

Uno sguardo all'aria

2024





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

Anno 2024

Testi ed elaborazioni a cura di:

Città metropolitana di Torino – Dipartimento Ambiente e Sviluppo Sostenibile:

A. Bertello

ARPA Piemonte - Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest:

C. Musto, E. Calderaro, M. Sacco, A.M. Scibelli, S. Scaglione, 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, M. Marturella, M. Carrera, G. Gallina, F. Romeo, L. Milizia, C. Porporato, P. Rosina, R. Sergi, D. Simondi, I. Coretti, S. Cerrato, I. Tivelli, C. Cappa, T. Giampiccolo, S. La Porta, C. Pizzo, 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

Alicja Kwade: "Against the Run" 2023

Fotografia: Anita Bertello 2024

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	42
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI	48
MERCURIO ELEMENTARE GASSOSO	53
DEPOSIZIONI ATMOSFERICHE "BULK" DI IPA E METALLI	57
DETERMINAZIONE DI PCDD/PCDF E PCB PRESSO LA STAZIONE DI BEINASCO (TRM)	67
AMMONIACA	79
CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'ANNO 2024	83
LA NUOVA DIRETTIVA 2024/2881/UE PER UN'ARIA PIÙ PULITA IN EUROPA	107
EMISSIONI INQUINANTI DEI VEICOLI A MOTORE	115
IL PROTOCOLLO ANTISMOG NELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO	122

SOMMARIO

L'analisi dei dati di qualità dell'aria 2024 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).

		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 2024.

Il 2024 è stato nel suo complesso estremamente piovoso e leggermente più caldo rispetto alla media dei 10 anni precedenti. I mesi invernali, quelli tipicamente più soggetti ai fenomeni di inquinamento atmosferico da PM10 e NO₂, sono stati caratterizzati da condizioni meteo-dispersive particolarmente sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti.

I confronti con i rilevamenti degli anni precedenti dovranno prevalentemente riferirsi agli anni 2022 e 2020 che sono quelli cronologicamente più prossimi con condizioni dispersive comparabili.

I dati di PM10 rilevati nel 2024, in relazione al conseguimento del valore limite giornaliero, evidenziano un peggioramento rispetto al 2023, anno caratterizzato da condizioni meteo favorevoli alla dispersione degli inquinanti, ma un sostanziale miglioramento rispetto ai dati del 2022 che ha avuto condizioni meteo dispersive più simili. Si evidenzia che sono principalmente le stazioni di fondo ad aver misurato nel 2024 un aumento del numero di superamenti, le stazioni da traffico presentano invece un comportamento complessivamente in lieve diminuzione.

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

Relativamente al parametro biossido di azoto, i dati rilevati nel 2024 confermano il significativo miglioramento dell'ultimo quadriennio. Il valore limite annuale è superato solo nella stazione più critica dell'agglomerato torinese, il valore limite di 18 superamenti della soglia oraria è rispettato ovunque.

Per il parametro ozono il valore obiettivo per la protezione della salute umana è superato in tutte le stazioni del territorio metropolitano.

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

Il 2024, nonostante sia stato un anno con condizioni meteo-dispersive non particolarmente favorevoli alla dispersione degli inquinanti, conferma il trend in miglioramento degli indicatori. Occorre però ancora evidenziare il mancato rispetto dei valori limite dei parametri PM10, biossido di azoto in particolare nell'agglomerato di Torino e del valore obiettivo dell'ozono su tutto il territorio metropolitano.

È necessario pertanto, anche in considerazione del prossimo recepimento della nuova Direttiva sulla qualità dell'aria che introdurrà limiti più stringenti, continuare ad adottare misure progressive e strutturali di limitazione delle emissioni in atmosfera.

A tal proposito è stato predisposto un capitolo che introduce una prima analisi dei dati di qualità dell'aria rispetto ai valori limite e obiettivo, introdotti dalla nuova Direttiva 2024/2881, che entreranno in vigore nel 2030. Il rispetto delle nuove soglie, che sono sostanzialmente dimezzate rispetto alle attuali, costituirà un grosso impegno per tutto il territorio della Città metropolitana di Torino che attualmente non è prossimo a rispettare i nuovi limiti definiti per PM10, PM2,5 e NO₂.

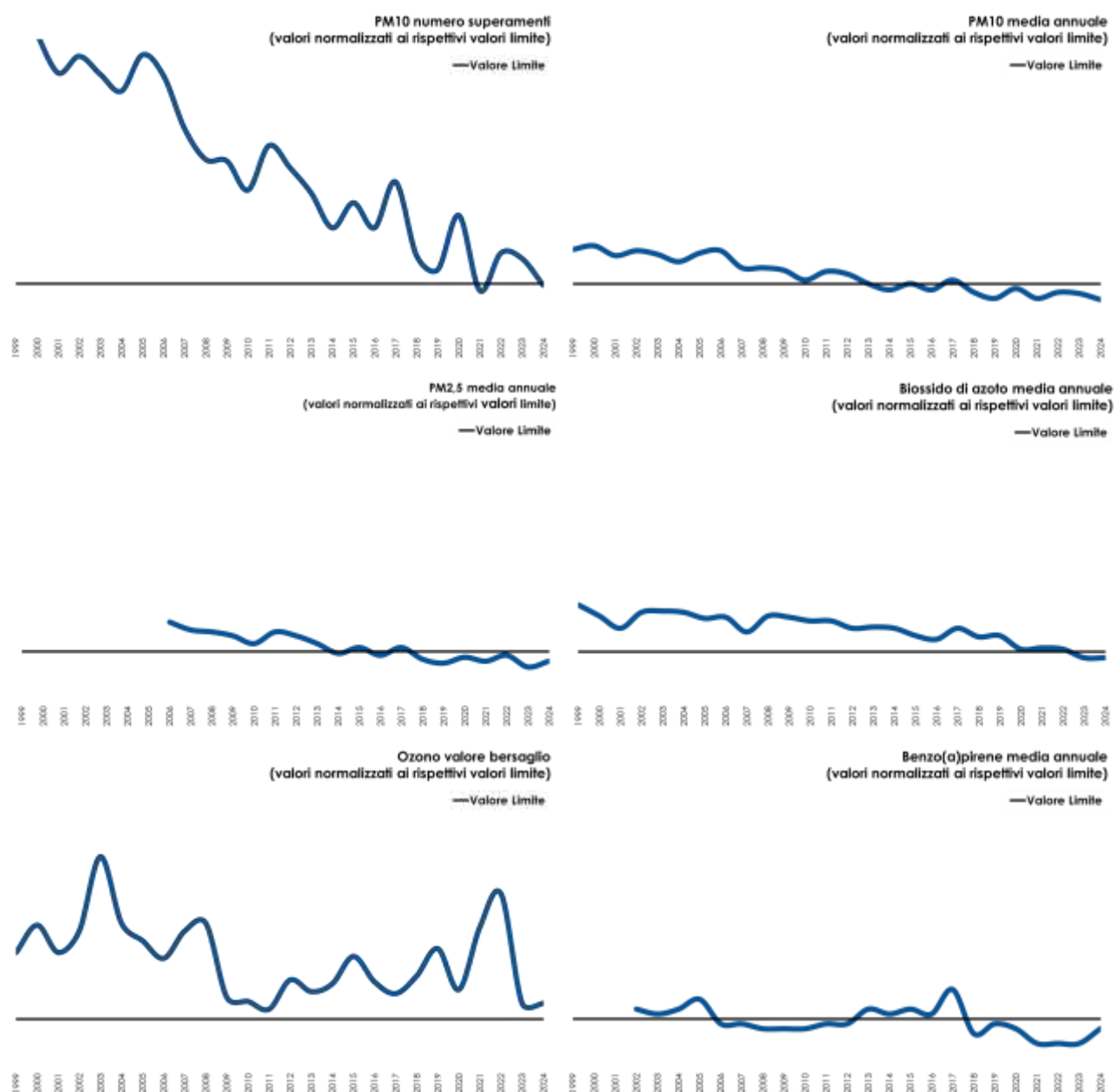


FIGURA 1: evoluzione degli inquinanti nella città di Torino (1999-2024).

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 (β)" 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 (A2A) (1)	Str. Pino Torinese, 1 – Baldissero	NO _x , O ₃ , CO, PM10 _B , Deposimetro Metalli, NH ₃	Fondo-rurale
Beinasco (TRM) (1)	Via San Giacomo c/o giardino pubblico Aldo Mei - Beinasco	NO _x , PM10 _B , PM2,5 _B , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, Hg, Campionatore PCDD/DF e PCB, Deposimetro Metalli/IPA, Deposimetro Hg, Deposimetro PCDD/DF e PCB	Fondo-suburbano
Borgaro	Via Italia c/o Giardini dei Caduti Borgaresi – Borgaro	NO _x , O ₃ , PM10 _B , PM2,5 _B , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX	Fondo-suburbano
Carmagnola	P.zza I maggio– Carmagnola	NO _x , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Traffico-urbano
Ceresole Reale	c/o cent. Idroelettrica - Ceresole	NO _x , O ₃ , PM10 _B , PM2,5 _B , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Fondo-rurale
Chieri	c/o Scuola Infanzia B.go Venezia Via Bersezio– Chieri	NO _x , O ₃ , PM10 _B , PM2,5 _B	Fondo-suburbano
Collegno	C.so Francia, 137 - Collegno	NO _x , PM10	Traffico-urbano
Druento	parco La Mandria c/o cascina Peppinella – Druento	NO _x , O ₃ , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Fondo rurale
Ivrea	Viale della Liberazione, 1 – Ivrea	NO _x , O ₃ , PM10 _B , PM2,5, B(a)P	Fondo-suburbano
Leini (A2A) (1)	Via Vittime di Bologna, 12 - c/o Grande Torino - Leini	NO _x , O ₃ , CO, PM10 _B , PM2,5 _B , NH ₃	Fondo-suburbano
Mezzo Mobile		NO _x , O ₃ , CO, PM10, PM2,5, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX	
Orbassano	Via Riesi c/o Complesso Sportivo Comunale – Orbassano	NO _x , O ₃	Fondo-suburbano
Oulx	Via Roma angolo via Des Moines – Oulx	NO _x , CO, PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Traffico-suburbano
Pinerolo	P.zza III Alpini, 1 – Pinerolo	PM10 _B	Fondo-urbano
Settimo T.se	Via Milano, 31 – Settimo	NO _x , PM10 _B , PM2,5 _B , BTX, B(a)P	Traffico-urbano
Susa	P.zza della Repubblica – Susa	NO _x , O ₃ , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Fondo-suburbano
To-Consolata	Via Consolata, 10 – Torino	NO _x , CO, SO ₂ , 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 _x , O ₃ , PM10-PM10 _B , PM2,5-PM2,5 _B , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, BC, NH ₃	Fondo-urbano
To-Rebaudengo	P.zza Rebaudengo, 23 - Torino	NO _x , CO, SO ₂ , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, PM10 _B , PM2,5 _B	Traffico-urbano
To-Rubino	Via Edoardo Rubino c/o giardini Rubino - Torino	NO _x , O ₃ , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, PM10 _B orario, PM2,5 _B orario	Fondo-urbano
Vinovo	via Garibaldi ang. via Volontari Italiani – Vinovo	NO _x , PM10 _B orario, PM2,5 _B orario, O ₃ , 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 ₃	Ammoniaca
NO _x	Ossidi di azoto
O ₃	Ozono
PCDD/DF	Policlorodibenzodiossine / Policlorodibenzofurani
PCB	Policlorobifenili
PM10	Particolato sospeso < 10 µm
PM10 _B	Particolato sospeso < 10 µm metodo automatico a radiazione β
PM2,5	Particolato sospeso < 2,5 µm
PM2,5 _B	Particolato sospeso < 2,5 µm metodo automatico a radiazione β
PTS	Polveri totali sospese
SO ₂	Biossido di zolfo

TABELLA 3: descrizione dei codici dei parametri.

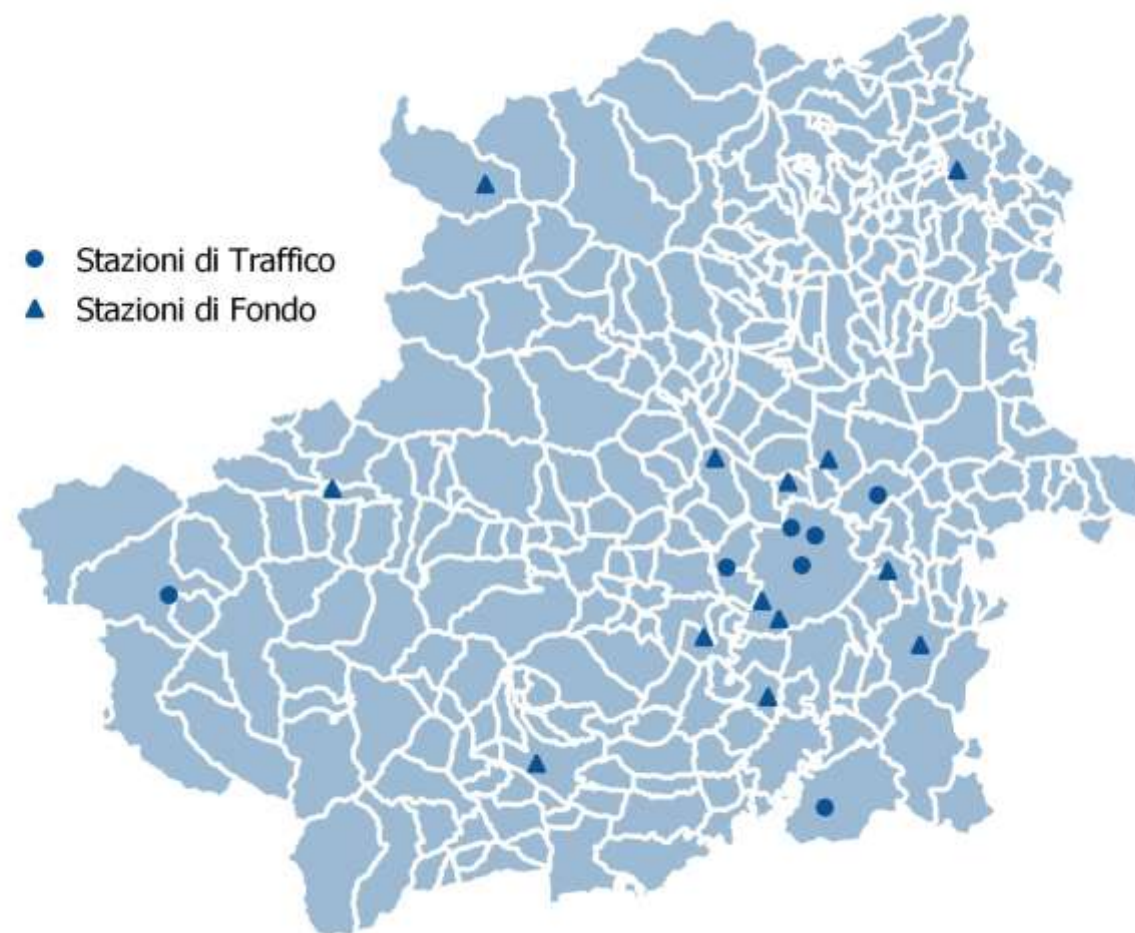


FIGURA 2: disposizione delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria.

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 (CO₂).

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/m³), a differenza degli altri parametri inquinanti misurati in µg/m³ o in ng/m³ 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 ¹	
	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 ³	1 gennaio 2005

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

ESAME DEI DATI

I dati relativi al 2024 evidenziano concentrazioni medie annuali comprese fra 0,3 e 0,7 mg/m³.

Viene confermato il rispetto del limite di protezione della salute umana di 10 mg/m³, calcolato come media mobile trascinata su otto ore (D.Lgs. 155/2010). Il valore massimo della media calcolata su 8 ore è di 3,6 mg/m³ e si attesta ben al di sotto del valore limite.

A partire dai primi anni '80 fino al 2008 le misurazioni di CO evidenziano, nella stazione di To-Rebaudengo che rappresenta un hot spot di traffico, concentrazioni medie 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 sempre più efficienti.

Negli ultimi 3 anni (TABELLA 5) le concentrazioni medie annuali misurate nella stazione di To-Rebaudengo, stazione che normalmente presenta i valori più elevati, sono ulteriormente diminuite e si attestano su valori di circa 0,5 mg/m³. Non si sono registrati negli ultimi 10 anni superamenti del valore limite per la protezione della salute umana.

¹ 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)

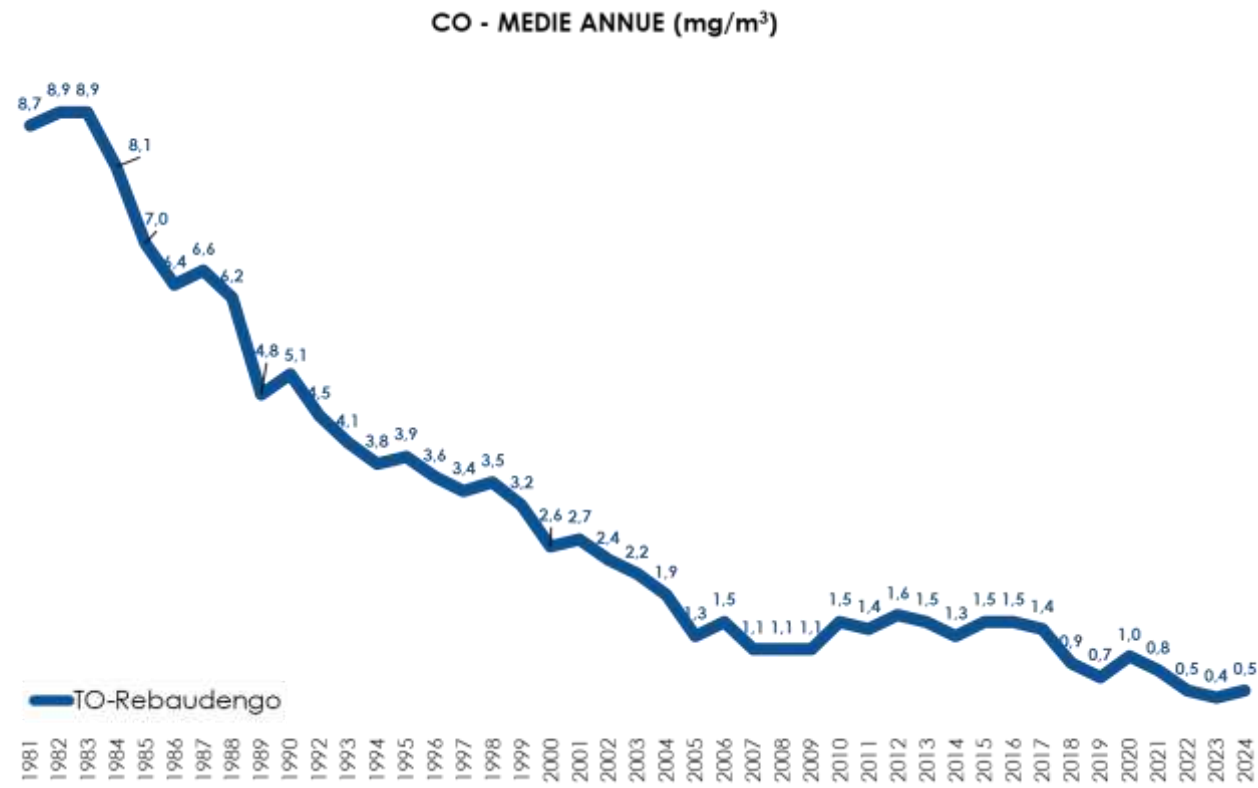


FIGURA 3: parametro CO, concentrazioni medie annuali rilevate presso la stazione di To-Rebaudengo dal 1981 al 2024.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2024 (% 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									
		'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24
Baldissero	97%	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4*	0,3	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0	0*	0	c	0	1,2	1,1	1,1	1,0	1,2	0,9	1,2*	1,2	1,1	1,6
Leini	88%	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1,9	1,7	1,6	2,1	1,6	1,6	1,7	1,6	1,5
Oulx	86%	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,8	1,5	2,3	1,5	1,8*	1,3	1,6	0,8	1,1	1,4
To-Consolata	94%	1,5	1,2	1,1	0,7	0,5*	0,8	0,7	0,5	0,5	0,7	0	0	0	0	0*	0	0	0	0	0	3,8	3,3	4,5	2,9	2,8*	2,9	3,4	3	2,7	3,6
To-Rebaudengo	98%	1,5	1,5	1,4	0,9	0,7	1,0	0,8	0,5	0,4	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,1	3,6	4,0	2,4	2,1	2,5	2,7	2,2	2,9	2,4

(*) 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_2O , NO , NO_2 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_2) 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_2 e NO_x 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 da non superare più di 18 volte per anno civile	1 gennaio 2010
Anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2	1 gennaio 2010
LIVELLO CRITICO ²		
Periodo di mediazione	(293 °K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del livello critico
Anno civile	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_x	19 luglio 2001
SOGLIA DI ALLARME ³		
400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293 °K e 101,3 kPa) misurati su tre ore consecutive in località rappresentative della qualità dell'aria su almeno 100 km ² oppure una zona o un agglomerato completi, se tale zona o agglomerato 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 2024 mostrano, come avvenuto l'anno precedente, 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 e la concentrazione media annua è ulteriormente scesa da 44 a 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 1991-2024, 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 chiara tendenza alla diminuzione della concentrazione di NO_2 che nella stazione più critica di TO-Rebaudengo ha visto una decrescita di circa il 60% negli ultimi 30 anni. La riduzione delle

² 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);

³ 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);

concentrazioni di questo inquinante si era rallentata nel corso degli anni fra il 2010 e il 2017 con concentrazioni medie annue che oscillano intorno al valore di $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nella stazione di traffico di To- Rebaudengo e in prossimità del valore limite ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nella stazione di fondo di To-Lingotto. Gli anni successivi presentano invece una rinnovata tendenza al miglioramento sia nella stazione di traffico sia nella stazione di fondo che rispetta stabilmente il valore limite annuale dal 2018. Il netto miglioramento osservato nel 2020 era stato favorito dalla forte riduzione delle emissioni dovuta alle misure legate alla pandemia Covid 19, tale riduzione si è però consolidata nel periodo 2021-2023 con un ulteriore miglioramento nel 2024.

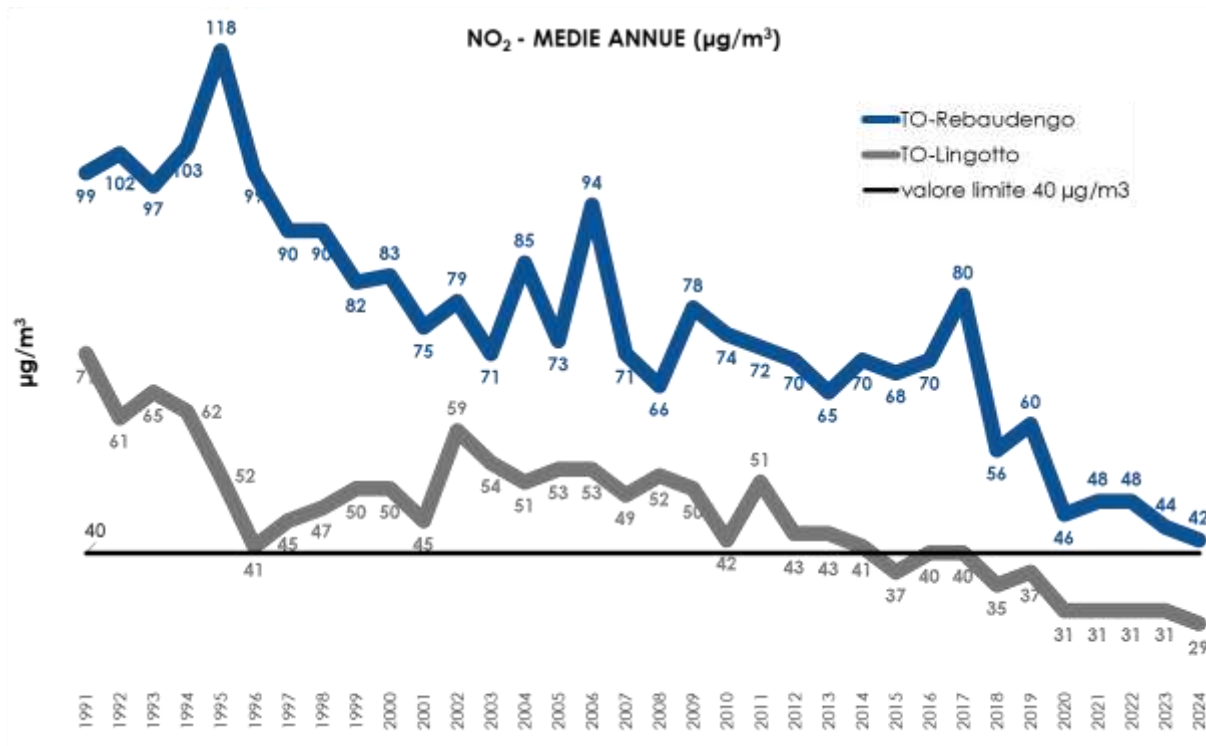


FIGURA 4: parametro NO_2 , andamento storico delle medie annuali, stazioni di To-Lingotto e To-Rebaudengo.

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 rispetto del limite in tutte le stazioni di fondo, dal 2018, 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_2 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 2024 per quanto riguarda le stazioni di traffico, si evidenzia la riduzione delle concentrazioni su tutto il periodo annuale rispetto alla media del periodo storico 2014-2023, è una situazione sostanzialmente stazionaria rispetto al 2023. 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 2024 si attestano sui livelli inferiori della fascia di variabilità Min-Max del periodo di riferimento 2014-2023.

Gli andamenti osservati evidenziano l'efficacia delle misure adottate per limitare le emissioni di NO_2 dal traffico veicolare ed in particolare dai veicoli Diesel.

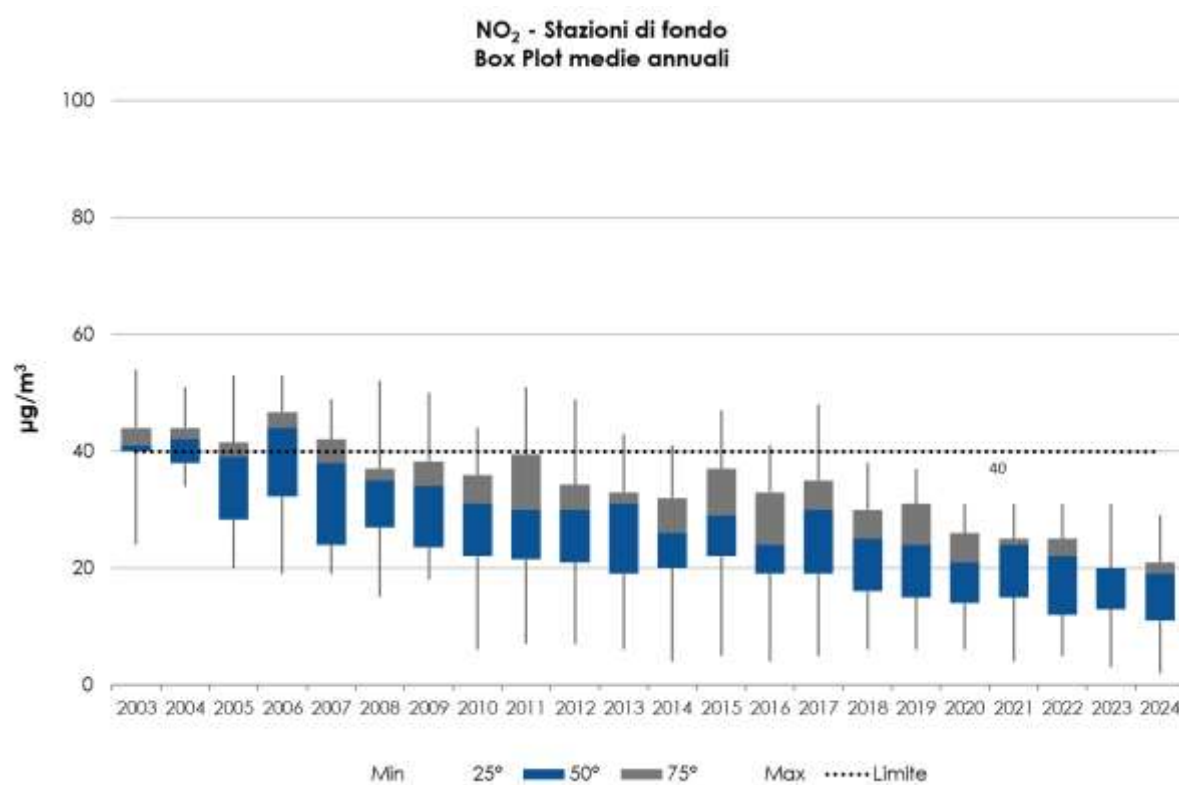


FIGURA 5: parametro NO₂ - distribuzione medie annuali rilevate nelle stazioni di rilevamento di fondo e di traffico.

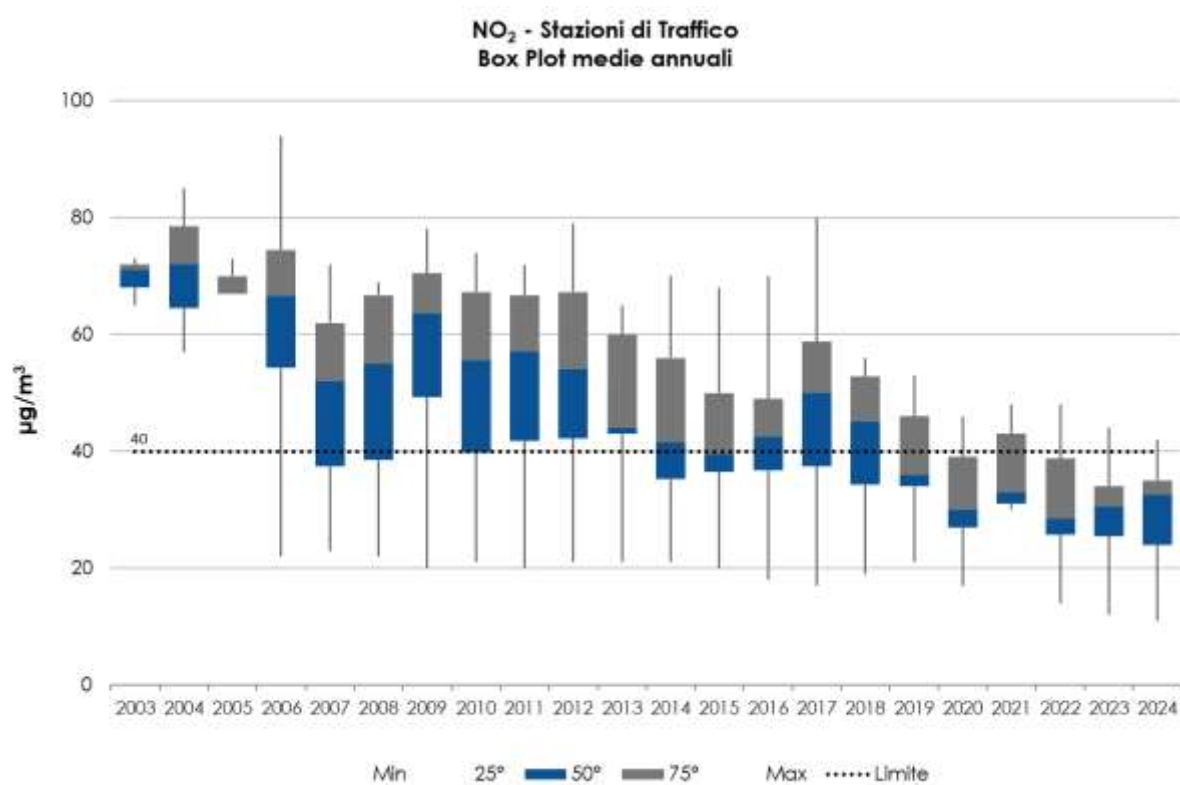


FIGURA 6: parametro NO₂ - distribuzione medie annuali rilevate nelle stazioni di rilevamento di fondo e di traffico.

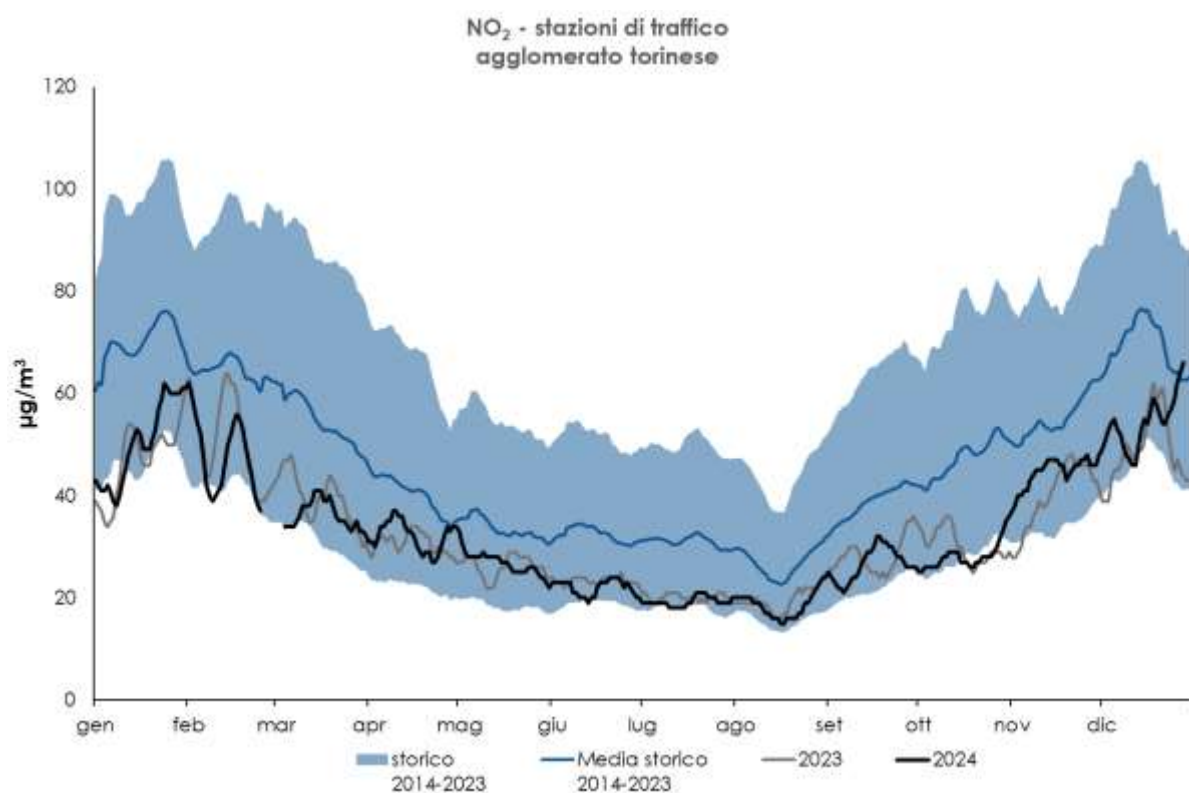


FIGURA 7: parametro NO₂ stazioni di traffico - serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 e del 2024 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

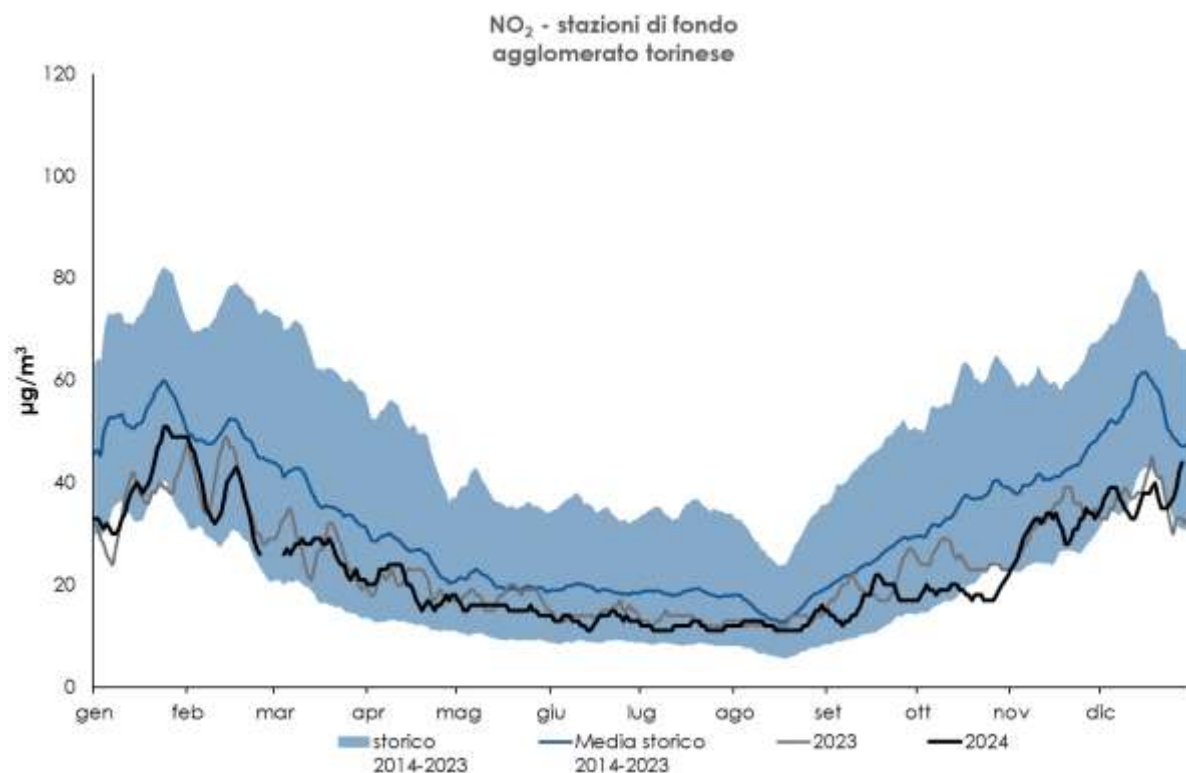


FIGURA 8: parametro NO₂ stazioni di fondo - serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2023 e del 2024 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2024 (% dati validi)	Valore limite annuale per la protezione della salute umana (40 µg/m³) Media Annuale (µg/m³)										Valore limite orario per la protezione della salute Numero di superamenti del valore di 200 µg/m³ come media oraria											
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024		
Baldissero	91%	14	12	15	11	15	11	10	10*	13*	9	0	0	0	0	0	0	0	0*	0*	0		
Beinasco TRM	98%	47	41	48	38	31	26	27	27	20	21	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		
Borgaro	99%	29	30	30	30	25	23	24	22	20	19	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Carmagnola	100%	38	39	42	38	34	30	31	29	30	30	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0		
Ceresole reale	95%	5	4	5	6	6	6	4	5*	3*	2	0	0	0	0	0	0	0	0*	0	0		
Chieri	100%	25	19	23	20	21	14	17	18	20	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Collegno	93%	36	46	58	53	46	30	33	25	31	35	0	4	6	0	0	3	0	0	0	0		
Druento	94%	16	11	12	12	11	11	9	9	9*	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0		
Ivrea	86%	26	23	25	22	24	22	22	24	16	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Leinì	91%	31	24	32	25	23	21	24	22	19	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Orbassano	100%	35	32	34	30	31	29	29	25	23	22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Oulx	95%	20	18	17	19	21	17	13*	14	12	11	0	0	0	0	0	0	0*	0	0	0		
Settimo	95%	41	36	36	33	36	26	30	28	24	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Susa	99%	22	20	19	16	15	14	15	12	10	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
To-Consolata	99%	53	50	59	52	53	42	43	42	35	35	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0		
To-Lingotto	96%	37	40	40	35	37	31	31	31*	31	29	0	5	0	0	0	0	0	0*	0	0		
To-Rebaudengo	99%	68	70	80	56	60*	46	48	48	44	42	21	28	25	1	11*	0	4	2	0	0		
To-Rubino	94%	44	35	37	31	33	26	25	28	27	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Vinovo	98%	43	33	35	26	28	21	25	24	20	18	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_2) 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.

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 24 volte per anno civile	1 gennaio 2005
24 ore	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	19 luglio 2001
SOGLIA DI ALLARME		
500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293°K e 101,3 kPa) misurati su tre ore consecutive in località rappresentative della qualità dell'aria su almeno 100 km^2 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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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_2 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 PM_{10} . Per tale ragione occorre continuare a garantire un adeguato monitoraggio delle concentrazioni di SO_2 e mantenere in vigore le misure che ne hanno ridotto la presenza in atmosfera.

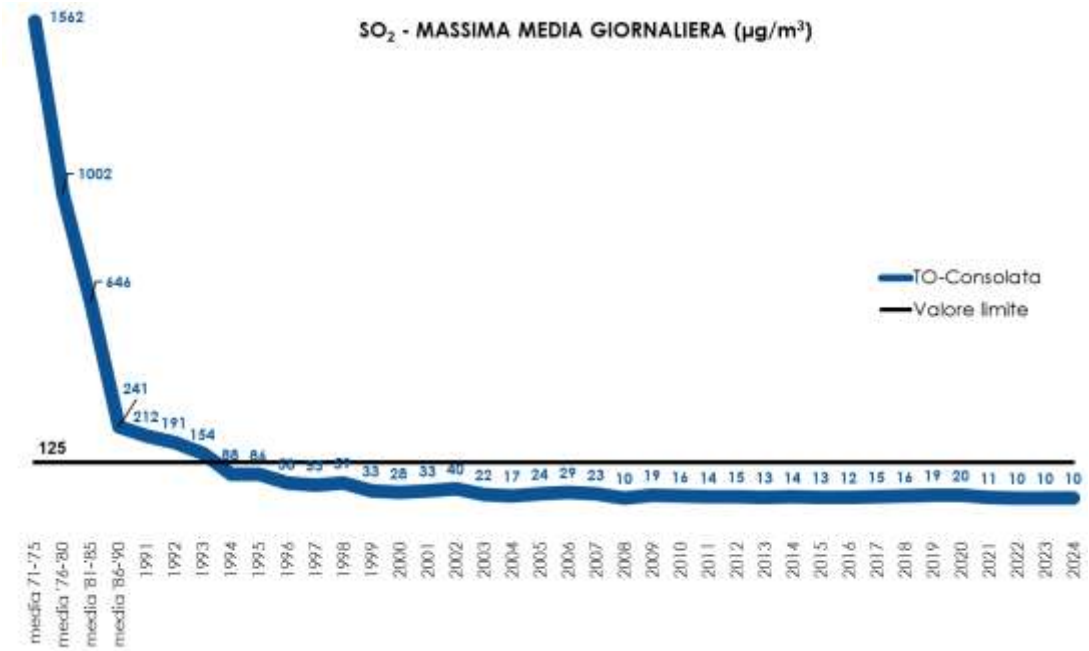


FIGURA 9: parametro SO₂, massima media giornaliera su base annuale rilevata nella stazione di To-Consolata.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2024 (% dati validi)	Media Annuale µg/m³										Valore limite orario per la protezione della salute umana 350 µg/m³ da non superare più di 24 volte nell'anno civile Numero di superamenti										Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana 125 µg/m³ da non superare più di 3 volte nell'anno civile Numero di superamenti									
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
To-Consolata	98%	7	6	7	7	7	7	5	4	6*	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0
To-Rebaudengo	97%	6	7	8	11	11	8	5	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STAZIONE	Rendimento Strumentale 2024 (% dati validi)	Valore limite per la protezione degli ecosistemi 20 µg/m³ Media calcolata sul periodo di riferimento 1 gen - 31 mar e 1 ott - 31dic										Soglia di allarme 500 µg/m³ Numero di superamenti										Massimo orario µg/m³									
		15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
To-Consolata	98%	7	7	9	9	9	9	6	4	6*	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0	19	19	21	23	26	27	17	16	14*	10
To-Rebaudengo	97%	5	8	10	13	12	9	6	5	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	25	39	21	21	22	29	31	10	15

(*) 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.

L'ozono presente 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 ³ 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 ³ ·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 ³ 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 ³ ·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 ³	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 ³	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/m³·h) s'intende la somma della differenza fra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m³ (=40 ppb) e 80 µg/m³ 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.

La nuova direttiva 2024/2881/CE, in via di recepimento dai singoli Stati Membri, riduce, rispetto alla precedente direttiva 2008/50/CE in materia di qualità dell'aria, a 18 i superamenti consentiti del valore obiettivo di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come media su 3 anni; stabilisce come soglia di valutazione per la protezione della salute il valore di $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come media massima su 8 ore, da non superare per più di tre giorni per anno civile e mantiene invariati i valori di soglia di informazione ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e allarme ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Risultano altresì invariati i valori obiettivo per la protezione della vegetazione. Non è stato tenuto in considerazione il valore limite di protezione della salute umana individuato per il periodo estivo dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nell'ultimo aggiornamento delle linee guida sulla qualità dell'aria⁴.

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 in estate e nelle località rurali, minori in inverno e nelle stazioni urbane, soprattutto di traffico⁵. 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 NO₂ – la cosiddetta “NO_x 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 2025⁶, riporta che in 16 stati membri dell'UE su 27 sono state registrate nel 2024 concentrazioni giornaliere di ozono mediate su 8 ore superiori alla soglia del valore obiettivo di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per più di 25 volte (tale valore non dovrebbe essere superato per più di 25 volte in un anno civile come media su 3 anni). In Italia, che possiede il maggior numero di stazioni di misura sul proprio territorio, sono state riscontrate frequenti violazioni del limite normativo dei 25 superamenti annui consentiti. L'Italia risulta essere l'unico stato membro in cui dal 2014 si registrano i valori massimi di concentrazione di ozono, come valore mediato sulle 8 ore, misurati principalmente presso le stazioni della Pianura Padana. Pertanto, risulta essere la nazione che presenta i valori di concentrazione più critici dell'EU. Tuttavia, nel 2024, rispetto agli ultimi 5 anni di misure, si è registrata una lieve diminuzione dei valori di concentrazione misurati, come si è verificato in tutti gli stati membri.

In TABELLA 11 sono riportati i superamenti della soglia di informazione per l'ozono - concentrazione oraria di $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - degli ultimi 10 anni di misure nell'area metropolitana torinese. Dall'analisi dei dati si rileva che, come per il 2023, anche il 2024 sia stato un anno positivo per l'ozono, segnando una controtendenza rispetto agli ultimi anni di misura. Infatti, per le stazioni del territorio metropolitano è stato registrato un solo superamento del valore soglia di informazione, presso la stazione di Druento. Nel 2023 invece i superamenti registrati erano stati 14 e riguardavano diverse stazioni, mentre nel 2022 erano stati registrati ben 424 superamenti totali.

In nessuna stazione della Città Metropolitana di Torino nel corso del 2024 è stata superata la soglia di allarme di $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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

⁵ EEA Air quality in Europe – 2017 report, 38-40

⁶ EEA Status report of air quality in Europe for year 2024, using validated data (ETC-HE Report 2025/1), 31-40

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2024 (% dati validi)	Soglia di informazione 180 µg/m³ come media oraria Numero di superamenti									
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Baldissero	93%	26	1	3	0	3	0	0	29	0	0
Borgaro	88%	32	15	6	2	5	0*	4	20	0	0
Ceresole	93%	0	1	1	0	0	0	0	3	0*	0
Chieri	95%	0	1	4	0*	1	0	0	14	0	0
Druento	91%	69	36	46	3	17	32*	10	25	8	1
Ivrea	96%	4	0	7	0	1	2	0	6	0	0
Leini	91%	3	4	1	0	5	0	0	8	0	0
Orbassano	83%	68	39	79	9	34	1	18	125	0	0*
Susa	80%	0	12	5	0	0	0	0	11	4	0*
To-Lingotto	93%	8	8	7	3	18	0	1*	39	1*	0
To-Rubino	89%	3	12	6	4	29	0	2	58	1	0
Vinovo	90%	1	4	12	9	8	0	0	86	0	0

* la percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal D.Lgs 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.

Infatti, l'ulteriore diminuzione dei valori di concentrazione di ozono registrati nel corso del 2024 potrebbe essere dovuta soprattutto al fatto che è stato un anno caratterizzato da precipitazioni superiori alla norma e frequenti giorni nuvolosi. Come si evince dai documenti di Arpa Piemonte sull'andamento meteo-climatico del 2024⁷, le precipitazioni cumulate medie dell'anno 2024 in Piemonte sono state pari a circa 1495,7 mm e sono risultate superiori alla norma 1991-2020 per circa il 45%. Il 2024 è risultato essere il secondo anno più piovoso nella distribuzione storica degli anni 1958-2024, dietro al 1977 per soli 2,8 mm. I fenomeni precipitativi annuali si sono concentrati prevalentemente tra febbraio e ottobre, con un temporaneo calo nel bimestre luglio-agosto, in cui si sono però verificati eventi pluviometrici molto intensi e localizzati. Nel mese di marzo è stata registrata la maggiore anomalia pluviometrica positiva con il +322% aggiudicandosi il primato della classifica dei mesi di marzo più piovosi. Le precipitazioni sono state abbondanti anche nei mesi di febbraio, maggio e giugno.

Relativamente alle temperature, l'anno solare 2024 (gennaio-dicembre) è stato il quarto più caldo osservato in Piemonte nell'intera serie storica 1958-2024, dopo il 2022, il 2023 e il 2015. I periodi caratterizzati da anomalia positiva marcata e persistente si sono verificati, oltre che nei mesi invernali e autunnali, tra l'inizio della seconda decade di luglio e per tutto il mese di agosto. Tuttavia, in diversi mesi in cui l'ozono presenta particolari criticità sono stati registrati scostamenti termici negativi (dalla seconda parte del mese di aprile e in prevalenza nei mesi di maggio e giugno e tra settembre e l'inizio di ottobre).

Come si evince dal grafico di FIGURA 10, presso la stazione meteorologica di Torino Consolata, il quantitativo di pioggia caduto nel periodo aprile-settembre 2024 è di poco inferiore a quello del 2022 ed è maggiore rispetto ai valori misurati dal 2012. La temperatura media è inferiore a quella registrata nel 2023.

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 2024 solo per le stazioni di Ceresole, Chieri, Ivrea e Leini.

⁷ARPA PIEMONTE Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali: Il Clima in Piemonte 2024, Il Clima in Piemonte Primavera 2024, Il Clima in Piemonte Estate 2024

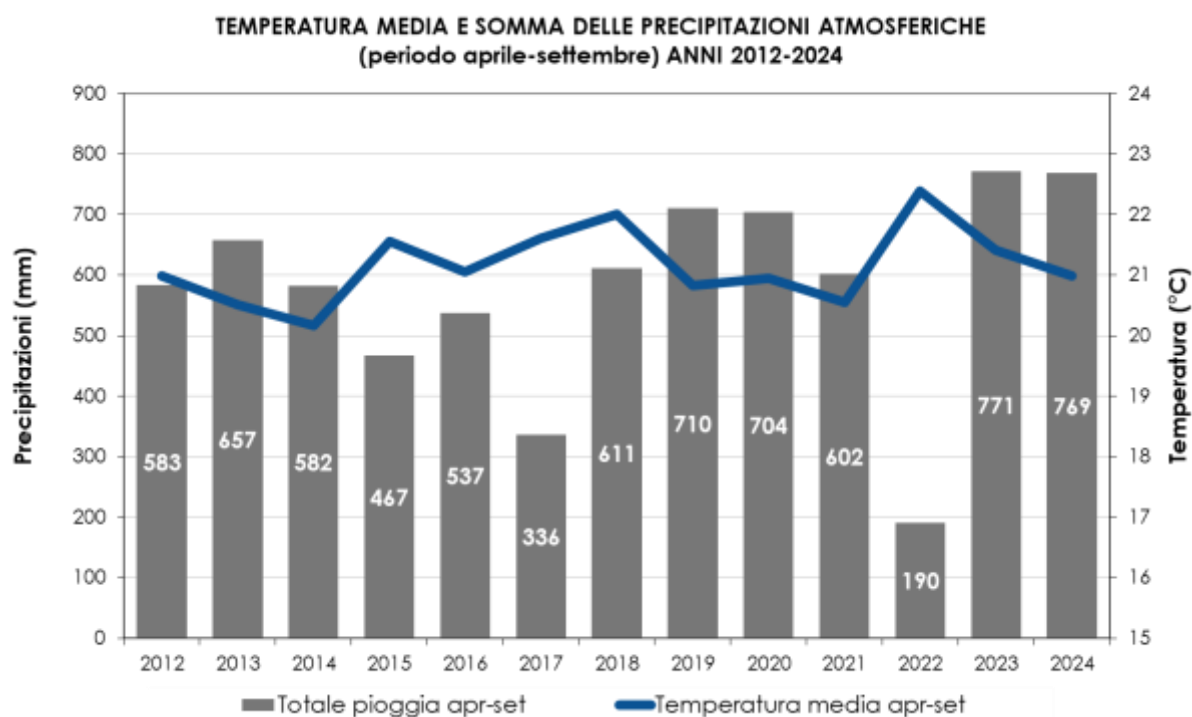


FIGURA 10: temperatura media e somma delle precipitazioni atmosferiche, nel periodo aprile-settembre, anni 2012-2024, stazione di To-Consolata.

STAZIONE	Valore obiettivo per la protezione della salute umana Numero di giorni con la media massima, calcolata su 8 ore, superiore a 120 µg/m³										MEDIA 2022-2024 (1)
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
Baldissero	62	60	72	61	67	46	70	108	54	33	65
Borgaro	71	51	40	39	31	34*	63	78	14	30	41
Ceresole	57	40	38	10	24	21	21	74	7*	6	29
Chieri	73	52	56	58*	42	5	31	36	38	20	31
Druento	59	59	54	49	41	56*	63	64	32	31	42
Ivrea	61	24	48	44	33	37	45	62	22	18	34
Leini	39	45	34	23	40	28	46	70	26	7	34
Orbassano	74	78	83	76	59	70	83	123	33	45	67
Susa	20	46	56	31	23	22	49	65	43	30	46
To-Lingotto	57	44	38	47	61	40	72	89	33*	33	53
To-Rubino	53	52	43	47	51	53	55	99	49	38	61
Vinovo	31	42	52	64	46*	34	38	105	15	35	40

(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 D.Lgs. 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 29 superamenti della stazione di Ceresole e i 67 della stazione di Orbassano, con una media a livello di città Metropolitana di Torino di 45 superamenti, numero quasi doppio rispetto a quelli ammessi dalla normativa, ma in diminuzione rispetto alla 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 2024 invece, è leggermente inferiore rispetto al 2023, e decisamente in 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 2024 sono confrontabili 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.

