,01	0,011*	0,015	0,010	<b>0,006</b>
To-Lingotto PM10		0,007	0,009	0,007	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005*	<b>0,003*</b>
To-Rebaudengo		0,015	0,021	0,013	0,016	0,011	0,01	0,011	0,008	0,010	<b>0,005*</b>
To-Rubino		0,007	0,008	0,006	0,007	0,005	0,005*	0,005	0,005	0,005	<b>0,004</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 85%

TABELLA 24: concentrazioni medie annuali di piombo determinate sul Particolato Atmosferico, 2014-2023.

Le stazioni che hanno registrato il valore medio annuale più alto nel 2022 sono quelle di Torino – Grassi, Torino – Rebaudengo e Torino-Consolata. Presso gli stessi punti di misura anche la composizione percentuale di tale metallo nel particolato risulta la più abbondante.

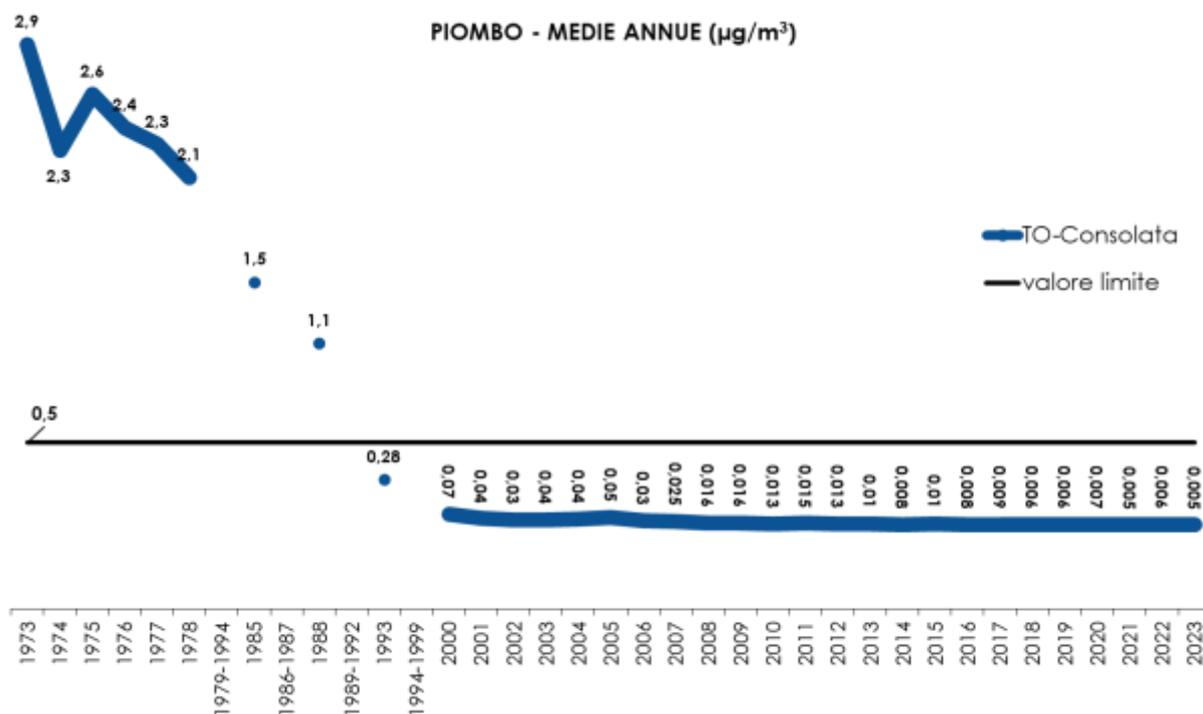


FIGURA 26: parametro piombo, medie annuali misurate presso la stazione di TO-Consolata nel periodo 1973 – 2023.

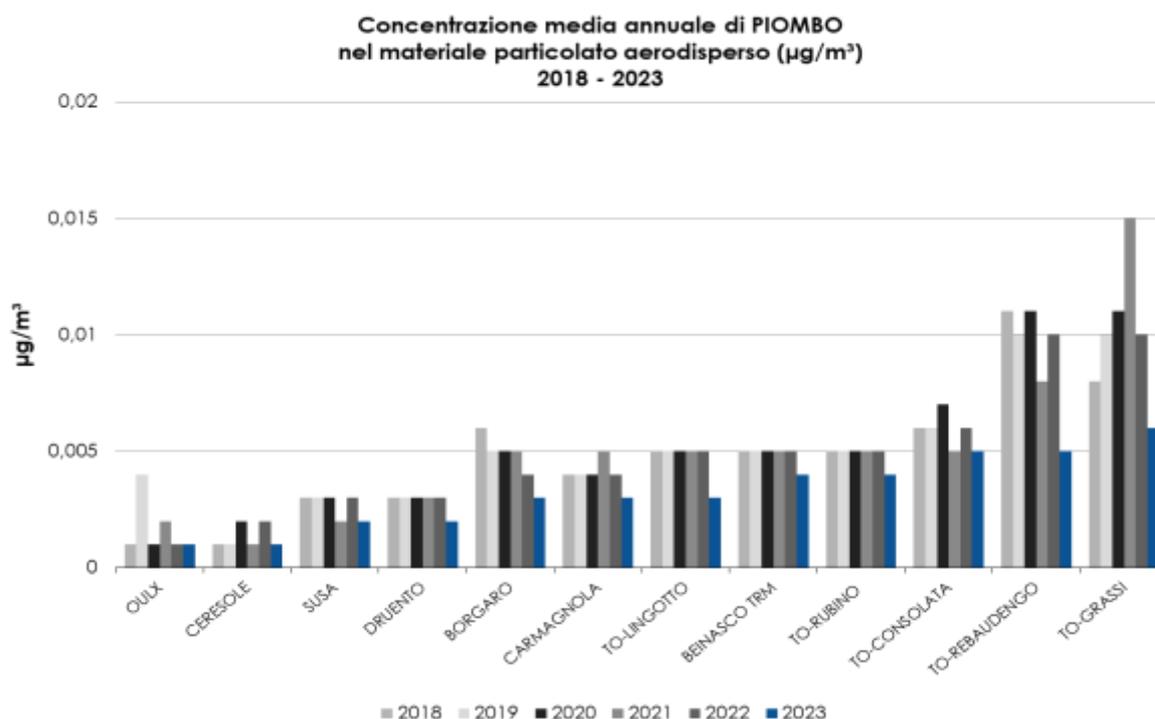


FIGURA 27: concentrazioni medie annuali di piombo determinate sul Particolato Atmosferico – 2018-2023.

A livello provinciale i livelli risultano ampiamente al di sotto del valore limite e la concentrazione più bassa è stata registrata presso le stazioni montane di Oulx e Ceresole. Per quest'ultimo sito questo è dovuto sia alla lontananza dalle fonti di inquinamento antropico, sia per il fatto che la stazione si trova ad un'altitudine alla quale nei periodi invernali non si verificano le condizioni di stabilità atmosferica che determinano i fenomeni di confinamento al suolo degli inquinanti.

Nel complesso i dati relativi ai metalli presenti sul particolato aerodisperso mettono in luce una situazione esente da criticità nella città metropolitana di Torino, grazie alla ridotta presenza sul territorio di significative attività estrattive e metallurgiche, nonché alla dismissione di grandi centrali

termoelettriche a carbone e ad olio combustibile, che sono le principali sorgenti antropiche di metalli pesanti quali arsenico, cadmio e piombo. Il quadro di insieme registrato nel 2023 mostra un sostanziale miglioramento dei livelli rispetto agli anni precedenti.

Per la stazione di qualità dell'aria denominata Beinasco-TRM, prevista ed installata a seguito del progetto di costruzione e avvio dell'inceneritore di rifiuti urbani della Città Metropolitana di Torino (zona Gerbido), tipologia di attività che può essere fonte di metalli pesanti, si osserva per tutti i metalli previsti dalla normativa un livello di concentrazione, negli anni di rilevamento disponibili, paragonabile a quelli rilevati in stazioni di fondo suburbano della rete.

STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato									
	% Cadmio									
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Beinasco-TRM	0,0003	0,0006	0,0007	0,0006	0,0004	0,0004	0,0007	0,0004	0,0003	<b>0,0004</b>
Borgaro	0,0004	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	0,0004	0,0003	<b>0,0004</b>
Carmagnola	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	<b>0,0003</b>
Ceresole Reale	n.c.	n.c.	0,0008	0,0006	0,0006	0,0011	0,0010	0,0010	0,0009	<b>0,0010</b>
Druento	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	<b>0,0005</b>
Ivrea	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007		
Oulx	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0007	0,0006	0,0006	0,0005	<b>0,0006</b>
Settimo				0,0007	0,0003	0,0003	0,0006	0,0004		
Susa	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0004	0,0007	0,0006	0,0008	0,0006	<b>0,0006</b>
To-Consolata	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004	0,0006	0,0004	0,0003	<b>0,0003</b>
To-Grassi	0,0005	0,0007	0,0005	0,0005	0,0004	0,0005	0,0007	0,0006	0,0005	<b>0,0003</b>
To-Lingotto PM10	0,0004	0,0005	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004	0,0007	0,0003	0,0004	<b>0,0004</b>
To-Rebaudengo	0,0007	0,0009	0,0007	0,0006	0,0005	0,0009	0,0006	0,0004	0,0005	<b>0,0003</b>
To-Rubino	0,0004	0,0004	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0006	0,0004	0,0003	<b>0,0004</b>
STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato									
	% Nichel									
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Beinasco-TRM	0,009	0,009	0,008	0,008	0,008	0,009	0,006	0,007	0,008	<b>0,008</b>
Borgaro	0,010	0,012	0,008	0,011	0,007	0,008	0,007	0,007	0,005	<b>0,007</b>
Carmagnola	0,007	0,007	0,005	0,006	0,006	0,008	0,005	0,005	0,004	<b>0,011</b>
Ceresole Reale	0,018	0,013	0,009	0,008	0,007	0,009	0,009	0,007	0,007	<b>0,007</b>
Druento	0,008	0,017	0,005	0,010	0,006	0,009	0,006	0,012	0,005	<b>0,007</b>
Ivrea	0,010	0,011	0,006	0,007	0,006	0,006	0,006	0,009		
Oulx	0,011	0,009	0,008	0,011	0,007	0,011	0,007	0,005	0,006	<b>0,008</b>
Settimo				0,009	0,006	0,016	0,006	0,009		
Susa	0,012	0,015	0,008	0,006	0,006	0,008	0,006	0,011	0,004	<b>0,006</b>
To-Consolata	0,014	0,013	0,011	0,009	0,008	0,012	0,010	0,004	0,010	<b>0,010</b>
To-Grassi	0,012	0,011	0,009	0,010	0,008	0,012	0,010	0,005	0,010	<b>0,012</b>
To-Lingotto PM10	0,010	0,009	0,006	0,006	0,005	0,006	0,004	0,007	0,005	<b>0,005</b>
To-Rebaudengo	0,011	0,011	0,008	0,007	0,006	0,012	0,006	0,007	0,005	<b>0,007</b>
To-Rubino	0,010	0,009	0,006	0,007	0,006	0,009	0,007	0,007	0,005	<b>0,007</b>
STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato									
	% Piombo									
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Beinasco-TRM	0,027	0,024	0,024	0,017	0,018	0,019	0,018	0,019	0,017	<b>0,016</b>
Borgaro	0,019	0,026	0,023	0,018	0,020	0,019	0,017	0,019	0,013	<b>0,012</b>
Carmagnola	0,014	0,012	0,014	0,011	0,011	0,011	0,011	0,015	0,011	<b>0,010</b>
Ceresole Reale	0,020	0,014	0,011	0,018	0,009	0,011	0,020	0,010	0,018	<b>0,010</b>
Druento	0,021	0,017	0,019	0,019	0,014	0,016	0,014	0,014	0,014	<b>0,011</b>
Ivrea	0,017	0,018	0,015	0,019	0,016	0,017	0,011	0,013		
Oulx	0,012	0,011	0,013	0,011	0,006	0,027	0,006	0,012	0,005	<b>0,006</b>
Settimo				0,034	0,017	0,018	0,020	0,018		
Susa	0,025	0,017	0,018	0,018	0,017	0,020	0,019	0,042	0,017	<b>0,013</b>
To-Consolata	0,023	0,025	0,023	0,021	0,018	0,021	0,019	0,019	0,018	<b>0,016</b>
To-Grassi	0,028	0,038	0,026	0,023	0,020	0,026	0,027	0,024	0,025	<b>0,017</b>
To-Lingotto PM10	0,022	0,025	0,021	0,018	0,018	0,019	0,017	0,017	0,018	<b>0,013</b>
To-Rebaudengo	0,038	0,049	0,035	0,035	0,028	0,029	0,031	0,019	0,027	<b>0,015</b>
To-Rubino	0,023	0,022	0,019	0,018	0,017	0,018	0,016	0,019	0,016	<b>0,015</b>

TABELLA 25: concentrazioni medie annuali di cadmio, nichel e piombo determinate sul Particolato Atmosferico, 2014-2023.

## IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI

*Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:*

*E. Calderaro, ARPA Piemonte, Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest.*

### DESCRIZIONE

Gli Idrocarburi Policiclici Aromatici, noti come IPA, sono un ampio gruppo di composti chimici organici formati da più anelli aromatici condensati fra loro che in atmosfera si trovano come miscele di composti. Gli IPA a basso peso molecolare, con due o tre anelli aromatici, si trovano soprattutto nella fase gassosa, mentre i composti ad alto peso molecolare caratterizzati da cinque o più anelli aromatici tendono a presentarsi per lo più in fase solida, adesa alla superficie delle particelle di particolato atmosferico. Il comportamento degli IPA in atmosfera varia, a seconda delle proprietà fisico-chimiche dei singoli composti, della struttura molecolare, delle condizioni atmosferiche (temperatura, umidità, radiazione solare) e delle reazioni con altri inquinanti (ozono, biossidi di azoto e biossido di zolfo).

Gli IPA presenti in aria ambiente si originano prevalentemente dalla combustione incompleta di combustibili a base di carbonio come il carbone, la legna, il petrolio e gli oli combustibili, ma vengono anche prodotti come sostanze di scarto in varie lavorazioni industriali (raffinerie di petrolio, lavorazione metalli grezzi, incenerimento rifiuti, industrie chimiche, ecc.); nelle aree urbane un'altra fonte di IPA è costituita dalle emissioni del traffico veicolare. Questi composti possono anche essere liberati in atmosfera da fonti naturali, quali eruzioni vulcaniche e incendi boschivi.

L'applicazione di tecnologie avanzate per l'abbattimento delle emissioni industriali e l'installazione dei convertitori catalitici sui veicoli a combustione, nonché la maggior diffusione dell'uso gas naturale ai fini della produzione di energia hanno determinato negli ultimi decenni una diminuzione di queste sostanze in aria ambiente.

L'utilizzo delle biomasse per il riscaldamento domestico, invece, pur presentando indubbi benefici in termini di bilancio complessivo di gas serra, determina una produzione di IPA notevolmente maggiore di quella emessa da un impianto alimentato a gas naturale; secondo quanto riportato nel rapporto "EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook" il fattore di emissione per il benzo(a)pirene emesso da un impianto domestico alimentato a legna è di oltre 200 volte superiore<sup>50</sup> di un impianto alimentato a gas naturale.

Dal punto di vista della salute umana, l'esposizione agli idrocarburi policiclici aromatici può avvenire per inalazione, per ingestione di cibo o di bevande contaminate, oppure per via cutanea. Queste sostanze, pur costituendo in termini di massa una percentuale < 0,1% del particolato atmosferico, presentano un'elevata tossicità, in quanto vengono adsorbite prevalentemente sulla frazione di particolato con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm, che è quella che più facilmente raggiunge la regione alveolare del polmone per poi essere veicolata tramite il sistema circolatorio in tutto il corpo; per l'elevata liposolubilità, queste sostanze sono in grado di attraversare le membrane cellulari e di depositarsi nei tessuti adiposi.

La maggior parte dei dati sulla pericolosità degli IPA derivano da studi di laboratorio condotti in vitro o su animali dai quali è risultato che molti composti hanno come effetti sanitari la cancerogenicità, l'immunotossicità e la genotossicità. In particolare, il benzo(a)pirene genera sugli animali da laboratorio tumori a livello di diversi tessuti; è inoltre stata dimostrata la tossicità per inalazione di questo idrocarburo policiclico aromatico, che è in grado di indurre il tumore polmonare in alcune specie.

L'International Agency for Research on Cancer (IARC)<sup>51</sup> classifica il benzo(a)pirene nel gruppo 1 come "cancerogeno per l'uomo", il dibenzo(a,h)antracene nel gruppo 2A come "probabile cancerogeno per l'uomo" mentre tutti gli altri IPA sono inseriti nel gruppo 2B come "possibili cancerogeni per l'uomo".

La normativa italiana (D.Lgs. 155/2010) prevede per gli IPA, determinati nella frazione PM10 del particolato atmosferico, un valore limite di concentrazione esclusivamente per il benzo(a)pirene, (TABELLA 26). Non sono previsti limiti normativi per gli altri IPA perché, essendo il BaP il composto più

<sup>50</sup> EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2023 – <https://op.europa.eu/publication-detail/-/publication/ef079eba-7de9-11ee-99ba-01aa75ed71a1> Part B: Technical chapters 1.A.4. Small Combustion - Tab. 3.4 pag. 33 e Tab. 3.6 pag. 35

<sup>51</sup> International Agency for Research on Cancer (IARC) –Agents reviewed by the IARC monographs Volumes 1-100A last updated 2 april 2009

pericoloso per la salute, viene considerato come rappresentativo dell'inquinamento ambientale dell'intero gruppo degli IPA.

VALORE OBIETTIVO		
Periodo di mediazione	Valore Obiettivo	Data alla quale il valore obiettivo deve essere rispettato
Anno civile	1 ng/m <sup>3</sup>	31 dicembre 2012

TABELLA 26: benzo(a)pirene, valori di riferimento e normativa in vigore.

### ESAME DEI DATI

In TABELLA 27 sono riportate per le stazioni di monitoraggio del territorio metropolitano le concentrazioni medie annuali di Benzo(a)Pirene rilevate nel periodo 2012-2023 nella frazione di particolato atmosferico con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2023 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Benzo(a)pirene nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )											
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Beinasco-TRM	92%		0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	<b>0,4</b>
Borgaro	89%	0,8	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,5	0,4*	<b>0,3</b>
Carmagnola	85%	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,5	0,6	0,7	0,5	0,4	<b>0,4</b>
Ceresole Reale	84%	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0*	0,0	0,0*	0,0	0,0	<b>0,0*</b>
Druento	92%	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3*	0,2	0,2	<b>0,2</b>
Ivrea	95%	0,8	0,9	0,7	<b>1,1</b>	0,8	0,9	0,6	0,7*	0,9	0,5	0,6	<b>0,5</b>
Oulx	89%		0,5	0,5	0,5*	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	<b>0,2</b>
Settimo	87%	1,0	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3*</b>	0,7	0,8	1,0	0,9	0,8	<b>0,6</b>
Susa	87%	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	<b>0,3</b>
To-Consolata	87%	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,4	0,4	0,6*	0,2*	0,4	<b>0,4</b>
To-Grassi	89%	<b>1,1*</b>	<b>1,1</b>	1,0*	<b>1,7*</b>	0,9	1,0	0,7*	0,7	0,9	0,6	0,5	<b>0,5</b>
To-Lingotto	84%	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8	0,5	0,5	0,7	0,4	0,4	<b>0,4*</b>
To-Rebaudengo	75%	0,9	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	0,7	0,9	0,8	0,5	0,5	<b>0,5*</b>
To-Rubino	93%	0,7	0,8	0,7	0,9	0,7	0,7	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	<b>0,4</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 85%

TABELLA 27: concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene rilevate sul Particolato Atmosferico– 2012-2023.

Le concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene misurate nei siti di Ceresole Reale, To-Lingotto e To-Rebaudengo sono calcolate su un numero di dati validi inferiore al 85%, pertanto non sono pienamente rappresentative dell'intero anno solare. La bassa percentuale di dati validi riscontrata per queste stazioni è dovuta a problemi strumentali che si sono verificati sui campionatori nel corso dell'anno.

Si evidenzia che sono stati utilizzati i valori di concentrazione relativi alle medie annuali calcolate partendo dalle medie giornaliere; tali valori potrebbero presentare piccole differenze rispetto al valore ricavato dalle medie mensili, a causa del diverso peso statistico dei singoli mesi.

Presso le stazioni di Borgaro, Ivrea e Settimo, nel 2023 si è riscontrata una diminuzione dei valori di concentrazione media annuale del B(a)P rispetto ai dati del 2022, mentre nelle altre stazioni i valori non sono variati. Si evidenzia che i dati di concentrazione riscontrati nel 2023 risultano per tutte le stazioni inferiori a quelli del 2020. Il valore riscontrato presso la centralina di Ceresole, dal 2018, è pari a 0.0 ng/m<sup>3</sup>, perchè le concentrazioni medie mensili risultano prossime all'ordine di quantificazione del metodo. Questo è dovuto sia alla lontananza dalle fonti di inquinamento antropico (la stazione è collocata in quota a 1.600 m slm e la popolazione residente è costituita da poco più di un centinaio di persone), sia al fatto che la stazione si trova ad un'altitudine alla quale nei periodi invernali non si verificano le condizioni di stabilità atmosferica che favoriscono i fenomeni di accumulo al suolo degli inquinanti, che si verificano presso le altre stazioni della rete di rilevamento.

Per la stazione di Settimo sono stati misurati per il 2023 i valori di concentrazione più elevati della rete di monitoraggio della CMT, con un valore medio annuo di 0,6 ng/m<sup>3</sup>, concentrazione che risulta inferiore all'obiettivo fissato per questo inquinante dalla normativa vigente.

Le concentrazioni medie mensili di Benzo(a)Pirene registrate presso la stazione di Settimo Torinese sono state confrontate con i valori medi, minimi e massimi misurati nelle altre stazioni del territorio provinciale. Come evidenziato in FIGURA 28, le concentrazioni misurate in questa stazione nei mesi

freddi, da novembre a febbraio, si discostano in modo piuttosto evidente dai valori medi misurati in tutte le stazioni di monitoraggio del territorio provinciale.

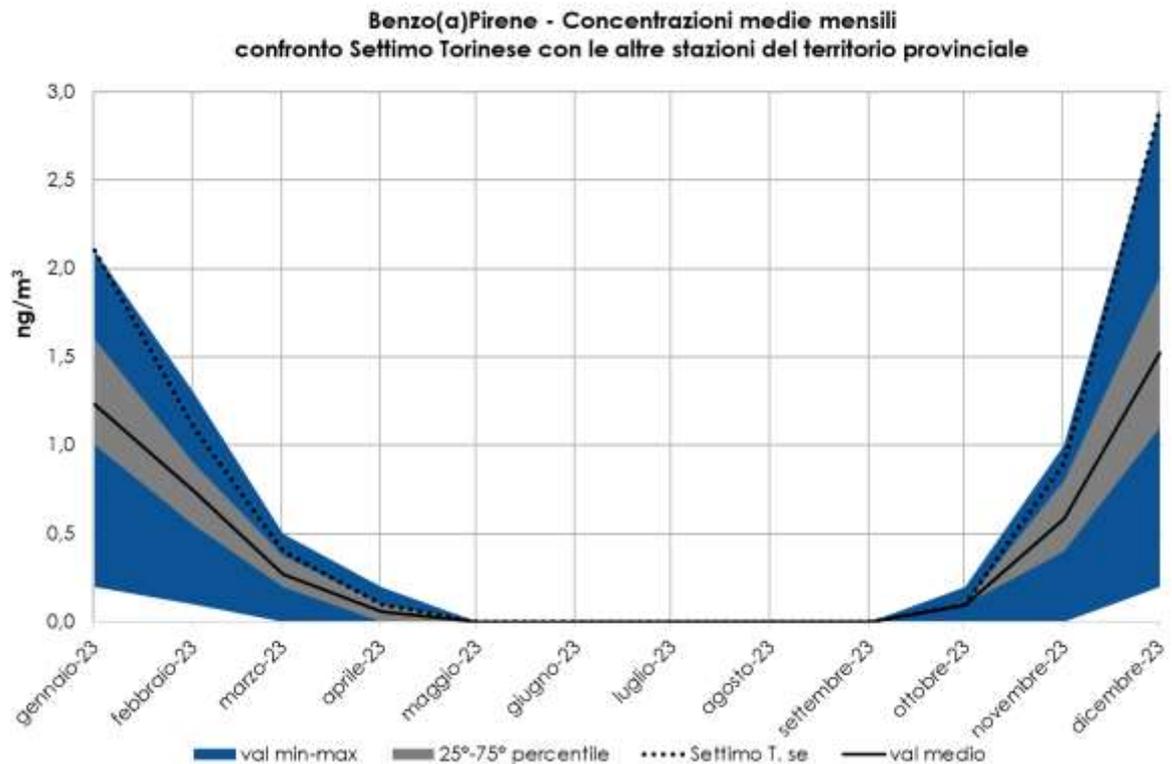


FIGURA 28: andamento mensile della concentrazione di benzo(a)pirene rilevato stazione di Settimo Torinese in relazione alle concentrazioni delle altre stazioni del territorio.

In FIGURA 29 sono stati rappresentati gli andamenti delle concentrazioni medie annuali degli IPA totali (Benzo(a)Pirene + Benzo(a)Antracene + Benzo(b,j,k)Fluorantene + Indeno(1,2,3-cd)Pirene) rilevate presso le stazioni di monitoraggio provinciali dal 2018 al 2023.

Le stazioni che hanno registrato nel 2023 un incremento più marcato, rispetto al 2022, dei valori di concentrazione medie annuali di IPA sono quelle di Oulx (+11%), Susa (+11%) e TO-Rebaudengo (+22%), anche se per quest'ultimo sito i dati non sono pienamente rappresentativi a causa dei numerosi fermi strumentali che hanno determinato una perdita di dati. Per contro, le stazioni che hanno registrato le diminuzioni più significative rispetto al 2023 sono Borgaro (-16%), Ivrea (-11%) e Settimo (-15%). La stazione di Settimo, pur avendo registrato una diminuzione del valore di concentrazione, si conferma essere quella con il valore più elevato di concentrazione media annuale di IPA nel particolato.

Dall'analisi dei dati mensili misurati in queste stazioni si evidenziano andamenti diversi che fanno dedurre che l'incremento/decremento rilevato presso le varie stazioni siano imputabili a situazioni sito specifiche locali. Tuttavia, il trend di diminuzione delle concentrazioni di IPA che si sta riscontrato negli ultimi anni presso alcune stazioni potrebbe essere dovuto all'aumento delle temperature medie minime e massime che determinano nei mesi freddi una riduzione nell'utilizzo delle biomasse per riscaldamento. A tal proposito, l'anomalia termica positiva stimata per il 2023 è di 1,3°C rispetto al trentennio di riferimento 1991-2020; nello specifico, nei mesi autunnali-invernali, interessati dall'utilizzo del riscaldamento, l'anomalia termica è stata sempre positiva: gennaio +0,8°C, febbraio +2°C, ottobre +3,1°C, novembre +0,4°C, dicembre + 2,6°C.

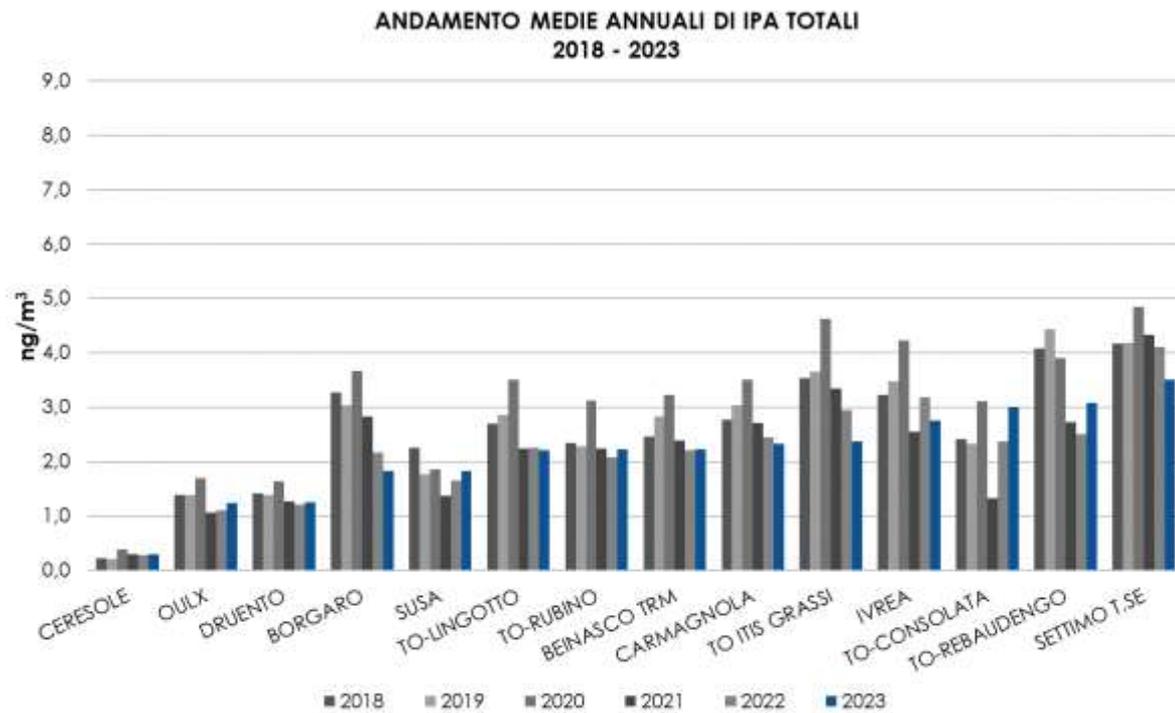


FIGURA 29: andamento medie annuali IPA totali periodo 2018-2023 – Benzo(a)Pirene + Benzo(a)Antracene + Benzo(b,j,k)Fluorantene + Indeno(1,2,3-cd)Pirene.

Oltre all'informazione relativa alla quantità totale di IPA rilevata nei vari siti di monitoraggio, è stato analizzato anche il valore relativo alla percentuale in cui essi sono presenti nella frazione di particolato atmosferico con diametro aerodinamico inferiore a  $10\ \mu\text{m}$ <sup>52</sup>.

Come evidenziato in FIGURA 30, la percentuale di IPA nel particolato presenta una notevole variazione stagionale. Infatti, nei mesi caldi (da aprile a settembre) si osservano percentuali molto basse e piuttosto uniformi nei vari siti, dal momento che l'elevata radiazione solare contribuisce alla degradazione degli IPA e si verificano altresì condizioni atmosferiche favorevoli alla dispersione degli inquinanti. Al contrario, nei mesi freddi autunnali e invernali le polveri risultano maggiormente arricchite di questi composti in quanto si creano condizioni di inversione termica che favoriscono l'accumulo degli inquinanti al quale si somma l'apporto determinato dalle emissioni prodotte dalla combustione della legna nel riscaldamento domestico.

Come per il 2022, le maggiori percentuali di IPA nelle polveri sono state rilevate nelle stazioni di Ivrea, Susa e Settimo T.se, tutte stazioni rappresentative di siti suburbani maggiormente influenzati dalle emissioni prodotte dalla combustione di biomassa utilizzata per il riscaldamento domestico.

Il sito di Ceresole si conferma caratterizzato dalle concentrazioni di IPA più basse di tutto il territorio provinciale, sia come valori assoluti sia come presenza percentuale sul PM10.

Per valutare meglio la variazione delle percentuali di IPA sul particolato nel corso dell'anno, sono stati confrontati gli andamenti mensili delle percentuali di IPA totali delle stazioni di Druento, Susa e To-Consolata (FIGURA 31). Sono state scelte queste stazioni perché sono rappresentative delle diverse situazioni territoriali: la stazione di Druento presenta le caratteristiche di una situazione di fondo di tipo rurale, quella di Susa di fondo suburbano e quella di To-Consolata di una stazione di traffico urbano.

A conferma di quanto evidenziato nel precedente istogramma, anche da FIGURA 31 si evince il basso contenuto percentuale di IPA durante i mesi caldi, con valori equivalenti per le varie stazioni confrontate. Invece, nei mesi freddi i valori sono più elevati a causa delle condizioni climatiche che, come già detto in precedenza, favoriscono l'accumulo degli inquinanti negli strati dell'atmosfera più a contatto con il suolo. Soffermandosi ad analizzare i valori percentuali dei mesi invernali, si osserva che le differenze tra le stazioni sono piuttosto marcate. In particolare, a Susa la percentuale di IPA

<sup>52</sup> Le percentuali utilizzate nelle figure, in riferimento alla media dei mesi freddi e a quella dei mesi caldi, sono calcolate sulla base delle concentrazioni medie giornaliere di IPA e PM10 misurate per il semestre freddo nei mesi di gennaio, febbraio, marzo, ottobre, novembre, dicembre e per il semestre caldo le concentrazioni misurate nei mesi di aprile, maggio, giugno, luglio, agosto, settembre.

nel particolato atmosferico risulta, nei mesi freddi, più elevata rispetto a Druento e TO-Consolata, per l'apporto degli IPA prodotti dalla combustione delle biomasse utilizzate per il riscaldamento domestico.

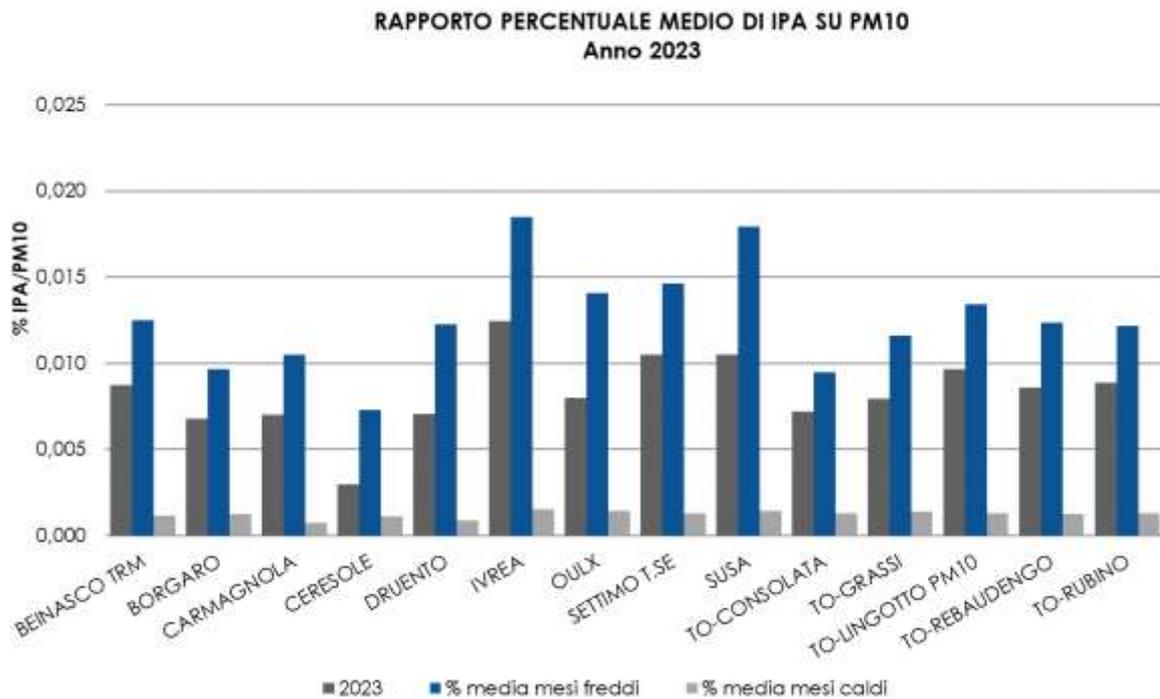


FIGURA 30: percentuale di IPA totali nel PM10 – anno 2023.

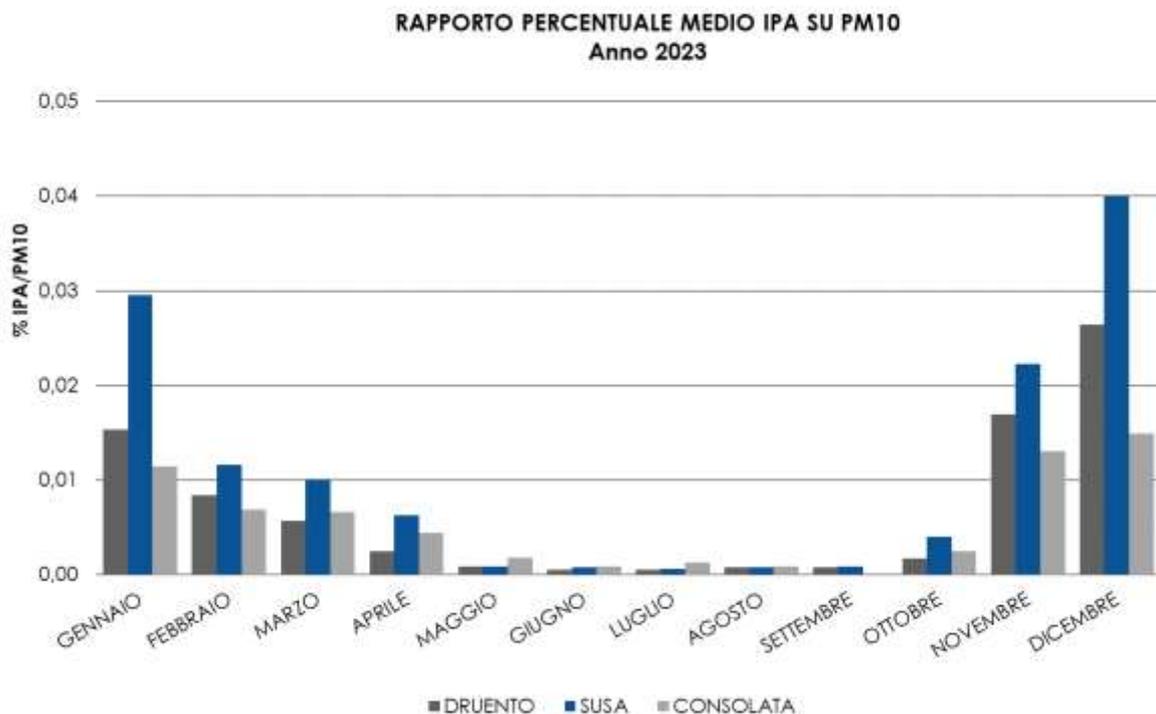


FIGURA 31: percentuale IPA totali nel PM10 – Andamento delle medie mensili – anno 2023.

## MERCURIO ELEMENTARE GASSOSO

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

M.Sacco, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.

### DESCRIZIONE

Il mercurio in atmosfera è presente prevalentemente (95-98%) in forma gassosa come mercurio elementare ( $Hg^0$ ) e in misura minore come composti inorganici o organici quali metil e dimetil mercurio, cloruro di mercurio, idrossido di mercurio e mercurio divalente libero; l'insieme di tutte queste forme è chiamato mercurio gassoso totale.

