

# Uno sguardo all'aria

2022







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

Anno 2022

Testi ed elaborazioni a cura di:

Città metropolitana di Torino – Dipartimento Ambiente e Vigilanza ambientale:

A. Bertello

ARPA Piemonte - Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest:

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

ARPA Piemonte - Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali:

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

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

ARPA Piemonte - Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest

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

CSI Piemonte

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

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

O. Munafò

Copertina

Martina Uccisella, "Welcome" 2022

## INDICE

SOMMARIO .....	6
LA RETE DI MONITORAGGIO DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO .....	8
MONOSSIDO DI CARBONIO .....	11
BIOSSIDO D'AZOTO .....	13
BIOSSIDO DI ZOLFO .....	17
OZONO .....	19
BENZENE .....	27
PARTICOLATO SOSPESO .....	29
METALLI .....	39
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI .....	45
MERCURIO ELEMENTARE GASSOSO .....	50
DEPOSIZIONI ATMOSFERICHE "BULK" DI IPA E METALLI .....	54
DETERMINAZIONE DI PCDD/PCDF E PCB PRESSO LA STAZIONE DI BEINASCO (TRM) .....	64
CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'ANNO 2022 .....	75
EMISSIONI INQUINANTI DEI VEICOLI A MOTORE .....	97
IL PROTOCOLLO ANTISMOG NELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO .....	103

## SOMMARIO

L'analisi dei dati di qualità dell'aria 2022 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). Come negli anni precedenti, il particolato PM10 e il biossido di azoto superano i rispettivi valori limite; il PM10 su un'ampia porzione di territorio, il biossido di azoto solo nelle 2 stazioni più critiche dell'agglomerato torinese. L'ozono supera il valore obiettivo su tutto il territorio, evidenziando purtroppo un aumento delle concentrazioni.

Il 2022 è stato estremamente siccitoso sia come quantitativi di precipitazione, sia come numero di giorni piovosi. Principalmente per questo motivo il 2022 ha avuto condizioni sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti. L'analisi dei dati e i confronti con gli anni precedenti dovranno tenere conto di questa situazione e riferirsi prevalentemente al 2020, anno con caratteristiche meteo dispersive confrontabili ma che ha beneficiato di una riduzione delle emissioni dovute al periodo di lockdown.

		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 2022.

I dati di PM10 rilevati nel 2022 presentano un peggioramento rispetto al 2021, anno con condizioni meteorologiche favorevoli alla dispersione degli inquinanti, e si ri-allineano con i dati del 2020. Il valore limite giornaliero è superato in modo diffuso sul territorio, ad eccezione delle zone più esterne rispetto al capoluogo e dei contesti rurali e vallivi. Fra le situazioni di superamento, si osserva che i siti di traffico presentano un numero di superamenti ancora molto elevato, doppio rispetto al consentito. La situazione è migliore nelle stazioni di fondo che presentano una quarantina di superamenti e sono prossime al conseguimento del valore limite. Il valore limite annuale è rispettato in tutti i siti di monitoraggio.

Relativamente al biossido di azoto, i dati rilevati nel 2022 confermano il miglioramento significativo ottenuto nel 2020 e nel 2021. Il fatto che i livelli di concentrazione raggiunti nel 2020 e 2021 siano confermati anche nel 2022 è un dato decisamente positivo, prioritariamente imputabile al costante miglioramento del parco veicolare. Il valore limite orario è rispettato ovunque.

Il valore obiettivo per la protezione della salute umana definito per l'ozono è superato in quasi tutte le stazioni del territorio metropolitano. Nel 2022 si conferma la tendenza all'aumento delle concentrazioni. Questo aumento è dovuto a diversi fattori, quali l'innalzamento delle temperature, la riduzione della piovosità e la variazione del mix emissivo delle sostanze precursori dell'ozono.

Le serie storiche di lungo periodo (FIGURA 1) evidenziano, sostanzialmente per tutti gli inquinanti, una nettissima riduzione delle concentrazioni. In uno scenario tendenzialmente positivo preoccupa l'aumento dei livelli di ozono e lo stabilizzarsi negli ultimi anni delle concentrazioni di PM10. Il miglioramento osservato nell'ultimo periodo per il biossido di azoto conforta sull'efficacia delle misure adottate per ridurre le emissioni dei veicoli diesel più vecchi che sono i principali responsabili dell'emissione di questo inquinante.

I dati evidenziano che le politiche di risanamento sviluppate fino ad oggi sono state efficaci ma, in particolare per il particolato atmosferico che viene prodotto da molte sorgenti diverse e con meccanismi complessi, sicuramente non ancora risolutive.

Per questo motivo sono state recentemente adottate su un'ampia porzione di territorio misure finalizzate a ridurre le emissioni di polveri dagli impianti di riscaldamento a legna e dalle attività agricole.

La consapevolezza del mancato rispetto dei valori limite e dei danni che tale condizione provoca alla salute dei cittadini e all'ambiente della città metropolitana ci impone di adottare con responsabilità e determinazione le misure individuate.

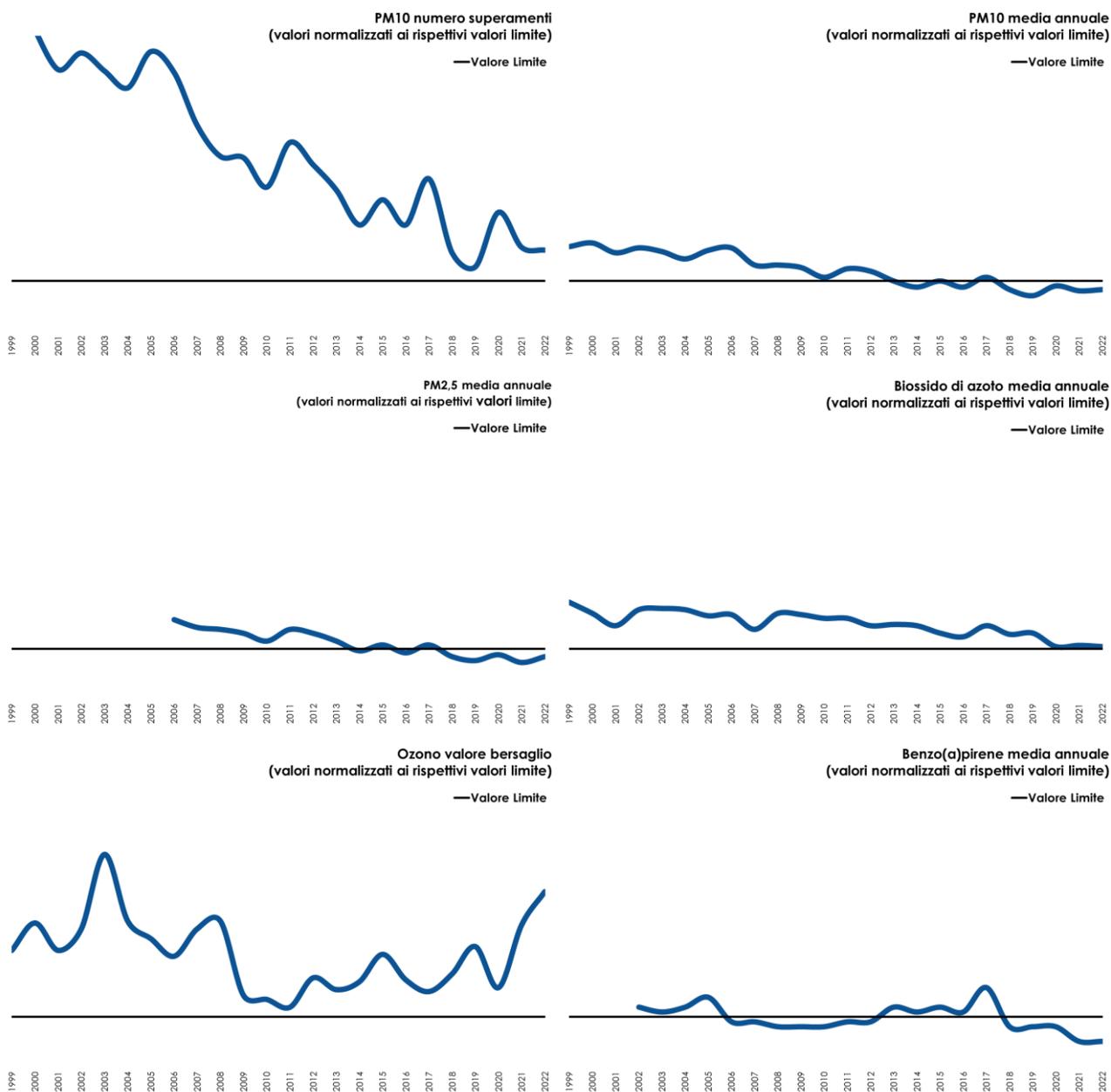


FIGURA 1: evoluzione degli inquinanti nella città di Torino.

## LA RETE DI MONITORAGGIO DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

<http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/territorio/torino/aria/relazioni-mezzo-mobile/elenco-relazioni-qualita-aria>

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

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

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

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

TABELLA 3: descrizione dei codici dei parametri.

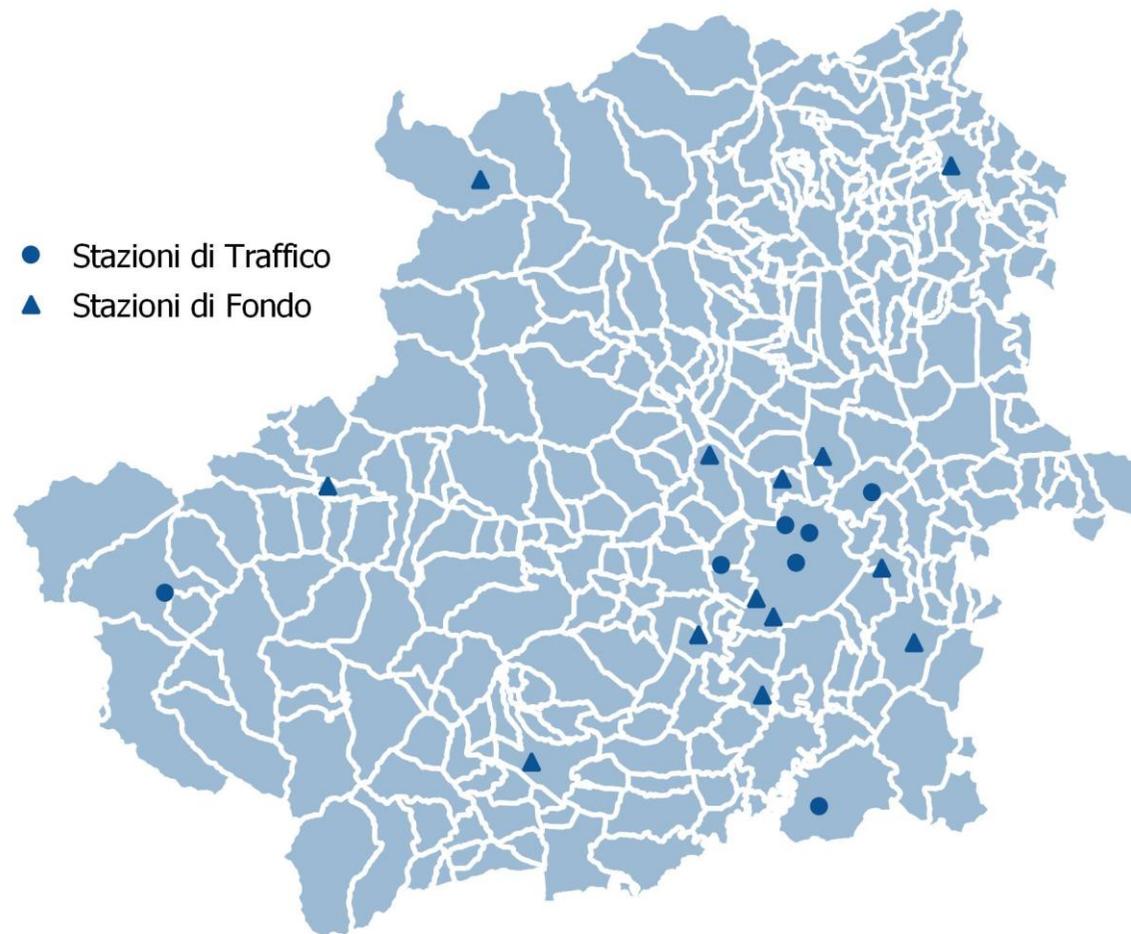


FIGURA 2: disposizione delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria.

## MONOSSIDO DI CARBONIO

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

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

### DESCRIZIONE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### ESAME DEI DATI

I dati relativi al 2022 evidenziano concentrazioni medie annuali comprese fra 0,3 e 0,5 mg/m<sup>3</sup>.

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

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

Negli ultimi 10 anni (TABELLA 5) le concentrazioni medie annuali misurate nella stazione di To-Rebaudengo, stazione che presenta i valori più elevati, sono sostanzialmente stabili e si attestano su valori compresi fra 0,5 e 1,5 mg/m<sup>3</sup>. Negli ultimi tre anni le concentrazioni sono ulteriormente diminuite fino a raggiungere il valore di 0,5 mg/m<sup>3</sup> nel 2022. Non si sono registrati negli ultimi 10 anni superamenti del valore limite per la protezione della salute umana.

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

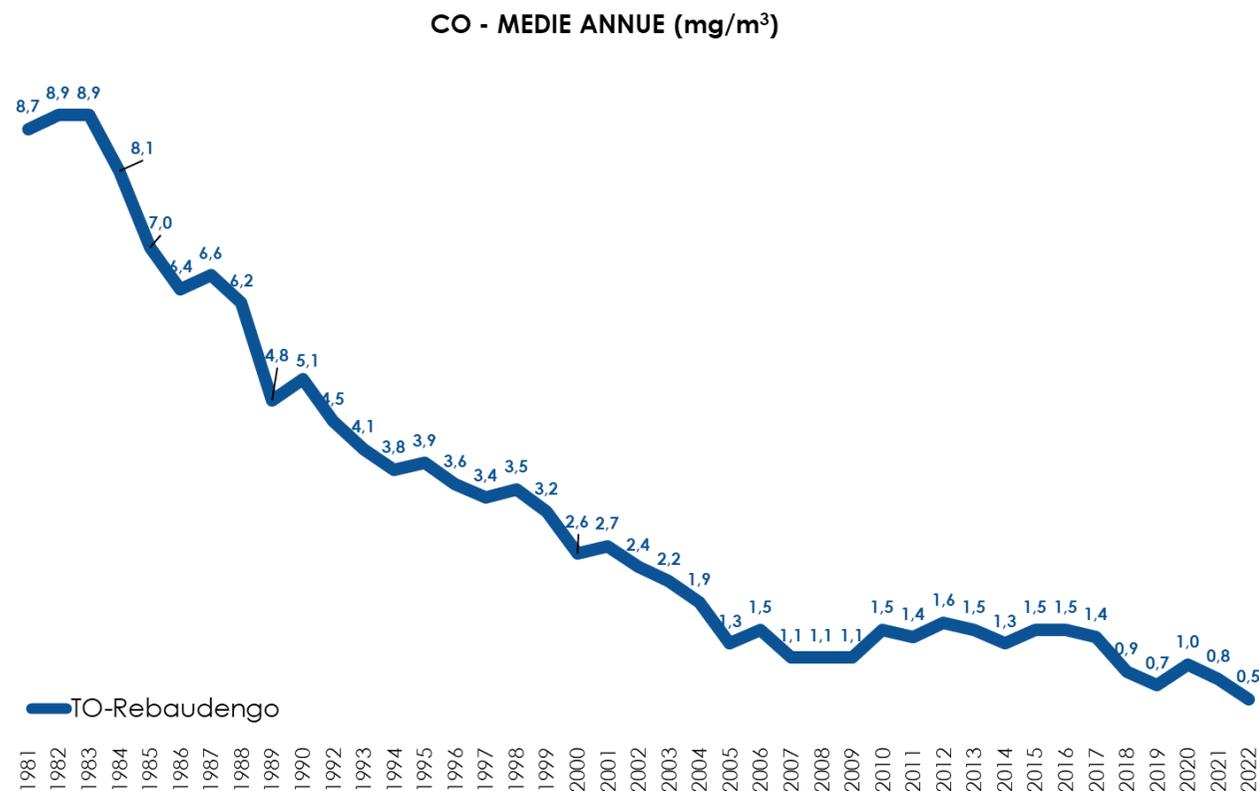


FIGURA 3: parametro CO, concentrazioni medie annuali rilevate presso la stazione di To-Rebaudengo dal 1981 al 2020.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2022 (% dati validi)	Media Annuale mg/m <sup>3</sup>										Valore limite Numero di giorni con la media massima calcolata su 8 ore superiore a 10 mg/m <sup>3</sup>						Valore massimo delle medie calcolate su 8 ore mg/m <sup>3</sup>													
		'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22
Baldissero	99%	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4*	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0	1,1	1	1,2	1,1	1,1	1,0	1,2	0,9	1,2*	1,2
Leinì	98%	0,6	0,6	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,3	2,1	2	1,9	1,7	1,6	2,1	1,6	1,6	1,7
Oulx	99%	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5*	0,5	0,5	0,3	0	0	0	0	0	0	0*	0	0	0	1,9	1,8	1,8	1,5	2,3	1,5	1,8*	1,3	1,6	0,8
To-Consolata	95%	1,2	1,2	1,5	1,2	1,1	0,7	0,5*	0,8	0,7	0,5	0	0	0	0	0	0	0*	0	0	0	3	3,4	3,8	3,3	4,5	2,9	2,8*	2,9	3,4	3
To-Rebaudengo	98%	1,5	1,3	1,5	1,5	1,4	0,9	0,7	1,0	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3,2	3,1	3,6	4,0	2,4	2,1	2,5	2,7	2,2

\*La percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal D.Lgs. 155/2010 (90%)

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

## BIOSSIDO D'AZOTO

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

A. Bertello, Città metropolitana di Torino.

### DESCRIZIONE

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

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

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

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

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

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

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

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

### ESAME DEI DATI

I dati misurati nel corso del 2022 mostrano che il valore limite annuale per la protezione della salute è stato superato in 2 stazioni su 19. Le 2 stazioni che non rispettano il limite annuale sono collocate nell'area urbana torinese in un sito di traffico con flussi veicolari significativi e nel caso della stazione di To-Consolata in una situazione di canyon urbano. 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 1991-2022, sono riportate le medie annuali misurate in due stazioni del capoluogo, To-Lingotto, stazione di fondo urbano, e To-Rebaudengo, caratterizzata da intenso traffico veicolare. Si rileva sul lungo periodo una generale tendenza alla diminuzione della concentrazione di NO<sub>2</sub> che però sembrava aver rallentato nel corso degli anni fra il 2010 e il 2017 con concentrazioni medie annue che oscillano intorno al valore di 70 µg/m<sup>3</sup> nella stazione di traffico di To-Rebaudengo e in prossimità del valore limite (40 µg/m<sup>3</sup>) nella stazione di fondo di To-Lingotto. Gli anni 2018-2019-2020 presentano invece un

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

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

significativo miglioramento sia nella stazione di traffico sia, anche se in misura minore, nella stazione di fondo rispetto al decennio precedente. Gli ultimi 2 anni 2021 e 2022 vedono consolidarsi questo risultato.

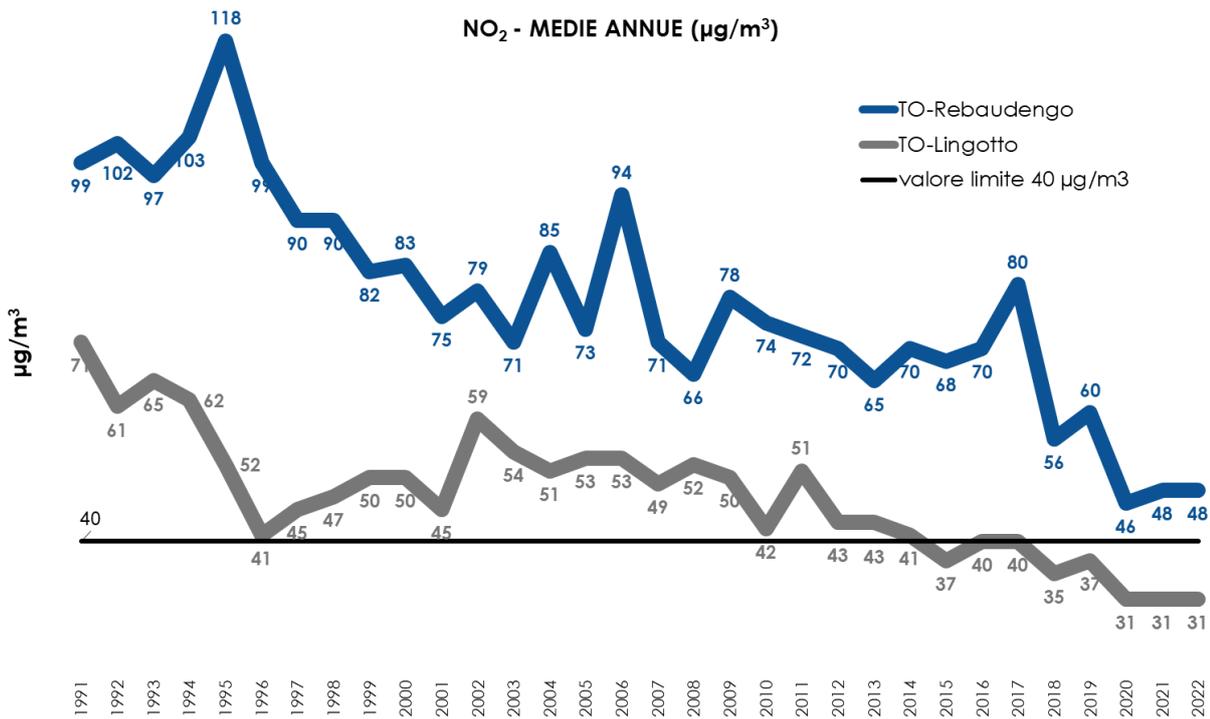


FIGURA 4: parametro NO<sub>2</sub>, andamento storico delle medie annuali, stazioni di To-Lingotto e To-Rebaudengo.

I dati rilevati nel 2022 confermano il miglioramento significativo ottenuto nel 2020 e nel 2021. Occorre ricordare che il miglioramento del 2020 era stato favorito dalla forte riduzione delle emissioni dovuta alle misure legate alla pandemia e quello del 2021 da condizioni meteo dispersive favorevoli. Il fatto che i livelli di concentrazione raggiunti nel 2020 e 2021 siano confermati anche nel 2022 che è stato un anno con condizioni meteo-dispersive particolarmente severe (vedi FIGURA 76) è un dato decisamente positivo prioritariamente imputabile al miglioramento del parco veicolare.

In FIGURA 5 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, ormai da 4 anni, rispetto del limite nelle stazioni di fondo e le residue criticità precedentemente descritte tipiche delle stazioni da traffico.

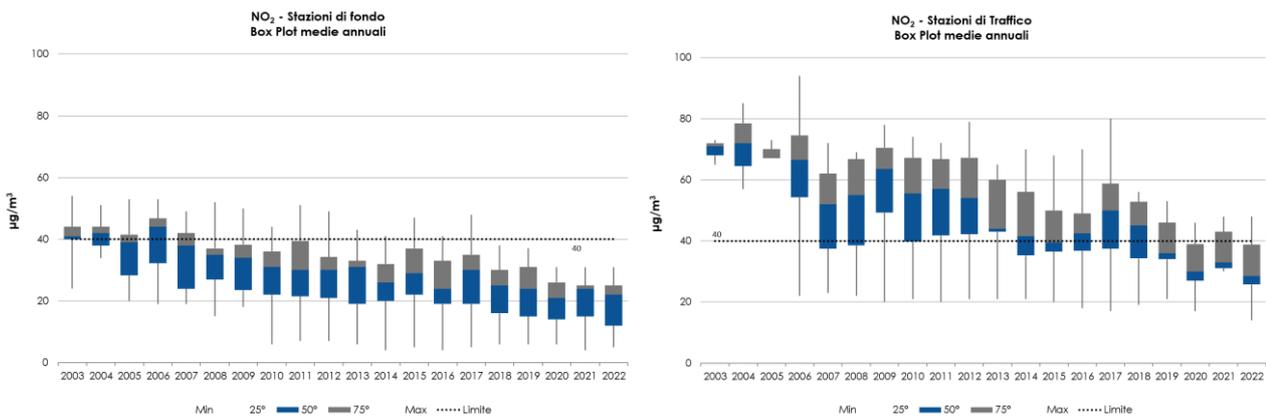


FIGURA 5: parametro NO<sub>2</sub> - distribuzione medie annuali rilevate nelle stazioni di rilevamento di fondo e di traffico.

Nella FIGURA 6 sono rappresentate le serie temporali delle concentrazioni medie di NO<sub>2</sub> misurate dal 1° gennaio al 31 dicembre nelle stazioni di traffico e di fondo dell'agglomerato di Torino, area più critica del territorio metropolitano. Per poter permettere una migliore leggibilità dei grafici, a partire dalle concentrazioni giornaliere, sono state rappresentate le medie mobili calcolate su sette giorni.

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 2022 per quanto riguarda le stazioni di traffico, si evidenzia la riduzione delle concentrazioni su tutto il periodo annuale sia rispetto al 2021 sia rispetto ai valori minimi del periodo di riferimento con l'eccezione dei mesi di marzo e aprile. Tale riduzione non è altrettanto evidente e significativa nelle stazioni di fondo per le quali comunque le concentrazioni misurate nel 2022 si attestano sui livelli inferiori della fascia di riferimento.