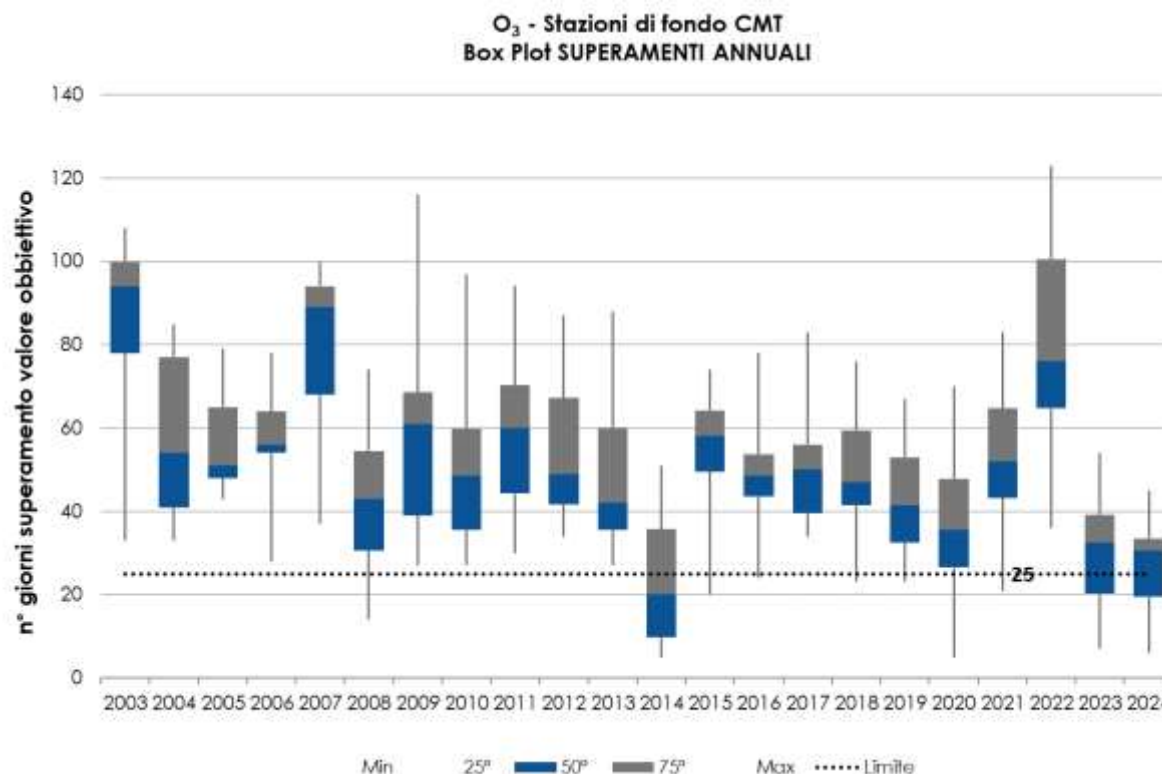


FIGURA 11: rappresentazione a "box plot" dei superamenti annuali del valore obiettivo nella CMT anni 2004-2024.

Come è noto, l'inquinamento da ozono ha effetti anche sugli ecosistemi naturali e sulla biodiversità, danneggiando la crescita e la riproduzione dei vegetali. 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 con il Decreto del Ministro dell'Ambiente 29 novembre 2012, "individuazione delle stazioni speciali di misurazione della qualità dell'aria previste dall'art. 6, comma 1, e dall'art. 8, commi 6 e 7, del decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155" è stata individuata la stazione di Dernice, in Provincia di Alessandria, come stazione di fondo in sito rurale per le misurazioni dell'ozono. Tuttavia, la D.G.R. n. 24-903 del 30 dicembre 2019, ha individuato altre stazioni per il monitoraggio dell'ozono, tra le quali figurano anche le stazioni di Baldissero, Ceresole e Druento.

In TABELLA 13 sono riportate le elaborazioni utilizzate per verificare il rispetto del valore obiettivo per la protezione della vegetazione, che nel 2024 risulta essere stato rispettato per tutte le tre stazioni rurali del territorio metropolitano. La media degli ultimi cinque anni del calcolo dell'AOT40 risulta leggermente inferiore rispetto al quinquennio precedente 2019-2023 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 di 18.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ stabilito dalla normativa e risulta di superiore all'obiettivo a lungo termine

di 6.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$, fissato dalla legislazione europea nella direttiva 2008/50/CE (come già segnalato in precedenza, tali valori bersaglio sono confermati dalla nuova direttiva 2024/2881/CE che è in corso di recepimento a livello nazionale).

STAZIONE	DECRETO LEGISLATIVO n. 155/ del 13/08/2010 Valore obiettivo per la protezione della vegetazione AOT 40 ($18000 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$)										
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	MEDIA 2020-2024
Baldissero	36285	23327	32186	24211*	35254	22378	28382	44093	25885	17977	27743
Druento	36839	27031	33531	19952	21808	17039*	22785	26188	17905	13361	20060
Ceresole	32688	23285	25714	15148*	23358	21016	19360	34600	16549*	16551	21615

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

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 2024, 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 superamento 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 sono stati più contenuti rispetto alle altre due stazioni e limitati ai soli mesi di luglio e agosto. Da marzo a settembre del 2024 per Baldissero, e Torino-Lingotto sono stati riscontrati rispettivamente 33 superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute, mentre presso la stazione di Ceresole i superamenti sono stati 6. Pertanto, solamente presso la stazione di Ceresole è stato rispettato il valore obiettivo di 25 giorni di superamenti annui previsti dalla normativa.

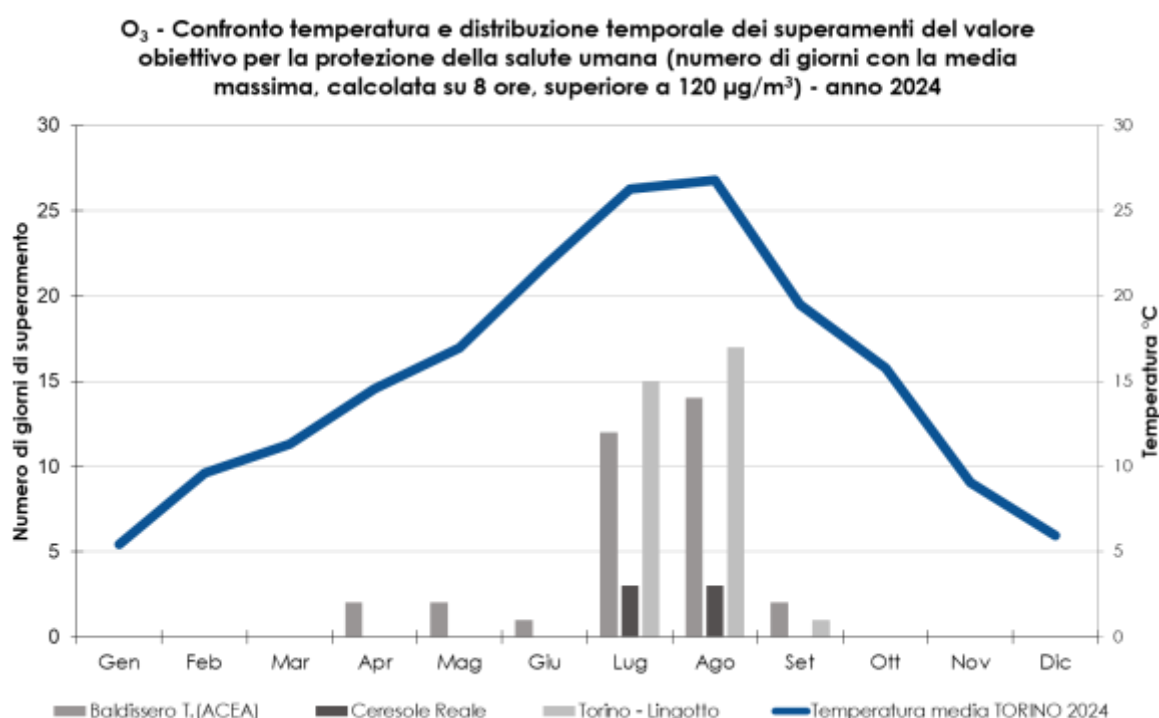


FIGURA 12: ozono - distribuzione temporale dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per le stazioni di Torino-Lingotto, Baldissero Torinese e Ceresole, anno 2024.

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 di 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%. Nel 2023 si era riscontrata una significativa diminuzione delle concentrazioni, mentre nel 2024 è stato registrato un incremento rispetto al 2023 nelle stazioni di Ceresole, con +12%, e To-Lingotto, con +10%, e una diminuzione delle concentrazioni per la stazione di Baldissero T.se, con -4%.

Per le stazioni di Baldissero T.se e Ceresole si riscontra un trend di diminuzione dei valori di concentrazione media estiva di ozono, invece per la stazione urbana di To-Lingotto il decremento è molto meno evidente. E' probabile che in contesti territoriali urbani come quelli in cui si trova la stazione di To-Lingotto, alla produzione di ozono troposferico concorrano più fattori tra i quali la maggiore presenza di precursori di origine antropica e l'instaurarsi di un microclima più caldo, la cosiddetta "isola di calore", che favorirebbe la formazione di questo inquinante in contesti altamente urbanizzati.

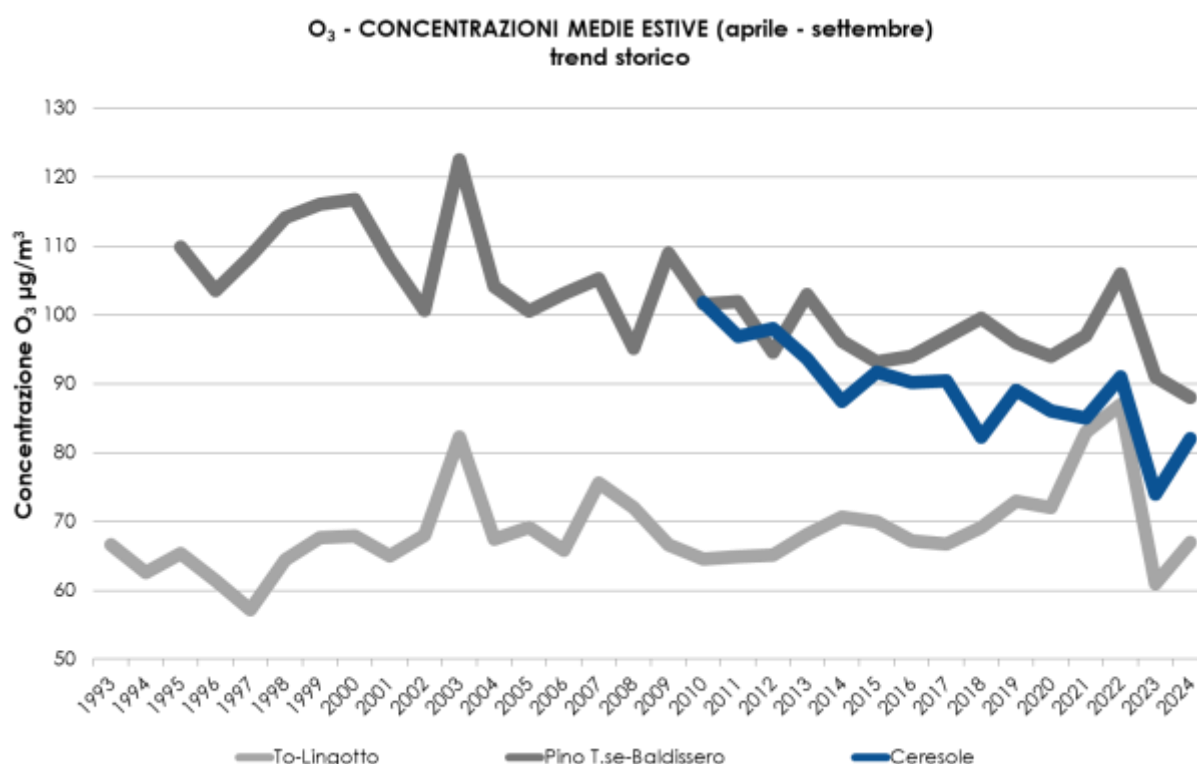


FIGURA 13: ozono, medie di concentrazione nel periodo aprile-settembre dal 1993 al 2024.

Seppur per gli anni 2023 e 2024 si sia riscontrata 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 2020⁸ 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_x, 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.

⁸ 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_6H_6) 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 $1 \mu g/m^3$ 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	$5 \mu g/m^3$	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 $5 \mu g/m^3$ 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 2024 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 4/5 volte inferiori al valore limite. Il 2024 presenta concentrazioni leggermente superiori rispetto al 2023, probabilmente a cause condizioni meteorologiche meno favorevoli alla dispersione degli inquinanti. Negli ultimi 3 anni tutte le misure sembrano assestarsi su un valore di fondo pari a circa $1 \mu g/m^3$ di media annuale. Solo i siti di traffico di To-Rebaudengo e To Consolata presentano una concentrazione media annuale lievemente più alta. I dati misurati confermano che il parametro benzene è efficacemente sotto controllo.

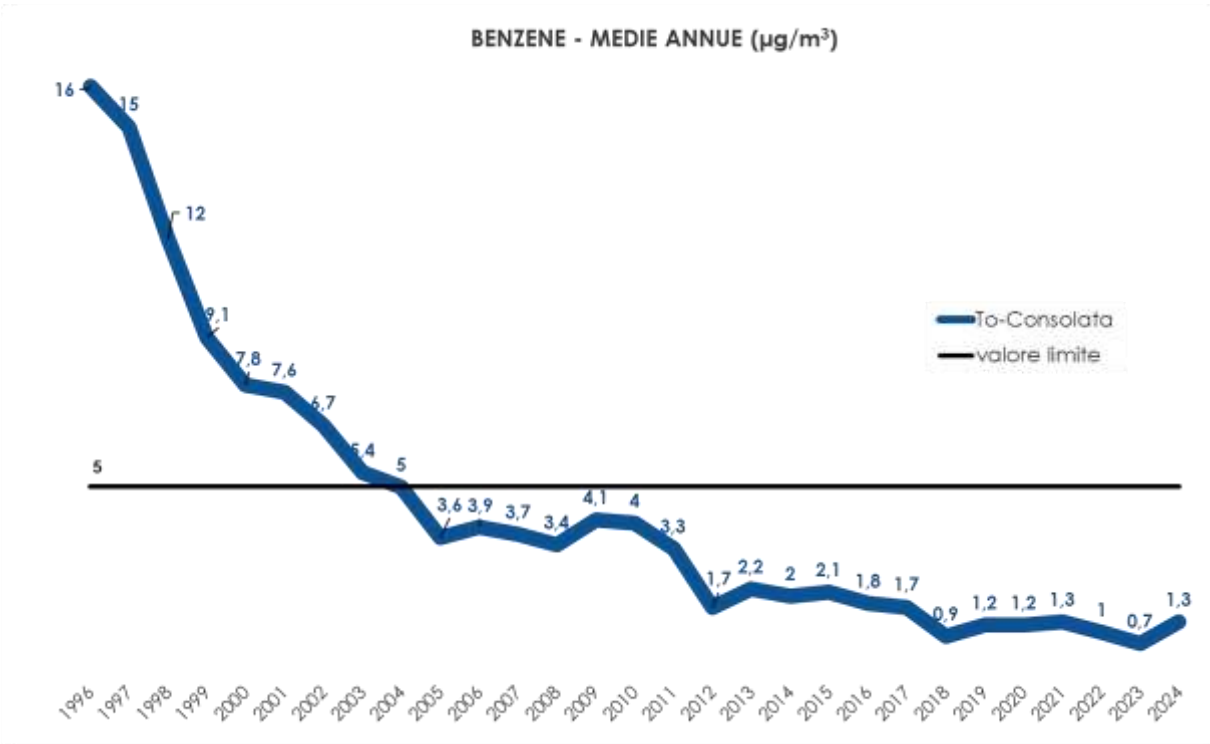


FIGURA 14: concentrazioni medie annue di benzene rilevate negli anni 1996-2024.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2024										
	(% dati validi)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Beinasco (TRM)	79%	1,3	1,3	1,3	1	1	1	1	0,9	1*	1,1*
Borgaro T.se	63%	1,3	1,2	1,3	1,1	1	1,2*	1	1	0,8*	1,1*
Settimo T.se	91%	2,3	2,1	1,6*	0,9	1,1	1,2	1,1	1	0,9	1
To-Consolata	89%	2,1	1,8	1,7	0,9	1,2	1,2*	1,3	1	0,7	1,3
To-Lingotto	78%	1,1*	1,1	1,1*	1*	0,9	0,8*	1	1	0,9	1,1*
To-Rebaudengo	91%	2,6	2,1	2,3	1,5	1,8*	1,6	1,6	1,3	1,2	1,4
To-Rubino	80%	2,1*	1,6	1,3	1,1	1	1	0,9	0,8	0,7*	0,8*
Vinovo	97%	1,6	1,4	1,5	1,1	1	1,1	1,1	0,9	0,9	1,1

(*) 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/m³ PM10 non superare più di 35 volte per anno civile	1 gennaio 2005
Anno civile	40 µg/m³ PM10	1 gennaio 2005
PM2,5 FASE 1 ⁹ - VALORE LIMITE		
Periodo di mediazione	Valore limite (condizioni di campionamento)	Data di entrata in vigore del valore limite
Anno civile	25 µg/m³ 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

Insieme alle sorgenti di emissioni in atmosfera, anche la meteorologia gioca un ruolo determinante nel modulare le concentrazioni del particolato atmosferico ed il 2024 è stato caratterizzato da condizioni meteo sfavorevoli alla dispersione atmosferica degli inquinanti, pur presentando precipitazioni più elevate rispetto al 2023, pari a 1,6 volte quelle del decennio precedente. Questo ha determinato un aumento del numero dei superamenti del valore limite giornaliero del PM10, in particolar modo nelle stazioni di fondo; tuttavia, si è registrato complessivamente un decremento delle concentrazioni annuali, anche grazie alla piovosità di marzo ed in particolare di ottobre, mese usualmente critico per la qualità dell'aria. Dal punto di vista climatico in Piemonte l'anno 2024 è stato il quarto anno più caldo dopo il 2022, il 2023 e il 2015 nella distribuzione storica compresa tra il 1958 e il 2024. La precipitazione cumulata è stata di 1495.7 mm, con un surplus pluviometrico di 466,2 mm (pari al 45%) nei confronti della media climatica del trentennio 1991-2020, posizionandosi al 2°

⁹ 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/m³ 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.

posto dopo il 1977 tra gli anni più piovosi valutati a partire dal 1958. Combinando le anomalie standardizzate di temperature e precipitazioni il 2024 è risultato il più caldo e umido della serie storica. Gli episodi di foehn annuali sono risultati 71, poco superiori ai 66 medi del periodo 2000-2020.¹⁰

Il numero di occorrenze di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 nel 2024 è stato pari a 129 giorni (FIGURA 85). L'andamento mensile dell'indice (FIGURA 86) attesta la criticità dei mesi di gennaio, marzo e dicembre. I dati dal 28/10 al 20/11 non sono disponibili per motivi tecnici, ma molto probabilmente sono stati tutti giorni di accumulo, tranne il 28/10 e il 20/11, in base alle misure di radioattività naturale sul particolato fornite dallo strumento di misura automatico del PM10 e PM2,5 installato nella stazione di To-Rubino, che sono indicatrici dell'altezza di rimescolamento.

In FIGURA 15 si osserva che il valore limite annuale (40 µg/m³) è stato rispettato in tutte le stazioni del territorio della città metropolitana.

Considerando l'insieme delle stazioni metropolitane esistenti e con dati validi in entrambi gli anni 2023-2024, si osserva un decremento delle concentrazioni medie dell'8% rispetto al 2023.

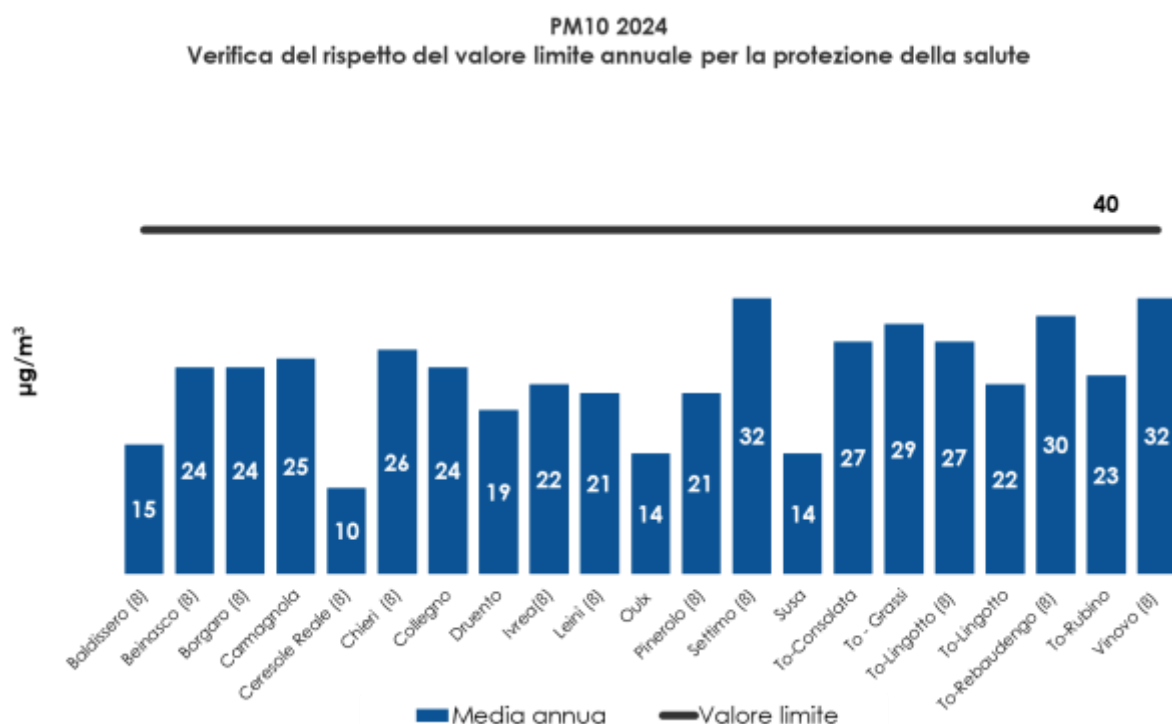


FIGURA 15: valore medio annuale misurato presso le stazioni di monitoraggio metropolitane.

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 2024 i mesi più critici sono stati i siccitosi gennaio, novembre e dicembre. Anche in febbraio si sono verificati numerosi superamenti nonostante la pioggia caduta, che si è distribuita su sole otto giornate. 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 µg/m³.

Il Decreto Legislativo 155/2010 stabilisce anche un limite giornaliero (50 µg/m³) e un numero massimo di superamenti di tale valore nel corso dell'anno, pari a 35. Tale limite risulta più stringente di quello annuale¹¹ e non è rispettato in un numero significativo di stazioni (FIGURA 17). Il numero maggiore di superamenti del limite giornaliero si è verificato a Settimo Torinese ed è stato pari a 68, seguito da Vinovo con 56 superamenti, e dalle stazioni di traffico torinesi To-Rebaudengo e To-Grassi.

Al di fuori della città di Torino, le stazioni di Carmagnola e Collegno, che usualmente superano il valore limite giornaliero, non hanno raggiunto i 35 superamenti. Si consideri che la stazione di Collegno si trova in una zona interessata dal cantiere per il prolungamento della Linea 1 della

¹⁰https://www.arpa.piemonte.it/sites/default/files/media/2025-04/anno_2024_solare.pdf

¹¹ Si veda il capitolo LA NUOVA DIRETTIVA 2024/2881/UE PER UN'ARIA PIÙ PULITA IN EUROPA

metropolitana di Torino fino a Cascine Vica, pertanto è stato alterato il traffico veicolare. Sarà interessante vedere in futuro se per queste due stazioni il notevole decremento dei superamenti avvenuto negli ultimi due anni verrà confermato.

Il numero di superamenti a To-Consolata è sottostimato, in quanto la stazione ha presentato problemi tecnici nei mesi di gennaio e febbraio, usualmente tra i più critici per questo parametro.

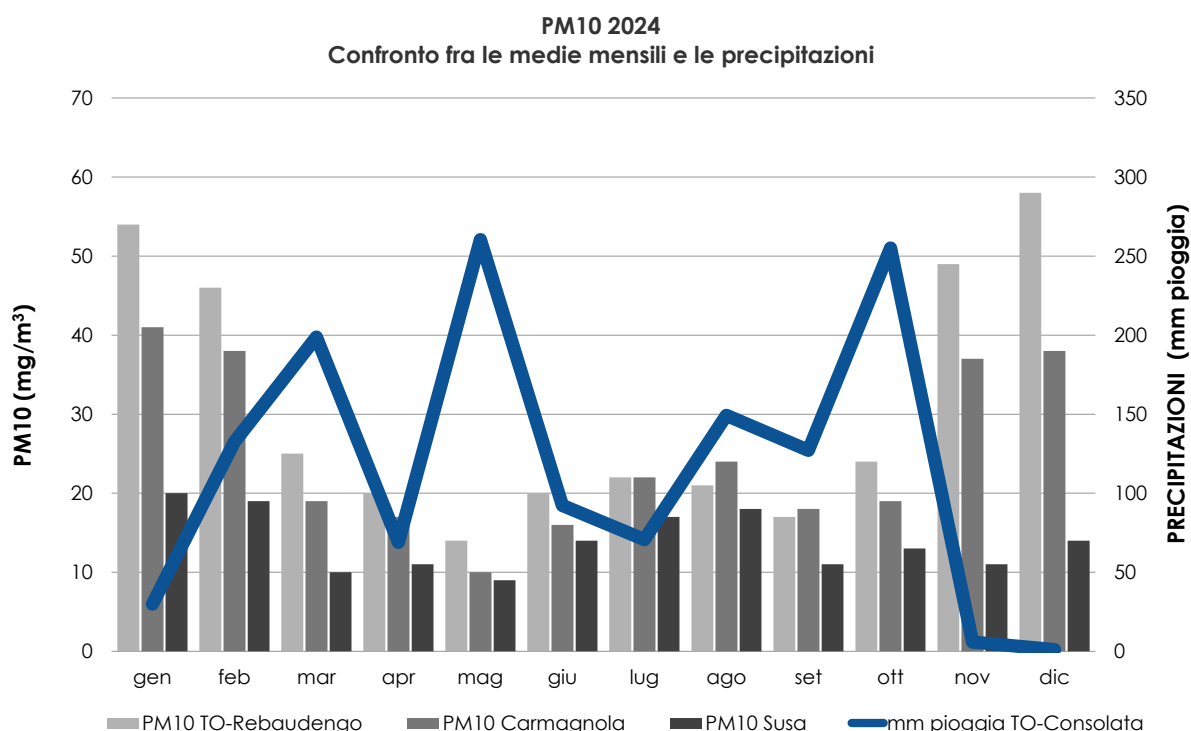


FIGURA 16: andamento delle precipitazioni atmosferiche e delle concentrazioni di PM10 in alcune stazioni della città metropolitana di Torino nell'anno 2024.

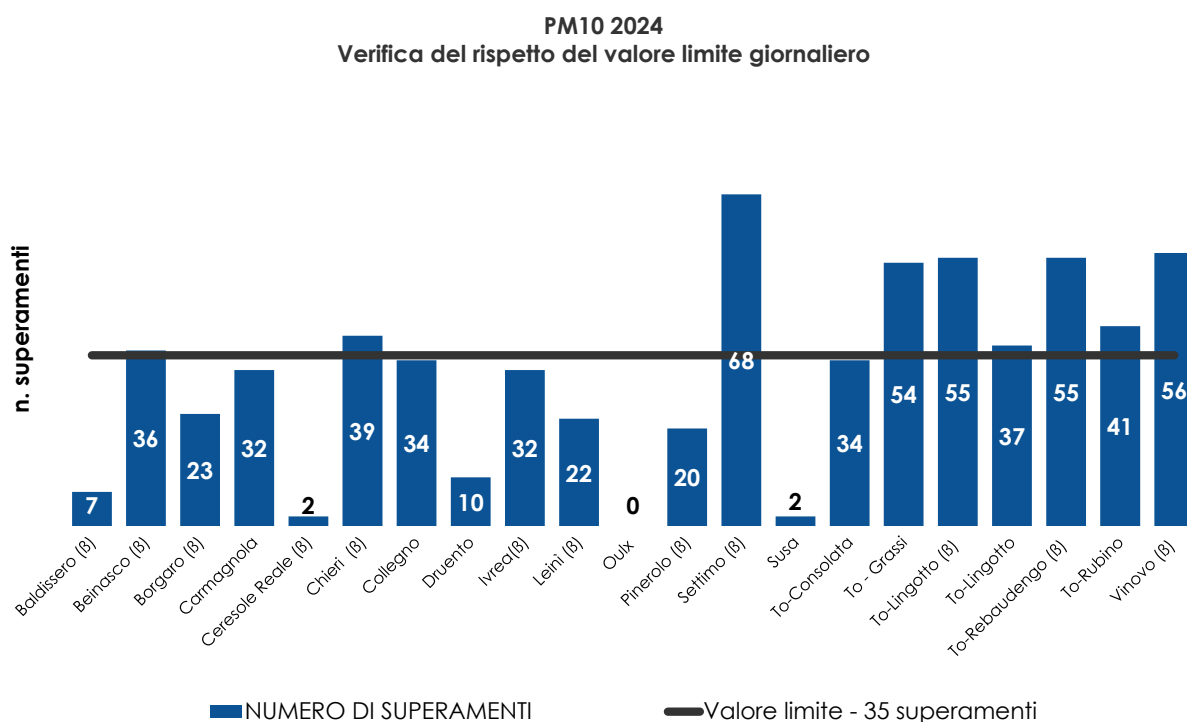


FIGURA 17: parametro PM10, numero di superamenti del limite di 24 ore per la protezione della salute ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media giornaliera). NB: il dato di To-Consolata è sottostimato per insufficiente rendimento strumentale nei mesi di gennaio e febbraio.

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 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nelle stazioni di traffico e ai 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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, anche se il 2024 ha portato la novità di Carmagnola e Collegno. 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.

Nelle stazioni di fondo il raggiungimento del limite è più vicino, come si può vedere in FIGURA 19, anche se nel 2024 ancora il 30 % delle stazioni supera l'indicatore normativo, contro il 10% dell'anno precedente, il migliore della serie storica.

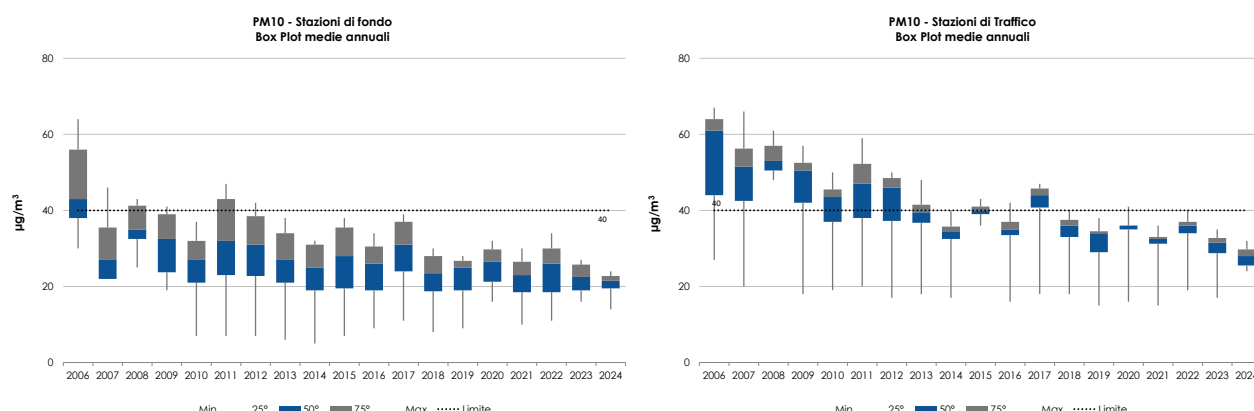


FIGURA 18: box plot della distribuzione dei valori di concentrazione media annuale rilevate nelle stazioni di monitoraggio di traffico e di fondo.

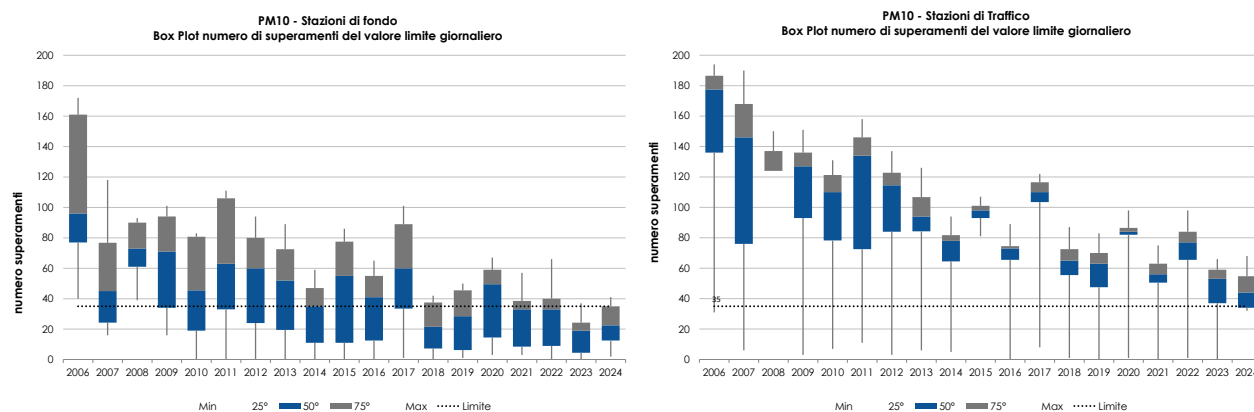


FIGURA 19: box plot della distribuzione del numero di superamenti del valore limite giornaliero misurato presso le stazioni di monitoraggio di traffico e di fondo.

Nei grafici di FIGURA 20 sono riportate le serie temporali delle concentrazioni delle polveri PM₁₀ misurate nel 2024 dalle stazioni della Città Metropolitana rispetto al periodo di riferimento 2014-2023. 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 2024 sono confrontate con i valori massimi, minimi e medi misurati dai medesimi gruppi di stazioni negli anni presi come riferimento (2014-2023).

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'analoga meteorologia 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 2024 si pone spesso al di sotto della media del periodo di riferimento 2014-2023, tranne in alcuni giorni dalla seconda metà di gennaio ad inizio febbraio, intorno a metà febbraio e a metà novembre, dove sono toccati i massimi del periodo di riferimento. Tali giorni 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. Un significativo episodio di inquinamento naturale da polveri, causato in gran parte da una massiccia intrusione di polvere desertica trasportata dal Nord Africa sul Mediterraneo, è iniziato il 26 marzo ed è durato fino al 3 aprile. L'episodio non ha però causato superamenti nelle stazioni della Città Metropolitana, essendo in concomitanza con precipitazioni piovose. L'8 giugno si è verificato un incremento improvviso di polveri PM10 e PM2,5 nella stazione di Ceresole Reale, influenzato dal trasporto intercontinentale di particolato proveniente agli incendi boschivi in Canada, come avvenuto anche in Valle d'Aosta¹². Nel giorno successivo a Ceresole si è verificato un superamento, in concomitanza con il trasporto di sabbia sahariana, che ha interessato tutto il nord d'Italia¹³. Sulle stazioni di pianura questo non è stato visibile in quanto si sono verificate precipitazioni, che hanno diminuito i valori misurati di PM10.

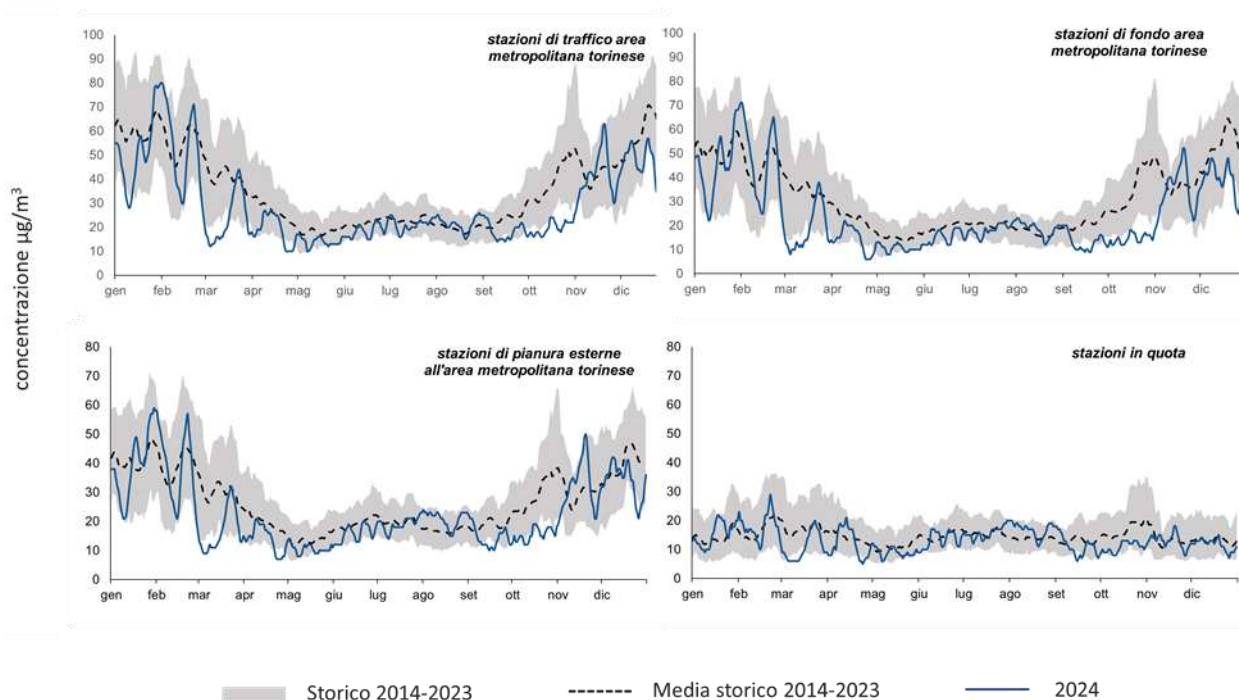


FIGURA 20: PM10 Città Metropolitana di Torino: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2024 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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 PM2,5 (la cosiddetta frazione fine del particolato) pari a 25 µg/m³ 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 PM2,5 basato sull'indicatore di esposizione media (IEM), valido

¹² <https://www.arpa.vda.it/notizie/atmosfera/polveri-sottili-dal-canada-cosa-sta-succedendo-in-valle-daosta>

¹³ <https://www.arpal.liguria.it/home-page/notizie-tematiche/item/trasporto-di-polvere-sahariana-lo-scorso-week-end-in-liguria.html>

a livello nazionale. L'LEM 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'LEM serve anche per stabilire se l'obbligo di concentrazione dell'esposizione, stabilito a 20 µg/m³ 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 diciotto anni, attualmente il monitoraggio del PM_{2,5} 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 2024 la concentrazione media di PM_{2,5} su base annuale è stabile rispetto all'anno precedente 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 registri i minimi della rete.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2024 (% giorni validi)	PM2,5 - VALORE MEDIO ANNUO									
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Beinasco – TRM (B)	92%	26	23	26	20	20	21	18	19	17	16
Borgaro (B)	99%	26	23	27	22	19	21	20	21	18	17
Ceresole Reale (B)	80%	6	7	9	8*	6*	6*	7	9	7*	7*
Chieri (B)	99%	24	22	27	22	20	21	21	22	19	19
Ivrea	70%	24*	20	24	19	16	19	17	19	16	19*
Leini (B)	87%	30	24	26	17*	20*	22	16	16	16	16
Settimo (B)	95%	31	26	30	24	22	23	23	24	21*	20
To-Lingotto (B)	96%	-	-	-	-	-	-	20	23*	17	20
To-Lingotto	93%	27	23	27	21	19	22	18*	21*	16	16
To-Rebaudengo (B)	96%	27	29*	33	25	25	22	23	23	20	20
To-Rubino (B)	84%	28*	23*	27	23*	20	20	19	20	16	18*
Vinovo (B)	84%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23*

(*) Rendimento strumentale inferiore all'85%

TABELLA 17: parametro PM_{2,5}, valutazione statistica anni 2015-2024. Borgaro-Chieri-Settimo dal 2021 sono misurati con un analizzatore automatico a raggi beta.

In FIGURA 21 sono riportati i valori mensili di PM_{2,5} 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 2024 nella stazione di To-Lingotto il PM_{2,5} costituisce in media circa il 74% del PM₁₀ nel semestre freddo e il 62% nel semestre caldo.

PM10 E PM2,5 CONFRONTO DELLE MEDIE MENSILI
Stazione di Torino Lingotto - anno 2024

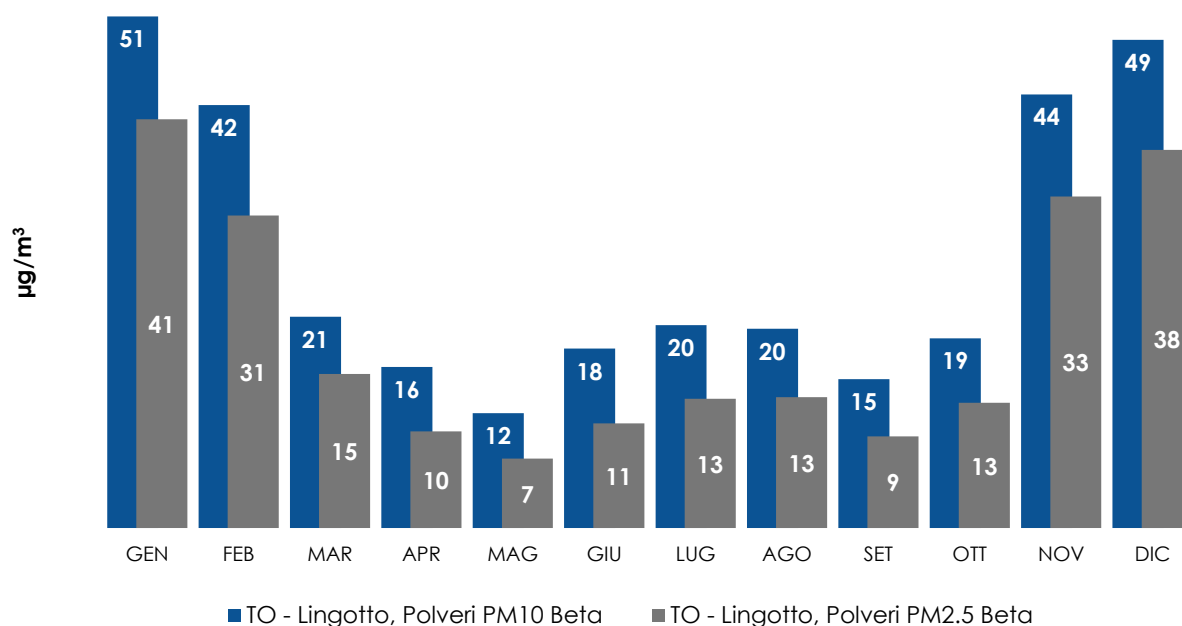


FIGURA 21: confronto tra PM2,5 e PM10 presso la stazione di To-Lingotto.

Tale fenomeno, confermato dalle analisi sulla serie storica, è attribuibile al fatto che la componente secondaria del particolato si concentra maggiormente nella frazione PM2,5 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 PM2,5, mentre nel periodo caldo cala al 49,5%¹⁴.

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 PM10. Quest'ultimo risultato è stato confermato anche nell'ambito del Progetto LIFE-IP PREPAIR¹⁵ 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 PM10 (periodo di indagine 15.9.2018 – 31.3.2024). 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 particolato¹⁶. 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 risollevarimento 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

¹⁴ 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

¹⁵ 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, Final Report Action D6, Report on source apportionment, ottobre 2024, <https://www.lifeppreair.eu/>

¹⁶ 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

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 PM10 e PM2,5 si registrano in inverno, a Ceresole i valori mensili massimi solitamente si verificano nella stagione estiva, in corrispondenza della massima insolazione. Nel 2024 le massime medie mensili si sono registrate a luglio e ad agosto; i valori medi mensili si collocano sopra le medie del periodo 2010-2022 negli stessi mesi e ad aprile, come si può osservare in FIGURA 22, dove è rappresentato un confronto con le medie mensili registrate negli anni 2010-2023. Il massimo si è registrato il 7 aprile, pari a $71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in seguito ad un fenomeno di trasporto di sabbia dal Sahara iniziato nei giorni precedenti.

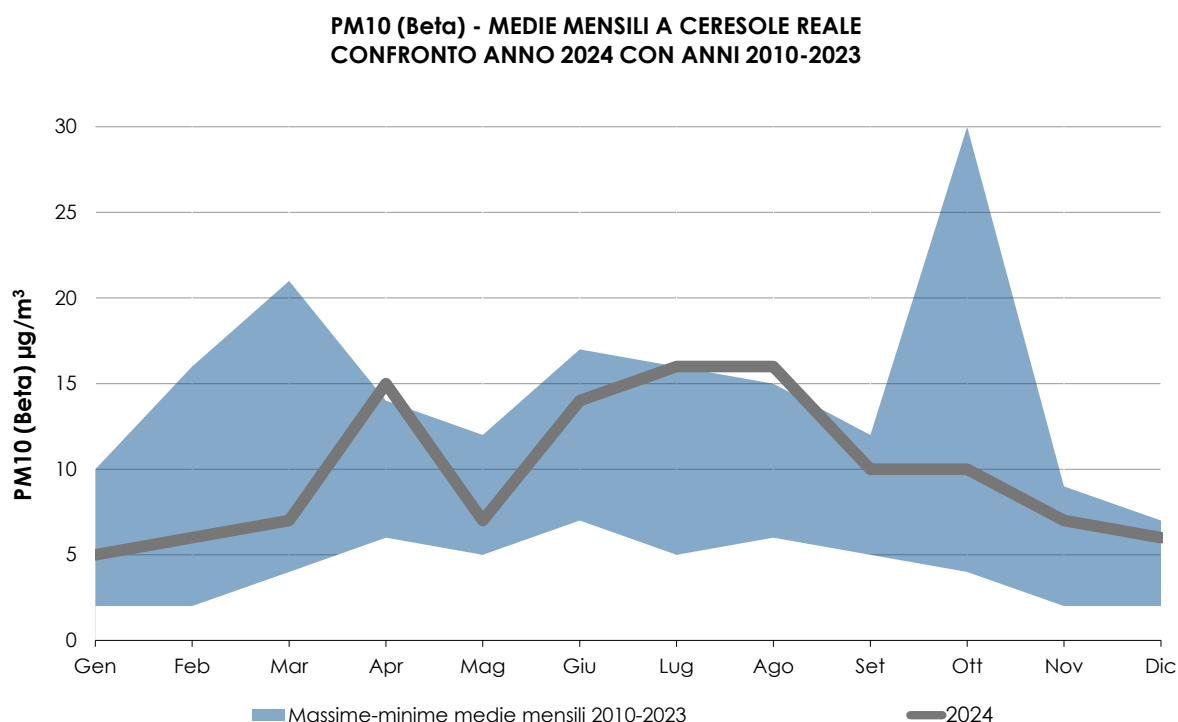


FIGURA 22: confronto tra le medie mensili di PM10 nel 2024 con le medie 2010-2023 presso la stazione di Ceresole Reale.

ANALISI DELLE SERIE STORICHE DI PARTICOLATO.

È possibile osservare, da un punto di vista qualitativo, un andamento decrescente delle medie annuali nelle stazioni di monitoraggio provinciali, per le quali la serie storica è quasi ventennale (vedi i box plot in FIGURA 19), ma un approccio di tipo statistico consente di stimare numericamente un trend e la sua significatività. Per questo è stato scelto il metodo Theil-Sen^{17,18}, utilizzato nel pacchetto software openair¹⁹, il cui vantaggio è che produce intervalli di confidenza accurati anche quando i dati non sono distribuiti normalmente e in caso di varianza dell'errore non costante. Inoltre, è un metodo robusto rispetto agli outliers (eventuali valori anomali).

Le serie storiche di dati giornalieri scelte per poter effettuare la stima sono quelle per le quali è disponibile l'intera serie di dati dal 2015 al 2024. Il trend è stato valutato dopo avere rimosso la componente stagionale dalla serie di dati.

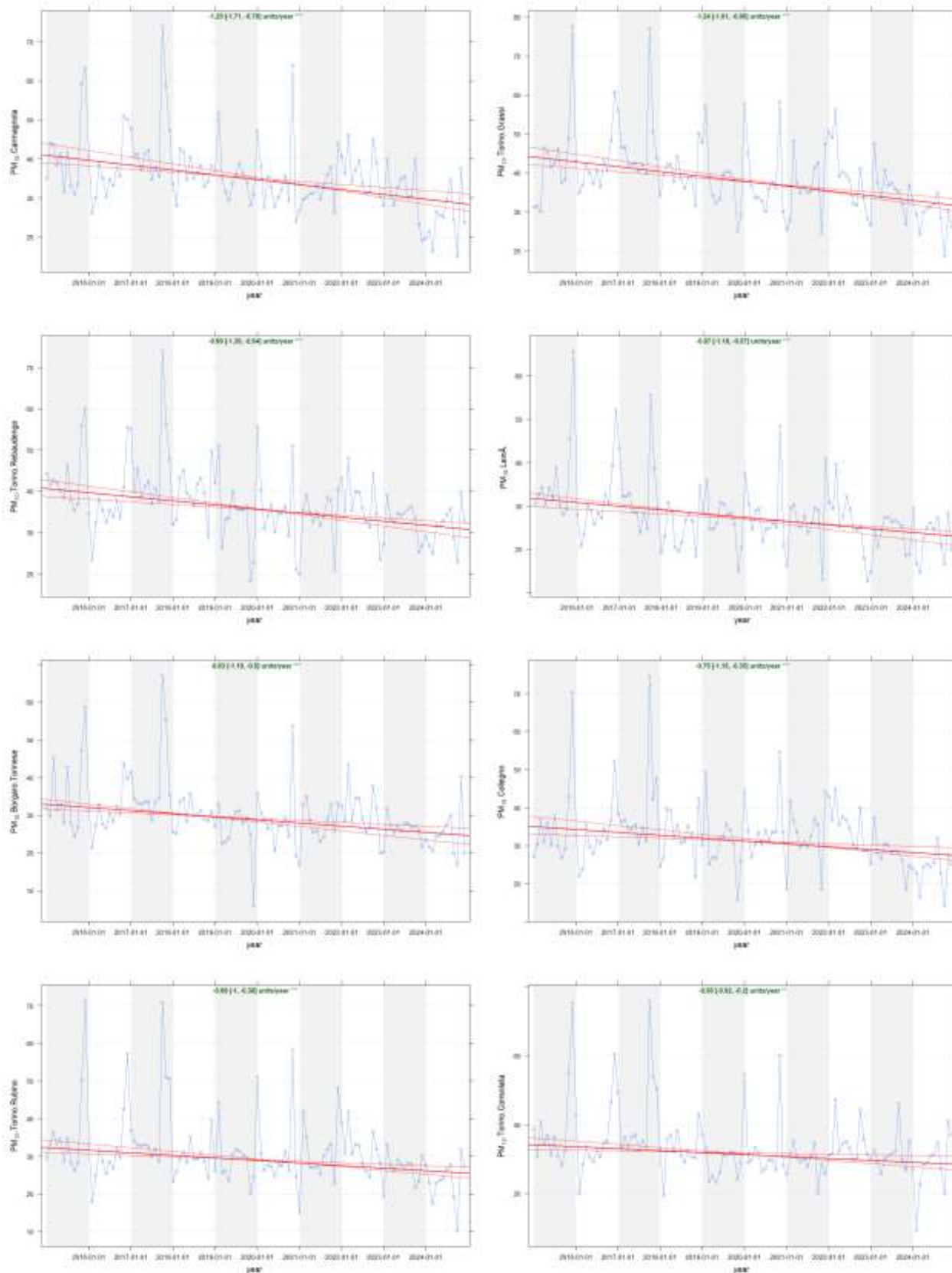
Le medie mensili destagionalizzate del PM10 sono rappresentate in FIGURA 23. La linea rossa continua indica il trend stimato e le due linee rosse tratteggiate l'intervallo di confidenza al 95%. Il valore complessivo del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per anno, è indicato in alto e tra parentesi è l'intervallo di confidenza.