Il mercurio elementare gassoso è caratterizzato da un'elevata stabilità e volatilità, bassa solubilità e da un tempo di residenza in atmosfera significativo pari a circa 1-2 anni a causa della sua inerzia chimica.

Nonostante il lungo tempo di residenza, negli strati più alti dell'atmosfera ha luogo la conversione del mercurio elementare in forme divalenti tramite processi di ossidazione i quali possiedono però una cinetica lenta e dipendono soprattutto dalla presenza di molecole come ozono e radicali ossidrilici.

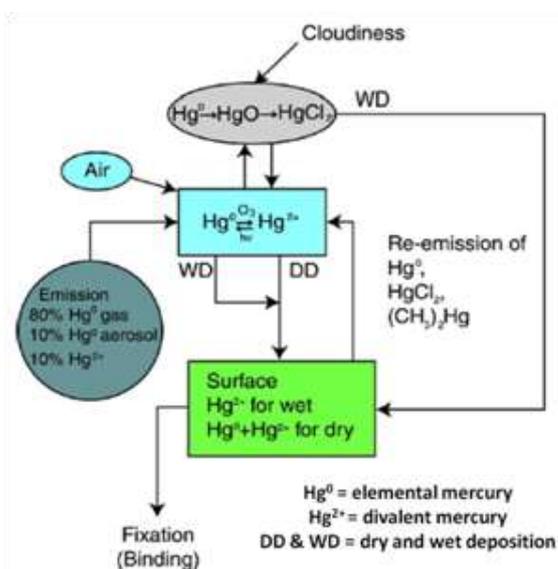


FIGURA 32: mercurio in atmosfera.

Tra i meccanismi di ossidazione più importanti vi sono le reazioni con l'ozono, il radicale ossidrilico, il radicale nitrato e gli alogeni (Cl e Br). Per quanto riguarda le reazioni di riduzione, il processo principale consiste nella fotoreduzione, indotta principalmente dalle radiazioni ultraviolette.

$Hg^0$  è in grado di essere trasportato per distanze molto lunghe (decine di migliaia di km),  $Hg^{2+}$  in fase gassosa può essere disperso per alcune decine fino ad alcune centinaia di km dalla sorgente, mentre il mercurio particolato è solitamente depositato a distanze intermedie, a seconda del diametro e della massa dell'aerosol.

Attualmente il mercurio è impiegato in vario modo in tutto il mondo e le sue emissioni in atmosfera possono essere sia di natura antropica sia di origine naturale. Le fonti antropiche di mercurio elementare gassoso possono essere i combustibili fossili, i processi di combustione ad alta temperatura (es. carbone), impianti di trattamento di cloro-alcali e incenerimento di rifiuti urbani.

Il D.Lgs n°155/2010 e s.m.i. di recepimento della Direttiva 2008/50/CE non prevede valori di riferimento per le concentrazioni di mercurio in aria ambiente, né (Allegato V) un numero minimo di stazioni di misurazione nelle zone e agglomerati definiti dalle pianificazioni regionali, ma unicamente una serie di stazioni speciali a livello nazionale (art. 6, comma 1.c) da individuare con Decreto Ministeriale.

I Decreti Ministeriali 29 novembre 2012 e 5 maggio 2015 hanno individuato come stazioni nazionali speciali sul tema:

- quella dell'Istituto per l'Inquinamento Atmosferico del CNR nel Comune di Montelibretti, in provincia di Roma, in relazione alle concentrazioni del mercurio gassoso totale, alla deposizione totale del mercurio e alla misura e del mercurio bivalente particolato e gassoso;

- le stazioni di Schivenoglia in Provincia di Mantova e quella di Monte Sant'Angelo in Provincia di Foggia, in relazione alle concentrazioni del mercurio gassoso totale e alla deposizione totale del mercurio.

I relativi dati sono stati pubblicati nel Report Ambientale La Qualità dell'aria in Italia, Edizione 2023 di SNPA<sup>53</sup>. La media della stazione di Schivenoglia per il 2022 è di 1,7 ng/m<sup>3</sup> (23% di dati validi), mentre per Montelibretti è di 1,8 ng/m<sup>3</sup> (50% di dati validi), a Monte Sant'Angelo i valori 2022 sono di 1,6 ng/m<sup>3</sup>.

Inoltre, per l'esame dei valori rilevati nella stazione di Beinasco-Aldo Mei si farà riferimento:

1. a dati reperibili in letteratura e in particolare a quanto riportato nei documenti:
  - a) *Ambient Air Pollution by Mercury –Position Paper*, pubblicato nel 2002 da un gruppo di lavoro europeo come supporto scientifico all'emanazione delle Direttive in tema di qualità dell'aria da parte della Commissione Europea;
  - b) *WHO Air Quality Guidelines for Europe*, 2<sup>nd</sup> edition, pubblicato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità nell'anno 2000;
  - c) L'ultima edizione disponibile dell'*AMA/UNEP Technical Background Report for the Global Mercury Assessment*, pubblicato nel 2013 dall'Arctic Monitoring and Assessment Programme e dallo United Nations Environment Programme;
2. ai dati forniti dal Centro Regionale Aria di ARPA Puglia, riferiti alla stazione Torchiarolo Don Minzoni ubicata nel Comune di Torchiarolo, in Provincia di Brindisi, che si trova sottovento a un impianto industriale (centrale termoelettrica a carbone) e i cui dati risultano quindi di particolare interesse nella presente relazione;
3. agli ultimi dati forniti dal Centro Regionale Aria di ARPA Puglia, riferiti alla stazione Monte Sant'Angelo in Provincia di Foggia, stazione di fondo rurale individuata come stazione nazionale speciale, le cui misure sono state avviate il 10/10/2016.

Per quanto riguarda le concentrazioni tipiche di mercurio in aria ambiente, l'Organizzazione Mondiale della Sanità riporta che i valori tipici in aree remote e in aree urbane sono dell'ordine, rispettivamente, di 2-4 ng/m<sup>3</sup> e 10 ng/m<sup>3</sup>. Il documento *Ambient Air Pollution by Mercury–Position Paper* indica che concentrazioni tipiche sono dell'ordine di 1,2-3,7 ng/m<sup>3</sup>, con punte nei siti più impattati dell'ordine di 20-30 ng/m<sup>3</sup>; questi valori sono confermati anche dai dati più recenti messi a disposizione dall'Agenzia Europea dell'Ambiente<sup>53</sup>.

Il documento *AMAP/UNEP Technical Background Report for the Global Mercury Assessment 2013* riporta tra l'altro i dati della stazione del sito EMEP di Waldhof, ubicata in un sito rurale e quindi rappresentativa dei valori di fondo più bassi rilevabili in Europa. La stazione di Waldhof, gestita dall'Agenzia Federale per l'Ambiente della Germania, è uno dei quattro siti europei del GMOS (Global Mercury Observation System), un progetto iniziato nel 2010 con l'obiettivo di sviluppare un sistema coordinato di osservazione del mercurio su scala planetaria.

Per le diverse forme di mercurio aerodisperso le concentrazioni medie annuali rilevate a Waldhof tra il 2009 e il 2011 si situano nei seguenti intervalli:

- tra 1,61 e 1,66 ng/m<sup>3</sup> per il mercurio elementare gassoso;
- tra 6,42 e 7,20 pg/m<sup>3</sup> per il mercurio presente sul PM<sub>2,5</sub>;
- tra 0,73 e 1,72 pg/m<sup>3</sup> per il mercurio ossidato in fase gassosa.

La stazione di Torchiarolo (Br), suburbana di tipo industriale, ha rilevato nel 2023 un valore di media annuale pari a 1,9 ng/m<sup>3</sup>, con un massimo orario di 24,1 ng/m<sup>3</sup>. La stazione di Monte Sant'Angelo (FG), di fondo rurale, ha registrato nel 2023 una media di 1,6 ng/m<sup>3</sup>, con un massimo di 8,0 ng/m<sup>3</sup>.

<sup>53</sup> [Report ambientale SNPA n. 40/2024](#) – ISBN 978-88-448-1207-2, Delibera del Consiglio SNPA n. 232/24 del 31.01.2024

<sup>53</sup> Si veda il rapporto EEA Air quality in Europe — 2015 report, pag. 38

Per quanto riguarda i limiti per la protezione della salute umana, in assenza di indicazioni normative sono stati utilizzati i seguenti riferimenti:

- il valore di linea guida in aria ambiente stabilito dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, che è pari a 1000 ng/m<sup>3</sup> come media annuale per il mercurio inorganico<sup>54</sup>;
- l'RfC (Reference Concentration for Chronic Inhalation Exposure) definito da U.S. – EPA (Environmental Protection Agency), pari a 300 ng/m<sup>3</sup> per il mercurio elementare <sup>55</sup> ;
- l'MRL (Minimal Risk Level) per esposizione cronica definito dall'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), pari a 200 ng/m<sup>3</sup> per il mercurio elementare<sup>56</sup>.

## ESAME DEI DATI

Nella stazione di Beinasco-Aldo Mei il Mercurio elementare gassoso viene rilevato con un analizzatore in continuo, che sfrutta la tecnica spettroscopica di assorbimento atomico ad effetto Zeeman. I dati vengono forniti con mediazioni orarie; gli indicatori statistici relativi all'anno 2023 sono riassunti nella TABELLA 28, mentre la TABELLA 29 riporta nel dettaglio le concentrazioni medie mensili.

Mercurio elementare gassoso (valori di conc. espressi in ng/m <sup>3</sup> )	Beinasco (TRM) - Aldo Mei
Minima media giornaliera	4
Massima media giornaliera	7
Media delle medie giornaliere	5
Giorni validi	332
Percentuale giorni validi	91%
Media dei valori orari	5
Massima media oraria	9
Ore valide	8040
Percentuale ore valide	92%

TABELLA 28: mercurio elementare gassoso: indicatori statistici anno 2023.

Mercurio elementare gassoso (valori di conc. espressi in ng/m <sup>3</sup> )	Beinasco (TRM) - Aldo Mei
Gennaio	5
Febbraio	5
Marzo	4
Aprile	4
Maggio	4
Giugno	4
Luglio	4
Agosto	5
Settembre	5
Ottobre	5
Novembre	5
Dicembre	6

TABELLA 29: mercurio elementare gassoso: concentrazioni medie mensili anno 2023.

A scopo di studio e di approfondimento tecnico-scientifico è stata effettuata la determinazione del mercurio anche sul particolato PM10, con le modalità indicate dalle procedure dell'Agenzia per gli altri metalli. Tali procedure prevedono che al termine di ogni mese solare venga prelevata una porzione definita da ognuno dei singoli filtri campionati giornalmente nel corso del mese stesso; in

<sup>54</sup> WHO Air Quality Guidelines for Europe, 2nd edition, pag. 157-160. Per mercurio inorganico si intende la somma di mercurio allo stato di vapore e dei composti di mercurio divalente. Nella definizione della linea guida non viene considerato il metilmercurio in quanto l'OMS sottolinea che l'esposizione a questo composto per inalazione è alcuni ordini di grandezza inferiore a quella legata alla contaminazione della catena alimentare attraverso gli ecosistemi acquatici. A questo proposito il Position Paper citato specifica (pag. 4 e pag.29) che la contaminazione da mercurio degli ecosistemi acquatici è originata – oltre che dallo scarico diretto di mercurio nei sistemi acquatici - dal lento processo di trasporto dai suoli in cui il mercurio si accumula a causa delle emissioni antropogeniche in atmosfera e dei conseguenti fenomeni di trasporto, trasformazione e deposizione anche su lunga distanza. Nei sistemi acquatici una parte del mercurio si trasforma per azione di microrganismi in composti del tipo del metilmercurio che hanno facilità a bioaccumularsi nella catena alimentare causa la loro caratteristiche lipofile.

<sup>55</sup> US-EPA IRIS (Integrated Risk Information System) Mercury, elemental (CASRN 7439-97-6). In generale, l'RfC è una stima dell'esposizione giornaliera per inalazione della popolazione (inclusi i gruppi sensibili) che è presumibile non dia origine a un rischio significativo per la salute nel corso della vita.

<sup>56</sup> US- ATSDR Toxicological Profiles – Mercury. L' MRL è una stima dell'esposizione umana giornaliera a una sostanza pericolosa che è presumibile non produca un rischio misurabile di danno, con riferimento agli effetti non cancerogeni. L' MRL è calcolato in relazione all'esposizione su un specifico periodo temporale (acuta, intermedia, cronica).

questo modo si ottiene un campione medio composito su cui viene effettuata la determinazione, per cui la concentrazione dei metalli risulta disponibile come valore medio mensile. Le medie mensili del mercurio sul PM10 sono riportate in TABELLA 30.

Mercurio sul PM10 (valori di conc. espressi in ng/m <sup>3</sup> )	Beinasco (TRM) Aldo Mei
Gennaio	< 0,15
Febbraio	< 0,15
Marzo	< 0,15
Aprile	< 0,15
Maggio	< 0,15
Giugno	< 0,15
Luglio	< 0,15
Agosto	< 0,15
Settembre	< 0,15
Ottobre	< 0,15
Novembre	< 0,15
Dicembre	< 0,15

TABELLA 30: mercurio sul PM10 - Concentrazioni medie mensili anno 2023.

Analizzando nel dettaglio la serie temporale del mercurio elementare gassoso, si osserva che i valori misurati nel 2023 si sono costantemente assestati attorno ad alcuni ng/m<sup>3</sup>, con un massimo assoluto orario, verificatosi ad aprile, pari a 9 ng/m<sup>3</sup>.

Sotto il profilo della protezione della salute, anche considerando la somma delle due forme di mercurio aerodisperso (gassoso e presente sul PM10), sia le singole medie mensili che la media annuale risultano nel 2023 inferiori di più di duecento volte al valore di linea guida stabilito dall'O.M.S. e di più di cinquanta volte a quelli stabiliti da U.S. – EPA e ATSDR.

Nella FIGURA 33 è riportato l'andamento temporale delle concentrazioni medie mensili di mercurio dall'attivazione della stazione sino a tutto il 2023. Come riferimento è indicato il valore più restrittivo tra i tre precedentemente citati disponibili nella letteratura scientifica (MRL per esposizione cronica definito dalla Agency for Toxic Substances and Disease Registry degli Stati Uniti). I valori medi rilevati sono inoltre in linea con quanto riportato in letteratura per le aree urbane europee.

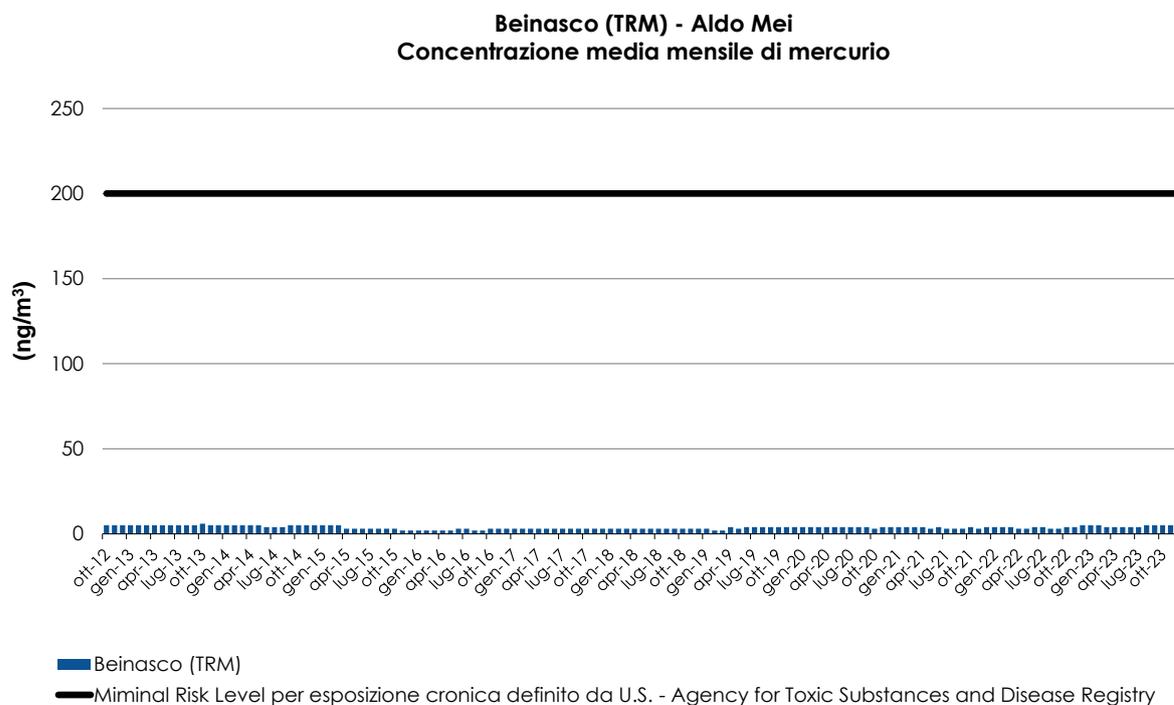


FIGURA 33: andamento delle concentrazioni mensili di mercurio nella stazione di Beinasco Aldo Mei dal 2012 al 2023.

## DEPOSIZIONI ATMOSFERICHE "BULK" DI IPA E METALLI

*Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:*

**A.M. Scibelli, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.**

### DESCRIZIONE

Gli inquinanti atmosferici emessi dalle diverse sorgenti possono essere trasportati dai venti anche per distanze considerevoli, ma possono anche ricadere al suolo a causa di particolari processi chimico-fisici detti genericamente deposizioni. Nel tempo che intercorre dalla loro emissione alla loro ricaduta al suolo, gli inquinanti atmosferici possono andare incontro a processi chimici che ne modificano le caratteristiche e la natura chimica nonché il loro grado di pericolosità nei confronti dell'ambiente. La loro ricaduta al suolo può avvenire con le precipitazioni atmosferiche che danno luogo alle cosiddette "deposizioni umide", con le nebbie sottoforma di minute goccioline (deposizioni occulte) o sotto forma di gas e particelle (deposizioni secche).

Le deposizioni totali (umide + secche) sono particolarmente adatte per misurare la concentrazione ambientale di inquinanti organici, metalli e metalloidi, cui la popolazione è esposta indirettamente attraverso l'accumulo nella catena alimentare. Infatti, l'accumulo degli inquinanti nel suolo può provocare, nel breve periodo, una contaminazione per deposito superficiale e, nel lungo periodo, un aumento della contaminazione delle piante che vi crescono. Questo può aumentare il rischio di trasferimento di tali sostanze all'uomo sia per contatto diretto con piante e suolo sia mediante il consumo di vegetali o di animali che si alimentano di quei vegetali, provocando così l'ingresso di sostanze tossiche nella catena alimentare.

La normativa attualmente in vigore in Italia non prevede valori limite o valori obiettivo per le deposizioni atmosferiche totali, ma fornisce comunque alcune indicazioni di riferimento per i diversi inquinanti presenti.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i flussi di deposizione dei metalli e dei microinquinanti organici presenti nelle deposizioni totali presso i siti di monitoraggio installati nella città metropolitana di Torino. Ogni campionamento svolto da Arpa Piemonte ha la durata di circa un mese, nel corso del quale in un unico contenitore vengono raccolte le deposizioni secche e umide, che poi vengono analizzate in laboratorio. I risultati sono espressi come rapporto tra la quantità di analita in relazione con i giorni di esposizione e per m<sup>2</sup> di superficie esposta. In caso di dati inferiori al limite di quantificazione (LR), nel calcolo dei risultati analitici si è utilizzato l'approccio "medium-bound", sostituendo NR (Non Rilevato) con LR/2 (Limite di Rilevabilità) [Rapporto ISTISAN 04/15].

Nella Città metropolitana di Torino il primo deposimetro è stato installato nel 2007 nella cabina di monitoraggio di Baldissero T.se acquistata da GdF Suez Produzione S.p.A., in ottemperanza alle prescrizioni emanate dal Ministero delle Attività Produttive in fase di autorizzazione alla costruzione e all'esercizio della centrale termoelettrica sita nel comune di Leinì. Secondo quanto previsto da tali prescrizioni, tramite convenzione, i dati prodotti e le analisi effettuate sui campioni sono gestiti da Arpa. Dal 2007 al 2012 nelle deposizioni raccolte presso Baldissero sono stati determinati i metalli a partire da gennaio 2013 a dicembre 2018 invece sono stati determinati gli idrocarburi policiclici aromatici, per indagare il sito anche in merito a questi inquinanti. Dal 2019 è stata nuovamente monitorata la presenza di metalli nelle deposizioni, seguendo l'alternanza tra analisi di metalli e di IPA che si avvicendano ogni 6 anni.

Nel mese di agosto 2012 sono stati installati altri tre deposimetri nella Città Metropolitana di Torino. Le nuove stazioni sono state selezionate in base alle risultanze delle simulazioni modellistiche volte a individuare le aree potenzialmente interessate dalle ricadute del termovalorizzatore TRM avviato nel mese di aprile del 2013. Sono stati scelti tre siti di monitoraggio presso i comuni di Rivalta, Orbassano e Grugliasco in cui a mesi alterni si campionano IPA e metalli. In merito alla costruzione ed autorizzazione del termovalorizzatore, con D.G.P. n. 1317- 433230/2006, successivamente modificata con D.G.P. n. 35-225/2012, l'allora Provincia di Torino ha espresso giudizio positivo di compatibilità ambientale prevedendo, tra le diverse prescrizioni, l'installazione di una cabina di monitoraggio della qualità dell'aria nel punto di potenziale massima ricaduta, con l'obbligo per TRM S.p.A. di affidarne la gestione tecnica ad Arpa Piemonte. La cabina è stata installata nel comune di Beinasco presso il giardino pubblico Aldo Mei a partire da novembre 2012. In tale sito vengono determinate tutti i mesi le deposizioni di IPA e metalli tramite due campionatori bulk.

Pur descrivendo in modo dettagliato la metodica di campionamento, la norma non prevede livelli limite o valori obiettivo per i vari composti analizzati, per cui dove disponibili sono presi come confronto i valori reperibili in letteratura.

Prima di presentare i risultati occorre fare ancora una importante precisazione in merito ai dati del 2020. La pandemia di Covid-19 scoppiata improvvisamente a fine febbraio 2020, ha avuto un impatto significativo sui campionamenti delle deposizioni atmosferiche. Per un lungo periodo durante il lockdown primaverile e i successivi mesi estivi, non è stato possibile raggiungere alcune stazioni di misura della rete di monitoraggio provinciale. Il dato di IPA e metalli nelle deposizioni totali - soprattutto nelle stazioni di Orbassano, Rivalta e Grugliasco risulta quindi sovrastimato e poco rappresentativo del periodo di mediazione considerato.

## ESAME DEI DATI

### Idrocarburi policiclici aromatici

Secondo il d.lgs. 155/2010 la presenza di benzo(a)pirene - indicatore dell'andamento di tutta la classe di Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) - nell'aria ambiente non deve superare 1 ng/m<sup>3</sup> come media annuale nella frazione PM10, ma non vengono date indicazioni per valori nelle deposizioni.

Nella TABELLA 31 sono riportati i dati di IPA relativi ai campioni raccolti e analizzati nel 2023 e negli anni precedenti (2013-2022) presso tutte le stazioni di misura. Ricordiamo che per la stazione di Baldissero Torinese dal 2019 al 2024 non è prevista la misura degli IPA, bensì quelle dei metalli. Inoltre, il dato degli IPA per le stazioni di Orbassano, Rivalta e Grugliasco nel 2020 non è rappresentativo del valore medio annuo a causa del ridotto numero di campionamenti mensili svolti, come spiegato nel paragrafo precedente.

Il grafico di FIGURA 34 presenta i dati degli IPA totali nelle deposizioni nel 2023. In genere, come accade anche negli anni precedenti, le stazioni di Beinasco - TRM e Orbassano presentano i valori più elevati dei quattro IPA misurati. Si tratta d'altronde delle stazioni caratterizzate da un impatto antropico maggiore: Beinasco - TRM si trova in prossimità di diverse e importanti arterie stradali; il punto di prelievo di Orbassano si trova all'interno del complesso di edifici dell'ospedale San Luigi su cui insiste un ampio bacino di utenza. I valori minimi si registrano principalmente nella stazione di Rivalta, sita nella periferia a sud ovest della città di Torino in un'area della SMAT adibita a campo pozzi, lontano centinaia di metri dalle principali arterie di traffico. Dal grafico di FIGURA 34 è possibile inoltre osservare che anche nel 2023 il Benzo(a)pirene, considerato critico per l'uomo, non risulta essere preponderante rispetto agli altri contaminanti, la cui componente maggioritaria è rappresentata dal Benzo [b+j+k]fluorantene.

Nella TABELLA 32 sono riportati alcuni dati disponibili in letteratura. Come si può osservare, i dati di Benzo(a)pirene misurati sul territorio provinciale sono comparabili con quelli registrati delle aree rurali nazionali ed europee.

Nei grafici della FIGURA 35 vengono presentati gli andamenti storici degli IPA nelle deposizioni totali dal 2013 al 2023. Per facilità di comprensione nel grafico di ogni parametro è stata indicata la fascia dei valori minimi e massimi provinciali e il dato annuale misurato nella stazione di Beinasco TRM. Si fa notare che il dato massimo del 2020 è sicuramente sovrastimato per tutti i parametri analizzati a causa del ridotto numero di campionamenti mensili svolti nel periodo primaverile-estivo di quell'anno. Per continuità grafica si è deciso di non eliminare il valore massimo del 2020, si consiglia, tuttavia, di tenere conto di tale evidente sovrastima nell'analisi dell'andamento storico di ogni parametro.

Per il benzo(a)pirene, l'Indeno[1,2,3-cd]pirene e il fluorantene è possibile evidenziare una significativa tendenza alla diminuzione dei flussi totali di deposizione dal 2013 al 2023, sia nei valori minimi e massimi provinciali sia nei valori annuali della stazione di Beinasco TRM.

Anche per il Benzo[a]antracene la diminuzione è evidente benché meno significativa che per gli altri IPA.

Stazione	Anno	Benzo[a]pirene	Indeno[1.2.3-cd]pirene Flusso di deposizione ng/(m2*d)	Benzo[a]antracene	Benzo [b+j+k]fluorantene
Baldissero	2014	6,2	15,9	6,5	29,6
	2015	9,1	11,5	6,6	24,9
	2016	6,1	13,9	4,4	22,2
	2017	9,3	9,3	5,8	16,8
	2018	5,9	11,1	3,5	15,2
	2019	-	-	-	-
	2020	-	-	-	-
	2021	-	-	-	-
	2022	-	-	-	-
	2023	-	-	-	-
Grugliasco	2014	6,9	8,7	5,2	19,5
	2015	7,5	8,9	8,1	22,0
	2016	6,9	9,4	4,6	18,4
	2017	14,3	21,0	13,2	31,9
	2018	10,5	19,4	10,6	35,7
	2019	3,8	9,7	3,8	14,4
	2020	4,7	5,5	4,8	12,4
	2021	2,3	4,6	2,5	9,9
	2022	9,1	4,4	2,5	7,1
	2023	<b>3,2</b>	<b>4,3</b>	<b>4,4</b>	<b>8,5</b>
Rivalta	2014				
	2015	5,3	7,8	5,4	24,3
	2016	10,1	9,3	5,7	21,9
	2017	15,1	17,1	9,0	24,0
	2018	10,6	22,2	8,8	35,9
	2019	4,0	8,6	3,5	13,7
	2020	16,1	20,7	24,6	18,4
	2021	3,6	3,7	2,6	7,1
	2022	4,7	3,7	4,3	7,8
	2023	<b>4,6</b>	<b>5,0</b>	<b>4,6</b>	<b>7,4</b>
Orbassano	2014	10,4	12,5	10,4	18,4
	2015	5,8	7,7	7,7	18,3
	2016	8,9	11,4	8,4	24,9
	2017	11,2	18,0	10,6	25,4
	2018	7,8	18,1	18,1	28,2
	2019	6,6	11,2	11,2	19,5
	2020	9,6	33,0	24,6	18,4
	2021	4,1	5,1	4,1	8,1
	2022	4,9	3,2	3,0	5,8
	2023	<b>5,9</b>	<b>7,6</b>	<b>6,5</b>	<b>13,4</b>
Beinasco (TRM) Aldo Mei	2014	8,3	18,9	10,2	26,9
	2015	7,3	8,9	7,1	19,2
	2016	6,2	9,9	4,5	18,2
	2017	10,3	18,5	7,5	22,8
	2018	7,9	10,2	4,9	17,7
	2019	6,6	9,9	4,2	18,0
	2020	5,9	6,0	5,0	10,3
	2021	4,3	5,6	4,2	9,7
	2022	3,2	3,7	3,7	8,8
	2023	<b>4,1</b>	<b>5,4</b>	<b>4,1</b>	<b>9,8</b>

TABELLA 31: IPA nelle deposizioni totali – medie annuali nel periodo 2013-2023.

Descrizione sito		B[a]P (ng/m <sup>2</sup> d)	Riferimenti bibliografici	
AREE RURALI min –max	Italia	Melfi	1,9-6,9	Menichini et al. 2006
		Laguna di Venezia	6-9	Rossini et al. 2001, magistrato acque 2000
	Finlandia	Pallas	2-10	EMEP 2005
	Svezia	Rorvik	5-17	EMEP 2005
AREE URBANE media annua	Italia	Venezia	30	Rossini et al. 2001, magistrato Acque 2000
	Francia	Parigi	25	Motelay-Massei et al. 2003
	Inghilterra	Cardiff	219	Halsall et al. 1997
		Manchester	300	

TABELLA 32: dati estratti dalla letteratura Benzo(a)Pirene (Fonte convegno Istituto Superiore di Sanità).

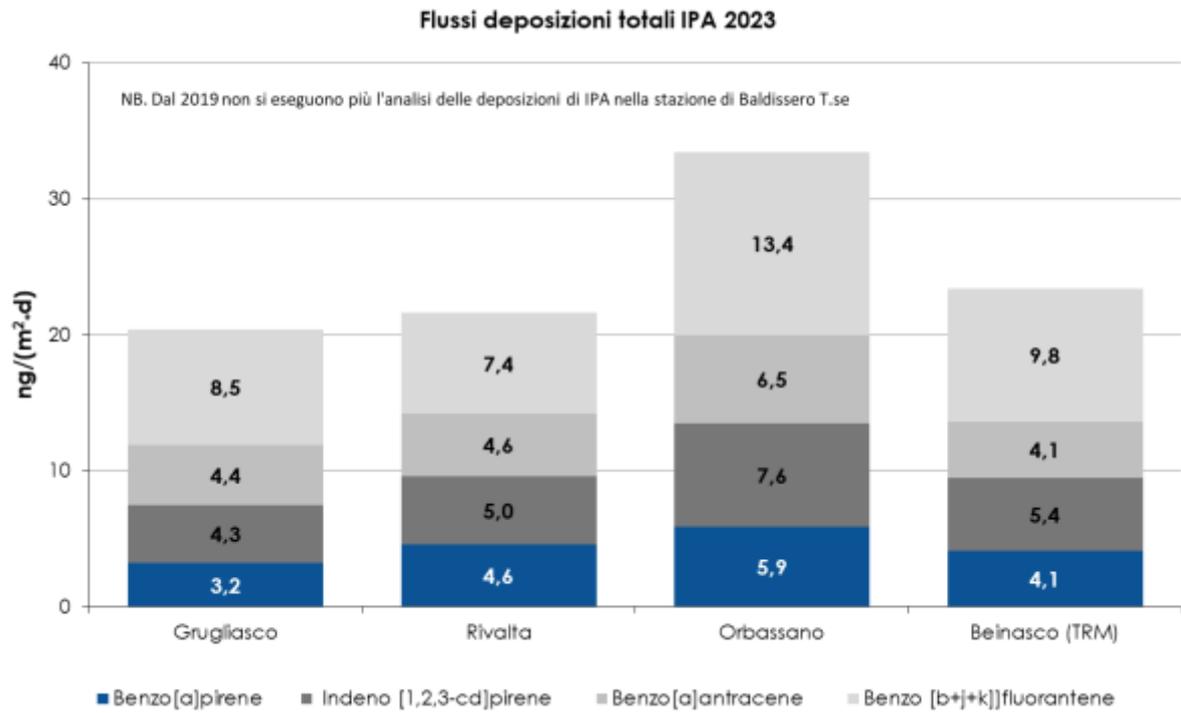


FIGURA 34: grafico di confronto flussi deposizioni totali anno 2023.

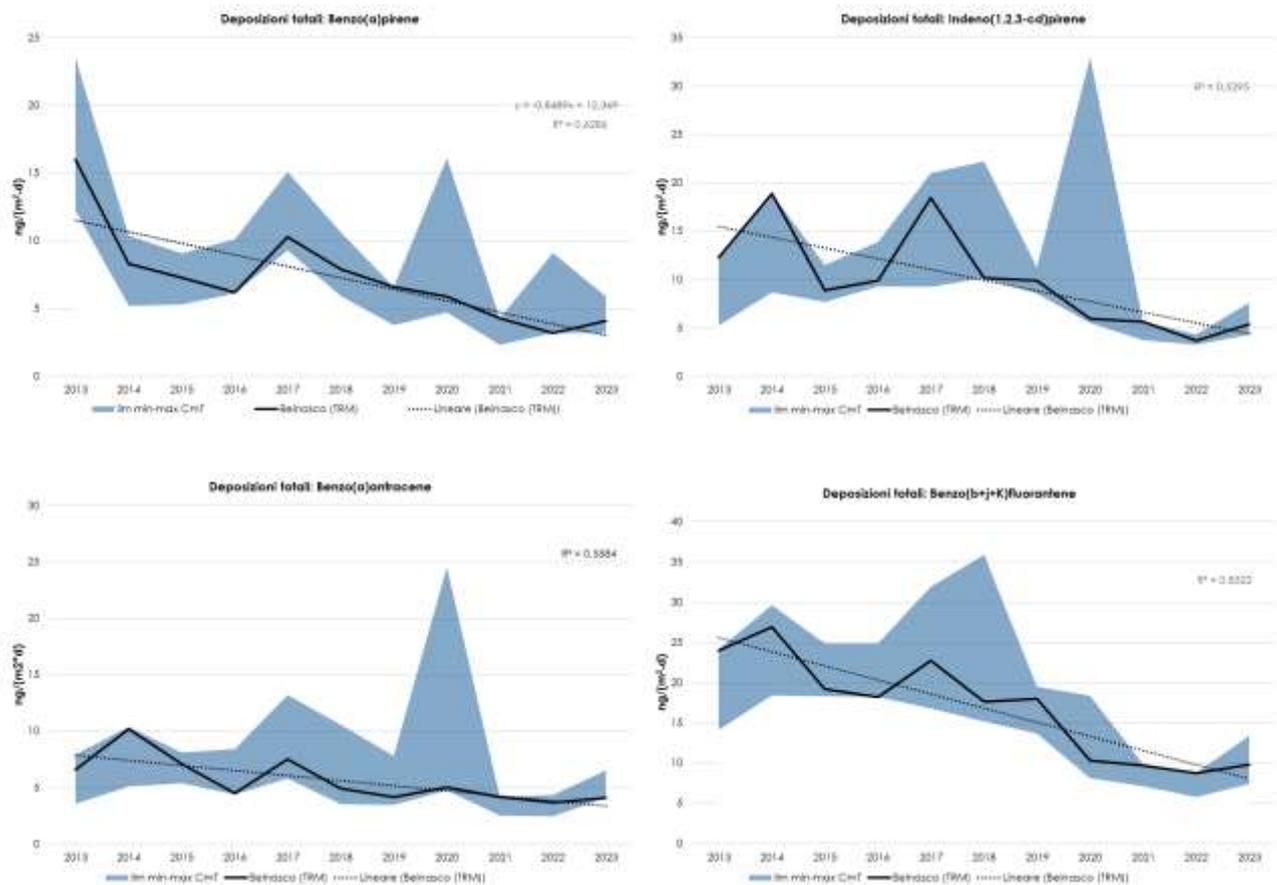


FIGURA 35: IPA nelle deposizioni totali, confronto andamento 2013-2023.

## METALLI

Come detto in premessa, la determinazione dei metalli nelle deposizioni nella città metropolitana di Torino ha avuto inizio nel 2007 presso la stazione di Baldissero T.se utilizzando campionatori wet & dry. A marzo 2012 tale campionario è stato sostituito con un deposimetro bulk e a partire da gennaio dello stesso anno la Struttura Semplice di Arpa "Laboratorio Specialistico Nord Ovest" del Dipartimento Territoriale Piemonte Nord Ovest ha messo a punto la metodica analitica conforme al D. lgs 155/2010 e alla norma BS EN 15841/2009.

Da agosto 2012 è iniziata la determinazione dei metalli nelle deposizioni bulk presso i punti di massima ricaduta delle emissioni del termovalorizzatore TRM nelle stazioni di: Grugliasco – Circolo Golf, Str. del Gerbido, Rivalta – Campo Pozzi SMAT, Frazione Dojrone e Orbassano – Ospedale San Luigi (la determinazione mensile dei metalli si alterna con le determinazioni di IPA). Da novembre 2012 è stato installato un deposimetro bulk anche nella cabina di monitoraggio di Beinasco – Aldo Mei. Le determinazioni risultano confrontabili per metodo di campionamento, analisi e omogeneità di copertura annuale a partire dal gennaio 2013 (i dati sono riportati in TABELLA 33). Oltre a Piombo, Arsenico, Cadmio, Nichel e Mercurio, a scopo di studio, ARPA Piemonte ha deciso di indagare la presenza di: Cobalto, Cromo, Rame, Selenio, Vanadio e Zinco.

Si sottolinea che nel calcolo dei risultati analitici in caso di dati inferiori al limite di quantificazione, si è utilizzato l'approccio "medium-bound", sostituendo NR (Non Rilevato) con LR/2 (Limite di Rilevabilità) [Rapporto ISTISAN 04/15]; ciò comporta che in alcuni casi, ad esempio l'arsenico, il dato finale possa apparire leggermente superiore in un sito rispetto all'altro pur essendo tutti sotto il limite di quantificazione. Anche per il selenio nella maggior parte dei campioni è risultato sotto il limite di quantificazione del metodo.

Dai dati riportati in TABELLA 33 si osserva che per ogni metallo nei siti di misura l'ordine di grandezza dei flussi di deposizione risulta confrontabile nel corso degli anni di monitoraggio (2013–2023). Si evidenzia che nel 2023 per molti metalli un lieve aumento dei flussi di deposizione rispetto all'anno precedente, frutto con ogni probabilità di diverse condizioni meteorologiche.

Anche per i metalli, analogamente a quanto avviene per gli Idrocarburi Policiclici Aromatici, la normativa italiana e comunitaria non indica valori limite, ma prevede la sola determinazione nelle deposizioni di arsenico, cadmio, piombo e nichel (gli altri metalli sono stati quantificati da Arpa Piemonte a scopo di studio). Alcuni Paesi hanno definito dei valori limite espressi in termini di media annuale dei tassi di deposizione giornaliera per i parametri deposizioni totali, cadmio, piombo e tallio riportati, come riferimento, in TABELLA 34.