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

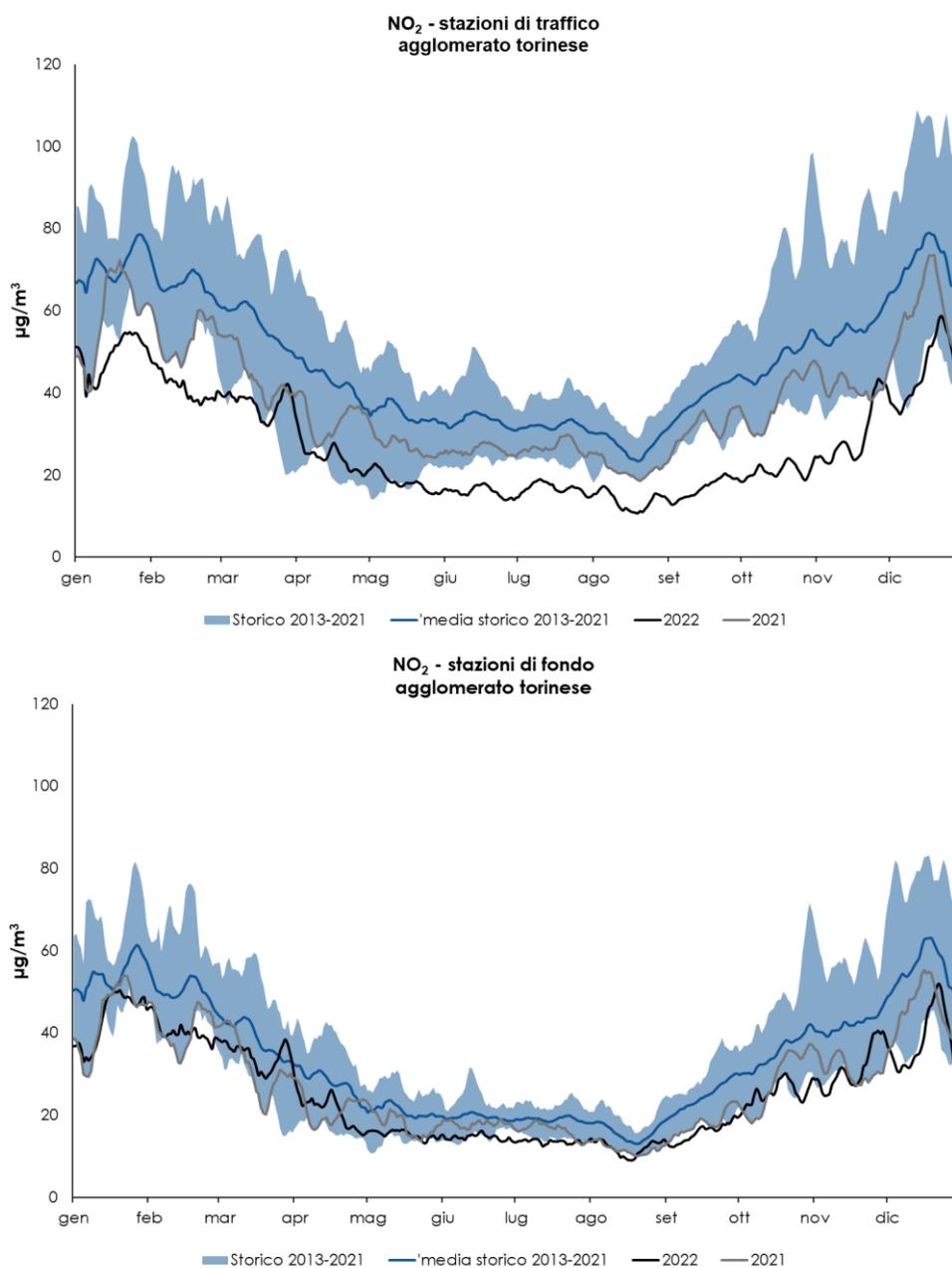


FIGURA 6: parametro NO<sub>2</sub> - serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2021 e del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2022 (% 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									
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
		Baldissero	69%	12	14	14	12	15	11	15	11	10	<b>10*</b>	0	0	0	0	0	0	0	0
Beinasco TRM	99%	<b>41</b>	38	<b>47</b>	<b>41</b>	<b>48</b>	38	31	26	27	<b>27</b>	0	0	0	0	0	1	0	0	<b>0</b>	
Borgaro	97%	31	26	29	30	30	30	25	23	24	<b>22</b>	0	0	2	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
Carmagnola	97%		36	38	39	<b>42</b>	38	34	30	31	<b>29</b>		0	0	1	0	0	0	0	<b>0</b>	
Ceresole reale	80%	6	4	5	4	5	6	6	6	4	<b>5*</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0*</b>	
Chieri(1)	91%	28	23	25	19	23	20	21	14	17	<b>18</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
Collegno	90%	<b>44</b>	<b>47</b>	36	<b>46</b>	<b>58</b>	<b>53</b>	<b>46</b>	30	33	<b>25</b>	5	0	0	4	6	0	3	0	<b>0</b>	
Druento	98%	12	14	16	11	12	12	11	11	9	<b>9</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
Ivrea	95%	25	24	26	23	25	22	24	22	22	<b>24</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
Leini	97%	33	31	31	24	32	25	23	21	24	<b>22</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
Orbassano	96%	32	32	35	32	34	30	31	29	29	<b>25</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
Oulx	96%	21	21	20	18	17	19	21	17	13*	<b>14</b>	0	0	0	0	0	0	0	0*	<b>0</b>	
Settimo	99%	<b>43</b>	35	<b>41</b>	36	36	33	36	26	30	<b>28</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
Susa	96%	19	20	22	20	19	16	15	14	15	<b>12</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	
To-Consolata	96%	<b>60</b>	<b>59</b>	<b>53</b>	<b>50</b>	<b>59</b>	<b>52</b>	<b>53</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>42</b>	5	1	1	0	1	0	0	0	<b>0</b>	
To-Lingotto	78%	<b>43</b>	<b>41</b>	37	40	40	35	37	31	31	<b>31*</b>	0	0	0	5	0	0	0	0	<b>0*</b>	
To-Rebaudengo	99%	<b>65</b>	<b>70*</b>	<b>68</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>56</b>	<b>60*</b>	<b>46</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	31	0*	21	28	25	1	11*	0	<b>4</b>	<b>2</b>
To-Rubino	93%	<b>42</b>	39	<b>44</b>	35	37*	31	33	26	25	<b>28</b>	0	0	0	0	0*	0	0	0	0	<b>0</b>
Vinovo	98%	31	30	<b>43</b>	33	35	26*	28	21	25	<b>24</b>	0	0	0	0	0	0*	0	0	0	<b>0</b>

(1) stazione spostata da corso Buozzi a via Bersezio il 21/12/2011

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

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 ( $\text{SO}_2$ ) 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.

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

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

VALORE LIMITE		
Periodo di mediazione	(293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore limite
1 ora	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $\text{km}^2$ 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  $\text{SO}_2$  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 PM10. Per tale ragione occorre continuare a garantire un adeguato monitoraggio delle concentrazioni di  $\text{SO}_2$  e mantenere in vigore le misure che ne hanno ridotto la presenza in atmosfera.

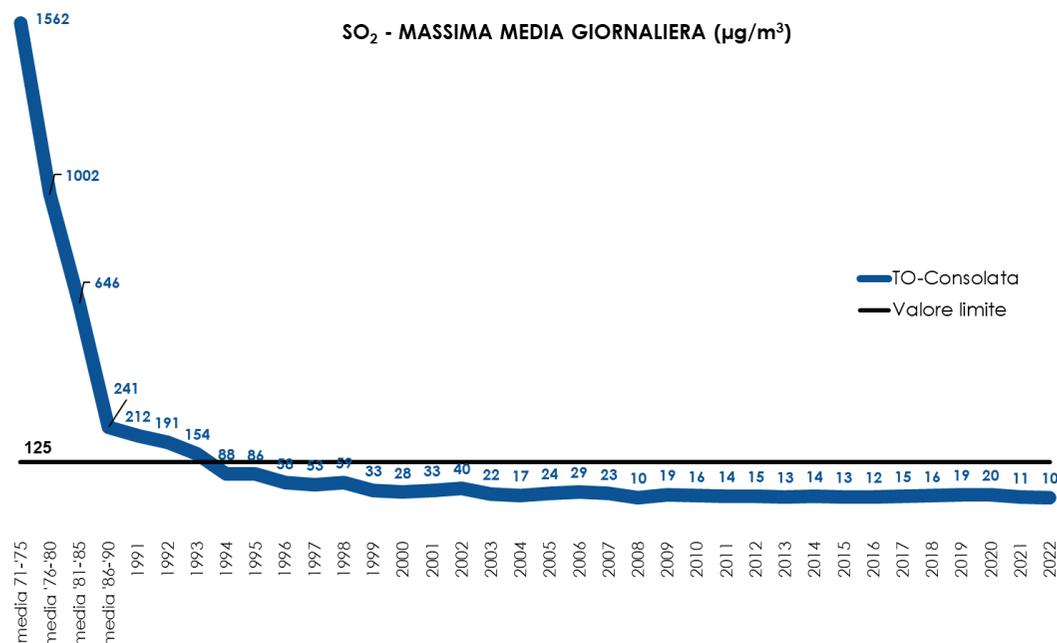


FIGURA 7: parametro SO<sub>2</sub>, massima media giornaliera su base annuale rilevata nella stazione di To-Consolata.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2020 (% dati validi)	Media Annuale µg/m <sup>3</sup>												Valore limite orario per la protezione della salute umana 350 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 24 volte nell'anno civile Numero di superamenti												Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana 125 µg/m <sup>3</sup> da non superare più di 3 volte nell'anno civile Numero di superamenti											
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22						
To-Consolata	<b>90%</b>	6	7	7	6	7	7	7	7	5	<b>4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>						
To-Rebaudengo	<b>93%</b>	6	7	6	7	8	11	11	8	5	<b>5</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>						
STAZIONE	Rendimento Strumentale 2020 (% dati validi)	Valore limite per la protezione degli ecosistemi 20 µg/m <sup>3</sup> Media calcolata sul periodo di riferimento 1 gen - 31 mar e 1 ott - 31dic												Soglia di allarme 500 µg/m <sup>3</sup> Numero di superamenti												Massimo orario µg/m <sup>3</sup>											
		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22						
To-Consolata	<b>90%</b>	7	9	7	7	9	9	9	9	6	<b>4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	15	19	19	19	21	23	26	27	17	<b>16</b>						
To-Rebaudengo	<b>93%</b>	7	9	5	8	10	13	12	9	6	<b>5</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	26	24	17	25	39	21	21	22	29	<b>31</b>						

\*La percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal D.Lgs. 155/2010 (90%)

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:

Annalisa Bruno, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.

### DESCRIZIONE

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

Negli strati alti dell'atmosfera terrestre (stratosfera) è di origine naturale e aiuta a proteggere la vita sulla Terra, creando uno scudo che filtra i raggi ultravioletti del Sole. L'ozono presente nella troposfera (lo strato atmosferico compreso fra il livello del mare e i 10 km di quota), ed in particolare nelle immediate vicinanze della superficie terrestre, è invece un componente dello "smog fotochimico" che si origina soprattutto nei mesi estivi in concomitanza di un intenso irraggiamento solare e di un'elevata temperatura.

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

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

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

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

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

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

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

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

L'ozono è un inquinante sostanzialmente ubiquitario e, a differenza di quanto avviene per gli inquinanti di tipo primario, situazioni critiche possono riscontrarsi anche in zone distanti dai grossi centri urbani e in aree ad altitudini elevate.

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, con relativa scomparsa di alcune specie arboree dalle aree urbane.

I valori obiettivo e le soglie di informazione e di allarme in vigore sono riportati nella TABELLA 10.

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

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

## ESAME DEI DATI

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

Il rapporto dell'EEA (European Environmental Agency - Agenzia Europea dell'Ambiente) uscito nel 2023<sup>6</sup> - riferito tuttavia agli anni fino al 2021 – riconosce che 16 stati membri dell'UE su 27 presentano nel 2021 concentrazioni giornaliere di ozono mediate su 8 ore superiori al valore obiettivo di 120 µg/m<sup>3</sup> (da non superare più di 25 volte in un anno civile come media su 3 anni). L'Italia, che possiede il maggior numero di stazioni di misura sul proprio territorio insieme a Spagna e Francia, si trova nella parte alta della classifica, con frequenti violazioni del limite normativo dei 25 superamenti annui consentiti. In particolare - come si osserva dalla figura 19 di pagina 34 del suddetto report europeo, nel territorio della Pianura Padana, cui la Città Metropolitana di Torino appartiene, il 93.2 percentile (equivalente al 26esimo superamento) della serie annuale registrato in molte stazioni di misura è superiore anche a 140 µg/m<sup>3</sup>, ben oltre il valore guida normativo.

In TABELLA 11 sono riportati i superamenti della soglia di informazione per l'ozono - concentrazione oraria di 180 µg/m<sup>3</sup> - degli ultimi 10 anni di misure nell'area metropolitana torinese. Dall'analisi dei dati si rileva subito come il 2022 sia stato un anno eccezionalmente critico per l'ozono e in controtendenza rispetto agli ultimi anni di misura. Tutte le stazioni dell'area della Città Metropolitana di Torino nel 2022 hanno registrato superamenti della soglia di informazione e ci sono stati complessivamente 424 superamenti, valore di un ordine di grandezza superiore rispetto ai precedenti due anni di misura (35 superamenti nel 2021 e 34 nel 2020).

Nonostante il numero così elevato di superamenti del valore soglia di 180 µg/m<sup>3</sup>, i valori di picco di ozono anche nel 2022 - come già negli ultimi 8 anni di misurazioni, non hanno mai superato la soglia di allarme di 240 µg/m<sup>3</sup> su tutto il territorio della Città Metropolitana di Torino.

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

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

<sup>6</sup> EEA Status report of air quality in Europe for year 2022, using validated data (ETC-HE Report 2023/1), 33-43

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2022 (% dati validi)	Soglia di informazione 180 µg/m³ come media oraria Numero di superamenti									
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Baldissero	95	16	14	26	1	3	0*	3	0	0	29
Borgaro	87*	0	2	32	15*	6	2	5	0*	4	20
Ceresole	97	6	0	0	1	1	0*	0	0	0	3
Chieri	87*	0	9*	0	1	4*	0*	1	0	0	14
Druento	90	42	26	69	36	46	3	17	32*	10	25
Ivrea	98	0*	1	4	0	7	0	1	2	0	6
Leini	94	0	2	3	4	1	0*	5	0	0	8
Orbassano	90	4	7	68	39	79	9	34	1	18	125
Susa	92	0	0	0	12	5	0	0	0	0	11
To-Lingotto	90	0*	18	8	8	7	3*	18	0	1*	39
To-Rubino	95		6 <sup>(1)</sup>	3	12	6	4*	29	0	2	58
Vinovo	94	0	4	1	4*	12	9*	8*	0	0	86

(1) strumento operativo dal 23/05/2013

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

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

È comunque evidente l'anomalia negativa che il 2022 ha rappresentato per le concentrazioni di ozono negli ultimi 10 anni di misurazioni.

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.

In Piemonte, il 2022 è stato l'anno più caldo e il secondo meno piovoso dell'intera serie storica dal 1958. L'anomalia termica positiva è stata di +2,3 °C rispetto alla climatologia del periodo di riferimento (1971-2000). L'anomalia termica ha interessato praticamente tutto l'anno (con la sola eccezione di marzo 2022). In particolare, i mesi di maggio, giugno, luglio e ottobre hanno fatto registrare una temperatura media mensile superiore di più di 3 °C rispetto alla media 1971-2000, rendendoli i primi o i secondi mesi più caldi di tutta la serie storica. Nella stazione di Torino-Consolata il periodo aprile-settembre 2022 ha fatto registrare una temperatura media di 22,4 °C, di 1,4 °C superiore alla media dei precedenti 10 anni, dal 2012 al 2021 (FIGURA 8). Inevitabilmente le alte temperature dei mesi estivi hanno influito negativamente sulla concentrazione di ozono registrata al suolo durante l'anno in esame.

Il dato sulle piogge cumulate è stato altrettanto critico nel 2022. In tutto il Piemonte, ma in particolare nel territorio della Città Metropolitana di Torino, il deficit di precipitazioni è stato notevole. La precipitazione cumulata media annua a livello regionale è stata di 612 mm con un deficit del - 42% rispetto alla media climatica del trentennio 1971-2000. Nel 2022 la stazione di misura di Torino-Consolata ha registrato il valore di pioggia cumulata di 310 mm a fronte di un valore medio del decennio 2012-2021 di 956 mm, cioè nel 2022 è caduta meno di un terzo della pioggia della media dei precedenti 10 anni. Il secondo valore più basso in 10 anni di misurazioni è stato di 492 mm di pioggia cumulata registrata nel 2017, comunque quasi 200 mm in più rispetto al 2022. Il dato di precipitazione dei mesi estivi è ancora più estremo: da aprile a settembre 2022 nella stazione di Torino-Consolata sono caduti solo 190 mm di pioggia, in media nei precedenti 10 anni ne sono caduti 579. Il grafico di FIGURA 8 rende molto bene la sproporzione dei valori di precipitazioni tra il 2022 e il decennio precedente.

Come si legge nel documento di Arpa Piemonte sull'andamento meteo-climatico del 2022 "Si può dire che la combinazione di alte temperature e siccità osservate nel 2022 non ha precedenti nel periodo storico preso in considerazione e ridefinisce il concetto di estremo"<sup>7</sup>.

In TABELLA 12 e in TABELLA 13 sono riportate rispettivamente le elaborazioni necessarie per la verifica del conseguimento del valore obiettivo per la protezione della salute umana e del valore obiettivo per la protezione della vegetazione. Entrambi gli obiettivi non vengono praticamente mai rispettati nella Città Metropolitana di Torino nel 2022.

<sup>7</sup>ARPA PIEMONTE Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali: Il Clima in Piemonte 2022

**TEMPERATURA MEDIA E SOMMA DELLE PRECIPITAZIONI ATMOSFERICHE  
(periodo aprile-settembre) ANNI 2012-2022**

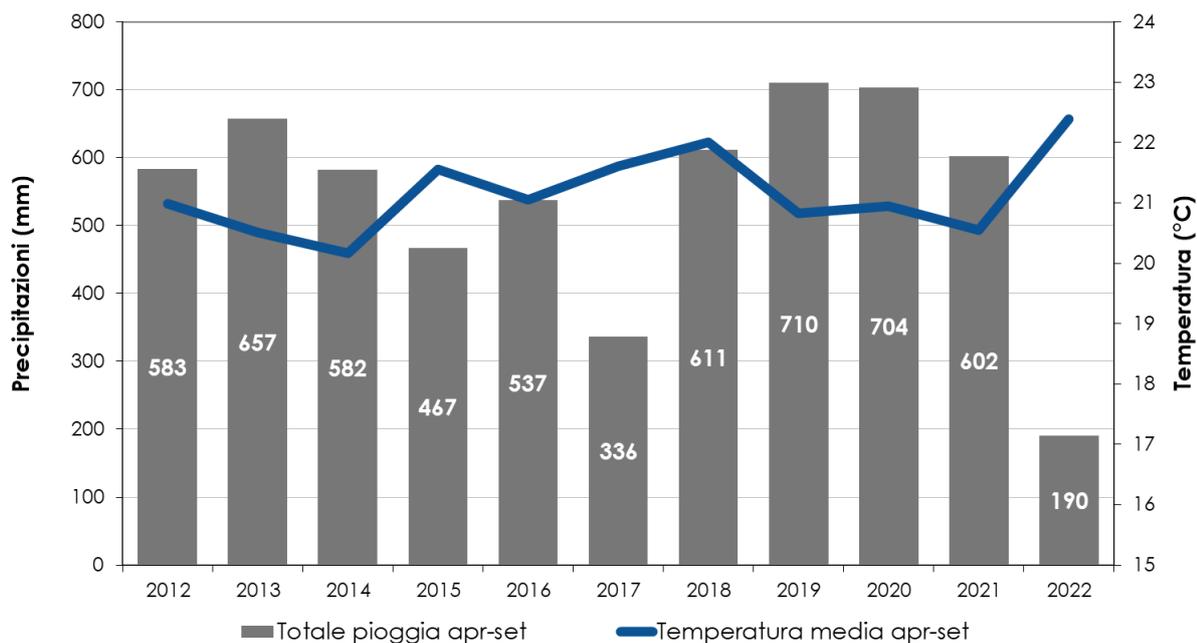


FIGURA 8: temperatura media e somma delle precipitazioni atmosferiche, nel periodo aprile-settembre, anni 2012-2022, stazione di To-Consolata.

STAZIONE	Valore obiettivo per la protezione della salute umana Numero di giorni con la media massima, calcolata su 8 ore, superiore a 120 µg/m <sup>3</sup>										MEDIA 2020-2022 (2)
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Baldissero	88	51	62	60	72	61*	67	46	70	108	<b>75</b>
Borgaro	27	10	71	51*	40	39	31	34*	63	78	<b>58</b>
Ceresole	58	26	57	40	38	10*	24	21	21	74	<b>39</b>
Chieri	36	41	73	52	56*	58*	42	5	31	36	<b>24</b>
Druento	72	21	59	59	54	49	41	56*	63	64	<b>61</b>
Ivrea	31*	19	61	24	48	44	33	37	45	62	<b>48</b>
Leini	34	8	39	45	34	23*	40	28	46	70	<b>48</b>
Orbassano	66	34	74	78	83	76	59	70	83	123	<b>92</b>
Susa	38	5	20	46	56	31	23	22	49	65	<b>45</b>
To-Lingotto	39*	43	57	44	38	47*	61	40	72	89	<b>67</b>
To-Rubino		18 <sup>(2)</sup>	53	52	43	47*	51	53	55	99	<b>69</b>
Vinovo	47	13	31	42*	52	64*	46*	34	38	105	<b>59</b>

(1) strumento operativo dal 23/05/2013

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

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

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

Con l'esclusione di Chieri (dove, tuttavia, la percentuale di dati validi è inferiore – anche se di poco – a quanto stabilito dalla normativa), in tutte le altre stazioni di monitoraggio 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" (v. oltre).

Il numero di superamenti del valore obiettivo per la salute umana va dai 24 superamenti della stazione di Chieri, di cui abbiamo già detto, ai 92 della stazione di Orbassano, con una media della città Metropolitana di Torino di 57 superamenti, numero più che doppio rispetto a quelli ammessi dalla normativa e molto maggiore della media degli ultimi anni di misurazioni.

Se si prendesse in considerazione a scopo puramente descrittivo il parametro "soglia del valore obiettivo" e cioè che il numero di superamenti del limite di  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  non debba essere superato più di 25 giorni nel corso di un unico anno solare, nel 2022 nessuna stazione di misura della CMT rispetterebbe tale limite. Nel grafico di FIGURA 9 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 2022 invece, spicca notevolmente rispetto agli ultimi anni di misurazioni. Si evidenzia, infatti, una delle medie provinciali più alte degli ultimi 20 anni, di poco inferiore a quella del 2007, anno record per le temperature estremamente elevate in regione. Il 2022 fa inoltre registrare il valore massimo di superamenti annuali degli ultimi 20 anni, avvenuto nella stazione di Orbassano (123 superamenti annui).

L'andamento dei dati di ozono del 2022 non fa che confermare la considerazione già espressa nei precedenti report per cui alle nostre latitudini, spesso caratterizzate da estati calde e lunghi periodi di alta pressione, il limite normativo per la protezione della salute umana rappresenta ancora una sfida importante con cui le amministrazioni locali e nazionali devono confrontarsi.

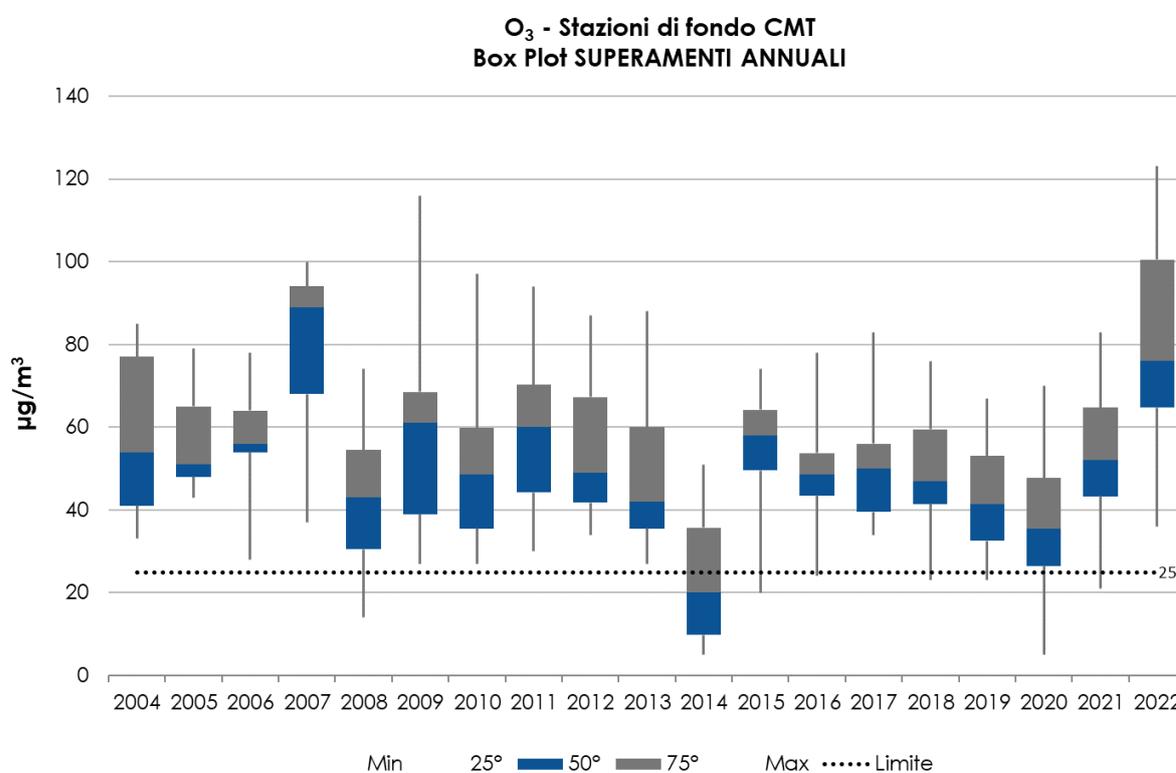


FIGURA 9: rappresentazione a "box plot" dei superamenti annuali del valore obiettivo nella CMT anni 2004-2022.