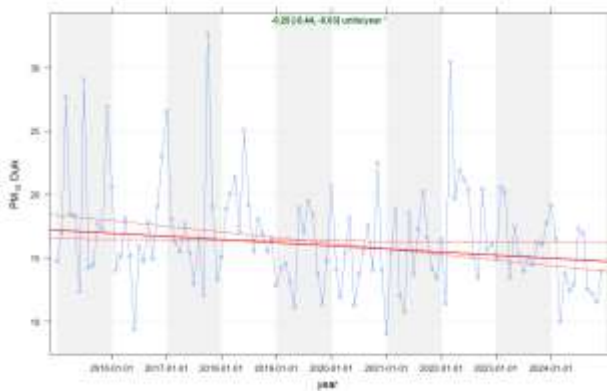
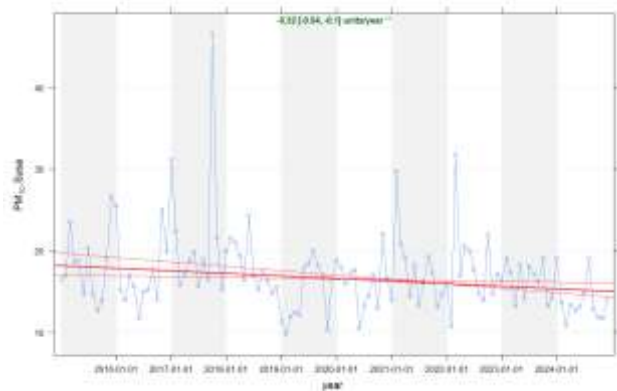
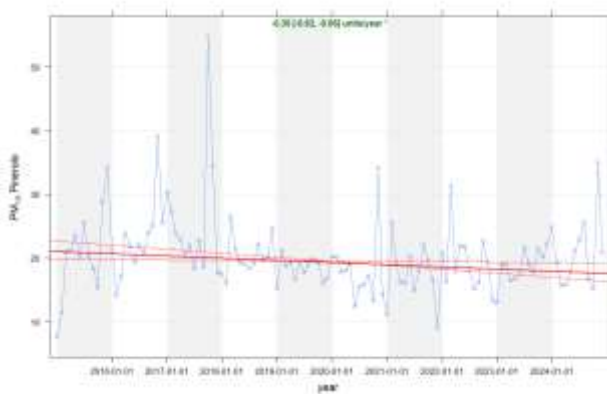
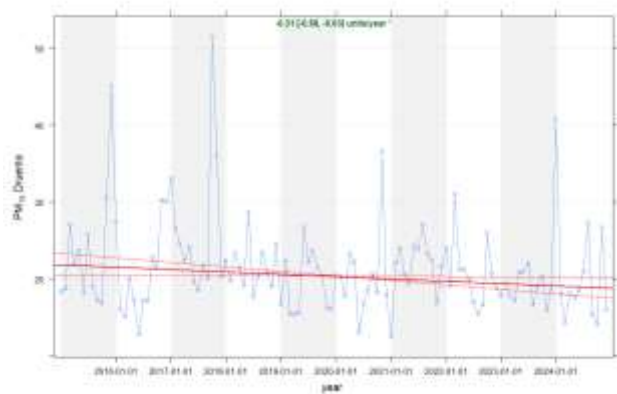
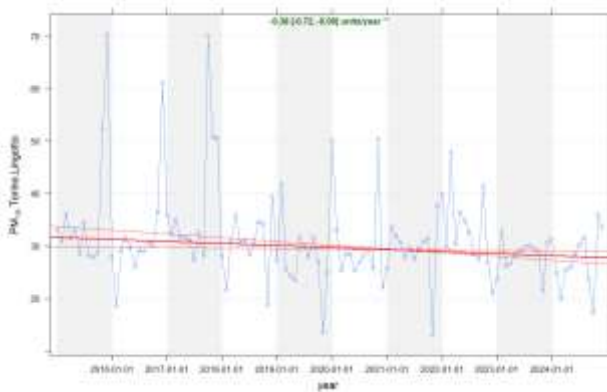
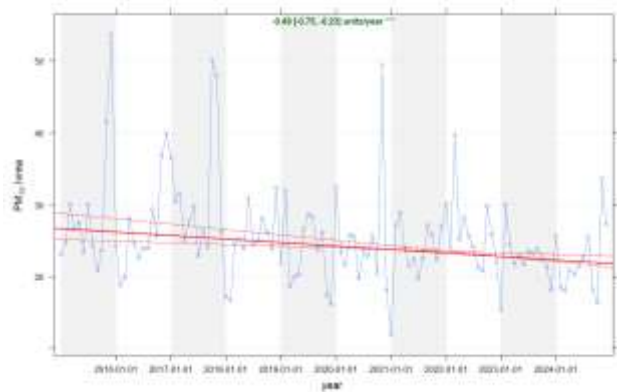
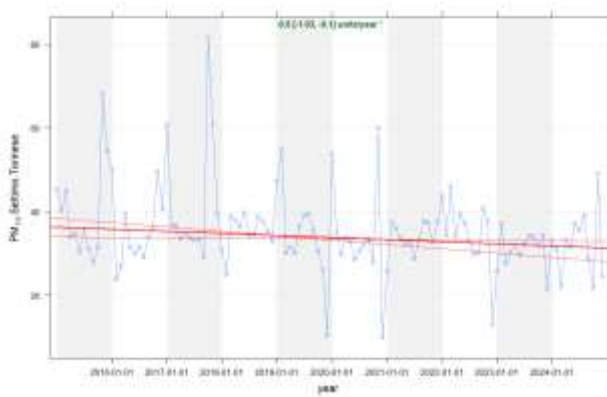
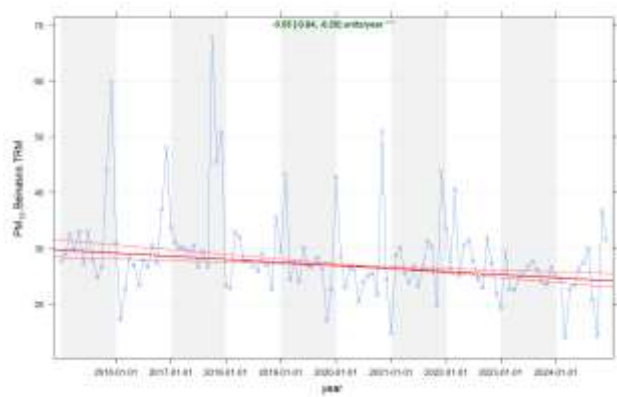
¹⁷ Theil, H., 1950. "A rank invariant method of linear and polynomial regression analysis, i, ii, iii." Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie Wetenschappen, Series A - Mathematical Sciences 53, 386-392, 521-525, 1397-1412.

¹⁸ Sen, P. K., 1968. "Estimates of regression coefficient based on Kendall's tau." Journal of the American Statistical Association 63(324).

¹⁹ Carslaw DC and Ropkins K (2012). "openair — An R package for air quality data analysis." Environmental Modelling & Software, 27-28(0), pp. 52-61. ISSN 1364-8152, doi: 10.1016/j.envsoft.2011.09.008.

L'analisi di trend evidenzia una riduzione con significatività statistica nelle concentrazioni di PM10 per tutti i siti, tranne che per quello di Ceresole reale, che mostra un lieve incremento di $0,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno; la riduzione più marcata è per Carmagnola, Torino-Grassi e Torino-Rebaudengo, tutte stazioni di traffico, che storicamente hanno misurato le concentrazioni più alte della rete. Fanalino di coda la stazione di Oulx, la cui riduzione è limitata a $0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno. In TABELLA 18 è riportata stima del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, delle concentrazioni medie annue di PM10.





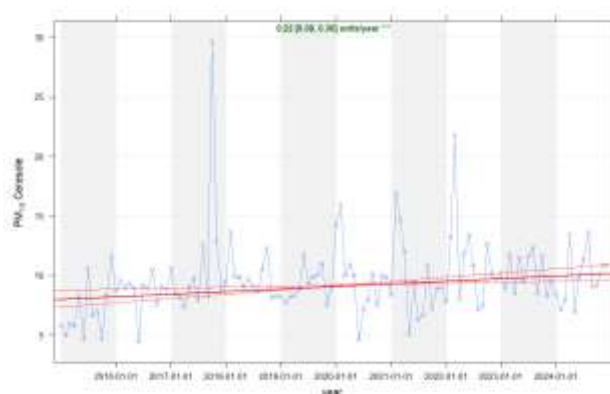


FIGURA 23: stima del trend dal 2015 al 2024 delle concentrazioni giornaliere di PM10 (significatività statistica: $p < 0,001 = ***$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,05 = *$ e $p < 0,1 = +$).

STAZIONE	Variazione annua ($\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{anno}$)	intervalli di confidenza al 95%.		significatività statistica	TREND PM10
Carmagnola	-1,25	-1,71	-0,78	***	decescente
Torino-Grassi	-1,24	-1,61	-0,85	***	decescente
To-Rebaudengo (B)	-0,99	-1,39	-0,64	***	decescente
Leini (B)	-0,87	-1,18	-0,57	***	decescente
Borgaro (B)	-0,83	-1,19	-0,5	***	decescente
Collegno	-0,75	-1,15	-0,35	***	decescente
Torino-Rubino	-0,68	-1	-0,38	***	decescente
Torino-Consolata	-0,56	-0,92	-0,2	**	decescente
Beinasco – TRM (B)	-0,55	-0,84	-0,29	***	decescente
Settimo (B)	-0,5	-1,03	-0,1	*	decescente
Ivrea (B)	-0,49	-0,75	-0,23	***	decescente
Torino-Lingotto (B)	-0,38	-0,72	-0,09	**	decescente
Pinerolo	-0,35	-0,62	-0,06	*	decescente
Susa	-0,32	-0,54	-0,1	**	decescente
Druento	-0,31	-0,58	-0,03	*	decescente
Oulx	-0,25	-0,4	-0,03	*	decescente
Ceresole Reale (B)	0,22	0,08	0,36	***	crescente

TABELLA 18: PM10: stima del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, delle concentrazioni medie annue di PM10 (significatività statistica: $p < 0,001 = ***$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,05 = *$).

PARTICELLE SOSPENSE 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 24 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 24 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 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dal 1999 al 2006 si sono stabilizzati intorno ai $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre, dopo una serie di valori intorno ai $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrati dal 2012 al 2015, dal 2016 i valori sono poco sopra ai $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il minimo storico si è toccato proprio nel 2023, con $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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.

CONCENTRAZIONI MEDIE ANNUE DI PARTICOLATO TOTALE SOSPESO Stazioni di Torino (1980-2024)

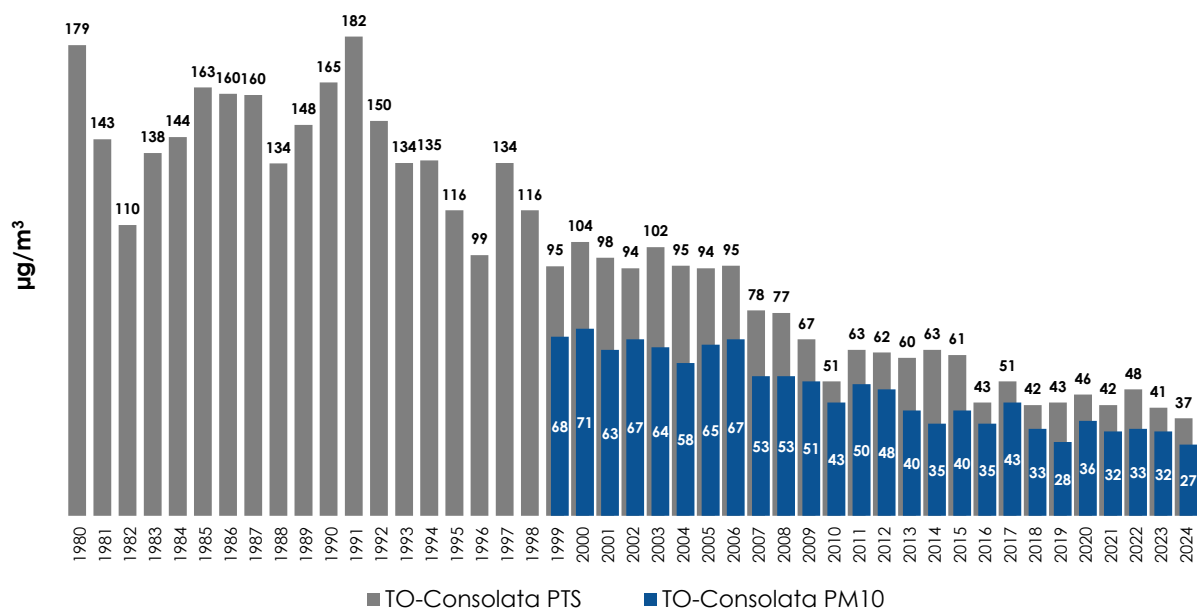


FIGURA 24: parametro PTS, medie annuali misurate nelle stazioni di Torino dal 1980 al 2024.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2024 (% 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)									
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Baldissero (B)	92%	17	14	11	8	18*	22	20*	18	16	15	8	1	1	0	5*	22	15*	9	0	7
Beinasco (B)	92%	33	29	36	28	27	28	27	29	25	24	68	52	88	41	49	59	39	36	21	36
Borgaro (B)	98%	-	-	-	-	-	-	27	31	26	24	-	-	-	-	-	-	33	39	25	23
Borgaro	-	35	31	38	30	26	30	28	-	-	-	71	54	90	42	28	51	37	-	-	-
Carmagnola	99%	41	37	45	36	35	36	33*	37	31	25	107	73	122	69	69	81	49*	82	39	32
Ceresole Reale (B)	83%	7	9	11	11*	9*	10*	10	11*	10*	10*	0	0	6	0*	1*	1*	3	0*	0*	2*
Chieri (B)	99%	-	-	-	-	-	28	28	31	27	26	-	-	-	-	-	55	40	48	33	39
Collegno	96%	36	32	40	33	30	35	32	36	28	24	81	61	102	56	50	85	57	74	35	34
Druento	92%	23	21	27	22	19	21*	21	21	19	19	23	22	41	15	10	11*	7	10	6	10
Ivrea - Liberazione (B)	98%	-	-	-	-	-	25	23	26	22	22	-	-	-	-	-	48	33	41	22	32
Ivrea - Liberazione	-	28	26	31*	25	24*	27	-	-	-	-	55	41	60*	28	29*	43	-	-	-	-
Leinì (B)	87%	36	30	34	33*	26	29	26	27	23	21	84	57	79	28*	44	59	38	33	17	22
Oulx	84%	18*	16	18	18	15	16	15	19	17	14	7*	0	8	1	0	1	0	1	0	0*
Pinerolo	99%	21	23	26	21	19	18	17	19	19	21	11	15	40	11	5	12	10	9	4	20
Settimo (B)	95%	-	-	-	-	-	-	31	35	33*	32	-	-	-	-	-	-	55	77	55*	68
Settimo	-	39	35	44*	36	34	35	34	-	-	-	98	70	99*	65	63	83	64	-	-	-
Susa	92%	18	17	22	18	15	16	17	18	16	14	11	10	27	6	1	3	5	4	0	2
To - Consolata	90%	40	35	43	33*	28	36*	28*	33	32	27	93	75	108	55	45	84*	30*	57	53	34
To - Grassi	98%	52*	42	47	40*	38	41	36	40	35	29	75*	89	112	76*	83	98	75	98	66	54
To - Lingotto (B)	96%	36	32	38	31	28	31	29	34	27	27	85	60	101	45	50	72	46	66*	35	55
To - Lingotto	86%	38	34	39	28	27	30	26	28	24*	22	86	62	92	39	48	67	40	37	19*	37
To - Rebaudengo (B)	95%	43	37	46	39	34	36	33	37	33	30	101	74	118	87	71	88	65	86	63	55
To - Rubino (B)	85%	36*	30*	37	30*	28	28	26*	31	24	27	53*	46*	91	36*	46	53	26*	47	26	42
To - Rubino	99%	36	32	38	29	28*	32	30	32	27	23	84	65	97	33	42*	66	57	58	37	41
Vinovo (B)	84%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56*

(*) Rendimento strumentale inferiore all'85%

TABELLA 19: parametro PM10, valutazione statistica anni 2015-2024.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2024 (% giorni validi)	PTS – VALORE MEDIO ANNUO									
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
To-Consolata	69%	61*	43	51	42	43	46*	42*	48*	41	37*

(*) Rendimento strumentale inferiore all'85%

TABELLA 20: parametro polveri totali (PTS), valutazione statistica anni 2015-2024.

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 (nichel) 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 α_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 21 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 21: 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 22, TABELLA 23, TABELLA 24 e TABELLA 25) 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/m³, quelle relative al piombo in µg/m³.

I limiti previsti dal D.Lgs. 155 del 13/8/2010 sono rispettati per tutti i parametri in tutti i siti monitorati.

Nel corso del 2024, si è osservata una generale stabilità delle concentrazioni rispetto al biennio precedente, con alcune eccezioni. 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. 2024 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di ARSENICO nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³)									
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Beinasco-TRM	94	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Borgaro	86	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7
Carmagnola	99	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7	0,7
Ceresole Reale	78	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*
Druento	92	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7
Ivrea	-	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7*	0,7*				0,7
Oulx	84	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7	0,7*
Settimo	-			0,7*	0,7*	0,7	0,7				0,7
Susa	92	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,7	0,7	0,7	0,7
To-Consolata	90	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7*	0,7*	0,7	0,7
To-Grassi	98	0,7*	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7
To-Lingotto	83	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7*	0,7*
To-Rebaudengo	80	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7*
To-Rubino	99	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

* percentuale di giorni validi inferiore al 85%

TABELLA 22: concentrazioni medie annuali di arsenico determinate sul Particolato Atmosferico, 2015-2024.

Per il **cadmio** in tutti i siti la concentrazione è significativamente inferiore rispetto al valore obbiettivo di 5 ng/m³; nel 2024 si osserva un peggioramento lieve rispetto all'anno precedente nelle stazioni di Torino-Grassi e Torino-Rebaudengo, che sono tornate ai valori registrati nel 2022, mentre per le altre stazioni si mantiene una stabilità delle concentrazioni. Il quadro d'insieme conferma i livelli registrati nel biennio 2022-2023.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2024 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Cadmio nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³)									
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Beinasco-TRM	94	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Borgaro	86	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1*	0,2	0,1	0,1*	0,1	0,1
Carmagnola	99	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	0,1	0,1	0,1
Ceresole Reale	78	0,1	0,1	0,1	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*
Druento	92	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	0,1	0,1	0,1	0,1
Ivrea	-	0,1	0,1	0,1*	0,1	0,1*	0,1*				
Oulx	84	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	0,1	0,1	0,1*
Settimo	-			0,3*	0,1*	0,1	0,2				
Susa	92	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
To-Consolata	90	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2*	0,1*	0,1*	0,1	0,1
To-Grassi	98	0,4	0,2	0,2	0,2*	0,2	0,3*	0,3	0,2	0,1	0,2
To-Lingotto	83	0,2	0,2	0,1	0,1*	0,1	0,2	0,1	0,1*	0,1*	0,1*
To-Rebaudengo	80	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1*	0,2*
To-Rubino	99	0,2	0,2	0,2	0,1*	0,1*	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1

* percentuale di giorni validi inferiore al 85%

TABELLA 23: concentrazioni medie annuali di cadmio determinate sul Particolato Atmosferico, 2015-2024.

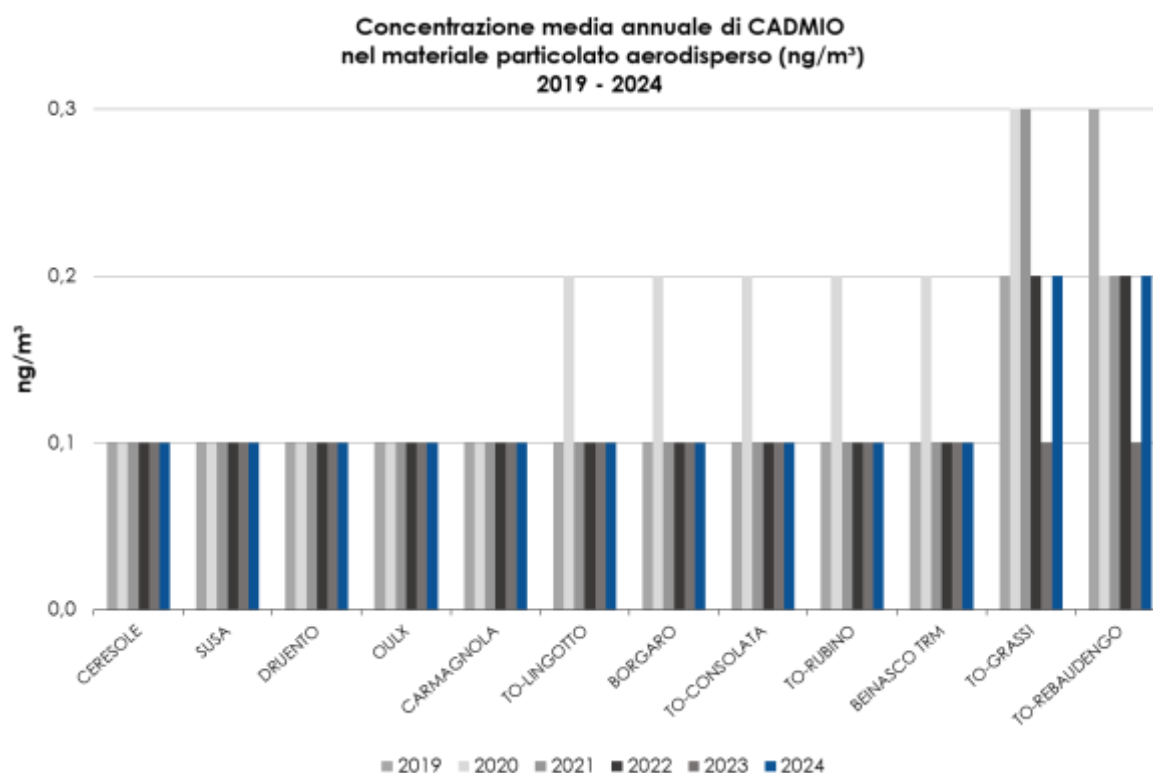


FIGURA 25: concentrazioni medie annuali di cadmio determinate sul Particolato Atmosferico 2019-2024.

Per il **nicchel** i valori si confermano ampiamente al di sotto del valore obiettivo previsto dal D.Lgs. n. 155/2010 (20 ng/m³); nel dettaglio si osserva che le concentrazioni sono aumentate rispetto al biennio precedente nelle stazioni di Ceresole, Druento, Susa, Torino-Lingotto e Torino-Rebaudengo, mentre sono diminuite a Beinasco, Borgaro, Carmagnola, Torino-Consolata e Torino-Grassi. Ad Oulx si è osservato un ritorno ai valori del 2022, dopo un aumento registrato nel 2023, mentre a Torino-Rubino il valore del 2024 è rimasto invariato rispetto all'anno precedente, che aveva mostrato un aumento rispetto al 2022. L'andamento nel lungo periodo è in decrescita.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2024 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Nichel nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³)									
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Beinasco-TRM	94	3,0	2,2	2,7	2,2	2,4	1,7	1,8	2,2	2,0	1,6
Borgaro	86	4,3*	2,4	4,2	2,2	2,2*	2,1	1,9	1,7*	1,8	1,6
Carmagnola	99	3,0	1,9	2,9	2,2	2,7	1,8	1,6*	1,5	3,3	1,3
Ceresole Reale	78	0,9	0,8	0,9	0,8*	0,8*	0,9*	0,7*	0,8*	0,7*	0,9*
Druento	92	3,8	1,1	2,6	1,3	1,8	1,2*	2,5	1,1	1,3	1,6
Ivrea	-	3,0	1,6	2,2*	1,4	1,5*	1,5*				
Oulx	84	1,7*	1,3	2,0	1,3	1,6	1,1	1,3*	1,2	1,4	1,2*
Settimo	-			4,0*	2,3*	5,6	2,2				
Susa	92	2,7	1,4	1,4	1,0	1,2	0,9	0,9	0,8	1,0	1,1
To-Consolata	90	5,3	3,7	3,7	2,7	3,3	3,5*	2,6*	3,2*	3,2	2,8
To-Grassi	98	5,5*	3,9	4,8	3,2*	4,6	4,2*	3,8	3,8	4,1	3,3
To-Lingotto	83	3,3	2,2	2,5	1,4*	1,6	1,3	1,1	1,3*	1,2*	1,5*
To-Rebaudengo	80	4,6	3,0	3,0	2,3	4,0	2,1	1,6	1,9	2,4*	3,1*
To-Rubino	99	3,4	2,0	2,8	1,7*	2,4*	2,3	2,0	1,7	1,9	1,9

* percentuale di giorni validi inferiore al 85%

TABELLA 24: concentrazioni medie annuali di nichel determinate sul Particolato Atmosferico, 2015-2024.

La concentrazione media annuale più bassa è stata rilevata presso il sito montano di Ceresole, con un valore pari a 0,9 ng/m³, mentre nelle altre stazioni della provincia le concentrazioni sono comprese tra 1,1 ng/m³ e 3,3 ng/m³; quest'ultimo dato 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.

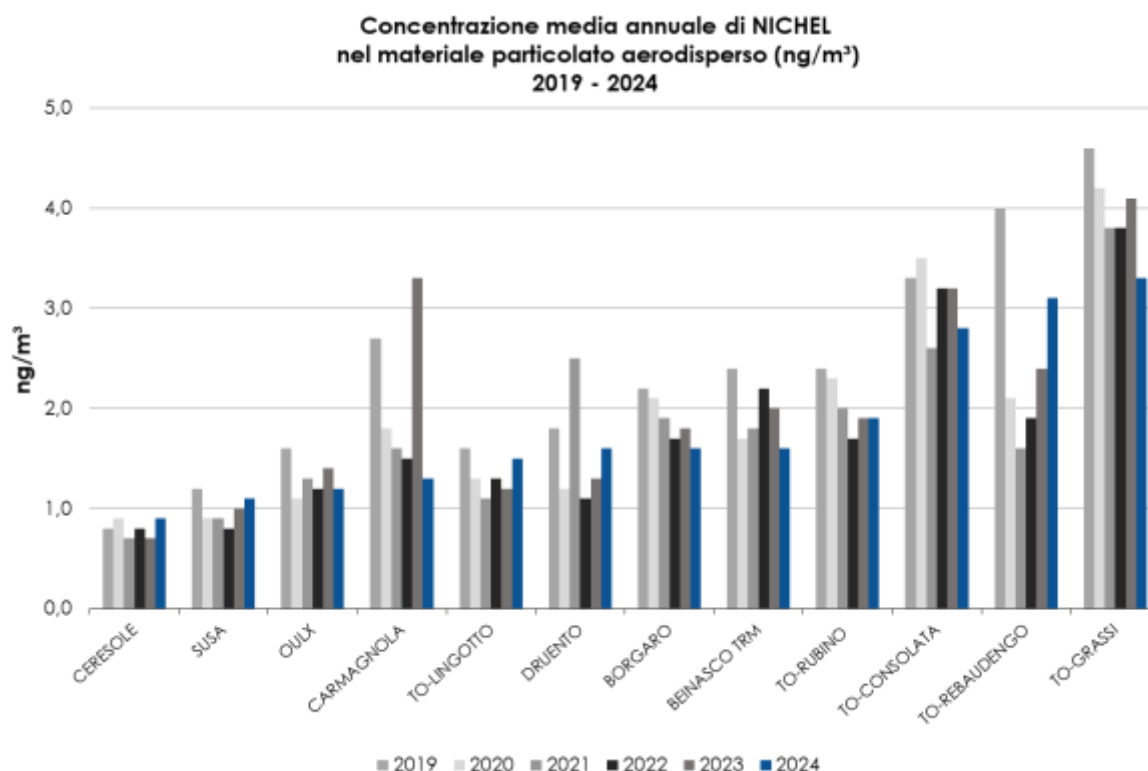


FIGURA 26: concentrazioni medie annuali di nichel determinate sul Particolato Atmosferico – 2019-2024.

Per quanto riguarda il **piombo** in FIGURA 27 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/m³). Per il piombo, rispetto al 2023 si registra un miglioramento o una stabilità delle concentrazioni, in accordo con l'andamento in decrescita nel lungo periodo.

STAZIONE	Rendimento strumentale, 2024 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Piombo nel materiale particolato aerodisperso (µg/m ³)									
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Beinasco-TRM	94	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,003
Borgaro	86	0,009	0,007	0,007	0,006	0,005*	0,005	0,005	0,004*	0,003	0,003
Carmagnola	99	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005*	0,004	0,003	0,003
Ceresole Reale	78	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001*	0,002*	0,001*	0,002*	0,001*	0,001*
Druento	92	0,004	0,004	0,005	0,003	0,003	0,003*	0,003	0,003	0,002	0,002
Ivrea	-	0,005	0,004	0,006	0,004	0,004*	0,003*				
Oulx	84	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,001	0,002*	0,001	0,001	0,001*
Settimo	-			0,015	0,006	0,006	0,007				
Susa	92	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	0,003	0,002	0,002
To-Consolata	90	0,010	0,008	0,009	0,006	0,006	0,007*	0,005*	0,006*	0,005	0,004
To-Grassi	98	0,020	0,011	0,011	0,008	0,01	0,011*	0,015	0,010	0,006	0,005
To-Lingotto PM10	83	0,009	0,007	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005*	0,003*	0,003*
To-Rebaudengo	80	0,021	0,013	0,016	0,011	0,01	0,011	0,008	0,010	0,005*	0,006*
To-Rubino	99	0,008	0,006	0,007	0,005	0,005*	0,005	0,005	0,005	0,004	0,003

* percentuale di giorni validi inferiore al 85%

TABELLA 25: concentrazioni medie annuali di piombo determinate sul Particolato Atmosferico, 2015-2024.

Le stazioni che hanno registrato il valore medio annuale più alto nel 2024 sono quelle di Torino-Consolata, Torino-Grassi e Torino-Rebaudengo. Presso gli stessi punti di misura anche la composizione percentuale di tale metallo nel particolato risulta la più abbondante.

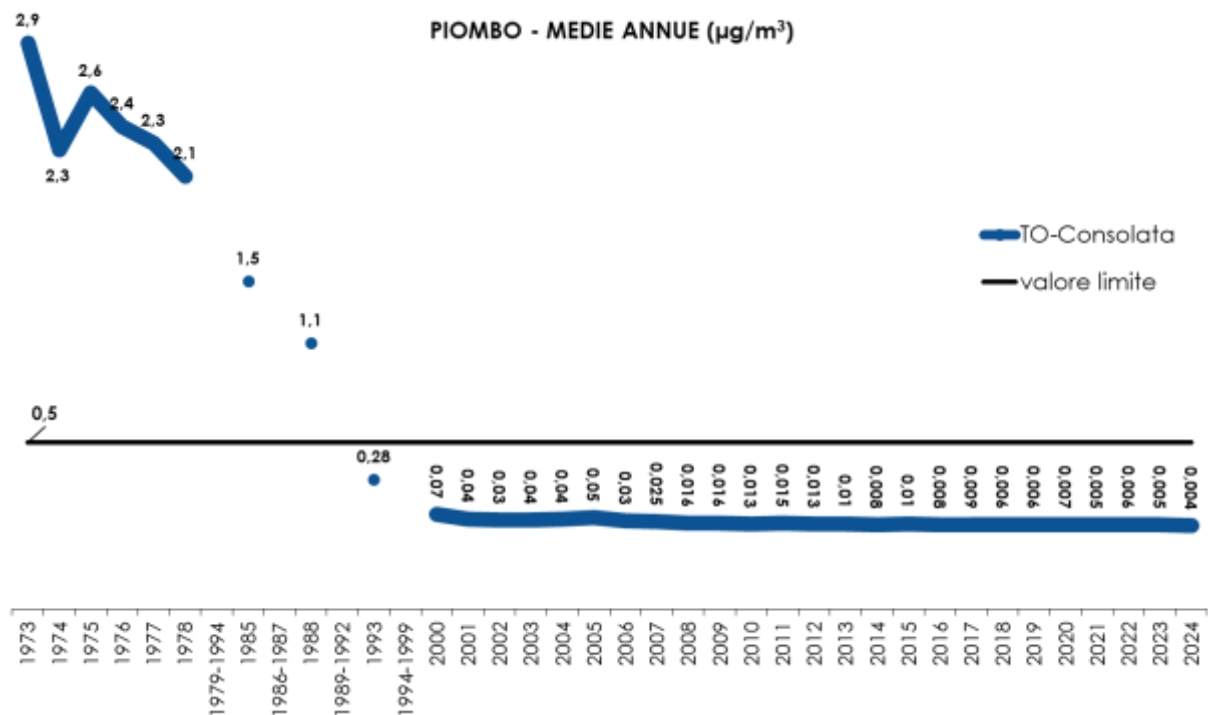


FIGURA 27: parametro Pb, medie annuali misurate presso la stazione di TO-Consolata nel periodo 1973 – 2024.

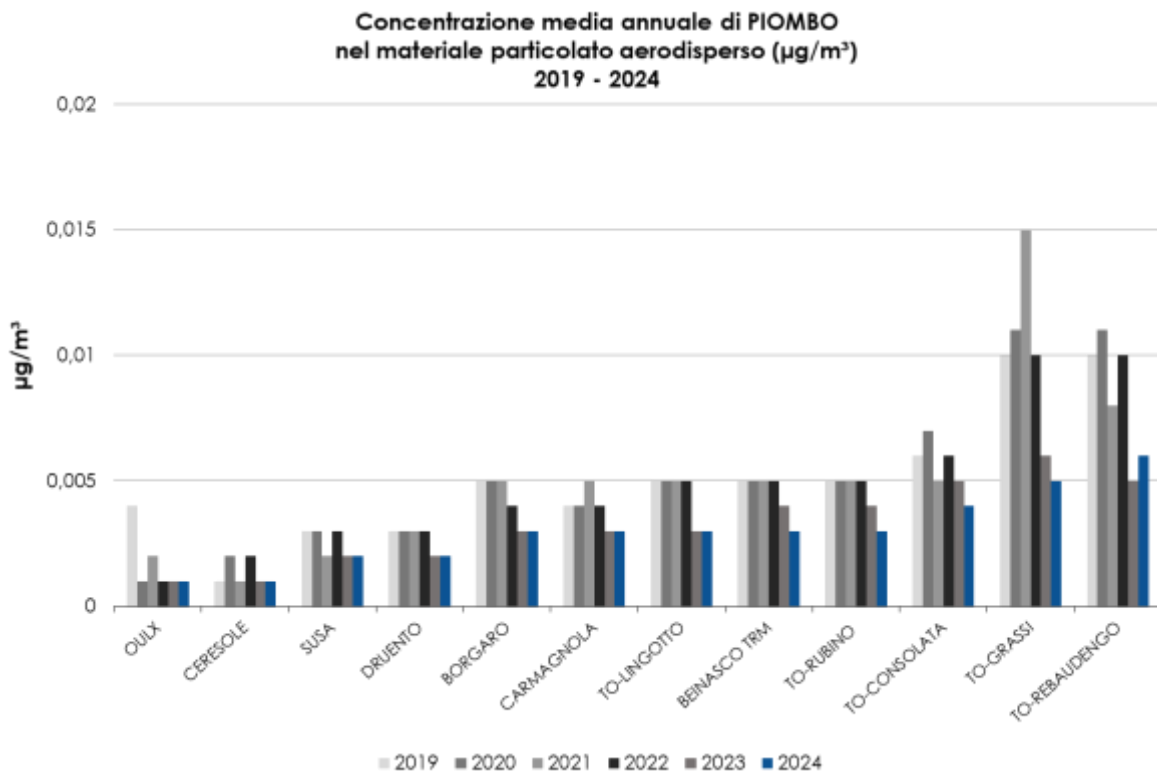


FIGURA 28: concentrazioni medie annuali di piombo determinate sul Particolato Atmosferico – 2019-2024.

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 2024 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									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Beinasco-TRM	0,0006	0,0007	0,0006	0,0004	0,0004	0,0007	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004
Borgaro	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004
Carmagnola	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004
Ceresole Reale	0,0010	0,0008	0,0006	0,0006	0,0011	0,0010	0,0010	0,0009	0,0010	0,0010
Druento	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Ivrea	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007			
Oulx	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0007	0,0006	0,0006	0,0005	0,0006	0,0007
Settimo			0,0007	0,0003	0,0003	0,0006	0,0004			
Susa	0,0004	0,0004	0,0003	0,0004	0,0007	0,0006	0,0008	0,0006	0,0006	0,0007
To-Consolata	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004	0,0006	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004
To-Grassi	0,0007	0,0005	0,0005	0,0004	0,0005	0,0007	0,0006	0,0005	0,0003	0,0007
To-Lingotto PM10	0,0005	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004	0,0007	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004
To-Rebaudengo	0,0009	0,0007	0,0006	0,0005	0,0009	0,0006	0,0004	0,0005	0,0003	0,0007
To-Rubino	0,0004	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0006	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004
STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato % Nichel									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Beinasco-TRM	0,009	0,008	0,008	0,008	0,009	0,006	0,007	0,008	0,008	0,007
Borgaro	0,012	0,008	0,011	0,007	0,008	0,007	0,007	0,005	0,007	0,007
Carmagnola	0,007	0,005	0,006	0,006	0,008	0,005	0,005	0,004	0,011	0,005
Ceresole Reale	0,013	0,009	0,008	0,007	0,009	0,009	0,007	0,007	0,007	0,009
Druento	0,017	0,005	0,010	0,006	0,009	0,006	0,012	0,005	0,007	0,008
Ivrea	0,011	0,006	0,007	0,006	0,006	0,006	0,009			
Oulx	0,009	0,008	0,011	0,007	0,011	0,007	0,005	0,006	0,008	0,009
Settimo			0,009	0,006	0,016	0,006	0,009			
Susa	0,015	0,008	0,006	0,006	0,008	0,006	0,011	0,004	0,006	0,008
To-Consolata	0,013	0,011	0,009	0,008	0,012	0,010	0,004	0,010	0,010	0,010
To-Grassi	0,011	0,009	0,010	0,008	0,012	0,010	0,005	0,010	0,012	0,011
To-Lingotto PM10	0,009	0,006	0,006	0,005	0,006	0,004	0,007	0,005	0,005	0,006
To-Rebaudengo	0,011	0,008	0,007	0,006	0,012	0,006	0,007	0,005	0,007	0,010
To-Rubino	0,009	0,006	0,007	0,006	0,009	0,007	0,007	0,005	0,007	0,008
STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato % Piombo									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Beinasco-TRM	0,024	0,024	0,017	0,018	0,019	0,018	0,019	0,017	0,016	0,013
Borgaro	0,026	0,023	0,018	0,020	0,019	0,017	0,019	0,013	0,012	0,013
Carmagnola	0,012	0,014	0,011	0,011	0,011	0,011	0,015	0,011	0,010	0,012
Ceresole Reale	0,014	0,011	0,018	0,009	0,011	0,020	0,010	0,018	0,010	0,010
Druento	0,017	0,019	0,019	0,014	0,016	0,014	0,014	0,014	0,011	0,011
Ivrea	0,018	0,015	0,019	0,016	0,017	0,011	0,013			
Oulx	0,011	0,013	0,011	0,006	0,027	0,006	0,012	0,005	0,006	0,007
Settimo			0,034	0,017	0,018	0,020	0,018			
Susa	0,017	0,018	0,018	0,017	0,020	0,019	0,042	0,017	0,013	0,014
To-Consolata	0,025	0,023	0,021	0,018	0,021	0,019	0,019	0,018	0,016	0,015
To-Grassi	0,038	0,026	0,023	0,020	0,026	0,027	0,024	0,025	0,017	0,017
To-Lingotto PM10	0,025	0,021	0,018	0,018	0,019	0,017	0,017	0,018	0,013	0,011
To-Rebaudengo	0,049	0,035	0,035	0,028	0,029	0,031	0,019	0,027	0,015	0,020
To-Rubino	0,022	0,019	0,018	0,017	0,018	0,016	0,019	0,016	0,015	0,013

TABELLA 26: concentrazioni medie annuali di cadmio, nichel e piombo determinate sul Particolato Atmosferico, 2015-2024.

IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI

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

E. Calderaro, S. Scaglione - 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 del 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 superiore⁵⁵ 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)⁵⁶ 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 27). Non sono previsti limiti normativi per gli altri IPA perché, essendo il BaP il composto più

⁵⁵ 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

⁵⁶ 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 ³	31 dicembre 2012

TABELLA 27: benzo(a)pirene, valori di riferimento e normativa in vigore.

ESAME DEI DATI

Nell'analisi dei dati si deve tenere in considerazione che le concentrazioni medie annuali degli IPA misurate nei siti di Ceresole Reale, Oulx, 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.

In TABELLA 28 sono riportate per le stazioni di monitoraggio del territorio metropolitano le concentrazioni medie annuali di Benzo(a)Pirene rilevate nel periodo 2013-2024 nella frazione di particolato atmosferico con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2024 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Benzo(a)pirene nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³)											
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Beinasco-TRM	94%	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4
Borgaro	86%	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,7	0,5	0,4*	0,3	0,4
Carmagnola	99%	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,5	0,6	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5
Ceresole Reale	78%	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0*	0,0	0,0*	0,0	0,0	0,0*	0,0*
Druento	92%	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3*	0,2	0,2	0,2	0,3
Ivrea	97%	0,9	0,7	1,1	0,8	0,9	0,6	0,7*	0,9	0,5	0,6	0,5	0,8
Oulx	84%	0,5	0,5	0,5*	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2*
Settimo	98%	1,2	1,3	1,4	1,1	1,3*	0,7	0,8	1,0	0,9	0,8	0,6	0,7
Susa	92%	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3
To-Consolata	90%	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,4	0,4	0,6*	0,2*	0,4	0,4	0,4
To-Grassi	98%	1,1	1,0*	1,7*	0,9	1,0	0,7*	0,7	0,9	0,6	0,5	0,5	0,6
To-Lingotto	83%	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8	0,5	0,5	0,7	0,4	0,4	0,4*	0,5*
To-Rebaudengo	80%	1,2	1,1	1,2	1,1	1,6	0,7	0,9	0,8	0,5	0,5	0,5*	0,8*
To-Rubino	99%	0,8	0,7	0,9	0,7	0,7	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4

* percentuale di giorni validi inferiore al 85%

TABELLA 28: concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene rilevate sul Particolato Atmosferico– 2013-2024.

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, Carmagnola, Druento, Ivrea, Settimo, TO-Grassi, TO-Lingotto e TO-Rebaudengo nel 2024 si è riscontrato un incremento dei valori di concentrazione media annuale del B(a)P rispetto ai dati del 2023, mentre nelle altre stazioni i valori non sono variati. L'aumento più cospicuo, pari al 60% rispetto all'anno precedente, si è registrato presso le stazioni di Ivrea e TO-Rebaudengo. Si evidenzia che i dati di concentrazione riscontrati nel 2024 risultano per tutte le stazioni inferiori o uguali a quelli misurati nel corso del 2020. Il valore riscontrato presso la centralina di Ceresole, dal 2018, è pari a 0,0 ng/m³, 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 le stazioni di Ivrea e TO-Rebaudengo sono stati misurati per il 2024 i valori di concentrazione più elevati della rete di monitoraggio della CMT, con un valore medio annuo di 0,8 ng/m³, concentrazione che risulta comunque inferiore all'obiettivo fissato per questo inquinante dalla normativa vigente.

Le concentrazioni medie mensili di Benzo(a)Pirene registrate presso queste due stazioni sono state confrontate con i valori medi, minimi e massimi misurati nelle altre stazioni del territorio provinciale. Come evidenziato in FIGURA 29, nei mesi freddi le concentrazioni rilevate in queste due stazioni si discostano in modo piuttosto evidente dai valori medi misurati in tutte le stazioni di monitoraggio del territorio provinciale. In FIGURA 30 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 2019 al 2024.

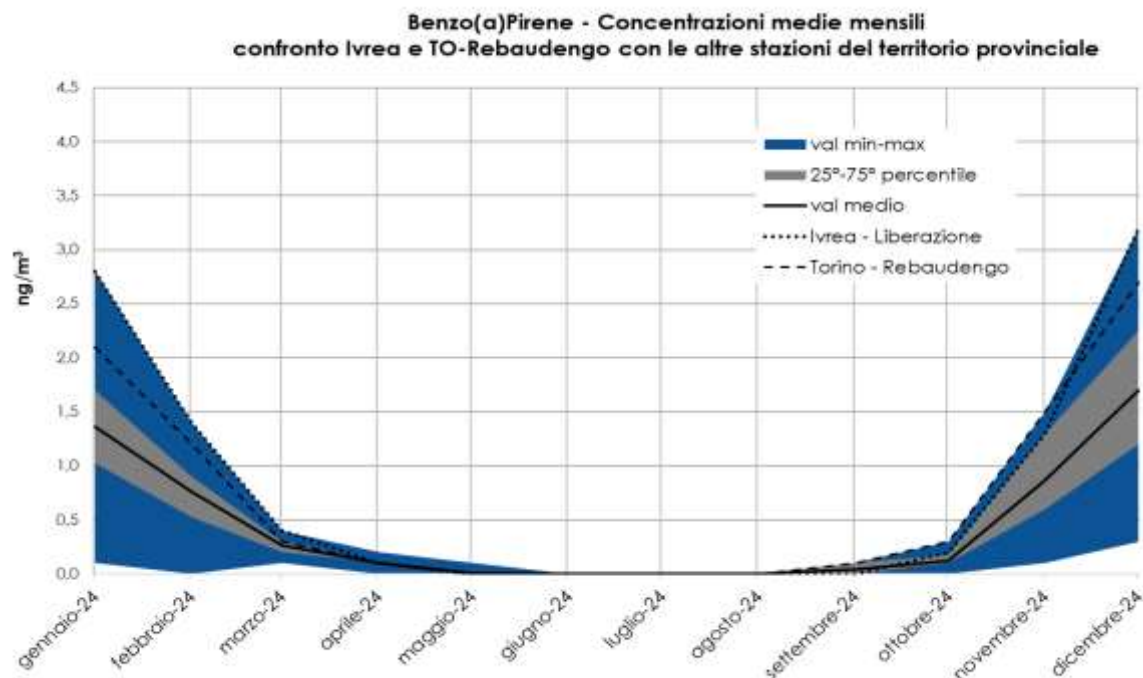


FIGURA 29: andamento mensile della concentrazione di benzo(a)pirene rilevato stazione di Ivrea e TO-Rebaudengo in relazione alle concentrazioni delle altre stazioni del territorio, anno 2024.

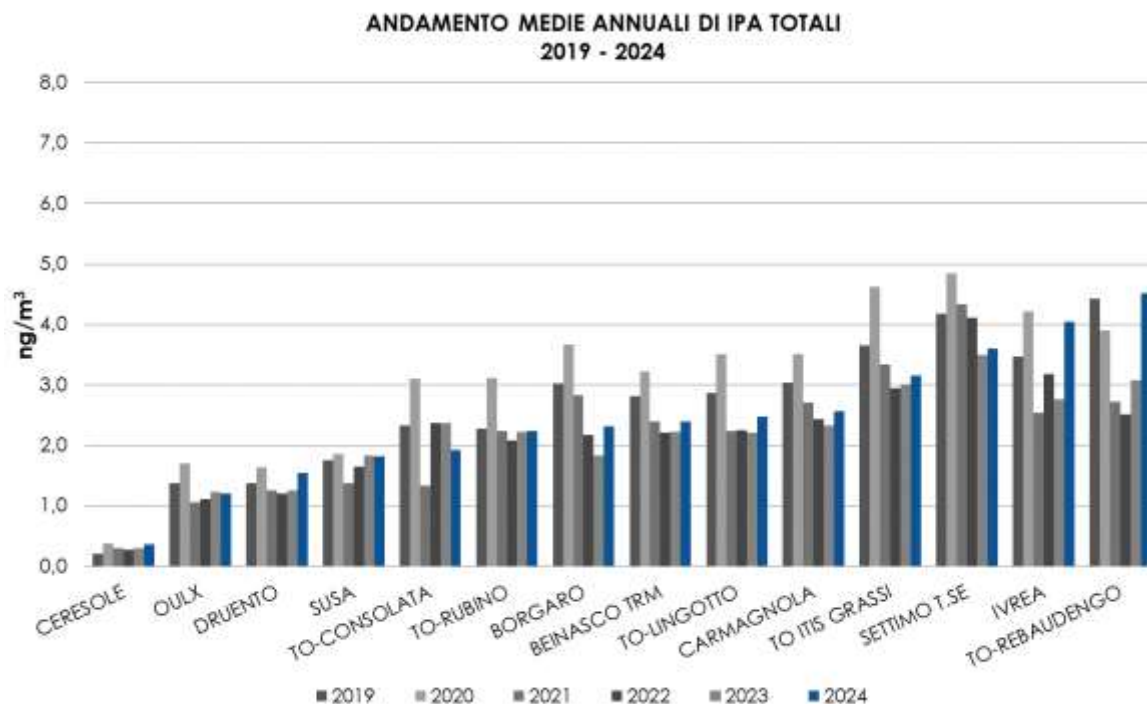


FIGURA 30: andamento medie annuali IPA totali periodo 2019-2024 – Benzo(a)Pirene + Benzo(a)Antracene + Benzo(b,j,k)Fluorantene + Indeno(1,2,3-cd)Pirene.

Per le stazioni di Oulx, Susa e TO-Consolata si è registrata, rispetto al 2023, una diminuzione dei valori di concentrazione medie annuali di IPA, mentre presso tutte le altre stazioni è stato riscontrato un incremento; l'aumento più marcato è stato misurato nelle stazioni di Ivrea e di TO-Rebaudengo con un +47%, anche se bisogna tenere in considerazione che per TO-Rebaudengo i dati non sono pienamente rappresentativi a causa di anomalie strumentali che hanno determinato una perdita di dati.

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 $10\text{ }\mu\text{m}$ ⁵⁷.

Come evidenziato in FIGURA 31, 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.

Le maggiori percentuali di IPA nelle polveri sono state rilevate nelle stazioni di Ivrea, Susa e TO-Rebaudengo. In genere, le stazioni rappresentative di siti suburbani presentano valori maggiori in quanto risentono delle 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 le motivazioni sopra riportate.

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 32). 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 in contesto montano e quella di TO-Consolata di una stazione di traffico urbano.

A conferma di quanto evidenziato nel precedente istogramma, anche da FIGURA 32 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 nel particolato atmosferico risulta, nel periodo autunnale e invernale, più elevata rispetto a Druento e TO-Consolata, per l'apporto degli IPA derivante dalla combustione delle biomasse ad uso domestico.

⁵⁷ 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.

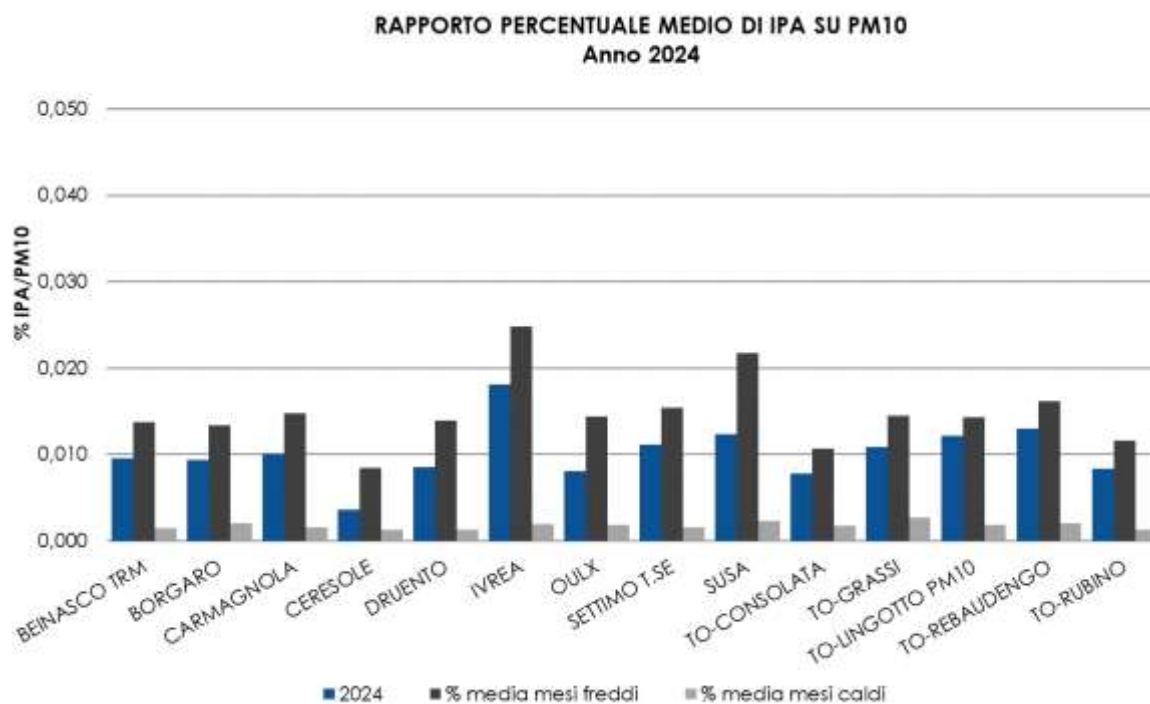


FIGURA 31: percentuale di IPA totali nel PM10 – anno 2024.

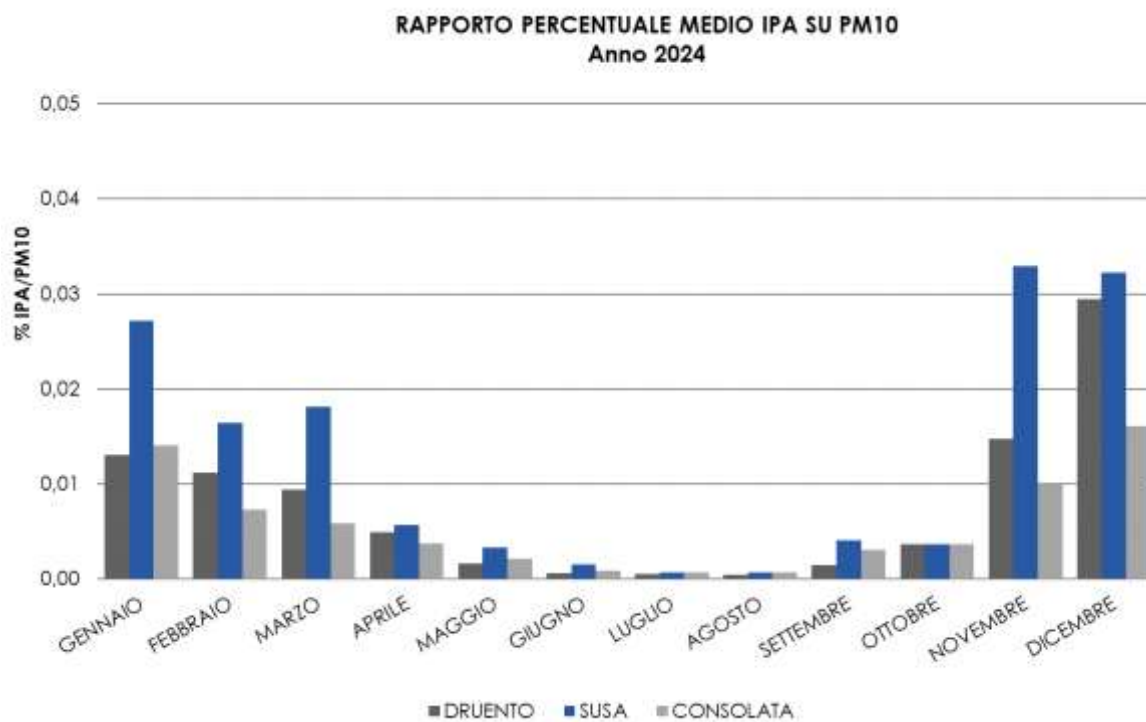


FIGURA 32: percentuale IPA totali nel PM10 – Andamento delle medie mensili – anno 2024.