Nel grafico di FIGURA 36 sono stati rappresentati i flussi di deposizioni totali misurati nel 2023 presso tutte le stazioni della Città Metropolitana di Torino. Il tipo di grafico selezionato (colonne in pila) è stato scelto perché permette di apprezzare sia i flussi dei singoli metalli sia il totale dei flussi in ogni stazione di misura. Così come per gli IPA, anche per i metalli le stazioni più critiche risultano Orbassano e Beinasco-TRM, dove a fare la differenza sono soprattutto alti valori di piombo, elemento indicatore, tra l'altro, di sorgenti da intenso traffico veicolare. Nel grafico di FIGURA 36, sono stati omessi i dati relativi allo zinco, perché i flussi di zinco sono in genere maggiori di uno o due ordini di grandezza rispetto a tutti gli altri metalli e, se rappresentati, avrebbero compromesso la leggibilità del grafico.

Nei grafici successivi (da FIGURA 37 a FIGURA 41) sono stati riportati per ogni metallo gli andamenti nelle deposizioni totali delle analisi effettuate nel periodo 2013-2023. Anche per i metalli si è deciso di semplificare la rappresentazione grafica dell'andamento storico di ogni metallo tramite l'utilizzo di una fascia di valori minimi e massimi provinciali e la linea dei flussi annuali della stazione di Beinasco TRM. In merito al 2020, vale inoltre la stessa considerazione fatta per gli IPA: il dato massimo del 2020 è sicuramente sovrastimato a causa del ridotto numero di campionamenti mensili svolti nel periodo primaverile-estivo di quell'anno. Come si osserva dai grafici, in generale nel corso degli anni la presenza di metalli nelle deposizioni totali varia e non è possibile, salvo poche eccezioni, evidenziare una tendenza in diminuzione a partire dal 2013.

		Flusso di deposizione $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$									
		As	Cd	Co	Cr	Ni	Pb	Cu	Se	V	Zn
BALDISSERO	2019	1,4	0,2	1,4	2,6	2,9	6,7	5,8	1,4	1,8	53,8
	2020	9,9	0,6	1,2	1,6	2,0	5,8	4,8	1,2	1,3	38,8
	2021	1,2	0,1	0,6	1,8	1,4	5,6	3,7	0,7	1,1	68,3
	2022	0,7	0,1	0,5	1,7	1,5	5,3	3,2	0,5	1,8	35,0
	2023	<b>1,3</b>	<b>0,1</b>	<b>1,3</b>	<b>4,0</b>	<b>2,2</b>	<b>4,5</b>	<b>4,3</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>89,7</b>
GRUGLIASCO	2014	2,1	0,2	2,2	4,4	4,6	3,8	13,6	2,1	3,2	35,2
	2015	1,6	0,2	1,6	2,7	2,8	5,2	12,3	1,6	1,8	41,0
	2016	1,0	0,1	1,0	4,7	2,7	4,4	11,9	1,0	1,5	44,9
	2017	0,9	0,1	0,9	4,1	2,9	6,7	11,8	0,8	1,3	76,1
	2018	1,8	0,3	0,9	3,3	3,3	3,9	10,6	1,9	1,5	47,8
	2019	0,9	0,1	0,9	3,1	2,8	3,9	11,0	0,8	1,7	56,5
	2020	0,5	0,1	0,5	1,9	2,5	2,5	7,1	0,5	0,7	32,6
	2021	1,1	0,1	0,7	2,4	2,0	3,2	7,5	0,8	1,1	40,6
	2022	0,4	0,0	0,3	3,1	2,0	3,3	5,4	0,2	0,7	34,2
2023	<b>1,7</b>	<b>0,1</b>	<b>1,1</b>	<b>3,1</b>	<b>2,6</b>	<b>2,9</b>	<b>5,9</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>77,3</b>	
RIVALTA	2014	2,2	0,2	2,3	3,8	3,1	3,2	10,6	2,2	3,0	69,7
	2015	1,3	0,2	1,3	2,6	3,4	5,4	10,7	1,3	1,9	43,4
	2016	1,0	0,2	1,0	5,6	2,2	3,4	7,6	1,0	1,7	37,1
	2017	0,9	0,1	0,9	2,7	2,2	5,0	9,5	0,9	1,3	76,9
	2018	1,9	0,3	2,1	3,2	3,3	5,2	17,8	2,0	2,4	60,7
	2019	0,8	0,1	0,8	1,7	2,2	4,4	9,2	0,8	1,7	54,3
	2020	0,6	0,1	0,6	2,3	2,3	2,8	6,3	0,6	1,5	41,5
	2021	1,2	0,1	0,7	3,2	2,4	2,8	6,5	0,8	1,1	45,1
	2022	0,4	0,0	0,3	2,7	1,3	2,3	3,9	0,2	0,5	34,8
2023	<b>1,5</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>2,4</b>	<b>2,0</b>	<b>2,7</b>	<b>4,4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>84,6</b>	
ORBASSANO	2014	2,2	0,3	2,3	4,5	10,3	22,7	12,9	2,1	3,2	54,8
	2015	1,4	0,2	1,4	2,7	4,0	17,5	12,2	1,3	1,7	80,7
	2016	0,9	0,4	1,0	6,0	3,9	21,1	13,9	0,9	2,1	103,1
	2017	1,0	0,2	1,0	4,7	3,6	22,2	12,8	0,9	1,5	92,0
	2018	1,9	0,3	1,1	5,5	3,5	11,8	8,3	2,0	2,3	80,5
	2019	0,8	0,2	0,9	3,9	4,4	16,6	11,8	0,8	1,7	73,4
	2020	0,6	0,2	0,8	3,2	5,0	13,9	8,0	0,6	1,1	48,4
	2021	1,2	0,2	1,0	4,9	3,6	23,1	9,2	1,1	1,2	84,2
	2022	0,4	0,1	0,4	4,1	2,8	17,4	7,8	0,3	0,8	62,8
2023	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>4,2</b>	<b>3,0</b>	<b>18,4</b>	<b>7,7</b>	<b>0,3</b>	<b>0,8</b>	<b>61,5</b>	
BEINASCO (TRM) ALDO MEI	2014	1,9	0,2	1,8	4,2	11,7	10,7	14,6	1,9	3,1	100,7
	2015	1,4	0,1	1,4	3,1	3,2	11,3	11,9	1,3	1,7	85,6
	2016	1,3	0,1	1,5	6,3	2,9	6,6	12,2	1,3	1,9	98,3
	2017	1,0	0,2	1,1	4,2	3,3	7,9	14,1	1,0	1,7	126,9
	2018	1,8	0,2	1,9	3,2	4,5	7,5	18,9	1,8	2,1	131,0
	2019	1,7	0,3	1,7	4,2	4,2	8,4	15,8	1,7	2,3	144,6
	2020	1,0	0,1	1,0	2,5	2,6	6,6	11,4	1,2	1,4	120,6
	2021	1,4	0,1	1,4	6,1	5,1	13,1	13,0	1,2	2,8	242,2
	2022	0,6	0,1	0,7	3,6	2,5	7,3	8,9	0,5	1,1	98,1
2023	<b>1,5</b>	<b>0,2</b>	<b>1,6</b>	<b>5,7</b>	<b>4,4</b>	<b>6,8</b>	<b>12,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,9</b>	<b>157,8</b>	

TABELLA 33: metalli nelle deposizioni totali – indicatori statistici anno 2014-2023.

Nazione	Deposizione atmosferica totale (media annuale) $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	Cd $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	Pb $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$	Tl $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$
Austria	–	2	–	–
Germania	350-650 (*)	5	250	10
Svizzera	–	2	–	–
Spagna	200	–	–	–
Finlandia	333	–	–	–
Argentina	333	–	–	–
Canada	153-180	–	–	–
USA	183-262	–	–	–

\*breve periodo

TABELLA 34: valori limite internazionali per le deposizioni atmosferiche totali e per alcuni elementi contenuti nelle deposizioni – estratta da Rapporto ISTISAN 06/43 (Tabella 7).

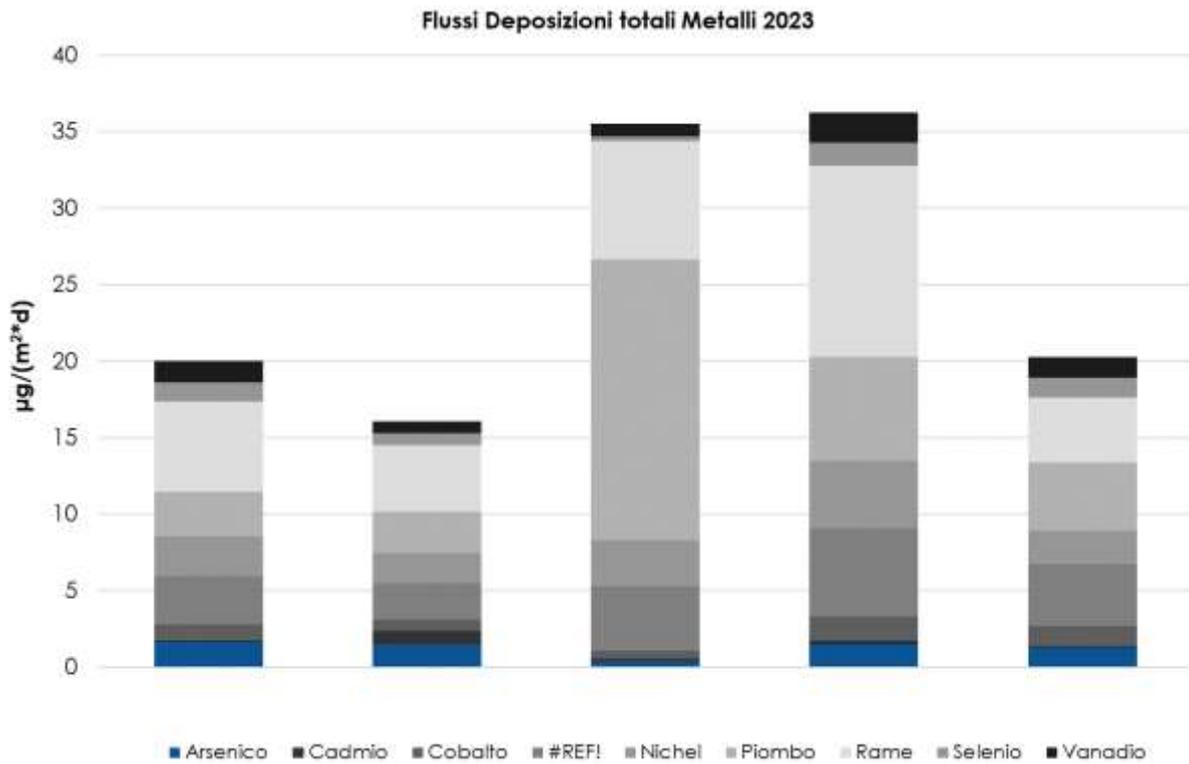


FIGURA 36: flussi di metalli nelle deposizioni totali – anno 2023.

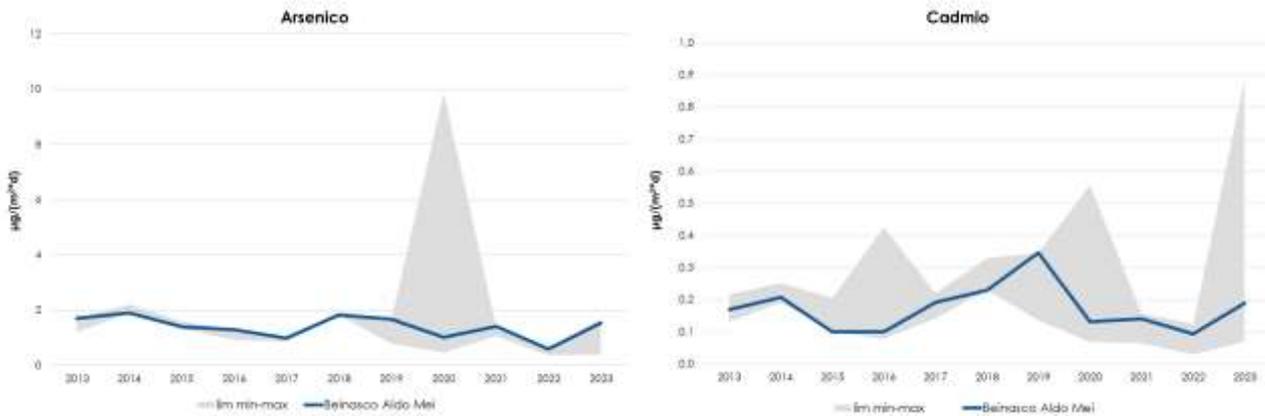


FIGURA 37: metalli nelle deposizioni totali 2013-2023 in CMT (arsenico e cadmio).

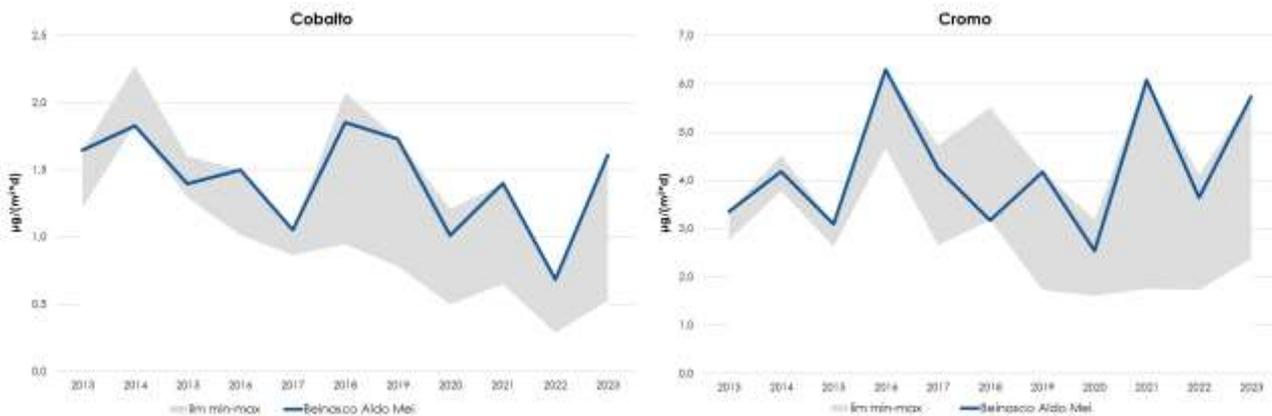


FIGURA 38: metalli nelle deposizioni totali 2013-2023 in CMT (cobalto e cromo).

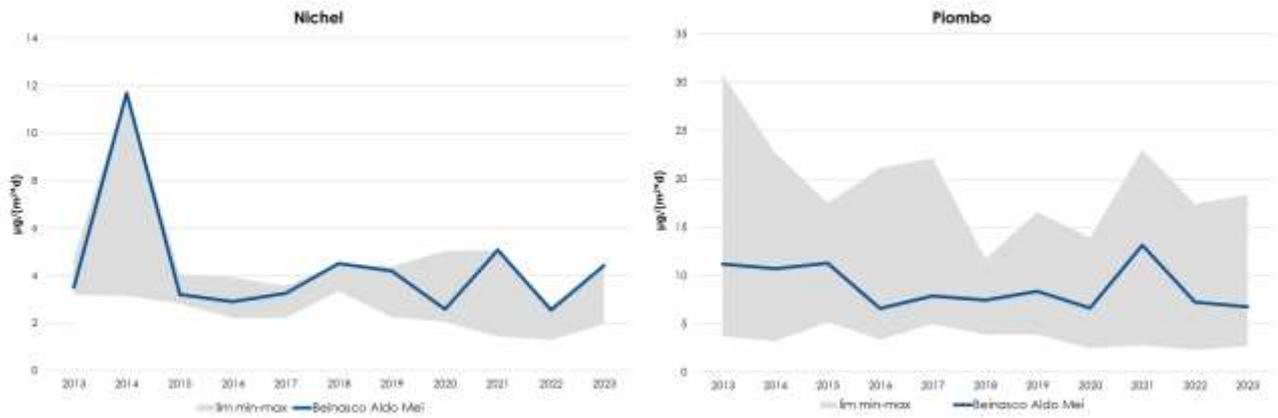


FIGURA 39: metalli nelle deposizioni totali 2013-2023 in CMT (nichel e piombo).

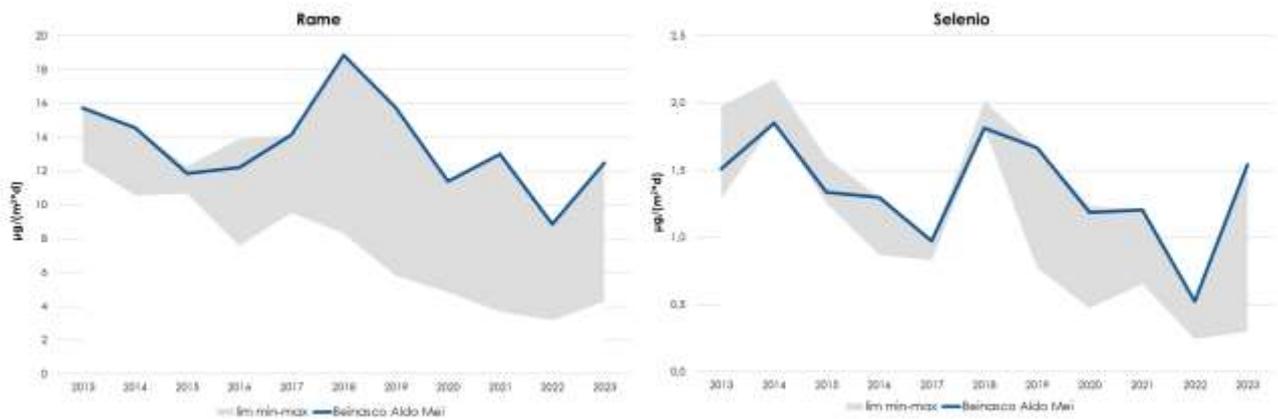


FIGURA 40: metalli nelle deposizioni totali 2013-2023 in CMT (rame e selenio).

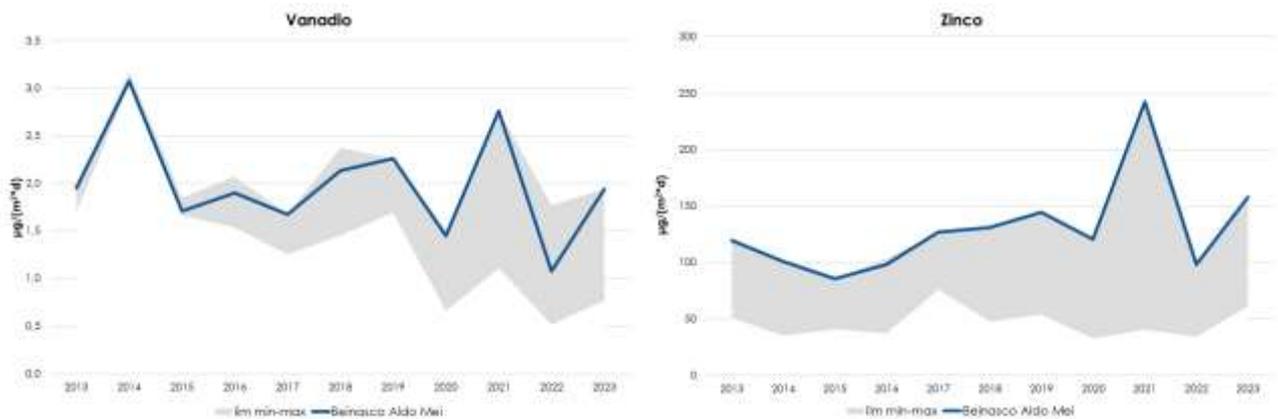


FIGURA 41: metalli nelle deposizioni totali 2013-2023 in CMT (vanadio e zinco).

Nel Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n.155 all'Art. 6, comma b), è previsto il controllo delle concentrazioni nell'aria ambiente del mercurio gassoso totale e la deposizione totale del mercurio. Sul territorio della Città Metropolitana di Torino Arpa Piemonte effettua il controllo sul mercurio nelle deposizioni atmosferiche totali nei punti di campionamento di Beinasco - Aldo Mei e di Torino via Pio VII.

In letteratura ci sono pochi dati a disposizione sulla presenza di mercurio nelle deposizioni totali atmosferiche e attualmente la normativa nazionale ed europea non prevede valori limite per le deposizioni di mercurio. Germania e Croazia hanno identificato un valore di 1000 ng/(m²·d) come valore medio annuale per la protezione di effetti dannosi inclusi quelli di alterazione dei suoli. In FIGURA 42 viene riportato l'andamento annuale e il confronto del flusso di mercurio totale nelle due stazioni di campionamento nel corso degli anni 2013-2023. Il valore determinato presso la stazione

nel corso del 2023 risulta pari a 23  $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ , in linea con il valore degli altri anni ad eccezione del 2016, caratterizzato dall'anomalia verificatasi presso l'impianto nell'autunno 2016<sup>57</sup>.

I dati di mercurio e di altri metalli misurati nelle deposizioni totali a Beinasco-Aldo Mei nel 2023 sono stati confrontati con i dati prodotti dall'Arpa Toscana nella "Campagna di caratterizzazione deposizioni umide e secche 2011-2013 postazione Castelluccio comune Capolona – Arezzo" (TABELLA 35). Il dato di Beinasco Aldo Mei è in linea con quello trovato da Arpa Toscana nei siti di Castelluccio e Badia al Pino nel periodo 2011-2013.

Il dettaglio dei valori mensili riportato in TABELLA 36 mostra che nel 2023 i valori maggiori sono stati rilevati da maggio ad agosto, mentre valori minimi si registrano nei mesi invernali. A tale proposito si ricorda che da gennaio a fine marzo 2023, problemi tecnici non sono stati effettuati campionamenti.

Parametro	medie delle deposizioni annuali - $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{y})$				
	Castelluccio	Badia al Pino	Laguna di Venezia	Parco Cavriglia	Beinasco TRM 2023
Arsenico	207	153	290	100	548
Cadmio	364	55	672	17	73
Cromo	807	979	536	257	2081
Rame	6685	5316	5818	570	4563
<b>Mercurio</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>6</b>	--	<b>8,4</b>
Nichel	916	821	1633	190	1606
Piombo	1367	1945	11392	157	2482
Vanadio	757	499	1109	281	694
Zinco	31516	29735	11864	7933	57597

Fonte ARPAT \_provincia di Arezzo campagna di caratterizzazione deposizioni umide e secche 2011-2013 postazione Castelluccio comune Capolona - Arezzo

TABELLA 35: dati comparativi ratei medi di deposizione annuali ( $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{y})$ ) Badia al Pino, Castelluccio, Laguna di Venezia, Enel Parco Cavriglia. Tabella tratta da pubblicazione di Arpa Toscana "Campagna di caratterizzazione deposizioni umide e secche 2011-2013 postazione Castelluccio comune Capolona – Arezzo".

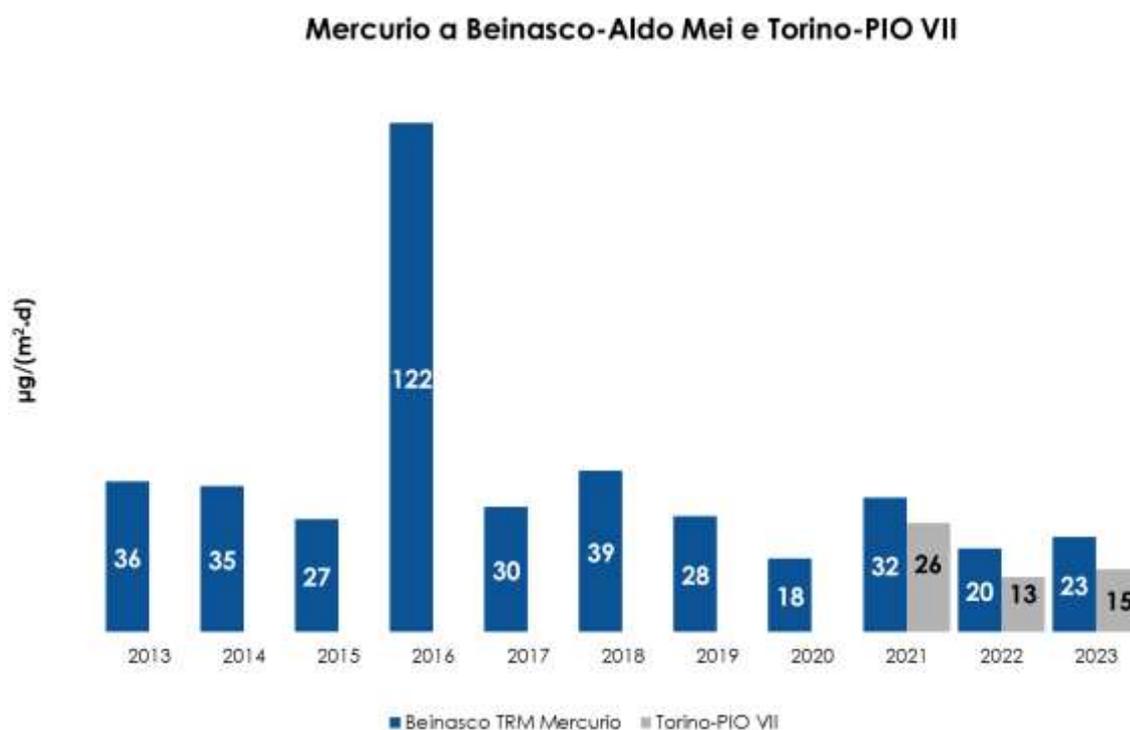


FIGURA 42: concentrazioni media annua di mercurio nelle deposizioni 2013-2023 di Beinasco – Aldo Mei e confronto con Torino Via Pio VII

<sup>57</sup> <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/territorio/torino/impianti/termovalorizzatore-del-gerbido/dati/relazioni/2016/rapporto-stazione-monitoraggio-qualita-aria-beinasco-anno-2016/view>

Mese	Beinasco – Aldo Mei Mercurio ng/(m <sup>2</sup> -d)									
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Gennaio	47	20	13	18	63	n.d.	4	6	1	<b>ND</b>
Febbraio	99	7	15	27	23	11	6	3	7	<b>ND</b>
Marzo	22	26	57	17	38	30	6	1	7	<b>ND</b>
Aprile	22	20	50	23	49	42	6	33	23	<b>9</b>
Maggio	22	69	37	28	79	31	57	62	20	<b>51</b>
Giugno	38	55	21	37	69	14	34	88	95	<b>40</b>
Luglio	26	21	53	48	51	16	14	67	17	<b>20</b>
Agosto	26	29	35	n.d.	18	30	24	18	20	<b>46</b>
Settembre	30	27	22	n.d.	26	43	29	21	6	<b>11</b>
Ottobre	22	18	794	n.d.	23	47	15	16	8	<b>3</b>
Novembre	56	0	333	n.d.	33	70	6	57	n.d.	<b>13</b>
Dicembre	24	22	23	63	2	16	10	7	n.d.	<b>12</b>

n.d.: dati non disponibili per guasto strumentale

TABELLA 36: dettaglio mensile del flusso di deposizione di mercurio a Beinasco – Aldo Mei 2014 – 2023.

## DETERMINAZIONE DI PCDD/PCDF E PCB PRESSO LA STAZIONE DI BEINASCIO (TRM)

*Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:*

**S. Possamai, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.**

### DESCRIZIONE

Con il termine generico di "diossine" si indica un gruppo di 210 composti chimici aromatici policlorurati, divisi in due famiglie: PCDD e PCDF. Le diossine non vengono prodotte intenzionalmente, ma sono sottoprodotti indesiderati di una serie di processi chimici e/o di combustione.

Esistono in totale 75 congeneri di diossine e 135 di furani, che si differenziano per il numero e la posizione degli atomi di cloro sugli anelli benzenici; di questi solo 17 (7 PCDD e 10 PCDF) destano particolare preoccupazione dal punto di vista tossicologico.

Le diossine sono sostanze semivolatili, termostabili, scarsamente polari, insolubili in acqua, altamente liposolubili, resistenti alla degradazione chimica e biologica. A causa della loro presenza ubiquitaria nell'ambiente, persistenza e liposolubilità, le diossine tendono, nel tempo, ad accumularsi nei tessuti e organi dell'uomo e degli animali. Inoltre, salendo nella catena trofica, la concentrazione di tali sostanze può aumentare (biomagnificazione), giungendo a esporre a rischio maggiore il vertice della catena.

I policlorobifenili (PCB) sono una serie di 209 composti aromatici costituiti da molecole di bifenile variamente clorate. Si tratta di molecole sintetizzate all'inizio del secolo scorso e prodotte commercialmente fin dal 1930, sebbene attualmente in buona parte banditi a causa della loro tossicità e della loro tendenza a bioaccumularsi. A differenza delle diossine, quindi, i PCB sono sostanze chimiche largamente prodotte tramite processi industriali per le loro proprietà chimico-fisiche.

I policlorobifenili (PCB) sono composti chimici molto stabili, resistenti ad acidi e alcali e alla fotodegradazione, non sono ossidabili, non attaccano i metalli, sono poco solubili in acqua, ma lo sono nei grassi e nei solventi organici. Non sono infiammabili, evaporano a temperature comprese fra 170-380 °C e si decompongono solo oltre i 1000°C. Sono poco volatili, si possono distribuire su superfici formando sottili pellicole, hanno bassa costante dielettrica, densità maggiore dell'acqua, elevata lipoaffinità e sono scarsamente biodegradabili.

Solo 12 dei 209 congeneri di PCB presentano caratteristiche chimico-fisiche e tossicologiche paragonabili alle diossine e ai furani: questi vengono definiti PCB dioxin-like, PCB diossina simili (PCB DL).

Generalmente PCDD/PCDF e PCB non vengono rilevati nelle diverse matrici come singoli composti, ma come miscele complesse dei diversi congeneri aventi differente tossicità.

Per esprimere la tossicità dei singoli congeneri è stato introdotto il concetto di fattore di tossicità equivalente, TEF.

I fattori di tossicità equivalente si basano sulla considerazione che PCDD, PCDF e PCB diossina-simili sono composti strutturalmente simili che presentano il medesimo meccanismo di azione (attivazione del recettore Ah) e producono effetti tossici simili: proprio il legame tra le diossine e il recettore Ah è il passo chiave per il successivo innescarsi degli effetti tossici.

I TEF vengono calcolati confrontando l'affinità di legame dei vari composti organoclorurati con il recettore Ah, rispetto a quella della 2,3,7,8-TCDD (2,3,7,8- tetraclorodibenzodiossina), la più tossica, considerando l'affinità di questa molecola come il valore unitario di riferimento. Per esprimere la concentrazione complessiva di PCDD/PCDF e PCB nelle diverse matrici si è introdotto il concetto di tossicità equivalente (TEQ), che si ottiene sommando i prodotti tra i valori TEF dei singoli congeneri e le rispettive concentrazioni, espresse nell'unità di misura tipica della matrice in cui vengono ricercate.

Sono stati definiti nel tempo differenti fattori di tossicità che sono riportati in TABELLA 37 gli I-TEF (International TEF), utilizzati per l'espressione della concentrazione totale di PCDD/PCDF in campioni ambientali, e i WHO-TEF definiti per PCDD/PCDF e PCB dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS = WHO), utilizzati per i campioni alimentari e, nel caso dei PCB, per i campioni ambientali.

PCDD/PCDF	I-TEF (NATO/CCMS, 1988) <sup>1</sup>	WHO-TEF (WHO, 2005) <sup>2</sup>
2,3,7,8 TETRA-CDD	1	1
1,2,3,7,8 PENTA-CDD	0,5	1
1,2,3,4,7,8 ESA-CDD	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8 ESA-CDD	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9 ESA-CDD	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8 EPTA-CDD	0,01	0,01
OCTA-CDD	0,001	0,0003
2,3,7,8 TETRA-CDF	0,1	0,1
1,2,3,7,8 PENTA-CDF	0,05	0,03
2,3,4,7,8 PENTA-CDF	0,5	0,3
1,2,3,4,7,8 ESA-CDF	0,1	0,1
1,2,3,6,7,8 ESA-CDF	0,1	0,1
2,3,4,6,7,8 ESA-CDF	0,1	0,1
1,2,3,7,8,9 ESA-CDF	0,1	0,1
1,2,3,4,6,7,8 EPTA-CDF	0,01	0,01
1,2,3,4,7,8,9 EPTA-CDF	0,01	0,01
OCTA-CDF	0,001	0,0003
PCB		WHO-TE (WHO, 2005)
3,3',4,4' TETRA-CB (IUPAC 77)		0,0001
3,4,4',5 TETRA-CB (IUPAC 81)		0,0003
3,3',4,4',5 PENTA-CB (IUPAC 126)		0,1
3,3',4,4',5,5' ESA-CB (IUPAC 169)		0,03
2,3,3',4,4' PENTA-CB (IUPAC 105)		0,00003
2,3,4,4',5 PENTA-CB (IUPAC 114)		0,00003
2,3',4,4',5 PENTA-CB (IUPAC 118)		0,00003
2',3,4,4',5 PENTA-CB (IUPAC 123)		0,00003
2,3,3',4,4',5 ESA-CB (IUPAC 156)		0,00003
2,3,3',4,4',5' ESA-CB (IUPAC 157)		0,00003
2,3',4,4',5,5' ESA-CB (IUPAC 167)		0,00003
2,3,3',4,4',5,5' EPTA-CB (IUPAC 189)		0,00003

<sup>1</sup> NATO/CCMS: North Atlantic Treaty Organization/Committee on the Challenges of Modern Society.

International Toxicity Equivalency Factor (I-TEF) method of risk assessment for complex mixtures of dioxin and related compounds, 186, 1988

<sup>2</sup>WHO: World Health Organization

The 2005 World Health Organization Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds. Van den Berg, M. et al. , ToxSci Advance Access published July 7, 2006.

TABELLA 37 : fattori di Tossicità Equivalente.

Il monitoraggio dei microinquinanti organici begli aeriformi viene realizzato con:

- campionatori ad alto volume (echo-puf) per il campionamento di polveri totali aerodisperse;
- deposimetri tipo bulk per la raccolta delle deposizioni secche e umide.

Il campionamento dell'aria è una tecnica che permette di valutare la quantità di microinquinanti in sospensione. Il prelievo viene condotto in conformità al metodo EPA TO9A "Determination Of Polychlorinated, Polybrominated And Brominated / Chlorinated Dibenzo-p-Dioxins And Dibenzofurans In Ambient Air". Gli strumenti utilizzati sono campionatori ad alto volume tipo echo puf; il prelievo viene realizzato aspirando e filtrando il flusso di aria su un dispositivo che permette di fermare gli inquinanti su un filtro e un adsorbente (PU foam) sia come particolato che in forma vapore.

Lo studio delle deposizioni simula la ricaduta degli inquinanti al suolo e tiene conto della valutazione della quantità di inquinante che si deposita su una determinata superficie (il risultato è infatti espresso in relazione all'area di quest'ultima).

Il deposimetro è composto da una bottiglia ed un imbuto in vetro pyrex, nel raccordo tra i due viene montato con uno stadio adsorbente (PU foam) attraverso cui percola la deposizione umida.

I prelievi alla cabina installata presso il giardino pubblico Aldo Mei nel comune di Beinasco sono iniziati a partire da ottobre 2012. In tale sito vengono determinate le deposizioni di PCDD/DF e PCB con un campionatore di tipo bulk e le concentrazioni degli stessi inquinanti in aria ambiente mediante prelievi con eco-puf. I campionamenti hanno cadenza mensile e durata di circa 30 giorni.



FIGURA 43: moduli di campionamento.

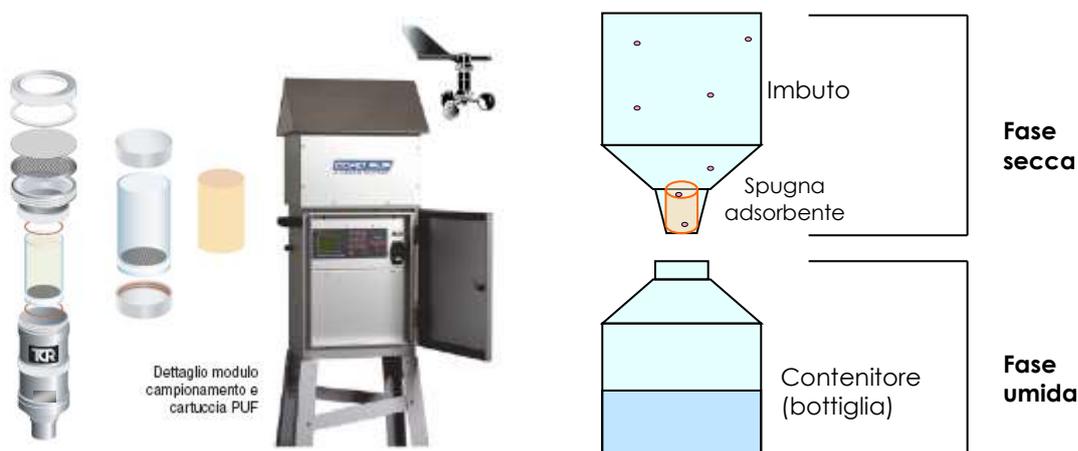


FIGURA 44: campionatore echo puf e deposimetro per la raccolta delle deposizioni secche e umide.

### ESAME DEI DATI

Nell'espressione della sommatoria dei congeneri di PCDD/PCDF e PCB dioxin-like viene applicato il criterio del "medium bound", secondo cui, nel caso di congeneri non rilevabili, si suppone che gli stessi contribuiscano alla sommatoria per la metà dei rispettivi limiti di rilevabilità.

I PCB totali si riferiscono alla somma delle singole famiglie, da triclorobifenili ad octaclorobifenili.

### PCDD/DF e PCB in aria ambiente

Non sono al momento stati stabiliti né a livello europeo, né a livello nazionale o regionale valori limite o soglie di riferimento in qualità dell'aria. L'unico riferimento reperito in letteratura, esclusivamente per PCDD e PCDF nell'aria ambiente, sono le linee guida della Germania (LAI-Laenderausschuss fuer Immissiosschutz - Comitato degli Stati per la protezione ambientale) pari a 150 fg I-TEQ/m<sup>3</sup>.

Le suddette linee guida individuano anche dei valori obiettivo di lungo periodo per il controllo dell'inquinamento atmosferico, con particolare attenzione alla valutazione degli inquinanti atmosferici cancerogeni in aria ambiente, e stabiliscono per la sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like, espressa con i fattori di tossicità WHO 2005, il valore di 150 fg WHO-TEQ/m<sup>3</sup>. Non sono reperibili valori guida o di riferimento per i PCB totali.