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

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

sola stazione di Dernice, in Provincia di Alessandria. Le considerazioni successive relative alle stazioni di Baldissero, Ceresole e Druento hanno quindi un puro valore indicativo.

La media degli ultimi cinque anni del calcolo dell'AOT40 in genere aumenta rispetto al quinquennio 2017-2021 per tutte le stazioni considerate. In questo caso, trattandosi di concentrazioni, si è scelto di non considerare nel calcolo quinquennale i valori di AOT40 degli anni con rendimento strumentale insufficiente, al fine di non alterare impropriamente la media annuale. In ogni caso, in tutte e tre le stazioni il dato mediato negli ultimi 5 anni di misura non rispetta il valore bersaglio stabilito dalla normativa europea ed italiana di 18.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$  e rimane molto superiore all'obiettivo a lungo termine di 6.000  $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ , fissato dalla legislazione europea nella direttiva 2008/50/CE.

STAZIONE	DECRETO LEGISLATIVO n. 155/ del 13/08/2010										
	Valore obiettivo per la protezione della vegetazione										
	AOT 40 (18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ )										
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	MEDIA 2018-2022
Baldissero	38576	28525	36285	23327	32186	24211*	35254	22378	28382	<b>44093</b>	<b>32527</b>
Druento	32780	23341	36839	27031	33531	19952	21808	17039*	22785	<b>26188</b>	<b>22683</b>
Ceresole	30089	23159	32688	23285	25714	15148*	23358	21016	19360	<b>34600</b>	<b>24584</b>

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

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

In FIGURA 10 è riportata, per l'anno 2022, la distribuzione mensile dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per tre stazioni: To-Lingotto, rappresentativa del fondo urbano metropolitano; Baldissero Torinese e Ceresole Reale, poste più in quota e rappresentative del fondo rurale. Dal grafico è ben evidente l'influenza della temperatura e quindi della radiazione solare sulla formazione di ozono troposferico. Per tutte le stazioni, infatti, il numero di giorni di superamenti del limite di 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  mediato su 8 ore segue l'andamento della temperatura media mensile registrata nella stazione di Torino-Consolata. I superamenti compaiono già a marzo per tutte le stazioni di misura e aumentano costantemente fino a raggiungere il numero massimo nel mese di luglio per Ceresole e To-Lingotto mentre a Baldissero t.se è agosto il mese con maggiori superamenti. Si nota come a To-Lingotto nel solo mese di luglio si superano i 25 superamenti annui del limite di 120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ammessi dalla normativa, per le altre stazioni i giorni di superamento del limite sono comunque ben 24, un'unità sotto il limite annuale. Nel complesso, da marzo a settembre del 2022 per Baldissero, Ceresole e Torino-Lingotto ci sono stati rispettivamente 108, 74 e 89 superamenti del limite annuale, un numero almeno triplo di quanto considerato accettabile dalla normativa.

Veniamo infine alla serie storica delle concentrazioni medie di ozono durante il semestre caldo (aprile-settembre) per le stazioni di To-Lingotto, Baldissero Torinese e Ceresole Reale. Nel grafico di FIGURA 11 si possono osservare i dati a partire dal 1993, quando è iniziata la misurazione dell'ozono nella stazione di To-Lingotto.

Al di là delle singole variazioni annuali, per le stazioni rurali - Baldissero Torinese e Ceresole Reale, fino al 2021 è ben evidente una tendenza alla diminuzione delle concentrazioni medie di ozono del periodo aprile-settembre da quando sono iniziate le misurazioni. Baldissero Torinese era passata da 110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 1995 a 97  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2021; le concentrazioni medie di Ceresole Reale erano diminuite da 102  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2010 a 85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2021. Il decremento registrato era stato rispettivamente del 12% e del 15%. I dati esposti confermavano quanto già rilevato dall'EEA nei suoi report: nel corso degli anni era stato possibile individuare in tutto il territorio europeo un leggero e generalizzato calo nelle concentrazioni di ozono in particolare presso le stazioni rurali. Nel 2022, le particolari condizioni climatiche di caldo e siccità eccezionali hanno, invece, interrotto la diminuzione dei valori medi di ozono in atto da diversi anni per le stazioni rurali: le concentrazioni del periodo aprile-settembre sono aumentate rispetto all'anno precedente, con incrementi dal 7 al 9%.

L'aumento delle concentrazioni medie nel 2022, in controtendenza per le stazioni rurali - come detto, non stupisce invece per la stazione urbana di Torino-Lingotto dove l'incremento dei valori di ozono è in atto dal 1993. Il dato del 2022 (87  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) è il più alto della serie storica, ma l'aumento rispetto all'anno precedente non è così rilevante (+4%). Al di là dell'evidente influenza della meteorologia fortemente favorevole all'accumulo di ozono durante i mesi estivi del 2022 su tutto il territorio provinciale, per la stazione urbana di riferimento viene confermata la tendenza all'aumento delle concentrazioni estive di ozono negli ultimi 30 anni, quantificabile in un +30% circa.

Non è semplice dare una spiegazione a questo fenomeno che appare in controtendenza rispetto alle altre stazioni di misura e agli altri inquinanti che con varie pendenze hanno visto diminuire le proprie concentrazioni negli ultimi 30 anni di misurazioni. Il fenomeno non riguarda ovviamente solo

la città di Torino, ma accomuna molti ambienti urbani del territorio europeo. È probabile che concorrano più fattori a mantenere alte le concentrazioni medie di ozono nelle stazioni urbane, non solo la maggiore presenza di precursori di origine antropica, ma anche l'instaurarsi in città, rispetto alle circostanti zone periferiche e rurali, di un microclima più caldo, la cosiddetta "isola di calore", che finisce per favorire la formazione di ozono troposferico.

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

**O<sub>3</sub> - Confronto temperatura e distribuzione temporale dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana (numero di giorni con la media massima, calcolata su 8 ore, superiore a 120 µg/m<sup>3</sup>) - anno 2022**

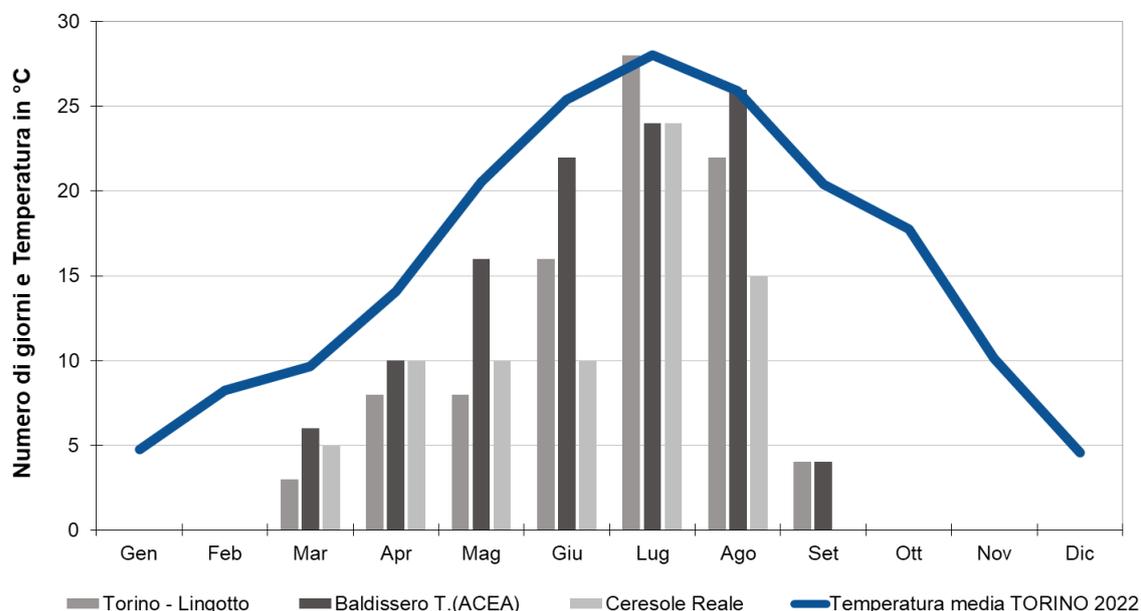


FIGURA 10: ozono - distribuzione temporale dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per le stazioni di Torino-Lingotto, Baldissero Torinese e Ceresole, anno 2022.

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

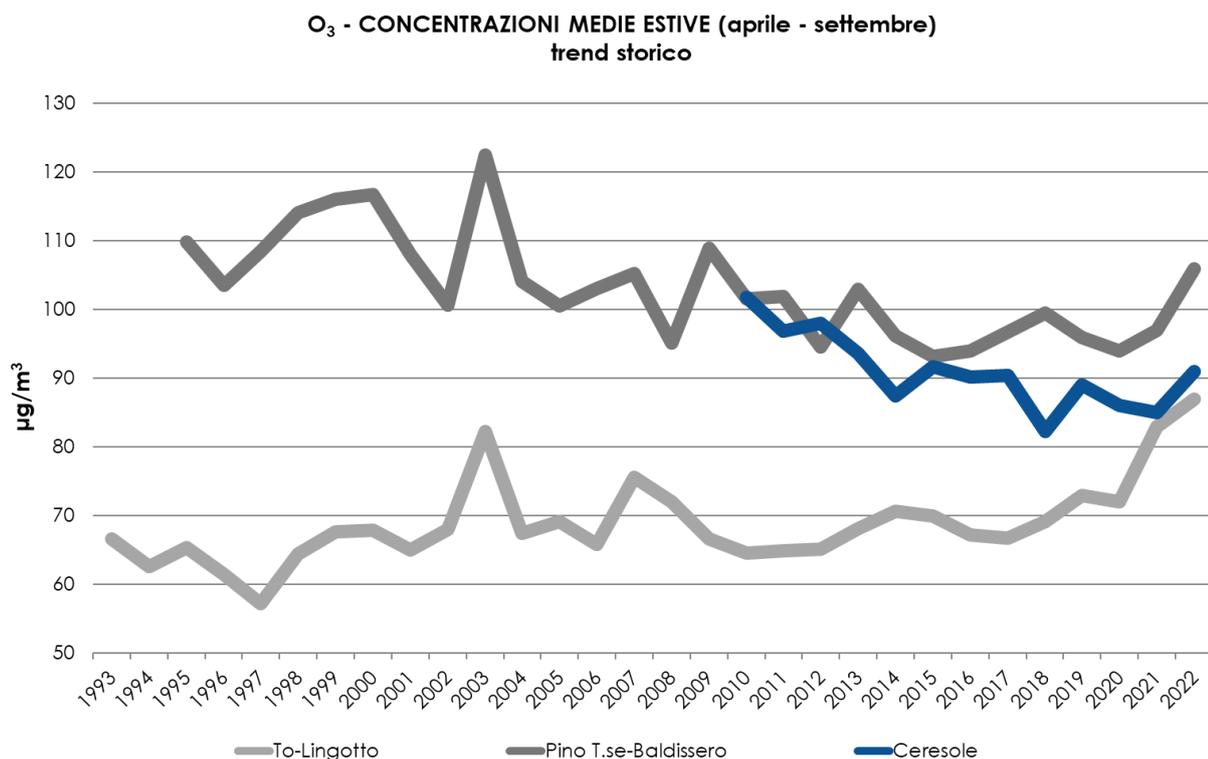


FIGURA 11: ozono, medie di concentrazione nel periodo aprile-settembre dal 1993 al 2022.

## BENZENE

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

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

### DESCRIZIONE

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

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

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

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

Il benzene è una sostanza classificata:

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

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

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

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

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

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

### ESAME DEI DATI

La FIGURA 12 mostra i valori medi annui di Benzene misurati nella stazione di To-Consolata a partire dal 1996. Dal 2004 in poi il valore limite (pari a 5 µg/m<sup>3</sup> come media annuale) è rispettato, anche grazie all'introduzione, da luglio 1998, del limite dell'1% del tenore di benzene nelle benzine ed al progressivo aumento del numero di auto con catalizzatore ossidante sul totale degli autoveicoli circolanti.

La TABELLA 15 evidenzia che le medie annuali misurate nel 2022 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 molto inferiori al valore limite. Il 2022 conferma la significativa riduzione delle concentrazioni osservata nell'ultimo periodo in tutti siti di monitoraggio. Tutte le misure sembrano assestarsi su un valore di fondo pari a circa 1 µg/m<sup>3</sup> di media annuale. Solo il sito di traffico di To-Rebaudengo presenta una concentrazione media annuale lievemente più alta, pari a 1,3 µg/m<sup>3</sup>. I dati misurati confermano che il parametro benzene è efficacemente sotto controllo.

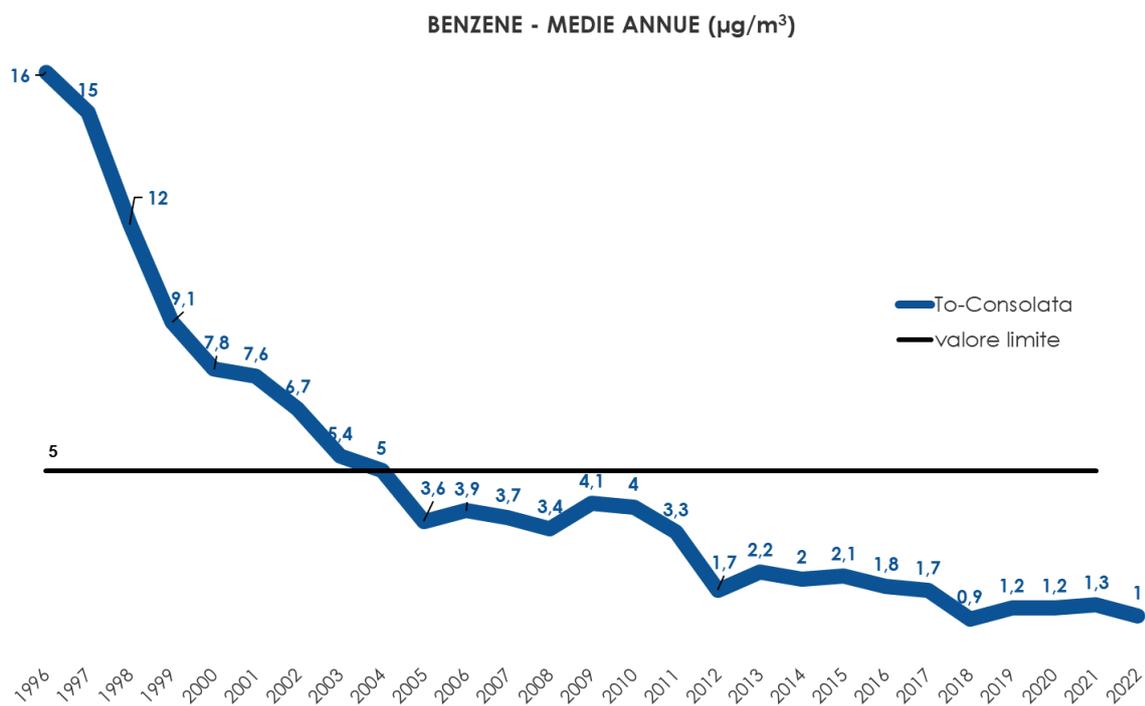


FIGURA 12: concentrazioni medie annue di benzene rilevate negli anni 1996-2022.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2022 (% dati validi)	VALORE MEDIO ANNUO									
		Valore limite annuale: 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$									
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Beinasco (TRM)	90%	2,2*	2,1*	1,3	1,3	1,3	1	1*	1	1	0,9
Borgaro T.se	93%	1,5	1,4	1,3	1,2	1,3	1,1	1	1,2*	1	1
Settimo T.se	93%	2,0	2,1	2,3	2,1*	1,6*	0,9	1,1	1,2	1,1	1
To-Consolata	92%	2,2	2,0	2,1	1,8	1,7	0,9	1,2*	1,2*	1,3	1
To-Lingotto	88%	1,2*	1,0	1,1*	1,1*	1,1*	1*	0,9*	0,8*	1*	1
To-Rebaudengo	86%	2,0	2,4*	2,6	2,1	2,3	1,5	1,8*	1,6	1,6	1,3
To-Rubino	97%	2,5	2,2	2,1*	1,6	1,3	1,1	1	1	0,9	0,8
Vinovo	94%	1,7*	1,2*	1,6	1,4	1,5	1,1	1	1,1	1,1*	0,9

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

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

## PARTICOLATO SOSPESO

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

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

### DESCRIZIONE

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

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

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

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

I valori limite sono riportati nella TABELLA 16.

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

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

### FRAZIONE PM10 E PM2,5

I dati di particolato nel 2022 mostrano un lieve incremento nelle medie annuali rispetto all'anno precedente, così anche per quanto riguarda il numero di superamenti del valore limite di 24 ore, per i quali l'aumento è stato percentualmente più elevato.

Nel modulare le concentrazioni del particolato atmosferico la meteorologia gioca un ruolo determinante ed il 2022, a differenza dell'anno precedente, è stato caratterizzato da una meteorologia sfavorevole alla dispersione atmosferica degli inquinanti, con precipitazioni estremamente scarse. Questo ha determinato un incremento delle concentrazioni del particolato atmosferico. Dal punto di vista climatico l'anno 2022 in Piemonte è risultato il più caldo e il secondo meno piovoso dell'intera serie storica dal 1958, con un'anomalia termica media attorno a +2.3 °C rispetto alla climatologia del periodo 1971-2000. L'apporto delle precipitazioni totali annue è stato

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

pari a 611.9 mm, con un deficit di 438.6 mm (pari al 42%). La combinazione di alte temperature e di siccità osservate dell'anno 2022 non ha precedenti nel periodo storico preso in considerazione.<sup>10</sup>

Il numero di occorrenze di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 nel 2022 è stato pari a 125 giorni (FIGURA 76), uno dei valori più elevati degli ultimi anni nella serie storica a disposizione. L'andamento mensile dell'indice (FIGURA 77) si attesta su valori medio alti rispetto al periodo di riferimento. Si evidenziano i mesi di gennaio, febbraio e, anche se in misura minore, novembre come particolarmente critici ed estremamente sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti, mentre il mese di dicembre risulta essere tra i meno critici del periodo di riferimento.

In FIGURA 13 si osserva che il valore limite annuale ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) è stato rispettato in tutte le stazioni del territorio della città metropolitana, compresa la stazione di To-Grassi, usualmente la più critica in tutto il territorio della Città Metropolitana, dove il valore è pari a quello limite.

Considerando l'insieme delle stazioni metropolitane esistenti e con dati validi in entrambi gli anni 2021-2022, si osserva un aumento delle concentrazioni medie del 9% rispetto al 2021.

Si sottolinea che il dato di Torino-Consolata è sottostimato, in quanto è stato necessario spegnere i campionatori di PM10 e PTS a causa di un cantiere, che ha coinvolto la facciata del palazzo presso cui si situano i campionatori. Il periodo di assenza dati nel 2022 si è prorogato fino al 4 febbraio. Utilizzando per questi mesi i valori medi rilevati nelle altre stazioni operanti nella città di Torino, si stima una media annuale di  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e un numero di 80 superamenti del valore limite giornaliero.

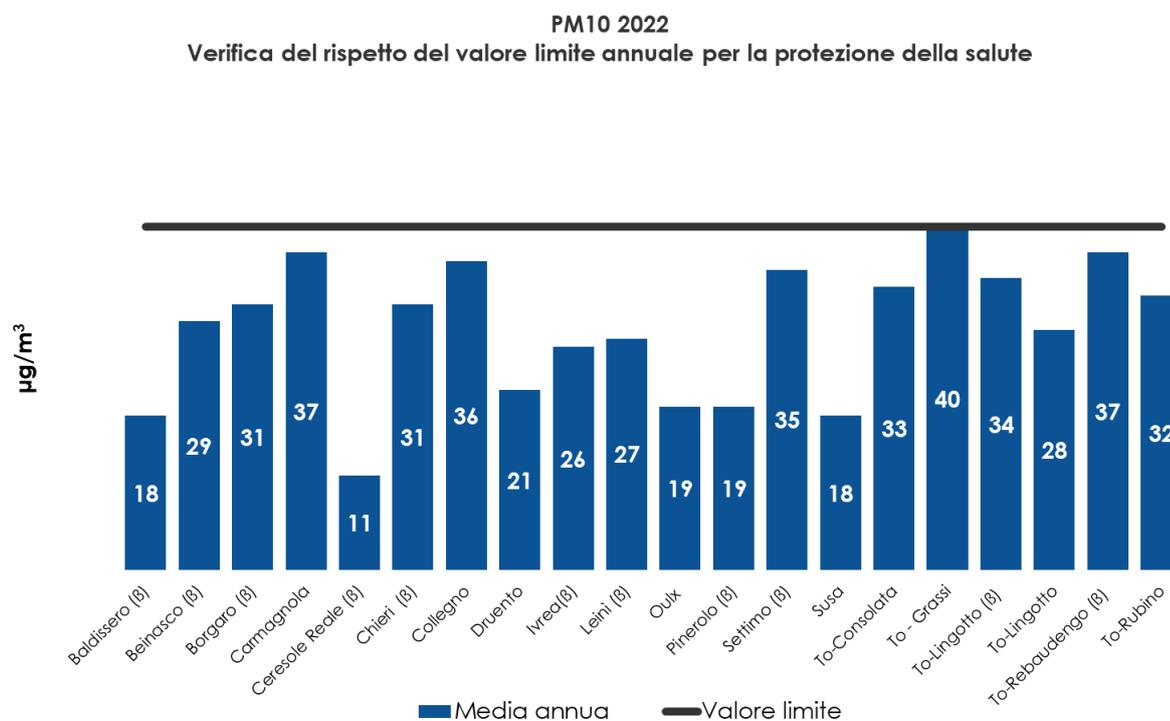


FIGURA 13: valore medio annuale misurato presso le stazioni di monitoraggio metropolitane.

In FIGURA 14 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 2022 i mesi più critici sono stati i siccitosi gennaio, febbraio, marzo e dicembre. Da aprile a settembre prevalgono condizioni di instabilità atmosferica favorevoli alla dispersione degli inquinanti; pertanto, anche nelle stazioni più critiche i valori medi mensili risultano nell'intorno dei  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Il Decreto Legislativo 155/2010 stabilisce anche un limite giornaliero ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e un numero massimo di superamenti di tale valore nel corso dell'anno, pari a 35. Tale limite risulta più stringente di quello annuale<sup>11</sup> e pertanto nella maggior parte delle stazioni non è rispettato (FIGURA 15). Il numero maggiore di superamenti del limite giornaliero si è verificato a To-Grassi ed è stato pari a 98, seguito

<sup>10</sup> Arpa Piemonte Sistemi Previsionali, Il clima in Piemonte - Anno 2022

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

da To-Rebaudengo con 86 superamenti, entrambe stazioni di traffico, ma anche nelle stazioni di fondo urbano di To-Lingotto (beta) e To-Rubino e la situazione si mostra problematica con 66 e 58 superamenti rispettivamente.

Al di fuori della città di Torino le stazioni più critiche sono quelle di Carmagnola (82 superamenti), Settimo Torinese (77 superamenti) e Collegno (74 superamenti).

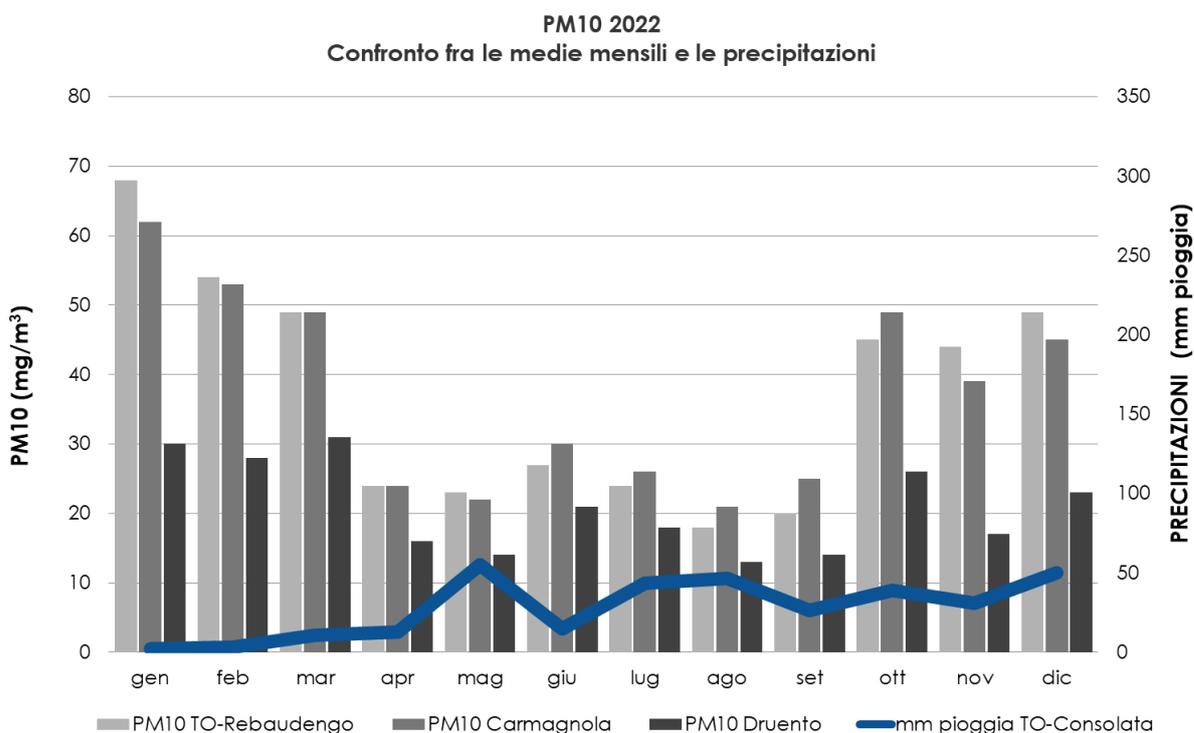


FIGURA 14: andamento delle precipitazioni atmosferiche e delle concentrazioni di PM10 in alcune stazioni della città metropolitana di Torino nell'anno 2022.