M. Sacco, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.

DESCRIZIONE

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 bivalenti tramite processi di ossidazione i quali possiedono però una cinetica lenta e dipendono soprattutto dalla presenza di molecole come ozono e radicali ossidrilici.

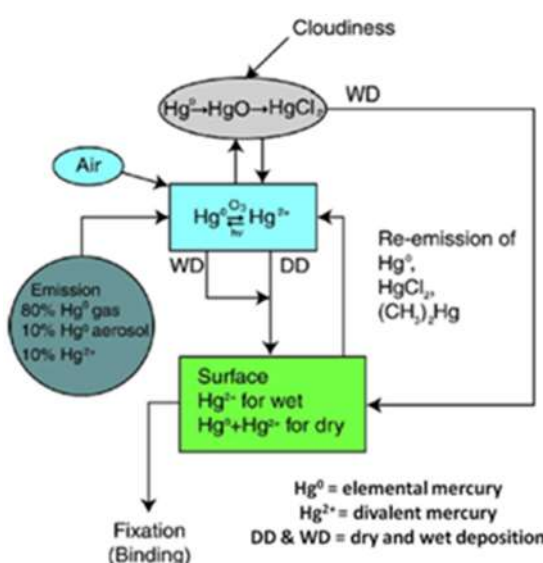


FIGURA 33: mercurio in atmosfera.

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 fotoriduzione, indotta principalmente dalle radiazioni ultraviolette.

Hg⁰ è in grado di essere trasportato per distanze molto lunghe (decine di migliaia di km), Hg²⁺ 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 SNPA⁵⁸. La media della stazione di Schivenoglia per il 2022 è di 1,7 ng/m³ (23% di dati validi), mentre per Montelibretti è di 1,8 ng/m³ (50% di dati validi), a Monte Sant'Angelo i valori 2022 sono di 1,6 ng/m³.

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*, 2nd 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/m³ e 10 ng/m³. Il documento *Ambient Air Pollution by Mercury–Position Paper* indica che concentrazioni tipiche sono dell'ordine di 1,2-3,7 ng/m³, con punte nei siti più impattati dell'ordine di 20-30 ng/m³; questi valori sono confermati anche dai dati più recenti messi a disposizione dall'Agenzia Europea dell'Ambiente⁵⁸.

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/m³ per il mercurio elementare gassoso;
- tra 6,42 e 7,20 pg/m³ per il mercurio presente sul PM_{2,5};
- tra 0,73 e 1,72 pg/m³ per il mercurio ossidato in fase gassosa.

La stazione di Torchiarolo (BR), suburbana di tipo industriale, ha rilevato nel 2024 un valore di media annuale pari a 2,3 ng/m³, con un massimo orario di 18,1 ng/m³. La stazione di Monte Sant'Angelo (FG), di fondo rurale, ha registrato nel 2024 una media di 1,7 ng/m³, con un massimo di 2,9 ng/m³.

⁵⁸ [Report ambientale SNPA n. 40/2024](#) – ISBN 978-88-448-1207-2, Delibera del Consiglio SNPA n. 232/24 del 31.01.2024

⁵⁸ 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/m³ come media annuale per il mercurio inorganico⁵⁹;
- l'RfC (Reference Concentration for Chronic Inhalation Exposure) definito da U.S. – EPA (Environmental Protection Agency), pari a 300 ng/m³ per il mercurio elementare ⁶⁰;
- l'MRL (Minimal Risk Level) per esposizione cronica definito dall'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), pari a 200 ng/m³ per il mercurio elementare⁶¹.

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 2024 sono riassunti nella TABELLA 29, mentre la TABELLA 30 riporta nel dettaglio le concentrazioni medie mensili.

Mercurio elementare gassoso (valori di conc. espressi in ng/m ³)	Beinasco (TRM) - Aldo Mei
Minima media giornaliera	1
Massima media giornaliera	15
Media delle medie giornaliere	4
Giorni validi	322
Percentuale giorni validi	88%
Media dei valori orari	4
Massima media oraria	55
Ore valide	7878
Percentuale ore valide	90%

TABELLA 29: mercurio elementare gassoso: indicatori statistici anno 2024.

Mercurio elementare gassoso (valori di conc. espressi in ng/m ³)	Beinasco (TRM) - Aldo Mei
Gennaio	5
Febbraio	7
Marzo	6
Aprile	7
Maggio	5
Giugno	4
Luglio	2
Agosto	2
Settembre	3
Ottobre	3
Novembre	3
Dicembre	3

TABELLA 30: mercurio elementare gassoso: concentrazioni medie mensili anno 2024.

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

⁵⁹ 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 microorganismi in composti del tipo del metilmercurio che hanno facilità a bioaccumularsi nella catena alimentare causa la loro caratteristiche lipofile.

⁶⁰ 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.

⁶¹ 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 uno 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 31.

Mercurio sul PM10 (valori di conc. espressi in ng/m ³)	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 31: mercurio sul PM10 - Concentrazioni medie mensili anno 2024.

Analizzando nel dettaglio la serie temporale del mercurio elementare gassoso, si osserva che i valori misurati nel 2024 si sono costantemente assestati attorno ad alcuni ng/m³, con un massimo assoluto orario, verificatosi a febbraio, pari a 55 ng/m³.

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 2024 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 34 è riportato l'andamento temporale delle concentrazioni medie mensili di mercurio dall'attivazione della stazione sino a tutto il 2024. 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.

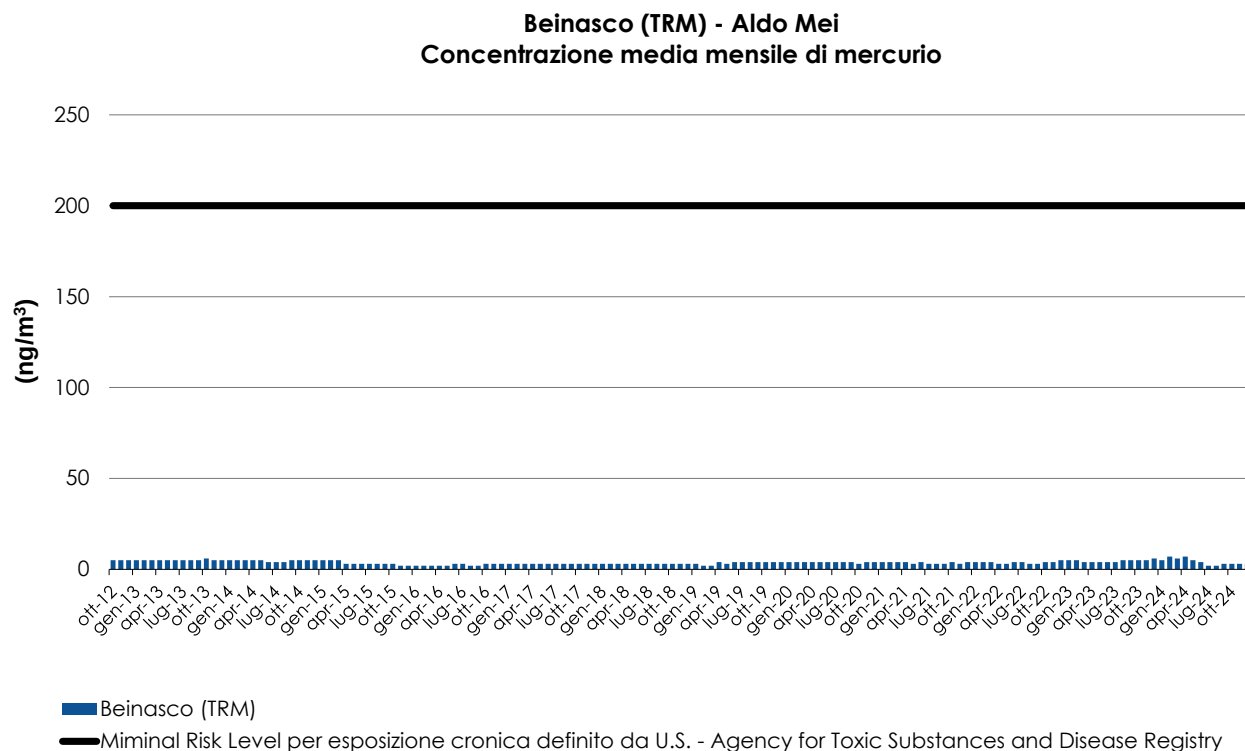


FIGURA 34: andamento delle concentrazioni mensili di mercurio nella stazione di Beinasco Aldo Mei dal 2012 al 2024.

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 m² 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 Leini. 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 (CMR). 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/m³ come media annuale nella frazione PM₁₀, ma non vengono date indicazioni per valori nelle deposizioni.

Nella TABELLA 32 sono riportati i dati di IPA relativi ai campioni raccolti e analizzati nel 2024 e negli anni precedenti (2013-2023) 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 35 presenta i dati degli IPA totali nelle deposizioni nel 2024. Si osserva che i valori sono confrontabili per i quattro sia come deposizioni totali di IPA che per i singoli composti. Inoltre, è possibile osservare che anche nel 2024 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 33 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 36 vengono presentati gli andamenti storici degli IPA nelle deposizioni totali dal 2013 al 2024. 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 2024, 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/(m ² d)	Benzo[a]antracene	Benzo [b+j+k]fluorantene
Baldissero	2013	12,3	9,7	4,1	14,1
	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
Grugliasco	2013	16,4	11,1	5,7	17,8
	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	3,2	4,3	4,4	8,5
	2024	4,8	6,0	4,8	10,5
Rivalta	2013	12,5	5,2	3,6	14,3
	2014	10,4	12,5	10,4	18,4
	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	18,4	8,2
	2021	3,6	3,7	2,6	7,1
	2022	4,7	3,7	4,3	7,8
	2023	4,6	5,0	4,6	7,4
	2024	4,8	5,1	5,2	9,2
Orbassano	2013	23,5	11,6	7,9	24,2
	2014	5,2	8,8	5,1	18,7
	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	6,5	28,2
	2019	6,6	11,2	7,8	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	5,9	7,6	6,5	13,4
	2024	4,8	6,1	4,8	9,9
Beinasco (TRM) Aldo Mei	2013	16,0	12,3	6,6	24,0
	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	4,1	5,4	4,1	9,8
	2024	4,6	6,0	4,9	9,4

TABELLA 32: IPA nelle deposizioni totali – medie annuali nel periodo 2013-2024.

Descrizione sito			B[a]P (ng/m ² 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 33: dati estratti dalla letteratura Benzo(a)Pirene (Fonte convegno Istituto Superiore di Sanità).

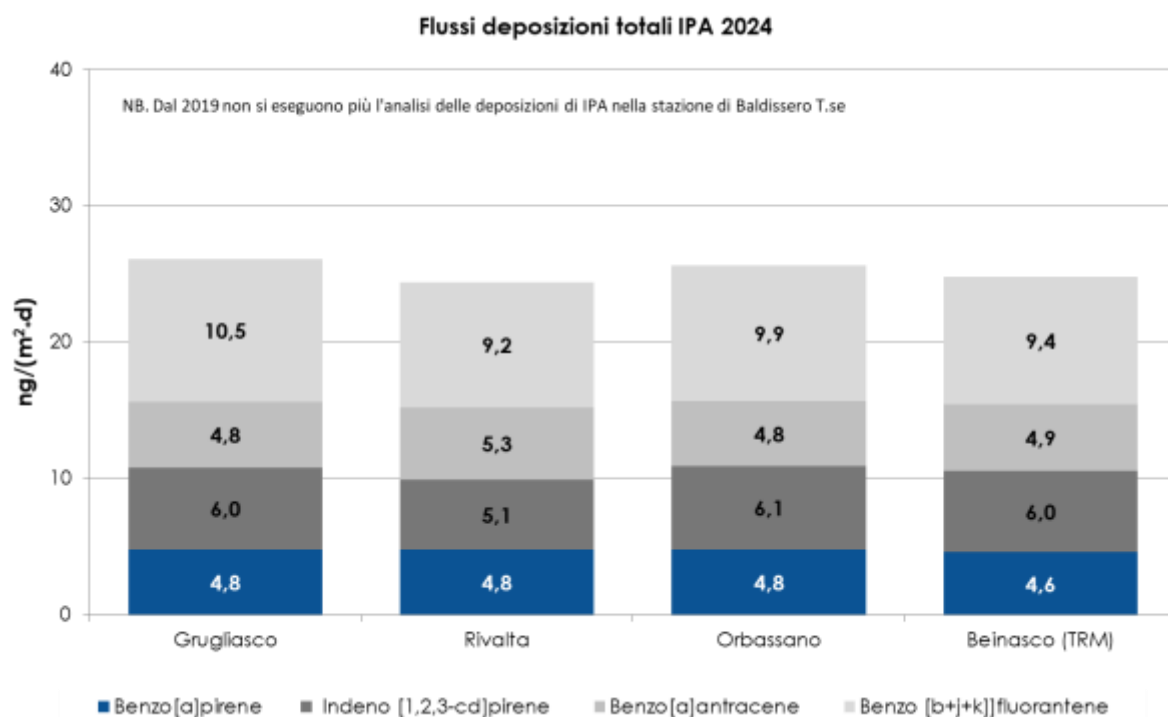


FIGURA 35: grafico di confronto flussi deposizioni totali anno 2024.

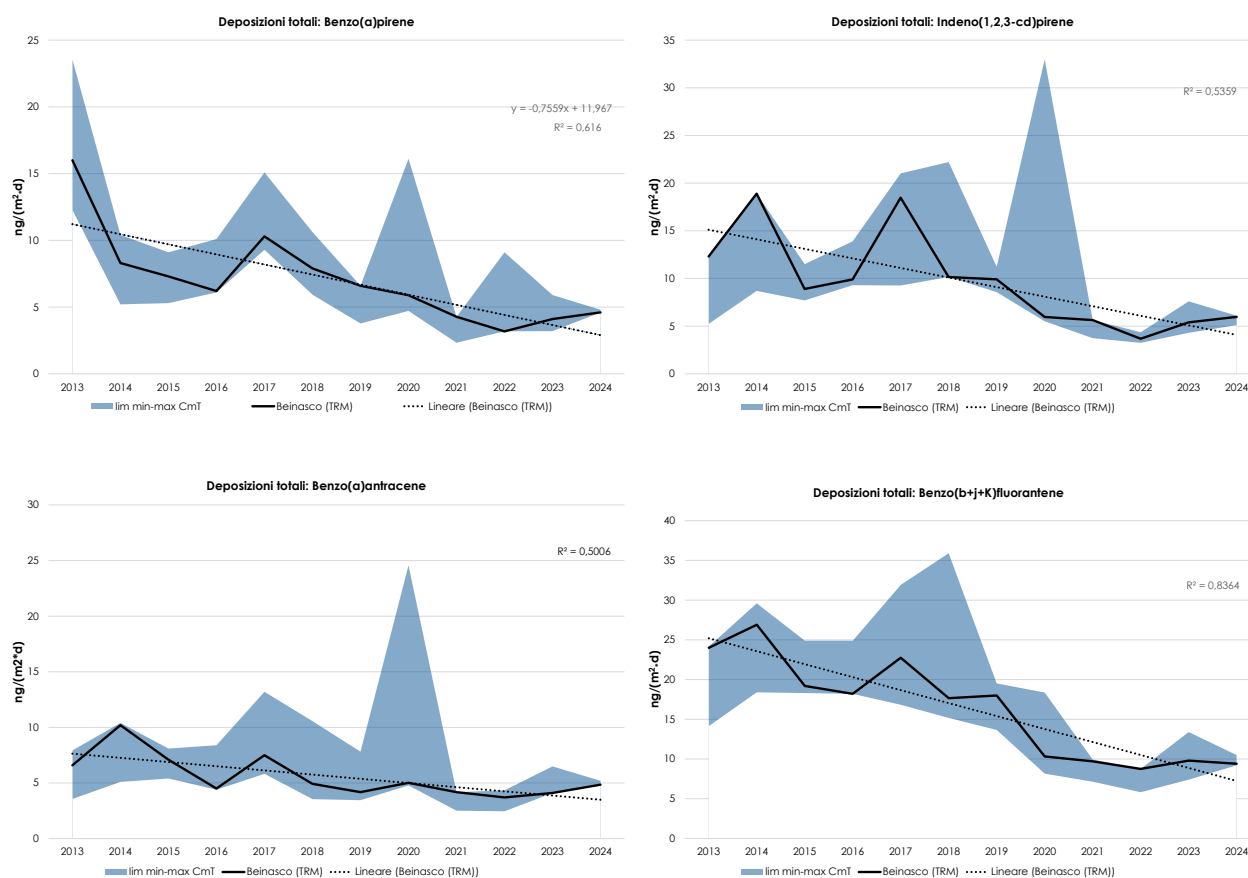


FIGURA 36: IPA nelle deposizioni totali, confronto andamento 2013-2024.

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 34). 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 34 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 (2013–2024). Si evidenzia che nel 2024 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 35.

Nel grafico di FIGURA 37 sono stati rappresentati i flussi di deposizioni totali misurati nel 2024 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. 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 37, 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 38 a FIGURA 42) sono stati riportati per ogni metallo gli andamenti nelle deposizioni totali delle analisi effettuate nel periodo 2013-2024. 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.

Stazione	Anno	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	54
	2020	9,9	0,6	1,2	1,6	2,0	5,8	4,8	1,2	1,3	39
	2021	1,2	0,1	0,7	1,8	1,4	5,7	3,7	0,7	1,1	68
	2022	0,7	0,1	0,5	1,7	1,5	5,3	3,2	0,5	1,8	35
	2023	1,3	0,1	1,3	4,0	2,2	4,5	4,3	1,3	1,4	90
	2024	2,0	0,2	1,4	3,3	3,7	4,2	4,7	1,5	1,6	42
GRUGLIASCO	2013	1,2	0,1	1,2	2,8	3,2	4,2	13,9	2,0	1,7	51
	2014	2,1	0,2	2,2	4,4	4,6	3,8	13,6	2,1	3,2	35
	2015	1,6	0,2	1,6	2,7	2,8	5,2	12,3	1,6	1,8	41
	2016	1,0	0,1	1,0	4,7	2,7	4,4	11,9	1,0	1,5	45
	2017	0,9	0,1	0,9	4,1	2,9	6,7	11,8	0,8	1,3	76
	2018	1,8	0,3	0,9	3,3	3,3	3,9	10,6	1,9	1,5	48
	2019	0,9	0,1	0,9	3,1	2,8	3,9	11,0	0,8	1,7	57
	2020	0,5	0,1	0,5	1,9	2,5	2,5	7,1	0,5	0,7	33
	2021	1,1	0,1	0,7	2,4	2,0	3,2	7,5	0,8	1,1	41
	2022	0,4	0,03	0,3	3,1	2,0	3,3	5,4	0,2	0,7	34
	2023	1,7	0,1	1,1	3,1	2,6	2,9	5,9	1,3	1,4	77
	2024	1,8	0,1	1,5	4,2	3,2	2,3	7,4	1,6	2,3	39
RIVALTA	2013	1,3	0,2	1,3	3,0	4,7	3,7	12,5	1,3	1,8	65
	2014	2,2	0,2	2,3	3,8	3,1	3,2	10,6	2,2	3,0	70
	2015	1,3	0,2	1,3	2,6	3,4	5,4	10,7	1,3	1,9	43
	2016	1,0	0,2	1,0	5,6	2,2	3,4	7,6	1,0	1,7	37
	2017	0,9	0,1	0,9	2,7	2,2	5,0	9,5	0,9	1,3	77
	2018	1,9	0,3	2,1	3,2	3,3	5,2	17,8	2,0	2,4	61
	2019	0,8	0,1	0,8	1,7	2,2	4,4	9,2	0,8	1,7	54
	2020	0,6	0,1	0,6	2,3	2,3	2,8	6,3	0,6	1,5	41
	2021	1,2	0,1	0,7	3,2	2,4	2,8	6,5	0,8	1,1	45
	2022	0,4	0,04	0,3	2,7	1,3	2,3	3,9	0,2	0,5	35
	2023	1,5	0,9	0,7	2,4	2,0	2,7	4,4	0,8	0,8	85
	2024	2,0	0,2	2,0	4,7	3,1	3,5	7,5	2,0	2,4	43
ORBASSANO	2013	1,4	0,2	1,4	3,2	3,7	30,8	14,3	1,4	1,7	102
	2014	2,2	0,3	2,3	4,5	10,3	22,7	12,9	2,1	3,2	55
	2015	1,4	0,2	1,4	2,7	4,0	17,5	12,2	1,3	1,7	81
	2016	0,9	0,4	1,0	6,0	3,9	21,1	13,9	0,9	2,1	103
	2017	1,0	0,2	1,0	4,7	3,6	22,2	12,8	0,9	1,5	92
	2018	1,9	0,3	1,1	5,5	3,5	11,8	8,3	2,0	2,3	81
	2019	0,8	0,2	0,9	3,9	4,4	16,6	11,8	0,8	1,7	73
	2020	0,6	0,2	0,8	3,2	5,0	13,9	8,0	0,6	1,1	48
	2021	1,2	0,2	1,0	4,9	3,6	23,1	9,2	1,1	1,2	84
	2022	0,4	0,1	0,4	4,1	2,8	17,4	7,8	0,3	0,8	63
	2023	0,4	0,2	0,5	4,2	3,0	18,4	7,7	0,3	0,8	62
	2024	2,0	0,2	2,0	4,7	3,1	3,5	7,5	2,0	2,4	43
BEINASC (TRM) ALDO MEI	2013	1,7	0,2	1,6	3,4	3,5	11,2	15,7	1,5	2,0	119
	2014	1,9	0,2	1,8	4,2	11,7	10,7	14,6	1,9	3,1	101
	2015	1,4	0,1	1,4	3,1	3,2	11,3	11,9	1,3	1,7	86
	2016	1,3	0,1	1,5	6,3	2,9	6,6	12,2	1,3	1,9	98
	2017	1,0	0,2	1,1	4,2	3,3	7,9	14,1	1,0	1,7	127
	2018	1,8	0,2	1,9	3,2	4,5	7,5	18,9	1,8	2,1	131
	2019	1,7	0,3	1,7	4,2	4,2	8,4	15,8	1,7	2,3	145
	2020	1,0	0,1	1,0	2,5	2,6	6,6	11,4	1,2	1,4	121
	2021	1,4	0,1	1,4	6,1	5,1	13,1	13,0	1,2	2,8	242
	2022	0,6	0,1	0,7	3,6	2,5	7,3	8,9	0,5	1,1	98
	2023	1,5	0,2	1,6	5,7	4,4	6,8	12,5	1,5	1,9	158
	2024	2,2	0,2	2,2	5,5	3,9	6,4	9,7	2,2	2,4	110

TABELLA 34: metalli nelle deposizioni totali – indicatori statistici anno 2014-2024.

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

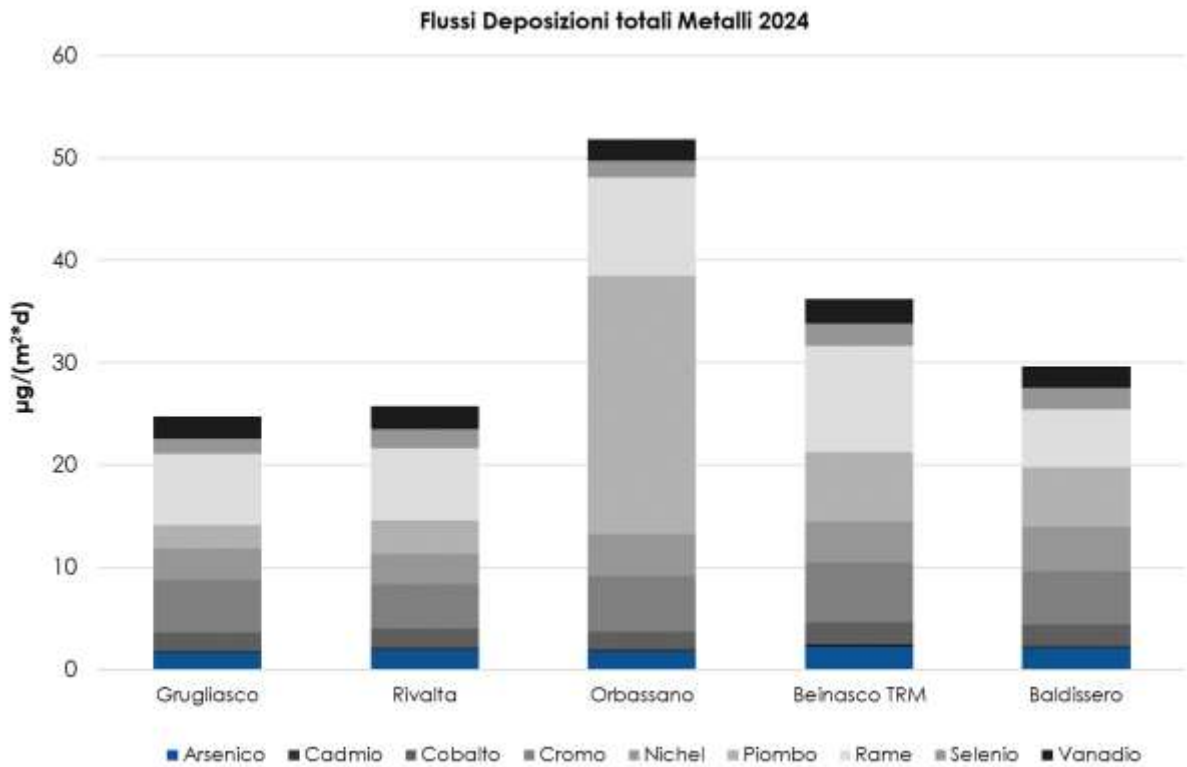


FIGURA 37: flussi di metalli nelle deposizioni totali – anno 2024.

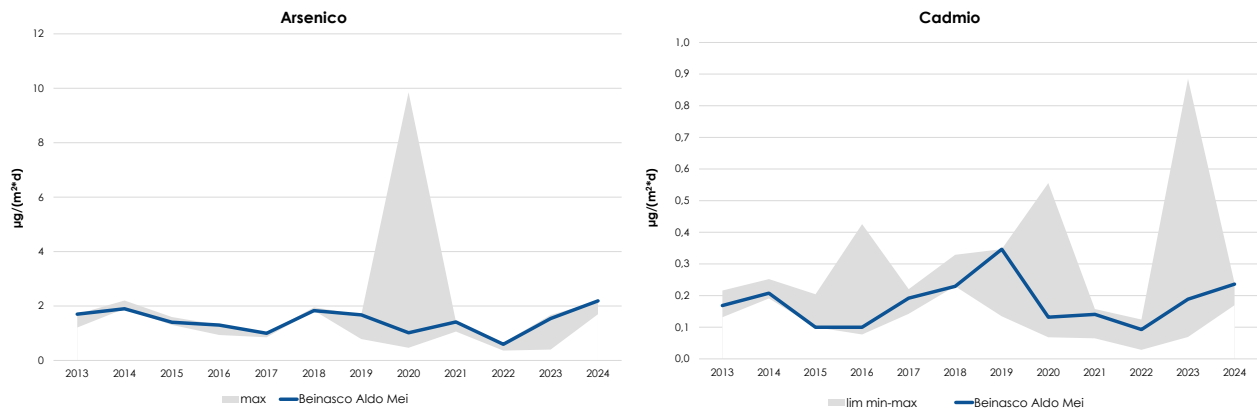


FIGURA 38: metalli nelle deposizioni totali 2013-2024 in CMT (arsenico e cadmio).

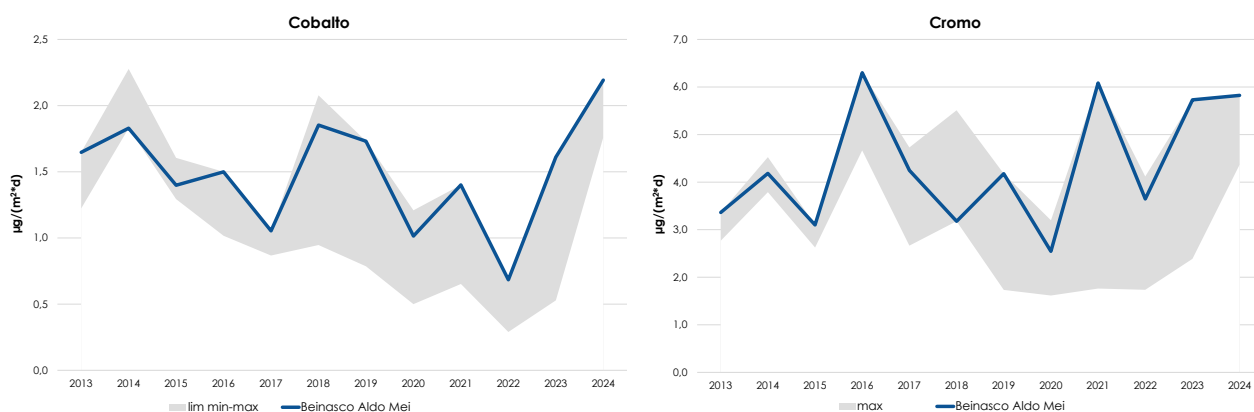


FIGURA 39: metalli nelle deposizioni totali 2013-2024 in CMT (cobalto e cromo).

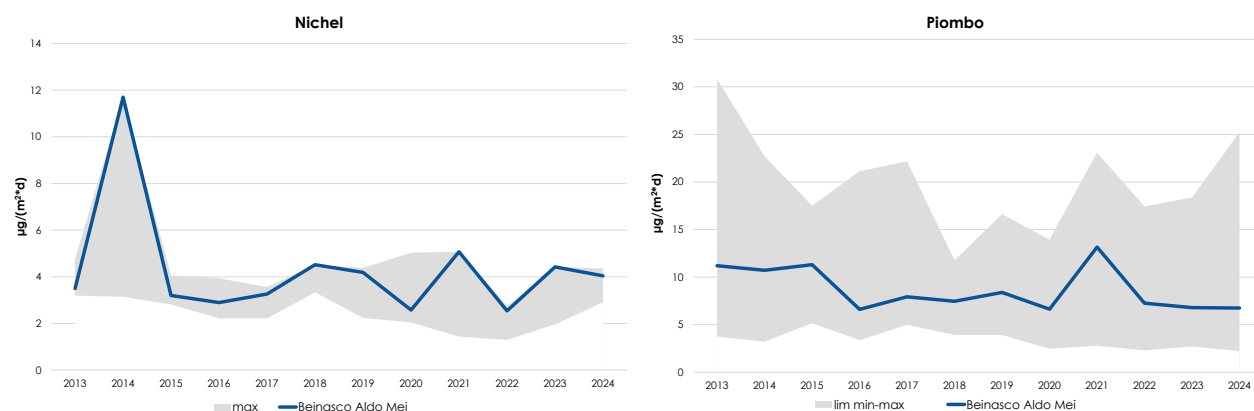


FIGURA 40: metalli nelle deposizioni totali 2013-2024 in CMT (nichel e piombo).

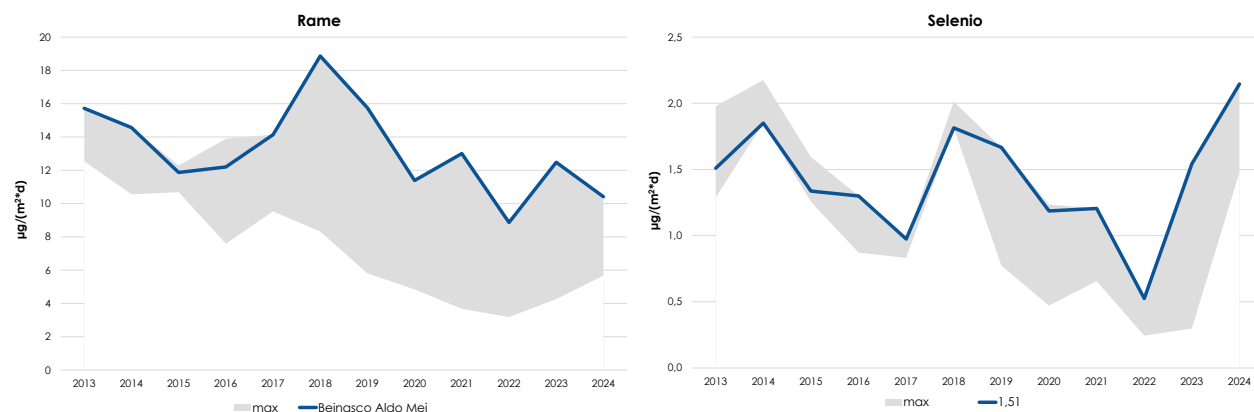


FIGURA 41: metalli nelle deposizioni totali 2013-2024 in CMT (rame e selenio).

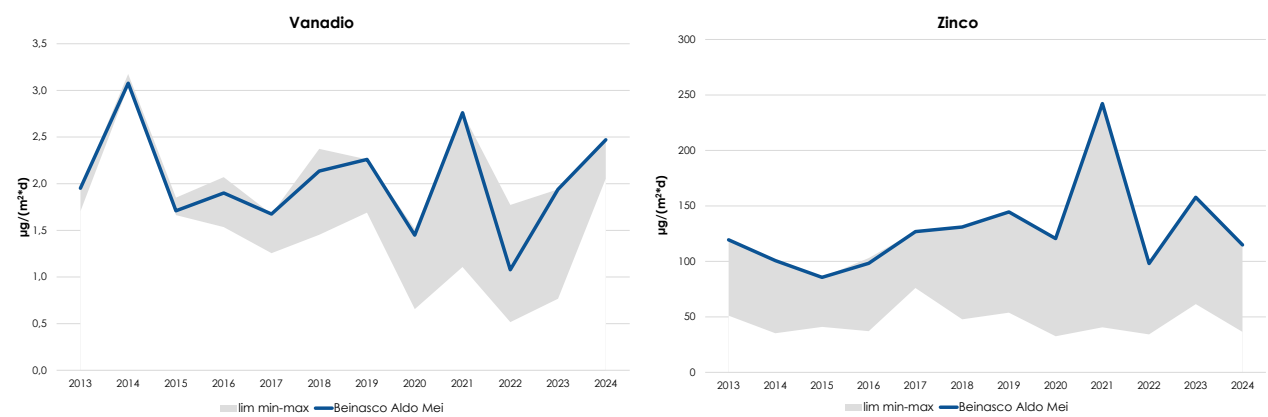


FIGURA 42: metalli nelle deposizioni totali 2013-2024 in CMT (vanadio e zinco).

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 43 viene riportato l'andamento annuale e il confronto del flusso di mercurio totale nelle due stazioni di campionamento nel corso degli anni 2013-2024. Il valore determinato presso la stazione nel corso del 2024 risulta pari a 27 µg/(m²·d), in linea con il valore degli altri anni ad eccezione del 2016, caratterizzato dall'anomalia verificatasi presso l'impianto nell'autunno 2016⁶².

I dati di mercurio e di altri metalli misurati nelle deposizioni totali a Beinasco-Aldo Mei nel 2024 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 36). 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.

Parametro	medie delle deposizioni annuali - µg/(m²·y)				
	Castelluccio	Badia al Pino	Laguna di Venezia	Parco Caviglia	Beinasco TRM 2024
Arsenico	207	153	290	100	803
Cadmio	364	55	672	17	73
Cromo	807	979	536	257	2008
Rame	6685	5316	5818	570	3541
Mercurio	40	40	6	--	10
Nichel	916	821	1633	190	1424
Piombo	1367	1945	11392	157	2336
Vanadio	757	499	1109	281	876
Zinco	31516	29735	11864	7933	40150

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

TABELLA 36: dati comparativi ratei medi di deposizione annuali (µg/(m²·y)) Badia al Pino, Castelluccio, Laguna di Venezia, Enel Parco Caviglia. Tabella tratta da pubblicazione di Arpa Toscana "Campagna di caratterizzazione deposizioni umide e secche 2011-2013 postazione Castelluccio comune Capolona – Arezzo".

Il dettaglio dei valori mensili riportato in TABELLA 37 mostra la variabilità dei dati 2024 non correlabile con la stagionalità.

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

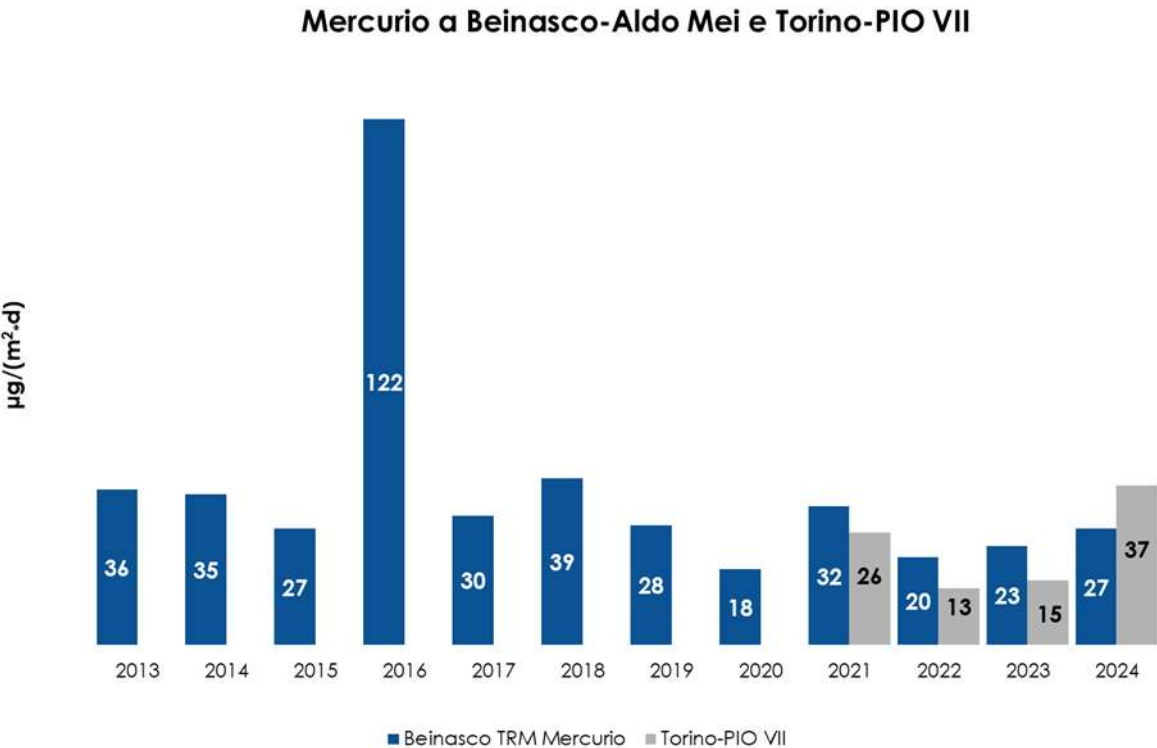


FIGURA 43: concentrazioni media annua di mercurio nelle deposizioni 2013-2024 di Beinasco – Aldo Mei e confronto con Torino Via Pio VII.

Mese	Beinasco – Aldo Mei Mercurio ng/(m²·d)											
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Gennaio	7	47	20	13	18	63	2	4	6	1	ND	6
Febbraio	22	99	7	15	27	23	12	6	3	7	ND	25
Marzo	39	22	26	57	17	38	23	6	1	7	ND	23
Aprile	78	22	20	50	23	49	38	6	33	23	9	79
Maggio	78	22	69	37	28	79	19	57	62	20	51	23
Giugno	8	38	55	21	37	69	16	34	88	95	40	55
Luglio	58	26	21	53	48	51	29	14	67	17	20	22
Agosto	50	26	29	35	n.d.	18	43	24	18	20	46	56
Settembre	10	30	27	22	n.d.	26	46	29	21	6	11	56
Ottobre	25	22	18	794	n.d.	23	28	15	16	8	3	30
Novembre	37	56	0	333	n.d.	33	59	6	57	n.d.	13	4
Dicembre	20	24	22	23	63	2	19	10	7	n.d.	12	4

TABELLA 37: dettaglio mensile del flusso di deposizione di mercurio a Beinasco – Aldo Mei 2013 – 2024.

DETERMINAZIONE DI PCDD/PCDF E PCB PRESSO LA STAZIONE DI BEINASCO (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 1.000°C. Sono poco volatili, si possono distribuire su superfici formando sottili pellicole, hanno bassa costante dielettrica, densità maggiore dell'acqua, elevata lipofilia 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 38 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) ¹	WHO-TEF (WHO, 2005) ²
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	

¹ 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

² 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 38 : fattori di Tossicità Equivalente.

Il monitoraggio dei microinquinanti organici negli 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 44: moduli di campionamento.



FIGURA 45: 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 Immissioschutz - Comitato degli Stati per la protezione ambientale) pari a 150 fg I-TEQ/m³.

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/m³. Non sono reperibili valori guida o di riferimento per i PCB totali.

Nella TABELLA 39 e nella FIGURA 46 sono riportate le medie annuali rilevate dal 2013 al 2024 per i parametri monitorati, i valori riportati sono stati calcolati come media delle concentrazioni rilevate e disponibili per le 12 mensilità.

	PCDD/DF (fg I-TEQ m ⁻³)	PCB Dioxin Like (pg WHO-TEQ m ⁻³)	PCB Totale Famiglie (pg m ⁻³)	PCDD/DF+PCB DL (fg WHO-TEQ m ⁻³)
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
2024	10	0,00213	94	11

TABELLA 39: concentrazioni medie annuali di PCDD, PCDF e PCB in aria ambiente.

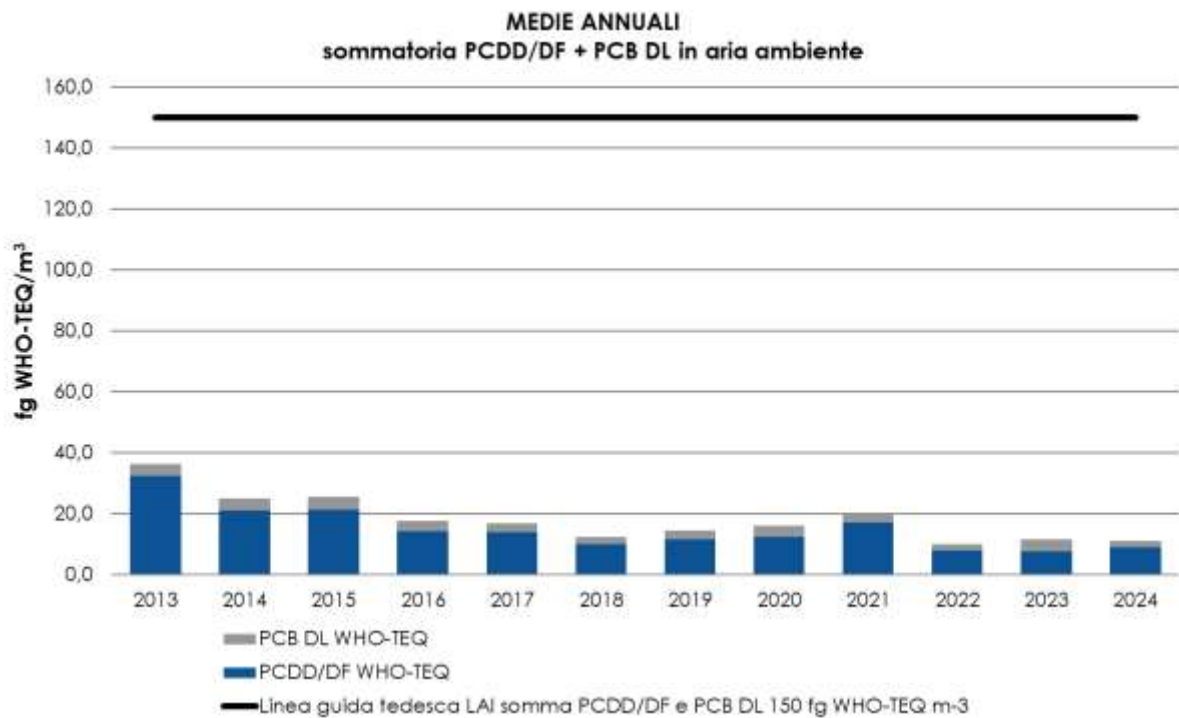


FIGURA 46: medie annuali sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like in aria ambiente.

Nella FIGURA 47 viene riportato l'andamento della sommatoria PCDD/DF PCB dioxin like nelle singole mensilità degli anni dal 2017 al 2024, 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.

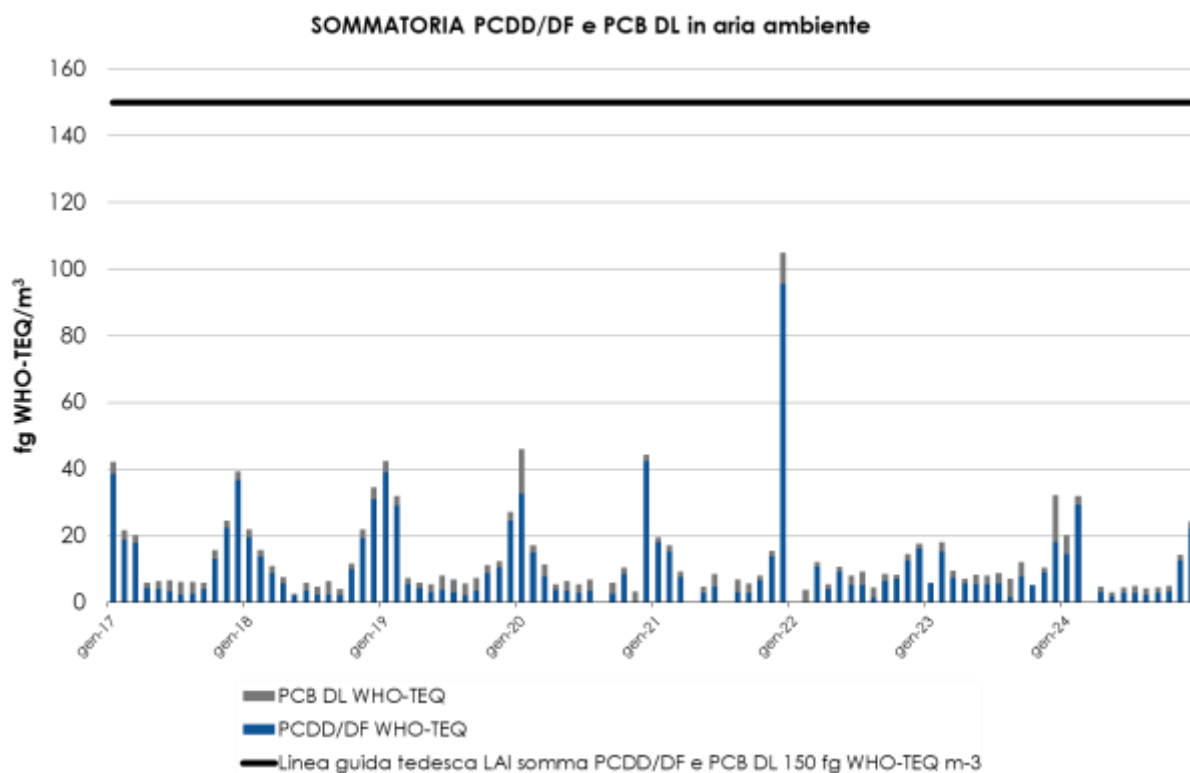


FIGURA 47: andamento sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like in aria ambiente dal 2017.

Nella TABELLA 40 sono riportate le concentrazioni medie mensili di PCDD/DF e PCB determinate nei campioni di qualità dell'aria prelevati nel corso dell'ultimo anno (2024).

Nel mese di marzo 2024 non è stato possibile prelevare il campione a causa dell'indisponibilità della strumentazione di campionamento a seguito di interventi di manutenzione correttiva.

	PCDD/DF (fg I-TEQ m ⁻³)	PCB Dioxin Like (pg WHO-TEQ m ⁻³)	PCB Totale Famiglie (pg m ⁻³)	PCDD/DF+PCB DL (fg WHO-TEQ m ⁻³)
Gennaio 2024	17,00	0,00559	73	20,2
Febbraio 2024	27,70	0,00257	74	31,9
Marzo 2024	ND	ND	ND	ND
Aprile 2024	3,36	0,00150	91	4,6
Maggio 2024	1,72	0,00126	35	3,1
Giugno 2024	3,16	0,00153	139	4,4
Luglio 2024	3,02	0,00197	125	4,9
Agosto 2024	2,45	0,00190	118	4,2
Settembre 2024	2,59	0,00182	92	4,6
Ottobre 2024	3,67	0,00153	105	4,9
Novembre 2024	14,00	0,00171	98	14,3
Dicembre 2024	27,70	0,00201	86	24,4

ND: campione non disponibile.

TABELLA 40: concentrazioni di PCDD, PCDF e PCB in aria ambiente per i mesi del 2024.

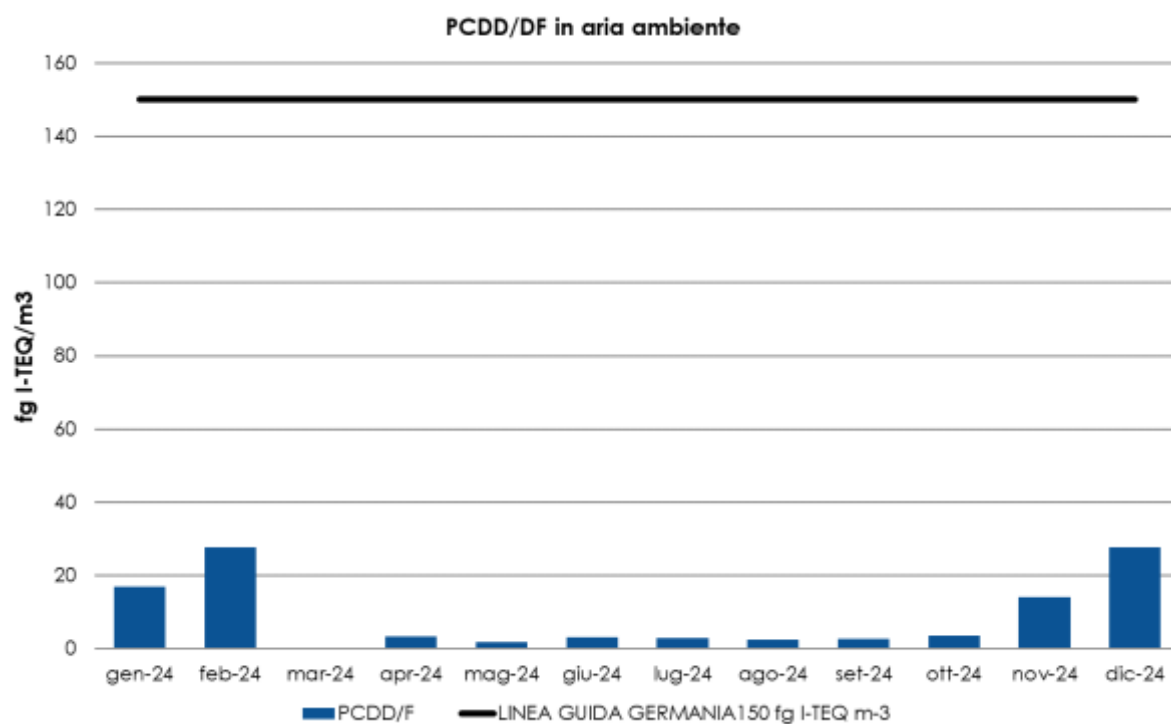


FIGURA 48: concentrazioni di PCDD e PCDF in aria ambiente anno 2024.

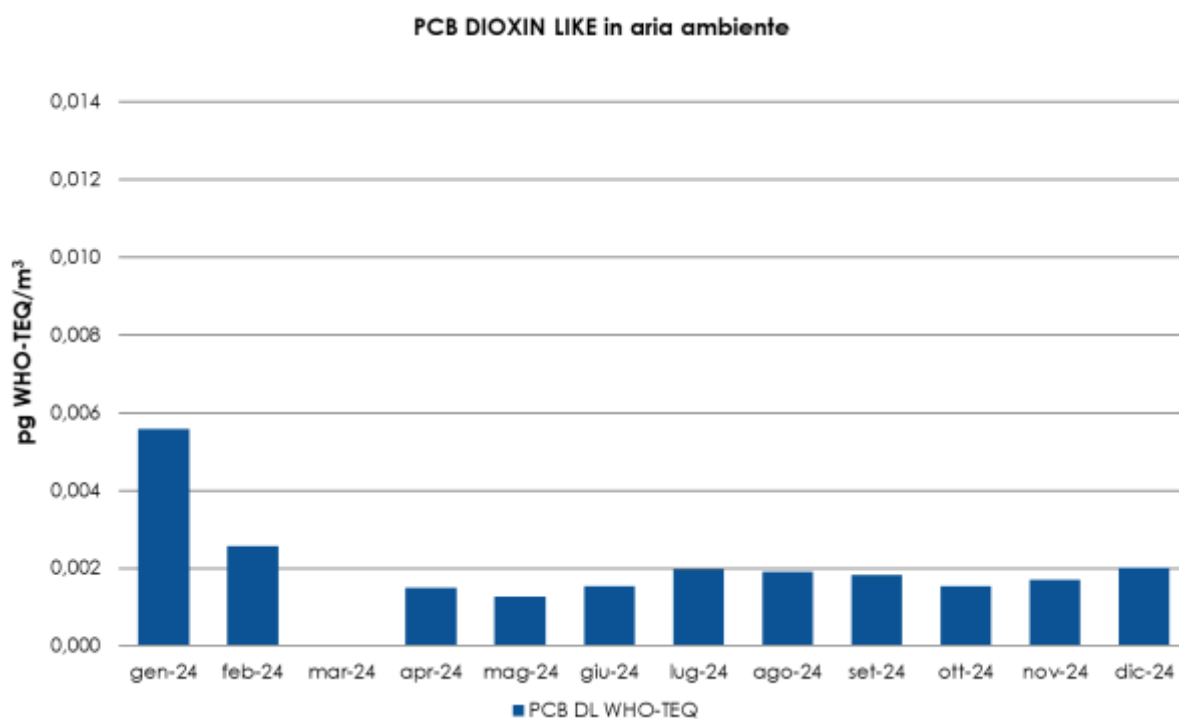


FIGURA 49: concentrazioni di PCB dioxin like in aria ambiente anno 2024.