Nella TABELLA 38 e nella FIGURA 45 sono riportate le medie annuali rilevate dal 2013 al 2023 per i parametri monitorati, i valori riportati sono stati calcolati come media delle concentrazioni rilevate nelle 12 mensilità.

	PCDD/DF (fg I-TEQ m <sup>-3</sup> )	PCB Dioxin Like (pg WHO-TEQ m <sup>-3</sup> )	PCB Totale Famiglie (pg m <sup>-3</sup> )	PCDD/DF+PCB DL (fg WHO-TEQ m <sup>-3</sup> )
2013	36	0,00382	188	36
2014	24	0,00391	190	25
2015	24	0,00418	143	25
2016	15	0,00319	115	17
2017	16	0,00275	110	17
2018	11	0,00230	130	12
2019	12	0,00290	156	14
2020	13	0,00363	120	16
2021	18	0,00292	105	20
2022	8	0,00226	77	9
2023	8	0,00372	74	12

TABELLA 38: concentrazioni medie annuali di PCDD, PCDF e PCB in aria ambiente.

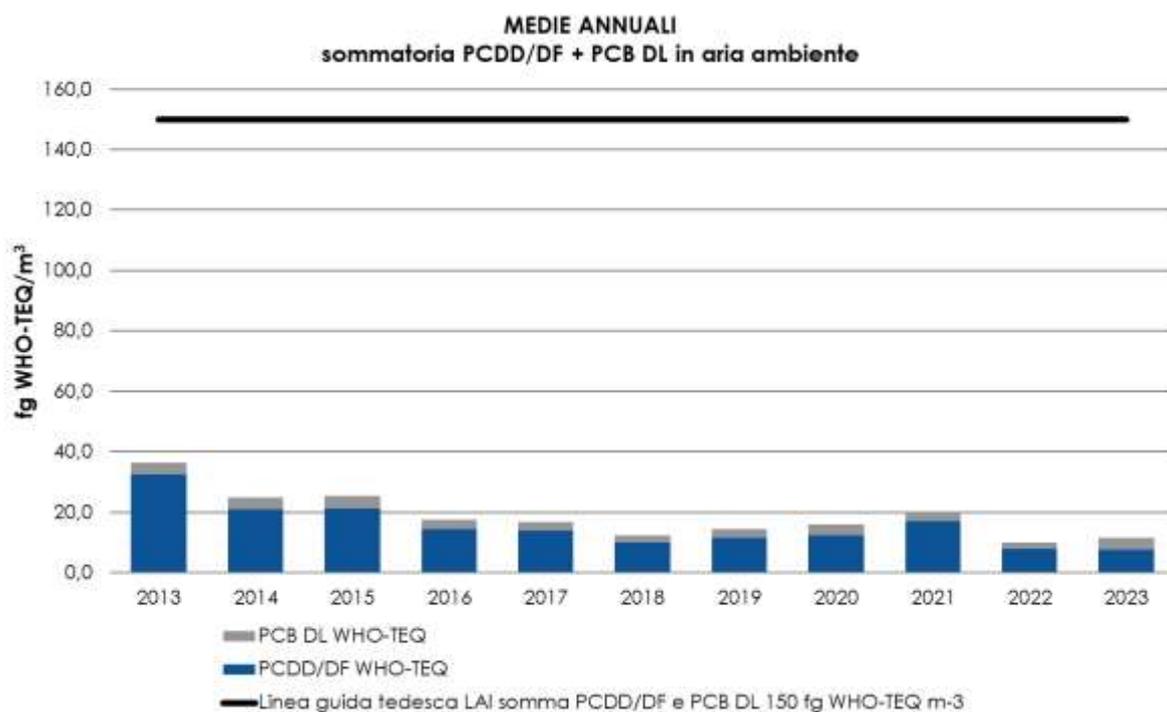


FIGURA 45: medie annuali sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like in aria ambiente.

Nella FIGURA 46 viene riportato l'andamento della sommatoria PCDD/DF PCB dioxin like nelle singole mensilità degli anni dal 2017 al 2023, per il mese di ottobre 2023 non è disponibile la frazione relativa ai PCB a causa di problemi analitici.

Tutti i valori si posizionano ampiamente al di sotto delle linee guida definite dalla Germania sia per PCDD/DF che per la sommatoria PCDD/DF e PCB dioxin like con un andamento che possiamo definire "stagionale" in modo particolare per la concentrazione di PCDD e PCDF che aumenta nei mesi invernali per poi scendere nei periodi primaverili ed estivi.

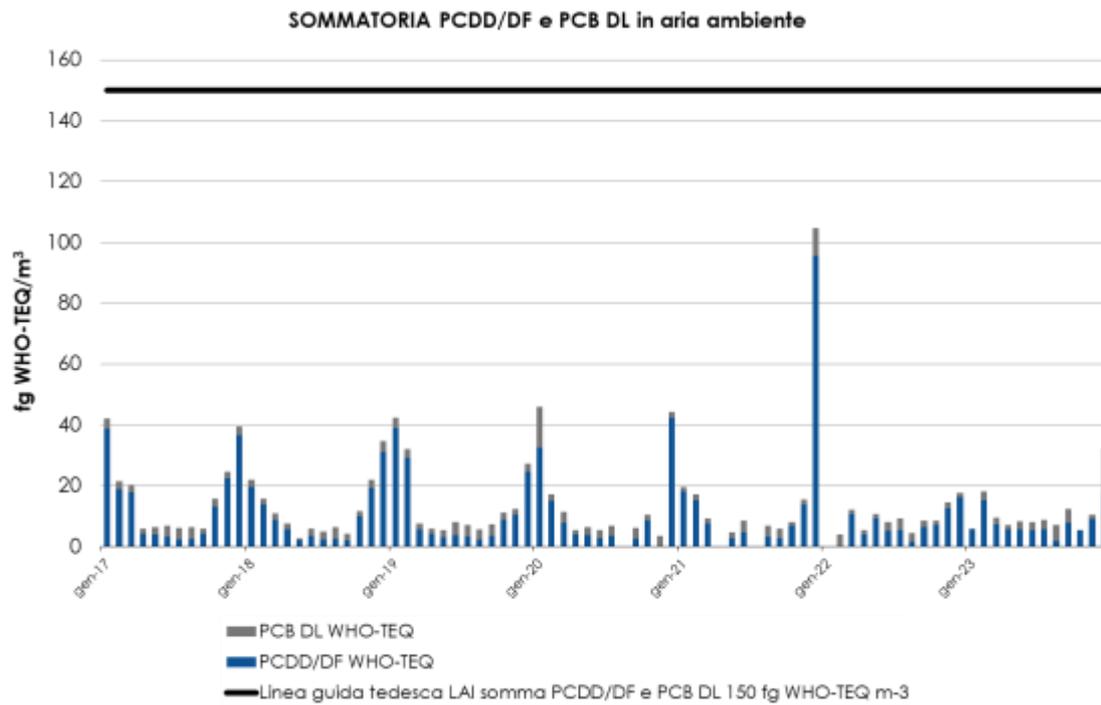


FIGURA 46: andamento sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like in aria ambiente dal 2017.

Nella TABELLA 39 sono riportate le concentrazioni medie mensili di PCDD/DF e PCB determinate nei campioni di qualità dell'aria prelevati nel corso dell'ultimo anno (2023).

	PCDD/DF (fg I-TEQ m <sup>-3</sup> )	PCB Dioxin Like (pg WHO-TEQ m <sup>-3</sup> )	PCB Totale Famiglie (pg m <sup>-3</sup> )	PCDD/DF+PCB DL (fg WHO-TEQ m <sup>-3</sup> )
<b>Gennaio 2023</b>	4,97	0,000274	8,77	5,93
<b>Febbraio 2023</b>	17,6	0,00285	72,2	18,40
<b>Marzo 2023</b>	7,34	0,00220	44,5	9,56
<b>Aprile 2023</b>	5,10	0,00134	44,4	7,09
<b>Maggio 2023</b>	4,90	0,00274	63,8	8,31
<b>Giugno 2023</b>	4,76	0,00267	74,2	8,07
<b>Luglio 2023</b>	4,92	0,00324	82,3	8,84
<b>Agosto 2023</b>	1,78	0,00549	75,9	7,18
<b>Settembre 2023</b>	6,90	0,00438	168	12,20
<b>Ottobre 2023</b>	4,68	ND	ND	ND
<b>Novembre 2023</b>	9,22	0,00154	96,5	10,48
<b>Dicembre 2023</b>	19,7	0,0141	79,3	32,15

ND: esito non disponibile a causa di problemi analitici.

TABELLA 39: concentrazioni di PCDD, PCDF e PCB in aria ambiente per i mesi del 2023.

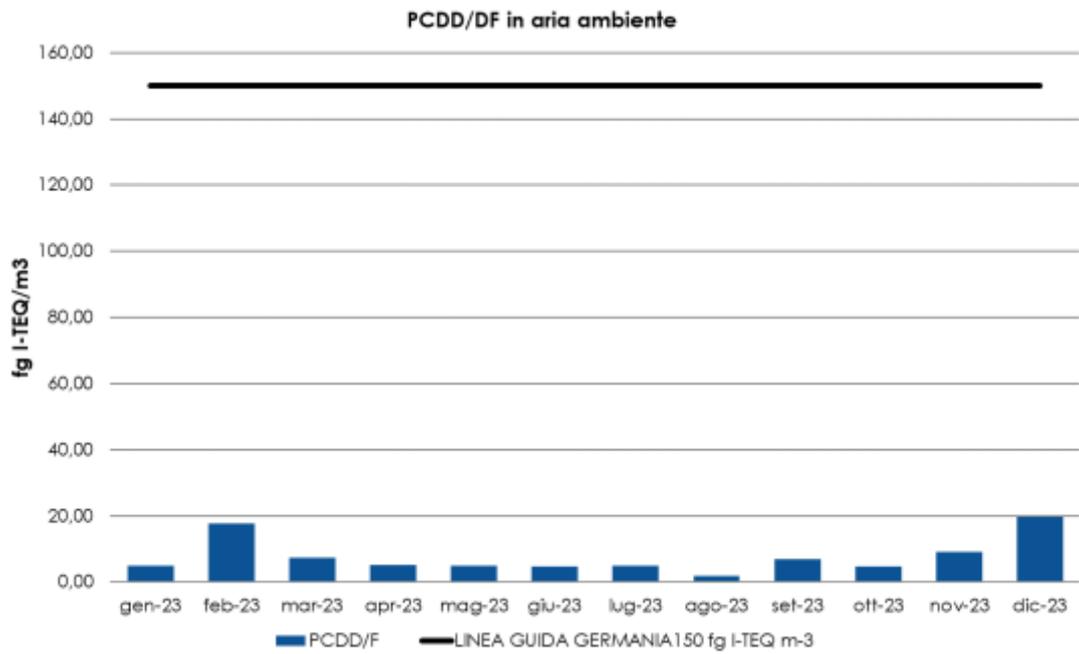


FIGURA 47: concentrazioni di PCDD e PCDF in aria ambiente anno 2023.

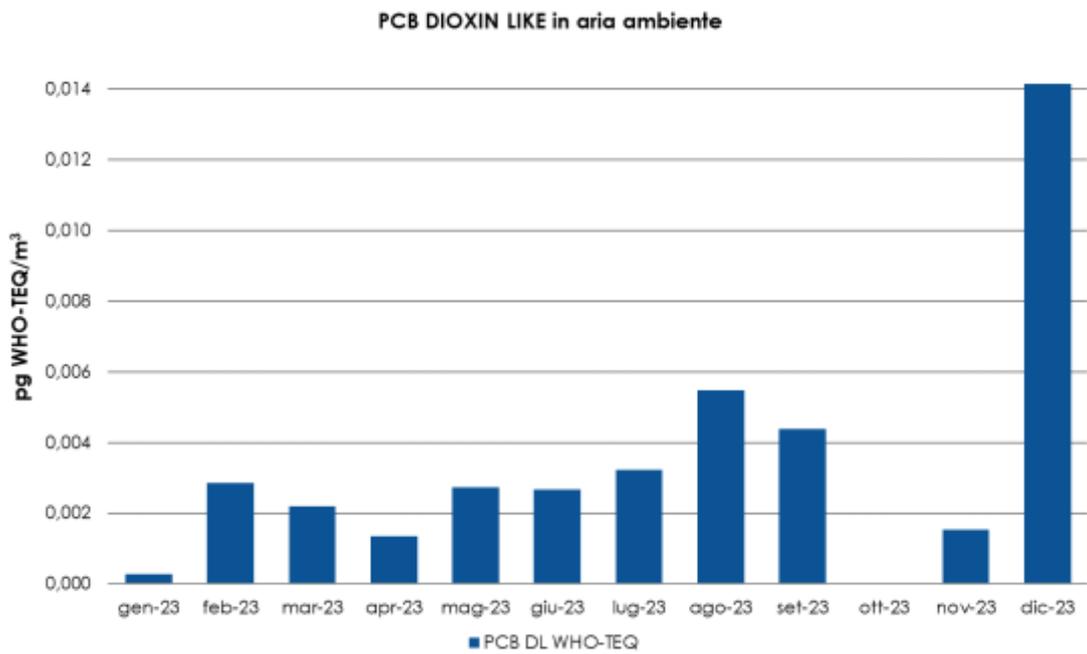


FIGURA 48: concentrazioni di PCB dioxin like in aria ambiente anno 2023.

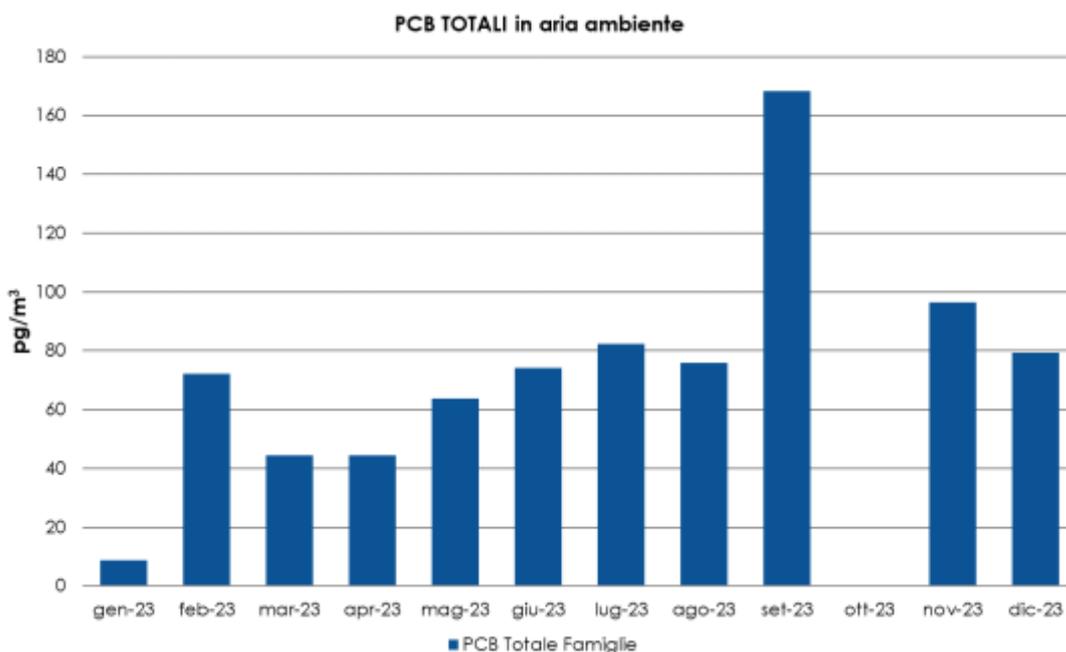


FIGURA 49: concentrazioni di PCB Totali in aria ambiente anno 2023.

### PCDD/DF e PCB nelle deposizioni atmosferiche

Anche per le deposizioni atmosferiche di PCDD/DF e PCB non sono fissati limiti di riferimento nella normativa attuale.

Per poter valutare l'entità dei valori rilevati nelle determinazioni si può fare riferimento ai valori guida che alcuni stati hanno proposto per le deposizioni a partire dai valori di "dose tollerabile per l'organismo umano" (TDI - Tolerable daily intake: quantità cumulativa di PCDD/DF e PCB "diossina-simili" che può essere giornalmente assunta, per la durata di vita media, senza che si abbiano effetti tossici apprezzabili) stabiliti dall'Unione Europea e dall'Organizzazione Mondiale della Sanità.

Nel 2001 il Comitato Scientifico dell'Alimentazione Umana (SCF — Scientific Committee on Food) dell'Unione Europea ha definito come obiettivo la riduzione del livello di intake umano al di sotto di 14 picogrammi (pg) di equivalente tossico (WHO-TEQ) per chilogrammo di peso corporeo (14 pg WHO-TEQ/kg pc) alla settimana per la sommatoria di PCDD/DF e per i PCB diossina-simili.

Per rispettare i citati valori di assunzione giornaliera, il Belgio, paese in cui la Commissione per la valutazione dei regolamenti ambientali (CEM) ha proposto un valore di Tolerable daily intake pari a 3 pg I-TEQ kg<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup> per PCDD/PCDF, ha individuato per le deposizioni di diossina i valori guida indicati nella TABELLA 40. A partire dal valore di intake settimanale di 14 pg WHO-TEQ/kg per la sommatoria PCDD/DF+PCB di alcuni stati hanno effettuato valutazioni che hanno messo in relazione la dose giornaliera tollerabile (TDI) pari a 2 pg WHO-TEQ/kg di peso corporeo rispetto a valori di deposizione media mensile e/o annuale espressi in pg WHO-TEQ/m<sup>2</sup>d.

PCDD/DF Assunzione giornaliera correlata TDI (pg I-TEQ kg pc)	PCDD/DF Deposizione media annua concessa (pg I-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	PCDD/DF Deposizione media mensile concessa (pg I-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
4	14	27
3	10	20
1	3,4	6,8

L. Van Lieshout et al Deposition of dioxin in Flanders (Belgium) and a proposition for guide values. *Atm. Env.* 35 suppl. n. 1 2001 S83-S90

PCDD/DF + PCBdl Assunzione giornaliera correlata TDI (pg WHO-TEQ kg pc)	PCDD/DF + PCBdl Deposizione media annua concessa (pg WHO-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	PCDD/DF + PCBdl Deposizione media mensile concessa (pg WHO-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
2	8,2	21

Cornelis et al (2007)

TABELLA 40: proposta di valori guida per le deposizioni di diossina.

In letteratura, l'Istituto Superiore di Sanità (presentazione di Gaetano Settimo del 06/02/2014 presso il Ministero della Salute nell'ambito di "Salute e Rifiuti: ricerca, sanità pubblica e comunicazione" e del

05/06/2014 nell'ambito di un seminario sullo stato dell'arte delle Deposizioni Atmosferiche) cita anche altre valutazioni realizzate dal German Expert Group - LAI in Germania che ha definito per le deposizioni un valore di linea guida per la sommatoria di PCDD/DF e PCB dioxin like pari a: 4 pg WHO-TEQ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> come media di lungo periodo.

La Francia ha definito nei piani di sorveglianza della qualità dell'aria in aree con presenza di impianti di incenerimento (Environmental Surveillance of Incinerators 2006-2009) due soglie tipiche:

- < 5 pg I-TEQ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> valori che possono essere considerati di fondo urbano/industriale;
- > 16 pg I-TEQ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> valori che possono essere considerati come contributo antropico di una fonte di emissione che va indagata con ulteriori campionamenti studiando il profilo dei congeneri per valutare la sorgente.

Per questi ultimi due riferimenti la documentazione attualmente disponibile non chiarisce se si tratti di sommatorie da riferirsi al calcolo lower o medium bound, pertanto per le valutazioni assumiamo come valori di riferimento quelli indicati di seguito correlati all'assunzione giornaliera.

In considerazione della molteplicità di riferimenti sopra elencati, al fine di fare una valutazione delle concentrazioni riscontrate nel sito di monitoraggio prenderemo a riferimento:

- a) deposizione media annua di PCDD/DF: 14 pg I-TEQ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> correlata a un'assunzione giornaliera (TDI) pari a 4 pg I-TEQ kg<sup>-1</sup> di peso corporeo;
- b) deposizione media mensile di PCDD/DF: 27 pg I-TEQ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> correlata a un'assunzione giornaliera (TDI) pari a 4 pg I-TEQ kg<sup>-1</sup> di peso corporeo;
- c) deposizione media annua per la sommatoria di PCDD/DF + PCB dl: 8,2 pg WHO-TEQ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> correlata a un'assunzione giornaliera (TDI) pari a 2 pg WHO-TEQ kg<sup>-1</sup> di peso corporeo;
- d) deposizione media mensile per la sommatoria di PCDD/DF + PCB dl: 21 pg WHO-TEQ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> correlata a un'assunzione giornaliera (TDI) pari a 2 pg WHO-TEQ kg<sup>-1</sup> di peso corporeo.

Non esistono invece linee guida di riferimento per la sommatoria dei PCB Totali.

In TABELLA 41 e FIGURA 50 si riportano i flussi di deposizione medi annui calcolati per i parametri PCDD/DF e PCB a partire dai dati mensili rilevati presso la stazione Aldo Mei di Beinasco.

	PCDD/DF WHO-TEQ (pg WHO-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	PCB DL WHO-TEQ (pg WHO-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	PCDD/DF+PCB DL (pg WHO-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
2013	2,81	0,94	3,75
2014	1,63	0,80	2,44
2015	2,52	0,86	3,37
2016	2,72	0,84	3,57
2017	2,49	1,27	3,77
2018	2,64	0,72	3,37
2019	4,13	0,83	4,96
2020	4,69	1,87	6,57
2021	4,45	3,21	7,66
2022	4,13	2,91	7,06
2023	3,30	3,32	6,61

TABELLA 41: concentrazioni MEDIE ANNUALI di PCDD, PCDF e PCB nelle deposizioni.

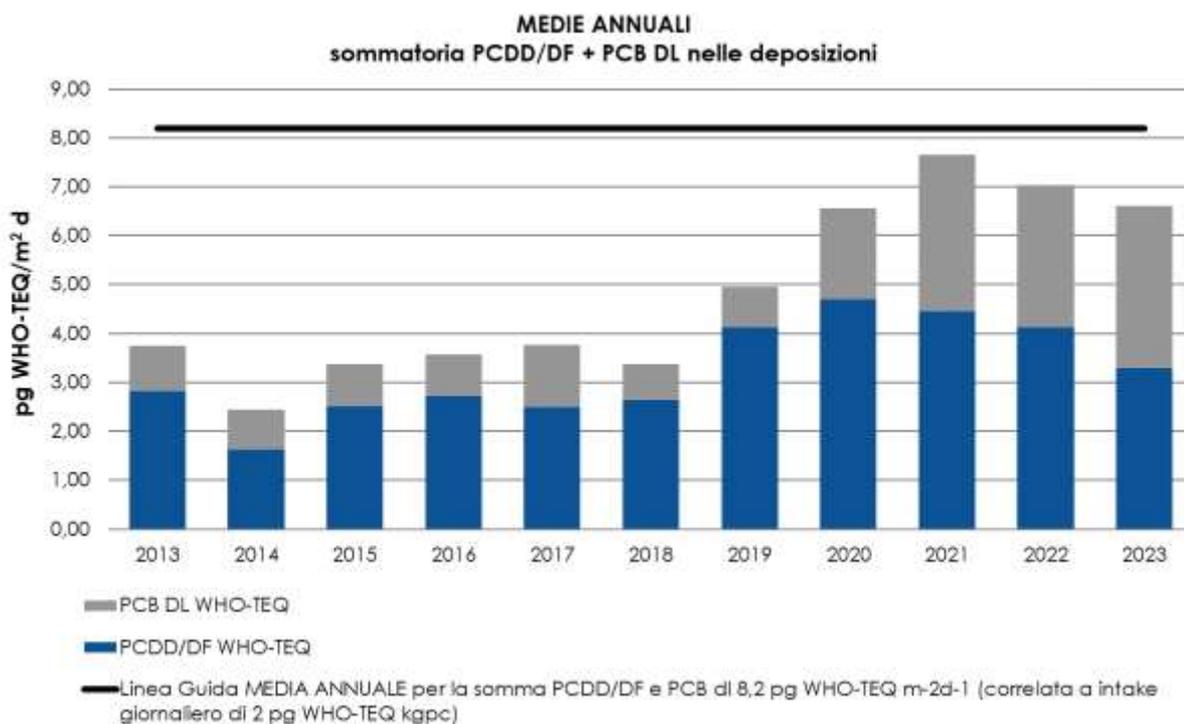


FIGURA 50: medie annuali della sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like nelle deposizioni.

Nel FIGURA 51 viene riportato l'andamento della sommatoria PCDD/DF PCB dioxin like nelle deposizioni atmosferiche delle singole mensilità degli anni dal 2017 al 2023. Tutti i valori mensili di deposizione si posizionano al di sotto delle linee guida sia per PCDD/DF che per la sommatoria PCDD/DF e PCB dioxin like.

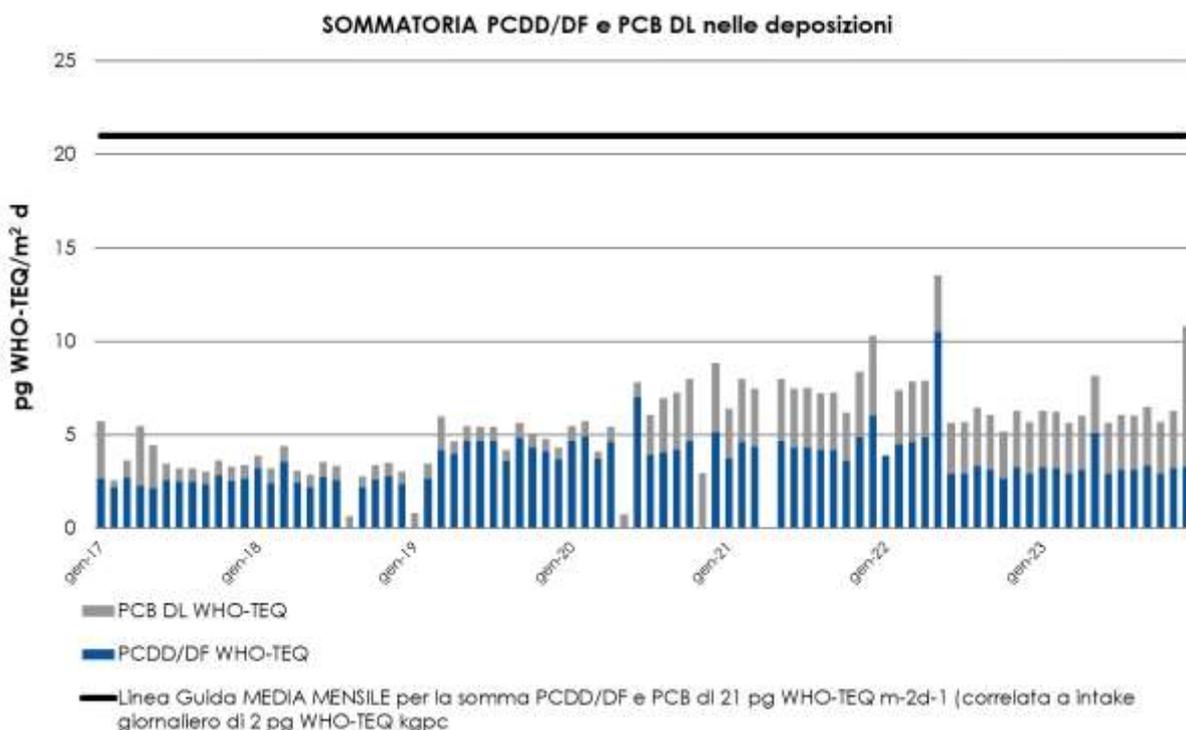


FIGURA 51: andamento sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like nelle deposizioni mensili dal 2017.

Nella tabella e nei grafici che seguono sono riportati gli esiti delle determinazioni analitiche relative a PCDD/DF e PCB realizzate nelle deposizioni atmosferiche prelevate nel corso dell'ultimo anno (2023).

	PCDD/DF (pg I-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	PCB Dioxin Like (ng WHO-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	PCB Totale Famiglie (ng m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	PCDD/DF+PCB DL (pg WHO-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
Gennaio 2023	3,02	0,00304	5,90	6,26
Febbraio 2023	3,01	0,00303	5,44	6,27
Marzo 2023	2,71	0,00273	6,98	5,64
Aprile 2023	2,90	0,00292	6,14	6,04
Maggio 2023	4,59	0,00303	5,96	8,14
Giugno 2023	2,71	0,00274	11,4	5,65
Luglio 2023	2,92	0,00292	7,22	6,06
Agosto 2023	2,90	0,00292	7,59	6,04
Settembre 2023	3,11	0,00315	13,0	6,50
Ottobre 2023	2,72	0,00275	13,1	5,67
Novembre 2023	3,00	0,00305	15,7	6,27
Dicembre 2023	3,08	0,00751	5,76	10,80

TABELLA 42: concentrazioni di PCDD, PCDF e PCB nelle deposizioni atmosferiche.

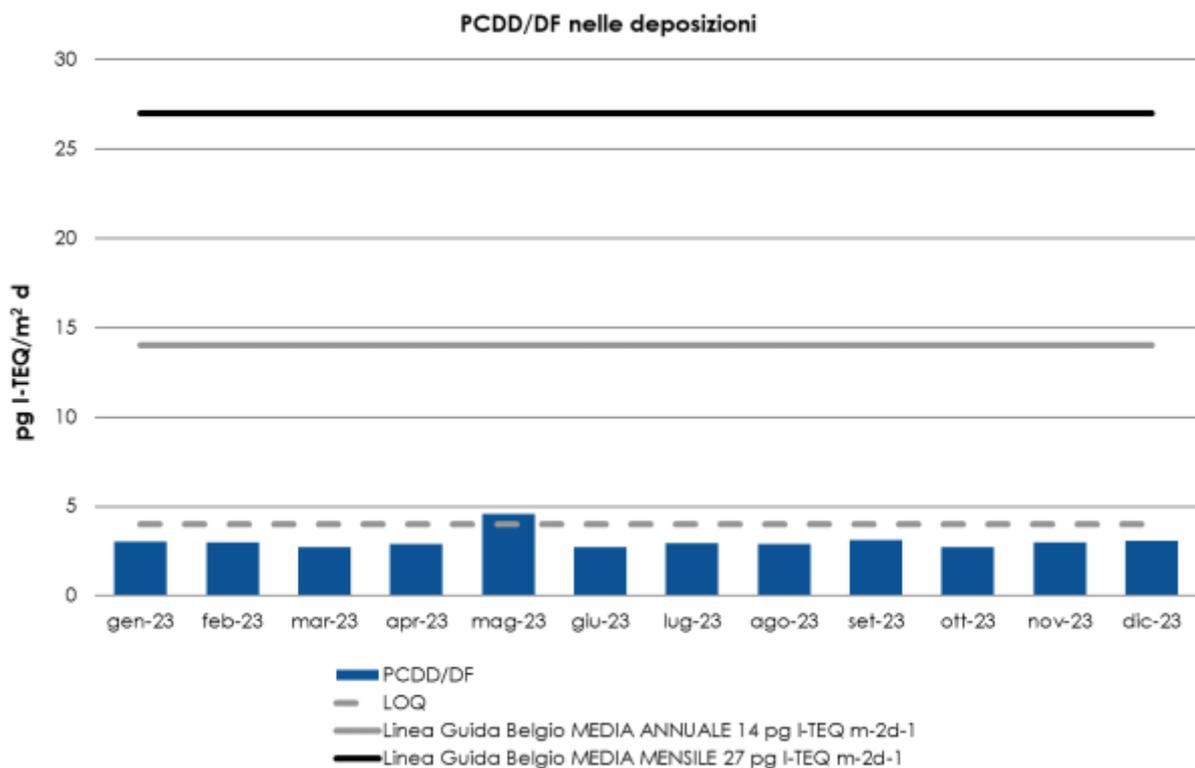


FIGURA 52: concentrazioni di PCDD e PCDF nelle deposizioni mensili anno 2023.

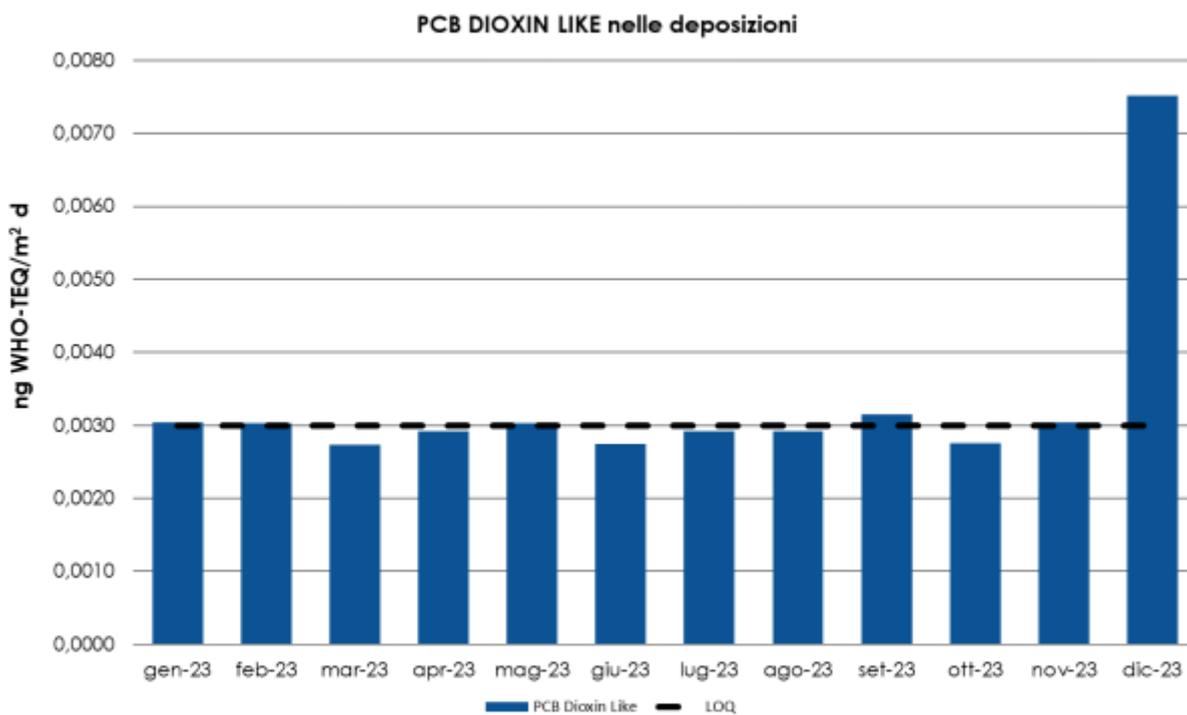


FIGURA 53: concentrazione di PCB DIOXIN LIKE nelle deposizioni mensili anno 2023.

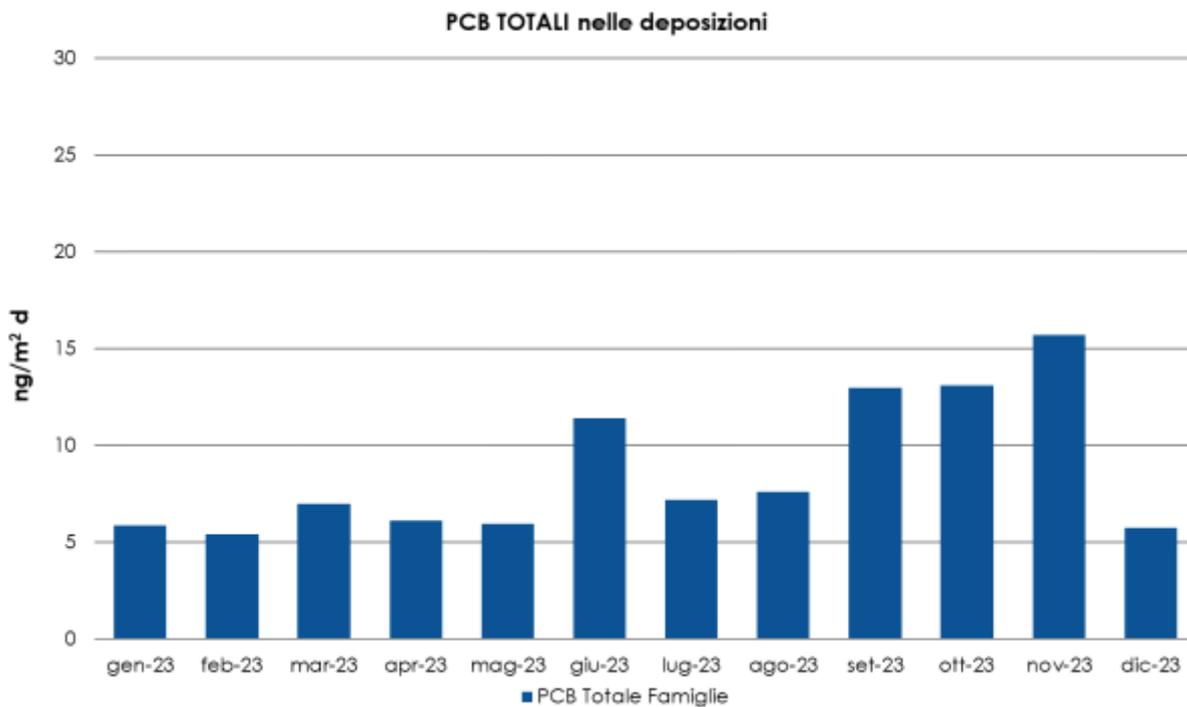


FIGURA 54: concentrazione di PCB TOTALI nelle deposizioni mensili anno 2023.

## CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'ANNO 2023

*Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:*

**M. Nicoletta, D. Gandini, S. Bande, Arpa PIEMONTE, Dipartimento Sistemi Previsionali**

La relazione "Uno sguardo all'aria" costituisce un utile documento per la conoscenza e la comprensione dei fenomeni d'inquinamento atmosferico. A tal fine, oltre alla consueta analisi dei dati chimici rilevati nel corso del 2023, è stata svolta una breve caratterizzazione meteorologica dell'anno in esame, per dare una descrizione a grande scala del tempo meteorologico che ha caratterizzato il Piemonte nel corso di tutto l'anno.

Nella caratterizzazione dei vari periodi temporali del 2023 vengono descritti sommariamente i seguenti parametri meteorologici: andamento delle temperature, delle precipitazioni e dell'altezza del geopotenziale in relazione ai valori climatologici. L'altezza del geopotenziale<sup>23</sup> è un parametro meteorologico fondamentale per caratterizzare sinteticamente la configurazione meteorologica.

I valori climatologici presi come riferimento, per quanto riguarda i dati puntuali misurati a terra, sono relativi al periodo 2013-2023; invece per quanto riguarda i campi in quota, sono relativi al periodo 1991-2020 e derivano dalle re-analisi del Centro Meteorologico Europeo di Reading (ECMWF)

Questa climatologia di 30 anni viene utilizzata come termine di paragone per le analisi climatiche correnti e viene quindi usata qui per tracciare una valutazione delle anomalie e interpretare la fenomenologia del 2023.