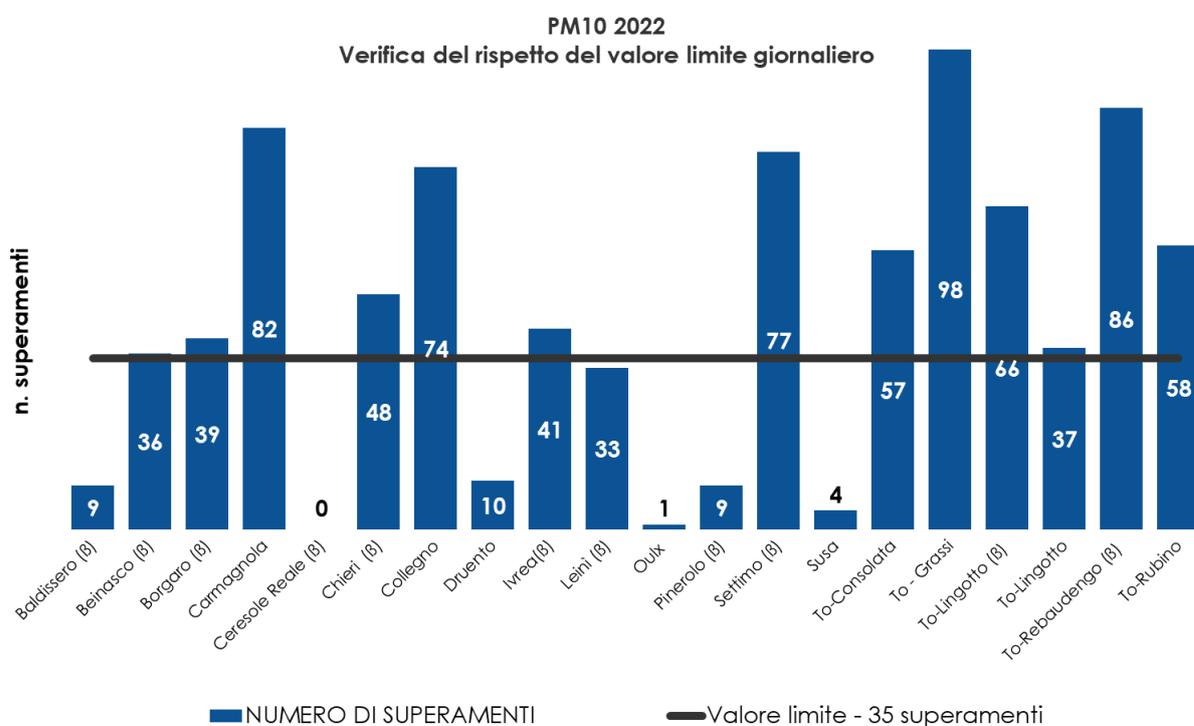


FIGURA 15: parametro PM10, numero di superamenti del limite di 24 ore per la protezione della salute ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come media giornaliera). NB: il dato di To-Consolata è sottostimato per insufficiente rendimento strumentale.

I dati di PM10 sul lungo periodo (FIGURA 16) presentano un andamento decrescente, sia per le stazioni di traffico sia per quelle di fondo; negli ultimi cinque anni i valori annuali oscillano mediamente intorno ai 32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nelle stazioni di traffico e ai 23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nelle stazioni di fondo.

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

Anche il trend del numero di superamenti del valore limite giornaliero è in decrescita (FIGURA 17), ma il rispetto del valore limite è ancora difficile da raggiungere, soprattutto per le stazioni di traffico, per le quali questo non è mai rispettato. L'eccezione è il sito di Oulx, che pur essendo in prossimità della SS24, è caratterizzata da condizioni di ventosità locali che favoriscono la dispersione degli inquinanti atmosferici.

Nelle stazioni di fondo il raggiungimento del limite è più vicino, come si può vedere in FIGURA 17, ma nel 2022 ancora più del 45% delle stazioni supera l'indicatore normativo.

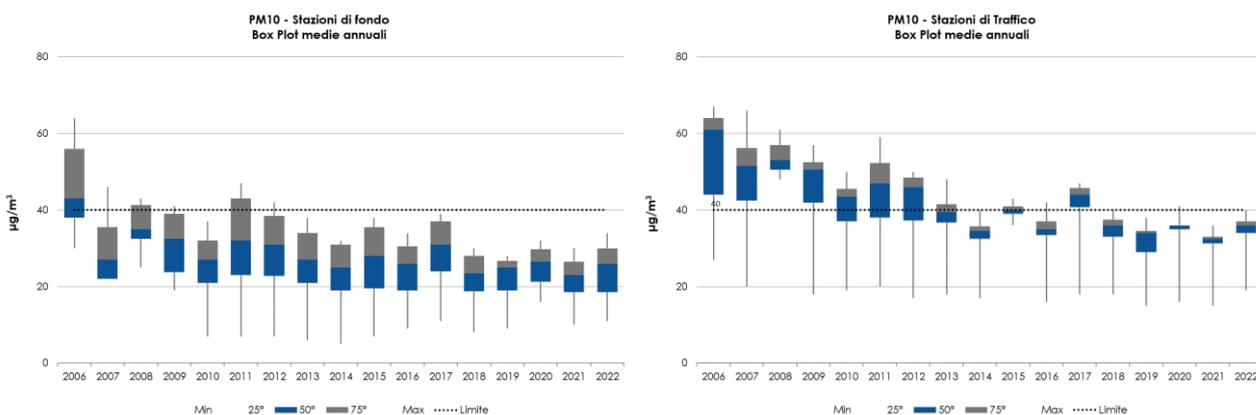


FIGURA 16: distribuzione medie annuali rilevate nelle stazioni di monitoraggio di traffico e di fondo

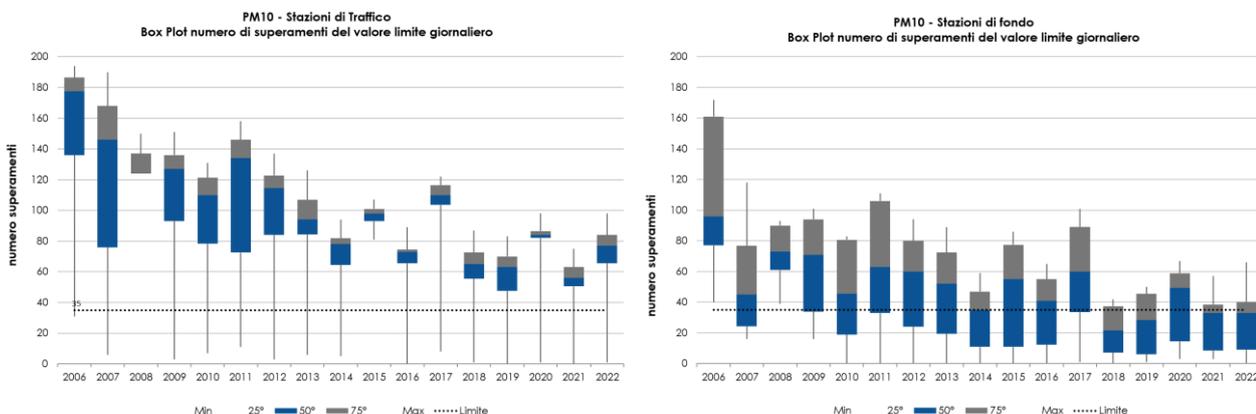


FIGURA 17: box plot delle distribuzioni del numero di superamenti del valore limite per le concentrazioni medie giornaliere misurate presso le stazioni di monitoraggio di traffico e di fondo

Nei grafici di FIGURA 18 sono riportate le serie temporali delle concentrazioni delle polveri PM10 misurate nel 2022 dalle stazioni della Città Metropolitana rispetto al periodo di riferimento 2013-2021. 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 2022 (in rosso) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda grigia del grafico) e medi (linea grigia tratteggiata) misurati dai medesimi gruppi di stazioni negli anni presi come riferimento (2013-2021).

I gruppi di stazioni esaminati sono le stazioni di traffico e di fondo ubicate a Torino e prima cintura, in FIGURA 18(a) "Traffico Area Metropolitana Torinese" e (b) "Fondo Area Metropolitana Torinese", le stazioni di fondo in pianura FIGURA 18(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 2022 si pone al di sopra della media del periodo di riferimento 2013-2021 da metà gennaio a metà febbraio e per tutto il mese di marzo, mentre è al di sotto della media dagli ultimi giorni di ottobre fino a dicembre. Per poter interpretare questo andamento può essere di aiuto il numero di giorni di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 e le precipitazioni. Il 2022 è stato estremamente siccitoso sia come quantitativi di precipitazione, sia come numero di giorni piovosi, pertanto sono stati molteplici gli episodi di accumulo, condizioni sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti.

Si evidenziano frequenti periodi di stabilità atmosferica nel periodo freddo, in particolare in tutto il mese di gennaio e in svariati giorni di febbraio, determinando conseguentemente un incremento delle concentrazioni e numerosi superamenti del valore limite in tutte le stazioni di pianura, situate sia all'interno che all'esterno dell'area metropolitana torinese. Il picco del 16-18 marzo, invece, avviene in assenza di fenomeni di accumulo ed è dovuto al trasporto di polvere e sabbia dal Sahara che inizialmente ha colpito in modo eccezionale la penisola Iberica e successivamente ha interessato dal 16 marzo anche la nostra regione. Il fenomeno è visibile anche nelle stazioni in quota. Altri superamenti dovuti al trasporto di sabbie da remoto si sono verificati nel periodo 26-30 marzo. Un altro fenomeno di trasporto di polvere sahariana è stato registrato dal 20 al 23 maggio, determinando incrementi nelle stazioni quota, anche senza superamenti del valore limite giornaliero. Invece, al di sotto della media 2013-2021 i mesi di novembre e dicembre, in corrispondenza a maggiori fenomeni piovosi.

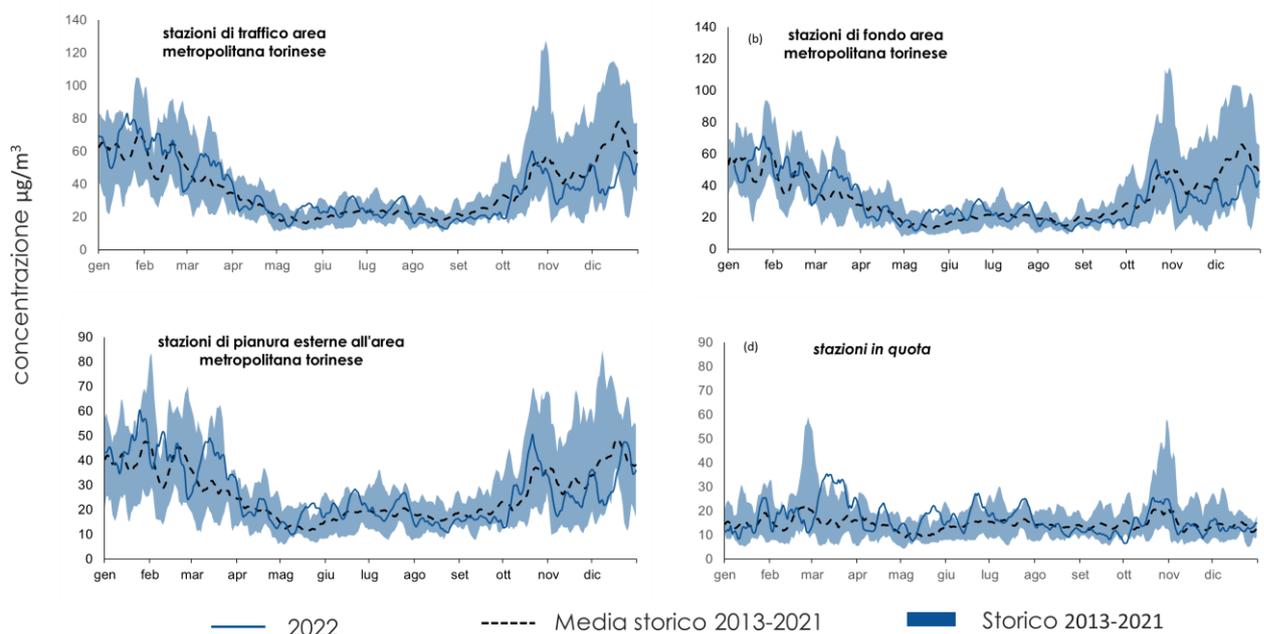


FIGURA 18: PM10 Città Metropolitana di Torino: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2022 confrontate con i dati del periodo di riferimento

Negli ultimi anni la normativa ha preso in considerazione anche le particelle di minori dimensioni e il Decreto Legislativo 155/2010 ha introdotto un valore limite per il PM<sub>2,5</sub> (la cosiddetta frazione fine del particolato) pari a 25 µg/m<sup>3</sup> come media annua da raggiungere entro il 1 gennaio 2015. La Direttiva Europea sulla qualità dell'aria ambiente ha inoltre stabilito un obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione umana per il PM<sub>2,5</sub> basato sull'indicatore di esposizione media (IEM), valido

a livello nazionale. L'IEM è un livello medio di concentrazioni (sulla base di 3 anni di dati), misurato in stazioni di monitoraggio di fondo urbano (rappresentanti dell'esposizione della popolazione urbana in generale) selezionate in ogni Stato Membro. Il DM 13/3/2013 ha scelto 23 stazioni, tra le quali anche quella di To-Lingotto, per valutare se l'obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione è stato raggiunto. L'IEM serve anche per stabilire se l'obbligo di concentrazione dell'esposizione, stabilito a 20 µg/m<sup>3</sup> da raggiungere entro l'anno 2015, sia stato rispettato.

La rete della città metropolitana di Torino nel corso degli anni è stata arricchita di numerosi campionatori, infatti oltre a quelli "storici" delle stazioni di To-Lingotto e Leinì, attivi da sedici anni, attualmente il monitoraggio del PM<sub>2,5</sub> 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 2022 la concentrazione media di PM<sub>2,5</sub> su base annuale è lievemente aumentata ed il valore limite è stato rispettato in tutte le stazioni, come avviene dal 2018. Il trend su lungo periodo è decrescente per tutte le stazioni. La stazione di Ceresole invece rappresenta un'area rurale non soggetta ad emissioni antropiche e pertanto ha valori minimi.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2022 (% giorni validi)	PM <sub>2,5</sub> - VALORE MEDIO ANNUO										
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Beinasco – TRM (β)	92%	25	23	26	23	26	20	20	21	18	19	
Borgaro	96%	27	23	26	23	27	22	19	21	20	21	
Ceresole Reale (β)	85%	5*	4	6*	7	9	8*	6*	6*	7	9*	
Chieri (β)	100%	28	22	24	22	27	22	20	21	21	22	
Ivrea	93%	24*	19*	24	20	24	19*	16	19	17	19	
Leinì (β)	90%	26	22	30	24	26*	17*	20*	22	16	16	
Settimo (β)	100%	33	26	31	26	30	24	22	23	23	24	
To-Lingotto (β)	84%	-	-	-	-	-	-	-	-	20	23*	
To-Lingotto	76%	29	24	27*	23	27	21*	19	22	18*	21*	
To-Rebaudengo (β)	96%	-	25*	27*	29*	33	25	25*	22*	23	23	
To-Rubino (β)	89%	-	23*	28*	23*	27	23*	20	20	19*	20*	

(\*) Rendimento strumentale inferiore al 90%

TABELLA 17: parametro PM<sub>2,5</sub>, valutazione statistica anni 2012-2021. Borgaro-Chieri-Settimo dal 2021 sono misurati con un analizzatore automatico a raggi beta.

In FIGURA 19 sono riportati i valori mensili di PM<sub>2,5</sub> a confronto con quelli di PM<sub>10</sub> 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 PM<sub>10</sub>. Nel 2022 nella stazione di To-Lingotto il PM<sub>2,5</sub> costituisce in media circa il 79% del PM<sub>10</sub> nel semestre freddo e il 74% nel semestre caldo.

**PM10 E PM2,5 CONFRONTO DELLE MEDIE MENSILI**  
**Stazione di Torino Lingotto - anno 2022**

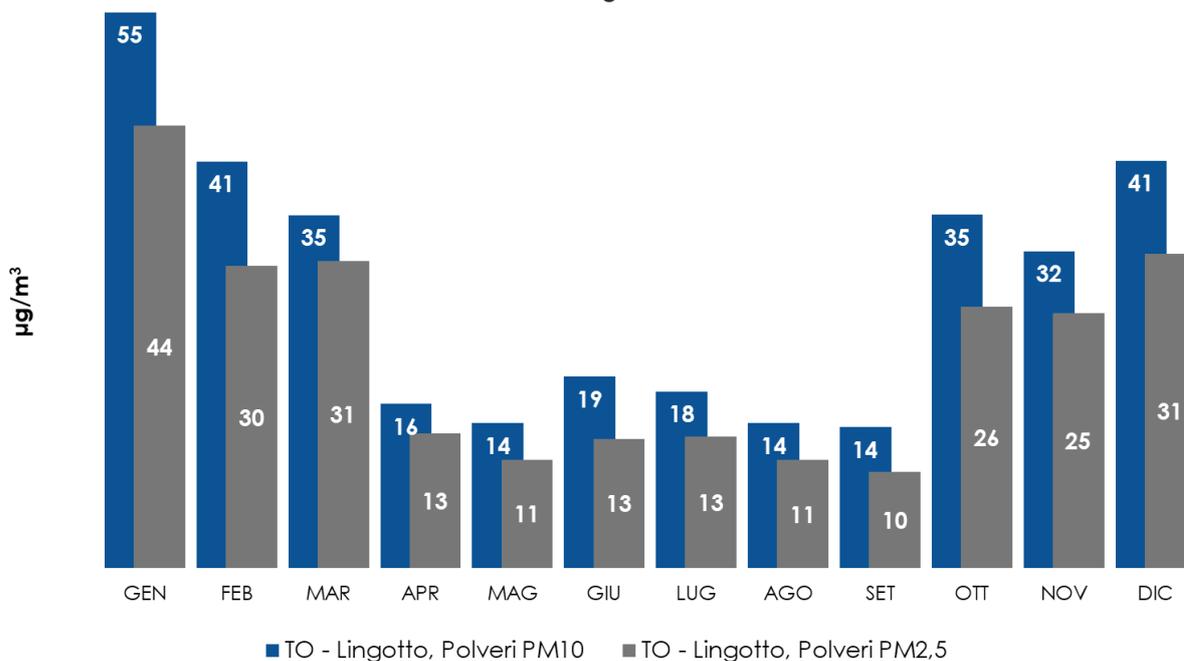


FIGURA 19: confronto tra PM2,5 e PM10 presso la stazione di To-Lingotto.

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%<sup>12</sup>.

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

Ciò vale in particolare nel caso dei nitrati, che sono una delle componenti principali del particolato secondario. Come evidenziato dai risultati del progetto iMonitraf!, descritti nell'edizione 2011 di "Uno sguardo all'aria", i nitrati si concentrano maggiormente nelle frazioni inferiori a 1,5 µm e nei mesi freddi arrivano a costituire circa il 25% in massa del PM10. Quest'ultimo risultato è stato confermato anche nell'ambito del Progetto LIFE-IP PREPAIR<sup>13</sup> per il sito di fondo urbano di To-Lingotto, nel quale il nitrato d'ammonio nei mesi freddi (15/10-14/4) rappresenta mediamente il 24% del PM10 (periodo di indagine 15.9.2018 – 31.3.2021). Il nitrato d'ammonio, che è la forma prevalente, è un composto semivolatile, per cui in condizioni di bassa temperatura (in autunno-inverno) è favorita la sua condensazione in fase particolato<sup>14</sup>. Nei mesi freddi aumenta inoltre l'emissione di ossidi di azoto a causa dell'accensione degli impianti di riscaldamento e sono meno intensi i processi di fotolisi dell'acido nitrico aerodisperso, la cui presenza è necessaria alla formazione dei nitrati in fase particellare.

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

Il ruolo dell'irraggiamento solare quale fattore influenzante la formazione del particolato più fine è più evidente nella stazione di Ceresole Reale, lontana da fonti di emissione e posta a una quota più

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

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

<sup>14</sup> Arpa Lombardia, Arpa Emilia Romagna, Arpa Piemonte, Arpa Veneto, Arpa Valle D'Aosta, Monitoring the environmental effects of pollutants reduction measures implemented by air quality improvement plans, Interim Report Action D6, PM10 Chemical Composition on special stations, dicembre 2021, <https://www.lifeprepare.eu/>

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 2022 le massime medie mensili si sono registrate a marzo, giugno e luglio; i valori medi mensili si collocano sopra le medie del periodo 2010-2020 negli stessi mesi, come si può osservare in FIGURA 20, dove è rappresentato un confronto con le medie mensili registrate negli anni 2010-2021. In marzo la media è stata notevolmente influenzata da fenomeni di trasporto di sabbie dal Sahara, avvenuto dal 16 al 19 marzo e dal 26 al 30 marzo (il massimo è stato il 29 marzo, pari a  $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

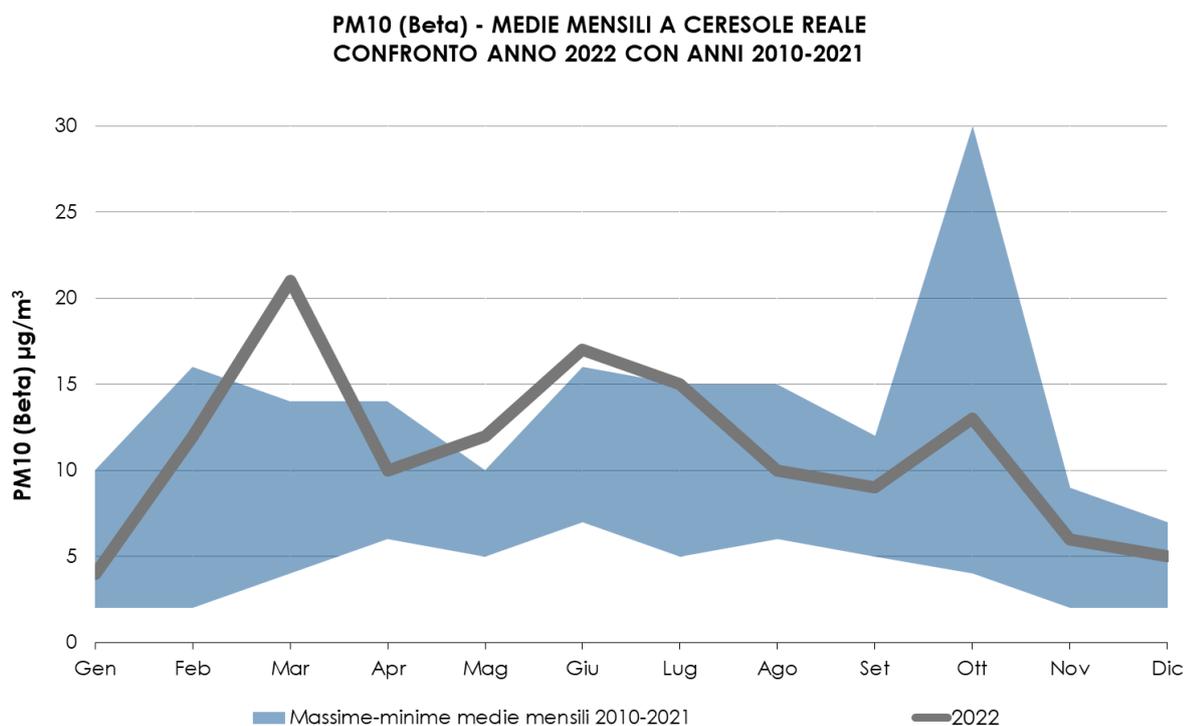


FIGURA 20: confronto tra le medie mensili di PM10 nel 2021 con le medie 2010-2020 presso la stazione di Ceresole Reale.