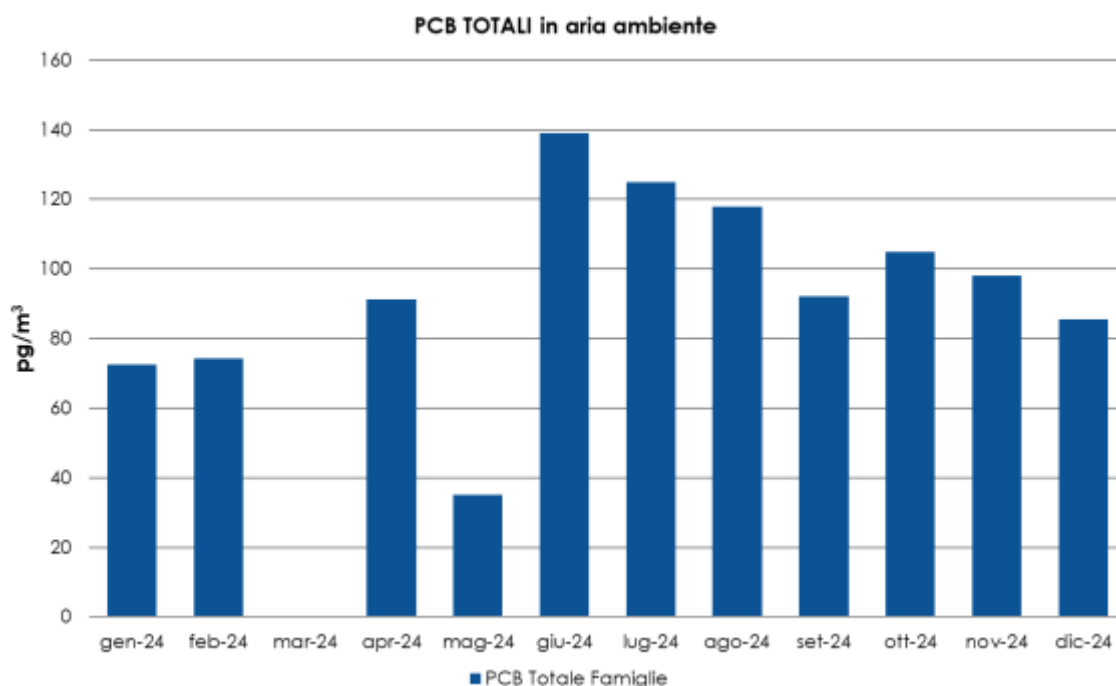


FIGURA 50: concentrazioni di PCB Totali in aria ambiente anno 2024.

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⁻¹d⁻¹ per PCDD/PCDF, ha individuato per le deposizioni di diossina i valori guida indicati nella TABELLA 41. A partire dal valore di intake settimanale di 14 pg WHO-TEQ/kg per la sommatoria PCDD/DF+PCBdl 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/m²d.

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

Cornelis et al (2007)

TABELLA 41: 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⁻² d⁻¹ 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⁻² d⁻¹ valori che possono essere considerati di fondo urbano/industriale;
- > 16 pg I-TEQ m⁻² d⁻¹ 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⁻² d⁻¹ correlata a un'assunzione giornaliera (TDI) pari a 4 pg I-TEQ kg⁻¹ di peso corporeo;
- b) deposizione media mensile di PCDD/DF: 27 pg I-TEQ m⁻² d⁻¹ correlata a un'assunzione giornaliera (TDI) pari a 4 pg I-TEQ kg⁻¹ di peso corporeo;
- c) deposizione media annua per la sommatoria di PCDD/DF + PCB dl: 8,2 pg WHO-TEQ m⁻² d⁻¹ correlata a un'assunzione giornaliera (TDI) pari a 2 pg WHO-TEQ kg⁻¹ di peso corporeo;
- d) deposizione media mensile per la sommatoria di PCDD/DF + PCB dl: 21 pg WHO-TEQ m⁻² d⁻¹ correlata a un'assunzione giornaliera (TDI) pari a 2 pg WHO-TEQ kg⁻¹ di peso corporeo.

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

In TABELLA 42 e FIGURA 51 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 ⁻² d ⁻¹)	PCB DL WHO-TEQ (pg WHO-TEQ m ⁻² d ⁻¹)	PCDD/DF+PCB DL (pg WHO-TEQ m ⁻² d ⁻¹)
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
2024	4,36	3,29	7,76

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

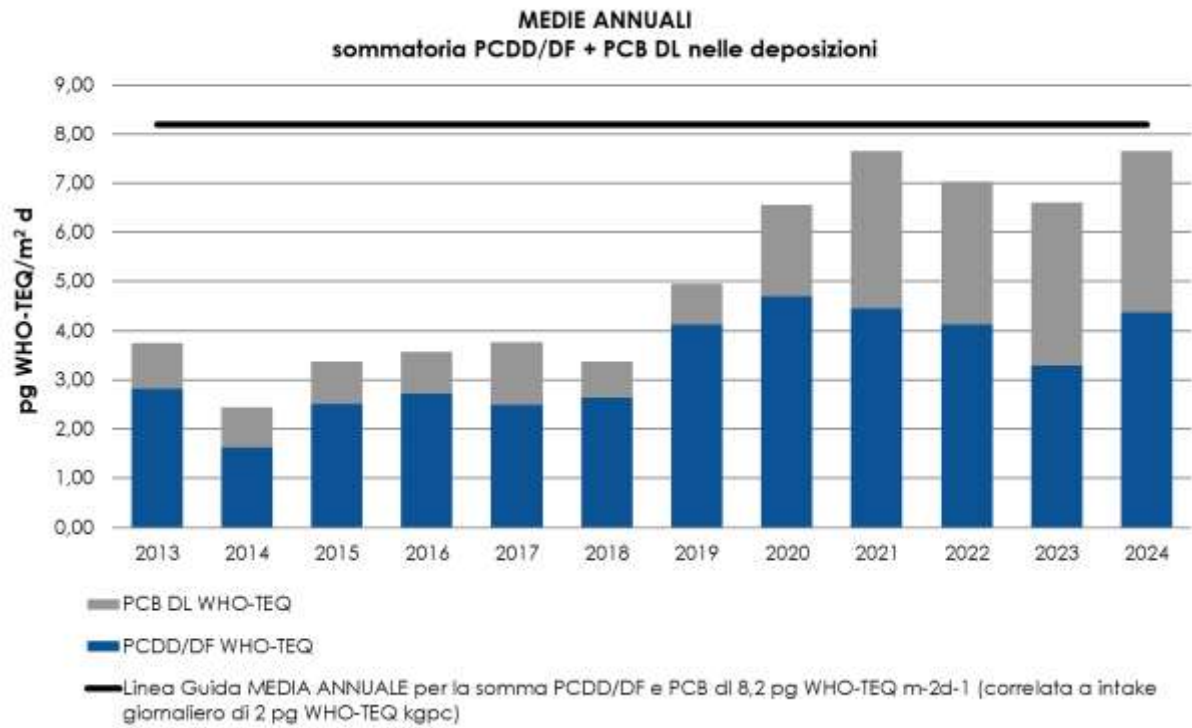


FIGURA 51: medie annuali della sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like nelle deposizioni.

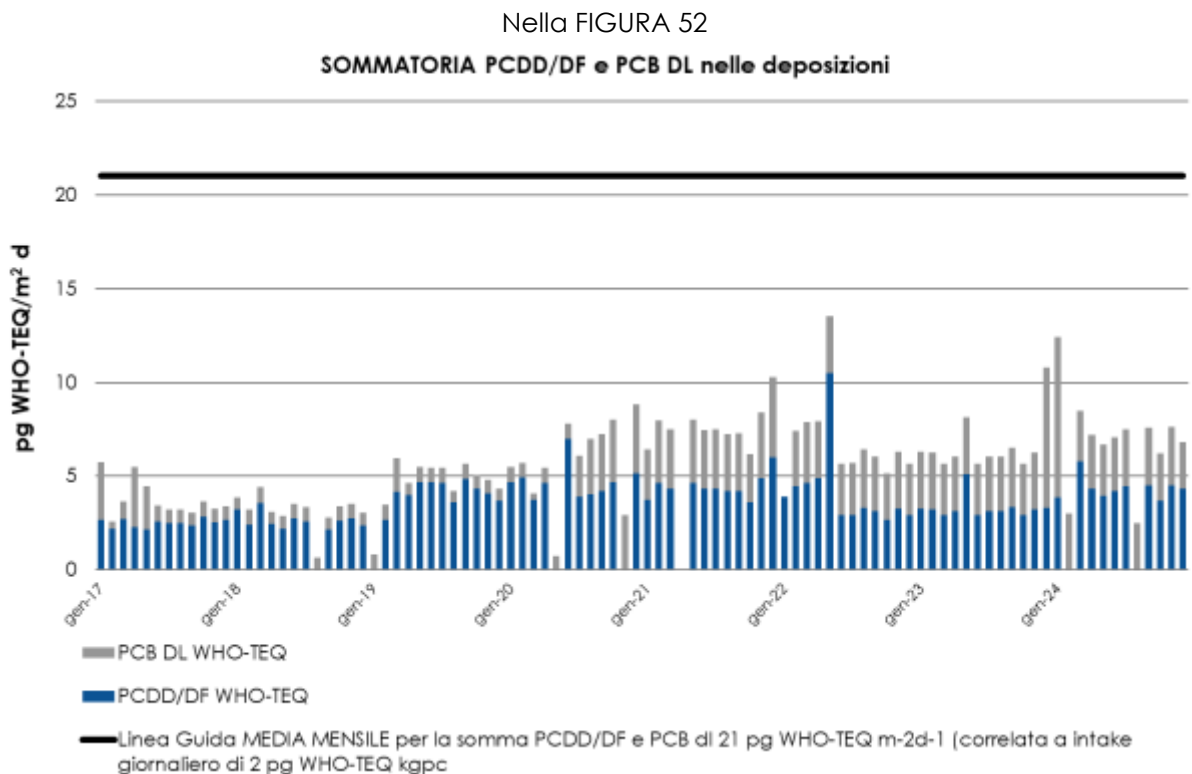


FIGURA 52 viene riportato l'andamento della sommatoria PCDD/DF PCB dioxin like nelle deposizioni atmosferiche delle singole mensilità degli anni dal 2017 al 2024. Tutti i valori mensili di deposizione si posizionano al di sotto delle linee guida sia per PCDD/DF che per la sommatoria PCDD/DF e PCB dioxin like.

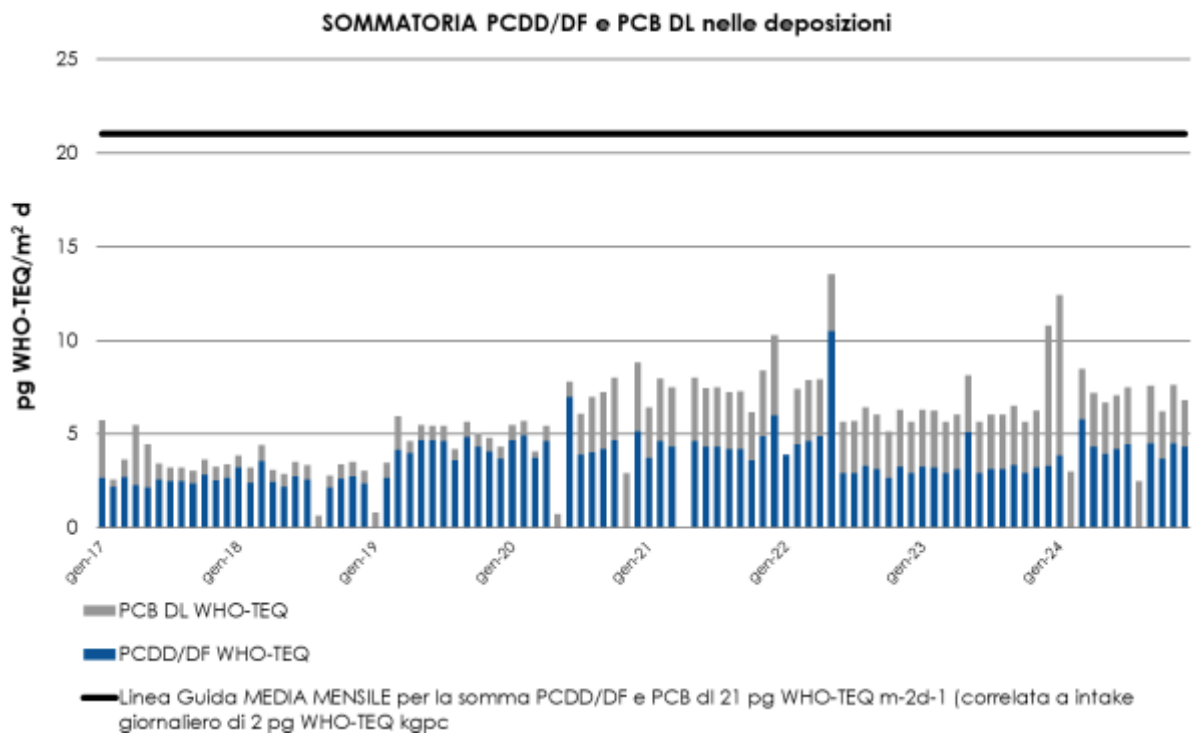


FIGURA 52: andamento sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like nelle deposizioni mensili dal 2017.

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 (2024).

Per i campioni di febbraio e settembre la frazione PCDD/DF non è disponibile a causa di problemi occorsi in fase di preparativa. Il valore di concentrazione dei PCBdl del mese di gennaio 2024 è più elevato della serie storica, in linea con il dato di dicembre 2023.

	PCDD/DF (pg I-TEQ m ⁻² d ⁻¹)	PCB Dioxin Like (ng WHO-TEQ m ⁻² d ⁻¹)	PCB Totale Famiglie (ng m ⁻² d ⁻¹)	PCDD/DF+PCB DL (pg WHO-TEQ m ⁻² d ⁻¹)
Gennaio 2024	4,35	0,00857	15,8	12,40
Febbraio 2024	N.D.	0,00302	11,2	N.D.
Marzo 2024	6,15	0,00269	6,0	8,47
Aprile 2024	4,02	0,00290	5,2	7,22
Maggio 2024	3,68	0,00271	5,2	6,67
Giugno 2024	3,91	0,00287	7,9	7,08
Luglio 2024	4,15	0,00305	5,5	7,51
Agosto 2024	N.D.	0,00250	7,2	N.D.
Settembre 2024	4,19	0,00308	5,5	7,59
Ottobre 2024	3,43	0,00252	4,5	6,21
Novembre 2024	4,19	0,00311	7,9	7,62
Dicembre 2024	4,08	0,00247	5,1	6,80

TABELLA 43: concentrazioni di PCDD, PCDF e PCB nelle deposizioni atmosferiche.

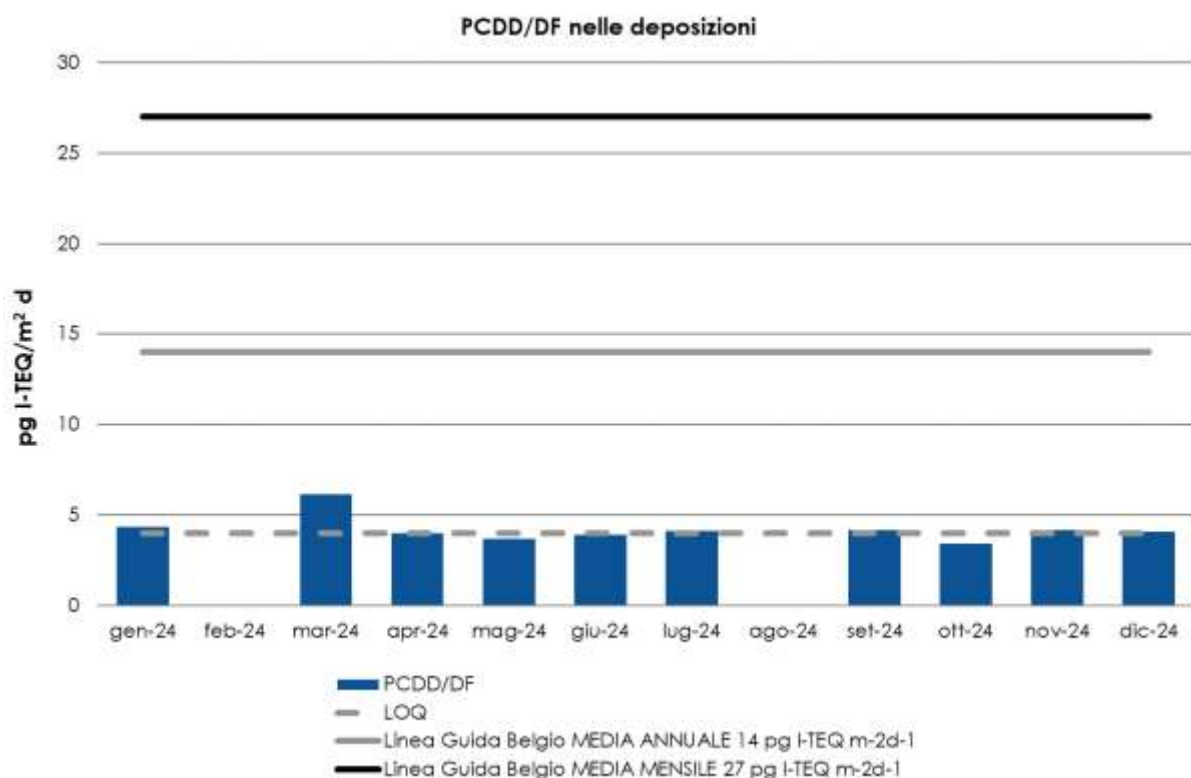


FIGURA 53: concentrazioni di PCDD e PCDF nelle deposizioni mensili anno 2024.

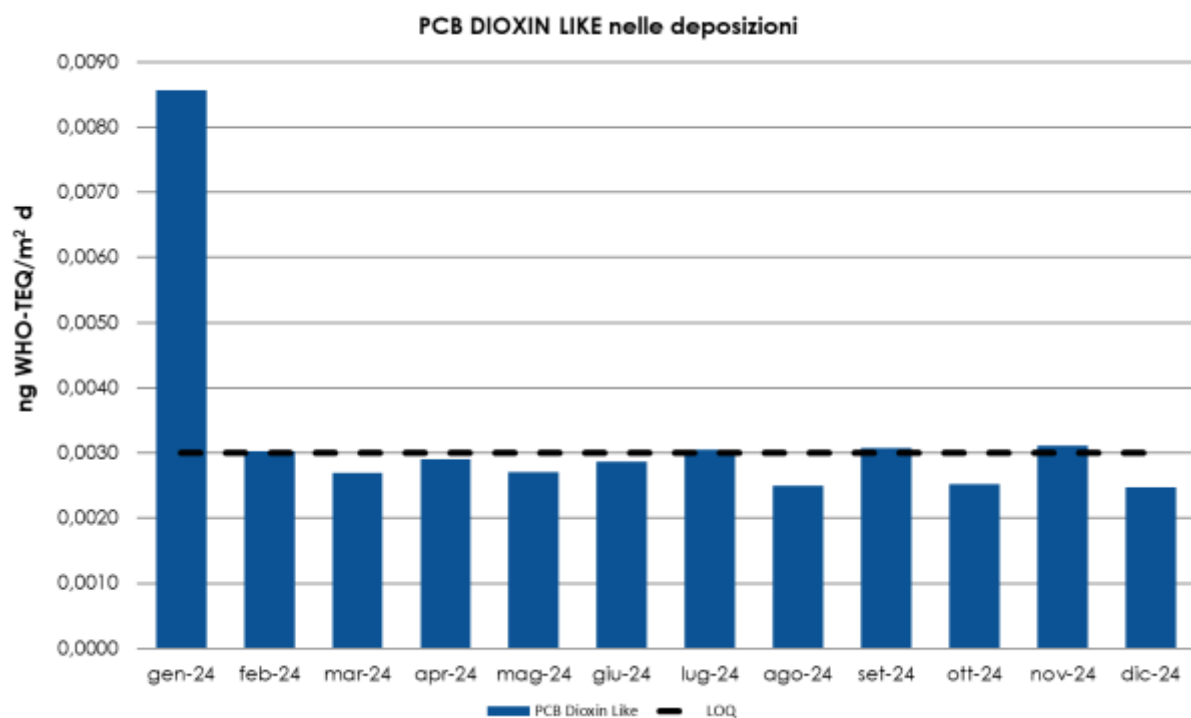


FIGURA 54: concentrazione di PCB DIOXIN LIKE nelle deposizioni mensili anno 2024.

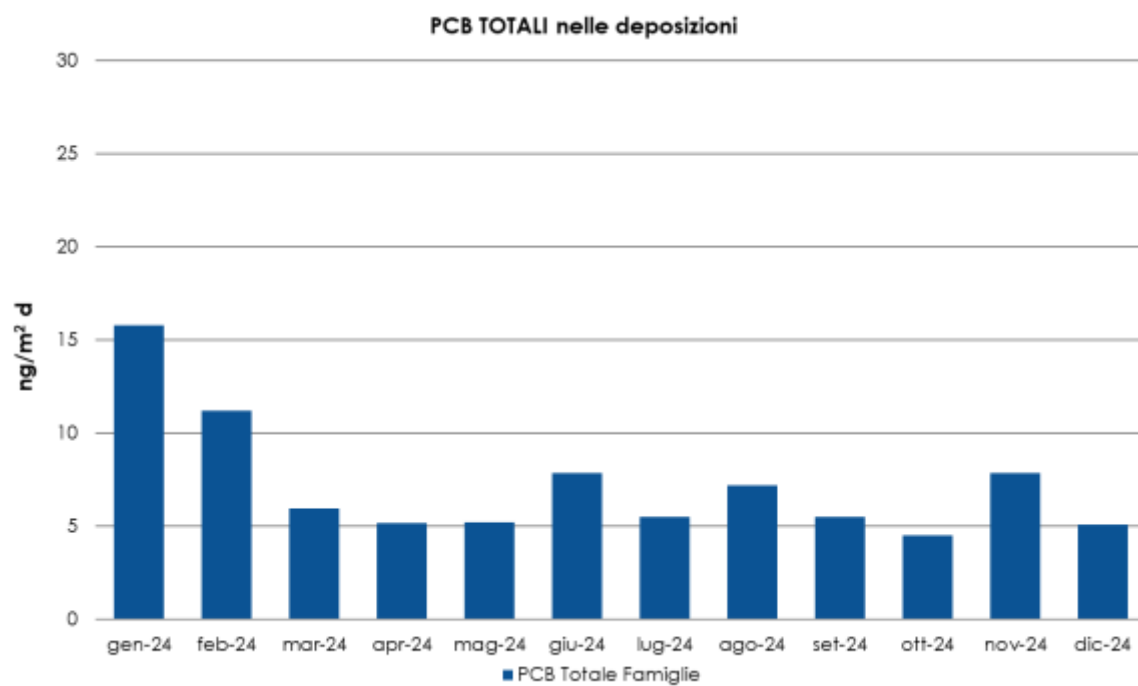


FIGURA 55: concentrazione di PCB TOTALI nelle deposizioni mensili anno 2024.

AMMONIACA

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

M.Sacco, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.

DESCRIZIONE

L'ammoniaca (NH_3) è un composto dell'azoto, il cui interesse nel monitoraggio è cresciuto nel corso degli anni per il suo ruolo come precursore del particolato secondario. In atmosfera contribuisce a neutralizzare sostanza acide come l'acido solforico e l'acido nitrico che sono prodotti dell'ossidazione di SO_2 e NO_x rispettivamente. Si originano pertanto solfato di ammonio e nitrato di ammonio, che costituiscono mediamente circa il 25% del particolato PM_{10} in Pianura Padana⁶³

La sua origine principale sono le attività di allevamento e di fertilizzazione dei terreni agricoli; una percentuale minoritaria delle emissioni nazionali di NH_3 proviene da processi produttivi, dai trasporti stradali e dal trattamento e smaltimento dei rifiuti. La Direttiva 2016/2284/UE, che ha aggiornato la direttiva NEC (National Emission Ceiling), ha introdotto nuovi target di riduzione delle emissioni dell'ammoniaca (NH_3) e degli inquinanti biossido di zolfo (SO_2), ossidi di azoto (NO_x), composti organici volatili non metanici (COVNM) e materiale particolato $\text{PM}_{2.5}$. A ciascuno Stato è assegnato un obiettivo di riduzione percentuale delle emissioni di ciascun inquinante al 2020 e al 2030, in riferimento alle emissioni dell'anno base, ossia il 2005.

La direttiva 2016/2284/UE è stata recepita nell'ordinamento nazionale dal decreto legislativo 30 maggio 2018, n. 81 che abroga la normativa precedente e assume come finalità generale il miglioramento della qualità dell'aria e la salvaguardia della salute umana e dell'ambiente, mirando a fornire un contributo significativo al raggiungimento degli obiettivi del decreto legislativo 13 agosto 2010, n. 155, recante attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa. Nel D.Lgs 155/2010 non sono previsti, però, valori limite o standard da rispettare per le concentrazioni in atmosfera di ammoniaca.

La nuova direttiva sulla qualità dell'aria 2024/288/UE⁶⁴ indica la misura dell'ammoniaca nelle stazioni individuate come "supersiti", ovvero stazioni di monitoraggio in siti di fondo urbano o rurale nei quali condurre il campionamento per raccogliere dati a lungo termine su diversi inquinanti atmosferici anche non regolamentati, al fine di contribuire alla comprensione scientifica dei loro effetti sulla salute e sull'ambiente.

In Regione Piemonte le stime dell'inventario regionale attribuiscono la produzione delle emissioni di ammoniaca, per la maggioranza (92%) del totale annuale, alle attività agricole e allevamento⁶⁵.

In Piemonte la misura di questo inquinante è iniziata continuativamente a partire da novembre 2016 nella stazione di fondo urbano di Torino-Lingotto e da aprile 2021 nella stazione di fondo suburbana di Cavallermaggiore, in provincia di Cuneo. In precedenza altri siti di monitoraggio sono stati ubicati a Torino-Rubino e, in provincia di Cuneo, a Staffarda e Bra. Più recentemente (settembre 2023) è iniziato il monitoraggio presso i siti di Baldissero e Leini. In questo capitolo saranno esaminati i dati del 2024 per i quattro siti attualmente monitorati.

In TABELLA 44 sono riassunti i principali indicatori statistici dell'anno 2024.

⁶³ 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, Final Report Action D6, PM_{10} Chemical Composition on special stations, ottobre 2024, <https://www.lifeprepare.eu/index.php/actions/air-quality-and-emission-evaluation/?lang=en#toggle-id-13>

⁶⁴ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402881

⁶⁵ <https://www.servizi.piemonte.it/osservatori/cruscotto-conoscenze-ambientali/emissioni-atmosfera-01.shtml>

Ammoniac (NH ₃) (valori di conc. espressi in µg/m ³)	Baldissero T.se	Leini	To-Lingotto	Cavallermaggiore
Minima media giornaliera	1	1	1	7
Massima media giornaliera	14	32	64	97
Media delle medie giornaliere	5	8	12	32
Giorni validi	339	337	310	359
Percentuale giorni validi	93%	92%	85%	98%
Media dei valori orari	5	8	12	32
Massima media oraria	26	129	86	188
Ore valide	8155	8068	7504	8618
Percentuale ore valide	93%	92%	85%	98%

TABELLA 44: Ammoniac – indicatori statistici anno 2024.

Nel grafico di FIGURA 56 sono riportate le medie giornaliere nell'anno 2024, nei quattro siti di confronto.

I valori registrati presso Leini e Baldissero sono confrontabili con quelli di To-Lingotto, mentre il sito di Cavallermaggiore misura valori di concentrazione che sono dieci volte quelli presso le stazioni in esame. Il carico emissivo di NH₃ a Cavallermaggiore, secondo l'inventario delle emissioni regionali⁶⁶ è molto superiore rispetto a quelli di Torino e ai comuni di Baldissero e Leini, come osservabile dalla FIGURA 57. Dall'esame della distribuzione delle emissioni di NH₃ suddivise per comune, risulta che il macrosettore principale è l'agricoltura presso tutti i siti, tranne a Torino, dove il contributo maggiore è dato dal trasporto su strada, come osservabile dalla FIGURA 58.

Nella FIGURA 59 è rappresentato il giorno medio per le stazioni operanti nella città metropolitana di Torino, mentre le medie orarie per giorno della settimana sono osservabili in FIGURA 60.

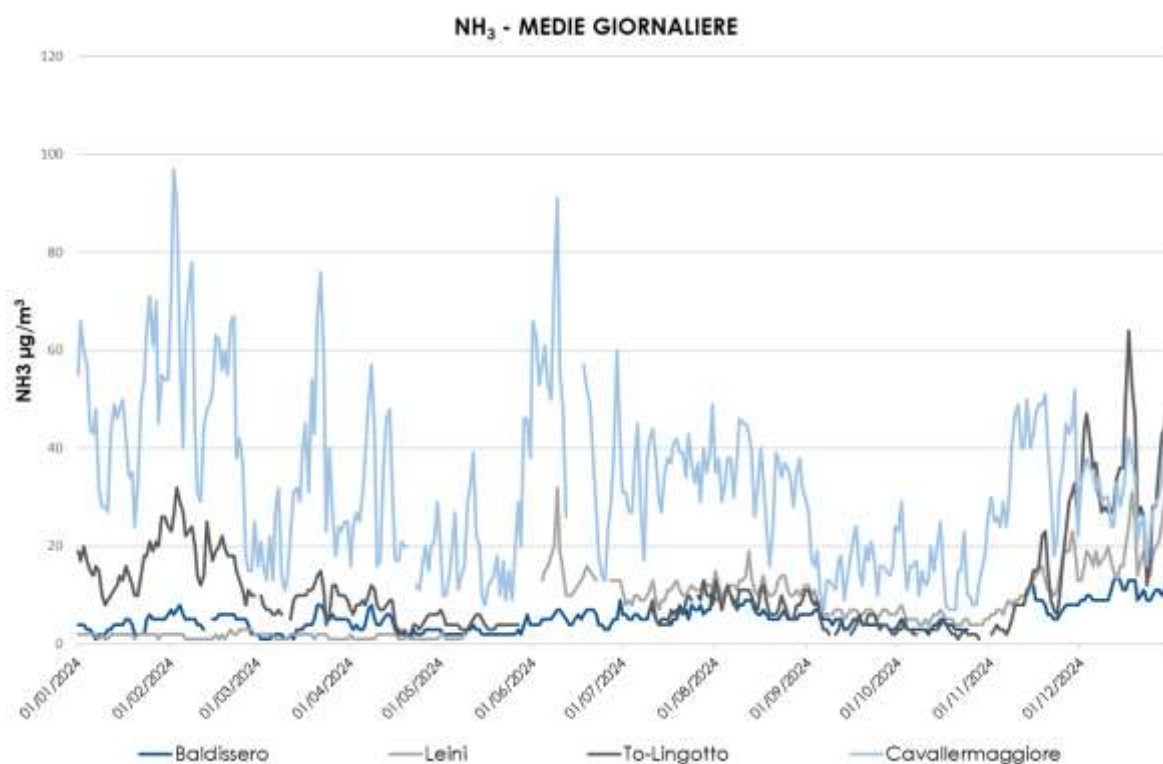


FIGURA 56: Medie giornaliere – Confronto Baldissero/Leini/To-Lingotto/Cavallermaggiore.

⁶⁶ <https://www.servizi.piemonte.it/osservatori/cruscotto-conoscenze-ambientali/emissioni-atmosfera-01.shtml>

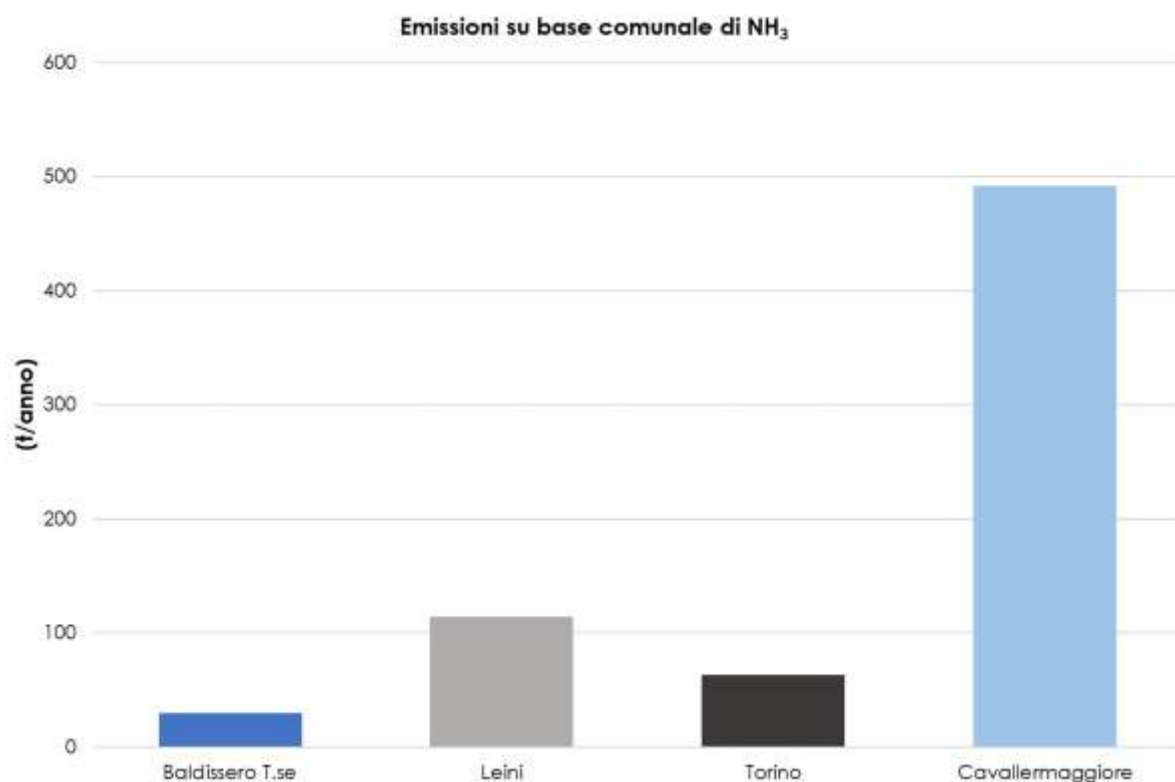


FIGURA 57: Emissioni di ammoniaca a Leini, Baldissere, To-Lingotto e Cavallermaggiore.

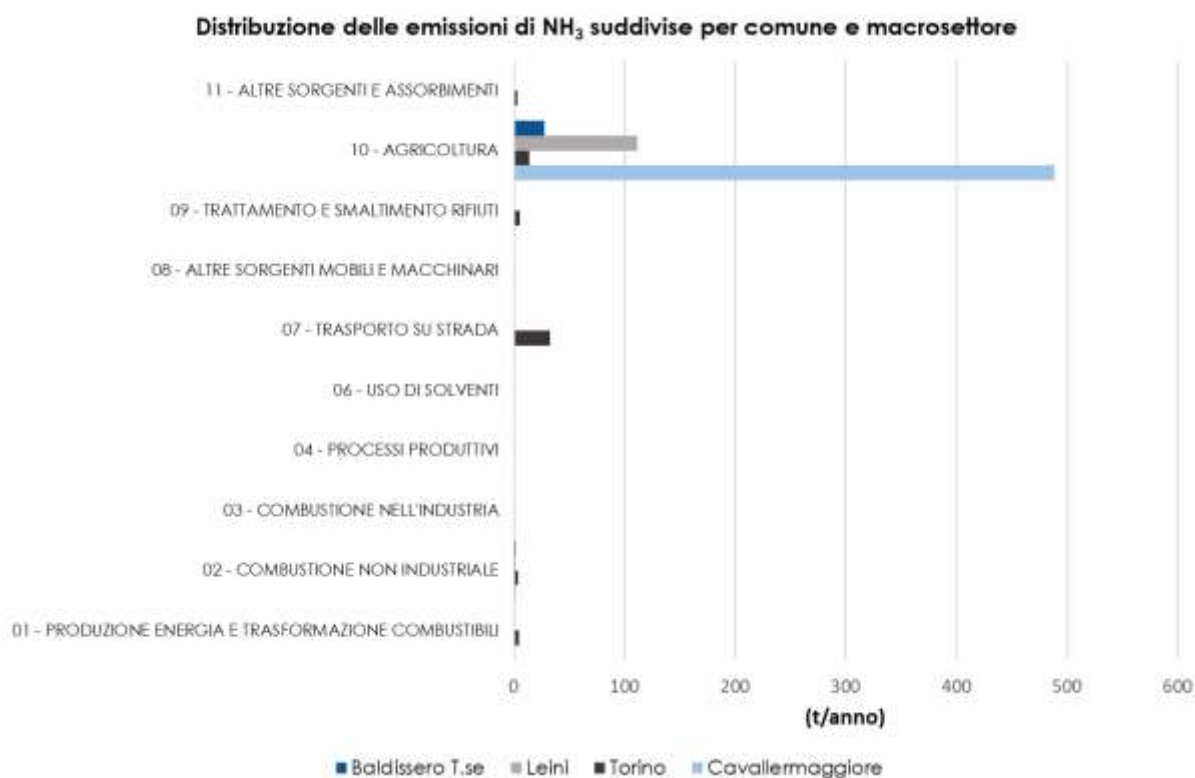


FIGURA 58: Emissioni di ammoniaca a Leini, Baldissere, To-Lingotto e Cavallermaggiore.

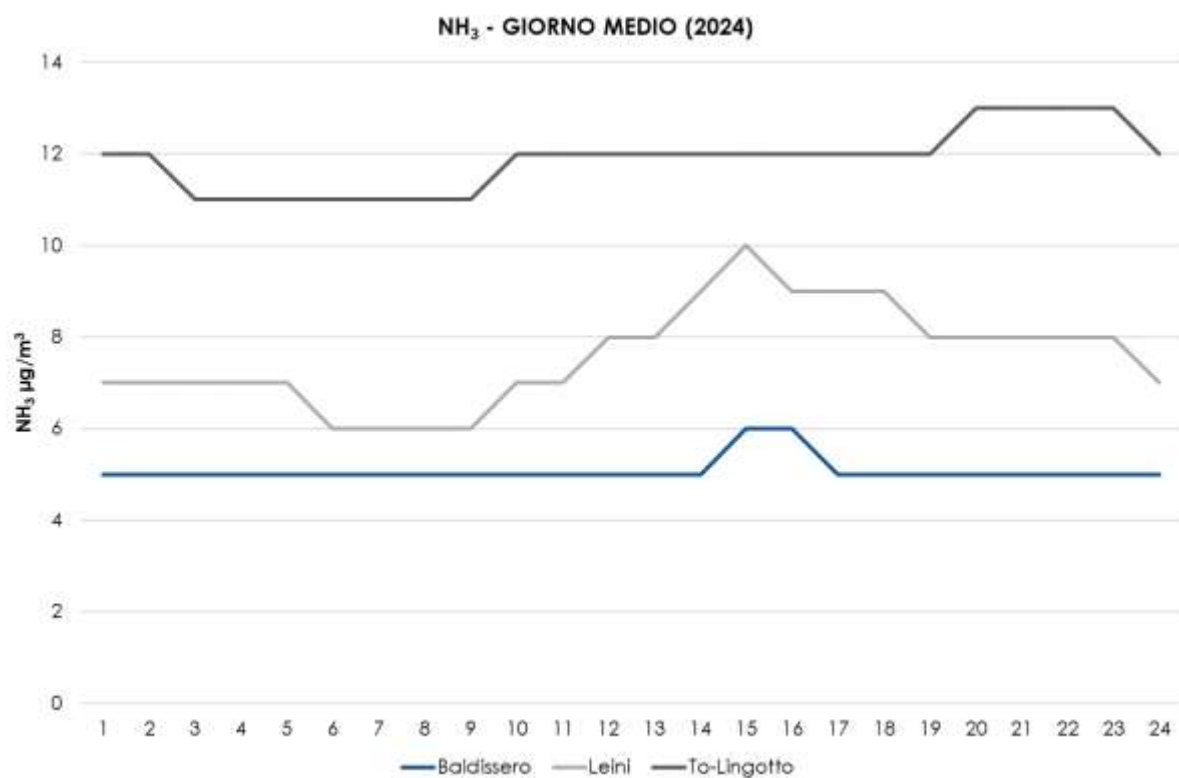


FIGURA 59: Giorno medio confronto Leini, Baldissero e To-Lingotto.

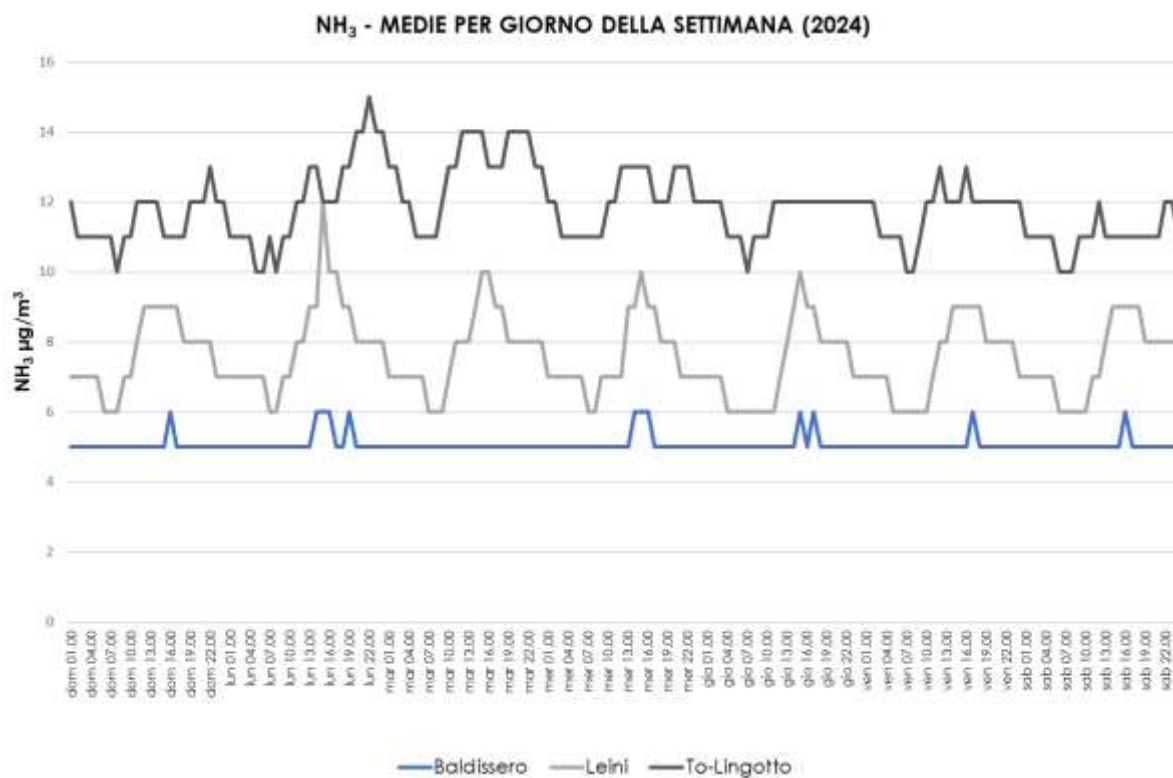


FIGURA 60: medie orarie per giorno della settimana. Confronto Leini, Baldissero e To-Lingotto.

CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'ANNO 2024

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

M. Nicolella, 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 2024, 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 2024 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 geopotenziale³² 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 2009-2024; invece per quanto riguarda i campi in quota, sono relativi al periodo 1991-2020 e derivano dalle re-analisi (note come "archivio ERA5") 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 2024.

Nel complesso si osserva come l'anno 2024 in Piemonte è stato il 4° più caldo degli ultimi 67 anni, con una temperatura media di circa 10,9°C ed un'anomalia termica positiva di circa +1,1 °C rispetto alla climatologia del periodo 1991-2020.

Analizzando l'andamento giornaliero, notiamo come i periodi caratterizzati da anomalia positiva marcata e persistente siano avvenuti tra la fine di gennaio e buona parte del mese di febbraio, nella prima metà di aprile, tra l'inizio della seconda decade di luglio e per tutto il mese di agosto, negli ultimi venti giorni di ottobre fino all'inizio di novembre e infine nelle ultime due decadi di dicembre. Scostamenti termici negativi dalla seconda parte del mese di aprile e in prevalenza nei mesi di maggio e giugno; un altro periodo con valori termici sotto la norma è avvenuto tra settembre e l'inizio di ottobre.

Il mese più caldo dell'anno è stato agosto con 21,6°C medi, mentre gennaio è risultato il mese più freddo, con 3,1°C.

Il giorno più caldo del 2024 è stato l'11 agosto mentre le temperature massime più elevate in pianura si sono verificate il giorno successivo e il picco termico annuale è stato registrato il 13 agosto a Sezzadio (AL) con 37,8°C; invece il picco annuale del freddo è stato registrato tra il 21 e il 22 gennaio.

Sono risultati assenti i primati assoluti di temperatura massima e minima.

Le precipitazioni cumulate medie dell'anno 2024 in Piemonte sono state pari a 1495,7 mm e sono risultate superiori alla norma 1991-2020, con un surplus di 466,2 mm, che corrisponde al 45% circa; il 2024 è il 2° anno più piovoso dopo il 1977 nella distribuzione storica degli anni 1958-2024.

Combinando le anomalie standardizzate di temperature e precipitazioni il 2024 è risultato il più caldo e umido della serie storica.

L'analisi dell'andamento giornaliero annuale evidenzia come i fenomeni precipitativi annuali si siano concentrati prevalentemente tra febbraio e ottobre, con un temporaneo calo nel bimestre luglio-agosto, in cui si sono però verificati diversi eventi pluviometrici molto intensi e localizzati con temporali a supercella che hanno causato danni ingenti. 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 5 settembre con 51,5 mm medi sul territorio piemontese.

L'esame dell'andamento nei singoli mesi mostra come ottobre sia risultato il mese più piovoso dell'anno con 295,9 mm; invece, marzo ha registrato la maggiore anomalia pluviometrica positiva

32 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 isopse, 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 "isopse"), muovendosi da ovest verso est alle nostre latitudini.

con il 322% e primo posto nella classifica dei mesi di marzo più piovosi. Rilevante anche il contributo di febbraio, maggio e giugno. Invece dicembre è stato il mese più avaro di precipitazioni con soli 13,3 mm. A livello regionale il numero di giorni piovosi (considerati come giorno in cui la precipitazione è stata >5 mm) è stato di 88 contro i 54 medi del periodo 1991 – 2020, quindi il 39% in più.

Sia l'abbondanza di precipitazioni che l'elevato numero di giorni piovosi hanno avuto un impatto favorevole sulla qualità dell'aria.

Gli episodi di foehn nel 2024 sono risultati 71, superiori ai 66 della media annuale del periodo 2000-2020; durante gli episodi di foehn la ventilazione sostenuta favorisce la dispersione delle sostanze inquinanti. Il mese con più episodi è stato gennaio mentre ad agosto non si sono verificate giornate con foehn.

Gli episodi di nebbia ordinaria (visibilità inferiore a 1 km) sono stati quasi in perfetto accordo con la climatologia recente del periodo 2004-2023, con 120 giorni annuali e 121 attesi dalla norma climatica. Ma tra essi gli episodi di nebbia fitta (visibilità inferiore a 100 m) sono stati 27, quasi un terzo superiori ai 21 calcolati dalla media climatica.

IL CLIMA DEL 2024

Gennaio

In Piemonte gennaio 2024 ha avuto una temperatura media di circa 3,1°C, con un'anomalia termica positiva di 1,8°C rispetto alla media del periodo 1991-2020, ed è risultato il 5° mese di gennaio più caldo nella distribuzione storica degli ultimi 67 anni.

In tale mese si sono verificati i giorni più freddi dell'anno, il 20 e il 21 gennaio.

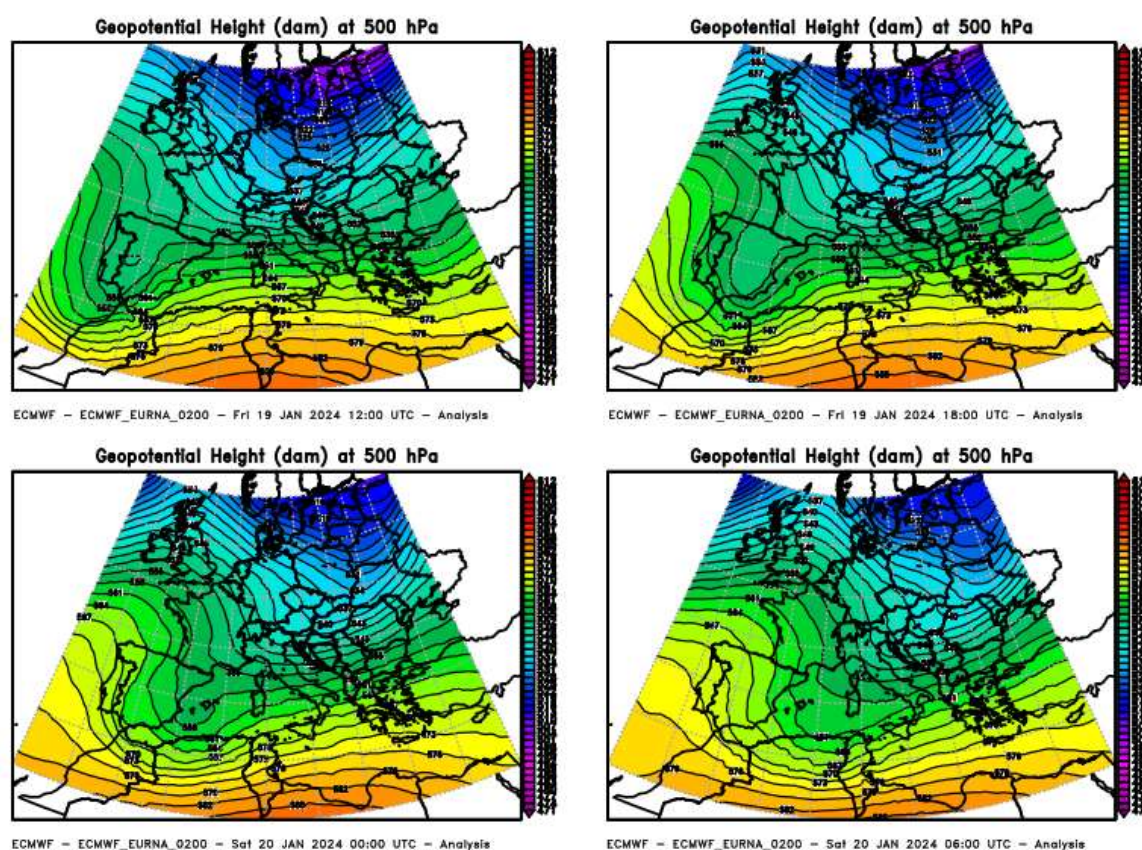


FIGURA 61: Evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 12 UTC del 19 gennaio 2024 e 06 UTC del 20 gennaio 2024, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Tra il pomeriggio del giorno 19 e le prime ore del giorno successivo un'onda depressionaria di origine polare è transitata dal versante settentrionale delle Alpi verso la penisola balcanica (FIGURA 61) causando annuvolamenti sul Piemonte ma con fenomeni precipitativi deboli e isolati.

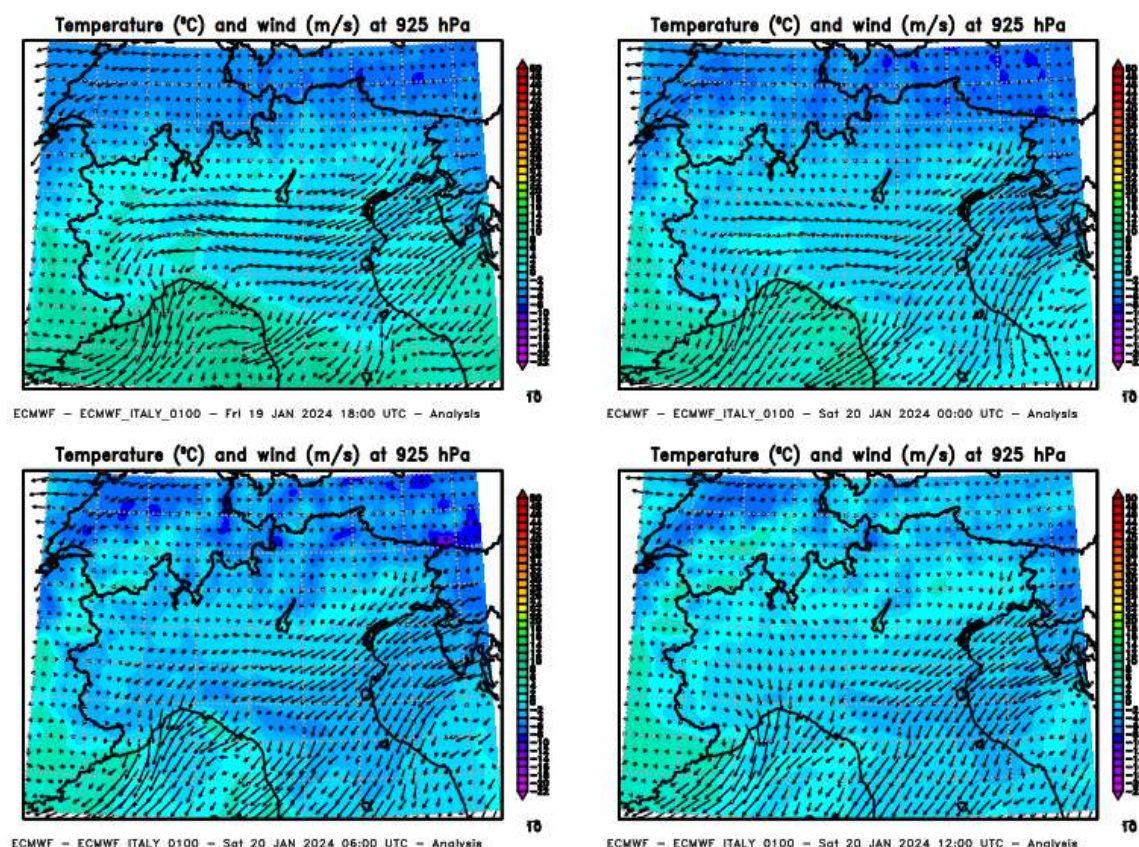


FIGURA 62: Evoluzione di temperatura (°C, colori) e vento (m/s, frecce) a 925 hPa (corrispondente a circa 700 m di quota) tra le ore 18 UTC del 19 gennaio 2024 e 12 UTC del 20 gennaio 2024, intervallate ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Sul territorio piemontese tale onda depressionaria ha avuto un impatto maggiore sulle temperature; nei bassi strati atmosferici il vento si è disposto da est, nordest (FIGURA 62) convogliando aria fredda sulla Pianura Padana; il 20 gennaio è risultato il giorno più freddo dell'anno con una media di $-4,7^{\circ}\text{C}$ dei valori minimi di temperatura sul Piemonte.