Nel complesso si osserva come l'anno 2023 in Piemonte è stato il 2° più caldo degli ultimi 66 anni, con una temperatura media di circa 11.2°C ed un'anomalia termica positiva di circa +1.3°C rispetto alla climatologia del periodo 1991-2020.

Analizzando l'andamento giornaliero, notiamo come l'anomalia termica negativa sia stata presente con una buona frequenza e continuità solo ad aprile e maggio (unici due mesi ad avere avuto una temperatura leggermente inferiore alla norma degli anni 1991-2020). Lo scostamento termico positivo è stato marcato soprattutto nell'ultimo quadrimestre dell'anno, con settembre, ottobre e dicembre che hanno avuto un piazzamento da podio nella classifica dei mesi più caldi. Rilevante anche il picco termico avvenuto nell'ultima decade di agosto.

Il mese più caldo dell'anno è stato luglio con 20.4°C medi, lievemente superiore ad agosto per 0.06°C mentre gennaio è risultato il mese più freddo, con 2.0°C.

Il giorno più caldo dell'anno è stato il 23 agosto che è anche il terzo giorno più caldo sul Piemonte dal 1958, alla pari con l'11 agosto 2003 e dietro il 27 e 28 giugno 2019. Sempre il 23 agosto si è registrato il picco termico massimo annuale a Nizza Monferrato (AT) con 40.9°C. Da segnalare che anche l'8 ottobre e il 23 dicembre sono risultati i giorni più caldi della serie storica dal 1958 per ottobre e dicembre. Invece il picco annuale del freddo si è verificato tra il 9 e il 10 febbraio.

Le precipitazioni cumulate medie dell'anno 2023 in Piemonte sono state pari a circa 944 mm e sono risultate inferiori alla norma 1991-2020, con un deficit di 86 mm, che corrisponde all'8% circa; il 2023 è il 27° anno meno piovoso nella distribuzione storica degli anni 1958-2023.

L'analisi dell'andamento giornaliero annuale evidenzia come al deficit pluviometrico abbiano contribuito soprattutto i primi quattro e gli ultimi due mesi dell'anno. Invece maggio ha avuto 24 giorni piovosi (precipitazione media superiore a 1 mm sul Piemonte) su 31, mentre il giorno più piovoso dell'anno è stato il 28 agosto con 49.7 mm medi sul territorio piemontese.

L'esame dell'andamento nei singoli mesi mostra come solo maggio, agosto, ottobre e, sia pure per un solo punto percentuale, giugno, abbiano avuto un'anomalia pluviometrica positiva mentre tutti gli altri mesi sono risultati più secchi della norma. Maggio è stato il mese più piovoso dell'anno 2023 con 233.8 mm medi e un surplus del 90%. Febbraio con soli 9.7 mm medi e un'anomalia negativa del 78% è risultato il mese più secco dell'annata.

<sup>23</sup> L'altezza di geopotenziale (qui espressa in decimetri) indica a quale altezza si trova un determinato valore di pressione atmosferica, che nelle mappe mostrate generalmente è la pressione di 500 hPa o millibar. In pratica tali mappe sono simili alle carte della pressione ridotta al livello del mare, ma si riferiscono ad una superficie in quota, a circa 5'500 metri. Le linee che uniscono punti di uguale valore di geopotenziale, dette isoipse, possono assumere la forma di "promontori" (simili a montagne) e di "saccature" (simili a valli): i "promontori" sono aree di alta pressione, mentre le "saccature" sono aree di bassa pressione. Il flusso dominante a grande scala è fondamentalmente governato da tale configurazione meteorologica in quota (sinottica), in quanto segue proprio le isolinee di geopotenziale (le "isoipse"), muovendosi da ovest verso est alle nostre latitudini.

Gli episodi di foehn annuali sono risultati 92, decisamente superiori ai 66 della media annuale del periodo 2000-2020 e rappresentano anche il numero annuale massimo dal 2000; l'episodio più intenso dell'anno è avvenuto il 22 dicembre 2023.

Nell'anno 2023 gli episodi di nebbia sono risultati inferiori rispetto alla climatologia recente del periodo 2004-2022, con 89 giorni di nebbia ordinaria (visibilità inferiore a 1 km), e una diminuzione del 26% rispetto ai 121 giorni annuali attesi. Ancora più marcata è stata la riduzione degli episodi di nebbia fitta (visibilità inferiore a 100 m) con soli 7 giorni annuali, un terzo dei 21 calcolati dalla media climatica. È stato l'anno con il minor numero di eventi annuali di nebbia ordinaria da quando è attiva la rete dei visibilimetri Arpa (2004) mentre solo il 2018 ha avuto un numero inferiore di episodi di nebbia fitta (6).

## **IL CLIMA DEL 2023**

### **Gennaio**

In Piemonte gennaio 2023 ha avuto una temperatura media di circa 2°C, con un'anomalia termica positiva di circa 0.8°C rispetto alla media del periodo 1991-2020, ed è risultato il 13° mese di gennaio più caldo nella distribuzione storica degli ultimi 66 anni. È stato comunque il mese più freddo dell'anno 2023.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1991-2020, con 24.7 mm medi ed un deficit di 21.5 mm (pari al 47%); gennaio 2023 si pone al 22° posto tra i corrispondenti mesi più carenti di precipitazioni degli ultimi 66 anni.

In tale mese non si sono verificati eventi rilevanti ai fini di un'analisi dell'anno 2023.

### **Febbraio**

Sul territorio piemontese la temperatura media di febbraio 2023 è risultata pari a circa 4.2°C, con un'anomalia termica positiva di 2°C rispetto alla media del periodo 1991-2020, ed è stato il settimo mese di febbraio più caldo nella distribuzione storica degli ultimi 66 anni.

Le precipitazioni sono state sensibilmente inferiori alla norma degli anni 1991-2020, con 9.7 mm medi e un deficit di 34 mm (pari al 78%); febbraio 2023 si pone al 7° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi considerati a partire dal 1958 ed è risultato il mese più carente di precipitazioni del 2023.

Il 9 febbraio la penisola italiana è stata interessata da un'area di bassa pressione con minimo tra il mar Ligure e la Corsica (FIGURA 55 in alto a destra), in successivo movimento verso sudovest (FIGURA 55 in basso).

Gli effetti di tale circolazione depressionaria sul territorio piemontese sono stati molto limitati dal punto di vista precipitativo e più rilevanti dal punto di vista termico grazie alla circolazione da est, nordest. Il 9 febbraio è risultato il giorno più freddo dell'anno con una media di -7.1°C delle temperature minime sul territorio piemontese. Invece sui settori pianeggianti i valori più bassi di temperatura sono stati registrati all'alba del giorno successivo, 10 febbraio, grazie a una notte serena che ha favorito l'irraggiamento notturno.

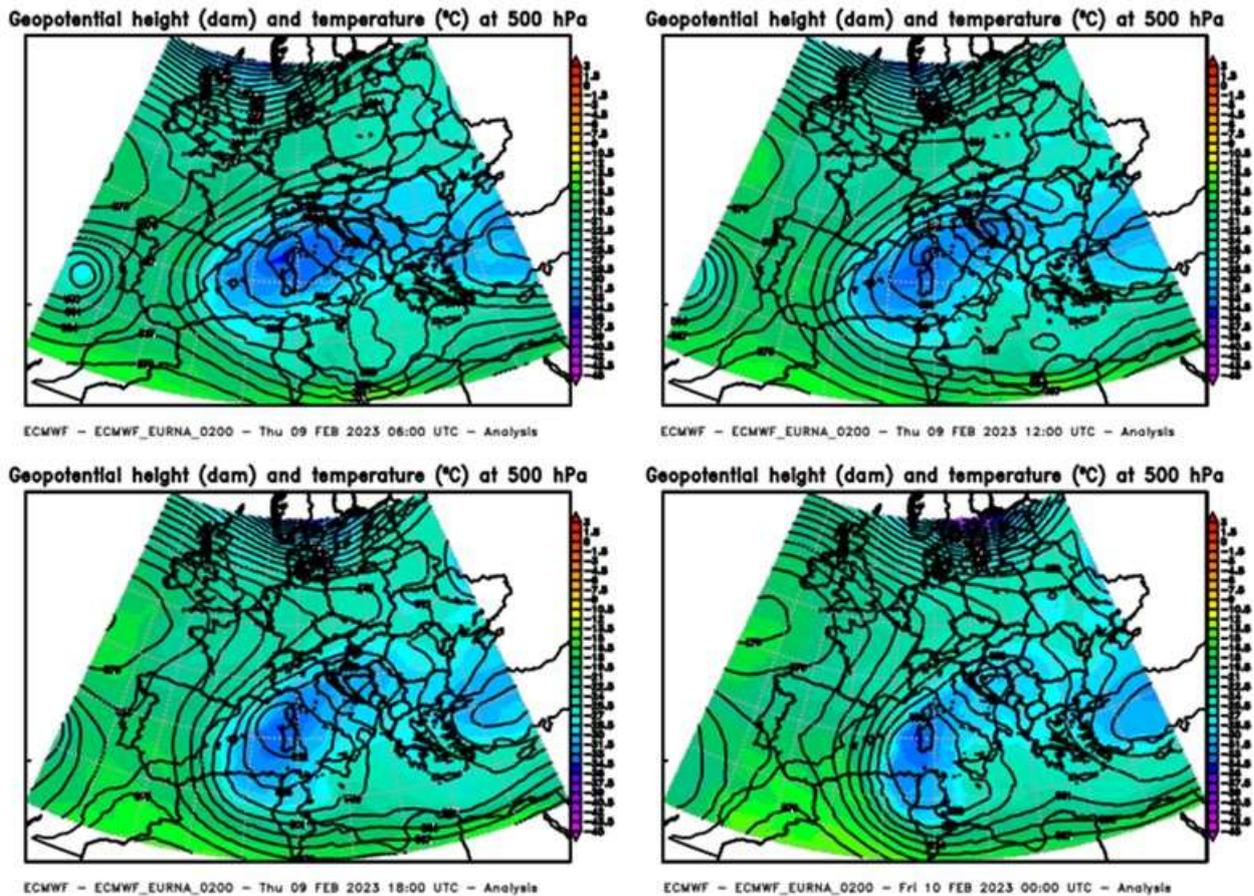


FIGURA 55: evoluzione di altezza di geopotenziale (dam, isolinee) e temperatura (°C, colori) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 9 febbraio 2023 e 00 UTC del 10 febbraio 2023, intervallate ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

### Marzo

In Piemonte marzo 2023 ha avuto una temperatura media di circa 6.8°C, con un'anomalia termica positiva di 1.2°C rispetto alla norma del periodo 1991-2020. È risultato il 9° mese di marzo più caldo dal 1958.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1991-2020, con 41.5 mm medi e un deficit di 21.8 mm (pari al 34%); marzo 2023 si pone al 25° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi degli ultimi 66 anni.

Da segnalare l'evento di foehn dei giorni 10-11 marzo, in cui le forti raffiche di vento hanno causato danni nel Torinese e nel Pinerolese con cadute di alberi, danni a ponteggi e coperture e temporanee interruzioni dell'energia elettrica.

Nel corso del 10 marzo una vasta saccatura polare si estendeva dall'area scandinavo-islandese all'Europa centrale, mentre l'Europa sudoccidentale era interessata da un promontorio dell'anticiclone delle Azzorre (FIGURA 56). In tali condizioni sul territorio piemontese era presente un marcato gradiente barico, che è stato uno dei fattori responsabili dell'episodio di vento forte.

Anche al livello del mare si nota la forte differenza barica tra i due versanti alpini a partire dalle ore 12 UTC, arrivata fino a oltre 12 hPa tra il versante franco-svizzero e quello padano delle Alpi.

A causa di tale notevole differenza di pressione tra i due versanti delle Alpi, si sono innescati forti venti di caduta da ovest, nordovest dalle Alpi verso la pianura padana: il vento è stato caratterizzato da raffiche anche violente, con una progressiva estensione dei venti di foehn dalle vallate alpine occidentali alle vicine pianure e poi a tutto il Piemonte, nel corso del pomeriggio del giorno 10. La ventilazione è stata sostenuta su tutta la regione, anche sui rilievi meridionali, grazie alla formazione di un locale minimo barico sul Mar Ligure.

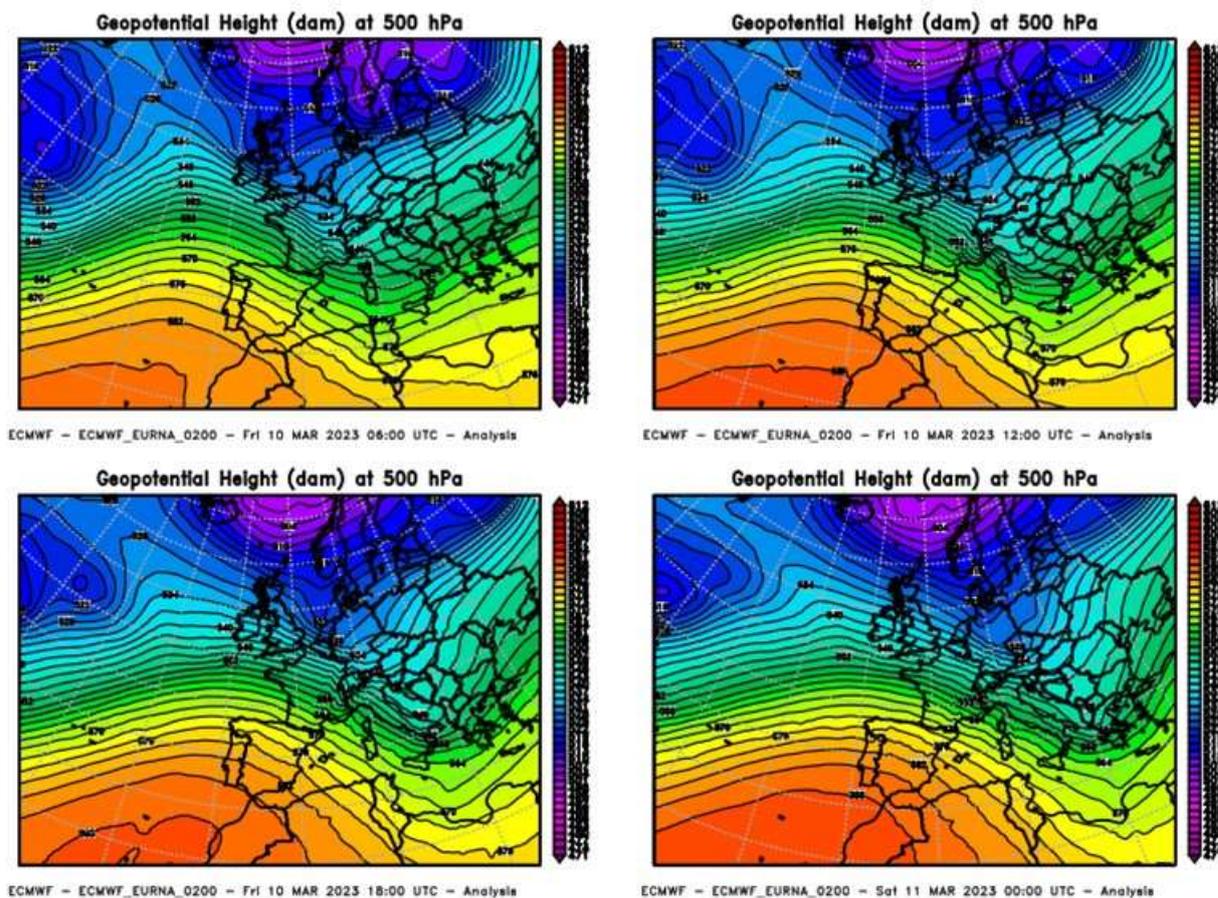


FIGURA 56: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 10 marzo 2023 e ore 00 UTC dell'11 marzo 2023, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Nella giornata successiva dell'11 marzo ha continuato a persistere il marcato gradiente barico sull'arco alpino piemontese, sempre causato dalla contrapposizione tra una vasta area depressionaria presente sull'Europa nordorientale e un promontorio anticiclonico sui settori sudoccidentali europei, con un lieve abbassamento di latitudine delle correnti nordoccidentali in quota (FIGURA 57).

Anche al livello del mare il gradiente barico è rimasto forte con una differenza di pressione tra i due versanti opposti delle Alpi che è risultata però leggermente inferiore rispetto al giorno precedente (8-10 hPa sabato 11 marzo e oltre 12 hPa venerdì 10 marzo).

Pertanto, le raffiche di vento registrate sabato 11 sono state meno intense e si sono verificate tra le ore prima dell'alba e l'inizio della mattinata.

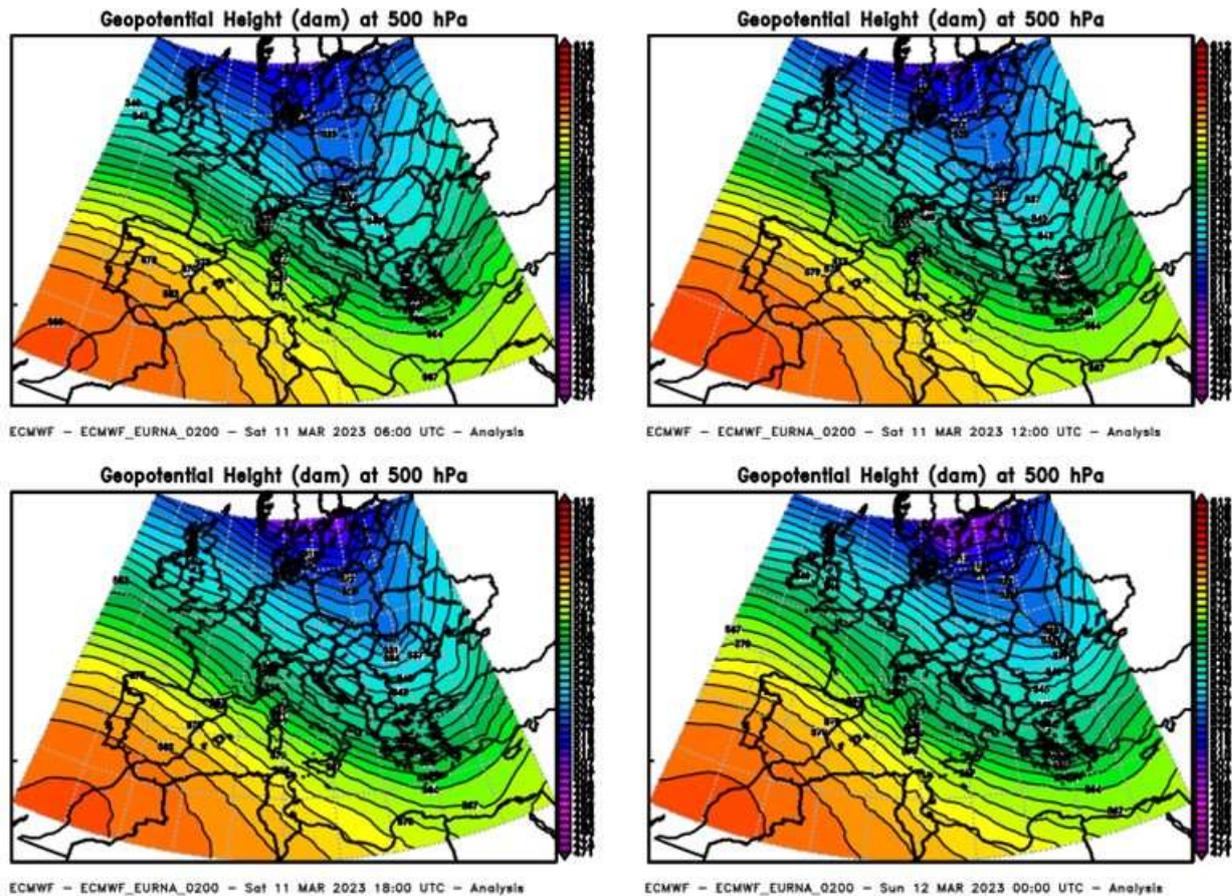


FIGURA 57 - Evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 06 UTC dell'11 marzo 2023 e ore 00 UTC del 12 marzo 2023, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

Il vento da ovest, nordovest si è temporaneamente attenuato al mattino dell'11 marzo, riprendendo vigore dalla tarda mattinata; le correnti discendenti si sono nuovamente attivate sulle valli occidentali e si sono gradualmente estese a buona parte della regione; solo sul Vercellese e sul Novarese le raffiche sono state meno sostenute.

Le condizioni di foehn sono proseguite fino alle prime ore della giornata del 12 marzo; in seguito, il vento si è attenuato ed è ruotato da est, nordest nei bassi strati atmosferici.

## Aprile

In Piemonte aprile 2023 ha avuto una temperatura media di circa 8.6°C, con una lievissima anomalia termica negativa di 0.1°C rispetto alla media del periodo 1991-2020.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1991-2020, con 54.2 mm medi ed un deficit di 54.1 mm (pari al 50%); aprile 2023 si pone al 12° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi a partire dal 1958.

Si sono verificate 11 giornate con foehn, valore più elevato nel nuovo millennio posizionandosi davanti ai 10 episodi giornalieri di aprile 2008; l'episodio più rilevante è avvenuto il 24 aprile.

Nella giornata del 24 aprile sul Piemonte era presente un marcato gradiente barico determinato da una saccatura in movimento dall'Italia centrale verso la penisola balcanica e dalla contemporanea presenza di un promontorio anticiclonico sulla penisola iberica (FIGURA 58). Tale configurazione meteorologica ha convogliato forti venti da ovest, nordovest sul territorio piemontese, con condizioni di foehn estese anche alle zone pianeggianti.

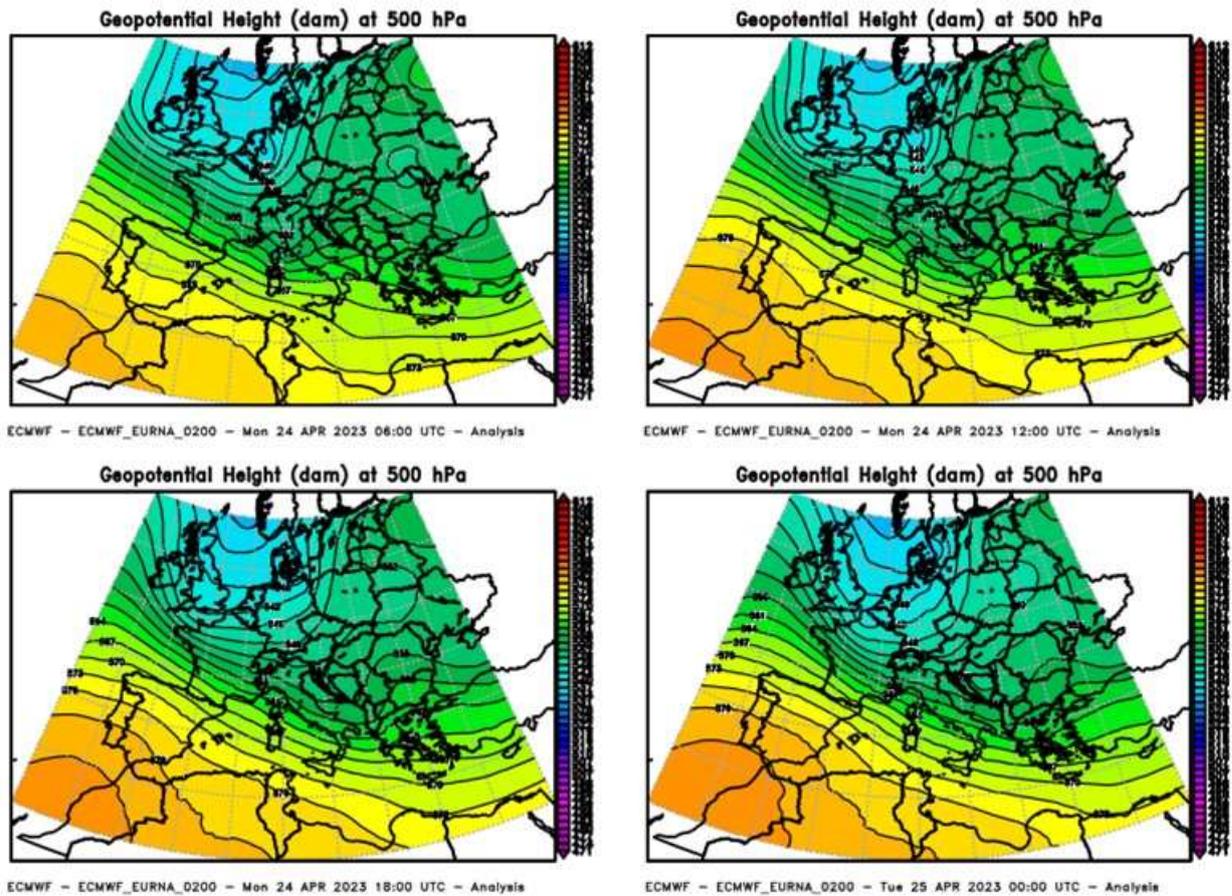


FIGURA 58: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 24 aprile 2023 e 00 UTC del 25 aprile 2023, intervallato ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

## Maggio

La temperatura media di maggio 2023 in Piemonte è stata pari a circa 12,8°C, con una lieve anomalia termica negativa di 0,2°C rispetto alla norma del periodo 1991-2020.

Sono caduti mediamente 233,8 mm di precipitazione, con un surplus precipitativo di 110,7 mm (pari al 90% circa) rispetto alla norma climatica del periodo 1991-2020. Si tratta del quarto mese di maggio più piovoso dopo quelli del 1984, 1977 e 2002. Tuttavia, gli ultimi tre anni sono stati caratterizzati da precipitazioni inferiori alla media climatica e occorre tornare indietro fino a novembre 2019 per registrare precipitazioni mensili superiori a maggio 2023.

Il mese di maggio 2023 ha sensibilmente ridotto il deficit pluviometrico calcolato dall'inizio dell'anno; all'inizio del mese era prossimo al 40% e si è ridotto fino al 6%. Nei primi 4 mesi dell'anno 2023 sono caduti 128 mm circa, quindi, il 55% della precipitazione registrata nel mese di maggio.

Il contributo maggiore alle abbondanti precipitazioni del mese è stato dato dall'evento pluviometrico dei giorni 19-21 maggio, caratterizzato da precipitazioni diffuse, più intense e persistenti sulle aree pedemontane, collinari e di pianura di tutto il Piemonte occidentale, dal Cuneese al Biellese. Il maltempo è stato causato dall'azione contemporanea di due circolazioni depressionarie localizzate tra il bacino occidentale del Mediterraneo e la penisola iberica.

Nel corso dell'evento le precipitazioni hanno avuto un carattere prevalentemente avvevivo e la criticità è stata determinata dalla persistenza dei fenomeni precipitativi che hanno interessato maggiormente le zone su cui è avvenuta la risalita orografica delle masse d'aria in prossimità dei rilievi, ossia le aree pedemontane, collinari e di pianura di tutto il Piemonte occidentale, dal Cuneese al Biellese passando per il Torinese (FIGURA 59) con valori più significativi nella giornata di sabato 20.

Le precipitazioni cumulate più elevate sono state registrate nel Cuneese in località Barge e nel Biellese nel comune di Trivero (VC) con valori rispettivamente di 317,2 mm e 300,2 mm. Nel Torinese la cumulata più significativa si è registrata a fine evento alla stazione di Praly (TO) con un valore pari a 251,9 mm.

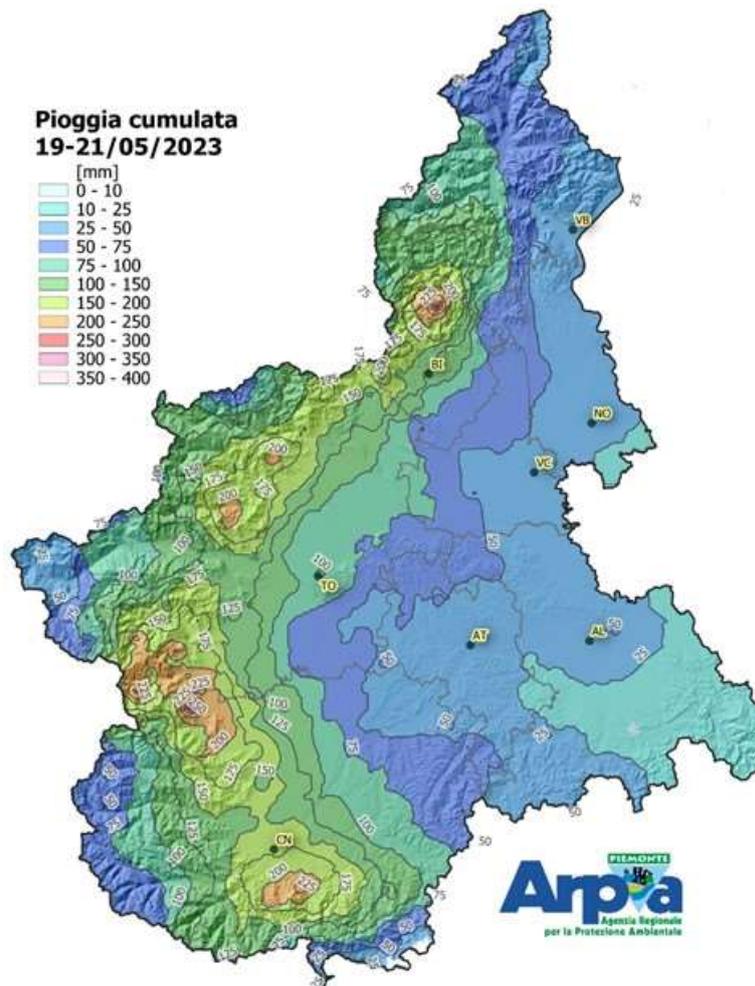


FIGURA 59: precipitazione cumulata tra il 19 e il 21 maggio 2023.

Si sono inoltre verificate nevicate su tutto l'arco alpino, oltre i 2200-2400 m con massimi valori, registrati dalle stazioni di Arpa Piemonte, di 130 cm al Rifugio Gastaldi (TO) e 80 cm a Passo del Moro (VB),

Nel mese di maggio 2023 in Piemonte si sono verificati anche frequenti e intensi fenomeni temporaleschi, non a carattere locale ma con interessamento di vaste porzioni del territorio piemontese; in diversi episodi i temporali sono stati accompagnati da grandinate e ripetute fulminazioni, con locali esondazioni di corsi d'acqua di limitate dimensioni. Il numero totale dei giorni piovosi, ossia giorni in cui si sono registrate precipitazioni medie sulla regione superiori a 1 mm, è stato pari a 24.

## Giugno

In Piemonte giugno 2023 ha avuto una temperatura media di circa 17.8°C, con un'anomalia termica positiva di 0.9°C rispetto alla media del periodo 1991-2020, ed è risultato l'undicesimo mese di giugno più caldo degli ultimi 66 anni.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state leggermente superiori alla norma degli anni 1991-2020, con 103.8 mm medi e un surplus di 9.3 mm (pari all'1%); giugno 2023 si pone al 20° posto tra i corrispondenti mesi più piovosi a partire dal 1958.

Come evento rilevante del mese analizziamo un temporale molto forte avvenuto sulla città di Torino.

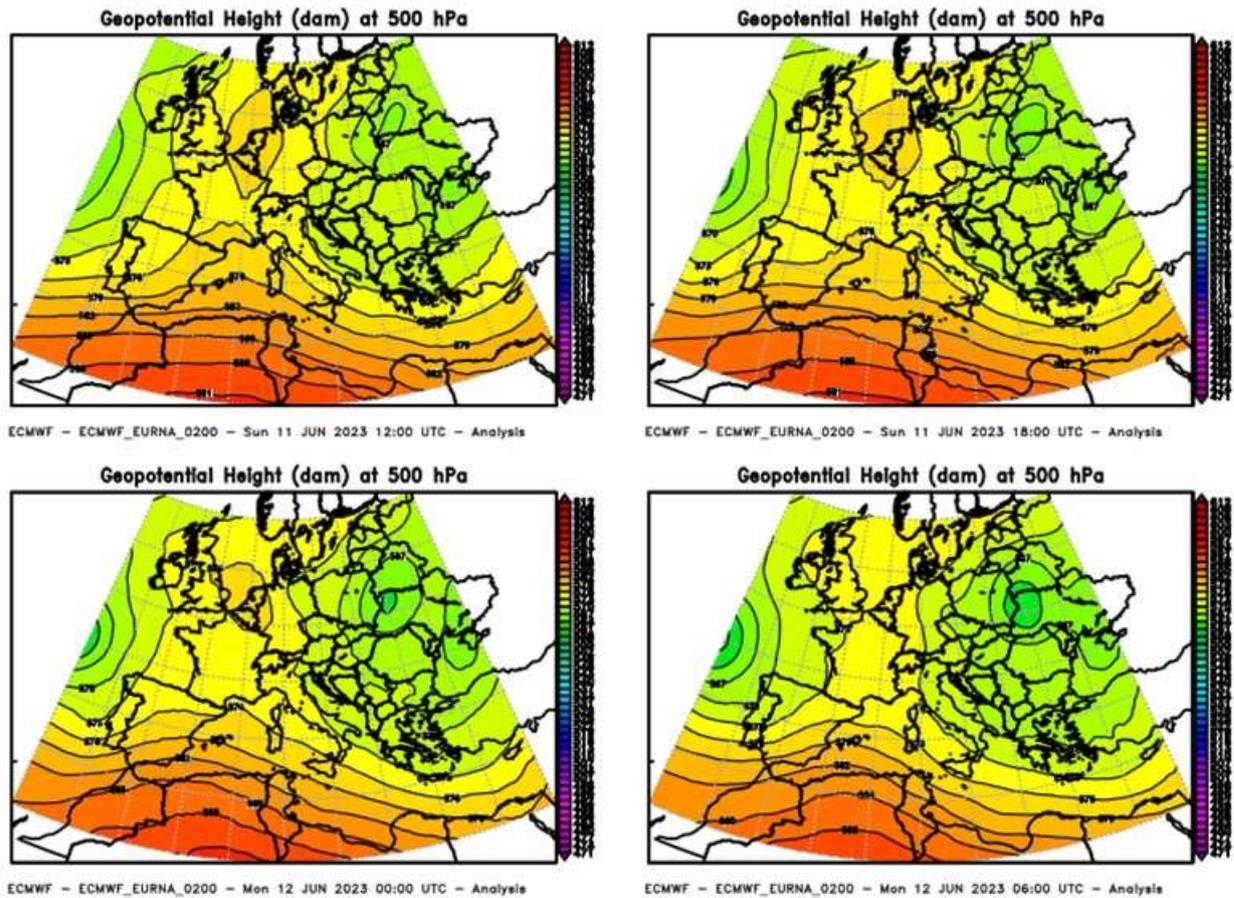


FIGURA 60: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 12 UTC dell'11 giugno 2023 e 06 UTC del 12 giugno 2023, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Nelle ore centrali dell'11 giugno il Piemonte è stato interessato da un promontorio anticiclonico di matrice africana che si è ritirato verso sud tra il pomeriggio e la mattina del giorno successivo a causa dell'azione di una circolazione depressionaria avente il minimo sull'Ucraina (FIGURA 60).

La struttura di bassa pressione si è estesa verso ovest convogliando aria fredda instabile sul territorio piemontese e causando diffusi fenomeni temporaleschi sul settore occidentale del Piemonte, localmente di intensità molto forte.

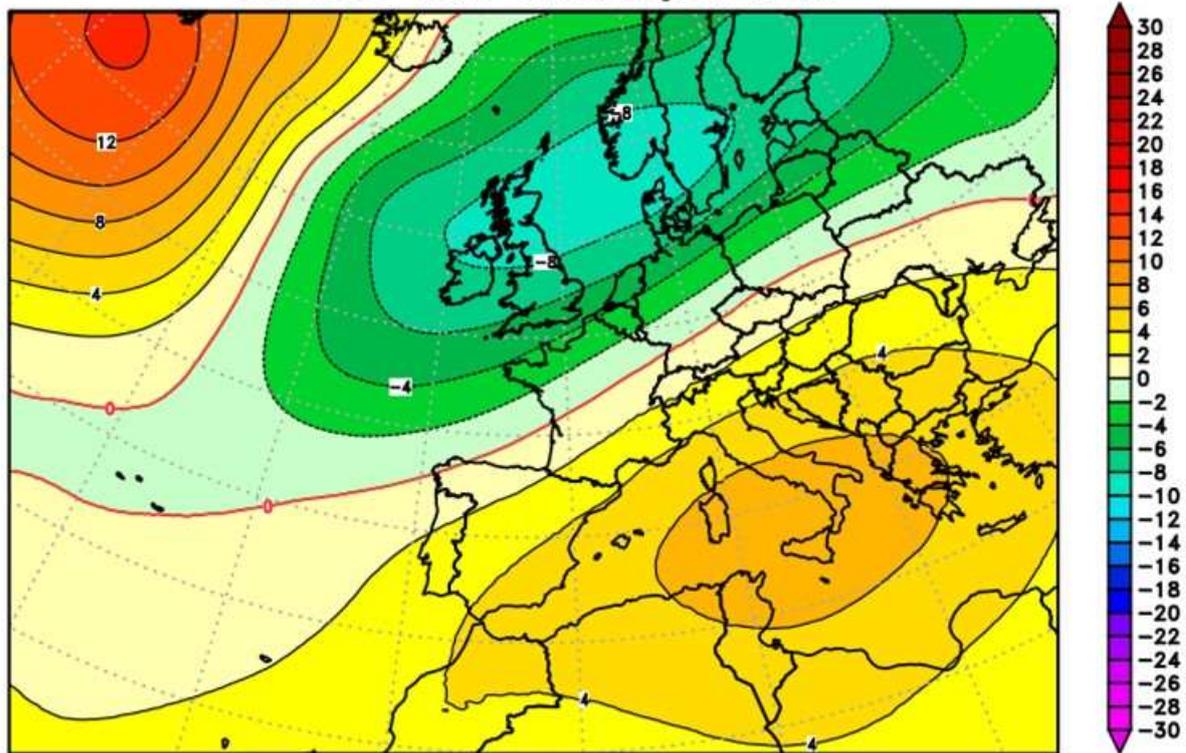
I picchi più elevati sono stati registrati a Torino Giardini Reali con 69 mm/h e 94 mm/3h; il valore in tre ore rappresenta il primato assoluto per il pluviometro.

## Luglio

In Piemonte luglio 2023 ha registrato una temperatura media di circa 20.4°C, con un'anomalia termica positiva di 1.1°C rispetto alla media del periodo 1991-2020, risultando il 9° mese di luglio più caldo dal 1958 e anche il mese con le temperature più elevate dell'anno 2023.