## PARTICELLE SOSPESSE TOTALI

L'attenzione normativa si è incentrata negli ultimi anni sulla frazione di particolato PM10 e PM2,5, in quanto gli studi tossicologici ed epidemiologici hanno evidenziato che le particelle di minori dimensioni sono quelle più dannose per la salute umana. Le particelle sospese totali, che precedentemente al recepimento delle Direttive Europee costituivano il parametro di riferimento di legge, sono ancora misurate presso la stazione in via Consolata a Torino. L'esame dell'andamento della concentrazione delle polveri totali, vista la lunga serie storica di dati, è utile per avere un'indicazione del trend relativo al PM10 anche in periodi nei quali questo parametro non veniva misurato. Infatti, come si osserva in FIGURA 21 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 21 per il PTS sono riportate le concentrazioni medie annue rilevate in 43 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 nel 2018 e nel 2021, con  $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

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 (1980-2022)**

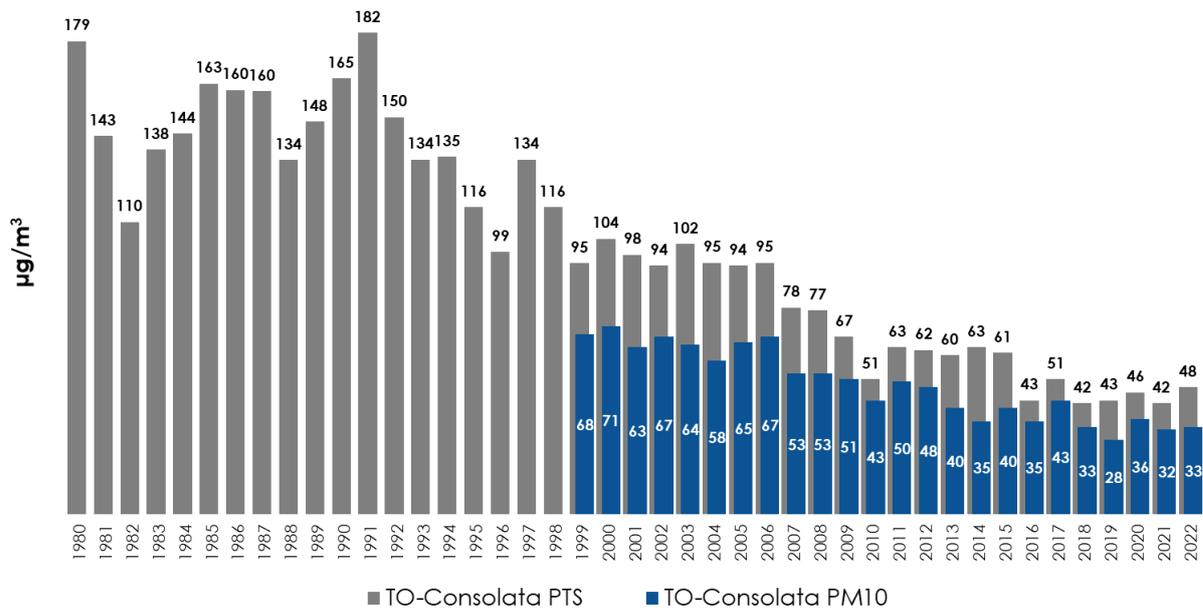


FIGURA 21: parametro PTS, medie annuali misurate nelle stazioni di Torino dal 1980 al 2022.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2022 (% 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)									
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Baldissero (β)	85%	17	14*	17	14	11	8	18*	22	20*	18*	9	6*	8	1	1	0	5*	22	15*	9*
Beinasco (β)	92%	33	30	33	29	36	28	27	28	27	29	70	47	68	52	88	41	49	59	39	36
Borgaro (β)	96%	-	-	-	-	-	-	-	-	27	31	-	-	-	-	-	-	-	-	33	39
Borgaro	-	35*	31*	35*	31	38	30	26*	30	28	-	75*	44*	71*	54	90	42	28*	51	37	-
Carmagnola	98%	42	36	41	37	45	36	35	36	33*	37*	109	82	107	73	122	69	69	81	49*	82
Ceresole Reale (β)	84%	6*	5	7	9	11	11*	9*	10*	10*	11	0*	0	0	0	6	0*	1*	1*	3*	0*
Chieri (β)	100%	-	-	-	-	-	-	-	28	28	31	-	-	-	-	-	-	-	55	40	48
Collegno	96%	36	32	36	32	40	33*	30	35	32	36	83	61	81	61	102	56*	50	85	57	74
Druento	98%	24	19	23	21	27	22	19	21*	21	21	29	11	23	22	41	15	10	11*	7	10
Ivrea - Liberazione (β)	100%	-	-	-	-	-	-	-	25	23	26	-	-	-	-	-	-	-	48	33	41
Ivrea - Liberazione	-	27	23	28	26	31*	25	24*	27*	-	-	52	30	55	41	60*	28	29*	43*	-	-
Leini (β)	90%	29	25	36	30	34	33*	26	29	26	27	59	35	84	57	79	28*	44	59	38	33
Oulx	97%	18	17*	18*	16	18	18	15	16	15*	19	6	5*	7*	0	8	1	0	1	0*	1
Pinerolo	95%	26	-	21	23	26	21	19	18	17*	19	33	-	11	15	40	11	5	12	10*	9
Settimo (β)	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	31	35	-	-	-	-	-	-	-	-	55	77
Settimo	-	39	34	39	35	44*	36*	34	35	34*	-	88	81	98	70	99*	65*	63	83	64	-
Susa	98%	18	16	18	17	22	18	15	16	17	18	10	1	11	10	27	6	1	3	5	4
To - Consolata	87%	40	35	40	35	43	33*	28	36*	28*	33*	100	75	93	75	108	55	45	84*	30*	57*
To - Grassi	96%	48	43*	52*	42	47	40*	38	41*	36	40	126	77*	75*	89	112	76*	83	98*	75	98
To - Lingotto (β)	85%	34	31	36	32	38	31*	28	31	29	34*	69	56	85	60	101	45*	50	72	46	66*
To - Lingotto	89%	38	32	38	34	39	28*	27	30	26	28*	89	59	86	62	92	39*	48	67	40	37*
To - Rebaudengo (β)	94%	37*	40	43	37	46	39	34	36	33	37	53*	94	101	74	118	87	71	88	65	86
To - Rubino (β)	91%	-	32*	36*	30*	37	30*	28	28	26*	31	-	55*	53*	46*	91	36*	46	53	26*	47
To - Rubino	99%	35	31	36	32	38	29*	28*	32	30	32	87	58	84	65	97	33*	42*	66	57	58

(\*) Rendimento strumentale inferiore al 90%

TABELLA 18: parametro PM10, valutazione statistica anni 2013-2022.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2022 (% giorni validi)	PTS – VALORE MEDIO ANNUO									
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
To-Consolata	84%	60*	63*	61*	43	51*	42	43*	46*	42*	48*

(\*) Rendimento strumentale inferiore al 90%

TABELLA 19: parametro polveri totali (PTS), valutazione statistica anni 2013-2022.

## METALLI

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

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

### DESCRIZIONE

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

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

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

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

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

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

## ESAME DEI DATI

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

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

I limiti previsti dal D.Lgs. 155 del 13/8/2010 sono rispettati per tutti i parametri in tutti i siti monitorati e mostrano un generale decremento, tranne poche eccezioni, nel corso del 2022 rispetto al biennio precedente.

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. 2022 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di ARSENICO nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )									
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Beinasco-TRM	96%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
Borgaro	82%	0,7*	0,7*	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7	<b>0,7*</b>
Carmagnola	98%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	<b>0,7</b>
Ceresole Reale	85%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	<b>0,7*</b>
Druento	98%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	<b>0,7</b>
Ivrea		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7*	0,7*		
Oulx	93%	0,7	0,7*	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	<b>0,7</b>
Settimo						0,7*	0,7*	0,7	0,7		
Susa	98%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,7	<b>0,7</b>
To-Consolata	87%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7*	<b>0,7*</b>
To-Grassi	93%	0,7*	0,7*	0,7*	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7*	0,7	<b>0,7</b>
To-Lingotto	89%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7	0,7	<b>0,7*</b>
To-Rebaudengo	90%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
To-Rubino	99%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7*	0,7	0,7	<b>0,7</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 21: concentrazioni medie annuali di arsenico determinate sul Particolato Atmosferico, 2013-2022.

Per il **cadmio** in tutti i siti la concentrazione è significativamente inferiore rispetto al valore obiettivo di 5 ng/m<sup>3</sup>. Nel 2022 si osserva un miglioramento rispetto all'anno precedente nella stazione di Torino-Grassi ed una stabilità di valori per le altre stazioni. Il quadro d'insieme conferma i livelli registrati nel biennio 2018/2019.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2022 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Cadmio nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )									
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Beinasco-TRM	96%	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	<b>0,1</b>
Borgaro	82%	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1*	0,2	0,1	<b>0,1*</b>
Carmagnola	98%	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	<b>0,1</b>
Ceresole Reale	85%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	0,1*	0,1*	0,1*	<b>0,1*</b>
Druento	98%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	0,1	<b>0,1</b>
Ivrea		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	0,1	0,1*	0,1*		
Oulx	93%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	<b>0,1</b>
Settimo						0,3*	0,1*	0,1	0,2		
Susa	95%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	<b>0,1</b>
To-Consolata	97%	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2*	0,1*	<b>0,1*</b>
To-Grassi	93%	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2*	0,2	0,3*	0,3	<b>0,2</b>
To-Lingotto	89%	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1*	0,1	0,2	0,1	<b>0,1*</b>
To-Rebaudengo	90%	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	<b>0,2</b>
To-Rubino	99%	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1*	0,1*	0,2	0,1	<b>0,1</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 22: concentrazioni medie annuali di cadmio determinate sul Particolato Atmosferico, 2013-2022.

Nel 2022 il livello di cadmio più elevato, pari a 0,2 ng/m<sup>3</sup>, è stato registrato presso la stazione di traffico urbano di Torino – Grassi. In questa stazione la composizione percentuale di tale metallo nelle polveri campionate (TABELLA 25) risulta la più elevata in ambito urbano, insieme a Torino - Rebaudengo.

**Concentrazione media annuale di CADMIO  
nel materiale particolato aerodisperso (ng/m<sup>3</sup>)  
2017 - 2022**

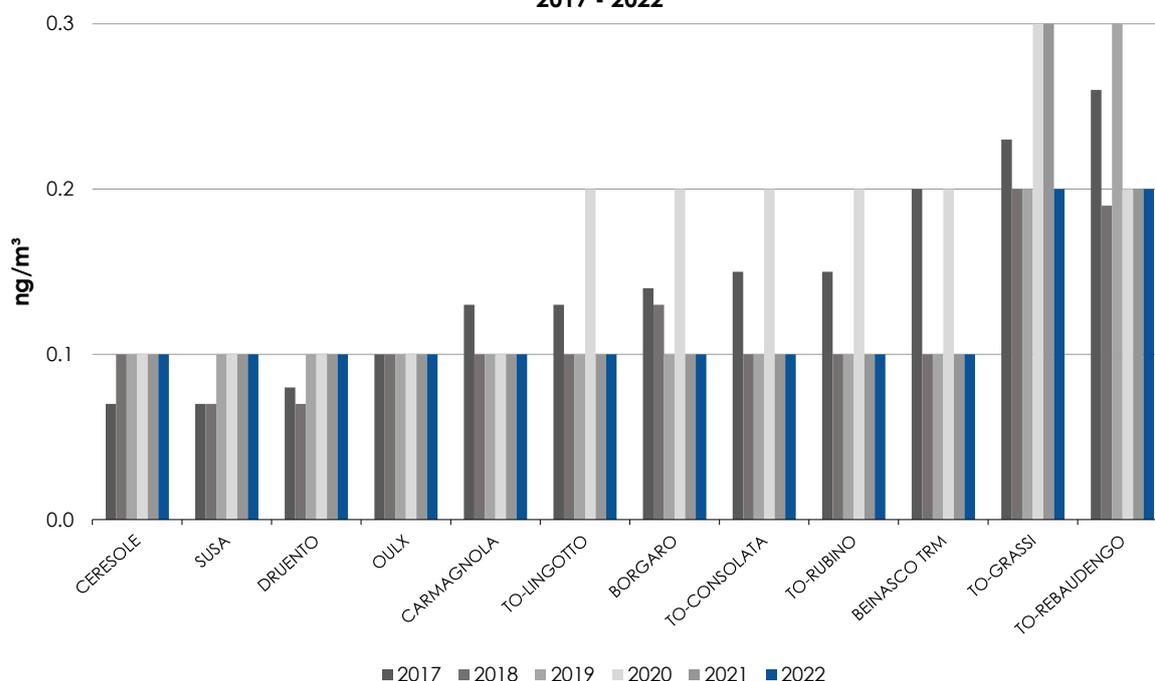


FIGURA 22: concentrazioni medie annuali di cadmio determinate sul Particolato Atmosferico 2017-2022.

Per il **nicel** i valori si confermano ampiamente al di sotto del valore obiettivo previsto dal D.Lgs. n. 155/2010 (20 ng/m<sup>3</sup>); nel dettaglio si osserva che le concentrazioni nel 2022 sono stabili o in aumento rispetto all'anno precedente. L'andamento nel lungo periodo è in decrescita.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2022 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Nichel nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )									
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Beinasco-TRM	96%	2,9	2,7	3,0	2,2	2,7	2,2	2,4	1,7	1,8	<b>2,2</b>
Borgaro	82%	3,4*	3,0*	4,3*	2,4	4,2	2,2	2,2*	2,1	1,9	<b>1,7*</b>
Carmagnola	98%	3,2	2,5	3,0	1,9	2,9	2,2	2,7	1,8	1,6*	<b>1,5</b>
Ceresole Reale	85%	0,7	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8*	0,8*	0,9*	0,7*	<b>0,8*</b>
Druento	98%	1,6	1,5	3,8	1,1	2,6	1,3	1,8	1,2*	2,5	<b>1,1</b>
Ivrea		2,4	2,2	3,0	1,6	2,2*	1,4	1,5*	1,5*		
Oulx	93%	1,4	1,8*	1,7*	1,3	2,0	1,3	1,6	1,1	1,3*	<b>1,2</b>
Settimo						4,0*	2,3*	5,6	2,2		
Susa	98%	1,1	1,9	2,7	1,4	1,4	1,0	1,2	0,9	0,9	<b>0,8</b>
To-Consolata	87%	4,9	4,8	5,3	3,7	3,7	2,7	3,3	3,5*	2,6*	<b>3,2*</b>
To-Grassi	93%	5,8*	5,0*	5,5*	3,9	4,8	3,2*	4,6	4,2*	3,8	<b>3,8</b>
To-Lingotto	89%	3,5	3,2	3,3	2,2	2,5	1,4*	1,6	1,3	1,1	<b>1,3*</b>
To-Rebaudengo	90%	5,2	4,5	4,6	3,0	3,0	2,3	4,0	2,1	1,6	<b>1,9</b>
To-Rubino	99%	3,0	3,2	3,4	2,0	2,8	1,7*	2,4*	2,3	2,0	<b>1,7</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 23: concentrazioni medie annuali di nichel determinate sul Particolato Atmosferico, 2013-2022.

La concentrazione media annuale più bassa è stata rilevata presso il sito montano di Ceresole e a Susa con un valore pari a 0,8 ng/m<sup>3</sup> mentre nelle altre stazioni della provincia le concentrazioni sono comprese tra 1,1 ng/m<sup>3</sup> e 3,8 ng/m<sup>3</sup>; quest'ultimo è stato registrato presso la stazione di Torino – Grassi ed è il valore più elevato rilevato nel territorio provinciale. Anche a livello di presenza percentuale di nichel nelle polveri PM10 si osserva un generale decremento nel lungo periodo.

**Concentrazione media annuale di NICHEL  
nel materiale particolato aerodisperso (ng/m<sup>3</sup>)  
2017 - 2022**

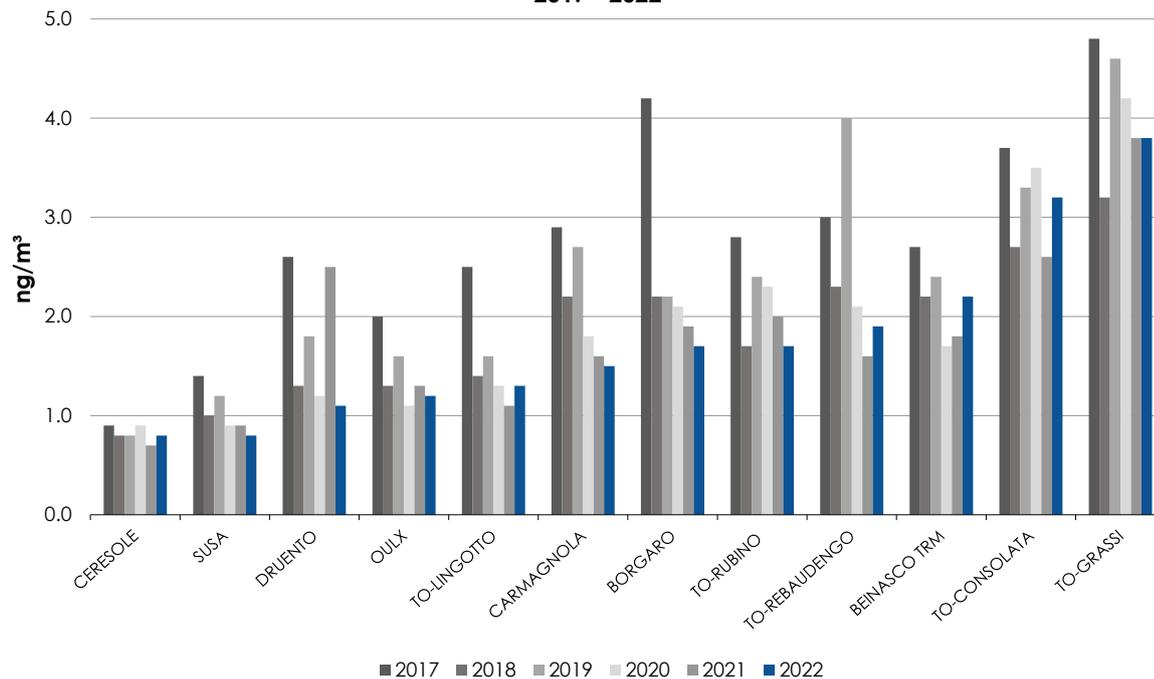


FIGURA 23: concentrazioni medie annuali di nichel determinate sul Particolato Atmosferico – 2017-2022.

Per quanto riguarda il **piombo** in FIGURA 24 è riportata la serie storica a partire dagli anni '70. Attualmente i livelli di piombo sono due ordini di grandezza inferiori rispetto ai rilevamenti dei primi anni di monitoraggio. Già a partire dal 2001 le medie annuali sono di un ordine di grandezza inferiori al limite previsto dalla normativa (0,5 µg/m<sup>3</sup>). Anche per il piombo, si osservano gli andamenti descritti per gli altri metalli: rispetto al 2021 si registra un lieve peggioramento delle concentrazioni, anche se l'andamento nel lungo periodo è in decrescita.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2022 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Piombo nel materiale particolato aerodisperso (µg/m <sup>3</sup> )									
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Beinasco-TRM	96%	0,009	0,008	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	<b>0,005</b>
Borgaro	82%	0,009	0,006	0,009	0,007	0,007	0,006	0,005*	0,005	0,005	<b>0,004*</b>
Carmagnola	98%	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	0,005*	<b>0,004</b>
Ceresole Reale	85%	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001*	0,002*	0,001*	<b>0,002*</b>
Druento	98%	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,003	0,003	0,003*	0,003	<b>0,003</b>
Ivrea		0,006	0,004	0,005	0,004	0,006	0,004	0,004*	0,003*		
Oulx	93%	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,001	0,002*	<b>0,001</b>
Settimo						0,015	0,006	0,006	0,007		
Susa	98%	0,004	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	0,002	<b>0,003</b>
To-Consolata	87%	0,01	0,008	0,010	0,008	0,009	0,006	0,006	0,007*	0,005*	<b>0,006*</b>
To-Grassi	93%	0,012	0,012	0,020	0,011	0,011	0,008	0,01	0,011*	0,015	<b>0,010</b>
To-Lingotto PM10	89%	0,007	0,007	0,009	0,007	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	<b>0,005*</b>
To-Rebaudengo	90%	0,019	0,015	0,021	0,013	0,016	0,011	0,01	0,011	0,008	<b>0,010</b>
To-Rubino	99%	0,009	0,007	0,008	0,006	0,007	0,005	0,005*	0,005	0,005	<b>0,005</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 24: concentrazioni medie annuali di piombo determinate sul Particolato Atmosferico, 2013-2022.

Le stazioni che hanno registrato il valore medio annuale più alto nel 2022 sono quelle di Torino – Grassi e Torino – Rebaudengo, pari a 0,010 µg/m<sup>3</sup>. Presso gli stessi punti di misura anche la composizione percentuale di tale metallo nel particolato risulta la più abbondante.

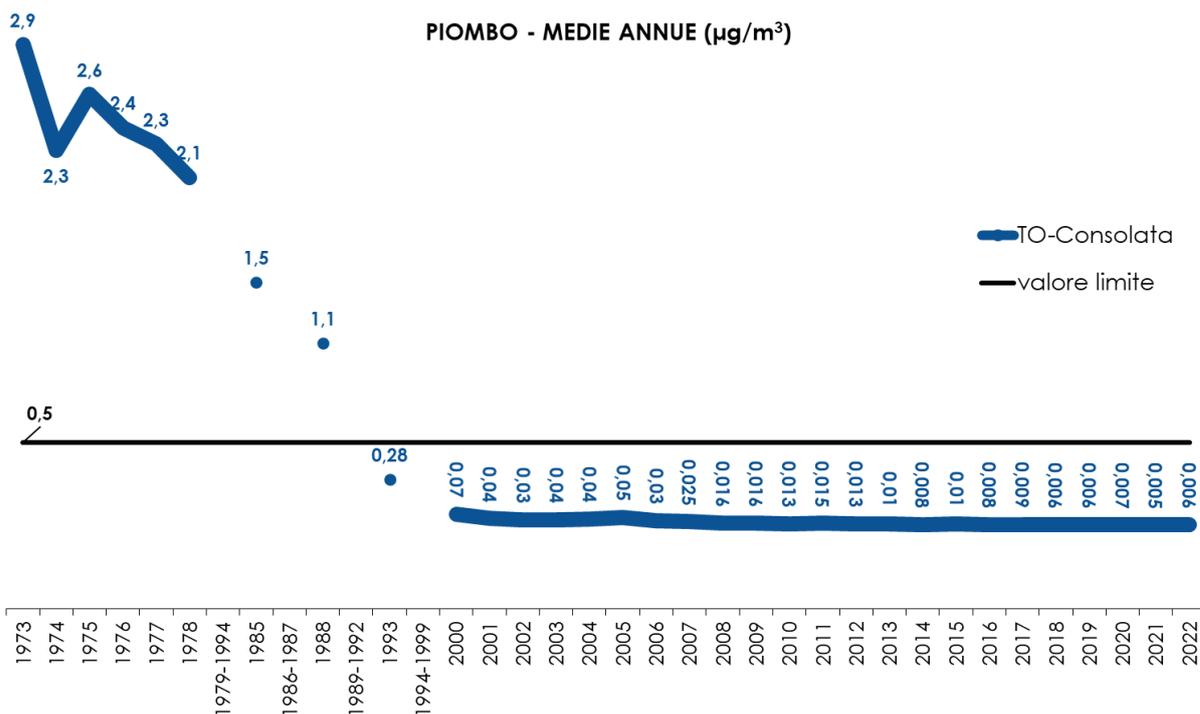


FIGURA 24: parametro piombo, medie annuali misurate presso la stazione di TO-Consolata nel periodo 1973 – 2022.

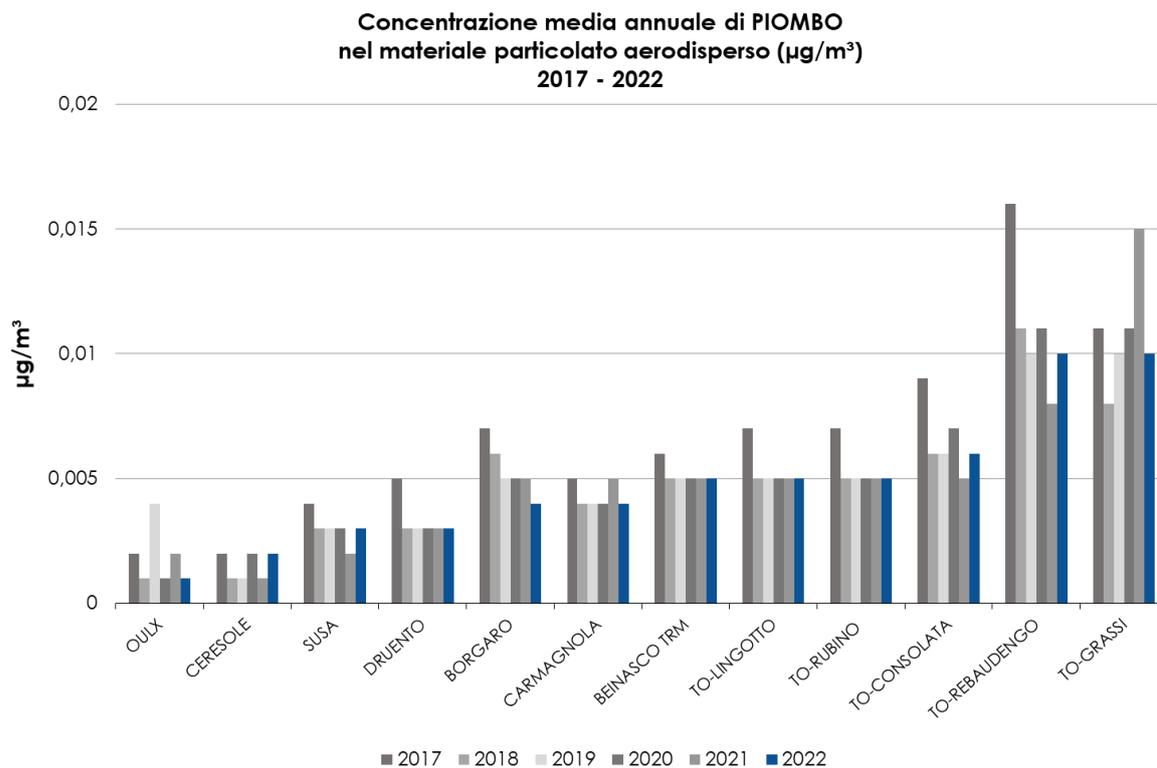


FIGURA 25: concentrazioni medie annuali di piombo determinate sul Particolato Atmosferico – 2017-2022.