Tuttavia, sui settori pianeggianti le temperature più basse sono state registrate nel giorno successivo 21 gennaio grazie a una notte serena che ha agevolato la perdita di calore dalla superficie terrestre per irraggiamento notturno, mentre nella notte tra il 19 e il 20 gennaio il cielo si era mantenuto nuvoloso.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state leggermente inferiori alla norma degli anni 1991-2020, con 41,7 mm medi ed un deficit di 4,5 mm (pari al 10%).

È stato anche il mese con più eventi di foehn nell'anno, 15 mensili, cfr. TABELLA 45.

	gen	feb	Mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
2024	15	9	8	9	2	3	1	0	9	2	5	8
Media 2000 - 2020	9	7	8	4	5	3	4	4	4	5	5	8

TABELLA 45: Numero di episodi di föhn mensili in Piemonte comparati con le medie del periodo 2000-2020.

Febbraio

In Piemonte febbraio 2024 ha avuto una temperatura media di circa $6,0^{\circ}\text{C}$, con un'anomalia termica positiva di $3,9^{\circ}\text{C}$ rispetto alla media del periodo 1991-2020, ed è risultato il febbraio più caldo nella distribuzione storica degli ultimi 67 anni.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state decisamente superiori alla norma degli anni 1991-2020, con 147,1 mm medi ed un surplus di 103,4 mm (pari al 232%). Il mese si colloca al quarto posto tra i mesi di febbraio più ricchi di precipitazioni dal 1958.

È stato un mese di febbraio con caratteristiche termo-pluviometriche più simili a un mese di novembre.

Dalla fine della prima decade di febbraio è iniziato un lungo periodo ricco di precipitazioni in Piemonte, perdurato fino alla conclusione del mese di ottobre, con una temporanea pausa nei mesi di luglio e agosto in cui però si sono verificati temporali di forte intensità, frequentemente associati a grandinate e forti raffiche di vento.

Analizziamo l'evento precipitativo più rilevante del mese.

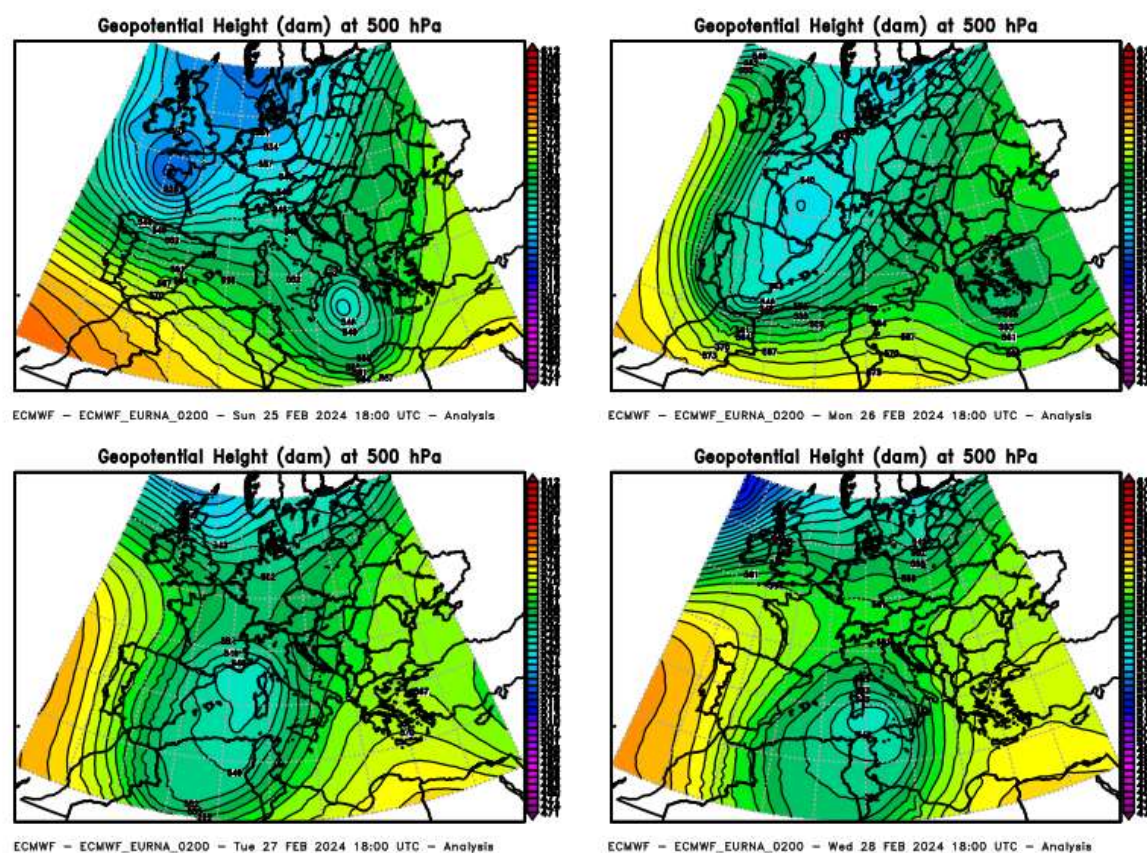


FIGURA 63: Evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 18 UTC del 25 e del 28 febbraio 2024, intervallata ogni 24 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

L'episodio di maltempo più intenso e duraturo di febbraio 2024 è avvenuto negli ultimi giorni del mese grazie all'azione di una circolazione depressionaria che aveva il minimo in quota sul settore occidentale del canale della Manica nella serata di domenica 25 (FIGURA 63 in alto a sinistra) quando si sono verificati i primi fenomeni precipitativi sul territorio piemontese, ed è scesa verso sudest nel giorno successivo (FIGURA 63 in alto a destra).

Il cielo si è mantenuto coperto sul Piemonte per tutta la giornata di lunedì 26, risultata quella mediamente più fredda del mese sulla regione, con una temperatura media di 1,8°C; nella mattinata la quota neve ha raggiunto i livelli più bassi dell'episodio esaminato, quindi i 400-500m sul sud della regione, con valori leggermente più elevati verso il nord del Piemonte.

Martedì 27 la depressione si è localizzata tra le isole Baleari, la Costa Azzurra, la Corsica e la Sardegna (FIGURA 63 in basso a sinistra) ed il Piemonte è stato interessato da un marcato flusso sciroccale che ha determinato un'intensificazione dei fenomeni precipitativi.

Il 28 febbraio il minimo barico è ancora traslato verso sudest posizionandosi tra la Sardegna, la Sicilia e la Tunisia (FIGURA 63 in basso a destra); l'allontanamento della depressione dal territorio piemontese ha causato una sensibile attenuazione delle precipitazioni soprattutto sul settore orientale della regione e un rialzo della quota neve fino a 1700-2000 m sulle Alpi occidentali e meridionali.

Marzo

In Piemonte marzo 2024 ha avuto una precipitazione media di 266,9 mm, risultando il mese più ricco di precipitazioni nella distribuzione storica calcolata dal 1958. L'anomalia positiva rispetto alla media del periodo 1991-2020 è stata di 203,6 mm, pari al 322%.

Il contributo maggiore all'abbondanza di precipitazioni è stato dato da tre eventi pluviometrici avvenuti nel primo, nel secondo e nell'ultimo fine settimana del mese. Nel presente paragrafo non è possibile inserire un'ampia descrizione degli episodi ma ci sarà solo una brevissima sintesi con una figura esplicativa per ognuno di essi.

Tra il 2 e il 4 marzo, e in particolare nella giornata di domenica 3, sono state registrate intense precipitazioni su tutto il Piemonte causate da una profonda e vasta circolazione depressionaria avente il minimo sulle isole britanniche che ha creato una depressione secondaria sul golfo Ligure. Tale precipitazione è stata piovosa nelle zone di pianura, pedemontane e collinari e a carattere prevalentemente nevoso sull'arco alpino, con nevicate fino a 600-800 m di quota.

In FIGURA 64 è rappresentata la precipitazione cumulata dell'intero evento su 72 ore. Le precipitazioni più abbondanti si sono verificate nei settori pedemontani alpini occidentali e settentrionali con valori superiori anche ai 150-175 mm in totale. Nel resto della regione i valori misurati sono stati inferiori, mediamente sui 60 mm.

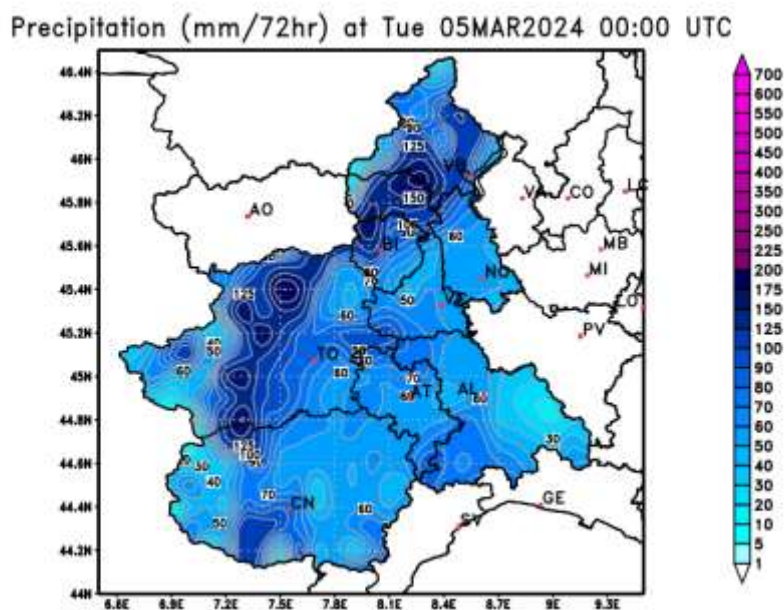


FIGURA 64: Precipitazione cumulata nelle 72 ore precedenti alle 00 UTC del 5 marzo 2024, in sostanza la precipitazione dei giorni 2-4 marzo 2024.

Un secondo episodio di tempo perturbato diffuso si è verificato tra sabato 9 e domenica 10 quando un profondo minimo depressionario presente sul Golfo di Biscaglia ha convogliato masse di aria umida verso il Piemonte con precipitazioni diffuse tra la serata del 9 e la mattinata del 10.

In questa occasione, la quota delle nevicate, mediamente compresa tra gli 800 e i 1000 m, è scesa anche fino a 300-400 m sul basso Cuneese.

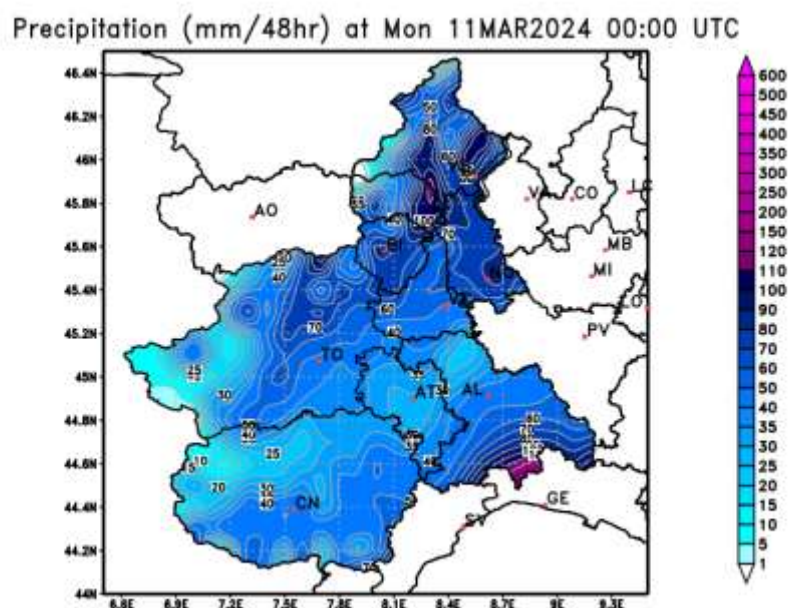


FIGURA 65: Precipitazione cumulata nelle 48 ore precedenti alle 00 UTC dell'11 marzo 2024, in sostanza la precipitazione dei giorni 9-10 marzo 2024.

In questo evento i fenomeni precipitativi più intensi si sono verificati sul Piemonte settentrionale e sull'Appennino alessandrino, con picchi di 100-120 mm in 48 ore (FIGURA 65).

L'ultimo rilevante episodio pluviometrico del mese si è verificato in corrispondenza del fine settimana di Pasqua. In tale circostanza un'altra profonda e vasta circolazione depressionaria con minimo a ovest del canale della Manica ha convogliato intensi flussi umidi da sud, sudovest sul territorio piemontese.

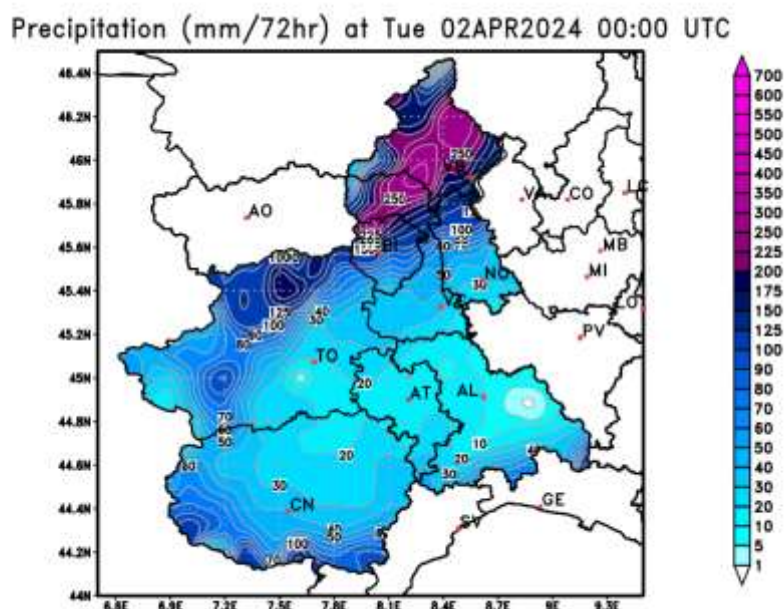


FIGURA 66: Precipitazione cumulata nelle 72 ore precedenti alle 00 UTC del 2 aprile 2024, in sostanza la precipitazione dei giorni dal 30 marzo 2024 al 1° aprile 2024.

Le precipitazioni cumulate più elevate in tale evento si sono verificate sul Piemonte settentrionale con picchi di 250-300 mm in 72 ore (FIGURA 66).

La posizione della corrente a getto a latitudini molto basse e l'intenso flusso meridionale hanno causato l'afflusso di polvere sahariana fino all'Europa centrale, poi cadute sul territorio piemontese durante le precipitazioni sia liquide che solide avvenute nel fine settimana pasquale. La sospensione

in aria della sabbia del Sahara ha reso i cieli gialli sul Piemonte nella giornata di sabato 30 marzo, e poi la successiva deposizione sulle Alpi ha determinato la formazione di uno strato di neve rossa ben visibile.

Per quanto riguarda l'andamento termometrico, la temperatura media mensile è stata di circa 6,3°C, con un'anomalia termica positiva di 0,7°C rispetto alla norma del periodo 1991-2020. È risultato il 15° mese di marzo più caldo dal 1958.

Aprile

In Piemonte aprile 2024 ha avuto una temperatura media di circa 9,1°C, con una lievissima anomalia termica positiva di 0,4°C rispetto alla media del periodo 1991-2020 ed è risultato il 13° mese più caldo nella distribuzione storica dal 1958 in poi.

È stato un mese caratterizzato da un'escursione termica di 16,5°C tra il giorno più caldo (il 14) e quello più freddo (il 22). Tale variabilità si riscontra anche nell'andamento giornaliero dell'anomalia termica rispetto alla norma 1991-2020 con una prima metà del mese prevalentemente calda e una seconda metà generalmente più fredda della climatologia.

In particolare, la temperatura media sul Piemonte del 14 aprile 2024 è risultata pari a 17,5°C, circa 10°C oltre la norma, ponendo tale giorno al terzo posto nella distribuzione storica dei giorni più caldi di aprile, dopo l'8 e il 9 aprile 2011.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1991-2020, con 97 mm medi ed un deficit di 11,3 mm (pari al 10%).

Maggio

Nel mese di maggio 2024 in Piemonte sono caduti mediamente 231,3 mm di precipitazione, con un surplus precipitativo di 108,2 mm (pari all'88% circa) rispetto alla norma climatica del periodo 1991-2020. Si tratta del quinto mese di maggio più piovoso della serie storica calcolata dal 1958.

È stato un altro mese caratterizzato da precipitazioni abbondanti, anche a carattere temporalesco. Analizziamo la grandinata più significativa che ha colpito la città di Torino.

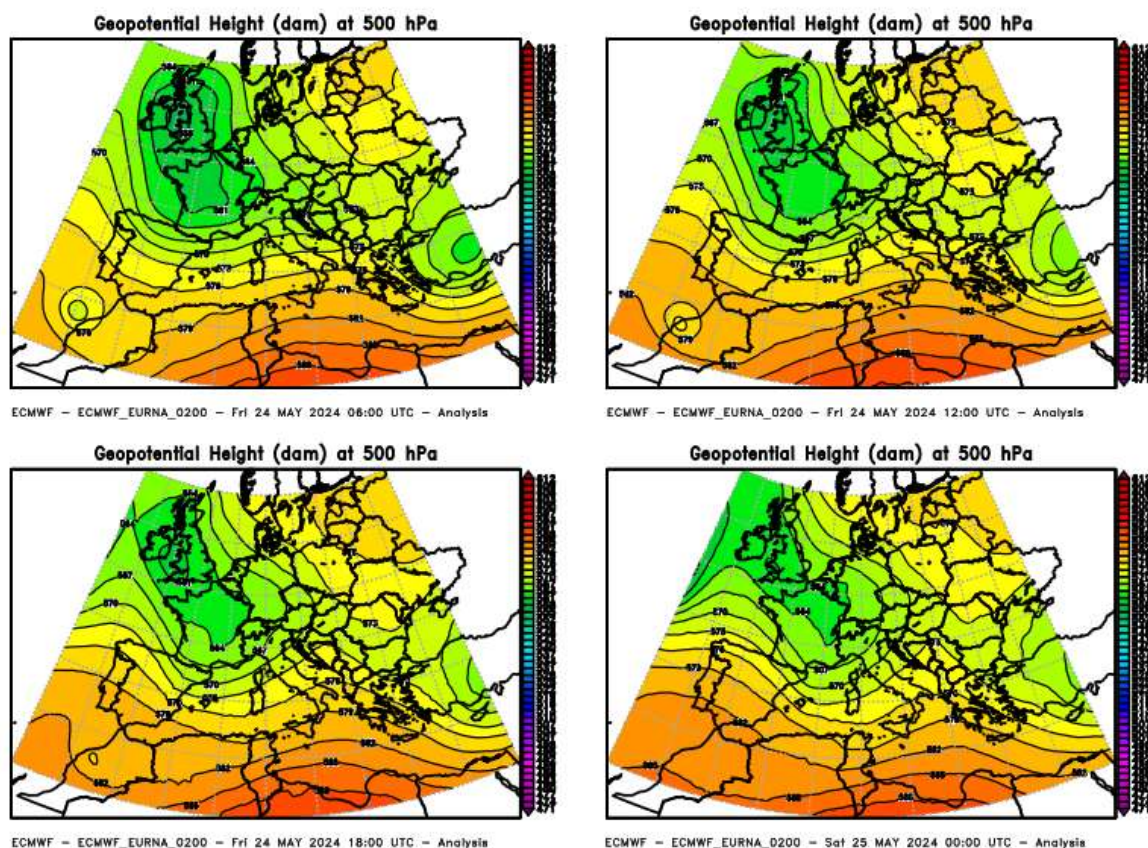


FIGURA 67: Evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 24 maggio 2024 e 00 UTC del 25 maggio 2024, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Nella giornata del 24 maggio una circolazione depressionaria con minimo sulle isole britanniche è evoluta in una saccatura che è traslata verso il territorio piemontese tra il pomeriggio e la serata (FIGURA 67 in basso) causando ancora lo sviluppo di forti temporali sul settore centrale della pianura piemontese.

Il fenomeno temporalesco più intenso si è verificato proprio sul capoluogo piemontese; a Torino Reiss Romoli è stato registrato il picco orario di precipitazione più alto del mese con 49,5 mm/h. I danni maggiori sono stati provocati dalla grandine con accumulo di 30 centimetri al suolo tra i quartieri Borgo Vittoria, San Donato, Aurora, Barriera di Milano, Rebaudengo e Regio Parco (FIGURA 68). Ne sono conseguiti rilevanti disagi alla circolazione stradale con diverse vie completamente bloccate dagli accumuli di grandine, oltre a numerosi allagamenti e alla caduta di alcuni alberi.



FIGURA 68: Un'immagine di piazza Baldissera a Torino nel tardo pomeriggio del 24 maggio 2024.

La temperatura media mensile è stata pari a circa 12,1°C, con un'anomalia termica negativa di 0,9°C rispetto alla norma del periodo 1991-2020.

Giugno

A giugno in Piemonte le precipitazioni sono state superiori alla norma degli anni 1991-2020, con 125,8 mm medi e un surplus di 31,3 mm (pari al 33%); giugno 2024 si pone al 10° posto tra i corrispondenti mesi più piovosi a partire dal 1958.

L'evento pluviometrico più rilevante si è verificato nel penultimo giorno del mese.

Nel corso della giornata di sabato 29 giugno, una circolazione depressionaria centrata tra la Spagna e le Baleari è risalita progressivamente tra la Francia orientale e le regioni alpine occidentali, richiamata dalla depressione principale presente sul Nord Europa, erodendo così il bordo più occidentale del campo di alta pressione di matrice africana presente sulla penisola italiana (FIGURA 69). La struttura anticiclonica aveva causato valori di temperatura massima sui 30-31°C in Piemonte nella giornata precedente, con picchi di quasi 34°C su Alessandrino e Astigiano, in condizioni atmosferiche calde e umide, con un elevato accumulo di energia potenziale favorevole allo sviluppo di fenomeni temporaleschi intensi.

Invece la bassa pressione era associata ad una goccia d'aria fredda in quota anch'essa in movimento dalla Spagna verso nordest.

Il movimento della depressione, e dei sistemi frontali associati, ha portato ad una decisa intensificazione delle correnti sul Piemonte, da sudovest negli strati più alti dell'atmosfera e da sud-

sudest negli strati medio-bassi, insieme ad infiltrazioni di aria più fresca in quota sui settori nordoccidentali e settentrionali della regione.

La concomitanza di questi fattori ha determinato l'innescò di rovesci e temporali intensi sulle zone di media e bassa valle nordoccidentali e settentrionali e sulla fascia pedemontana adiacente, enfatizzati dalla risalita delle masse di aria sui rilievi alpini.

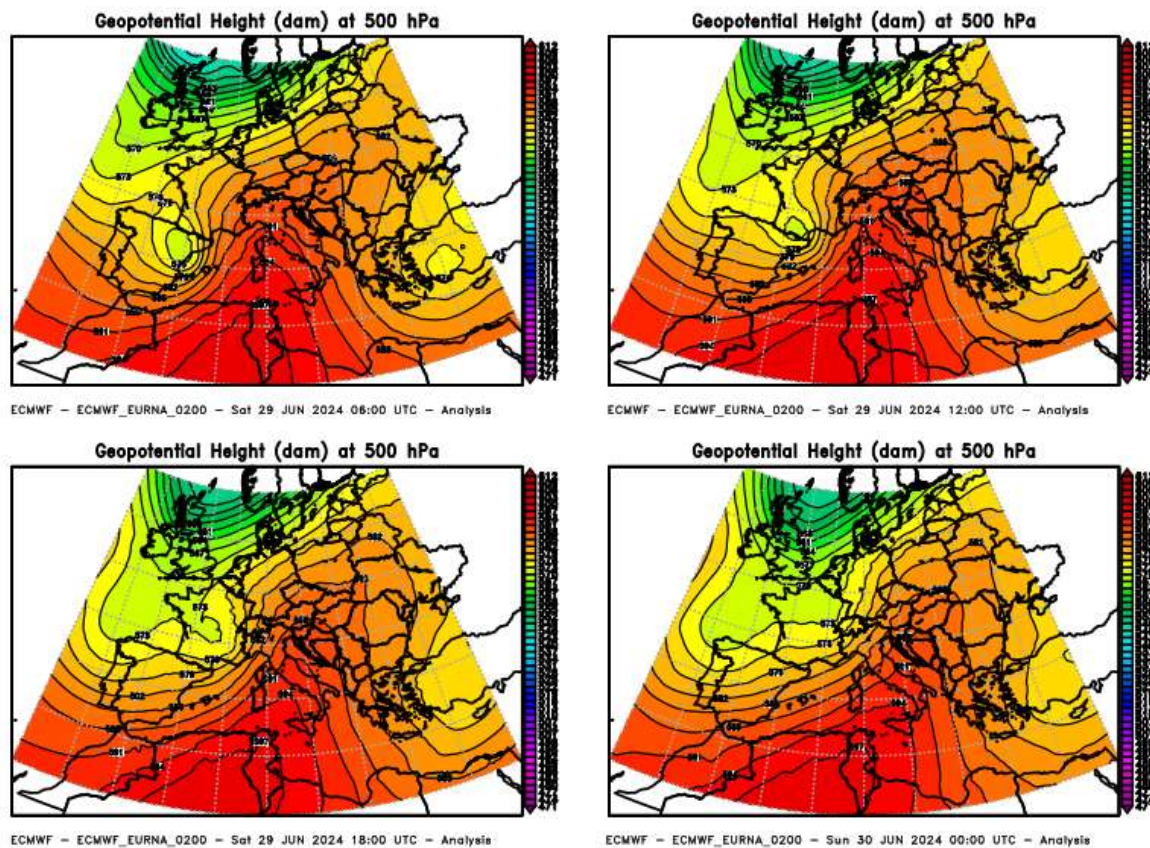


FIGURA 69: Andamento dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa (circa 5500 m) ogni 6 ore per la giornata di sabato 29 giugno 2024. Elaborazione di Arpa Piemonte su dati ECMWF.

I temporali si sono generati per più ore sulle medesime zone, determinando piogge molto intense e localmente stazionarie a causa del relativo blocco del campo di alta pressione, che non ha favorito il naturale spostamento del sistema perturbato verso est.

In serata, nella fascia oraria tra le 19 e le 21 UTC circa, un altro evento convettivo eccezionale si è sviluppato sulla zona pedemontana del Torinese. Una cella temporalesca si è innescata sulla fascia pedemontana, tra le valli Sangone e Chisone, e l'ha percorsa fino all'alto Canavese. Il temporale ha acquistato rapidamente il carattere di supercella di violenza eccezionale, in particolare nella zona compresa da Corio verso nord-est tra Forno Canavese, Busano, Castellamonte e Cuornè. Questa zona è stata interessata da grandinate eccezionali, con chicchi oltre i 5-8 cm di diametro e fino a massimi di circa 11-12 cm.

Nelle zone citate le piogge eccezionalmente intense hanno causato allagamenti, piene improvvise, colate detritiche ed erosioni spondali, localmente di grave intensità.

Dal punto di vista termometrico in Piemonte giugno 2024 ha avuto una temperatura media di circa 16,6°C, con un'anomalia termica negativa di 0,4°C rispetto alla media del periodo 1991-2020.

Luglio

In Piemonte luglio 2024 ha registrato una temperatura media di circa 20,7°C, con un'anomalia termica positiva di 1,4°C rispetto alla media del periodo 1991-2020, risultando il 7° mese di luglio più caldo dal 1958.

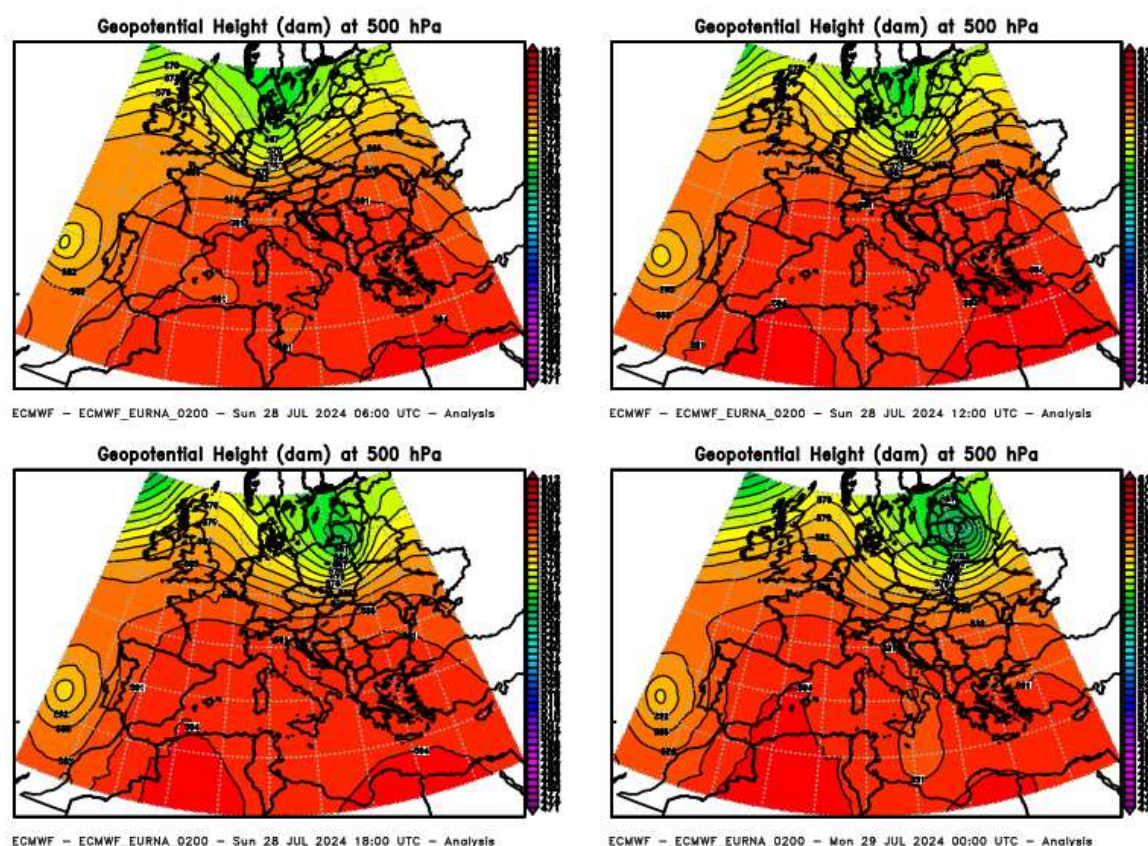


FIGURA 70: Evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 28 luglio 2024 e 00 UTC del 29 luglio 2024, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Il 28 luglio il Piemonte si è trovato sotto l'influenza di un'area di alta pressione di matrice africana che ha determinato condizioni di tempo generalmente stabile e poco nuvoloso sul territorio piemontese. Contemporaneamente a nord delle Alpi una saccatura è tralasciata dalla Germania verso l'Europa orientale, convogliando una circolazione da nordovest a media e alta quota sul Piemonte, con un debole effetto favonico che ha incrementato la subsidenza indotta dalla struttura anticiclonica (FIGURA 70). È stato il giorno in cui la maggioranza dei capoluoghi piemontesi ha registrato la temperatura più alta dell'anno.

Per quanto riguarda la piovosità, luglio 2024 ha avuto una precipitazione media di 52,9 mm sul territorio piemontese, con un'anomalia negativa di 13,5 mm rispetto alla norma degli anni 1991-2020 (ovvero corrispondente al -20%), ed è risultato il 28° mese di luglio meno piovoso degli ultimi 67 anni.

Agosto

Sul territorio piemontese agosto 2024 ha registrato una temperatura media di circa 21,6°C, con un'anomalia termica positiva di 2,5°C rispetto alla climatologia del periodo 1991-2020, risultando il 2° mese di agosto più caldo dal 1958, preceduto soltanto dal 2003. È risultato invece il mese con le temperature minime più elevate, superando ancora agosto 2003 per soli 0,04°C. Di conseguenza è stato anche il mese più caldo dell'anno 2024.

L'11 agosto il Piemonte è stato interessato da un'area di alta pressione di matrice africana avente i massimi tra l'Italia e la penisola balcanica (FIGURA 71). Tale giornata è risultata la più calda dell'anno 2024 sul territorio piemontese considerato nella sua globalità. Nei due giorni successivi la pressione ha iniziato a calare a causa del progressivo avvicinamento di una struttura depressionaria. Tuttavia, nei bassi strati atmosferici è perdurata la presenza di aria calda; il 12 agosto la media delle temperature massime in pianura ha raggiunto il valore più alto dell'anno con 33,5°C mentre il 13 agosto 2024 i 37,8°C raggiunti a Sezzadio (AL) rappresentano il picco termico annuale.

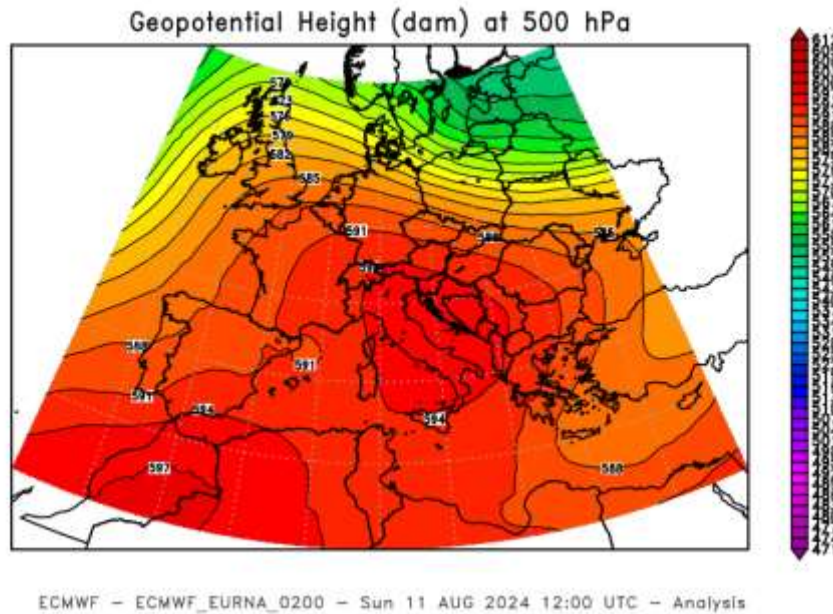


FIGURA 71: Altezza di geopotenziale a 500 hPa alle ore 12 UTC dell'11 agosto 2024. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Dal punto di vista pluviometrico ha avuto una precipitazione media di 52,6 mm, con un deficit di 23,6 mm (pari al 31%) rispetto alla norma degli anni 1991-2020, ed è risultato il 12° mese di agosto meno piovoso degli ultimi 67 anni. Tuttavia si sono verificati diversi intensi episodi temporaleschi e ora analizziamo il più significativo.

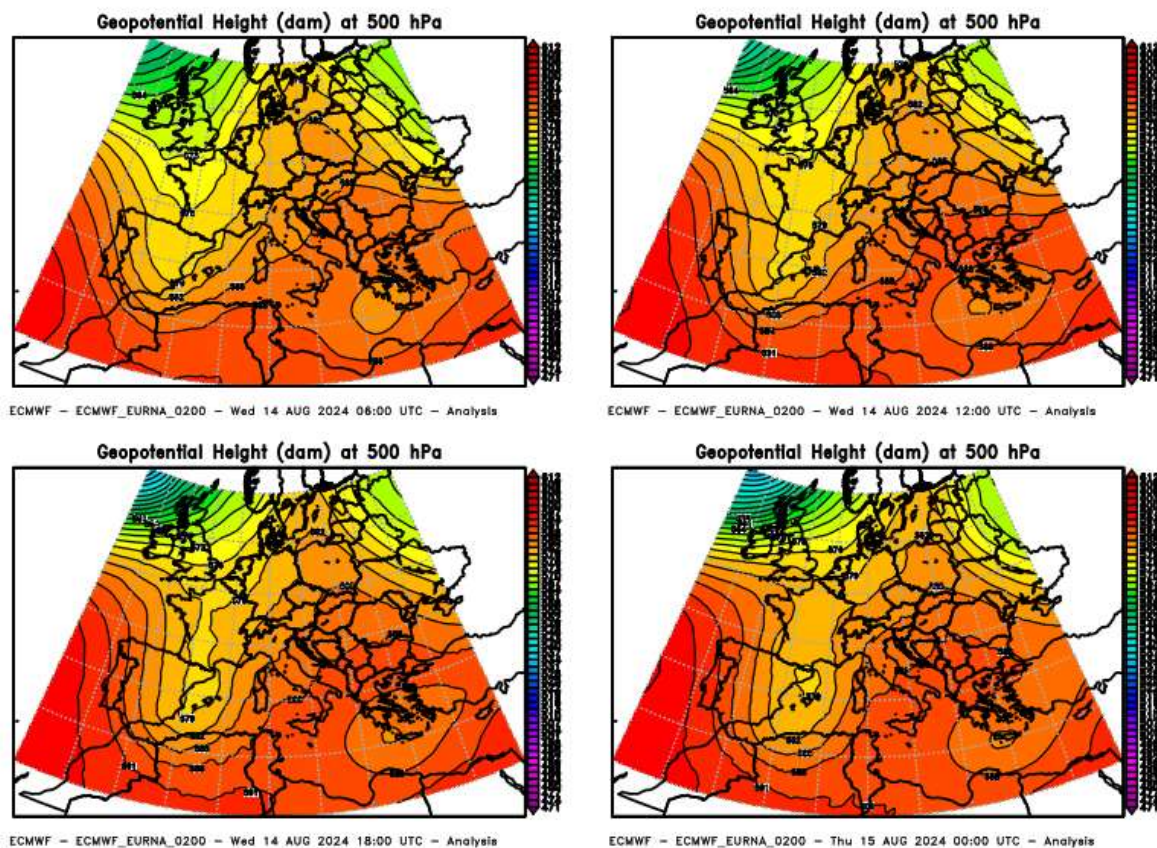


FIGURA 72: Evoluzione dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa (dam) tra le ore 06 UTC del 14 agosto 2024 e 00 UTC del 15 agosto 2024, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Nel corso della giornata di mercoledì 14, una saccatura estesa dalle Isole Britanniche alla Penisola Iberica e al Mediterraneo occidentale si muoveva lentamente verso est, evolvendo verso una situazione di isolamento del minimo barico (cut-off) in prossimità delle isole Baleari (FIGURA 72).

Questa configurazione sinottica ha determinato, sul Piemonte, l'afflusso di correnti sudoccidentali umide in quota, associate a modeste infiltrazioni di aria relativamente più fresca.

L'arrivo delle correnti più umide e instabili è risultato successivo all'intensa ondata di caldo afoso sulla regione, associata anche ad alta umidità relativa.

L'atmosfera risultava instabile e il profilo atmosferico notevolmente umido in tutta la troposfera, la situazione era favorevole allo sviluppo di fenomeni temporaleschi localmente intensi.

Nella prima parte del pomeriggio i temporali sono diventati più intensi e diffusi, interessando anche la zona di Torino e il Cuneese, mentre lo scroscio più intenso si è verificato sui bacini del Chisone e del Sangone.

La città di Torino è stata interessata da un violento nubifragio, accompagnato da grandine di medie dimensioni, e raffiche di vento superiori a 50-60 km/h; di conseguenza si sono registrati allagamenti e cadute di alberi.

La genesi del temporale che ha investito Torino è probabilmente da attribuire alla convergenza di venti nei bassi strati atmosferici. La FIGURA 73 mostra le misure di velocità e direzione della raffica di vento registrate dalla rete osservativa regionale alle 14 UTC, ovvero in prossimità delle fasi di innesco del temporale. Si può notare come i venti da sudest sul basso Piemonte, in uscita dai temporali sul confine ligure, abbiano creato una convergenza con i venti di uscita dai temporali (outflow) presenti sui settori alpini del Torinese. Questo è molto probabilmente il meccanismo che ha innescato il temporale, poi sviluppatosi grazie all'instabilità atmosferica presente.

Le precipitazioni più intense si sono registrate a Pinerolo (TO) e Fenestrelle (TO).

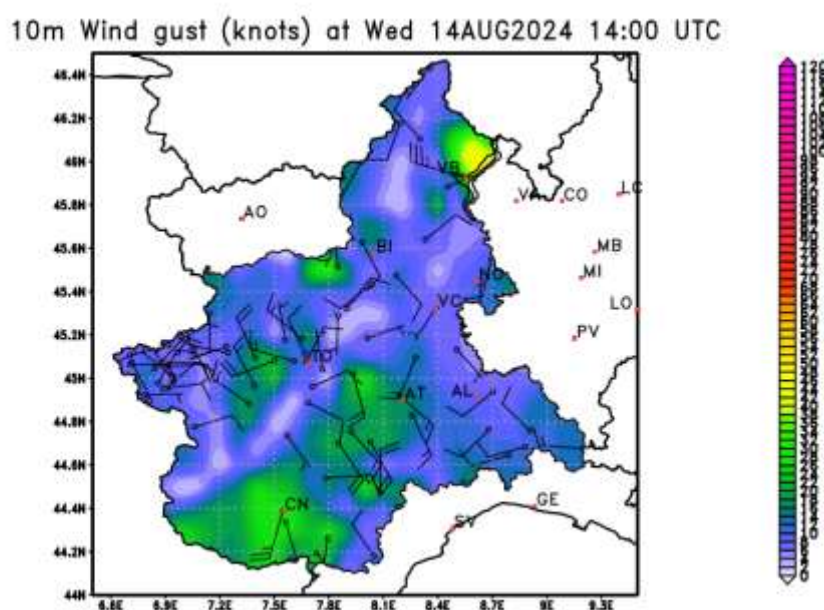


FIGURA 73: Raffica di vento a 10 m in nodi registrata alle ore 14 UTC dagli anemometri della rete osservativa di Arpa Piemonte.

La stazione portatile MAWS collocata sul tetto della sede di Arpa Piemonte ha registrato una massima raffica di 60,5 km/h alle 14:20 UTC (16:20 locali), pochi minuti dopo l'inizio delle precipitazioni: il valore e le tempistiche sono coerenti con l'arrivo del downdraft associato al temporale. Contemporaneamente la stazione ha registrato un brusco calo delle temperature da 30,9 °C a 17,3 °C in 10 minuti.

Merita una citazione l'assenza di episodi di foehn nel mese, come già successo nel 2007 e nel 2015.

Settembre

Nel mese di settembre 2024 in Piemonte le precipitazioni sono state superiori alla norma degli anni 1991-2020, con 151,8 mm medi ed un surplus di 50,3 mm (pari al 50%). È stato l'undicesimo mese di settembre più ricco di precipitazioni degli ultimi 67 anni.

Analizziamo l'evento pluviometrico nel corso del quale si è verificato il giorno più piovoso dell'anno. Nel corso della giornata di mercoledì 4 un'area depressionaria con minimo principale centrato a ridosso delle isole britanniche si è estesa verso sud fino alla penisola iberica ed alle coste settentrionali nordafricane, posizionandosi tra due aree di alta pressione, la prima ad ovest associata all'anticiclone delle Azzorre, la seconda ad est estesa dal mar Egeo fino alla Russia (FIGURA 74).

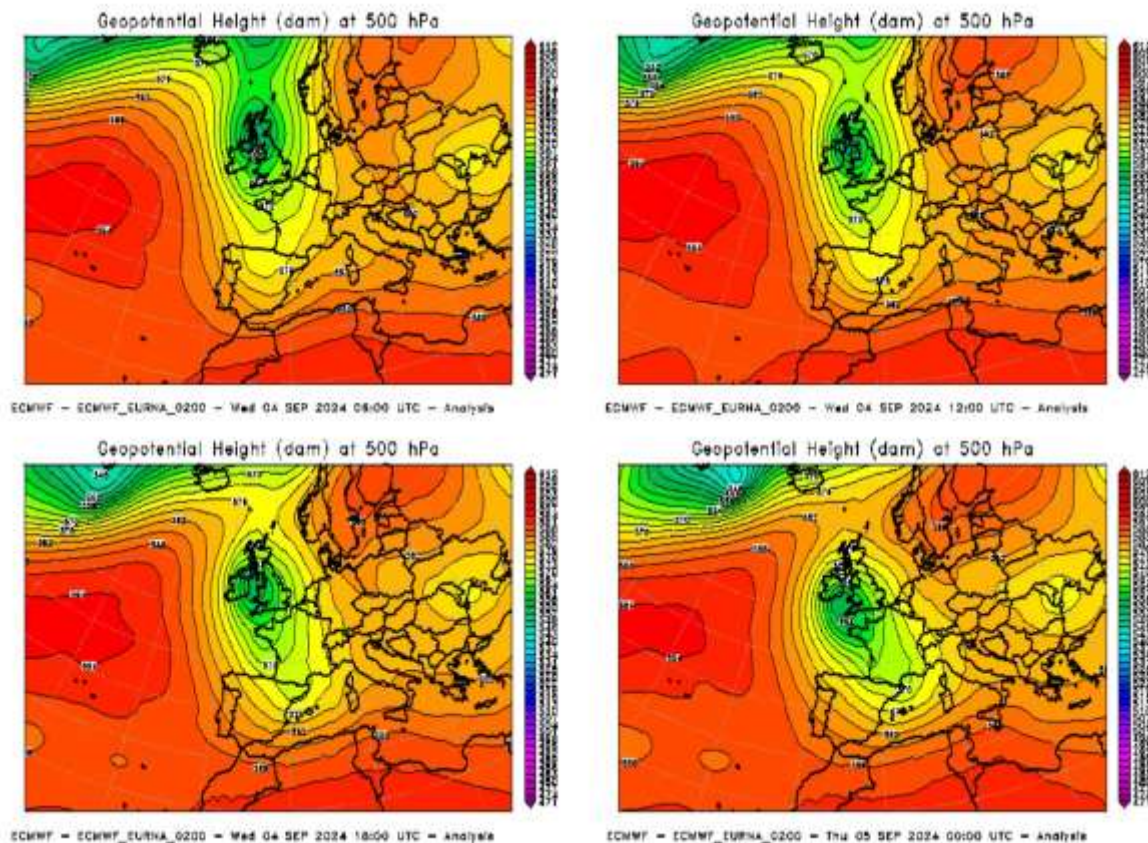


FIGURA 74: Evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa ogni 6 ore nella giornata di mercoledì 4 settembre 2024. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

In questo contesto il Piemonte è stato esposto nel corso della giornata a correnti umide dai quadranti meridionali che hanno favorito condizioni di instabilità sempre più marcate, in particolare dalla tarda serata, quando i fenomeni precipitativi hanno subito un'intensificazione in corrispondenza del rafforzamento dei flussi umidi a tutte le quote che, interagendo con l'orografia alpina, hanno determinato gli apporti pluviometrici più significativi a ridosso delle vallate del Torinese. I rovesci e temporali hanno interessato inizialmente i settori occidentali e settentrionali, successivamente si sono estesi alle zone di pianura e collina tra Torinese, Astigiano ed Alessandrino nel corso del pomeriggio, per intensificarsi nel corso della serata e divenire diffusi a ridosso delle vallate occidentali e nordoccidentali.

Nella giornata di giovedì 5 la circolazione depressionaria si è spostata verso sud localizzandosi sul golfo di Biscaglia mentre il suo bordo più orientale ha interessato direttamente il nord Italia e l'alto Tirreno (FIGURA 74). Tra il mar Ligure e il Tirreno settentrionale si è approfondito un minimo al livello del mare fin dalle prime ore della giornata, il cui effetto è stato quello di causare un ulteriore rafforzamento dei flussi dai quadranti orientali nei bassi strati atmosferici. Tali correnti hanno interagito con l'orografia alpina, apportando precipitazioni diffuse ed intense a ridosso delle vallate alpine occidentali e nordoccidentali al mattino, per poi persistere in giornata in particolare sulla fascia nordoccidentale e settentrionale.

Nel corso del pomeriggio, i fenomeni precipitativi si sono progressivamente attenuati sui settori alpini di media e bassa valle del Torinese, ovvero le aree che fino a quel momento avevano registrato le precipitazioni cumulate più significative, ma sulle zone di pianura e collina sono rimaste ancora condizioni di instabilità, in grado di innescare rovesci e temporali anche forti.

Solo nella notte si è gradualmente ripristinata la stabilità atmosferica sul Piemonte, grazie alla graduale rimonta dei valori di pressione in quota, in corrispondenza della traslazione verso nordest del bordo orientale della circolazione depressionaria (FIGURA 75).

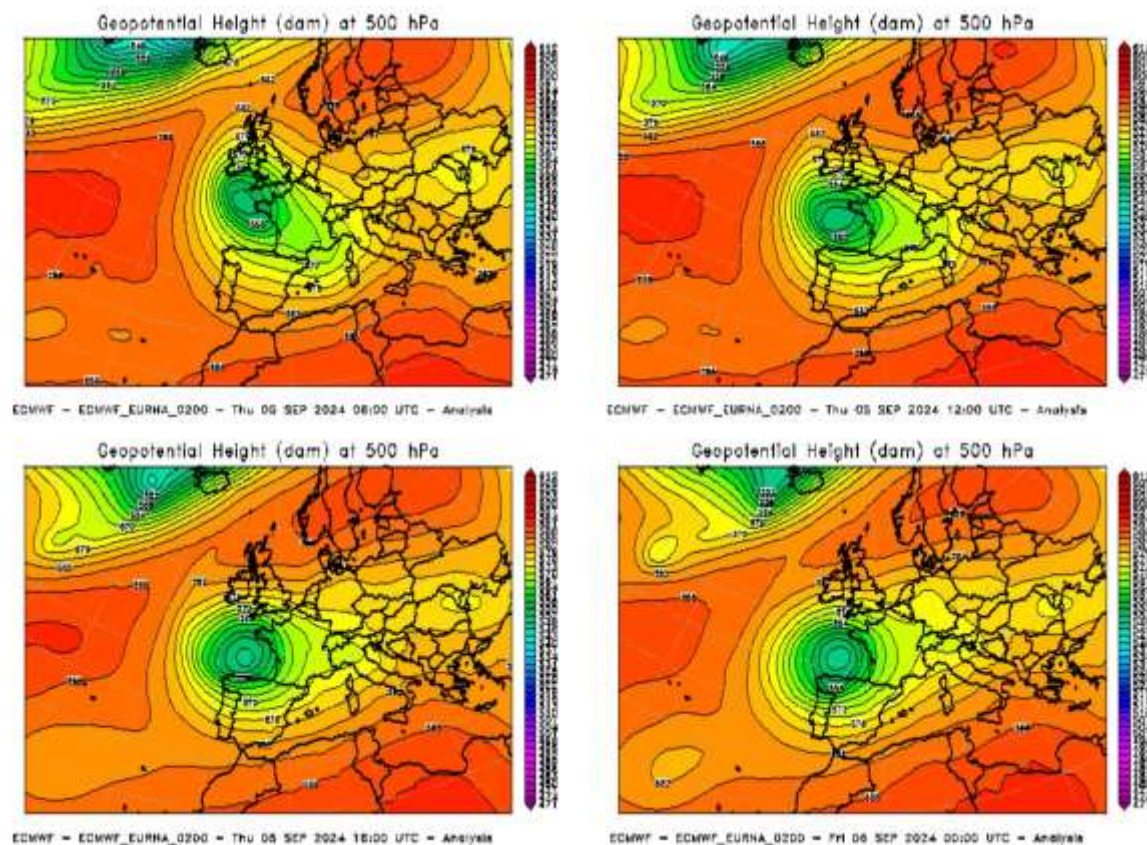


FIGURA 75: Evoluzione dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa ogni 6 ore nella giornata di giovedì 5 settembre 2024. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Il 5 settembre è risultato il giorno più piovoso dell'anno con ben 51,5 mm medi sul territorio regionale: a Balme (TO) nelle valli di Lanzo è stato registrato il valore cumulato in 24 ore più elevato dell'anno con 233,7 mm. Record di precipitazione annuale in 24 ore a Noasca (TO) e Pietrastretta (TO) con 186,6 e 163,8 mm rispettivamente.

Per quanto riguarda il reticolo fluviale, incrementi significativi sono stati registrati nella mattina del 5 settembre per i corsi d'acqua montani e pedemontani occidentali e nord-occidentali.

Le abbondanti precipitazioni hanno determinato anche l'attivazione di diversi dissesti. La provincia di Torino è stata quella più colpita, qui sono stati segnalati smottamenti, colate detritiche e disagi alle vie di comunicazione, in particolare in Val Chisone, Valle di Susa, Val Cenischia e Valli di Lanzo.

Dal punto di vista termometrico in Piemonte settembre 2024 ha avuto una temperatura media di circa 14,3°C, con un'anomalia termica negativa di 0,5°C rispetto alla norma climatica del periodo 1991-2020.