Luglio 2023 verrà ricordato per la prolungata ondata di calore che ha interessato le regioni centro-meridionali italiane nella seconda metà del mese, con temperature diffusamente superiori ai 40°C e locali picchi oltre 45°C. La FIGURA 61 rappresenta l'anomalia dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa del mese di luglio 2023 rispetto alla climatologia degli anni 1991-2020, dove è possibile notare un'ampia area con valori di pressione al di sopra della norma localizzata tra l'Italia centro-meridionale, la Tunisia, l'Albania e la Grecia.

### Monthly Geopotential Height Anomaly (dam) at 500 hPa – JUL 2023 JUL 1991–2020 Climatological Mean



ECMWF – ECMWF\_EURNA\_0200 – Analysis

FIGURA 61: anomalia dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa nel mese di luglio 2023 rispetto alla climatologia degli anni 1991-2020. Elaborazione ARPA Piemonte su dati ECMWF.

Tale ondata di calore ha interessato anche il territorio piemontese, in particolare tra il 18 e il 19 luglio quando sono stati stabiliti dei primati di temperatura massima assoluta sui settori montani occidentali cuneesi e torinesi. Tuttavia, il Piemonte è stato interessato in maniera più marginale rispetto al Centro-Sud d'Italia e non sono stati superati i 40°C come avvenuto in ondate di calore passate o nel mese di agosto successivo.

Sul territorio piemontese luglio 2023 ha avuto una precipitazione media di 45,8 mm, con un'anomalia negativa di 20,6 mm rispetto alla norma degli anni 1991-2020 (ovvero corrispondente al -31%), ed è risultato il 18° mese di luglio meno piovoso degli ultimi 66 anni.

Nonostante sia stato un mese caldo e con precipitazioni inferiori alla norma, si sono verificati diversi episodi temporaleschi localmente intensi, con grandinate e forti raffiche di vento.

#### Agosto

Sul territorio piemontese agosto 2023 ha registrato una temperatura media di circa 20,4°C, inferiore a luglio 2023 per soli 0,06°C, con un'anomalia termica positiva di 1,3°C rispetto alla climatologia del periodo 1991-2020, risultando il 7° mese di agosto più caldo dal 1958.

Tale anomalia termica positiva è stata causata principalmente da un'ondata di calore avvenuta tra i giorni 19 e 25 agosto, nel corso dei quali in Piemonte sono stati superati i 40°C per la prima volta dal 28 giugno 2019 ed è stato stabilito il primato assoluto di zero termico.

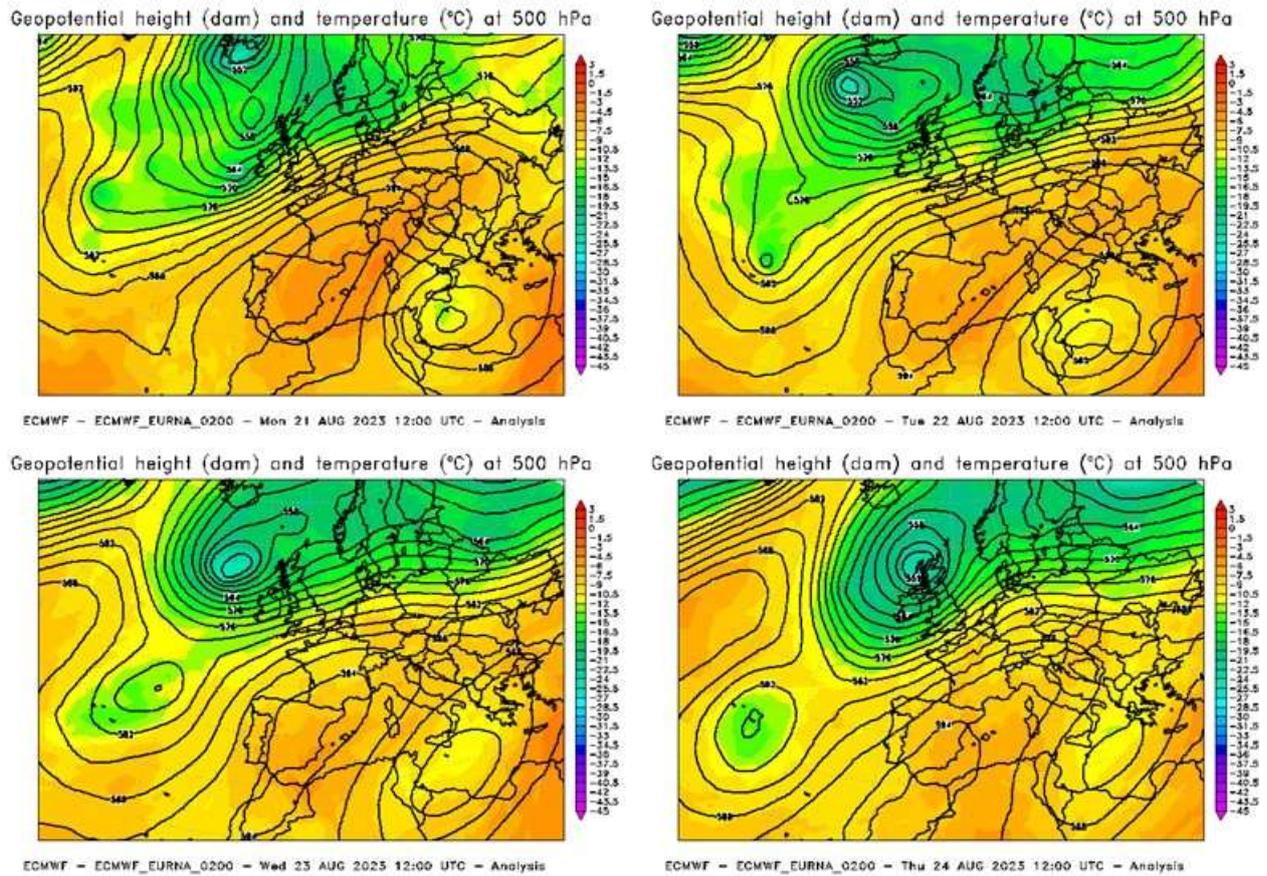


FIGURA 62: evoluzione di altezza di geopotenziale (dam, isolinee) e temperatura (°C, colori) a 500 hPa tra le ore 12 UTC del 21 e del 24 agosto 2023, intervallate ogni 24 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

A partire da sabato 19 il Piemonte è stato interessato per circa una settimana da un anticiclone di matrice africana che ha determinato temperature superiori di circa 5-6°C rispetto alla norma del periodo 1991-2020. In FIGURA 62 sono riportate le mappe di analisi del modello IFS emesse dall'ECMWF per le ore 12 UTC dei giorni 21, 22, 23 e 24 agosto 2023, in cui con le isolinee è indicata l'altezza di geopotenziale a 500 hPa e con i colori la temperatura alla medesima quota (circa 5500 m). Si nota bene l'ampia area anticiclonica, caratterizzata da temperature elevate e da valori di pressione alti, con massimi localizzati tra il nord Italia, la Francia meridionale e la penisola iberica. Ad essi si contrapponeva una depressione situata tra Islanda e Isole Britanniche. Quest'ultima è la responsabile della conclusione di questa ondata di calore avvenuta nel fine settimana del 26-27, con la discesa di una profonda saccatura e dei relativi sistemi frontali.

In alta quota il picco termico è stato raggiunto il 21 agosto, quando l'area di alta pressione ha posizionato il suo massimo barico a ovest dell'arco alpino. Alle 00 UTC il radiosondaggio di Novara Cameri ha registrato uno zero termico di poco superiore ai 5300 m, valore più alto per il Piemonte da quando si effettuano le misurazioni.

Nei bassi strati atmosferici la subsidenza (lenti moti discendenti) presente nella struttura anticiclonica ha determinato un progressivo riscaldamento della massa d'aria e il giorno più caldo è stato mercoledì 23 agosto. In tale giornata la temperatura media sul Piemonte è stata pari a 26.3°C mentre le massime sulle zone pianeggianti hanno fatto registrare valori intorno ai 36°C con locali picchi superiori a 40°C a Nizza Monferrato (AT) con 40.9°C e ad Acqui Terme (AL) con 40.2°C.

Mercoledì 23 agosto 2023 è stato il terzo giorno più caldo sul Piemonte dal 1958, alla pari con l'11 agosto 2003 e dietro il 27 e 28 giugno 2019.

Dal punto di vista pluviometrico agosto 2023 ha avuto una precipitazione media di 123.6 mm, con un surplus di 47.4 mm (pari al 62%) rispetto alla norma degli anni 1991-2020, ed è risultato il 7° mese di agosto più piovoso degli ultimi 66 anni.

Si sono verificati intensi temporali che hanno causato frane e fenomeni di dissesto e un episodio di precipitazioni intense e diffuse tra il 27 e il 28 agosto, in cui sono caduti 84.3 mm medi sul Piemonte; il 28 agosto è stato il giorno più piovoso dell'anno con 49.7 mm medi sul territorio piemontese.

Da ricordare anche la frana su Bardonecchia del 13 agosto e il forte temporale su Caselle (To) del 16 agosto, con 80.3 mm/h alle 21:10 UTC; tale valore rappresenta il picco annuale su tale intervallo orario.

## Settembre

In Piemonte settembre 2023 ha avuto una temperatura media di circa 17.2°C, con un'anomalia termica positiva di 2.4°C rispetto alla norma climatica del periodo 1991-2020, risultando il 3° mese di settembre più caldo degli ultimi 66 anni.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1991-2020, con 78.1 mm medi ed un deficit di 23.4 mm (pari al 23%).

Tuttavia nel corso di questo mese si è verificato un evento pluviometrico in cui sono stati registrati i picchi pluviometrici più elevati dell'anno in vari intervalli orari.

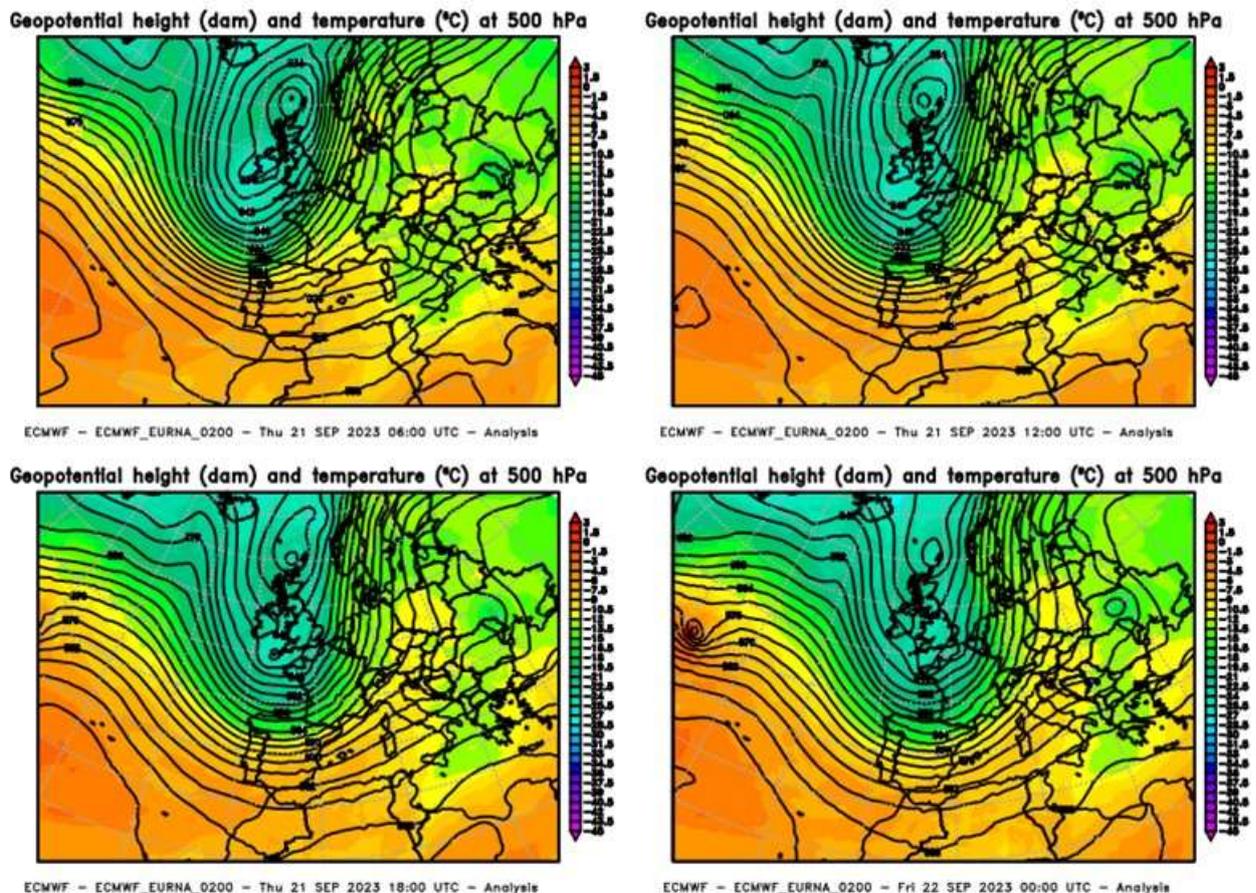


FIGURA 63: evoluzione di altezza di geopotenziale (dam, isolinee) e temperatura (°C, colori) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 21 settembre 2023 e 00 UTC del 22 settembre 2023, intervallate ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Il giorno 21 una vasta e profonda area depressionaria con minimo a nord delle isole britanniche si è estesa a sud verso la penisola iberica e ha convogliato flussi umidi da sudovest sul territorio piemontese unitamente ad aria più fresca durante il suo moto di avvicinamento verso il nordovest italiano (FIGURA 63).

Tale depressione ha causato fenomeni precipitativi sul Piemonte settentrionale e nordoccidentale e sull'Appennino alessandrino.

Il giorno 22 la struttura depressionaria ha proseguito lentamente il suo moto verso est, bloccata nella sua avanzata da un'area di alta pressione presente sull'Europa orientale (FIGURA 64). È continuato il flusso umido da sudovest sul Piemonte e anche l'apporto di aria più fresca con persistenza dei fenomeni temporaleschi.

Nelle ore centrali della giornata si sono verificate ampie ma temporanee schiarite e nel tardo pomeriggio si sono sviluppati cumuli consistenti sulla fascia pedemontana alpina centro-

settentrionale in transito sulle pianure a nord del Po, con l'attivazione di nuovi fenomeni temporaleschi localmente forti o molto forti.

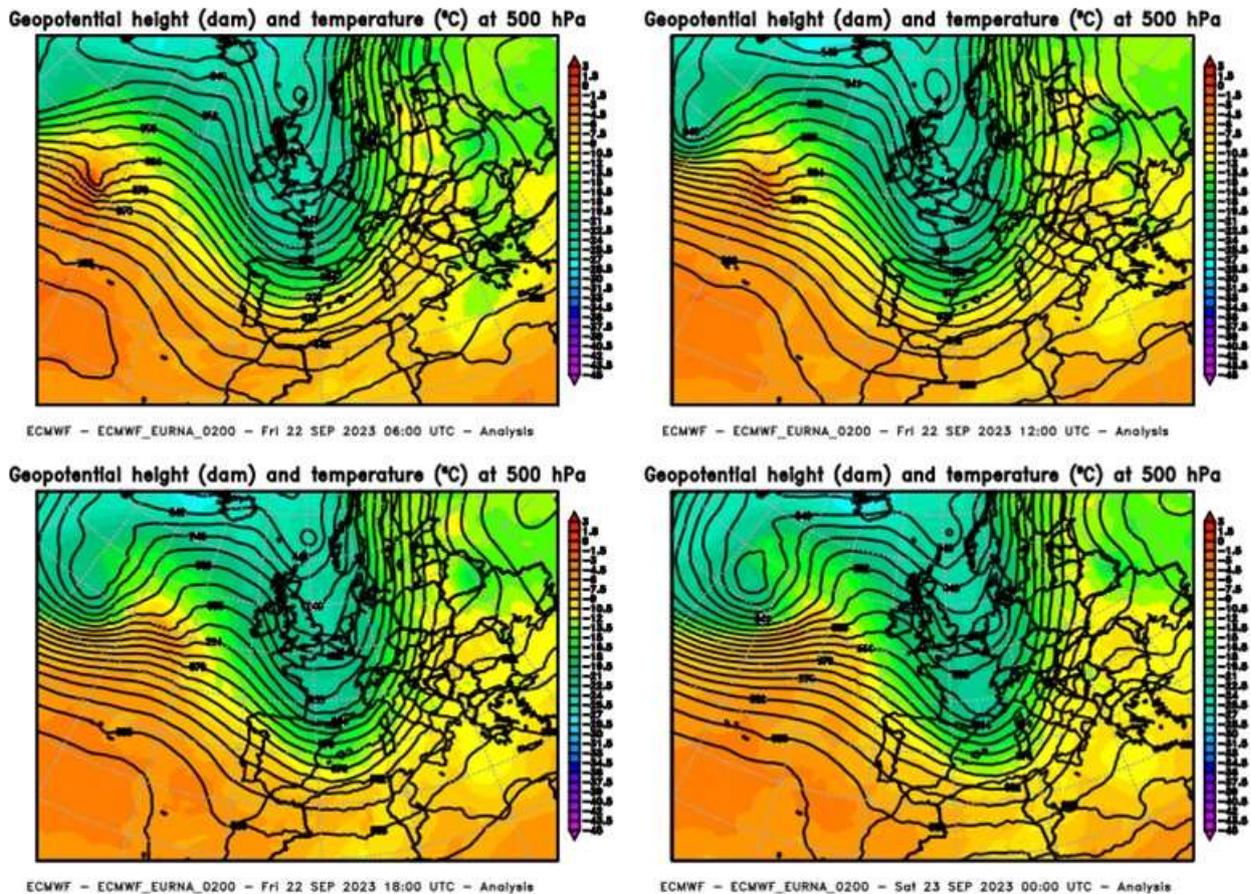


FIGURA 64: evoluzione di altezza di geopotenziale (dam, isolinee) e temperatura (°C, colori) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 22 settembre 2023 e 00 UTC del 23 settembre 2023, intervallate ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Le abbondanti piogge hanno causato l'innalzamento dei livelli idrometrici dei corsi d'acqua del reticolo idrografico secondario del Biellese (Sessera), Vercellese (Mastallone) e Verbano (corsi d'acqua Strona e San Bernardino), facendo registrare incrementi anche superiori al metro. I livelli idrometrici si sono comunque mantenuti al di sotto del livello di guardia.

Dal punto di vista anemometrico nel mese si è verificato un solo episodio di foehn, valore più basso per il nuovo millennio dopo gli zero episodi del 2008.

### Ottobre

In Piemonte ottobre 2023 ha avuto una temperatura media di circa 13.4°C, con una marcata anomalia termica positiva di 3.1°C rispetto alla norma climatica del periodo 1991-2020, ed è risultato il secondo più caldo dell'intera serie storica dal 1958, dopo ottobre 2022.

È stato caratterizzato da un andamento climatico molto differente tra la prima e la seconda metà del mese.

I primi quindici giorni hanno avuto caratteristiche sostanzialmente estive, con una marcata anomalia termica positiva di circa 7°C rispetto alla norma del periodo 1991-2020, culminata nell'ottavo giorno del mese, risultato il più caldo per ottobre per l'intera serie storica dal 1958. La prima metà del mese è stata anche avara di precipitazioni.

Invece la seconda parte del mese è stata di stampo autunnale, con temperature nella norma, abbondanza di precipitazioni, in particolare sui rilievi con due episodi di pioggia intensa. In sostanza il vero passaggio dalla stagione estiva a quella autunnale per l'anno 2023 è avvenuto a metà ottobre.

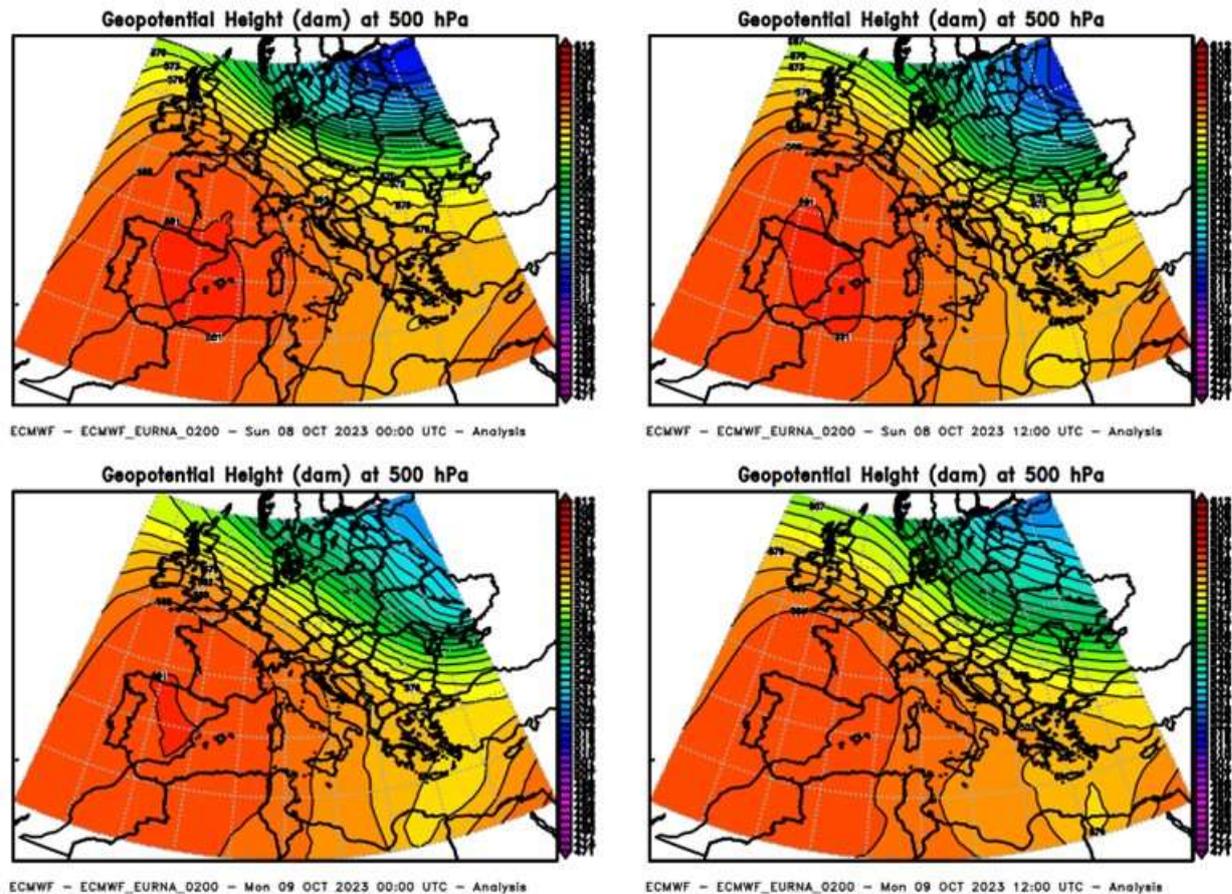


FIGURA 65: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 00 UTC dell'8 ottobre 2023 e 12 UTC del 9 ottobre 2023, intervallata ogni 12 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

L' 8 ottobre il Piemonte è stato interessato da un'area di alta pressione avente il massimo tra la Spagna, la catena pirenaica, le isole Baleari e l'Algeria (FIGURA 65). Tale struttura barica ha determinato marcati effetti di subsidenza sul territorio piemontese, unitamente ad una debole ventilazione favonica dai quadranti occidentali e settentrionali nelle vallate alpine e fino a quote di media e bassa collina, causando condizioni di tempo generalmente soleggiato sul Piemonte con valori termici sensibilmente superiori alla climatologia. L'8 ottobre è risultato il più caldo dell'intera serie storica con una temperatura media di 20.1°C, superiore di circa 8.5°C rispetto alla norma del periodo 1991-2020; ancora più marcata è stata l'anomalia positiva delle temperature massime con ben 10.8°C. In tale giorno la media delle temperature massime in pianura è stata pari a 30.4°C con picco più elevato di 34.5°C a Nizza Monferrato (AT) e Sezzadio (AL); 144 termometri della rete Arpa Piemonte, pari al 52% del totale, hanno stabilito il primato di temperatura massima del mese dalla data della loro installazione.

L'eccezionalità dell'evento di caldo per il mese di ottobre è evidenziata anche dal fatto che ben 90 stazioni sul territorio regionale hanno fatto registrare temperature uguali o superiori ai 30 °C, in particolare sul medio e basso Piemonte tra Torinese, Cuneese, Astigiano ed Alessandrino.

Quasi tutti i capoluoghi di provincia ad eccezione di Verbania e Novara hanno fatto registrare una temperatura massima record per il mese di ottobre: tutte le stazioni installate a Torino (tra cui Torino Consolata 31.4 °C, Torino Reiss Romoli 31.3 °C, Torino Giardini Reali 31.2 °C), Vercelli 31.2 °C, Asti 32.3 °C, Alessandria 32.7 °C, Cuneo 32.1 °C, Biella 29.8 °C. Novara si è mantenuta a soli 0.2 °C dal record dell'11 ottobre 2011, mentre Verbania è rimasta al di sotto di 3°C rispetto al record dell'11 ottobre 2011 di 29.3°C.

Nella giornata del 9 ottobre la struttura anticiclonica ha cominciato a perdere intensità, le temperature hanno iniziato a calare pur mantenendosi sensibilmente superiori alla norma climatica.

Dal punto di vista pluviometrico ottobre 2023 ha avuto una precipitazione media di 125.2 mm sul territorio piemontese, con un lieve surplus di 9.2 mm (pari all'8%) rispetto alla norma degli anni 1991-2020, e si pone al 23° posto tra i corrispondenti mesi più piovosi degli ultimi 66 anni.

## Novembre

In Piemonte novembre 2023 ha registrato una temperatura media di circa 5.7°C, con un'anomalia termica positiva di 0.4°C rispetto alla norma climatica del periodo 1991-2020, risultando il 14° mese di novembre più caldo dal 1958.

Inoltre, novembre 2023 ha avuto una precipitazione media di 59.5 mm, con un deficit pluviometrico di 73.4 mm (pari al 55%) rispetto alla norma degli anni 1991-2020, e si pone al 21° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi degli ultimi 66 anni.

Nel mese si sono avuti 18 giorni con foehn: novembre 2023 è risultato così il mese novembrino con più giorni di foehn dal 2000, superando i 12 di novembre 2007 che finora aveva il primato.

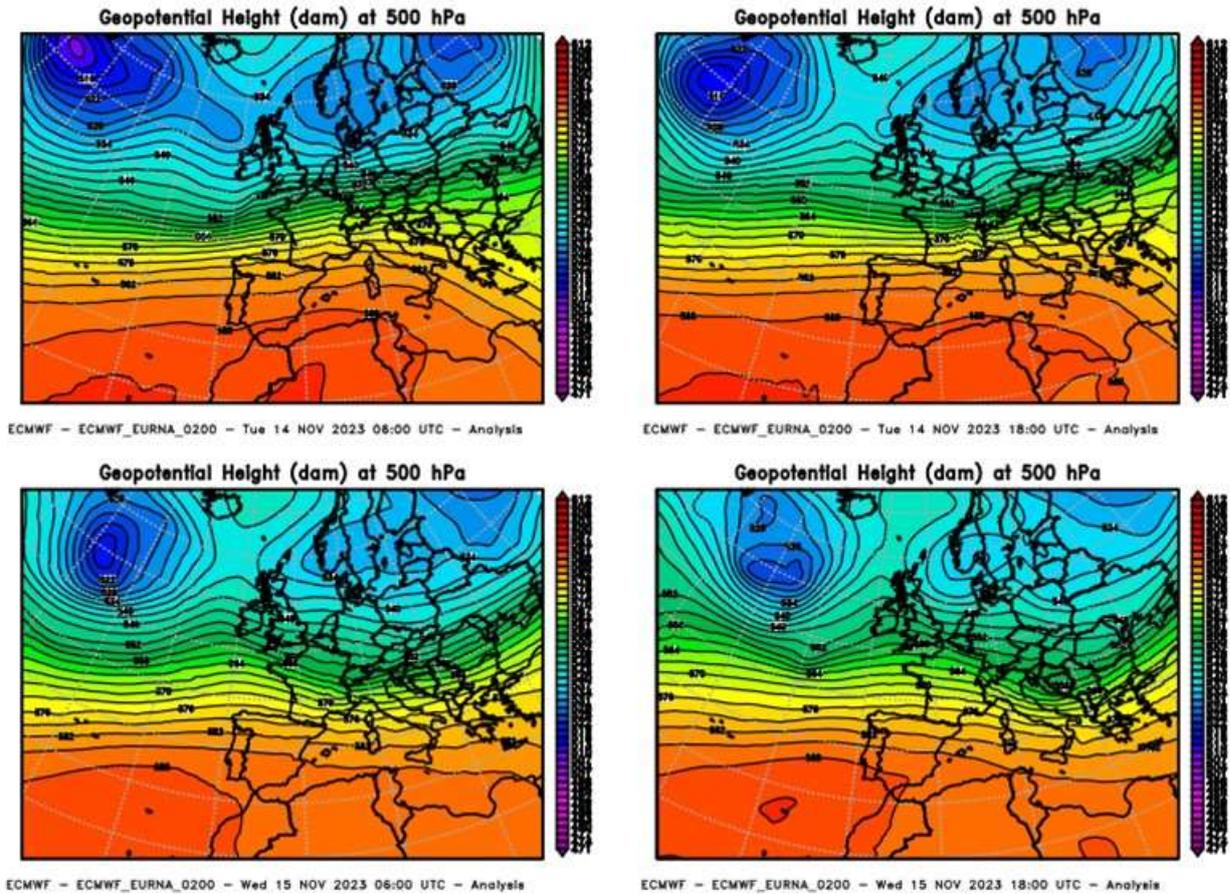


FIGURA 66: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 14 novembre 2023 e 18 UTC del 15 novembre 2023, intervallata ogni 12 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Ora esaminiamo un episodio di favonio avvenuto nel mese. Nella giornata del 14 lo scenario meteorologico europeo era caratterizzato da una vasta area anticiclonica di matrice africana presente sul bacino del Mediterraneo mentre sull'Europa centro-settentrionale si evidenziavano tre circolazioni depressionarie (FIGURA 66 in alto).

In tale configurazione barica un marcato gradiente di pressione attraversava il territorio piemontese causando una forte ventilazione da ovest in quota con annuolamenti sui rilievi alpini settentrionali e occidentali di confine con Francia e Svizzera; lo zero termico si è mantenuto su valori elevati, sui 3500 m sul Piemonte settentrionale e sui 4000 m sul basso Piemonte e infatti il 14 novembre è risultato il giorno mediamente più caldo del mese del Piemonte.

All'interno della circolazione occidentale in quota, un'onda depressionaria atlantica è transitata sull'arco alpino piemontese nella notte tra il 14 e il 15 e successivamente si è allontanata verso il basso Adriatico (FIGURA 66 in basso). Il transito di tale onda ha causato l'innesco di condizioni di foehn nelle vallate alpine occidentali nella prima parte della giornata e in quelle settentrionali dal pomeriggio, con interessamento delle zone pedemontane e delle pianure adiacenti. Sui settori

pianeggianti piemontesi il 15 novembre è stato il giorno più caldo del mese con una media delle temperature massime pari a 19.2°C.

Nel corso di tale episodio di foehn la raffica massima al di sotto dei 2000 m di quota è stata registrata in Val Susa a Pietrastretta (TO) alle 01:00 UTC del 15 novembre con 27.5 m/s (99.0 km/h).

## Dicembre

In Piemonte dicembre 2023 ha registrato una temperatura media di 4.5°C, valore superiore di 2.6°C rispetto alla norma climatica del periodo 1991-2020, risultando il secondo mese di dicembre più caldo degli ultimi 66 anni dopo il 2015.

Il 23 dicembre 2023 è risultato il giorno più caldo di dicembre nella serie storica dal 1958; analizziamo la configurazione barica che ha determinato l'eccezionalità di tale giornata dal punto di vista termico.

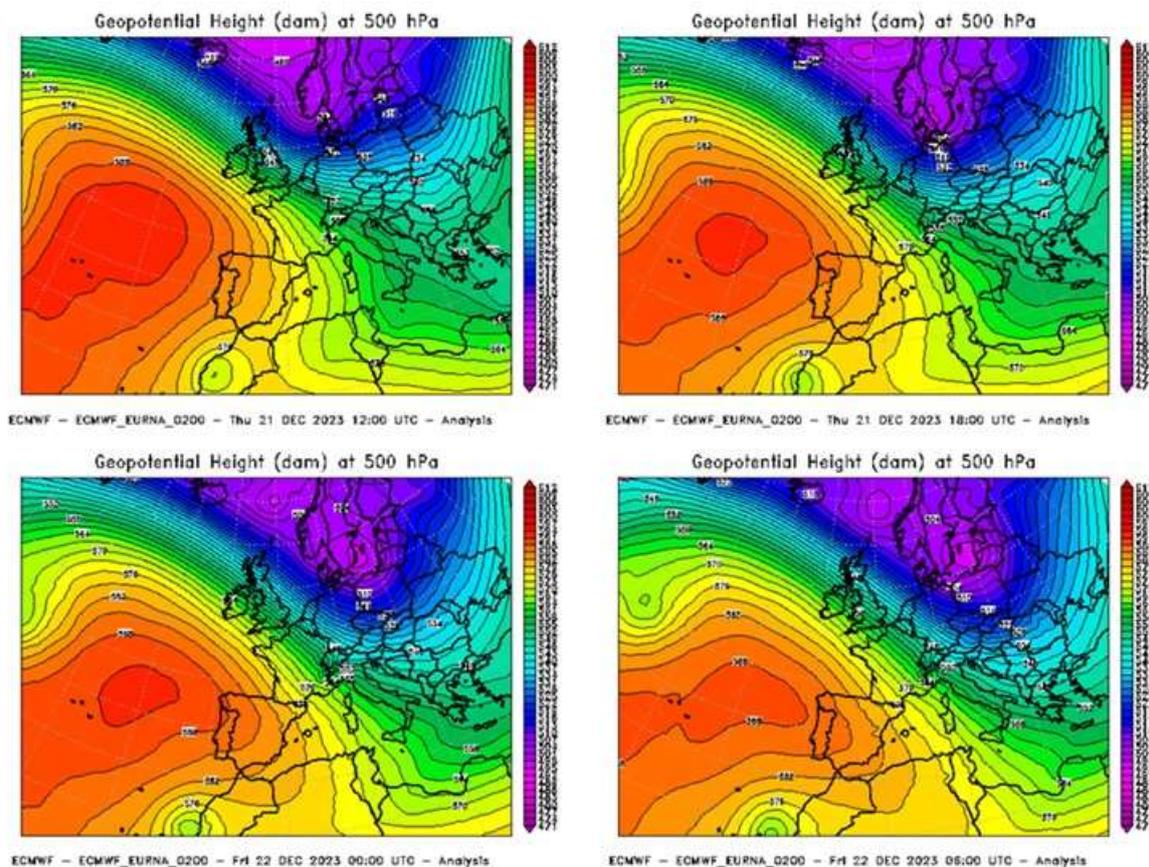


FIGURA 67: analisi dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa (circa 5500 m) ogni sei ore a partire dalle ore 12 UTC del 21 dicembre 2023. In viola si nota l'area di bassa pressione in discesa dal Mar Baltico, mentre in arancione l'alta pressione delle Azzorre. Elaborazione ARPA Piemonte su dati ECMWF.

Le due strutture bariche protagoniste sono state un'alta pressione con centro situato nei pressi delle Isole Azzorre, e una bassa pressione (nominata Zoltan dall'Università di Berlino e internazionalmente Pia) con centro sul Mar Baltico.

Tra giovedì 21 e venerdì 22 la lenta discesa verso sud in direzione dei Balcani e del Mar Mediterraneo orientale della depressione Zoltan ha portato a un aumento del gradiente barico presente tra le due strutture (FIGURA 67), gradiente che si è rivelato molto marcato in prossimità dell'arco alpino ed è stato responsabile dello sviluppo dell'intenso vento geostrofico in quota con provenienza nordoccidentale sulla regione piemontese. L'interazione di tali intense correnti con la catena montuosa ha portato anche ad una recrudescenza del gradiente barico al suolo, generando una differenza di pressione tra il lato nord alpino e quello sud alpino (pianura piemontese) di oltre 18 hPa.

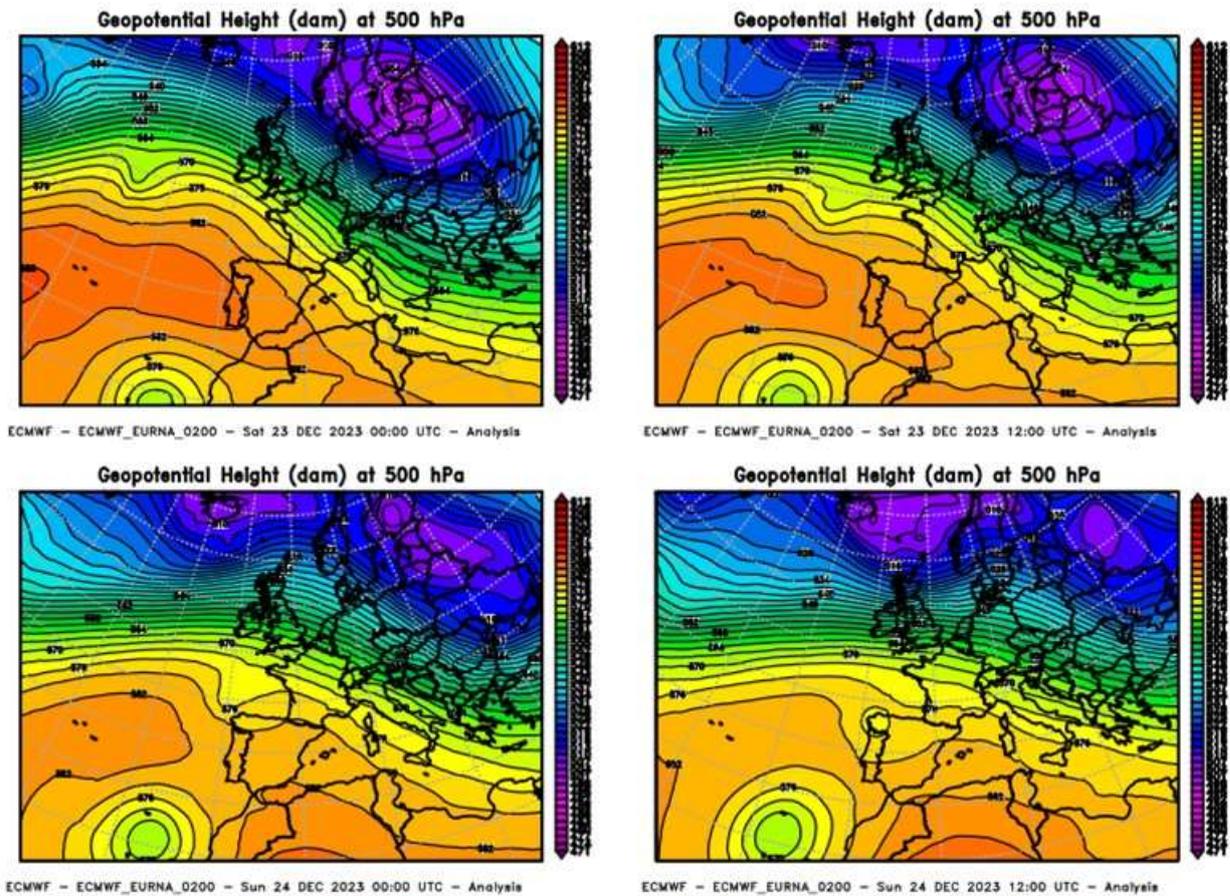


FIGURA 68: evoluzione dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa (dam) tra le ore 00 UTC del 23 dicembre 2023 e 12 UTC del 24 dicembre 2023, intervallata ogni 12 ore. Elaborazione ARPA Piemonte su dati ECMWF.