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, grazie alla ridotta presenza sul territorio della città metropolitana di Torino 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 2022 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									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Beinasco-TRM	0,0006	0,0003	0,0006	0,0007	0,0006	0,0004	0,0004	0,0007	0,0004	<b>0,0003</b>
Borgaro	0,0005	0,0004	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	0,0004	<b>0,0003</b>
Carmagnola	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	<b>0,0003</b>
Ceresole Reale	n.c.	n.c.	n.c.	0,0008	0,0006	0,0006	0,0011	0,0010	0,0010	<b>0,0009</b>
Druento	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0005	0,0005	0,0005	<b>0,0005</b>
Ivrea	0,0004	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	
Oulx	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0007	0,0006	0,0006	<b>0,0005</b>
Settimo					0,0007	0,0003	0,0003	0,0006	0,0004	
Susa	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0004	0,0007	0,0006	0,0008	<b>0,0006</b>
To-Consolata	0,0006	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004	0,0006	0,0004	<b>0,0003</b>
To-Grassi	0,0006	0,0005	0,0007	0,0005	0,0005	0,0004	0,0005	0,0007	0,0006	<b>0,0005</b>
To-Lingotto PM10	0,0005	0,0004	0,0005	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004	0,0007	0,0003	<b>0,0004</b>
To-Rebaudengo	0,0009	0,0007	0,0009	0,0007	0,0006	0,0005	0,0009	0,0006	0,0004	<b>0,0005</b>
To-Rubino	0,0005	0,0004	0,0004	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0006	0,0004	<b>0,0003</b>

STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato									
	% Nichel									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Beinasco-TRM	0,009	0,009	0,009	0,008	0,008	0,008	0,009	0,006	0,007	<b>0,008</b>
Borgaro	0,010	0,010	0,012	0,008	0,011	0,007	0,008	0,007	0,007	<b>0,005</b>
Carmagnola	0,008	0,007	0,007	0,005	0,006	0,006	0,008	0,005	0,005	<b>0,004</b>
Ceresole Reale	0,012	0,018	0,013	0,009	0,008	0,007	0,009	0,009	0,007	<b>0,007</b>
Druento	0,007	0,008	0,017	0,005	0,010	0,006	0,009	0,006	0,012	<b>0,005</b>
Ivrea	0,009	0,010	0,011	0,006	0,007	0,006	0,006	0,006	0,009	
Oulx	0,008	0,011	0,009	0,008	0,011	0,007	0,011	0,007	0,005	<b>0,006</b>
Settimo					0,009	0,006	0,016	0,006	0,009	
Susa	0,006	0,012	0,015	0,008	0,006	0,006	0,008	0,006	0,011	<b>0,004</b>
To-Consolata	0,012	0,014	0,013	0,011	0,009	0,008	0,012	0,010	0,004	<b>0,010</b>
To-Grassi	0,012	0,012	0,011	0,009	0,010	0,008	0,012	0,010	0,005	<b>0,010</b>
To-Lingotto PM10	0,009	0,010	0,009	0,006	0,006	0,005	0,006	0,004	0,007	<b>0,005</b>
To-Rebaudengo	0,014	0,011	0,011	0,008	0,007	0,006	0,012	0,006	0,007	<b>0,005</b>
To-Rubino	0,009	0,010	0,009	0,006	0,007	0,006	0,009	0,007	0,007	<b>0,005</b>

STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato									
	% Piombo									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Beinasco-TRM	0,027	0,027	0,024	0,024	0,017	0,018	0,019	0,018	0,019	<b>0,017</b>
Borgaro	0,026	0,019	0,026	0,023	0,018	0,020	0,019	0,017	0,019	<b>0,013</b>
Carmagnola	0,017	0,014	0,012	0,014	0,011	0,011	0,011	0,011	0,015	<b>0,011</b>
Ceresole Reale	0,017	0,020	0,014	0,011	0,018	0,009	0,011	0,020	0,010	<b>0,018</b>
Druento	0,017	0,021	0,017	0,019	0,019	0,014	0,016	0,014	0,014	<b>0,014</b>
Ivrea	0,022	0,017	0,018	0,015	0,019	0,016	0,017	0,011	0,013	
Oulx	0,011	0,012	0,011	0,013	0,011	0,006	0,027	0,006	0,012	<b>0,005</b>
Settimo					0,034	0,017	0,018	0,020	0,018	
Susa	0,022	0,025	0,017	0,018	0,018	0,017	0,020	0,019	0,042	<b>0,017</b>
To-Consolata	0,025	0,023	0,025	0,023	0,021	0,018	0,021	0,019	0,019	<b>0,018</b>
To-Grassi	0,026	0,028	0,038	0,026	0,023	0,020	0,026	0,027	0,024	<b>0,025</b>
To-Lingotto PM10	0,018	0,022	0,025	0,021	0,018	0,018	0,019	0,017	0,017	<b>0,018</b>
To-Rebaudengo	0,051	0,038	0,049	0,035	0,035	0,028	0,029	0,031	0,019	<b>0,027</b>
To-Rubino	0,026	0,023	0,022	0,019	0,018	0,017	0,018	0,016	0,019	<b>0,016</b>

TABELLA 25: concentrazioni medie annuali di cadmio, nichel e piombo determinate sul Particolato Atmosferico, 2013-2022.

## IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI

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

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

### DESCRIZIONE

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

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

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

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

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

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

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

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

<sup>50</sup> EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019 - Part B: Technical chapters 1.A.4. Small Combustion - Tab. 3.4 pag. 33 e Tab. 3.6 pag. 35

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

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

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

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

### ESAME DEI DATI

In TABELLA 27 sono riportate per le stazioni di monitoraggio del territorio metropolitano le concentrazioni medie annuali di Benzo(a)Pirene rilevate nel periodo 2011-2022 nella frazione di particolato atmosferico con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2022 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Benzo(a)pirene nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )											
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Beinasco-TRM	96%			0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,5	0,5	0,6	0,4	<b>0,4</b>
Borgaro	82%	0,8	0,8*	0,7*	0,7*	0,9*	0,8	0,8	0,6	0,6*	0,7	0,5	<b>0,4*</b>
Carmagnola	98%	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,5	0,6	0,7	0,5*	<b>0,4</b>
Ceresole Reale	85%	0,1*	0,1*	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0*	0,0*	0,0*	0,0*	<b>0,0*</b>
Druento	98%	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3*	0,2	<b>0,2</b>
Ivrea	90%	0,8	0,8	0,9	0,7	<b>1,1</b>	0,8	0,9*	0,6	0,7*	0,9*	0,5*	<b>0,6</b>
Oulx	96%			0,5	0,5*	0,5*	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2*	<b>0,2</b>
Settimo	95%		1,0	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>1,1</b>	<b>1,3*</b>	0,7*	0,8	1,0	0,9	<b>0,8</b>
Susa	95%	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	<b>0,3</b>
To-Consolata	86%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,4	0,4	0,6*	0,2*	<b>0,4*</b>
To-Grassi	93%	0,9	<b>1,1*</b>	<b>1,1*</b>	1,0*	<b>1,7*</b>	0,9	1,0	0,7*	0,7	0,9*	0,6	<b>0,5</b>
To-Lingotto PM10	89%	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8	0,5*	0,5	0,7	0,4	<b>0,4*</b>
To-Rebaudengo	90%		0,9	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	0,7	0,9	0,8	0,5	<b>0,5</b>
To-Rubino	99%	0,8	0,7	0,8	0,7	0,9	0,7	0,7	0,5*	0,4*	0,6*	0,4	<b>0,4</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 27: concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene rilevate sul Particolato Atmosferico– 2011-2022.

Le concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene misurate nei siti di Borgaro, Ceresole Reale, To-Consolata e To-Lingotto sono calcolate su un numero di dati validi inferiore al 90%, pertanto non sono pienamente rappresentative dell'intero anno solare. In particolare, la bassa percentuale di dati validi riscontrata per la stazione di To-Consolata è dovuta a due motivazioni diverse: nel mese di gennaio era ancora installato il cantiere per i lavori di ristrutturazione della facciata dell'edificio che ha comportato lo spegnimento e la rimozione temporanea dei campionatori, mentre nel mese di settembre si sono verificati dei problemi strumentali che hanno determinato la perdita di dati.

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 tutte le stazioni, nel corso del 2022 si è riscontrata una diminuzione dei valori di concentrazione media annuale del B(a)P rispetto ai dati del 2021, ad esclusione delle stazioni di Ivrea e To-Consolata; per quest'ultima stazione la concentrazione risulta raddoppiata, ma i dati del 2021 e del 2022 risultano poco attendibili perché per entrambi gli anni il numero di dati validi è inferiore al 90%. Si evidenzia che i dati di concentrazione riscontrati nel 2022 risultano per tutte le stazioni inferiori a quelli del 2020. Il valore riscontrato presso la centralina di Ceresole, dal 2018, è pari a 0.0 ng/m<sup>3</sup>, perché 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 a 1.500 m di altitudine 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.

Pur avendo fatto registrare una diminuzione del valore di concentrazione di B(a)P rispetto agli ultimi 3 anni, la stazione di Settimo risulta quella nella quale sono stati riscontrati per il 2022 i valori i di

concentrazione più elevati della rete di monitoraggio della CMT, con un valore medio annuo di 0.8 ng/m<sup>3</sup>, che risulta inferiore all'obiettivo fissato dalla normativa per questo inquinante.

Le concentrazioni medie mensili di Benzo(a)Pirene registrate presso la stazione di Settimo Torinese sono state confrontate con i valori medi, minimi e massimi misurati nelle altre stazioni del territorio provinciale. Come evidenziato in FIGURA 26, le concentrazioni misurate in questa stazione nei mesi freddi, da novembre a febbraio, si discostano in modo piuttosto evidente dai valori medi misurati in tutte le stazioni di monitoraggio del territorio provinciale.

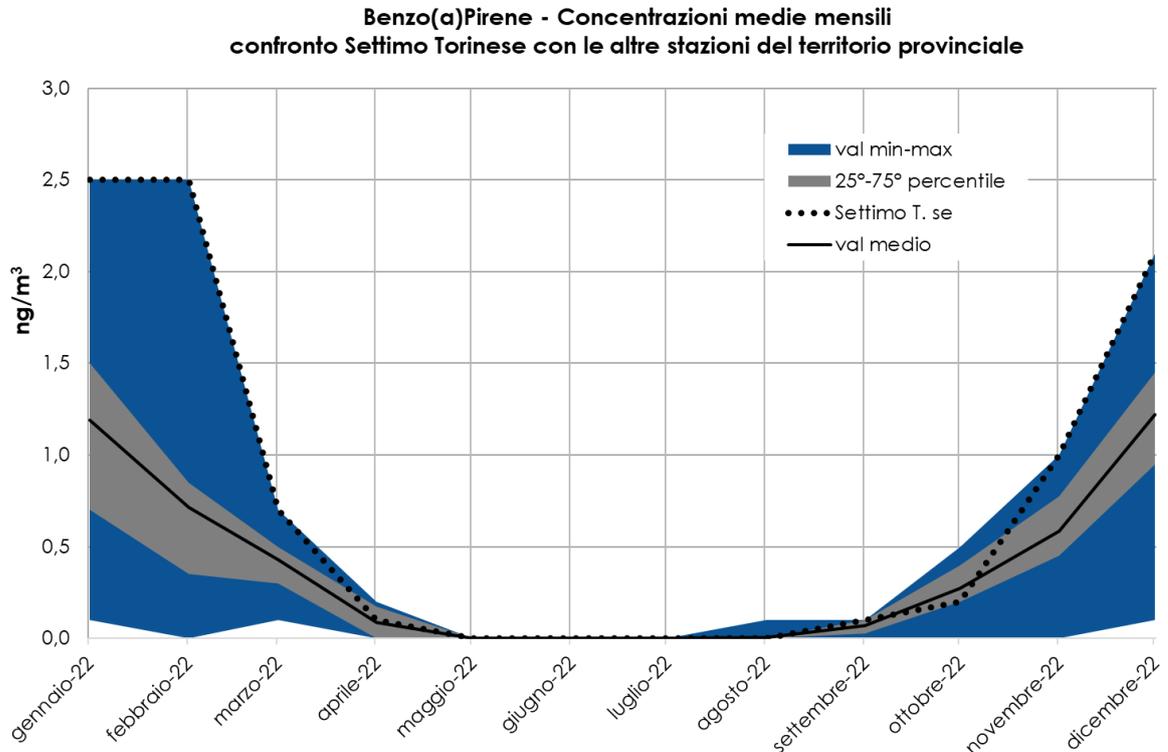


FIGURA 26: andamento mensile della concentrazione di benzo(a)pirene rilevato stazione di Settimo Torinese in relazione alle concentrazioni delle altre stazioni del territorio.

In FIGURA 27 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 2017 al 2022.

I valori di concentrazione medie annuali di IPA riscontrati nel 2022 risultano inferiori per tutte le stazioni rispetto ai valori del periodo 2017-2020. Invece, dal confronto con i dati del 2021, per le stazioni di Ivrea, Oulx, Susa e To-Consolata è stato riscontrato un incremento delle concentrazioni. Il valore più alto della rete della CMT è stato misurato a To-Consolata, ma, per le ragioni già esplicitate, si ricorda che per To-Consolata i dati 2021 e 2022 non sono attendibili. Dall'analisi dei dati mensili misurati in queste stazioni si evidenziano andamenti diversi che fanno dedurre che l'incremento rilevato presso tali stazioni sia imputabili a situazioni sito specifiche locali. Molto probabilmente il trend generale di diminuzione delle concentrazioni di IPA che si sta riscontrato negli ultimi anni potrebbe essere dovuto all'aumento delle temperature medie minime e massime che determinano nei mesi freddi una riduzione nell'utilizzo delle biomasse per riscaldamento. L'anomalia termica in Piemonte per l'anno 2022 è stata di +3.8°C, rispetto alla media del trentennio 1971-2000 e per i mesi autunnali-invernali interessati dall'utilizzo del riscaldamento l'anomalia termica è stata sempre positiva: gennaio +2.8°C, febbraio +3°C, ottobre +4.3°C, novembre +2.2°C, dicembre + 0.9°C.

Il valore più elevato di concentrazione media annuale di IPA nel particolato è stato registrato nella stazione di Settimo Torinese, valore che risulta tuttavia in diminuzione del 5% rispetto al 2021.

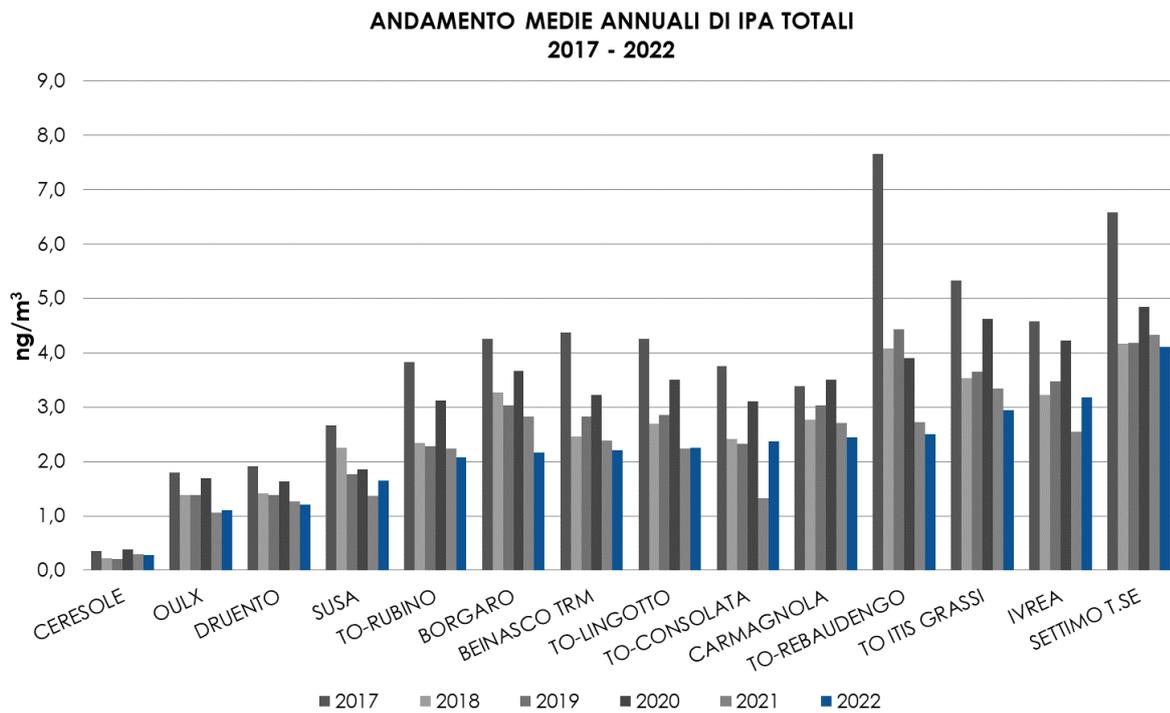


FIGURA 27: andamento medie annuali IPA totali periodo 2017-2022 – Benzo(a)Pirene + Benzo(a)Antracene + Benzo(b,j,k)Fluorantene + Indeno(1,2,3-cd)Pirene.

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

Come evidenziato in FIGURA 28, 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 ai quali si somma l'apporto determinato dalle emissioni prodotte dalla combustione della legna nel riscaldamento domestico.

Come per il 2021, le maggiori percentuali di IPA nelle polveri sono state rilevate nelle stazioni di Susa, Oulx, Ivrea e Settimo T.se; si tratta di stazioni rappresentative di siti suburbani maggiormente influenzati dalle emissioni prodotte dalla combustione di biomassa utilizzata per il riscaldamento domestico.

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

Per valutare meglio la variazione delle percentuali di IPA sul particolato nel corso dell'anno, sono stati confrontati gli andamenti mensili delle percentuali di IPA totali delle stazioni di Druento, Susa e To-Rubino (FIGURA 29). La scelta di tali stazioni è dovuta al fatto che sono rappresentative delle diverse situazioni territoriali: la stazione di Druento presenta le caratteristiche di una situazione di fondo di tipo rurale, quella di Susa di fondo suburbano e quella di To-Rubino di una stazione di fondo urbano.

A conferma di quanto evidenziato nel precedente istogramma, anche da FIGURA 29 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

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

che le differenze tra le stazioni sono piuttosto marcate. In particolare, a Susa la percentuale di IPA nel particolato atmosferico risulta, nei mesi freddi, più elevata rispetto a Druento e To-Rubino, per l'apporto degli IPA prodotti dalla combustione delle biomasse utilizzate per il riscaldamento domestico.

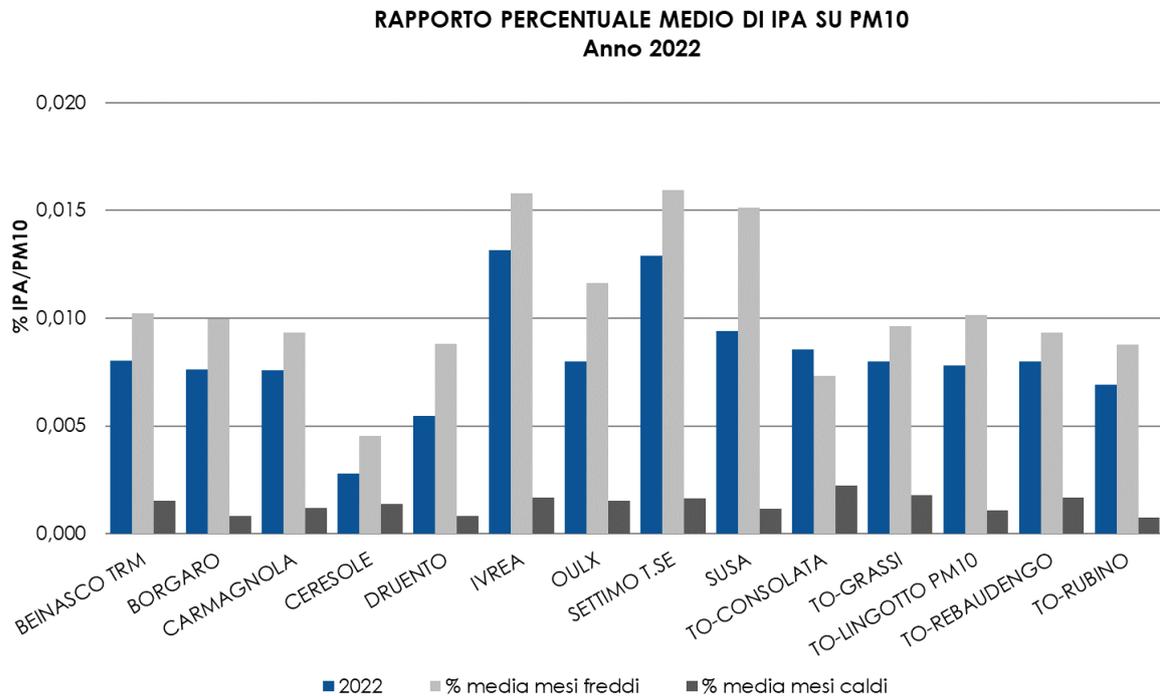


FIGURA 28: percentuale di IPA totali nel PM10 – anno 2022.

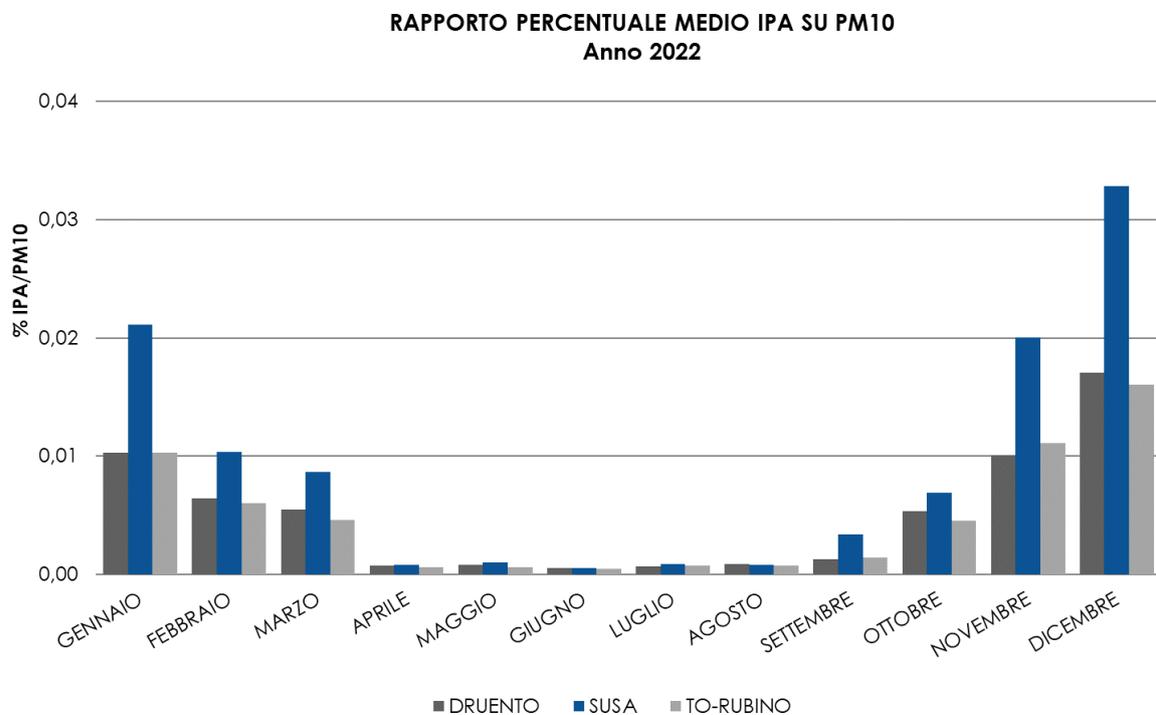


FIGURA 29: percentuale IPA totali nel PM10 – Andamento delle medie mensili – anno 2022.

## MERCURIO ELEMENTARE GASSOSO

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

M.Sacco, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.

### DESCRIZIONE

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

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

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

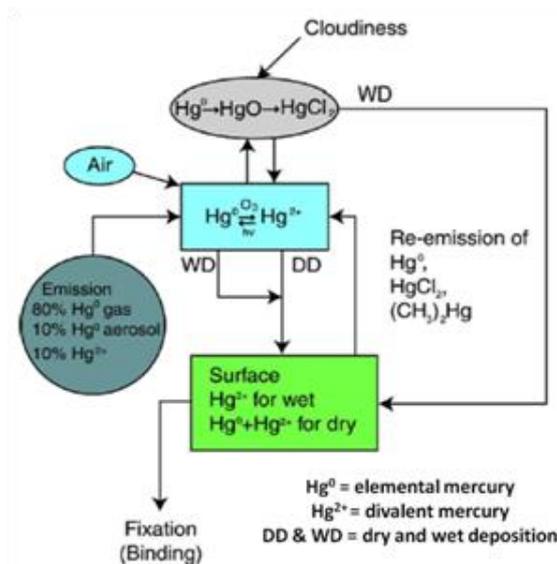


FIGURA 30: mercurio in atmosfera.

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.

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

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

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

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

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

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

I relativi dati non sono ancora disponibili nella banca dati nazionale gestita dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, per cui per l'esame dei valori rilevati nella stazione di Beinasco-Aldo Mei si farà riferimento:

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

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

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

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

- tra 1,61 e 1,66 ng/m<sup>3</sup> per il mercurio elementare gassoso;
- tra 6,42 e 7,20 pg/m<sup>3</sup> per il mercurio presente sul PM2,5;
- tra 0,73 e 1,72 pg/m<sup>3</sup> per il mercurio ossidato in fase gassosa.

La stazione di Torchiarolo (Br), suburbana di tipo industriale, ha rilevato nel 2022 un valore di media annuale pari a 2,5 ng/m<sup>3</sup>, con un massimo orario di 34,4 ng/m<sup>3</sup>. La stazione di Monte Sant'Angelo (FG), di fondo rurale, ha registrato nel 2022 una media di 1,6 ng/m<sup>3</sup>, con un massimo di 3,0 ng/m<sup>3</sup>.