Ottobre

In Piemonte ottobre 2024 ha avuto una precipitazione media di 295,9 mm sul territorio piemontese, con un consistente surplus pluviometrico di 179,9 mm (pari al 155%) rispetto alla norma degli anni 1991-2020, e si pone al 5° posto tra i corrispondenti mesi più piovosi degli ultimi 67 anni; è risultato anche il mese più ricco di precipitazioni dell'anno 2024.

Ha avuto una temperatura media di circa 11,9°C, con un'anomalia termica positiva di 1,6°C rispetto alla norma climatica del periodo 1991-2020, ed è risultato l'ottavo più caldo dell'intera serie storica dal 1958.

È stato quindi un mese mite e piovoso, con tre rilevanti eventi pluviometrici. Analizziamo quello in cui si sono verificati i picchi pluviometrici annuali in 6 e 12 ore sull'Appennino alessandrino.

L'8 ottobre il Piemonte è stato interessato dal transito di una saccatura connessa a una circolazione depressionaria avente il minimo in prossimità delle isole britanniche (FIGURA 76) che ha convogliato aria umida da sud, sudovest in quota sul territorio piemontese. In tale configurazione barica si sono verificate precipitazioni diffuse su tutta la regione nella prima parte della giornata, localmente molto forti e a carattere temporalesco sull'Appennino al confine con la Liguria.

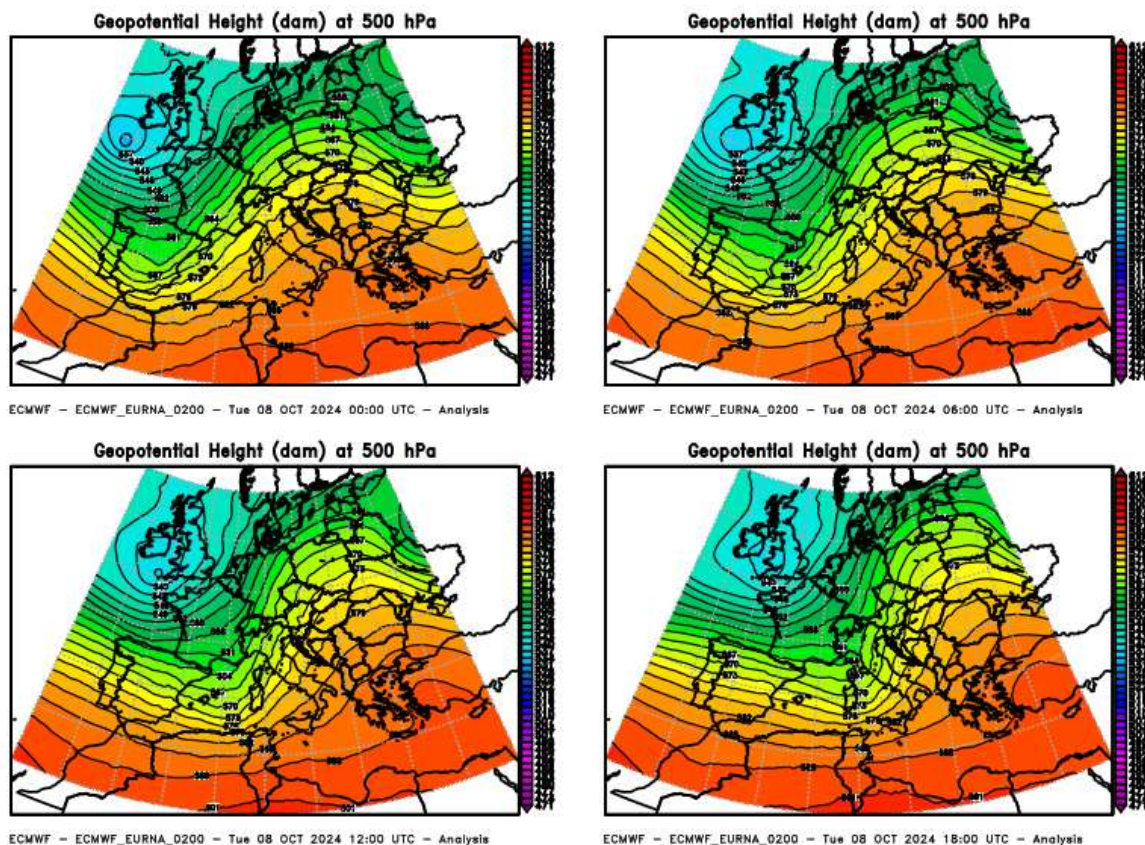


FIGURA 76: Evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 00 e 18 UTC dell'8 ottobre 2024, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Al livello del mare, l'ingresso della saccatura sul Mediterraneo ha determinato la formazione di un minimo barico secondario sul Golfo del Leone (FIGURA 77 a sinistra), anche se non particolarmente profondo (circa 1000 hPa). La formazione di questo minimo al livello del mare ha favorito la rotazione delle correnti da sud-sudest nei bassi strati sul mar Ligure mentre in Pianura Padana era presente una circolazione da nord, nordest (FIGURA 77 a destra). In tali condizioni, alle 6 UTC, ora di massima intensità delle precipitazioni, era presente una marcata convergenza tra lo scirocco caldo e umido sul mar Ligure, e la tramontana più fredda che traboccava dalla Pianura Padana e si gettava sul mare dai varchi a bassa quota presenti sull'Appennino.

Questa forte convergenza, alimentata da aria umida e instabile da sudest e insistente per diverse ore sulla stessa area, ha prodotto temporali auto-rigeneranti e stazionari, associati a piogge localmente molto intense e concentrate.

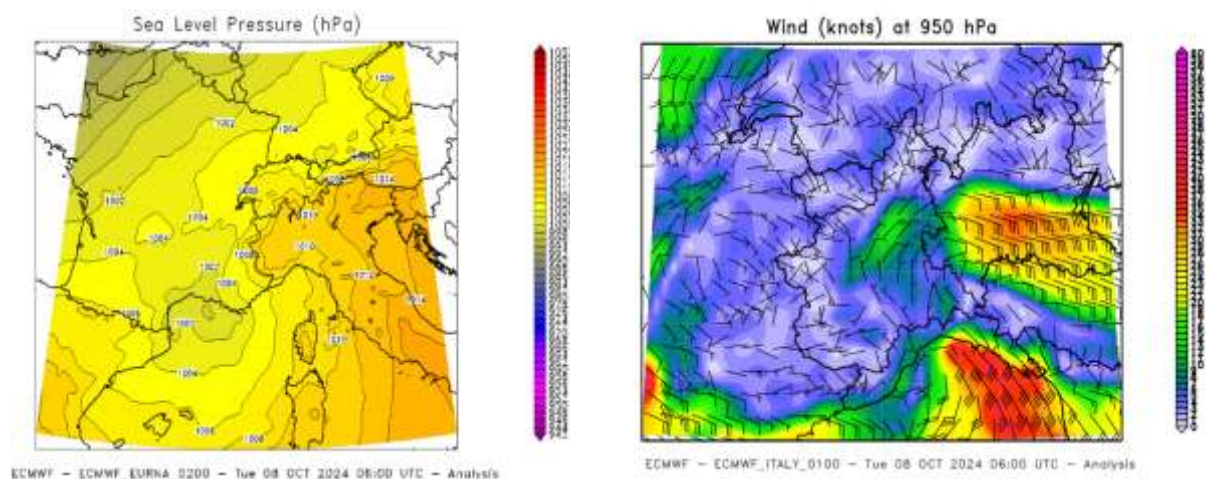


FIGURA 77: Pressione ridotta al livello del mare in hPa (sinistra) e vento in nodi a 950 hPa (destra) alle ore 06 UTC dell'8 ottobre 2024. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Nella FIGURA 78 vediamo la mappa delle precipitazioni cumulate nelle prime 12 ore dell'8 ottobre sul Piemonte; in tale mezza giornata al lago di Lavagnina, sull'Appennino alessandrino sono stati registrati i picchi più elevati dell'anno su 6 e 12 ore con 181,7 mm/6h e 224,2 mm in 12 ore.

Anche nel Cuneese, sempre al confine con la Liguria, sono stati registrati valori cumulati di precipitazione superiori ai 100 mm totali. Nel Verbano sono state registrate precipitazioni comprese tra i 55 e 100 mm, nelle restanti zone montane la precipitazione è stata superiore ai 55 mm mentre nelle zone collinari, pedemontane e di pianura è stata inferiore a 40 mm.

Le precipitazioni cadute hanno determinato incrementi significativi nei corsi d'acqua del Piemonte meridionale, quindi Corsaglia, Scrivia, Orba, Bormida e Tanaro con locali superamenti dei livelli di guardia.

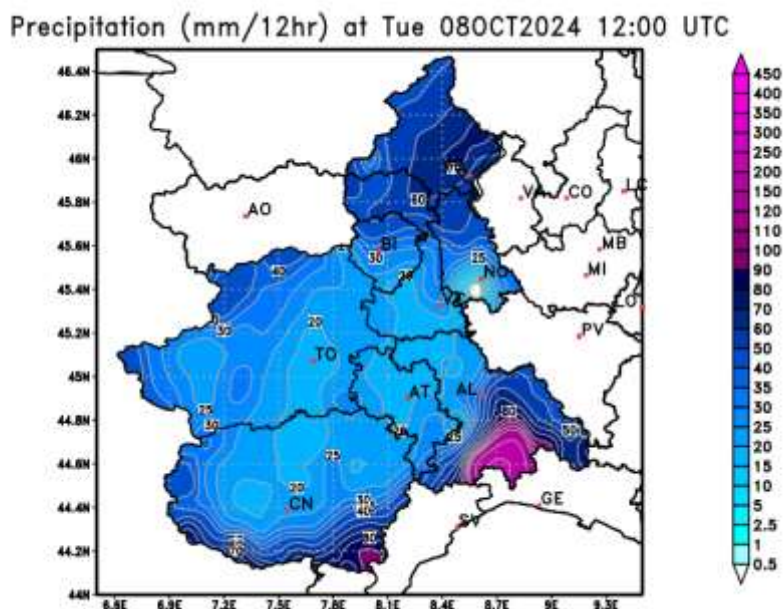


FIGURA 78: Precipitazione registrata tra le ore 00 e 12 UTC dell'8 ottobre 2024.

Novembre

In Piemonte novembre 2024 ha registrato una temperatura media di circa 6,1°C, con un'anomalia termica positiva di 0,9°C rispetto alla norma climatica del periodo 1991-2020, risultando il 9° mese di novembre più caldo dal 1958.

Inoltre, novembre 2024 ha avuto una precipitazione media di 19,9 mm, con un deficit pluviometrico di 113 mm (pari all'85%) rispetto alla norma degli anni 1991-2020, e si pone all'8° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi degli ultimi 67 anni.

In tale mese in Piemonte si sono verificati 24 episodi di nebbia ordinaria (visibilità inferiore ad 1 km), in numero superiore rispetto ai 19 attesi dalla climatologia recente del periodo 2004-2023; si tratta del secondo valore mensile più elevato dopo i 25 giorni del 2011 dall'anno dell'installazione dei visibilimetri Arpa (2004).

Si sono registrati 11 eventi di nebbia fitta (visibilità inferiore a 100 m), nettamente superiori ai 3 della media climatica degli anni 2004-2023; anche in questo caso rappresenta il secondo valore più alto dopo i 18 episodi del 2011.

Dicembre

In Piemonte dicembre 2024 ha registrato una temperatura media di 3,3°C, valore superiore di 1,5°C rispetto alla norma climatica del periodo 1991-2020, risultando il settimo mese di dicembre più caldo degli ultimi 68 anni.

Ha avuto una precipitazione media di 13,3 mm, con un deficit pluviometrico di 44,1 mm (pari a -77%) rispetto alla norma degli anni 1991-2020, e si pone al 5° posto tra i corrispondenti mesi meno ricchi di precipitazione degli ultimi 67 anni. È stato il mese con meno precipitazioni dell'anno 2024.

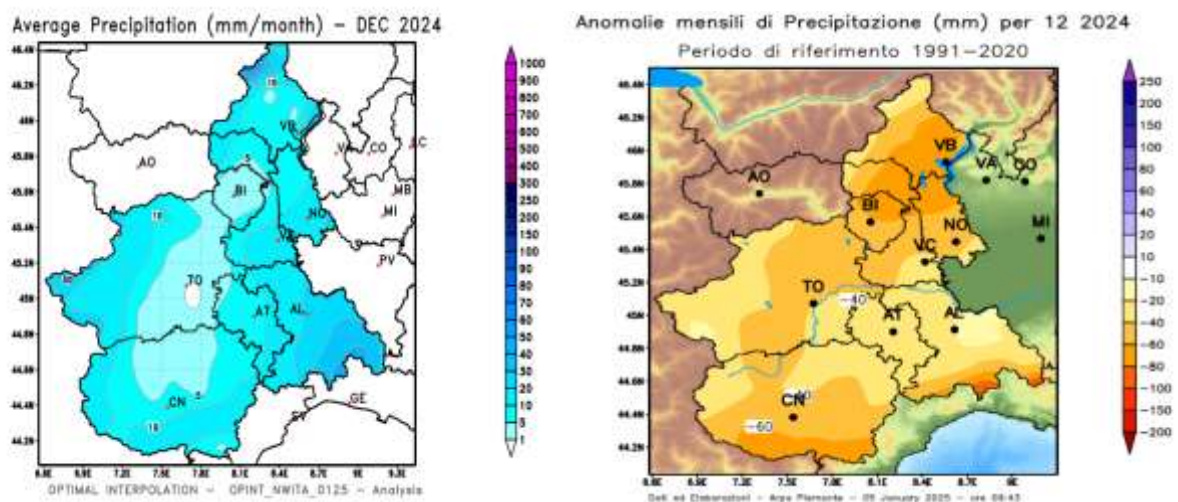


FIGURA 79: Precipitazione mensile (sinistra) e anomalia rispetto alla climatologia degli anni 1991-2020 (destra sul Piemonte nel mese di dicembre 2024).

In tale mese su tutto il territorio piemontese si è registrato un deficit pluviometrico, più marcato (nel range tra i -60 mm e i -80 mm rispetto alla media) nella zona del lago Maggiore, dell'alto Vercellese, parte del Biellese e nelle zone di confine della Liguria. Le aree che hanno registrato i valori minori di precipitazione mensile sono le zone di pianura del Torinese, Cuneese e Biellese (FIGURA 79).

I DATI METEO MISURATI NEL 2024

Al termine della caratterizzazione meteorologica, si è ritenuto interessante effettuare l'analisi dei dati meteorologici misurati dalle stazioni a terra nell'anno 2024, limitata all'andamento delle variabili meteorologiche maggiormente significative in rapporto al decennio precedente 2014-2023.

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 2024 per la stazione risulta pari a 14,4 °C, quindi superiore sia alla media dei dati rilevati negli ultimi dieci anni nella stessa stazione di Torino-Giardini Reali (14,2 °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 2014-2023 (FIGURA 80). Si segnalano valori significativi di temperatura superiori alla media climatologica nei mesi di febbraio (+2,4°C), marzo (+0,7), agosto (+1,6°C) e ottobre (+1,0°C). Le differenze negative più significative rispetto alle relative medie del decennio precedente si riscontrano nei mesi di maggio (-1,2°C), giugno (-1,6) e settembre (-1,1°C).

Il valore più basso delle temperature medie mensili è stato registrato nel 2024 nel mese di dicembre ed è pari a 4,4 °C, mentre nel decennio di riferimento il mese più freddo è gennaio con 3,7°C. Il valore massimo è stato registrato nel 2024 nel mese di agosto ed è di 25,8°C, invece nel decennio climatologico 2014-2023 il picco termico è nel mese di luglio con 25,2°C.

Dal confronto grafico fra l'andamento dei dati orari acquisiti nel corso del 2024 e l'intervallo di valori medi studiato a partire dai minimi e dai massimi assoluti registrati mensilmente nel decennio precedente (FIGURA 81), si osserva che le temperature si sono mantenute pressoché inferiori ai valori medi dei massimi assoluti registrati mensilmente nel decennio di riferimento (linea nera) ad eccezione di alcuni valori nel mese di gennaio, febbraio e aprile. Infatti, è stato un anno caldo, ma senza picchi termici di rilievo. In tutti i mesi dell'anno le temperature hanno raggiunto valori al di sotto dei valori minimi assoluti (oltre la linea grigia dell'andamento dei minimi assoluti registrati mensilmente nel decennio 2014-2023) a causa del fatto che il periodo 2014-2023 è stato un decennio caldo.

Per quanto riguarda le precipitazioni atmosferiche, l'analisi dei dati statistici evidenzia per l'anno 2024 (FIGURA 82) un totale di precipitazioni di 1442 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 99. Quindi il 2024 risulta più piovoso rispetto alla media 2014-2023, sia in termini di precipitazioni totali (1442 mm contro 918 mm di media), sia per il numero di giorni piovosi (99 giorni nel 2024 contro 78 giorni di media).

Il 2024 si colloca al primo posto tra gli anni più 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 2024 (14,6 mm pioggia/giorno), nel 2016 (14,1 mm pioggia/giorno) e nel 2014 e 2015 (13,5 mm pioggia/giorno), mentre il valore più basso è stato registrato nel 2022 (6,6 mm pioggia/giorno). Nel 2024 l'intensità giornaliera media è risultata superiore a quella del decennio di riferimento (14,6 mm pioggia/giorno contro una media di 11,5 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 Piemonte³³, 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;

³³ "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.

- 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) ³⁴.

Nel grafico illustrato in FIGURA 83 è riportato il confronto tra l'andamento delle precipitazioni totali mensili per il 2024 e le precipitazioni medie mensili (media delle sommatorie mensili) del decennio 2014-2023. Il decennio di riferimento rientra nel regime pluviometrico "continentale alpino" per il minimo principale a gennaio (38,3 mm), per il massimo principale a maggio (118,5 mm) e per il massimo secondario in estate a giugno (115,8 mm).

Il 2024 si discosta dal "regime pluviometrico continentale alpino" in quanto il massimo secondario si registra in autunno a ottobre (267 mm) e non in estate, il massimo principale a maggio (272,3 mm) ed il minimo principale a dicembre (2,1 mm).

Un'ulteriore elaborazione è stata effettuata aggregando gli stessi dati di precipitazione su base trimestrale. Nella FIGURA 84 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 2024 le precipitazioni sono superiori alla media climatologica in tutti e quattro i trimestri.

Va comunque sottolineato che le osservazioni sopra riportate sulle caratteristiche di piovosità relative all'anno 2024 devono essere valutate alla luce delle seguenti considerazioni:

- l'arco temporale (decennio 2014-2023) utilizzato per il confronto risulta comunque ridotto;
- la rappresentatività spaziale è limitata alla città metropolitana.

³⁴ Mennella C. (1967) - Il clima d'Italia. Vol. I, ed. E.D.A.R.T., Napoli. I, pp. 157-178. Biancotti A. (1996) - Corso di geografia fisica - Geomorfologia strutturale. Le misure in geografia fisica. Ed. Litocoo Srl Tortona, 2, 126 p.

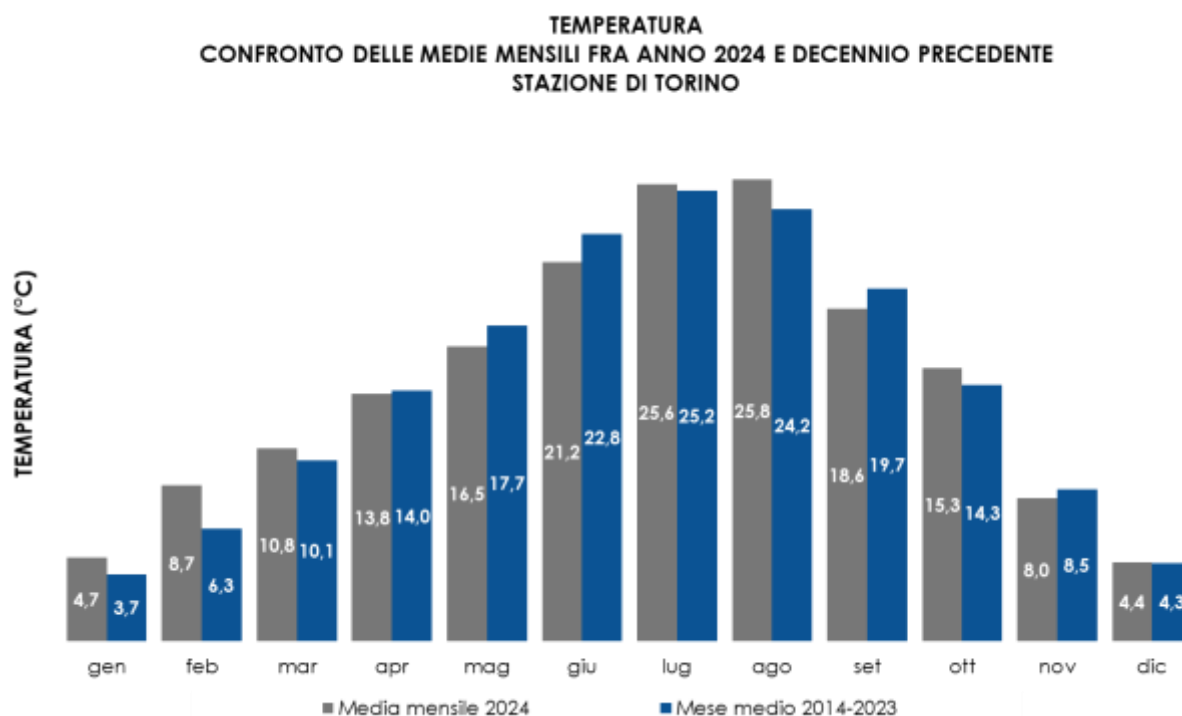


FIGURA 80: temperatura: valori medi mensili per l'anno 2024 e per il decennio 2014÷2023 per la stazione di Torino.

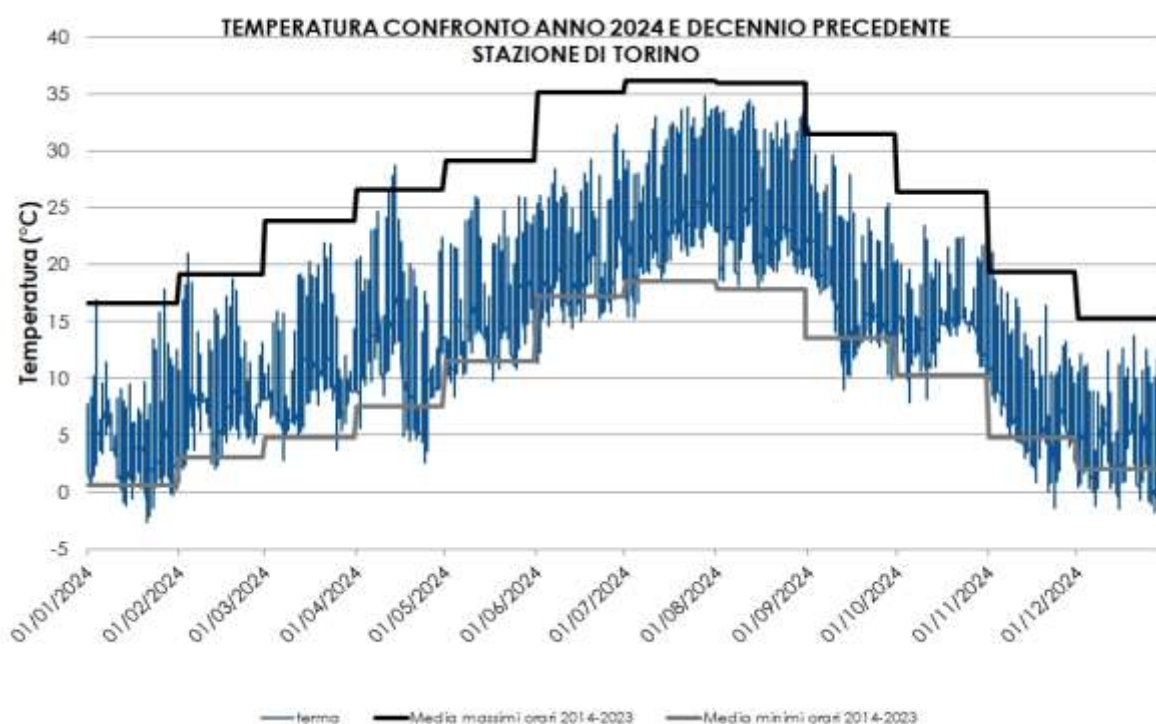


FIGURA 81: temperatura: valori orari per l'anno 2024 e medie dei minimi e dei massimi assoluti registrati nel decennio 2014÷2023 presso la stazione di Torino.

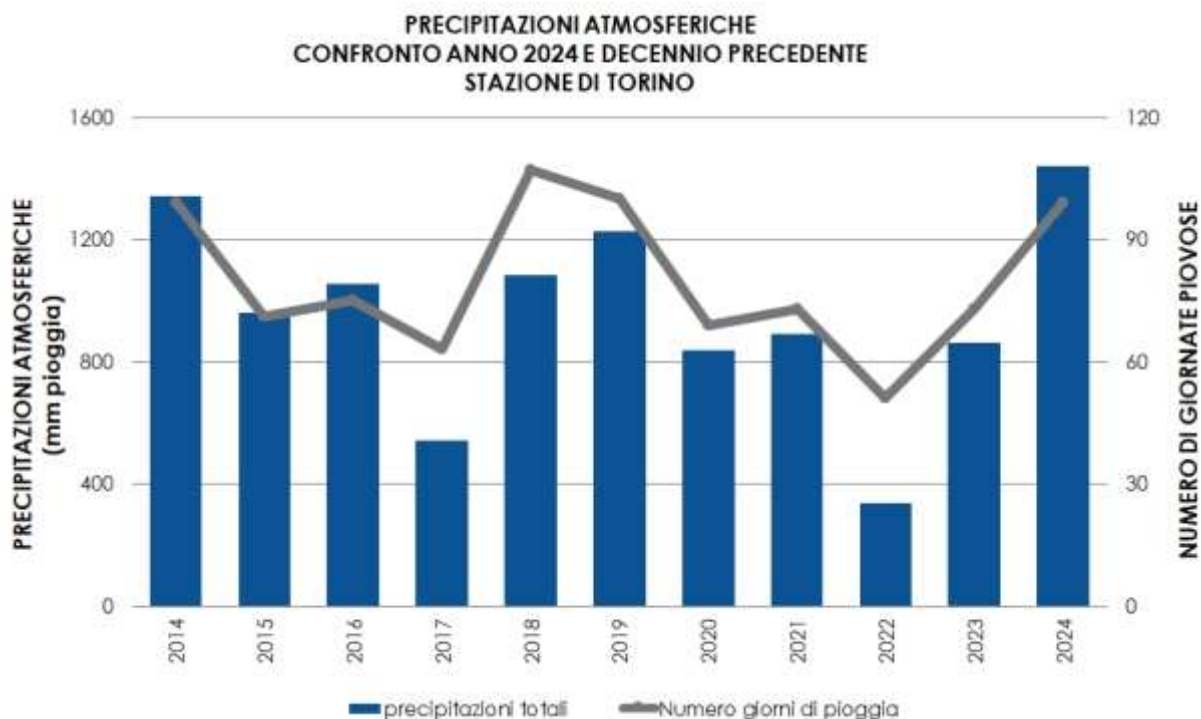


FIGURA 82: precipitazioni atmosferiche: sommatorie annuali e media del decennio in termini di quantità di precipitazioni e di numero di giornate piovose per la stazione di Torino.

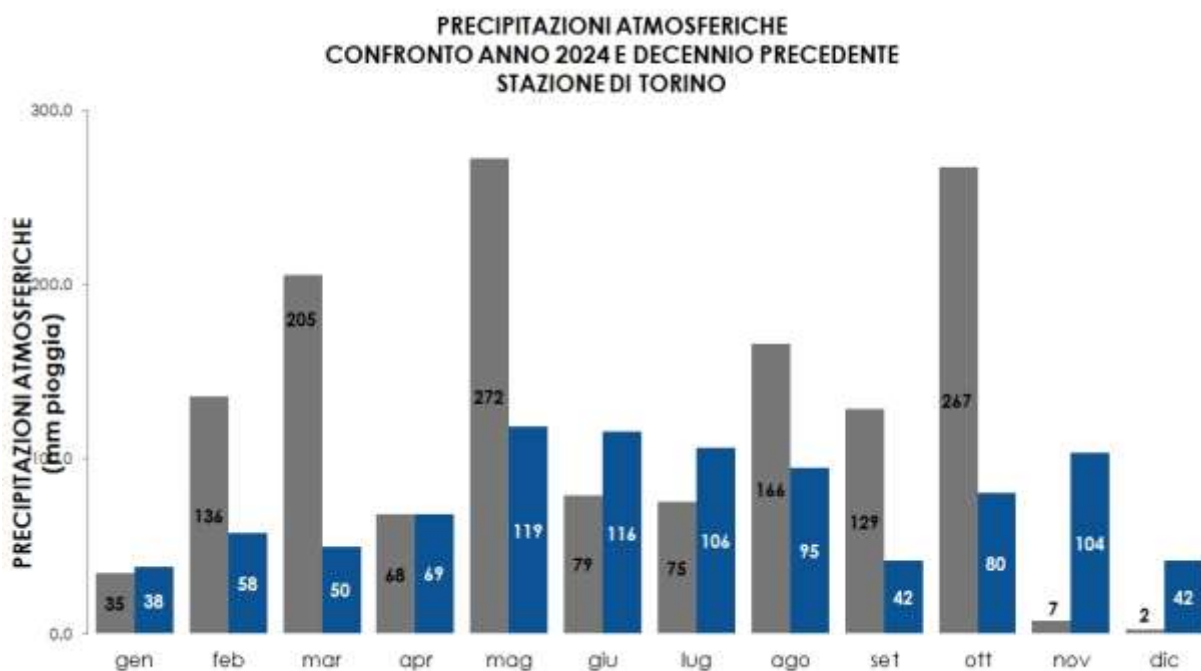


FIGURA 83: precipitazioni atmosferiche: sommatorie mensili per l'anno 2024 (barre grigie) e medie mensili (barre blu) relative al decennio 2013÷2022 per la stazione di Torino.

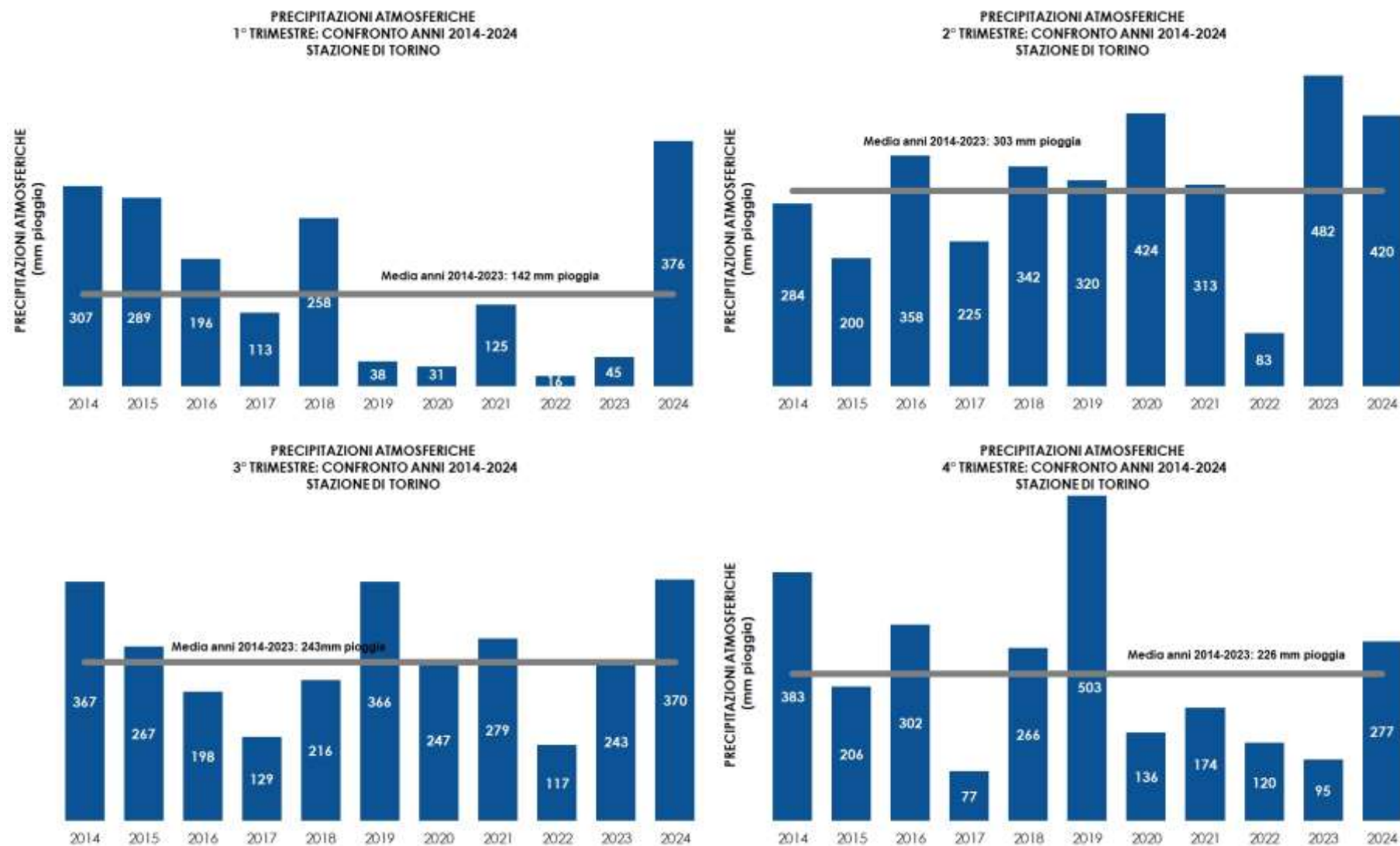


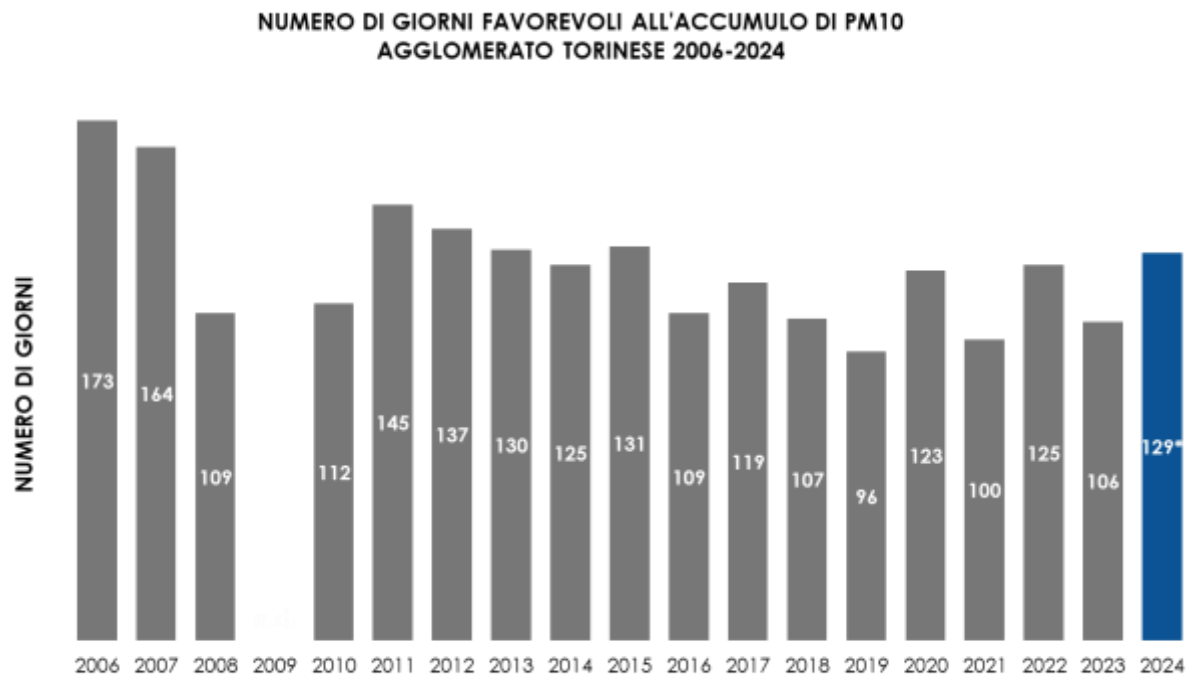
FIGURA 84: precipitazioni atmosferiche: sommatorie trimestrali relative al periodo 2014÷2024 per la stazione di Torino.

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 2024 è stato complessivamente molto più piovoso e leggermente più caldo rispetto alla media dei 10 anni precedenti (tabella 2.1). I mesi di novembre e dicembre sono stati invece particolarmente siccitosi.

A causa di problemi tecnici i dati dell'indice di criticità meteo-dispersiva del mese di ottobre 2024 sono parzialmente completi (indisponibili dal 28/10) e i dati di novembre non possono essere considerati rappresentativi in quanto la serie è mancante fino al 20/11. Il valore dell'indice è pertanto presumibilmente sottostimato a livello annuale, ciononostante risulta superiore a quello del 2023 e con i mesi di gennaio, marzo e dicembre particolarmente critici. La valutazione dell'andamento delle concentrazioni e degli indicatori di legge rispetto anni precedenti dovrà prevalentemente far riferimento agli anni 2022 (125 giorni) e 2020 (123 giorni) che sono cronologicamente i più prossimi con criticità dispersive comparabili.



* Il dato dell'anno 2024 è sottostimato per l'indisponibilità dei valori giornalieri dal 28/10 al 20/11

FIGURA 85: numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - confronto su base annuale tra gli anni 2006-2023 (in grigio) e l'anno 2024 (in blu).

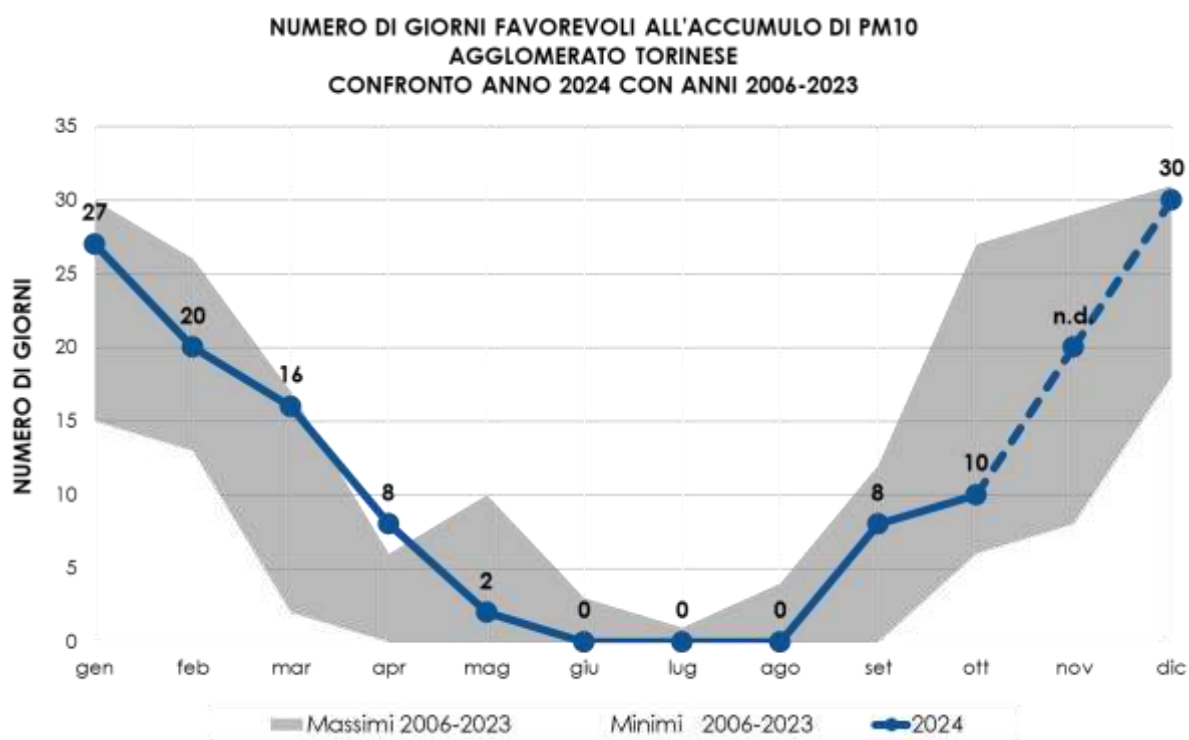


FIGURA 86: numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - confronto tra l'andamento mensile del 2024 (linea blu) ed i valori massimi e minimi mensili del periodo 2006-2023 (banda grigia).

LA NUOVA DIRETTIVA 2024/2881/UE PER UN'ARIA PIÙ PULITA IN EUROPA

Il 14 ottobre il Consiglio dell'Unione europea ha approvato in via definitiva la nuova Direttiva 2024/2881 per un'aria più pulita in Europa che stabilisce, per alcuni inquinanti, il rispetto entro il 2030 di limiti significativamente più severi di quelli attuali e più vicini ai valori guida definiti dall'Organizzazione Mondiale della Sanità. L'obiettivo generale è quello di migliorare progressivamente la qualità dell'aria fino al raggiungimento di livelli non più considerati nocivi per la salute umana, gli ecosistemi naturali e la biodiversità.

Di seguito un breve riepilogo delle principali novità introdotte dalla direttiva 2024/2881:

- per il PM10 abbassamento del valore limite annuale da 40 a 20 µg/m³ e riduzione del limite giornaliero da 50 a 45 µg/m³ e del numero di superamenti consentiti su base annua da 35 a 18;
- per il PM2,5 abbassamento del valore limite annuale da 25 a 10 µg/m³ e introduzione di un limite giornaliero pari a 25 µg/m³ da non superare più di 18 volte all'anno;
- per l'NO2 abbassamento del valore limite annuale da 40 a 20 µg/m³, introduzione di un limite giornaliero pari a 50 µg/m³ da non superare più di 18 volte all'anno e riduzione del numero di superamenti consentiti del limite orario di 200 µg/m³ da 18 a 3;
- alcune revisioni in diminuzione dei limiti definiti per il benzene e per il CO e conferma dei limiti per i parametri O3, Pb, As, Cd, Ni e B(a)P;
- allineamento progressivo alle più recenti Linee guida OMS 2021, con previsione di una revisione continua dei valori limite fino al 2050.

In TABELLA 46 sono riassunti i limiti della Direttiva 2008/50/CE attualmente in vigore comparati ai nuovi standard fissati dalla Direttiva 2024/2881/UE, includendo tutti gli inquinanti oggi regolamentati.

Inquinante	Periodo di riferimento	Limiti 2008/50/CE	Limiti 2024/2881 (entro il 1° gen 2030)
PM10	Media annua	40 µg/m³	20 µg/m³
	Media giornaliera	50 µg/m³ (max 35 superamenti/anno)	45 µg/m³ (max 18 superamenti/anno)
PM2,5	Media annua	25 µg/m³	10 µg/m³
	Media giornaliera	-	25 µg/m³ (max 18 superamenti/anno)
NO2	Media annuale	40 µg/m³	20 µg/m³
	Media giornaliera	-	50 µg/m³ (max 18 superamenti/anno)
	Media oraria	200 µg/m³ (max 18 superamenti/anno)	200 µg/m³ (max 3 superamenti/anno)
SO2	Media annuale	-	20 µg/m³
	Media giornaliera	125 µg/m³ (max 3 superamenti/anno)	50 µg/m³ (max 18 superamenti/anno)
	Media oraria	350 µg/m³ (max 24 superamenti/anno)	350 µg/m³ (max 3 superamenti/anno)
Benzene	Media annua	5 µg/m³	3,4 µg/m³
CO	Media massima su 8 h	10 mg/m³ su 8 h	invariato
	Media giornaliera	-	4 mg/m³ (max 18 superamenti/anno)
O3	Media massima giornaliera su 8 h	120 µg/m³ (max 18 superamenti/anno media triennale)	invariato
Piombo (Pb)	Media annuale	0,5 µg/m³	invariato
Arsenico (As)	Media annuale	6 µg/m³	invariato
Cadmio (Cd)	Media annuale	5 µg/m³	invariato
Nichel (Ni)	Media annuale	20 µg/m³	invariato
Benzo(a)pirene	Media annuale (in PM10)	1 µg/m³	invariato

TABELLA 46: valori limite e obiettivo definiti adalla nuova direttiva 2024/2030.

In relazione al rispetto dei nuovi limiti non si evidenziano criticità per i parametri, SO2, Benzene e CO. Anche per i parametri Pb, As, Cd, Ni e B(a)P, i cui limiti saranno invariati, non si evidenziano particolari problematiche.

Per il parametro O3 non sono previste modifiche del valore obiettivo e rimangono pertanto valide le considerazioni presentate nel capitolo ad esso dedicato.

Per i parametri PM10, e NO₂, che non rispettano tutti i valori limite attualmente in vigore, e per il PM2,5, sono previsti dei significativi abbassamenti dei limiti: verranno presentati nel seguito i posizionamenti delle concentrazioni misurate nei confronti delle nuove soglie.

PARTICOLATO PM10

Il particolato PM10 è l'inquinante sicuramente più critico in relazione al conseguimento dei valori limite definiti dalla Direttiva 2008/50/CE. Negli ultimi tre anni tutte le stazioni hanno rispettato il valore limite definito come media annuale (40 µg/m³) ma, sempre nello stesso periodo di tempo, solo 7 stazioni su 20, hanno conseguito il valore limite definito su base giornaliera (50 µg/m³ da non superare più di 35 volte l'anno). È evidente che nel territorio della città metropolitana di Torino il rispetto del valore limite giornaliero è l'obiettivo più sfidante da raggiungere.

In FIGURA 87 è rappresentata la regressione lineare fra i valori di media annuale e i valori del 90,41° percentile delle medie giornaliere misurati negli ultimi 10 anni in tutte le stazioni operanti nel territorio della città metropolitana di Torino con una disponibilità di dati validi maggiore o uguale all'85%.

Si osserva che le due grandezze sono fortemente correlate e che al valore del 90,41° percentile delle medie giornaliere pari a 50 µg/m³ corrisponde una media annuale di 25 µg/m³, ulteriore dimostrazione della maggiore severità del valore limite giornaliero rispetto al limite annuale anche considerando il fatto che i due limiti dovevano essere raggiunti contestualmente nel 2005.

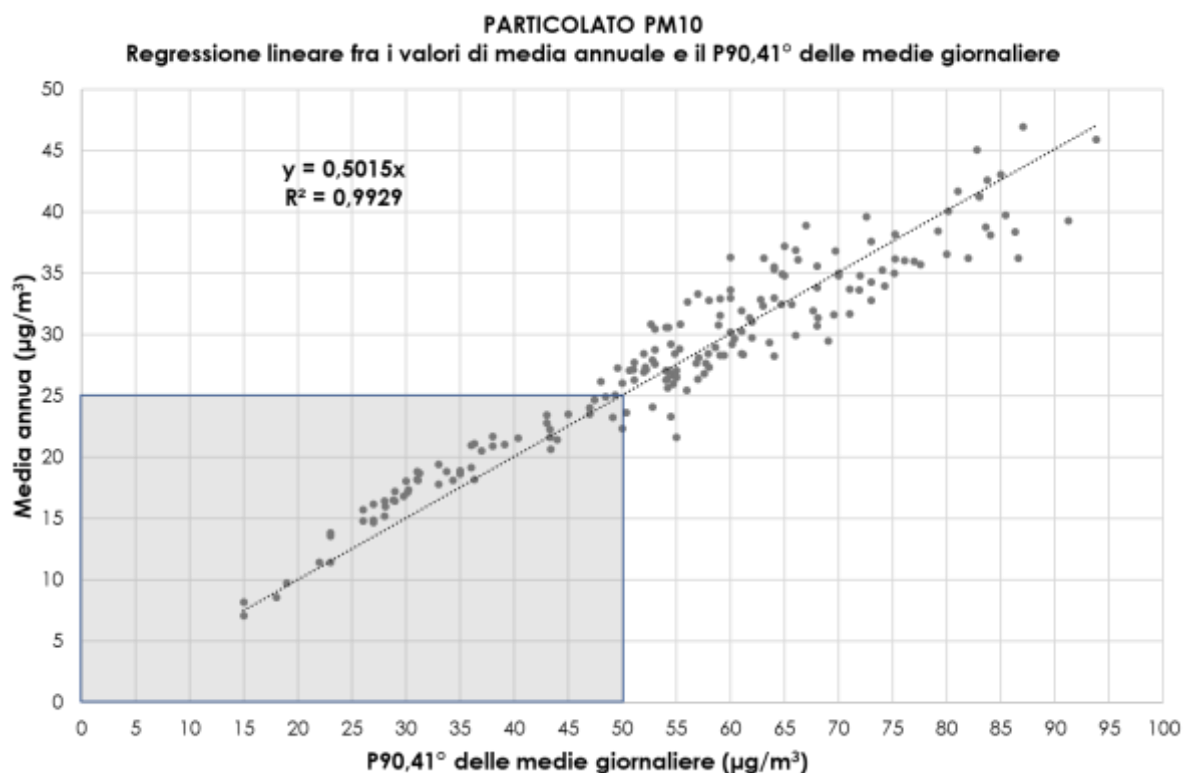


FIGURA 87: Particolato PM10, correlazione fra i valori di media annuale e il P90,41 delle medie giornaliere.

La Direttiva 2024/2881 dimezza il valore limite annuale da 40 a 20 µg/m³ e riduce il valore limite giornaliero da 50 µg/m³ da non superare più di 35 volte all'anno a 45 µg/m³ da non superare più di 18 volte all'anno.

In relazione alle nuove soglie la situazione attuale della qualità dell'aria è sensibilmente più critica, negli ultimi 3 anni solo in 4 stazioni su 20 si sarebbe rispettato il futuro limite annuale e solo in 5 su 20 il futuro limite giornaliero. Nella TABELLA 47 è riportato il calcolo degli indicatori di legge per gli ultimi 10 anni, le celle evidenziate in rosso individuano il superamento dei limiti attuali, quelle in giallo il superamento dei limiti futuri.

Il dimezzamento da 40 a 20 µg/m³ del valore limite annuale rappresenta, per il nostro territorio, una riduzione "più formale che sostanziale" in quanto, come osservato in FIGURA 87, il rispetto del valore limite giornaliero definito dalla Direttiva 2008/50 impone di fatto già ora il raggiungimento di una media annuale di 25 µg/m³; la riduzione è pertanto molto meno "severa" di quanto sembri a prima

vista. La Direttiva 2024/2881 riduce anche il limite giornaliero ma in modo non altrettanto significativo; il numero di superamenti consentiti è dimezzato e passa da 35 a 18 ma il valore soglia della media giornaliera si riduce di soli 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da passando da 50 a 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

In FIGURA 88 è riportata la retta di regressione lineare fra i valori di media annuale e il 95,07° percentile. Si osserva, anche in questo caso, una forte correlazione fra le due grandezze e che la media annuale corrispondente al valore di 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come 95,07° percentile delle medie giornaliere è pari a 19,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ristabilendo una sostanziale equivalenza di severità fra le due tipologie di limite.

Indicatore	Stazione	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Media annuale (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 2008/50) (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 2024/2881)	Baldissero (β)	17	14	11	8	18	22	20	18	16	15
	Beinasco (β)	33	29	36	28	27	28	27	29	25	24
	Borgaro	35	31	38	30	26	30	28			
	Borgaro (β)							27	31	26	24
	Carmagnola	41	37	45	36	35	36	33	37	31	25
	Ceresole (β)	7	9	11	11	9	10	10	11	10	10
	Chieri (β)						28	28	31	27	26
	Collegno	36	32	40	33	30	35	32	36	28	24
	Druento	23	21	27	22	19	21	21	21	19	19
	Ivrea	28	26	31	25	24	27				
	Ivrea (β)						25	23	26	22	22
	Leini (β)	36	30	34	33	26	29	26	27	23	21
	Oulx (β)	18	16	18	18	15	16	15	19	17	14
	Pinerolo (β)	21	23	26	21	19	18	17	19	19	21
	Settimo	39	35	44	36	34	35	34			
	Settimo (β)							31	35	33	32
	Susa	18	17	22	18	15	16	17	18	16	14
	TO-Consolata	40	35	43	33	28	36	28	33	32	27
	To-Grassi	52	42	47	40	38	41	36	40	35	29
	TO-Lingotto	38	34	39	28	27	30	26	28	24	22
	TO-Lingotto (β)	36	32	38	31	28	31	29	34	27	27
	TO-Rebaudengo (β)	43	37	46	39	34	36	33	37	33	30
	TO-Rubino	36	32	38	29	28	32	30	32	27	23
	TO-Rubino (β)					28	28	26	31	24	27
	Vinovo (β)										33
Valore limite giornaliero Numero di giorni con concentrazione media su 24 ore superiore a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (max 18 superamenti/anno 2008/50)	Baldissero (β)	8	1	1	0	5	22	15	9	0	7
	Beinasco (β)	68	52	88	41	49	59	39	36	21	36
	Borgaro	71	54	90	42	28	51	37			
	Borgaro (β)							33	39	25	23
	Carmagnola	107	73	122	69	69	81	49	82	39	32
	Ceresole (β)	0	0	6	0	1	1	3	0	0	2
	Chieri (β)						55	40	48	33	39
	Collegno	81	61	102	56	50	85	57	74	35	34
	Druento	23	22	41	15	10	11	7	10	6	10
	Ivrea	55	41	60	28	29	43				
	Ivrea (β)						48	33	41	22	32
	Leini (β)	84	57	79	28	44	59	38	33	17	22
	Oulx (β)	2	0	8	1	0	1	0	1	0	0
	Pinerolo (β)	11	15	40	11	5	12	10	9	4	21
	Settimo	98	70	99	65	63	83	64			
	Settimo (β)							55	77	55	68
	Susa	11	10	27	6	1	3	5	4	0	2
	TO-Consolata	93	75	108	55	45	84	30	57	53	34
	To-Grassi	75	89	112	76	83	98	75	98	66	54
	TO-Lingotto	86	62	92	39	48	67	40	37	19	37
	TO-Lingotto (β)	85	60	101	45	50	72	46	66	35	55
	TO-Rebaudengo (β)	101	74	118	87	71	88	65	86	63	55
	TO-Rubino	84	65	97	33	42	66	57	58	37	41
	TO-Rubino (β)					46	53	26	47	26	42
	Vinovo (β)										60
Valore limite giornaliero Numero di giorni con concentrazione media su 24 ore superiore a 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. (max 18 superamenti/anno 2024/2881)	Baldissero (β)	9	1	2	0	7	30	19	12	2	8
	Beinasco (β)	86	64	97	53	60	72	53	56	41	49
	Borgaro	85	66	104	56	43	64	49			
	Borgaro (β)							40	53	40	39
	Carmagnola	119	100	134	97	85	94	69	106	54	46
	Ceresole (β)	0	0	6	0	1	2	4	0	0	2
	Chieri (β)						67	57	69	50	53
	Collegno	96	75	106	67	63	97	79	92	48	47
	Druento	31	33	52	21	13	15	14	15	9	17

Ivrea	67	52	75	38	38	54				
Ivrea (β)						63	39	54	32	50
Leini (β)	97	62	93	39	56	75	54	48	27	29
Oulx (β)	8	2	12	2	1	2	1	2	1	1
Pinerolo (β)	20	29	48	15	12	17	11	16	7	27
Settimo	107	83	105	82	75	93	79			
Settimo (β)							67	101	66	83
Susa	13	12	31	8	1	6	11	4	3	3
TO-Consolata	104	86	118	75	58	89	37	75	78	42
TO-Grassi	81	109	123	96	98	111	93	122	81	61
TO-Lingotto	97	72	98	48	55	79	54	57	32	44
TO-Lingotto (β)	96	69	108	55	58	84	59	80	45	67
TO-Rebaudengo (β)	112	86	128	107	84	97	76	105	82	66
TO-Rubino	99	70	104	45	50	78	67	81	49	51
TO-Rubino (β)					58	62	37	67	37	54
Vinovo (β)										69

TABELLA 47: Particolato Pm10, indicatori di legge calcolati negli ultimi 10 anni.