La configurazione barica è rimasta praticamente immutata per tutta la giornata di venerdì 22, poi nel giorno successivo il centro dell'alta pressione sulle Azzorre si è spostato verso ovest, mentre la saccatura che dal Baltico si protendeva verso sud ha ruotato il suo asse, e ha traslato il centro depressionario verso est, indebolendo in generale il gradiente di pressione che investiva l'arco alpino. L'attenuazione del gradiente barico ha determinato una progressiva riduzione dei venti sia in quota che nei bassi strati (FIGURA 68 in alto).

Il dissolvimento completo di questa dicotomia barica è avvenuto nella giornata di domenica 24 dicembre, quando il campo barico in quota ha assunto una configurazione zonale (FIGURA 68 in basso).

L'intensificazione del vento sulle creste delle Alpi Occidentali è iniziata già dalla mattina di giovedì 21 per poi progressivamente estendersi nelle vallate dalle ore centrali, ed infine raggiungere le pianure nella notte tra giovedì 21 e venerdì 22.

Il foehn si è incanalato nelle valli raggiungendo velocità molto elevate e segnando nuovi record per la stazione del Rifugio Vaccarone (179.3 km/h) e per quella di Avigliana (114.8 km/h) nella velocità della raffica del vento.

La massima intensità dell'evento è stata misurata, per le stazioni di montagna, tra giovedì e venerdì, e presenta un plateau di valori elevati per tutto venerdì 22 e sabato 23, mentre è apprezzabile il ritardo del picco più intenso nelle stazioni di Avigliana (TO) con 114.8 km/h, Caselle Torinese (TO) con 98.3 km/h e Torino Alenia con 95.4 km/h, che presentano una differenza di 3.30 ore tra le raffiche più intense: per Avigliana è avvenuta alle 6:30 e per la Torino alle 10:00, ore locali.

La forte ventilazione è stata accompagnata da un marcato aumento delle temperature, proprio per il riscaldamento adiabatico della massa d'aria in caduta dall'arco alpino verso le vallate e sulle pianure piemontesi.

Il titolo di "giorno di dicembre più caldo dell'intera serie storica a partire dal 1958" è stato inizialmente detenuto dal 22 dicembre 2023, giornata nella quale i termometri hanno fatto registrare una

temperatura media sul Piemonte di 10.1°C, subito superata da quella del 23 dicembre con 11.4 °C, di 9°C sopra la norma del periodo 1991-2020. Il 23 dicembre ha registrato raffiche di vento meno intense rispetto al giorno precedente, anche se ancora burrascose o tempestose; tuttavia, le temperature sono risultate più elevate a causa del riscaldamento dell'atmosfera con lo zero termico che si è portato sui 3500 m medi sul Piemonte rispetto ai 2800 m del 22 dicembre; inoltre, le temperature minime del 23 dicembre sono risultate più alte di 2°C in montagna e di 4°C in pianura nei confronti del giorno precedente.

Il 23 dicembre 89 termometri della rete Arpa Piemonte, pari a circa il 32% del totale, hanno stabilito il primato di temperatura massima per il mese di dicembre dal momento della loro installazione. Il picco più elevato è stato misurato a Cumiana (TO) con 25.2°C, ma anche a Bra (CN), Treiso (CN) e Villanova Solaro (CN) la temperatura massima giornaliera ha superato la soglia "primaverile" dei 25°C. Ha resistito invece a Torino Giardini Reali il record di 21.6°C stabilito il giorno precedente, 22 dicembre 2023.

Nelle valli i venti molto intensi e il brusco calo di umidità unito alla carenza di precipitazioni nei giorni precedenti hanno favorito lo sviluppo di diversi incendi boschivi tra Giaveno e Le Valli di Lanzo.

Dal punto di vista pluviometrico dicembre 2023 ha avuto una precipitazione media di 45.8 mm, con un deficit pluviometrico di 11.5 mm (pari a -20%) rispetto alla norma degli anni 1991-2020, e si pone al 31° posto tra i corrispondenti mesi meno ricchi di precipitazione degli ultimi 66 anni.

## I DATI METEO MISURATI NEL 2023

Al termine della caratterizzazione meteorologica, si è ritenuto interessante effettuare l'analisi dei dati meteorologici misurati dalle stazioni a terra nell'anno 2023, limitata all'andamento delle variabili meteorologiche maggiormente significative in rapporto al decennio precedente 2013-2022.

Per l'analisi statistica è stata scelta una stazione appartenente alla Rete Meteoidrografica di Arpa Piemonte, rappresentativa per l'area urbana di Torino.

I parametri ritenuti caratterizzanti, dal punto di vista meteorologico, ai fini di un confronto su scala pluriennale, sono la temperatura e le precipitazioni atmosferiche.

La temperatura media dell'anno 2023 per la stazione risulta pari a 15 °C, quindi superiore sia alla media dei dati rilevati negli ultimi dieci anni nella stessa stazione di Torino-Giardini Reali (14 °C), sia a quella calcolata per il capoluogo piemontese sul periodo 1991-2020 (13.6°C).

L'andamento delle temperature medie mensili è stato confrontato con l'andamento medio del decennio 2013-2022 (FIGURA 69). Si segnalano valori significativi di temperatura superiori alla media climatologica nei mesi di marzo (+1.9°C), ottobre (+2.7°C) e dicembre (+2.0°C). Le differenze negative rispetto alle relative medie del decennio precedente si riscontrano soltanto nei mesi di maggio (-0.2°C) e novembre (-0.4°C).

Il valore più basso delle temperature medie mensili è stato registrato nel mese di gennaio ed è pari a 4.9 °C nel 2023 mentre è pari a 3.6°C nel decennio di riferimento. Il valore massimo è stato registrato nel mese di luglio: nel 2023 è di 25.8°C, invece è di 25.1°C nel decennio climatologico 2013-2022.

Dal confronto grafico fra l'andamento dei dati orari acquisiti nel corso del 2023 e l'intervallo di valori medi studiato a partire dai minimi e dai massimi assoluti registrati mensilmente nel decennio precedente (FIGURA 70), si osserva che le temperature si mantengono pressoché superiori ai valori medi dei minimi assoluti registrati mensilmente nel decennio di riferimento (linea blu). Per quanto riguarda i superamenti dei massimi assoluti si notano valori di temperatura al di sopra dei valori massimi assoluti (oltre la linea rossa dell'andamento dei massimi assoluti registrati mensilmente nel decennio 2013-2022) nei mesi di febbraio, agosto, ottobre, novembre e dicembre.

Per quanto riguarda le precipitazioni atmosferiche, l'analisi dei dati statistici evidenzia per l'anno 2023 (FIGURA 71) un totale di precipitazioni di 864 mm, mentre il numero di giorni piovosi (si definisce giorno piovoso quello in cui si registra almeno 1 mm di pioggia su tutto l'arco della giornata) è pari a 73. Quindi il 2023 risulta meno piovoso rispetto alla media 2013-2022, sia in termini di precipitazioni totali (864 mm contro 937 mm di media), sia per il numero di giorni piovosi (73 giorni nel 2023 contro 79 giorni di media).

Il 2023 si colloca al quarto posto tra gli anni meno piovosi dell'ultimo decennio.

Utilizzando come parametro di confronto l'intensità delle precipitazioni atmosferiche, calcolata come il rapporto fra la quantità totale di pioggia ed il numero di giorni piovosi, si osserva che i valori più alti sono stati registrati nel 2016 (14.1 mm pioggia/giorno), nel 2015 e nel 2014 (13.5 mm

pioggia/giorno), mentre il valore più basso è stato registrato nel 2022 (6.6 mm pioggia/giorno). Nel 2023 l'intensità giornaliera media è risultata di poco superiore a quella del decennio (11.8 mm pioggia/giorno contro una media di 11.6 mm pioggia/giorno).

L'analisi della distribuzione annuale delle precipitazioni nell'ambito dei vari mesi può inoltre essere utilizzata per definire il *regime pluviometrico* di un'area geografica. Nello studio climatologico della Regione Piemonte<sup>24</sup>, l'andamento di tale distribuzione per il Piemonte risulta bimodale con i massimi localizzati in primavera ed in autunno. In base alla collocazione nell'anno del minimo principale, del massimo principale e del massimo secondario, si possono distinguere nella nostra regione cinque tipi di regime pluviometrico, dei quali quattro di tipo "continentale" (minimo principale in inverno) ed uno di tipo "mediterraneo" (minimo principale in estate):

- regime pluviometrico prealpino: minimo principale in inverno, massimo principale in primavera, massimo secondario in autunno;
- regime pluviometrico sublitoraneo: minimo principale in estate, massimo principale in autunno, massimo secondario in primavera;
- regime pluviometrico subalpino: minimo principale in inverno, massimo principale in autunno, massimo secondario in primavera;
- regime pluviometrico continentale alpino: minimo principale in inverno, massimo principale in primavera, massimo secondario in estate;
- regime pluviometrico subcontinentale: minimo principale in inverno, massimo principale in autunno, massimo secondario in estate.

Sempre secondo tale studio, il regime pluviometrico prealpino è il più diffuso in Piemonte, anche se quello attribuito all'area del capoluogo torinese risulta continentale alpino (Mennella, 1967; Biancotti, 1996)<sup>25</sup>.

Nel grafico illustrato in FIGURA 72 è riportato il confronto tra l'andamento delle precipitazioni totali mensili per il 2023 e le precipitazioni medie mensili (media delle sommatorie mensili) del decennio 2013-2022. Il 2023 rientra nel "regime pluviometrico continentale alpino" con il massimo principale a maggio (265.4 mm), il massimo secondario a giugno (193.4 mm) ed il minimo principale a gennaio (11.6 mm). Il decennio di riferimento invece rientra nel regime pluviometrico "prealpino" per il minimo principale a gennaio (39.4 mm) e per il massimo secondario a novembre (113.0 mm), mentre il massimo principale si registra in estate a luglio (114.0 mm) e non in primavera.

Un'ulteriore elaborazione è stata effettuata aggregando gli stessi dati di precipitazione su base trimestrale. Nella FIGURA 73 sono riportati, per ogni trimestre, gli istogrammi relativi alla quantità di pioggia misurata nei diversi anni, e per ogni grafico viene segnalato il valore medio di precipitazione per il decennio. Dall'esame dei grafici spicca che nel primo (-71%) e nel quarto (-61.1%) trimestre le precipitazioni sono inferiori alla media climatologica, nel secondo (+62.9%) e nel terzo (+0.5%) trimestre del 2023 le precipitazioni sono superiori alla media climatologica.

Va comunque sottolineato che le osservazioni sopra riportate sulle caratteristiche di piovosità relative all'anno 2023 devono essere valutate alla luce delle seguenti considerazioni:

- l'arco temporale (decennio 2013-2022) utilizzato per il confronto risulta comunque ridotto;
- la rappresentatività spaziale è limitata alla città metropolitana.

<sup>24</sup> "Precipitazioni e temperature" - Collana studi climatologici in Piemonte - Regione Piemonte: Direzione dei Servizi Tecnici di Prevenzione - Settore Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio; Università degli Studi di Torino: Dipartimento di Scienze della Terra.

<sup>25</sup> Mennella C. (1967) - Il clima d'Italia. Vol. I, ed. E.D.A.R.T., Napoli. 1, pp. 157-178.

Biancotti A. (1996) - Corso di geografia fisica - Geomorfologia strutturale. Le misure in geografia fisica. Ed. Litocoop Srl Tortona, 2, 126 p.

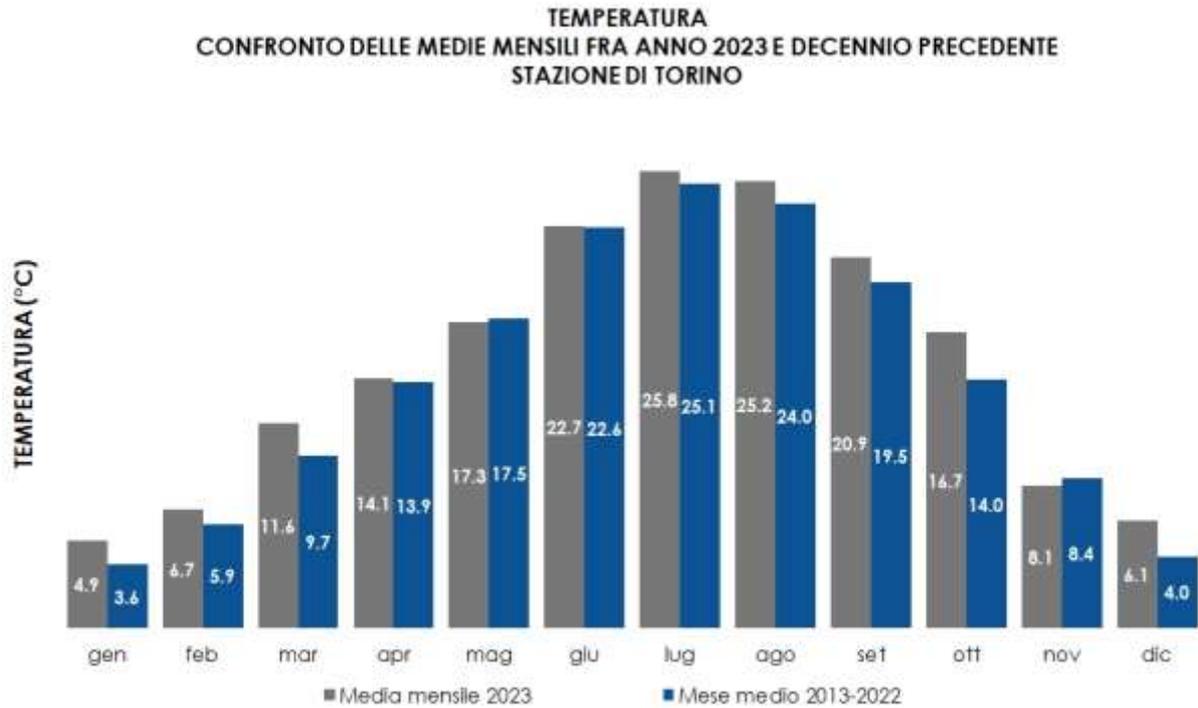


FIGURA 69: temperatura: valori medi mensili per l'anno 2023 e per il decennio 2013÷2022 per la stazione di Torino.

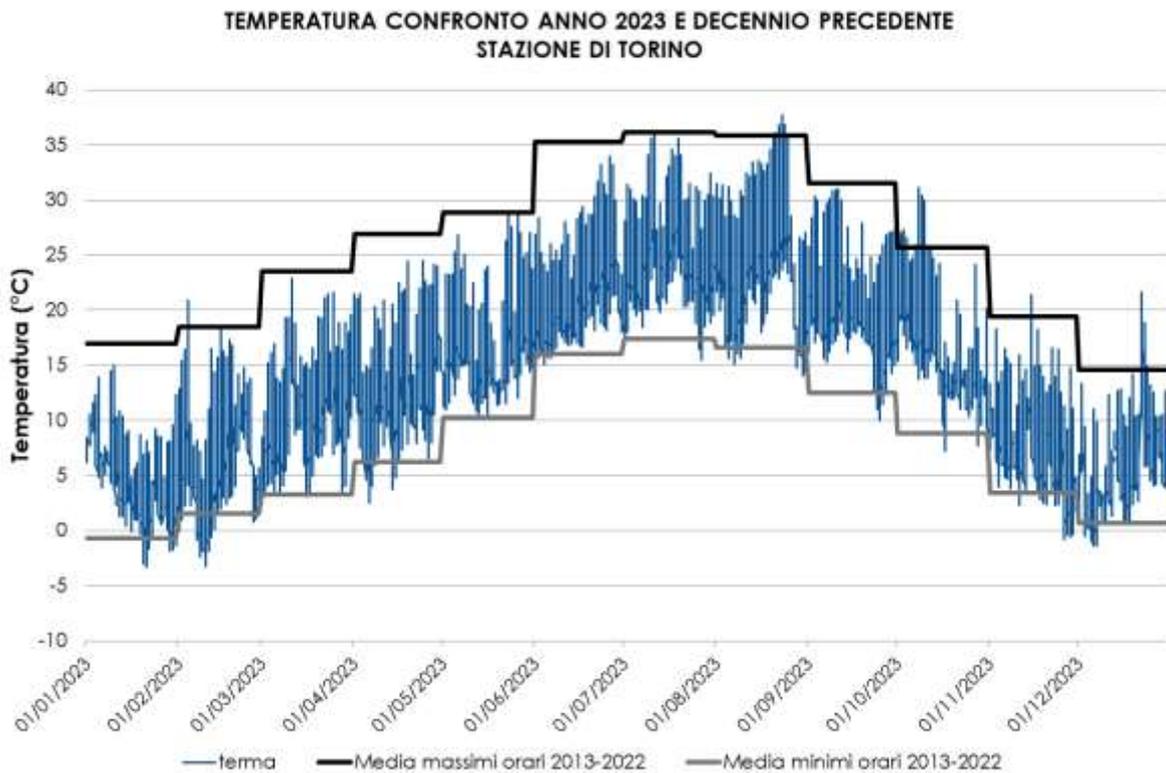


FIGURA 70: temperatura: valori orari per l'anno 2023 e medie dei minimi e dei massimi assoluti registrati nel decennio 2013÷2022 presso la stazione di Torino.

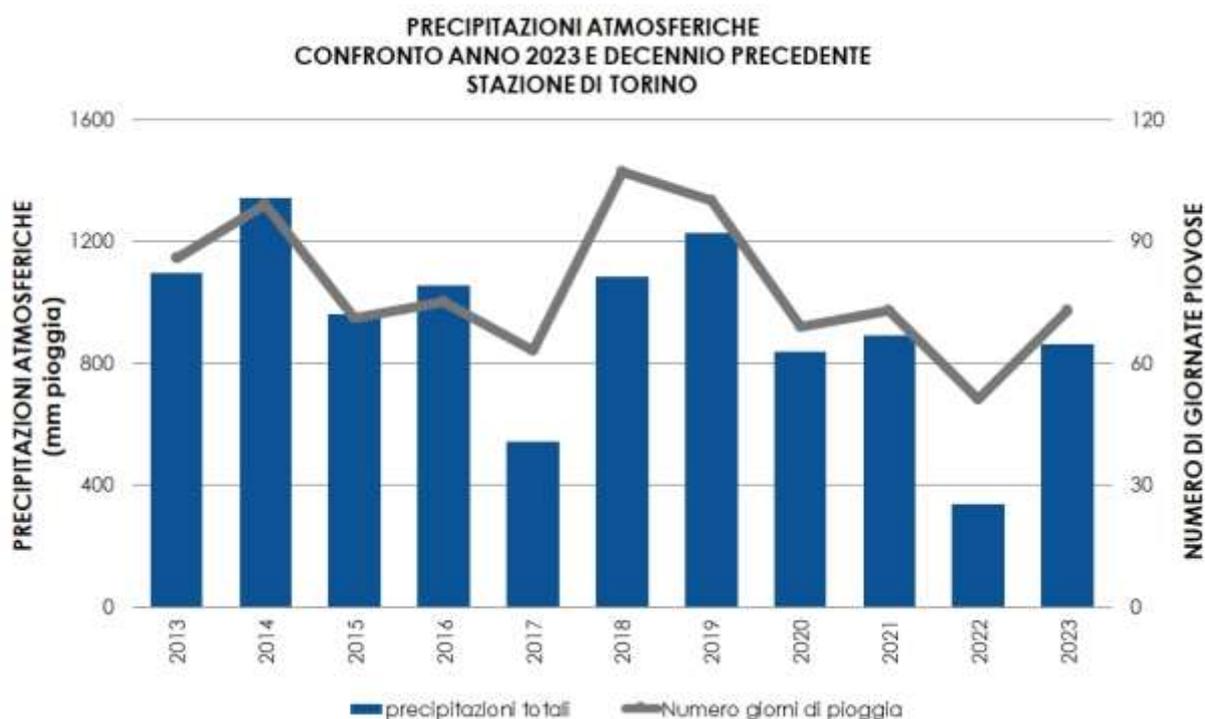


FIGURA 71: precipitazioni atmosferiche: sommatorie annuali e media del decennio in termini di quantità di precipitazioni e di numero di giornate piovose per la stazione di Torino.

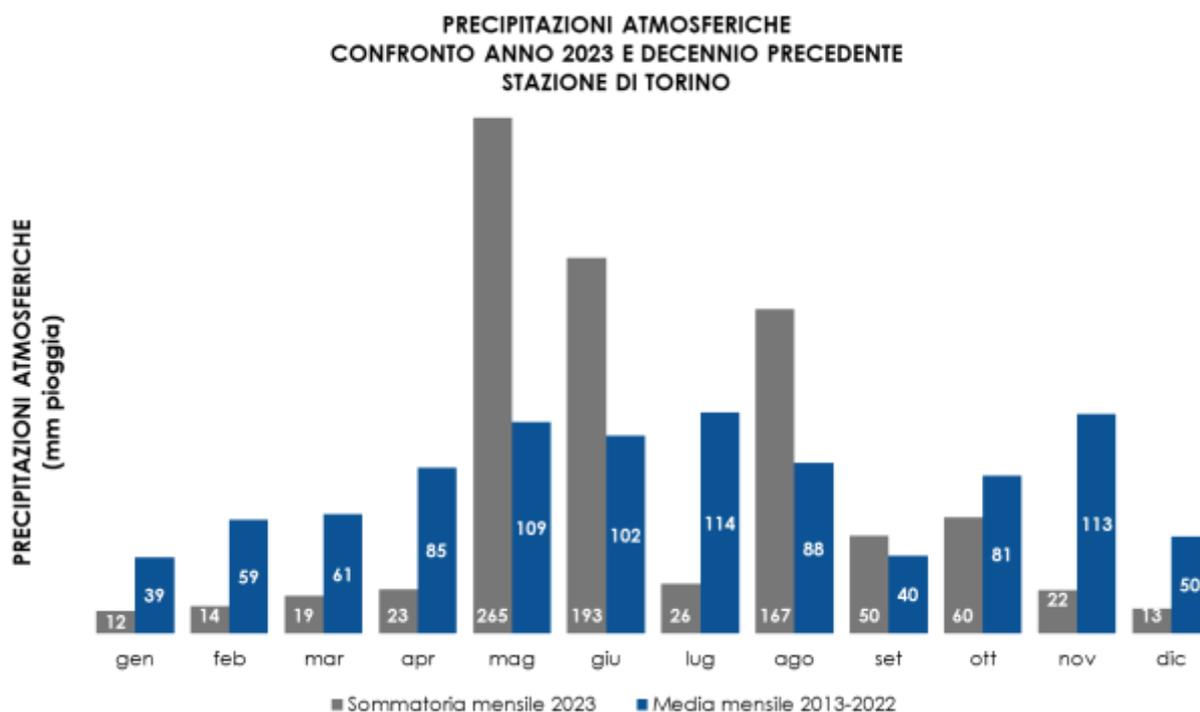


FIGURA 72: precipitazioni atmosferiche: sommatorie mensili per l'anno 2023 (barre grigie) e medie mensili (barre blu) relative al decennio 2013÷2022 per la stazione di Torino.

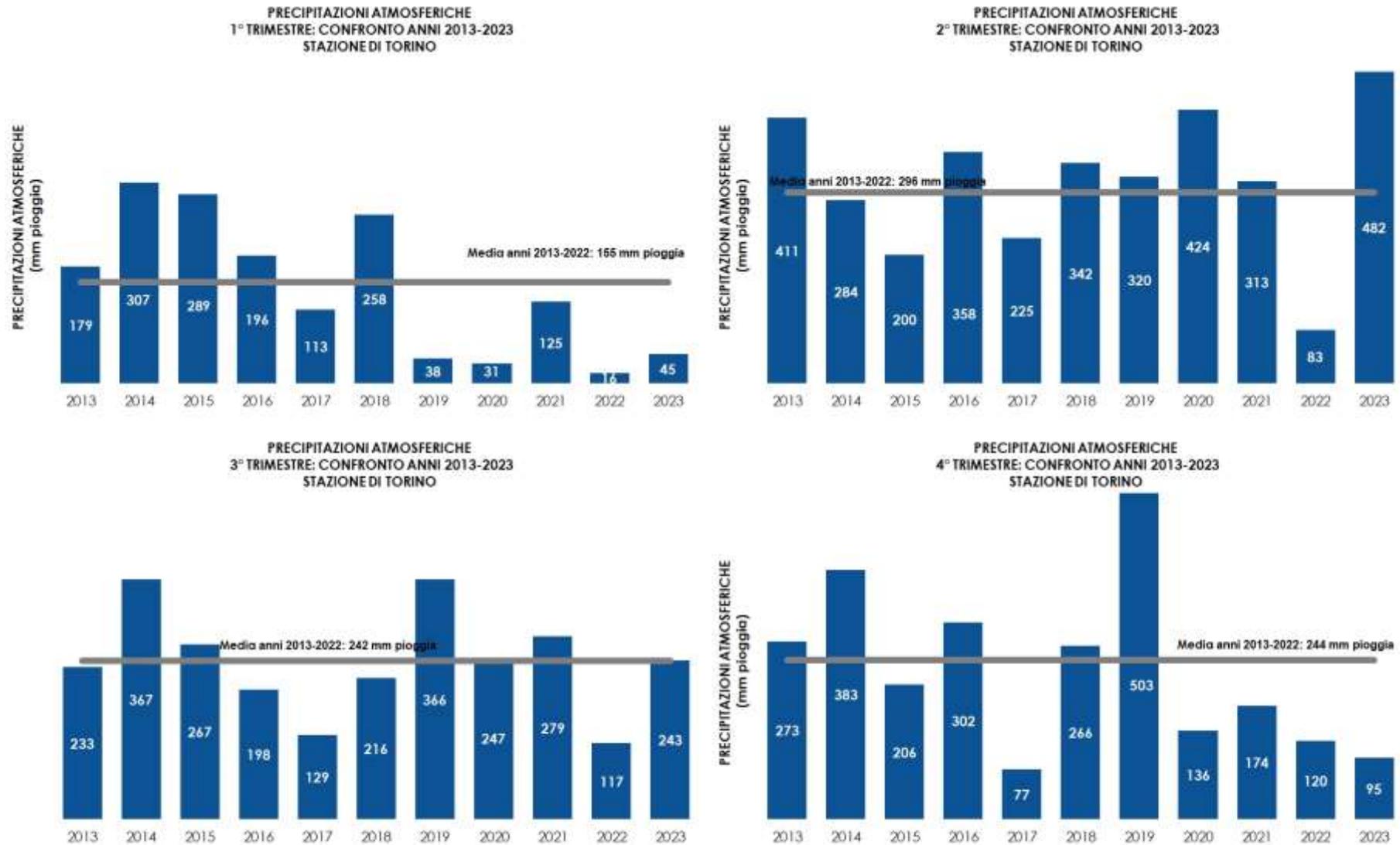


FIGURA 73: precipitazioni atmosferiche: sommatorie trimestrali relative al periodo 2013-2023 per la stazione di Torino.

### L'INDICE "NUMERO DI GIORNI FAVOREVOLI ALL'ACCUMULO DI PM10"

Le condizioni meteorologiche sono in grado di influenzare in modo significativo le concentrazioni degli inquinanti. Quando si interpretano i risultati dei rilevamenti, soprattutto con analisi di medio e breve periodo, è fondamentale considerare questo aspetto. Per questo motivo è stato costruito l'indice numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10, rappresentativo del livello di criticità dell'agglomerato torinese.

Il 2023 è stato in media leggermente più siccitoso e più caldo rispetto alla media dei 10 anni precedenti, i mesi di maggio giugno e agosto sono stati invece particolarmente piovosi. Il 2023 ha avuto condizioni favorevoli alla dispersione degli inquinanti anche grazie ai frequenti episodi di foehn. Il valore annuale dell'indice è stato infatti di 106 giorni, il terzo valore più basso della serie storica a disposizione (FIGURA 74).

I confronti con i rilevamenti degli anni precedenti dovranno prevalentemente riferirsi agli anni 2021 (100 giorni) e 2018 (107 giorni).

L'andamento mensile dell'indice, rappresentato nella FIGURA 75, si attesta sui valori mediani del periodo di riferimento nei mesi di gennaio, febbraio, novembre e dicembre, su valori di poco superiori ai minimi del periodo nei mesi di marzo, settembre e ottobre.

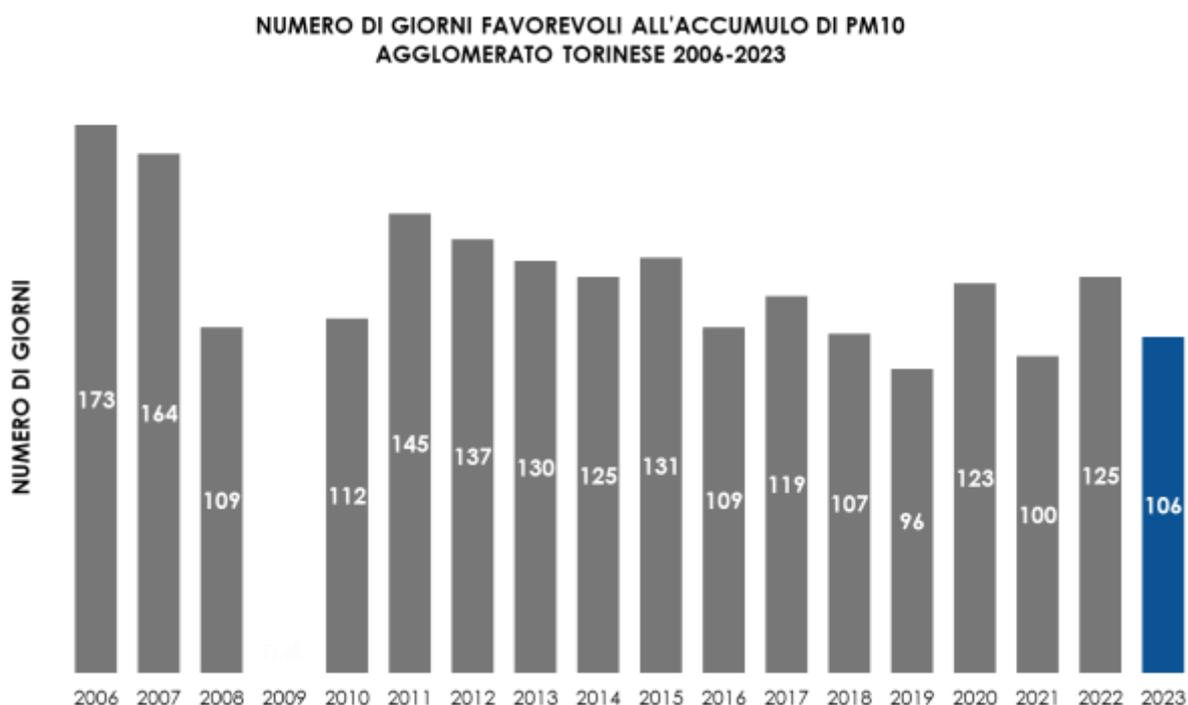


FIGURA 74: numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - confronto su base annuale tra gli anni 2006-2022 (in grigio) e l'anno 2023 (in blu).

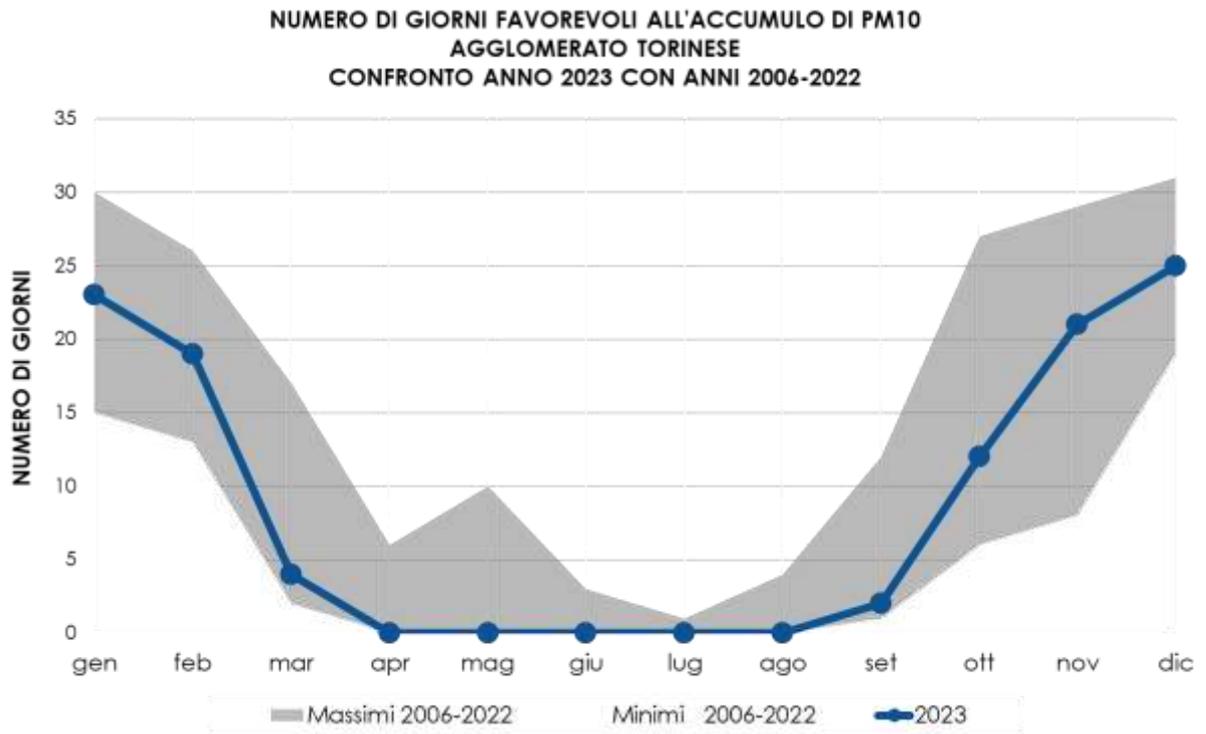


FIGURA 75: numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - confronto tra l'andamento mensile del 2023 (linea blu) ed i valori massimi e minimi mensili del periodo 2006-2022 (banda grigia).

## EMISSIONI INQUINANTI DEI VEICOLI A MOTORE

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

**A. Bertello, Città metropolitana di Torino.**

### I LIMITI DI EMISSIONE DEI VEICOLI A MOTORE

Il trasporto su strada è tra i maggiori responsabili dell'inquinamento atmosferico presente nelle aree urbane. In particolare, l'inventario delle emissioni relativo all'anno 2019 redatto dalla Regione Piemonte secondo la metodologia Corinair, stima che il macrosettore trasporto su strada nell'intero territorio della città metropolitana di Torino sia responsabile del 33,9% delle emissioni complessive di particolato primario (PM10) e del 62,5% delle emissioni complessive di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>).

Poiché il problema è comune a tutti i territori densamente antropizzati, le Direttive Europee hanno affrontato la questione imponendo dei limiti sempre più restrittivi alle emissioni degli autoveicoli.

Si riporta di seguito una tabella che riassume il quadro delle emissioni associate alle diverse tipologie di veicoli a motore in relazione alle omologazioni ambientali. I valori sono stabiliti dalle Direttive Europee per le autovetture a benzina e diesel dal 1970 ad oggi, e dal Regolamento 715/2007 relativamente ai requisiti per i veicoli Euro 5 e Euro 6.

DIRETTIVA DI RIFERIMENTO	CO (g/km)		NO <sub>x</sub> (g/km)		HC+NO <sub>x</sub> (g/km)		HC (g/km)	PM10 (g/km)
	benz.	diesel	benz.	diesel	benz.	diesel	benz.	diesel
Direttiva 70/220 (1971-1974)	21,5				7,3			
Direttiva 74/290 (1975-1976)	18				6,5			
Direttiva 77/102 (1977-1978)	18				6,5			
Direttiva 78/665 (1979-1983)	14,2				5,7			
Direttiva 83/351 (1984-1992)	12				4,2			
Direttiva 88/436 (1988-1992)						1,6		0,27
Euro 1 (1993-1996) Dir. 91/441	2,72	2,72	-	-	0,97	0,97/1,36*	-	0,14/0,19*
Euro 2 (1997-2000) Dir. 94/12	2,2	1	-	-	0,5	0,7/0,9*	-	0,08/0,1*
Euro 3 (2001-2005) Dir. 98/69	2,3	0,64	0,15	0,5	-	0,56	0,2	0,05
Euro 4 (2006-2010) Dir. 98/69	1	0,5	0,08	0,25	-	0,3	0,1	0,025
Euro 5 (2011-09/2015) *** Reg. 715/07	1	0,5	0,06	0,18	-	0,23	0,1	0,005**
Euro 6 (09/2015-....) *** Reg. 715/07	1	0,5	0,06	0,08	-	0,17	0,1	0,005**

(\*) Motori diesel a iniezione indiretta/iniezione diretta

(\*\*) Il limite si applica anche a motori a benzina a iniezione diretta che operano sia in condizione magra che stechiometrica

(\*\*\*) I limiti previsti per i veicoli a benzina dal reg. 715/2007 si applicano anche ai veicoli alimentati a GPL e Metano

La categoria Euro 6 è ulteriormente suddivisa in 4 fasce:

- Euro 6a – per veicoli immatricolati da gennaio 2016. Le emissioni di CO equivalgono a 0,5 g/km per i diesel e 1 g/km per i benzina, quelle di NO<sub>x</sub> 0,080 g/km per i diesel e 0,060 per i benzina, quelle di particolato (PM) 0,005 g/km per entrambe.
- Euro 6b – si differenzia dalla Euro 6A solo per le emissioni di PM, ridotte a 0,0045 g/km per entrambe le motorizzazioni, diesel e benzina.
- Euro 6c – obbligatoria per le omologazioni da settembre 2017 prevede che le auto a benzina riducano il numero di particelle di PM emesse da  $6 \times 10^{12}$  particelle per km a  $6 \times 10^{11}$  particelle per km. La novità più importante, introdotta con questo standard, è l'adozione del nuovo ciclo di prova WLTP e della prova delle emissioni reali su strada (test RDE) solo con finalità di monitoraggio.
- Euro 6d-temp: per le omologazioni da settembre 2018, con la 6d-temp viene introdotta la misurazione reale delle emissioni su strada. In questa prova la differenza tra le emissioni misurate nel ciclo in laboratorio WLTP (limite per i NO<sub>x</sub> 60 mg/km per i benzina e 80 mg/km per i diesel) e in quello su strada potrà arrivare massimo al 110% (limite per i NO<sub>x</sub> 126 mg/km per i benzina e 168 mg/km per i diesel).
- Euro 6d: per le immatricolazioni da gennaio 2021, stabilisce che la differenza rilevata tra le emissioni WLTP e quelle misurate nella prova RDE non possa superare il 50% (limite per i NO<sub>x</sub> 90 mg/km per i benzina e 120 mg/km per i diesel).