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

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

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

## ESAME DEI DATI

Nella stazione di Beinasco-Aldo Mei il Mercurio elementare gassoso viene rilevato con un analizzatore in continuo, che sfrutta la tecnica spettroscopica di assorbimento atomico ad effetto Zeeman. I dati vengono forniti con mediazioni orarie; gli indicatori statistici relativi all'anno 2022 sono riassunti nella TABELLA 28, mentre la TABELLA 29 riporta nel dettaglio le concentrazioni medie mensili.

Mercurio elementare gassoso (valori di conc. espressi in ng/m <sup>3</sup> )	Beinasco (TRM) - Aldo Mei
Minima media giornaliera	2
Massima media giornaliera	8
Media delle medie giornaliere	4
Giorni validi	337
Percentuale giorni validi	92%
Media dei valori orari	4
Massima media oraria	10
Ore valide	8141
Percentuale ore valide	93%

TABELLA 28: mercurio elementare gassoso: indicatori statistici anno 2022.

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

TABELLA 29: mercurio elementare gassoso: concentrazioni medie mensili anno 2022.

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

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

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

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

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

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

TABELLA 30: mercurio sul PM10 - Concentrazioni medie mensili anno 2022.

Analizzando nel dettaglio la serie temporale del mercurio elementare gassoso, si osserva che i valori misurati nel 2022 si sono costantemente assestati attorno ad alcuni ng/m<sup>3</sup>, con un massimo assoluto orario, verificatosi ad agosto, pari a 10 ng/m<sup>3</sup>.

Sotto il profilo della protezione della salute, anche considerando la somma delle due forme di mercurio aerodisperso (gassoso e presente sul PM10), sia le singole medie mensili che la media annuale risultano nel 2022 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 31 è riportato l'andamento temporale delle concentrazioni medie mensili di mercurio dall'attivazione della stazione sino a tutto il 2022. 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.

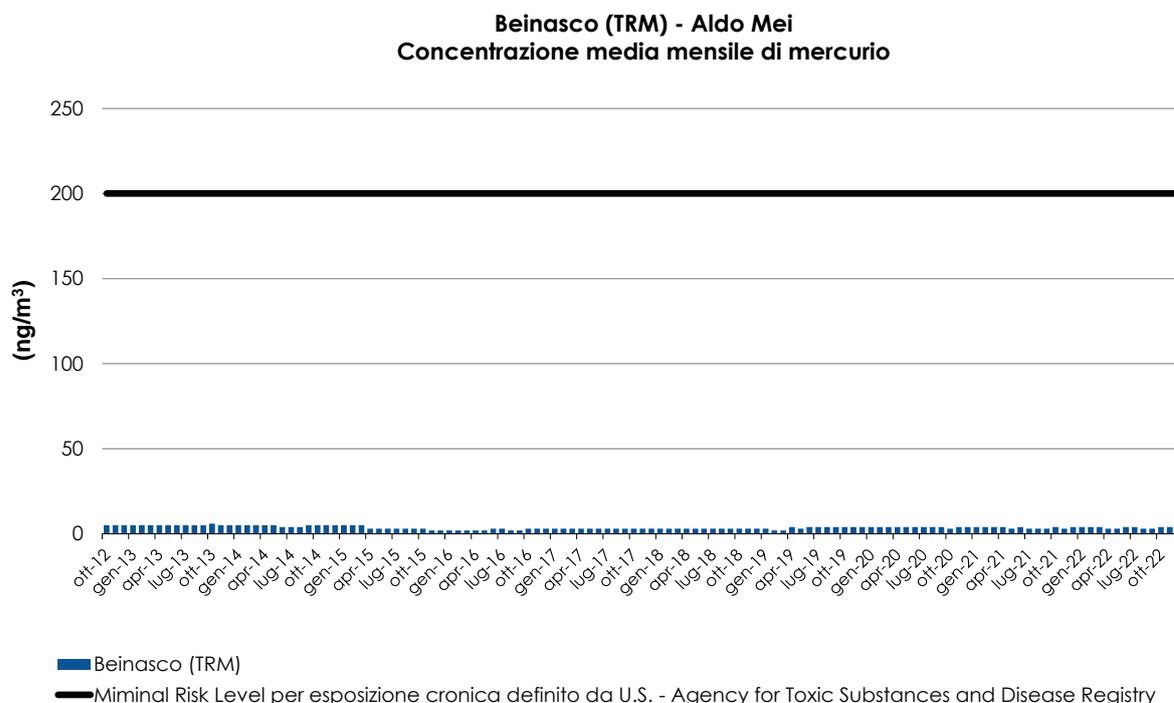


FIGURA 31: andamento delle concentrazioni mensili di mercurio nella stazione di Beinasco Aldo Mei dal 2012 al 2022.

## DEPOSIZIONI ATMOSFERICHE "BULK" DI IPA E METALLI

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

**A Bruno, 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 nonché il loro grado di tossicità e 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, ancora, sotto forma di gas e particelle (deposizioni secche).

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

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

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

Nella Città metropolitana di Torino il primo deposimetro è stato installato nel 2007 nella cabina di monitoraggio di Baldissero T.se acquistata da GdF Suez Produzione S.p.A., in ottemperanza alle prescrizioni emanate dal Ministero delle Attività Produttive in fase di autorizzazione alla costruzione e all'esercizio della centrale termoelettrica sita nel comune di Leinì. Secondo quanto previsto da tali prescrizioni, tramite convenzione, i dati prodotti e le analisi effettuate sui campioni sono gestiti da Arpa. Dal 2007 al 2012 nelle deposizioni raccolte presso Baldissero sono stati determinati i metalli a partire da gennaio 2013 a dicembre 2018 invece sono stati determinati gli idrocarburi policiclici aromatici, per indagare il sito anche in merito a questi inquinanti. Dal 2019 e per i successivi 5 anni sarà nuovamente monitorata la presenza di metalli nelle deposizioni, seguendo l'alternanza tra analisi di metalli e di IPA che si avvicendano ogni 6 anni a partire dal 2007.

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

Pur descrivendo in modo dettagliato la metodica di campionamento, la norma non prevede livelli limite o valori obiettivo per i vari composti analizzati, per cui dove disponibili sono presi come confronto i valori reperibili in studi di 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 composti - nell'aria ambiente non deve superare 1 ng/m<sup>3</sup> come media annuale nella frazione PM10, ma non vengono date indicazioni per valori nelle deposizioni.

Nella TABELLA 31 sono riportati i dati di IPA relativi ai campioni raccolti e analizzati nel 2022 e nei nove anni precedenti (2013-2021) 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. Ricordiamo, inoltre, che il dato degli IPA per le stazioni di Orbassano, Rivalta e Grugliasco nel 2020 non è rappresentativo del valore medio annuo per il ridotto numero di campionamenti mensili svolti, dovuto alle restrizioni di movimento per il contrasto all'evento pandemico di COVID-19. In tabella sono segnati con un asterisco i dati del 2020 non rappresentativi poiché per le stazioni coinvolte manca la maggior parte dei campionamenti del periodo primaverile - estivo.

Il grafico di FIGURA 32 presenta i dati degli IPA totali nelle deposizioni nel 2022. Nel 2022 i valori degli IPA misurati sono simili in tutte le stazioni, soprattutto come IPA cumulati, benché si possa evidenziare una leggera controtendenza rispetto agli anni passati, con valori genericamente più elevati a Grugliasco e Rivalta rispetto a Beinasco Aldo Mei e Orbassano, di solito le stazioni peggiori della rete di deposizioni al suolo. Nel 2022 spicca in particolare il valore di benzo(a)pirene di Grugliasco campo Golf di 9,1 ng/(m<sup>2</sup>\*d), dato in media doppio rispetto alle altre stazioni di misura. Bisogna però considerare che il campionamento nella stazione di Grugliasco non è stato completo nel 2022: per problemi tecnici e di accessibilità del sito mancano i campioni di agosto e dicembre 2022. Nell'analisi dei dati presentati si deve tenere pertanto conto della minore rappresentatività delle medie annuali della stazione di Grugliasco rispetto agli altri siti di misura.

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

Nei grafici della FIGURA 33 vengono presentati gli andamenti storici degli IPA nelle deposizioni totali dal 2013 al 2022. 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 Aldo Mei. 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 le restrizioni di movimento dovute al COVID-19. 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.

Nonostante un lieve aumento nel 2022 del benzo(a)pirene a Beinasco Aldo Mei, per gli IPA analizzati è possibile evidenziare una significativa tendenza alla diminuzione dei flussi totali di deposizione dal 2013 al 2022, sia nei valori minimi e massimi provinciali sia nei valori annuali della stazione di Beinasco TRM. Solo per il benzo(a)antracene la diminuzione benché evidente risulta meno significativa che per gli altri IPA.

Stazione	Anno	Benzo[a]pirene	Indeno[1.2.3-cd]pirene	Benzo[a]antracene	Benzo [b+j+k]fluorantene
Flusso di deposizione ng/(m <sup>2</sup> *d)					
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
	2019	-	-	-	-
	2020	-	-	-	-
	2021	-	-	-	-
	2022	-	-	-	-
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
Rivalta	2013				
	2014				
	2015	5,3	7,8	5,4	24,3
	2016	10,1	9,3	5,7	21,9
	2017	15,1	17,1	9,0	24,0
	2018	10,6	22,2	8,8	35,9
	2019	4,0	8,6	3,5	13,7
	2020*	16,1*	20,7*	24,6*	18,4*
	2021	3,6	3,7	2,6	7,1
	2022	4,7	3,7	4,3	7,8
Orbassano	2013	12,5	5,2	3,6	14,3
	2014	10,4	12,5	10,4	18,4
	2015	5,8	7,7	7,7	18,3
	2016	8,9	11,4	8,4	24,9
	2017	11,2	18,0	10,6	25,4
	2018	7,8	18,1	18,1	28,2
	2019	6,6	11,2	11,2	19,5
	2020*	9,6*	33,0*	24,6*	18,4*
	2021	4,1	5,1	4,1	8,1
	2022	4,9	3,2	3,0	5,8
Beinasco (TRM) Aldo Mei	2013	16	12,3	6,59	24
	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

TABELLA 31: IPA nelle deposizioni totali – medie annuali nel periodo 2013-2022.

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

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

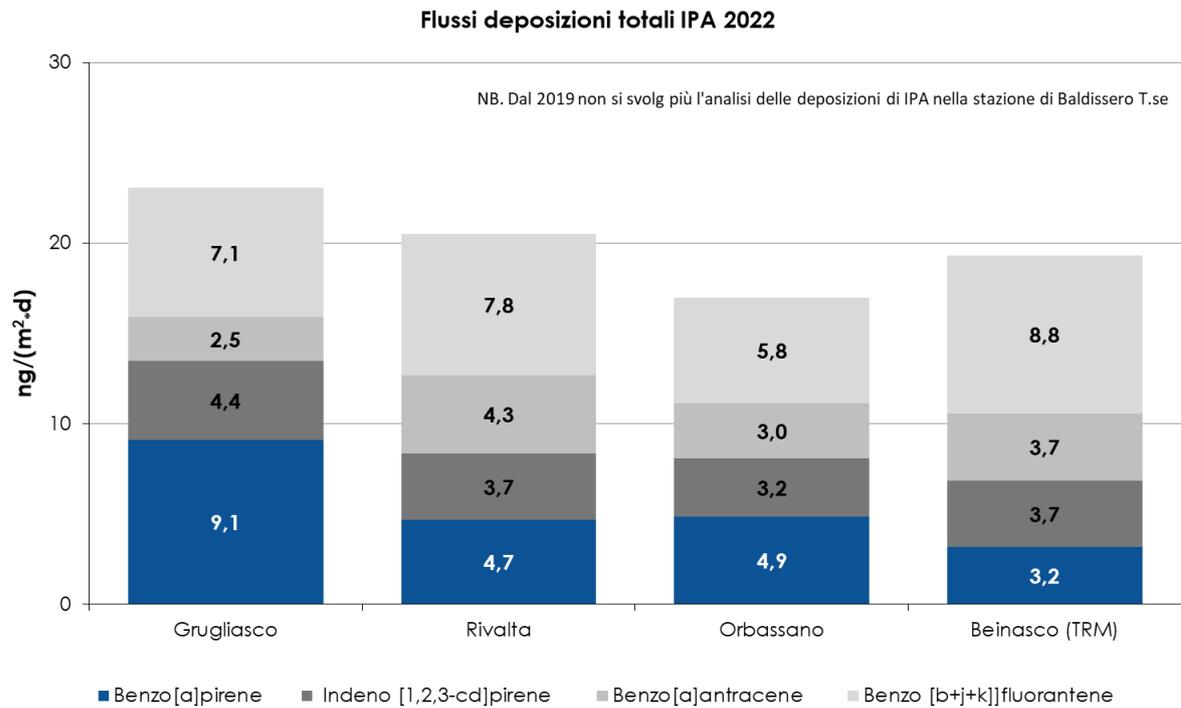


FIGURA 32: grafico di confronto flussi deposizioni totali anno 2022.

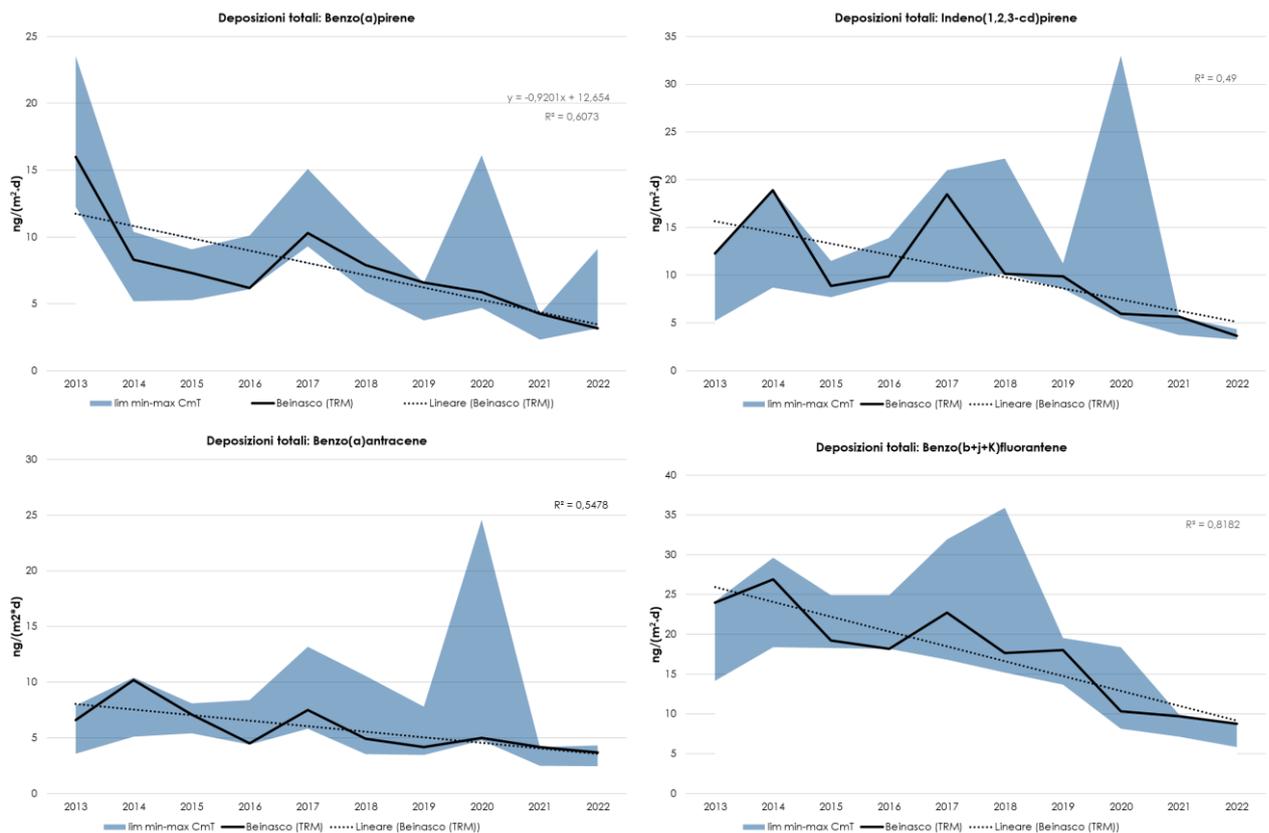


FIGURA 33: IPA nelle deposizioni totali, confronto andamento 2013-2022.

## METALLI

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

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

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

Dai dati riportati in TABELLA 33 si osserva che per ogni metallo nei siti di misura l'ordine di grandezza dei flussi di deposizione risulta confrontabile nel corso degli anni di monitoraggio (2013–2022). Si evidenzia che nel 2021 per molti metalli si interrompe la lieve tendenza alla diminuzione dei flussi di deposizione iniziata nel 2019, frutto con ogni probabilità di diverse condizioni meteorologiche e strutturali (vedi emergenza pandemica 2020).

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

Nel grafico di FIGURA 34 sono stati rappresentati i flussi di deposizioni totali misurati nel 2022 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. Le stazioni più critiche risultano anche quest'anno Orbassano e Beinasco Aldo Mei, dove a fare la differenza sono soprattutto alti valori di piombo e rame, indicatori, tra l'altro, di sorgenti da intenso traffico veicolare. Nel grafico di FIGURA 34 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 35 a FIGURA 39) sono stati riportati per ogni metallo gli andamenti nelle deposizioni totali delle analisi effettuate nel periodo 2013-2022. 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 Aldo Mei. In merito al 2020, vale inoltre la stessa considerazione fatta per gli IPA: il dato massimo del 2020 è sicuramente sovrastimato a causa del ridotto numero di campionamenti mensili svolti nel periodo primaverile-estivo di quell'anno. Come si osserva dai grafici, in generale nel corso degli anni la presenza di metalli nelle deposizioni totali varia e non è possibile, salvo poche eccezioni, evidenziare una tendenza in diminuzione a partire dal 2013.

		Flusso di deposizione $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$									
		As	Cd	Co	Cr	Ni	Pb	Cu	Se	V	Zn
BALDISSERO	2019	1.4	0.2	1.4	2.6	2.9	6.7	5.8	1.4	1.8	53.8
	2020	9.9	0.6	1.2	1.6	2.0	5.8	4.8	1.2	1.3	38.8
	2021	1.2	0.1	0.6	1.8	1.4	5.6	3.7	0.7	1.1	68.3
	2022	<b>0.7</b>	<b>0.1</b>	<b>0.5</b>	<b>1.7</b>	<b>1.5</b>	<b>5.3</b>	<b>3.2</b>	<b>0.5</b>	<b>1.8</b>	<b>35.0</b>
GRUGLIASCO	2013	1.2	0.1	1.2	2.8	3.2	4.2	13.9	2.0	1.7	51.1
	2014	2.1	0.2	2.2	4.4	4.6	3.8	13.6	2.1	3.2	35.2
	2015	1.6	0.2	1.6	2.7	2.8	5.2	12.3	1.6	1.8	41.0
	2016	1.0	0.1	1.0	4.7	2.7	4.4	11.9	1.0	1.5	44.9
	2017	0.9	0.1	0.9	4.1	2.9	6.7	11.8	0.8	1.3	76.1
	2018	1.8	0.3	0.9	3.3	3.3	3.9	10.6	1.9	1.5	47.8
	2019	0.9	0.1	0.9	3.1	2.8	3.9	11.0	0.8	1.7	56.5
	2020	0.5	0.1	0.5	1.9	2.5	2.5	7.1	0.5	0.7	32.6
	2021	1.1	0.1	0.7	2.4	2.0	3.2	7.5	0.8	1.1	40.6
2022	<b>0.4</b>	<b>0.0</b>	<b>0.3</b>	<b>3.1</b>	<b>2.0</b>	<b>3.3</b>	<b>5.4</b>	<b>0.2</b>	<b>0.7</b>	<b>34.2</b>	
RIVALTA	2013	1.3	0.2	1.3	3.0	4.7	3.7	12.5	1.3	1.8	64.8
	2014	2.2	0.2	2.3	3.8	3.1	3.2	10.6	2.2	3.0	69.7
	2015	1.3	0.2	1.3	2.6	3.4	5.4	10.7	1.3	1.9	43.4
	2016	1.0	0.2	1.0	5.6	2.2	3.4	7.6	1.0	1.7	37.1
	2017	0.9	0.1	0.9	2.7	2.2	5.0	9.5	0.9	1.3	76.9
	2018	1.9	0.3	2.1	3.2	3.3	5.2	17.8	2.0	2.4	60.7
	2019	0.8	0.1	0.8	1.7	2.2	4.4	9.2	0.8	1.7	54.3
	2020	0.6	0.1	0.6	2.3	2.3	2.8	6.3	0.6	1.5	41.5
	2021	1.2	0.1	0.7	3.2	2.4	2.8	6.5	0.8	1.1	45.1
	2022	<b>0.4</b>	<b>0.0</b>	<b>0.3</b>	<b>2.7</b>	<b>1.3</b>	<b>2.3</b>	<b>3.9</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	<b>34.8</b>
ORBASSANO	2013	1.4	0.2	1.4	3.2	3.7	30.8	14.3	1.4	1.7	102.3
	2014	2.2	0.3	2.3	4.5	10.3	22.7	12.9	2.1	3.2	54.8
	2015	1.4	0.2	1.4	2.7	4.0	17.5	12.2	1.3	1.7	80.7
	2016	0.9	0.4	1.0	6.0	3.9	21.1	13.9	0.9	2.1	103.1
	2017	1.0	0.2	1.0	4.7	3.6	22.2	12.8	0.9	1.5	92.0
	2018	1.9	0.3	1.1	5.5	3.5	11.8	8.3	2.0	2.3	80.5
	2019	0.8	0.2	0.9	3.9	4.4	16.6	11.8	0.8	1.7	73.4
	2020	0.6	0.2	0.8	3.2	5.0	13.9	8.0	0.6	1.1	48.4
	2021	1.2	0.2	1.0	4.9	3.6	23.1	9.2	1.1	1.2	84.2
	2022	<b>0.4</b>	<b>0.1</b>	<b>0.4</b>	<b>4.1</b>	<b>2.8</b>	<b>17.4</b>	<b>7.8</b>	<b>0.3</b>	<b>0.8</b>	<b>62.8</b>
BEINASCO (TRM) ALDO MEI	2013	1.7	0.2	1.6	3.4	3.5	11.2	15.7	1.5	2.0	119.5
	2014	1.9	0.2	1.8	4.2	11.7	10.7	14.6	1.9	3.1	100.7
	2015	1.4	0.1	1.4	3.1	3.2	11.3	11.9	1.3	1.7	85.6
	2016	1.3	0.1	1.5	6.3	2.9	6.6	12.2	1.3	1.9	98.3
	2017	1.0	0.2	1.1	4.2	3.3	7.9	14.1	1.0	1.7	126.9
	2018	1.8	0.2	1.9	3.2	4.5	7.5	18.9	1.8	2.1	131.0
	2019	1.7	0.3	1.7	4.2	4.2	8.4	15.8	1.7	2.3	144.6
	2020	1.0	0.1	1.0	2.5	2.6	6.6	11.4	1.2	1.4	120.6
	2021	1.4	0.1	1.4	6.1	5.1	13.1	13.0	1.2	2.8	242.2
	2022	<b>0.6</b>	<b>0.1</b>	<b>0.7</b>	<b>3.6</b>	<b>2.5</b>	<b>7.3</b>	<b>8.9</b>	<b>0.5</b>	<b>1.1</b>	<b>98.1</b>

TABELLA 33: metalli nelle deposizioni totali – indicatori statistici anno 2013-2022

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

\*breve periodo

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

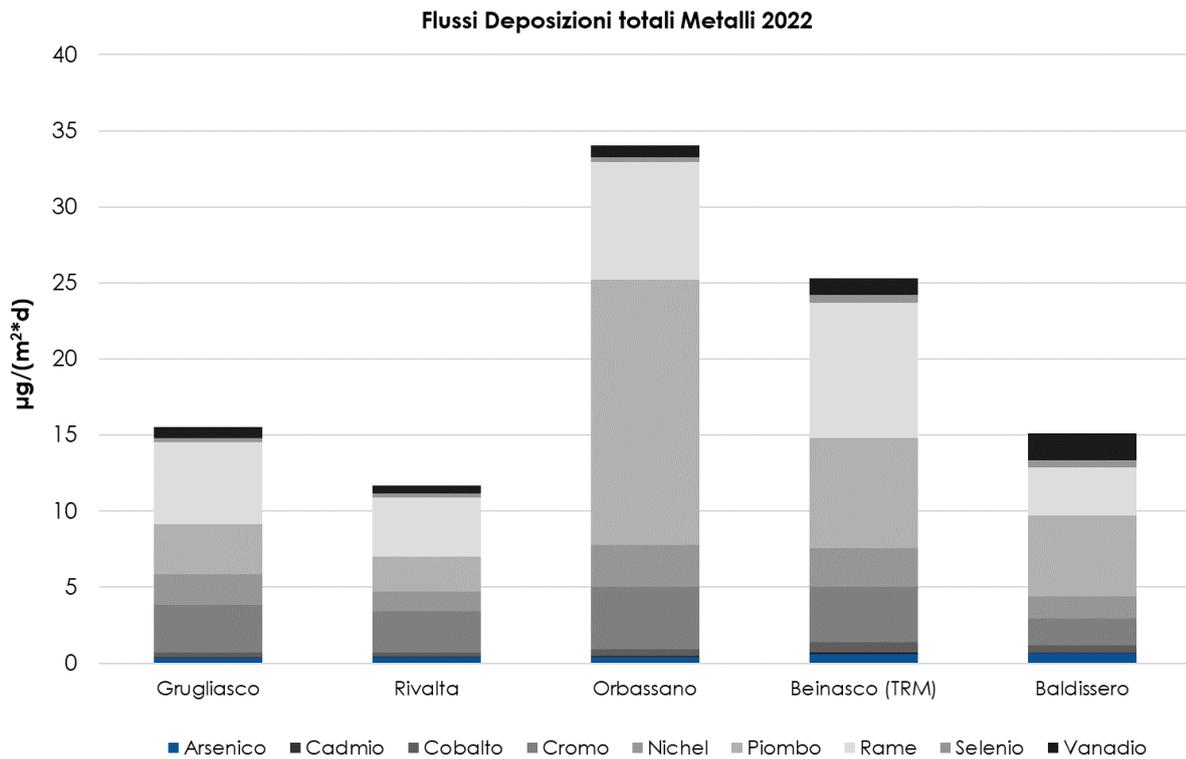


FIGURA 34: flussi di metalli nelle deposizioni totali – anno 2022.