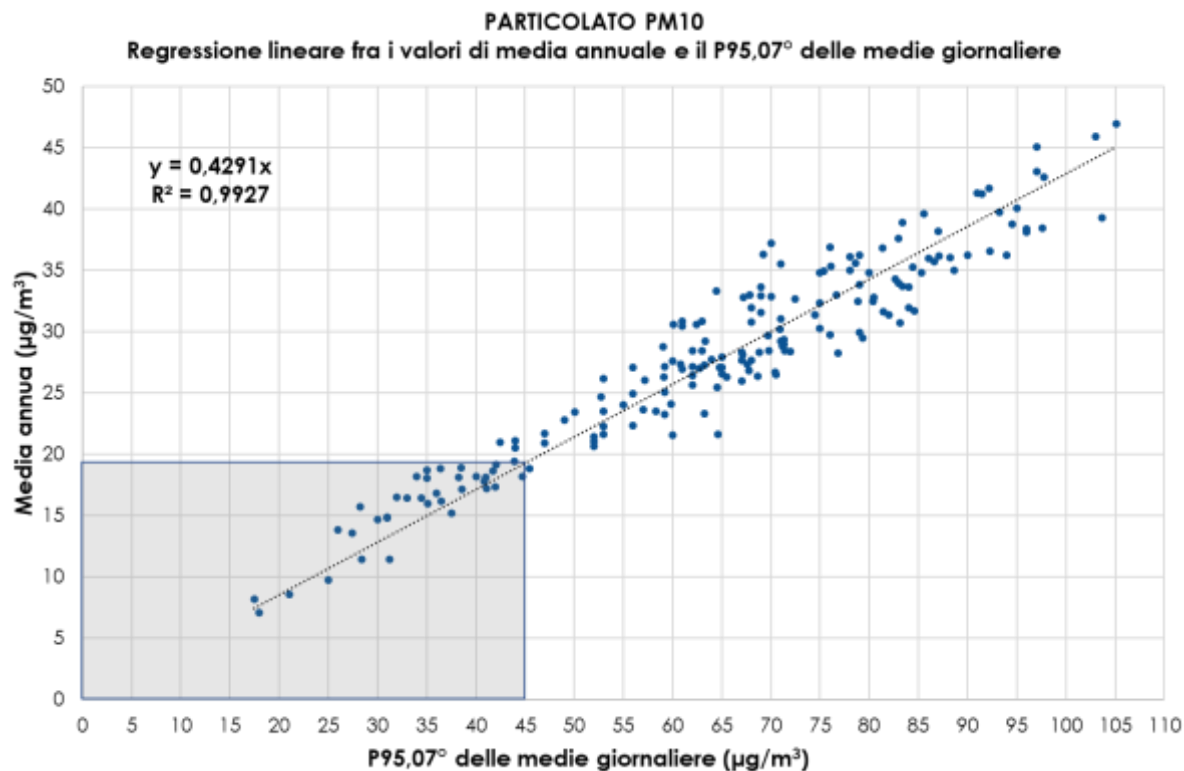


FIGURA 88: Particolato PM10, correlazione fra i valori di media annuale e il P95,07° delle medie giornaliere.

PARTICOLATO PM2,5

Negli ultimi anni il valore limite di 25 µg/m³ definito come media annuale dalla Direttiva 2008/50 è stato rispettato in tutti i siti di monitoraggio. La Direttiva 2024/2881 riduce il limite annuale da 25 a 10 µg/m³ e introduce un valore limite giornaliero pari a 25 µg/m³ da non superare più di 18 volte per anno.

Nella TABELLA 48 è riportato il calcolo degli indicatori di legge per gli ultimi 10 anni, le celle evidenziate in rosso individuano il superamento dei limiti attuali mentre quelle in giallo il superamento dei limiti futuri. Rispetto alle soglie di prossima introduzione si osserva che solo 1 stazione su 10 (Ceresole Reale) sarebbe attualmente in grado di rispettare il valore limite annuale, tutte le altre presentano negli ultimi 3 anni concentrazioni più elevate comprese fra i 16 e i 24 µg/m³. In relazione al limite definito su base giornaliera la situazione è analoga, solo la stazione di Ceresole Reale sarebbe in grado di rispettare il limite, le altre stazioni hanno un numero di giorni di superamento compreso fra 61 e 135.

In FIGURA 88 è riportata la retta di regressione lineare fra i valori di media annuale e il 95,07° percentile. Si osserva che la media annuale corrispondente al valore di 25 µg/m³ come 95,07°

percentile delle medie giornaliere è pari a $9,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, indice di una sostanziale coerenza di ambizione fra il valore limite annuale e quello giornaliero.

Il conseguimento dei valori limite definiti per il parametro PM_{2,5} rappresenta, con buona certezza, il target più sfidante posto in essere dalla Direttiva 2024/2881; occorre infatti dimezzare le concentrazioni medie annuali attualmente misurate per garantire il rispetto dei nuovi limiti.

Considerando infine che il rapporto PM_{2,5}/PM₁₀ è pari a 0,72³⁵ si può stimare che il raggiungimento di una media annuale di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ di PM_{2,5} si tradurrebbe in una media annuale di PM₁₀ pari a circa $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ben al di sotto dei $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ definiti come nuovo limite. Il conseguimento dei nuovi limiti definiti per il PM_{2,5} si conferma pertanto come il traguardo più ambizioso definito dalla nuova Direttiva sulla qualità dell'aria.

Indicatore	Stazione	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Media annuale ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 2008/50) ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 2024/2881)	Beinasco Beta	26	23	26	20	20	21	18	19	17	16
	Borgaro	26	23	27	22	19	21				
	Borgaro Beta							20	21	18	17
	Ceresole Reale Beta	6	7	9	8	6	6	7	9	7	7
	Chieri	24	22	27	22	20	21				
	Chieri Beta						22	21	22	19	19
	Ivrea	24	20	24	19	16	19	17	19	16	19
	Ivrea Beta	30	24	26	17	20	22	16	16	16	16
	Settimo	31	26	30	24	22	23				
	Settimo Beta							23	24	21	20
	TO-Lingotto	27	23	27	21	19	22	18	21	16	16
	TO-Lingotto Beta							20	23	17	20
	TO-Rebaudengo Beta	27	29	33	25	25	22	23	23	20	20
	TO-Rubino Beta MG					20	20	19	20	16	18
	Vinovo Beta										23
Valore limite giornaliero Numero di giorni con concentrazione media su 24 ore superiore a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (max 18 superamenti/anno 2024/2881)	Beinasco Beta	122	109	120	90	86	106	78	96	76	71
	Borgaro	123	107	134	93	81	102				
	Borgaro Beta							91	112	83	79
	Ceresole Reale Beta	1	2	12	4	2	0	1	5	3	0
	Chieri	111	109	129	91	80	104				
	Chieri Beta						110	94	125	83	86
	Ivrea	111	86	109	71	57	85	58	88	63	68
	Ivrea Beta	158	121	119	46	36	114	67	68	67	65
	Settimo	143	120	144	119	97	118				
	Settimo Beta							111	135	92	91
	TO-Lingotto	114	102	124	88	82	98	59	86	70	76
	TO-Lingotto Beta							87	110	71	89
	TO-Rebaudengo Beta	75	121	158	117	108	91	112	129	92	87
	TO-Rubino Beta MG					80	84	75	103	61	76
	Vinovo- Beta										93

TABELLA 48: Particolato PM_{2,5}, indicatori di legge calcolati negli ultimi 10 anni.

³⁵ Media dei rapporti tra le concentrazioni medie annuali di PM_{2,5} e le concentrazioni medie annuali di PM₁₀ misurate negli ultimi 10 anni in tutte le stazioni che rilevano entrambi i parametri.

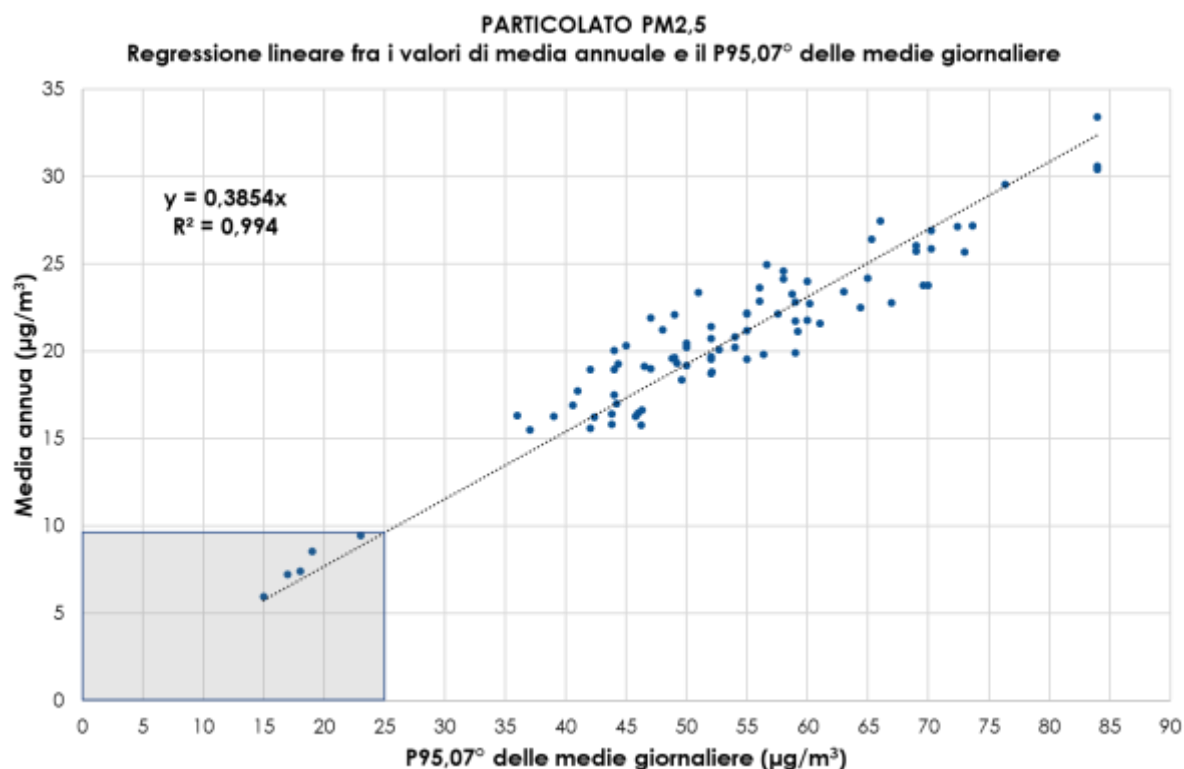


FIGURA 89: Particolato PM_{2,5}, correlazione fra i valori di media annuale e il P95,07° delle medie giornaliere.

BIOSSIDO DI AZOTO

Le concentrazioni di NO₂ sono fortemente diminuite nell'ultimo decennio, negli ultimi 3 anni solo 2 stazioni su 19 hanno misurato una media annuale superiore a 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tutte le stazioni rispettano il valore limite su base oraria di 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superarsi più di 18 volte all'anno.

La Direttiva 2024/2881 dimezza il limite annuale portandolo da 40 a 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, riduce il numero di superamenti consentiti del valore limite orario di 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da 18 a 3 e introduce un nuovo limite giornaliero di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte all'anno.

Nella TABELLA 49 è riportato il calcolo degli indicatori di legge per gli ultimi 10 anni, le celle evidenziate in rosso individuano il superamento dei limiti attuali, quelle in giallo il superamento dei limiti futuri. Le medie giornaliere per la verifica dell'indicatore sono state calcolate dalle medie orarie solo nei casi in cui fossero disponibili almeno 18 ore valide su 24.

Negli ultimi 3 anni solo in 6 stazioni su 19 si sarebbe rispettato il nuovo valore limite annuale mentre ben 6 stazioni, principalmente quelle collocate nell'agglomerato torinese in siti da traffico, hanno misurato concentrazioni più alte di circa il 50%. Sempre negli ultimi 3 anni tutte le stazioni avrebbero invece rispettato il nuovo valore limite orario.

Il nuovo limite giornaliero, individuato nella concentrazione di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 18 volte, è stato superato almeno una volta nel corso degli ultimi 3 anni in 7 stazioni su 19, preoccupano i siti da traffico dell'agglomerato torinese che presentano in alcuni casi un numero di superamenti 4 volte superiore al consentito.

In FIGURA 90 è rappresentata la regressione lineare fra i valori di media annuale e i valori del 95,07° percentile delle medie giornaliere misurati in tutte le stazioni operanti nel territorio della città metropolitana di Torino negli ultimi 10 anni con una disponibilità di dati validi maggiore o uguale all'85%. La media annuale corrispondente al valore di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ come 95,07° percentile delle medie giornaliere è pari a 26,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Questa analisi permette di prevedere che il rispetto della media annuale di 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ rappresenterà per il territorio della città metropolitana di Torino il target più ambizioso e che il rispetto del valore limite annuale dovrebbe garantire anche il rispetto del valore limite giornaliero.

Indicatore	Stazione	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Media annuale (40 µg/m³ 2008/50) (20 µg/m³ 2024/2881)	Baldissero	14	12	15	11	15	11	10	10	13	9
	Beinasco TRM	47	41	48	38	31	26	27	27	20	21
	Borgaro	29	30	30	30	25	23	24	22	20	19
	Carmagnola	38	39	42	38	34	30	31	29	30	30
	Ceresole	5	4	5	6	6	6	4	5	3	2
	Chieri	25	19	23	20	21	14	17	18	20	19
	Collegno	36	46	58	53	46	30	33	25	31	35
	Druento	16	11	12	12	11	11	9	9	9	9
	Ivrea	26	23	25	22	24	22	22	24	16	19
	Leini	31	24	32	25	23	21	24	22	19	20
	Orbassano	35	32	34	30	31	29	29	25	23	22
	Oulx	20	18	17	19	21	17	13	14	12	11
	Settimo	41	36	36	33	36	26	30	28	24	22
	Susa	22	20	19	16	15	14	15	12	10	11
	To-Consolata	53	50	59	52	53	42	43	42	35	35
	To-Lingotto	37	40	40	35	37	31	31	31	31	29
	To-Rebaudengo	68	70	80	56	60	46	48	48	44	42
	To-Rubino	44	35	37	31	33	26	25	28	27	26
	Vinovo	43	33	35	26	28	21	25	24	20	18
Valore limite orario Numero di ore con concentrazione superiore a 200 µg/m³ (max 18 superamenti/anno 2008/50) (max 3 superamenti/anno 2024/2881)	Baldissero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Beinasco TRM	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Borgaro	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Carmagnola	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ceresole	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Chieri	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Collegno	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0
	Druento	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ivrea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Leini	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Orbassano	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Oulx	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Settimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Susa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	To-Consolata	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	To-Lingotto	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	To-Rebaudengo	21	28	25	1	11	0	4	2	0	0
	To-Rubino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vinovo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valore limite giornaliero Numero di giorni con concentrazione media su 24 ore superiore a 50 µg/m³ (max 18 superamenti/anno 2024/2881)	Baldissero	5	1	4	0	1	2	0	0	0	0
	Beinasco TRM	143	86	141	88	50	28	31	22	3	7
	Borgaro	54	48	53	34	32	11	9	8	4	3
	Carmagnola	75	56	106	45	45	39	9	8	12	2
	Ceresole	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Chieri	25	9	22	7	15	0	0	2	0	0
	Collegno	81	109	180	192	121	57	43	19	38	54
	Druento	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ivrea	41	23	31	3	33	11	3	6	2	3
	Leini	55	22	53	30	9	11	12	5	0	0
	Orbassano	66	52	71	45	63	56	39	16	5	13
	Oulx	6	0	0	0	2	0	2	0	0	0
	Settimo	133	61	78	39	100	34	41	24	23	13
	Susa	23	5	8	1	0	0	2	0	0	0
	To-Consolata	162	155	205	188	170	106	100	84	45	60
	To-Lingotto	90	95	99	48	98	49	29	26	30	20
	To-Rebaudengo	241	281	293	198	166	118	139	129	106	89
	To-Rubino	126	57	79	25	62	42	20	27	18	14
	Vinovo	123	20	62	16	43	7	6	6	2	0

TABELLA 49: Biossido di azoto, indicatori di legge calcolati negli ultimi 10 anni.

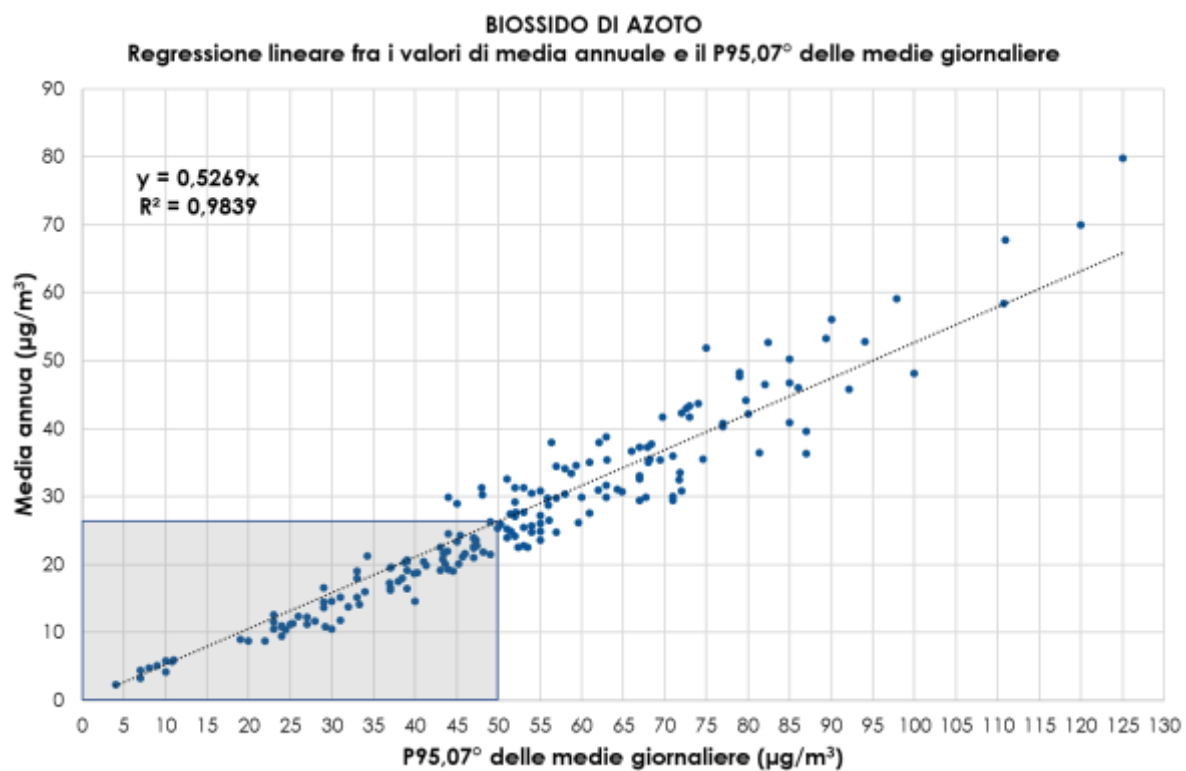


FIGURA 90: Biossido di azoto, correlazione fra i valori di media annuale e il P95,07 delle medie giornaliere.

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_x).

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 _x (g/km)		HC+NO _x (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_x 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 6×10^{12} particelle per km a 6×10^{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_x 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_x 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_x 90 mg/km per i benzina e 120 mg/km per i diesel).

TABELLA 50: 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_x 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 91 i limiti previsti per la somma di idrocarburi incombusti (HC) e ossidi di azoto (NO_x), 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.

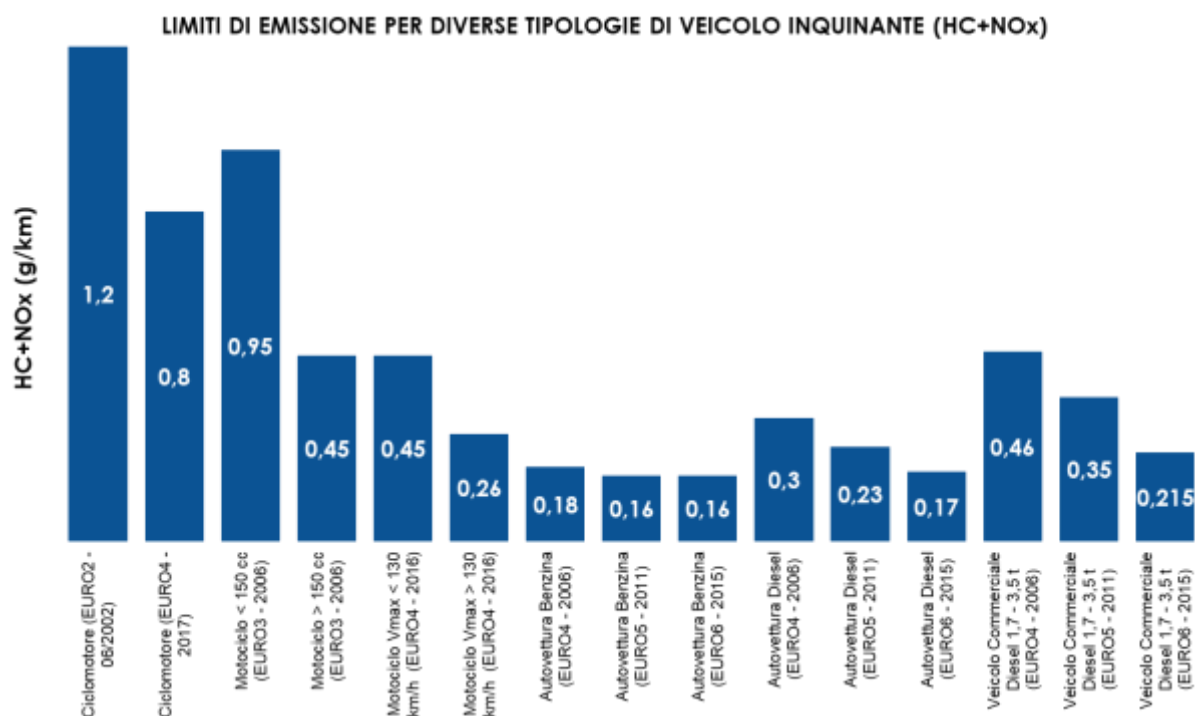


FIGURA 91: limiti di emissione definiti dalle normative più recenti per diverse tipologie di veicolo.

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 (N₂O). 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. La normativa Euro 7 entrerà in vigore con date differenti a seconda della categoria di veicolo. Per le autovetture e furgoni (categorie M1 e N1), la data di riferimento è il 1° luglio 2025 per le nuove omologazioni. Per i veicoli pesanti (categorie M2, M3, N2, N3), l'entrata in vigore è prevista per il 1° luglio.

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 2024. 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 (+ 20% rispetto al 2007) e di autocarri < 3,5 t (+23% rispetto al 2007);
- una contrazione percentuale degli autoveicoli diesel controbilanciata da un aumento percentuale dei veicoli a benzina e GPL-CH₄, nel 2017 gli autoveicoli diesel arrivarono ad essere il 42% del totale nel 2024 sono il 32%;
- gli autocarri <3,5t ante Euro5 senza filtro antiparticolato sono ancora il 54%;
- gli autoveicoli elettrici sono 12.365 nel 2024 erano 8.072 nel 2023, 5.092 nel 2022 e 4.194 nel 2021.

2024		TOTALE		BENZINA		GASOLIO		GAS		ELETTRICO	
		n.	%	n.	%	n.	%	n.	%	n.	%
Autoveicoli	EURO 0	68.446	4,1%	54.077	3,2%	10.671	0,6%	3.698	0,2%	12.365	0,7%
	EURO 1	26.066	1,6%	19.089	1,1%	5.189	0,3%	1.788	0,1%		
	EURO 2	91.401	5,4%	63.857	3,8%	21.581	1,3%	5.963	0,4%		
	EURO 3	132.503	7,9%	69.406	4,1%	56.921	3,4%	6.176	0,4%		
	EURO 4	326.118	19,4%	156.207	9,3%	107.494	6,4%	62.417	3,7%		
	EURO 5	237.385	14,1%	84.317	5,0%	110.315	6,6%	42.753	2,5%		
	EURO 6	786.637	46,8%	446.680	26,6%	222.771	13,3%	117.186	7,0%		
	Totale	1.680.921	100,0%	893.633	53,2%	534.942	31,8%	239.981	14,3%	12.365	0,7%
Autocarri <3,5	EURO 0	16.123	8,7%	1.726	0,9%	14.224	7,7%	173	0,1%	869	0,5%
	EURO 1	7.292	4,0%	1.106	0,6%	6.090	3,3%	96	0,1%		
	EURO 2	16.328	8,8%	1.260	0,7%	14.845	8,0%	223	0,1%		
	EURO 3	27.015	14,6%	1.267	0,7%	25.452	13,8%	296	0,2%		
	EURO 4	32.001	17,3%	983	0,5%	29.480	16,0%	1.538	0,8%		
	EURO 5	25.187	13,6%	340	0,2%	23.262	12,6%	1.585	0,9%		
	EURO 6	59.787	32,4%	3.435	1,9%	52.264	28,3%	4.088	2,2%		
	Totale	184.602	100,0%	10.117	5,5%	165.617	89,7%	7.999	4,3%	869	0,5%
Autocarri >3,5t	EURO 0	2.187	36,0%	47	0,8%	2.140	35,2%		0,0%	15	0,2%
	EURO 1	272	4,5%	1	0,0%	271	4,5%		0,0%		
	EURO 2	680	11,2%	3	0,0%	677	11,1%		0,0%		
	EURO 3	1.188	19,5%	3	0,0%	1.180	19,4%	5	0,1%		
	EURO 4	560	9,2%	1	0,0%	559	9,2%		0,0%		
	EURO 5	724	11,9%		0,0%	693	11,4%	31	0,5%		
	EURO 6	453	7,5%		0,0%	450	7,4%	3	0,0%		
	Totale	6.079	100,0%	55	0,9%	5.970	98,2%	39	0,6%	15	0,2%

TABELLA 51: autoveicoli immatricolati nella città metropolitana di Torino nel 2024, suddivisi per tipo di omologazione ambientale.

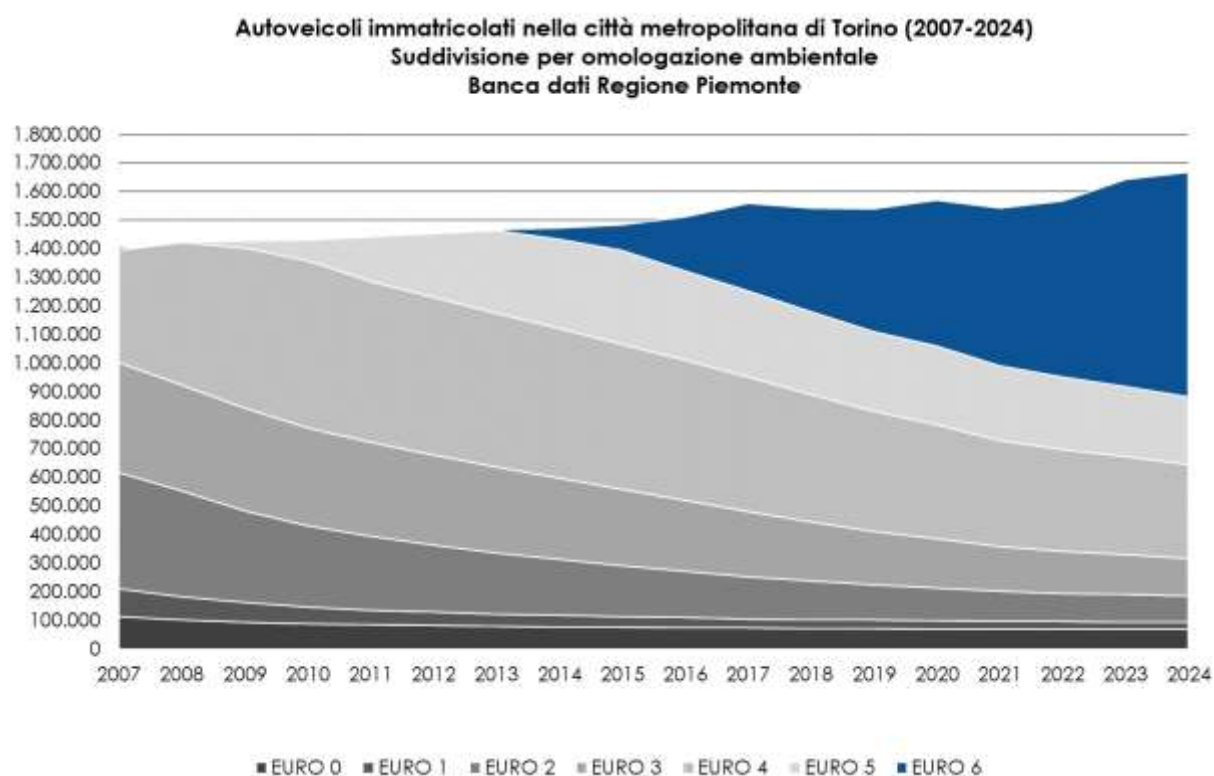


FIGURA 92: autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2024, suddivisi per tipo di omologazione ambientale (Banca Dati di Regione Piemonte).

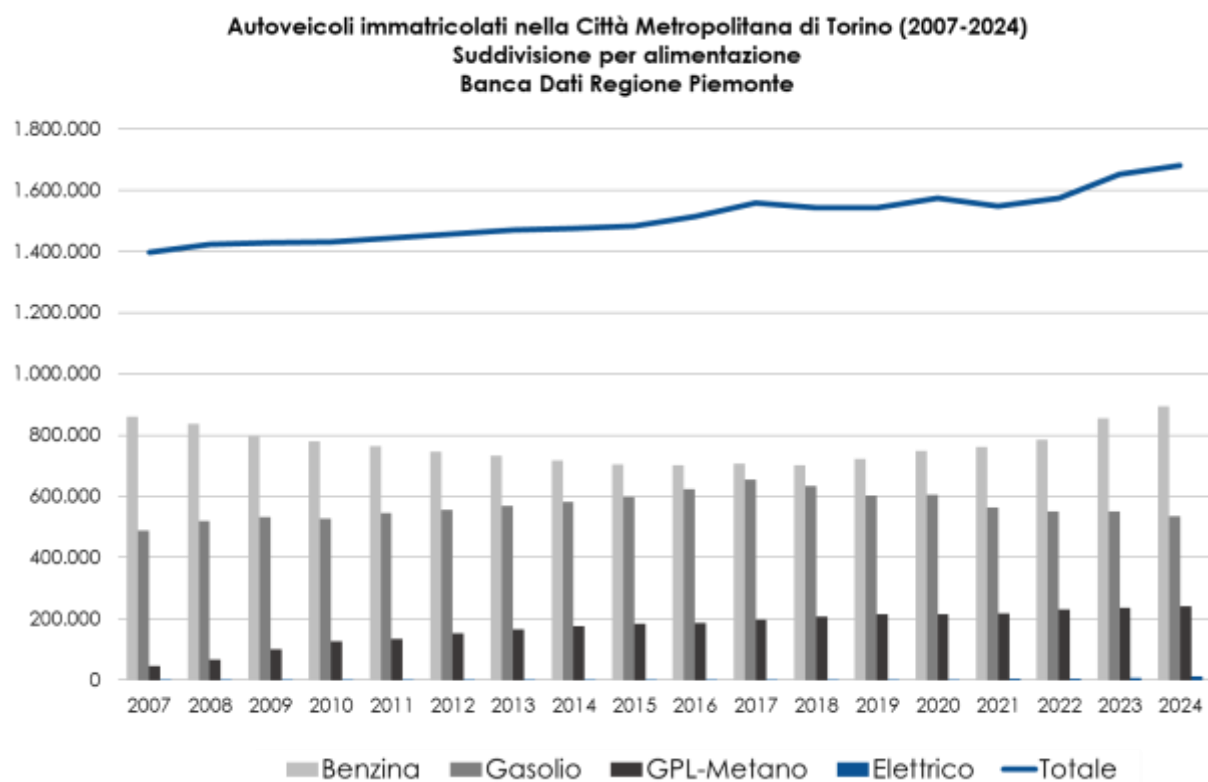


FIGURA 93: autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2024, suddivisi per tipo di alimentazione (Banca Dati di Regione Piemonte).

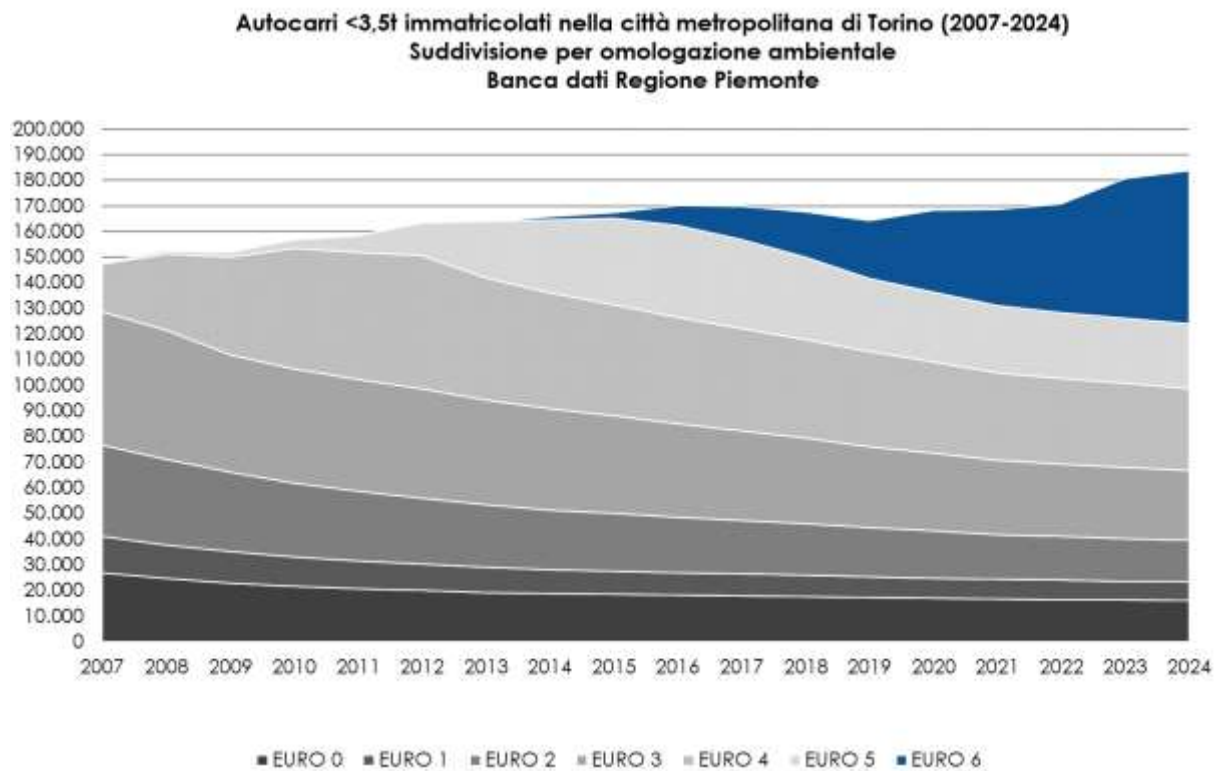


FIGURA 94: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2024, suddivisi per tipo di omologazione ambientale (Banca Dati di Regione Piemonte).

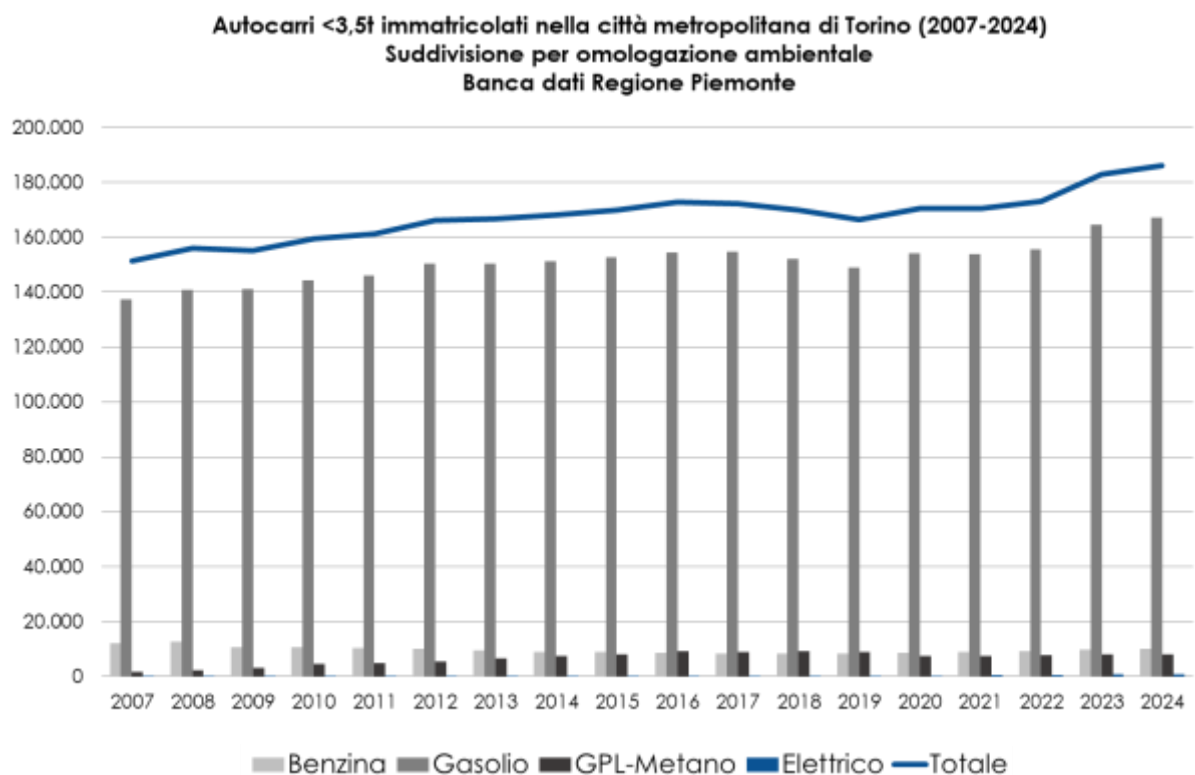


FIGURA 95: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2024, suddivisi per tipo di alimentazione (Banca Dati di Regione Piemonte).

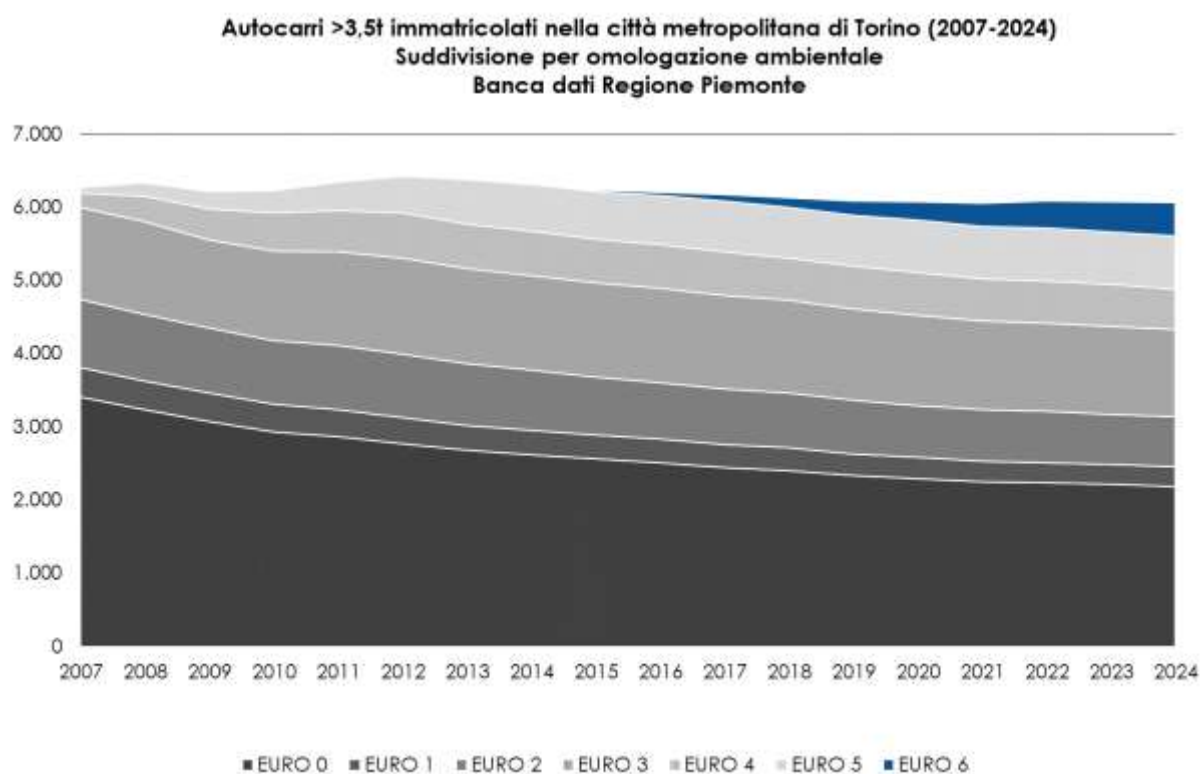


FIGURA 96: veicoli commerciali pesanti (> 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2024, suddivisi per tipo di omologazione ambientale (Banca Dati di Regione Piemonte).

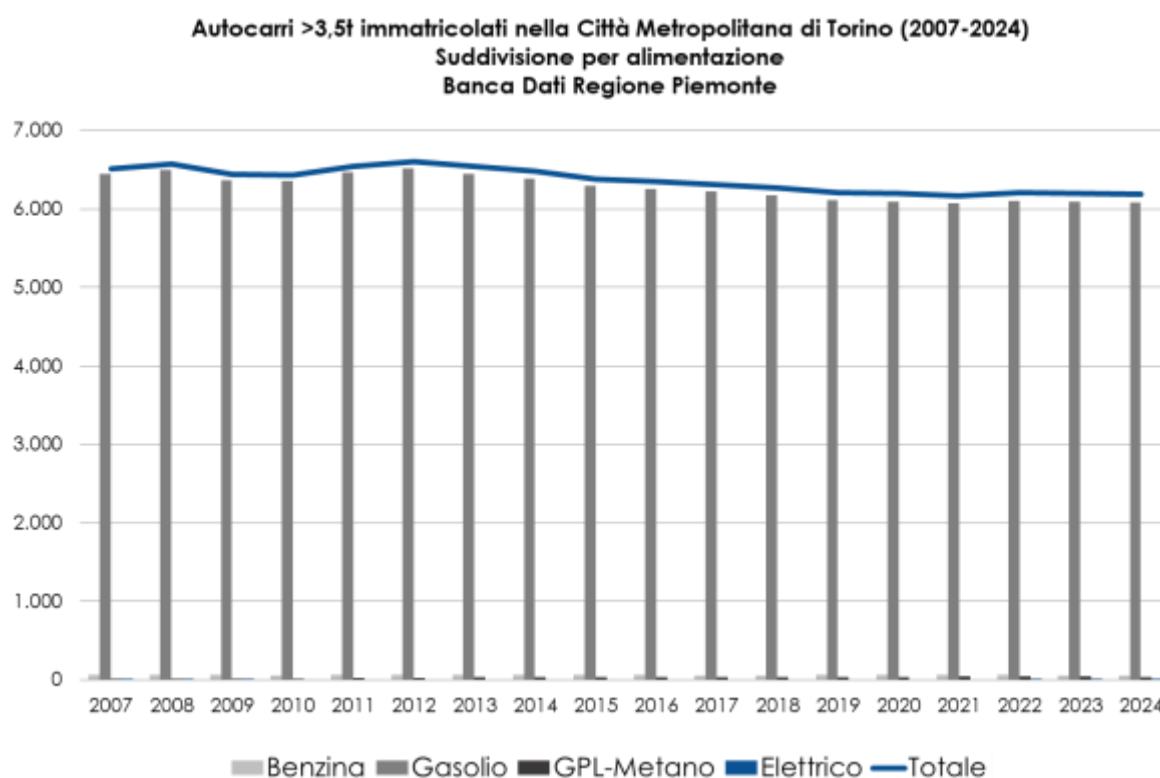


FIGURA 97: veicoli commerciali leggeri (> 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2008 al 2024, suddivisi per tipo di alimentazione (Banca Dati di Regione Piemonte).

Si riporta in conclusione in FIGURA 98 la serie storica delle vendite di combustibile per autotrazione (gasolio, benzina e GPL) nel territorio della Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2024. Si osserva una sostanziale stabilità della quantità di carburanti venduti con una decrescita del gasolio e contestuale aumento di benzina e gpl nel corso degli ultimi 3 anni. Questo dato è in linea con la variazione del parco veicolare precedentemente descritta³⁶

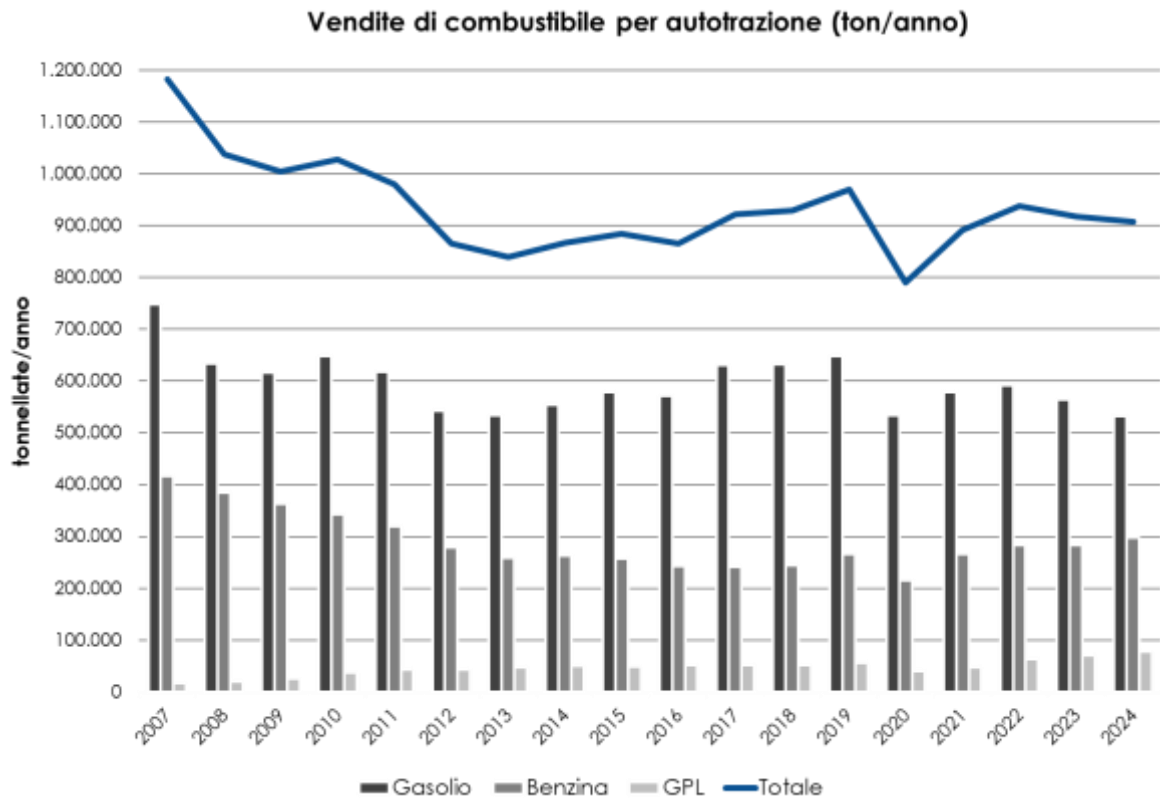


FIGURA 98: vendite di combustibile per autotrazione in città metropolitana di Torino

³⁶ Bollettino petrolifero - Ministero dell'ambiente e della sicurezza energetica - Statistiche energetiche e minerarie
<https://sisen.mase.gov.it/dgsaie/bollettino-petrolifero?anno=2024>

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 99) 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 ³⁷. 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.

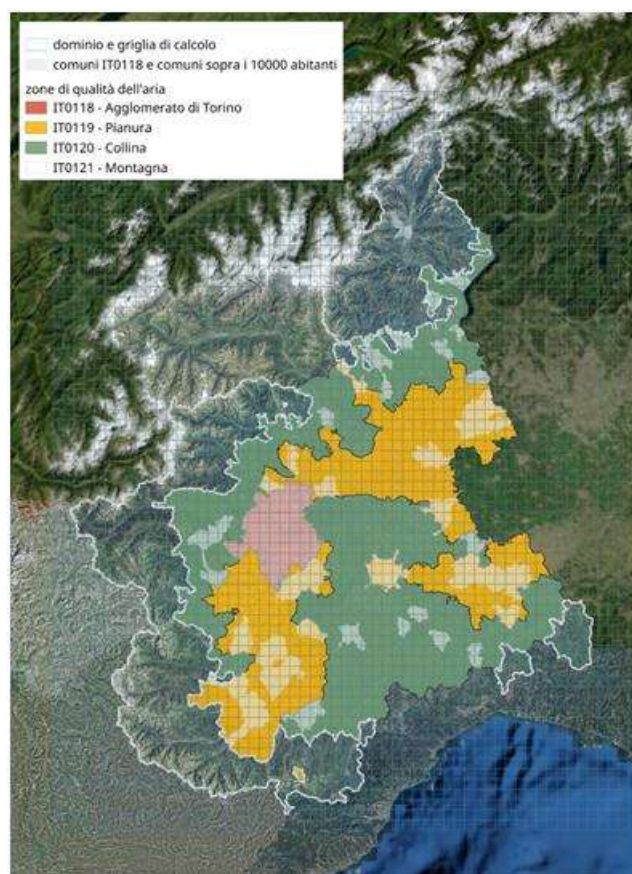


FIGURA 99: comuni interessati dall'applicazione del semaforo antismog.

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

³⁷ 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 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per tre giorni consecutivi a partire dal giorno di controllo;
- livello rosso, nel caso di previsione del superamento del valore di $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (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 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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 2024 – 15 aprile 2025, per un totale di complessivo di 209 giorni. La tabella sottostante riassume per ogni zona la frequenza di attivazione dei livelli nell'inverno 2024-2025. (TABELLA 52).

Comune/Area	LIVELLO 0		LIVELLO 1		LIVELLO 2	
	n° giorni	%	n° giorni	%	n° giorni	%
IT0118 Agglomerato di Torino (esclusi i precedenti)	180	86,1	29	13,9	0	0
IT0119 Pianura (esclusi i precedenti)	199	95,2	10	4,8	0	0
IT0120 Collina (esclusi i precedenti)	204	97,6	5	2,4	0	0

TABELLA 52: tabella riassuntiva sui risultati dell'applicazione del protocollo antismog per l'inverno 2022/2023, dal 15 settembre 2024 al 15 aprile 2025 (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 2024-2025 è riportato in FIGURA 100.

A seguito dell'approvazione di un emendamento al decreto Infrastrutture, il blocco strutturale del traffico per veicoli diesel Euro 5 — previsto inizialmente per il 1° ottobre 2025 nelle regioni del Bacino Padano (Piemonte, Lombardia, Veneto ed Emilia-Romagna) — è stato spostato al 1° ottobre 2026.

A partire dal 2026, le restrizioni non saranno più applicate automaticamente in comuni con almeno 30.000 abitanti, ma solo in quelli con oltre 100.000 abitanti.

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 pellets certificato A1	
	Divieto di abbruciamento di materiale vegetale	
LIMITAZIONI TEMPORANEE VALIDE DAL 15/9 al 15/4 – LIVELLO ARANCIO e ROSSO		
	Diesel Euro 3, 4 e 5	Tutti giorni, sabato e festivi compresi, con semaforo arancione o rosso 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 classe 5 stelle	
	Divieto assoluto di combustioni all'aperto	
	Introduzione del limite a 18°C per le temperature negli edifici	
	Divieto di spandimento dei liquami zootecnici, dei letami e dei materiali ad essi assimilati	
	Divieto di distribuzione di fertilizzanti , ammendanti e correttivi contenenti azoto	

FIGURA 100: schema riassuntivo delle limitazioni 2024-2025.

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>