TABELLA 43: limiti di emissione fissati dalle direttive europee per autovetture benzina e diesel.

Ogni nuova Direttiva ha definito dei limiti inferiori mediamente di circa il 50% rispetto alla direttiva precedente e nell'arco di 22 anni – il tempo intercorso fa l'entrata in vigore della direttiva euro 1 (1993) e euro 6 (2015), - i limiti per le emissioni di particolato dai motori diesel sono diminuiti di 54 volte mentre quelli per il parametro HC+NO<sub>x</sub> di 9 volte.

Per comprendere il contributo specifico alle emissioni in atmosfera è utile riportare un confronto tra i limiti definiti per diverse tipologie di veicoli quali autovetture, ciclomotori, motocicli, e mezzi commerciali diesel di massa compresa tra i 1760 kg e i 3500 kg. Si è scelto per brevità di riportare in

FIGURA 76 i limiti previsti per la somma di idrocarburi incombusti (HC) e ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), che rappresentano una delle principali criticità in ambito urbano.

I ciclomotori risultano essere il mezzo più inquinante per la somma di questi due parametri mentre le autovetture a benzina quello più ecologico. Per gli autoveicoli sono infatti molto avanzate le tecnologie del controllo della combustione e del catalizzatore, che invece risultano di complessa applicazione sui ciclomotori e motocicli di piccola cilindrata.

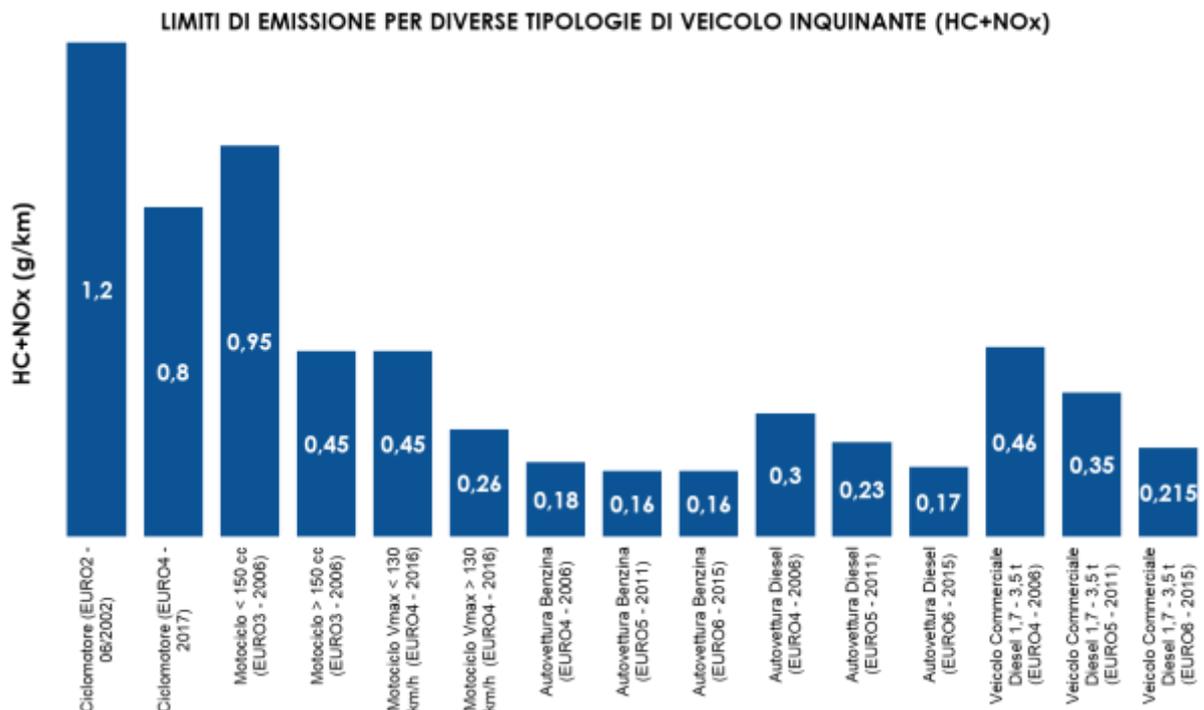


FIGURA 76: limiti di emissione definiti dalle normative più recenti per diverse tipologie di veicolo.

Il 12 aprile 2024 Il Consiglio Europeo ha adottato il regolamento Euro 7, che stabilisce norme sui limiti di emissione per i veicoli stradali e sulla durabilità della batteria. Il regolamento Euro 7 stabilisce norme per le emissioni dallo scarico dei veicoli stradali, ma anche per altri tipi di emissioni, come l'abrasione degli pneumatici e le emissioni di particelle dai freni. Introduce inoltre prescrizioni per la durabilità della batteria. Per le autovetture e i furgoni, il regolamento mantiene gli attuali limiti di emissione dallo scarico Euro 6, ma introduce prescrizioni più rigorose per le particelle solide. Per gli autobus e gli autocarri pesanti, il regolamento impone limiti più rigorosi per vari inquinanti, compresi alcuni fino ad ora non disciplinati, come il protossido di azoto (N<sub>2</sub>O). In aggiunta, il regolamento Euro 7 introduce limiti più rigorosi per le emissioni di particelle prodotte durante la frenata, con limiti specifici per i veicoli elettrici. Le nuove norme prevedono inoltre prescrizioni più rigorose relative alla durata di vita per tutti i veicoli in termini sia di chilometraggio che di durata di vita.

### IL PARCO VEICOLARE NELLA CITTA' METROPOLITANA DI TORINO

Si riportano di seguito i dati forniti dal servizio tributi della Regione Piemonte, relativi alla composizione del parco veicolare immatricolato sul territorio della Città metropolitana di Torino nel 2023. Si avvisa che sono state effettuate degli aggiornamenti nel DB regionale per cui i dati possono minimamente differire rispetto a quelli pubblicati negli anni scorsi.

Si osserva:

- un costante aumento del numero di autoveicoli (+ 18% rispetto al 2007) e di autocarri < 3.5 t (+21% rispetto al 2007);
- una contrazione percentuale degli autoveicoli diesel controbilanciata da un aumento percentuale dei veicoli a benzina e GPL-CH<sub>4</sub>;
- un'importante penetrazione dei veicoli Euro 6;
- gli autocarri <3,5t ante Euro5 senza filtro antiparticolato sono ancora il 55%;
- gli autoveicoli elettrici sono 8072 nel 2023, erano 5092 nel 2022, 4194 nel 2021 e 3055 nel 2020.

2023		TOTALE		BENZINA		GASOLIO		GAS		ELETRICO	
		n.	%	n.	%	n.	%	n.	%	n.	%
Autoveicoli	EURO 0	68.826	4,2%	54.351	3,3%	10.717	0,6%	3.758	0,2%	8.072	0,5%
	EURO 1	26.527	1,6%	19.429	1,2%	5.255	0,3%	1.843	0,1%		
	EURO 2	95.529	5,8%	67.142	4,1%	22.067	1,3%	6.320	0,4%		
	EURO 3	140.528	8,5%	73.865	4,5%	60.098	3,6%	6.565	0,4%		
	EURO 4	341.528	20,7%	161.805	9,8%	114.973	7,0%	64.750	3,9%		
	EURO 5	245.533	14,9%	85.102	5,2%	117.090	7,1%	43.341	2,6%		
	EURO 6	724.436	43,9%	393.928	23,9%	220.370	13,3%	110.138	6,7%		
	Totale	1.650.979	100,0%	855.622	51,8%	550.570	33,3%	236.715	14,3%		
Autocarri <3,5	EURO 0	16.257	9,0%	1727	1,0%	14354	7,9%	176	0,1%	747	0,4%
	EURO 1	7.383	4,1%	1106	0,6%	6183	3,4%	94	0,1%		
	EURO 2	16.704	9,2%	1287	0,7%	15188	8,4%	229	0,1%		
	EURO 3	27.731	15,3%	1312	0,7%	26118	14,4%	301	0,2%		
	EURO 4	32.644	18,0%	1003	0,6%	30079	16,6%	1562	0,9%		
	EURO 5	25.400	14,0%	343	0,2%	23484	12,9%	1573	0,9%		
	EURO 6	54.517	30,1%	2881	1,6%	47656	26,3%	3980	2,2%		
	Totale	181.383	100,0%	9.659	5,3%	163.062	89,9%	7.915	4,4%		
Autocarri >3,5t	EURO 0	2.214	36,4%	50	0,8%	2164	35,6%		0,0%	3	0,0%
	EURO 1	271	4,5%	1	0,0%	270	4,4%		0,0%		
	EURO 2	688	11,3%	3	0,0%	685	11,3%		0,0%		
	EURO 3	1.204	19,8%	3	0,0%	1196	19,7%	5	0,1%		
	EURO 4	569	9,4%	1	0,0%	567	9,3%	1	0,0%		
	EURO 5	722	11,9%		0,0%	691	11,4%	31	0,5%		
	EURO 6	411	6,8%		0,0%	407	6,7%	4	0,1%		
	Totale	6.082	100,0%	58	1,0%	5.980	98,3%	41	0,7%		

TABELLA 44: autoveicoli immatricolati nella città metropolitana di Torino nel 2023, suddivisi per tipo di omologazione ambientale.

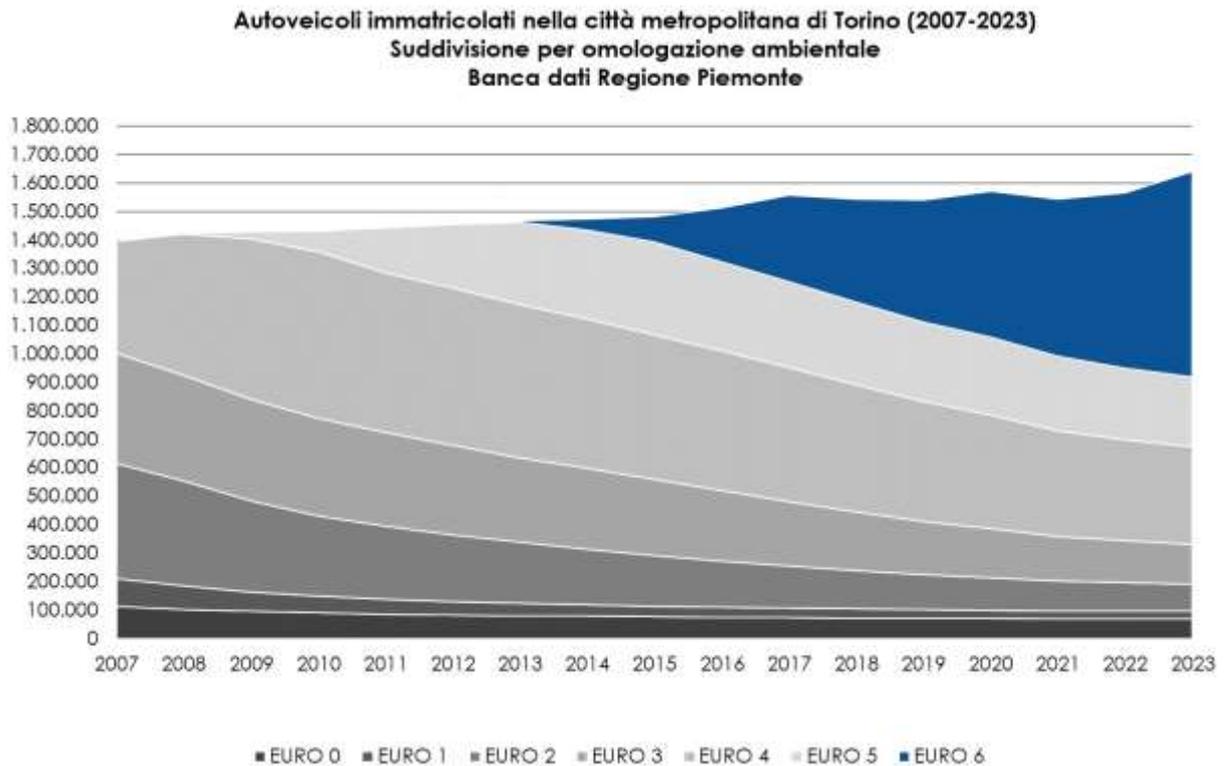


FIGURA 77: autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2023, suddivisi per tipo di omologazione ambientale (Banca Dati di Regione Piemonte).

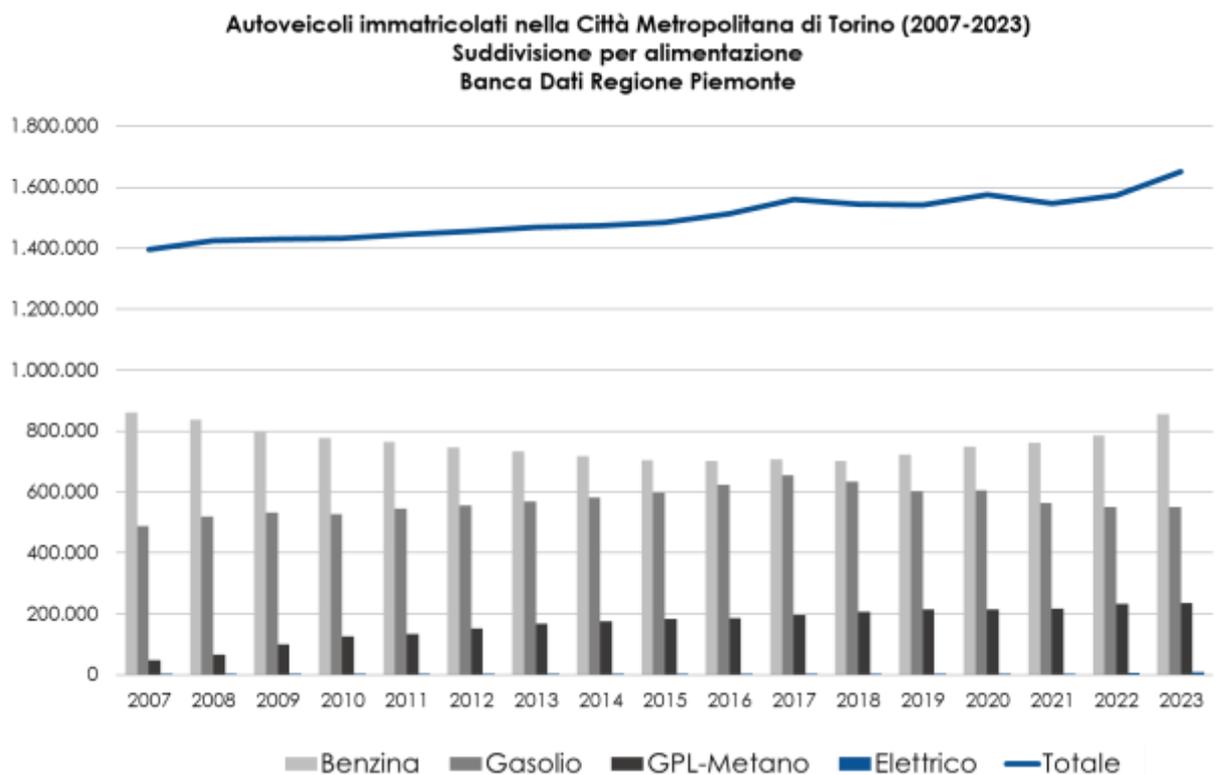


FIGURA 78: autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2023, suddivisi per tipo di alimentazione (Banca Dati di Regione Piemonte).

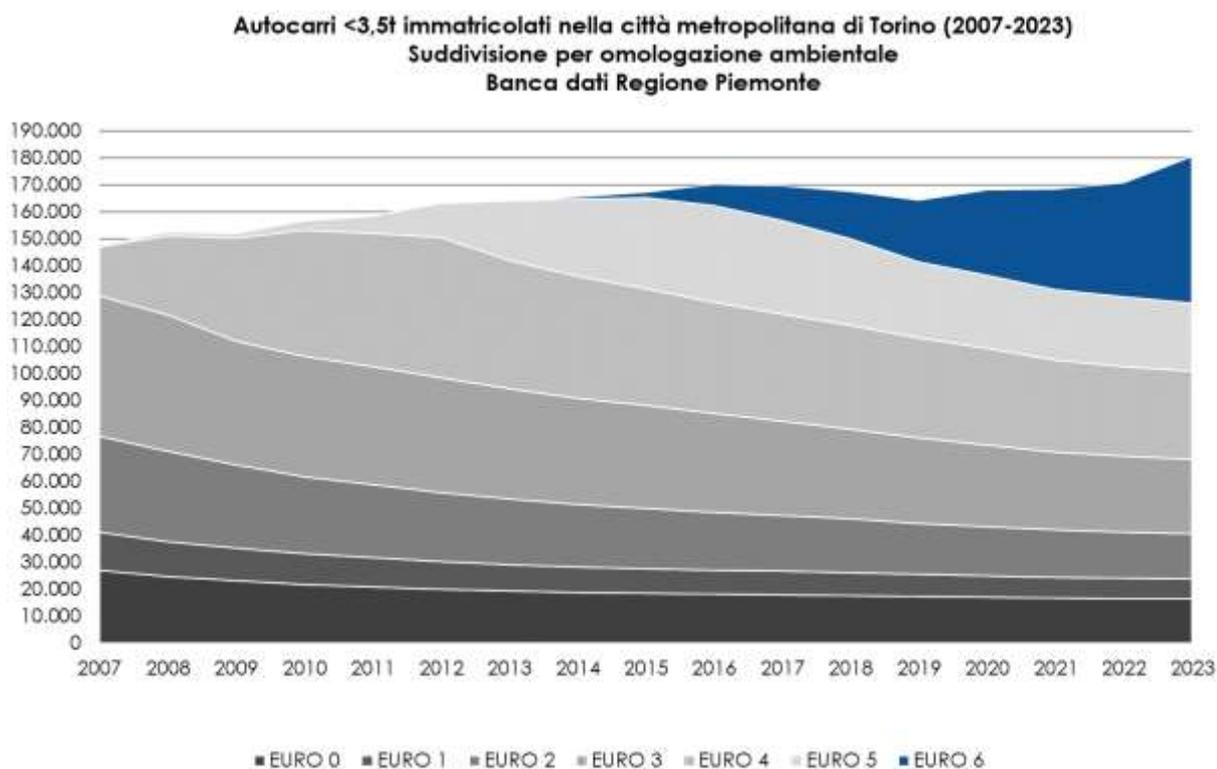


FIGURA 79: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2023, suddivisi per tipo di omologazione ambientale (Banca Dati di Regione Piemonte).

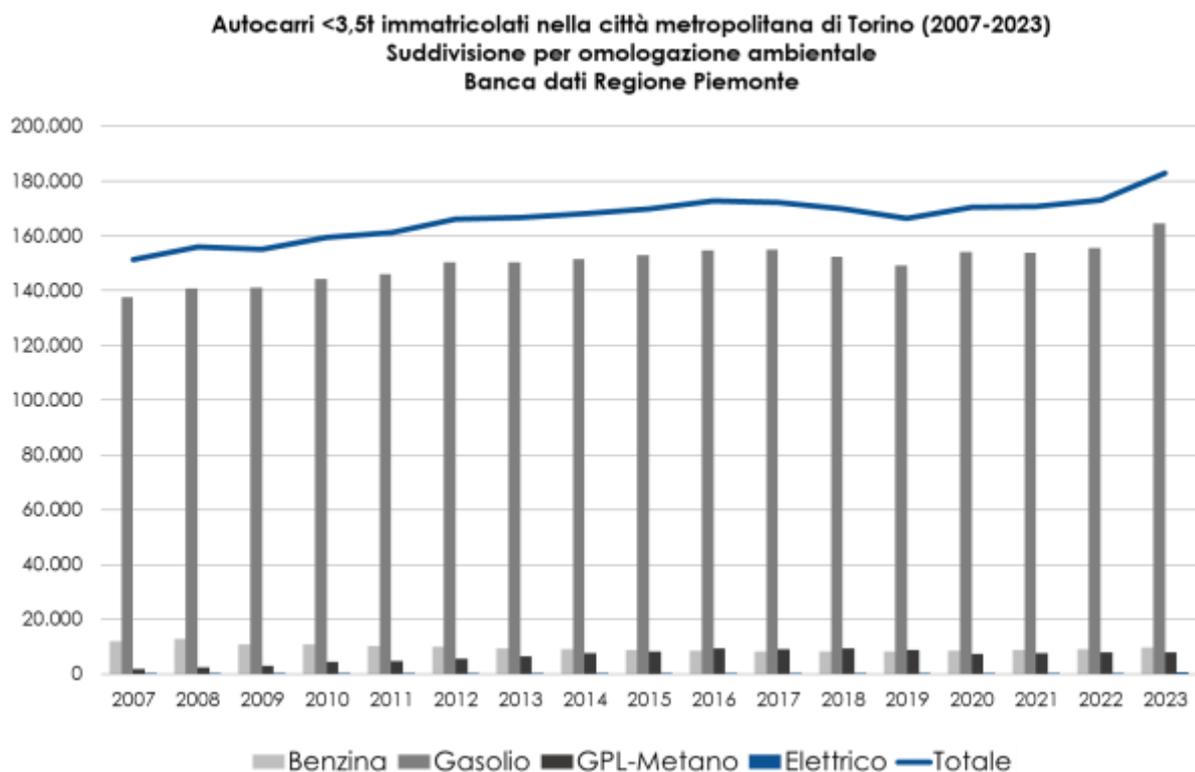


FIGURA 80: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2023, suddivisi per tipo di alimentazione (Banca Dati di Regione Piemonte).

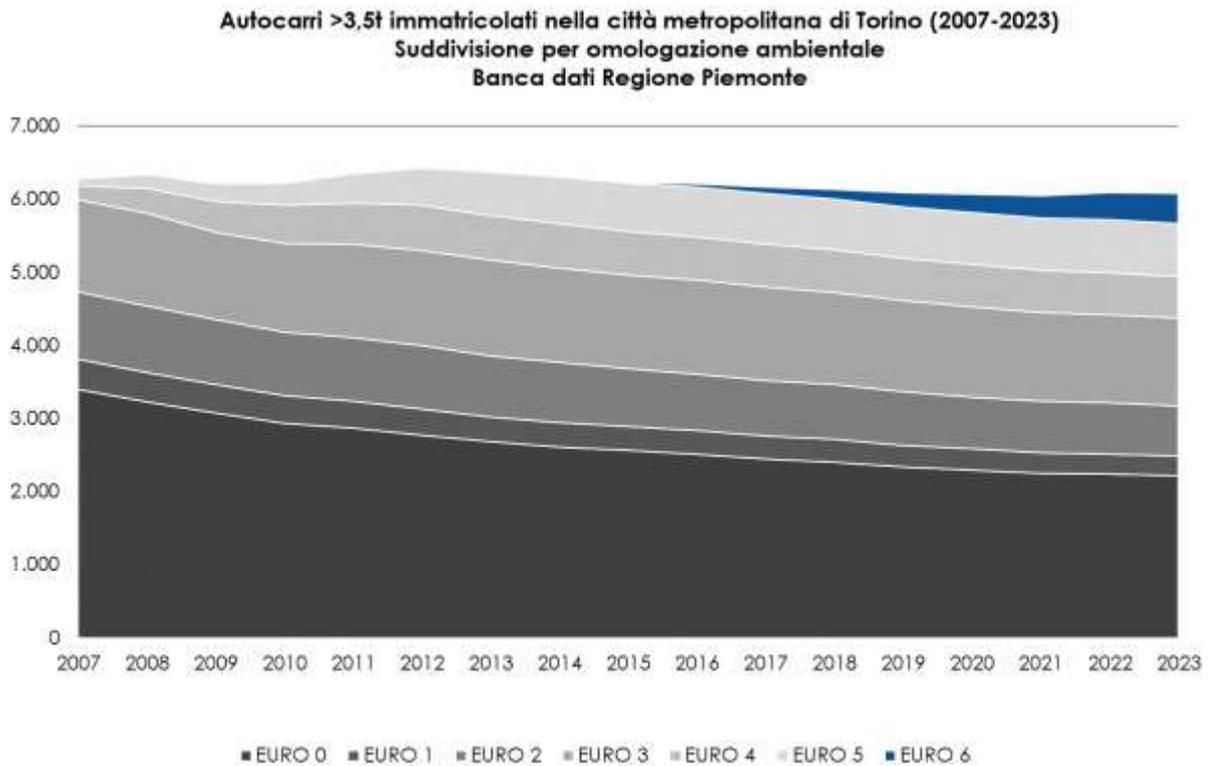


FIGURA 81: veicoli commerciali pesanti (> 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2023, suddivisi per tipo di omologazione ambientale (Banca Dati di Regione Piemonte).

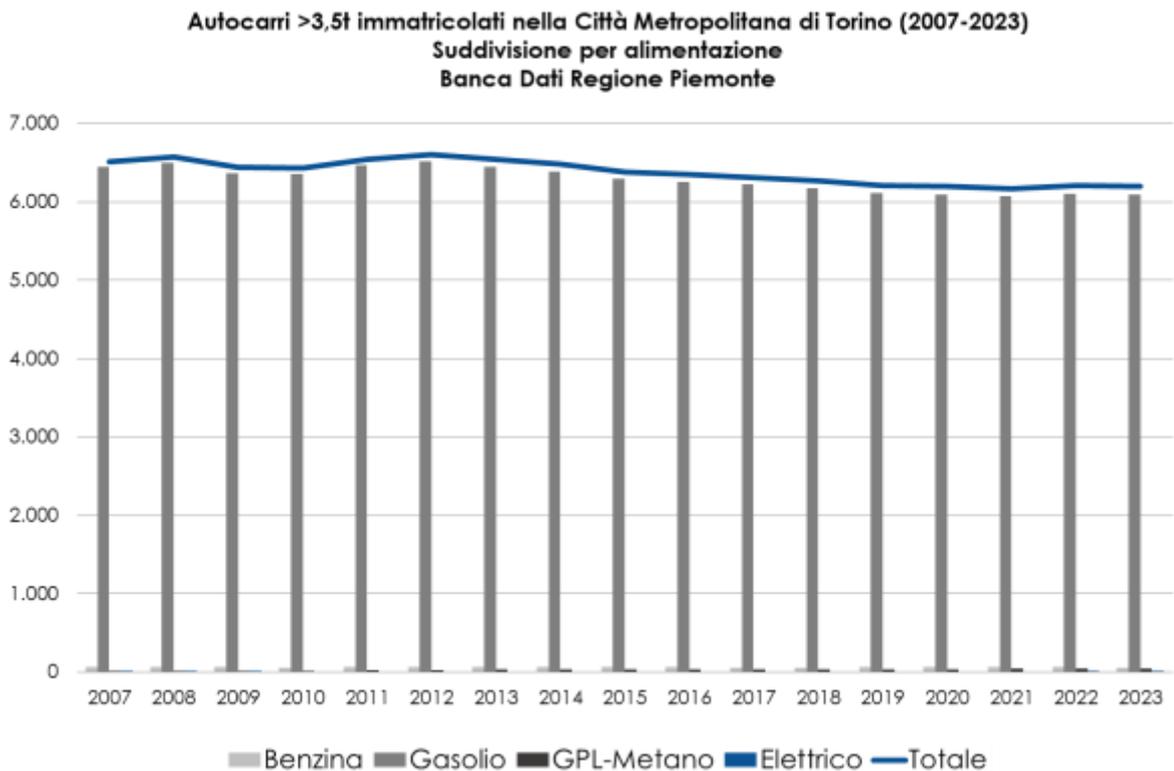


FIGURA 82: veicoli commerciali leggeri (> 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2008 al 2023, suddivisi per tipo di alimentazione (Banca Dati di Regione Piemonte).

## IL PROTOCOLLO ANTISMOG NELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO

Il testo e le elaborazioni del capitolo sono stati curati da:

A. Bertello, Città metropolitana di Torino; S. Bande, ARPA Piemonte, Dipartimento Sistemi Previsionali.

### I PROVVEDIMENTI ADOTTATI NELL'INVERNO 2023.-2024

Dal 01/03/2021 è stato attivato il nuovo protocollo antismog, introdotto da Regione Piemonte con la Deliberazione della Giunta Regionale (D.G.R) n. 9-2916 del 26 febbraio 2021, ad integrazione e potenziamento delle misure di limitazione delle emissioni, strutturali e temporanee, già in vigore. Sono stati modificati sia i criteri di attivazione del semaforo antismog, secondo un meccanismo che comporta l'adozione preventiva dei provvedimenti di limitazione, sia le aree di applicazione del protocollo.

La D.G.R n. 9-2916 del 26 febbraio 2021 estende le aree di applicazione a tutti i comuni (FIGURA 83) localizzati in tre delle cinque zone in cui è ripartito il territorio regionale ai fini della qualità dell'aria (individuate dalla Deliberazione della Giunta regionale 30 dicembre 2019, n. 24-903)

Tutti i comuni dell'agglomerato di Torino (zona IT0118) e i comuni localizzati nelle zone di gestione della qualità dell'aria denominate Pianura (zona IT0119) e Collina (zona IT0120) con popolazione superiore a 10.000 abitanti sono chiamati ad adottare l'intero pacchetto di misure<sup>26</sup>. Gli altri comuni delle zone di pianura e collina con popolazione inferiore ai 10.000 abitanti non sono tenuti ad adottare le limitazioni del traffico veicolare ma solo quelle legati agli impianti termici, alle combustioni all'aperto e alle pratiche agricole.

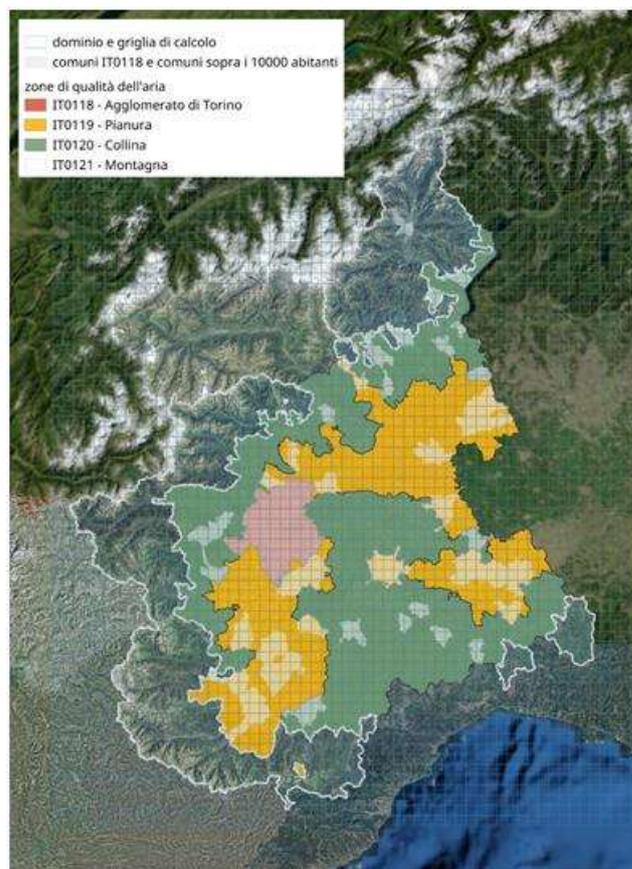


FIGURA 83: comuni interessati dall'applicazione del semaforo antismog.

I nuovi criteri per l'attivazione del semaforo antismog sono dettagliati nell'allegato 1 della Determina Dirigenziale 96/A1602B/2021 del 26 febbraio 2021 del Settore Emissioni e Rischi Ambientali della Regione Piemonte: in sintesi, oltre al livello verde di nessuna criticità, sono ancora previsti due livelli

<sup>26</sup> Alpignano, Avigliana, Baldissero Torinese, Beinasco, Borgaro Torinese, Cambiano, Candiolo, Carignano, Carmagnola, Caselle Torinese, Chieri, Chivasso, Ciriè, Collegno, Druento, Giaveno, Grugliasco, Ivrea, La Loggia, Leini, Mappano, Moncalieri, Nichelino, Orbassano, Pecetto Torinese, Pianezza, Pinerolo, Pino Torinese, Piobesi Torinese, Piosasco, Poirino, Rivalta di Torino, Rivarolo Canavese, Rivoli, San Maurizio Canavese, San Mauro Torinese, Santena, Settimo Torinese, Torino, Trofarello, Venaria Reale, Vinovo, Volpiano

di criticità la cui attivazione avviene in base ai valori di concentrazione media giornaliera previsti su ciascuna delle tre zone interessate dai provvedimenti:

- livello arancione, nel caso di previsione per la media giornaliera del superamento del valore di 50 µg/m<sup>3</sup> per tre giorni consecutivi a partire dal giorno di controllo;
- livello rosso, nel caso di previsione del superamento del valore di 75 µg/m<sup>3</sup> (pari ad 1,5 volte il valore limite giornaliero) per tre giorni consecutivi a partire dal giorno di controllo.

Il rientro da una situazione di allerta avviene nel caso in cui, nel giorno di controllo, si hanno due giorni, anche non consecutivi, di previsione per la media giornaliera su valori inferiori ai 50 µg/m<sup>3</sup>.

La valutazione dell'attivazione dei livelli del semaforo è effettuata, come in precedenza, da Arpa Piemonte, nei giorni stabiliti di controllo, che passano da due (lunedì e giovedì) a tre alla settimana (lunedì, mercoledì e venerdì).

L'attivazione dei diversi livelli di allerta è stata valutata sull'intero periodo 15 settembre 2023 – 15 aprile 2024, per un totale di complessivo di 214 giorni. La tabella sottostante riassume per ogni zona la frequenza di attivazione dei livelli nell'inverno 2022-2023. (TABELLA 45).

Comune/Area	LIVELLO 0		LIVELLO 1		LIVELLO 2	
	n° giorni	%	n° giorni	%	n° giorni	%
IT0118 Agglomerato di Torino (esclusi i precedenti)	184	86,0	30	14,0	0	0
IT0119 Pianura (esclusi i precedenti)	213	99,5	1	0,5	0	0
IT0120 Collina (esclusi i precedenti)	210	100	0	0	0	0

TABELLA 45: tabella riassuntiva sui risultati dell'applicazione del protocollo antismog per l'inverno 2022/2023, dal 15 settembre 2023 al 15 aprile 2024 (214 giorni).

La Città metropolitana di Torino per garantire una corretta informazione ha attivato la pagina web <http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/ambiente/qualita-aria/blocchi-traffico> dove sono disponibili le seguenti informazioni:

- livello del semaforo;
- schema riassuntivo delle misure di limitazione delle emissioni;
- mappa dei Comuni interessati dalle limitazioni alle emissioni;
- elenco comuni interessati dal blocco del traffico e relative ordinanze;
- elenco comuni interessati dalle sole misure su agricoltura e riscaldamento;
- blocco del traffico: orari ed esenzioni;
- blocco del traffico: schema ordinanza tipo;
- limitazione emissioni senza blocco del traffico: schema ordinanza tipo.

Lo schema riassuntivo dei provvedimenti attivi nell'inverno 2023-2024 è riportato in FIGURA 84.

Si ricorda infine che in attuazione al Decreto-Legge n. 121 del 12 settembre 2023, recante: "Misure urgenti in materia di pianificazione della qualità dell'aria e limitazioni della circolazione stradale" il previsto blocco strutturale dei veicoli Diesel Euro 5 programmato per settembre 2023 è stato posticipato di almeno 1 anno con Deliberazione della Giunta Regionale 13 settembre 2023, n. 23-7444.

LIMITAZIONI STRUTTURALI VALIDE TUTTO L'ANNO		
	Diesel Euro 0, 1 e 2 Benzina Euro 0, 1 e 2 GPL e Metano Euro 0 e 1	Tutti i giorni dalle 0 alle 24
LIMITAZIONI STRUTTURALI VALIDE DAL 15/9 al 15/4		
	Diesel Euro 3 e 4	Nei giorni feriali dal lunedì al venerdì dalle 8 alle 19
	Euro 0 e 1	Tutti i giorni dalle 0 alle 24
	Obbligo di utilizzare <b>pellets certificato A1</b>	
	Divieto di <b>abbruciamento</b> di materiale vegetale	
LIMITAZIONI TEMPORANEE VALIDE DAL 15/9 al 15/4 – LIVELLO ARANCIO		
	Diesel Euro 3, 4 e 5	Tutti i giorni, sabato e festivi compresi, con semaforo arancione acceso dalle 8 alle 19
	Diesel Euro 3 e 4	Tutti i giorni, sabato e festivi compresi, con semaforo arancione acceso dalle 8 alle 19
	Divieto di utilizzo di stufe e caminetti a legna che non sono in grado di rispettare i valori emissivi previsti per la <b>classe 5 stelle</b>	
	Divieto assoluto di <b>combustioni all'aperto</b>	
	Introduzione del <b>limite a 18°C</b> per le temperature negli edifici	
	Divieto di <b>spandimento dei liquami</b> zootecnici, dei letami e dei materiali ad essi assimilati	
	Divieto di <b>distribuzione di fertilizzanti</b> , ammendanti e correttivi contenenti azoto	
LIMITAZIONI TEMPORANEE VALIDE DAL 15/9 al 15/4 – LIVELLO ROSSO		
	Diesel Euro 5	Tutti i giorni, sabato e festivi compresi, con semaforo rosso acceso dalle 8 alle 19

FIGURA 84: schema riassuntivo delle limitazioni 2022-2023.



**Per saperne di più**

**PROTOCOLLO OPERATIVO PER L'ATTUAZIONE DI MISURE URGENTI ANTISMOG**

*Semaforo del protocollo operativo antismog - Arpa Piemonte  
Blocchi del traffico - CMT*

**DATI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA**

*Qualità dell'aria in Piemonte  
I dati della qualità dell'aria - Arpa Piemonte*

**PREVISIONI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA**

*Stime comunali - Arpa Piemonte  
Indice Previsionale di Qualità dell'Aria (IPQA) - CMT*

**RELAZIONI ANNUALI CON INFORMAZIONI APPROFONDITE**

*Uno sguardo all'aria - CMT  
Pubblicazioni aria — Arpa Piemonte*

**BOLLETTINI INFORMATIVI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA**

*Bollettini - Arpa Piemonte*



<http://www.cittametropolitana.torino.it>



Il sistema di gestione qualità è certificato UNI EN ISO 9001:2015 da GCERTI

<http://www.arpa.piemonte.it>