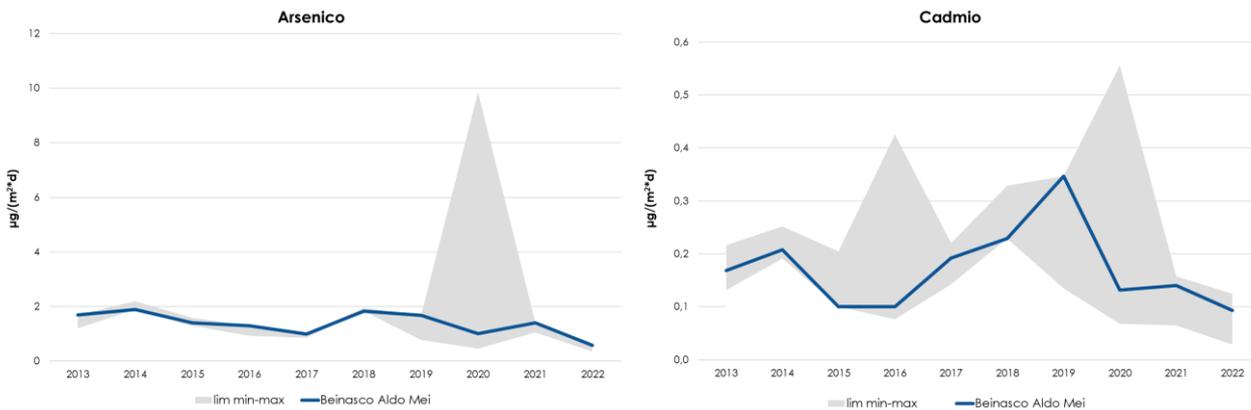


FIGURA 35: metalli nelle deposizioni totali 2013-2022 in CMT (arsenico e cadmio).

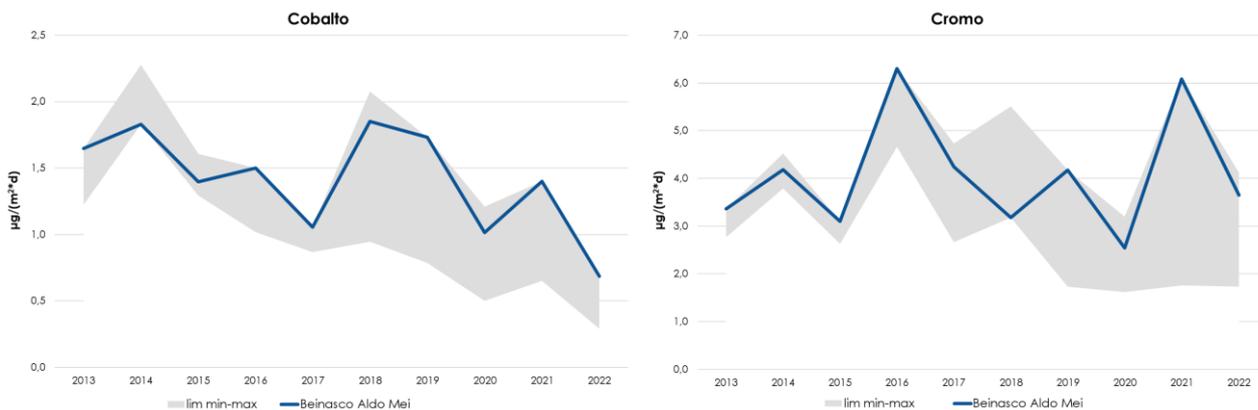


FIGURA 36: metalli nelle deposizioni totali 2013-2022 in CMT (cobalto e cromo).

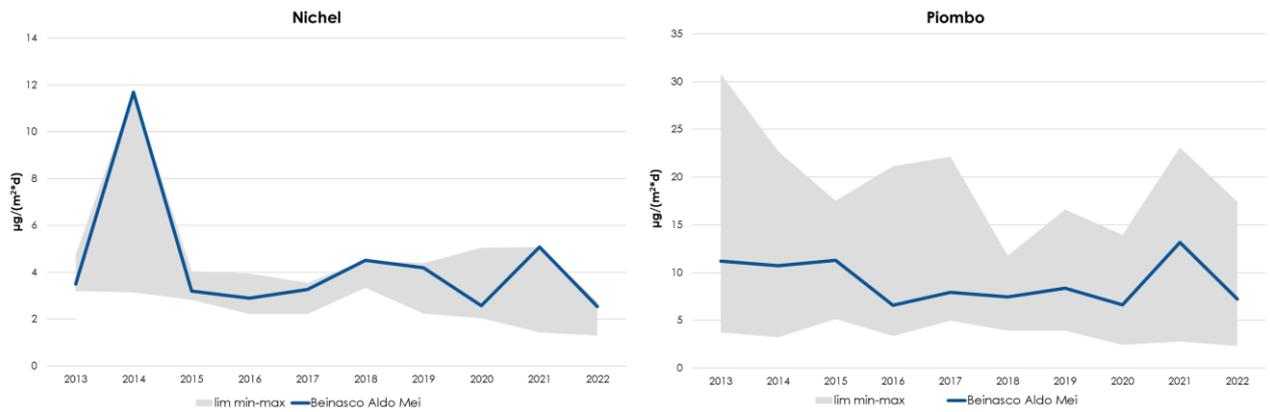


FIGURA 37: metalli nelle deposizioni totali 2013-2022 in CMT (nichel e piombo).

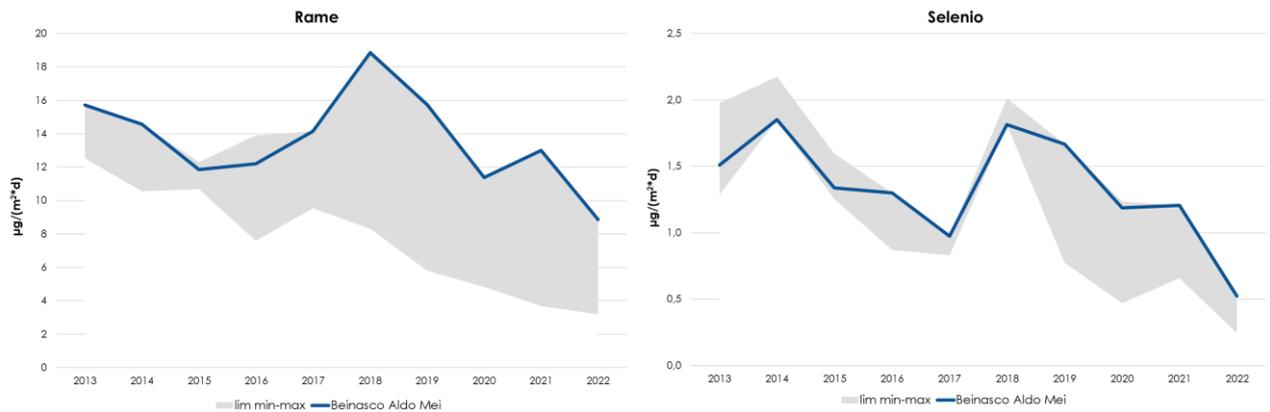


FIGURA 38: metalli nelle deposizioni totali 2013-2022 in CMT (rame e selenio).

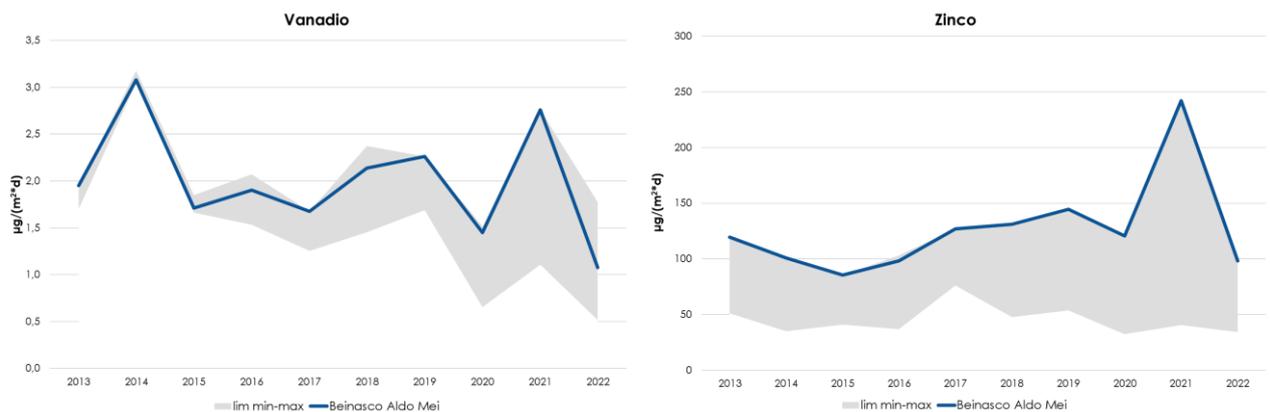


FIGURA 39: metalli nelle deposizioni totali 2013-2022 in CMT (vanadio e zinco).

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 nel punto di campionamento di Beinasco - Aldo Mei.

Per poter avere un confronto diretto con i dati misurati a Beinasco-Aldo Mei, dalla fine del 2020 Arpa Piemonte ha installato uno strumento per la misura del mercurio nelle deposizioni presso la sua sede di Torino, in via Pio VII, 9. Il deposimetro è inserito nell'ambito del programma SPoTT<sup>57</sup> sulla sorveglianza sanitaria legata al termovalorizzatore del Gerbido ed è entrato in funzione a metà ottobre 2020. La programmazione dei campionamenti segue in parallelo quella della stazione di TRM Beinasco con prelievi generalmente mensili.

<sup>57</sup> Sorveglianza sulla salute della Popolazione nei pressi del Termovalorizzatore di Torino, <https://www.spott.dors.it/>

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/(m<sup>2</sup>\*d) come valore medio annuale per la protezione di effetti dannosi inclusi quelli di alterazione dei suoli.

In FIGURA 40 viene riportato l'andamento annuale del flusso di mercurio totale a Beinasco – Aldo Mei nel corso degli anni 2013-2022. Al grafico sono stati aggiunti i valori medi annuali di mercurio misurati nel 2021 e nel 2022 dal nuovo deposimetro installato presso il sito di Torino-Pio VII. Nel 2022 A Beinasco Aldo Mei e a Torino Pio VII si è registrato un valore annuale di deposizioni di mercurio di rispettivamente 20 e 13 µg/(m<sup>2</sup>\*d). I valori individuate sono comparabili tra loro e con quelli degli ultimi anni di misurazioni svolte a Beinasco. Si fa notare che per la stazione di Beinasco Aldo Mei, tuttavia, non si ha a disposizione un anno intero di campionamenti mensili, ma il dato annuale è stato ottenuto mediando i valori mensili dei primi dieci mesi dell'anno poiché a novembre e dicembre 2022 non è stato possibile effettuare il campionamento a causa di un danno strumentale.

I dati di mercurio e di altri metalli misurati nelle deposizioni totali a Beinasco-Aldo Mei nel 2022 sono stati confrontati con i dati prodotti dall'Arpa Toscana nella "Campagna di caratterizzazione deposizioni umide e secche 2011-2013 postazione Castelluccio comune Capolona – Arezzo" (TABELLA 35). Il dato di mercurio di Beinasco Aldo Mei è in linea con quello trovato nella laguna di Venezia e decisamente inferiore al valore riscontrato nei siti di Castelluccio e Badia al Pino nel periodo 2011-2013. Si fa notare che le unità di misura sono diverse da quelle fin qui utilizzate per il mercurio, non più nanogrammi bensì microgrammi per unità di superficie, anche l'unità di tempo è differente: non si presenta il dato medio al giorno ma il dato medio annuale.

Il dettaglio dei valori mensili riportato in TABELLA 36 mostra che nel 2022 i valori maggiori sono stati rilevati da aprile a agosto, mentre valori minimi si registrano nei mesi invernali di gennaio-marzo 2022 (si ricorda che mancano i dati di novembre e dicembre 2022).

Parametro	medie delle deposizioni annuali - µg/(m <sup>2</sup> *y)				
	Castelluccio	Badia al Pino	Laguna di Venezia	Parco Caviglia	Beinasco Aldo Mei 2022
Arsenico	207	153	290	100	215
Cadmio	364	55	672	17	34
Cromo	807	979	536	257	1331
Rame	6685	5316	5818	570	3236
<b>Mercurio</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>6</b>	--	<b>7.3</b>
Nichel	916	821	1633	190	928
Piombo	1367	1945	11392	157	2650
Vanadio	757	499	1109	281	393
Zinco	31516	29735	11864	7933	35809

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

TABELLA 35: dati comparativi ratei medi di deposizione annuali (µg/(m<sup>2</sup>\*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".

## Mercurio a Beinasco-Aldo Mei e Torino-PIO VII

NB. Il dato di mercurio di Beinasco Aldo Mei è mediato solo sui primi 10 mesi dell'anno

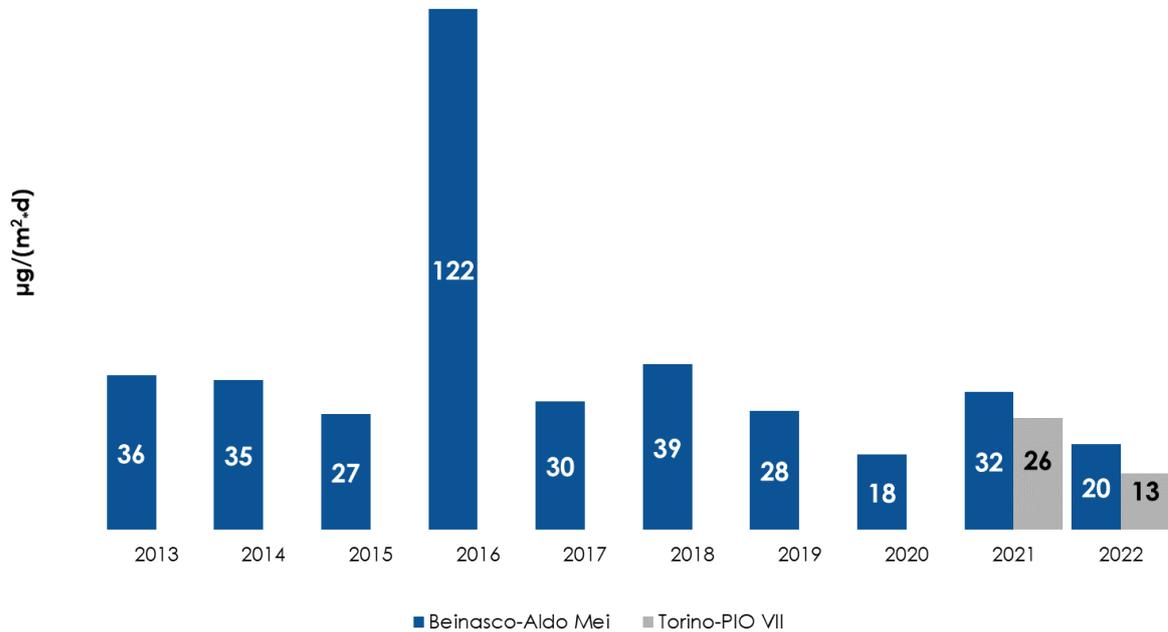


FIGURA 40: andamento concentrazione Mercurio a Beinasco Aldo Mei e Torino-Pio VII (2013-2022)

Mese	Beinasco – Aldo Mei Mercurio ng/(m²·d)									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Gennaio	7	47	20	13	18	63	n.d.	4	6	1
Febbraio	22	99	7	15	27	23	11	6	3	7
Marzo	39	22	26	57	17	38	30	6	1	7
Aprile	78	22	20	50	23	49	42	6	33	23
Maggio	78	22	69	37	28	79	31	57	62	20
Giugno	8	38	55	21	37	69	14	34	88	95
Luglio	58	26	21	53	48	51	16	14	67	17
Agosto	50	26	29	35	n.d.	18	30	24	18	20
Settembre	10	30	27	22	n.d.	26	43	29	21	6
Ottobre	25	22	18	794	n.d.	23	47	15	16	8
Novembre	37	56	0	333	n.d.	33	70	6	57	n.d.
Dicembre	20	24	22	23	63	2	16	10	7	n.d.

n.d.: dati non disponibili per guasto strumentale

TABELLA 36: dettaglio mensile del flusso di deposizione di mercurio a Beinasco – Aldo Mei anni 2013 -2022

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

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

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

### DESCRIZIONE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

<sup>1</sup> NATO/CCMS: North Atlantic Treaty Organization/Committee on the Challenges of Modern Society. International Toxicity Equivalency Factor (I-TEF) method of risk assessment for complex mixtures of dioxin and related compounds, 186, 1988

<sup>2</sup> WHO: World Health Organization  
The 2005 World Health Organization Re-evaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds. Van den Berg, M. et al. , ToxSci Advance Access published July 7, 2006.

TABELLA 37 : fattori di Tossicità Equivalente.

Il monitoraggio dei microinquinanti organici begli aeriformi viene realizzato con:

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

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

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

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

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



FIGURA 41: moduli di campionamento.

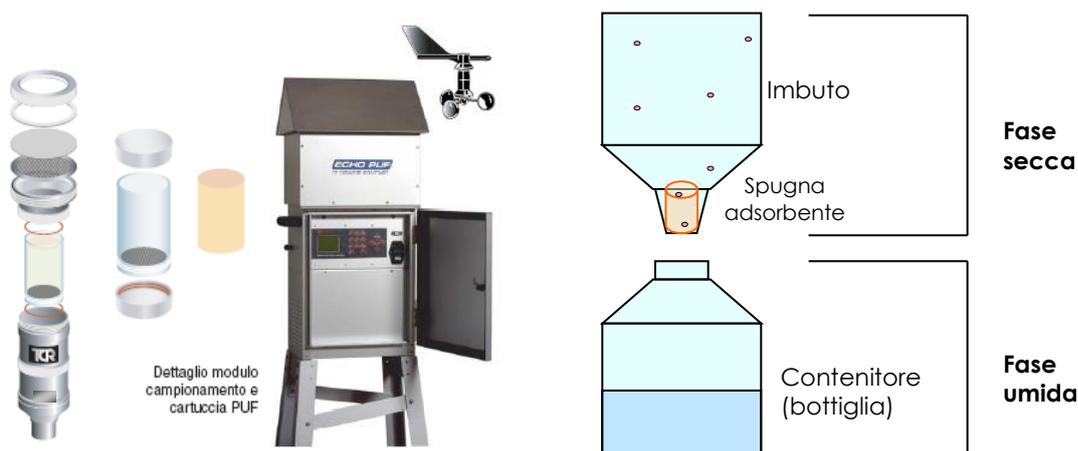


FIGURA 42: campionatore echo puf e deposimetro per la raccolta delle deposizioni secche e umide.

### ESAME DEI DATI

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

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

### PCDD/DF e PCB in aria ambiente

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

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

Nella TABELLA 38 e nella FIGURA 43 sono riportate le medie annuali rilevate dal 2013 al 2022 per i parametri monitorati, i valori riportati sono stati calcolati come media delle concentrazioni rilevate nelle 12 mensilità.

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

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

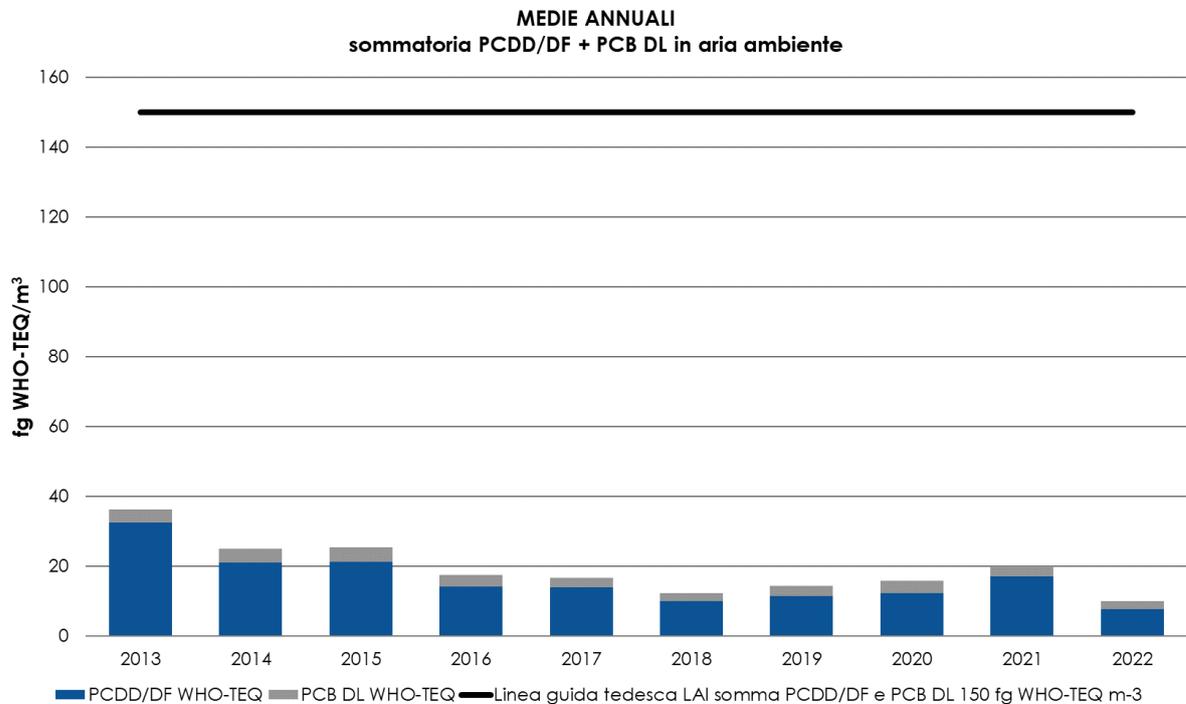


FIGURA 43: medie annuali sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like in aria ambiente.

Nella FIGURA 44 viene riportato l'andamento della sommatoria PCDD/DF PCB dioxin like nelle singole mensilità degli anni dal 2017 al 2022, per il mese di gennaio 2022 il campione non era disponibile a causa di malfunzionamenti della strumentazione di campionamento, per il mese di febbraio 2022 la frazione di PCDD/DF non è stata analizzata a causa di un problema nella preparativa del campione. 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.

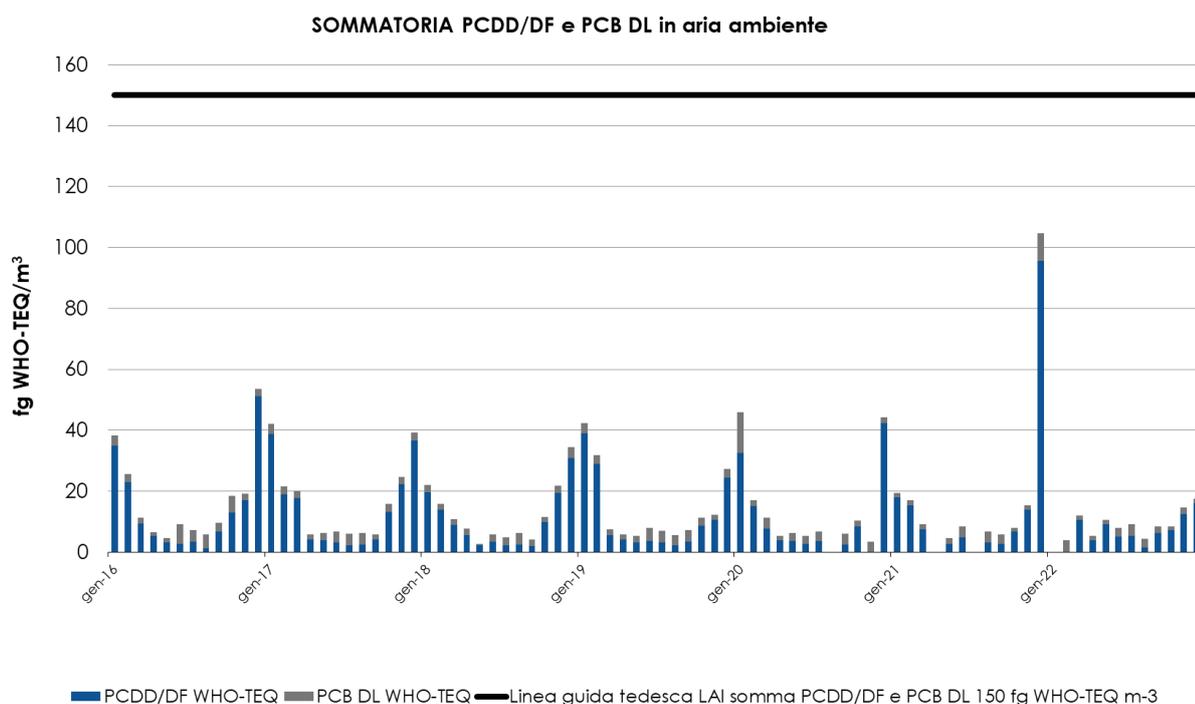


FIGURA 44: andamento sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like in aria ambiente dal 2016.

Nella TABELLA 39 sono riportate le concentrazioni medie mensili di PCDD/DF e PCB determinate nei campioni di qualità dell'aria prelevati nel corso dell'ultimo anno (2022).

	PCDD/DF (fg I-TEQ m <sup>-3</sup> )	PCB Dioxin Like (pg WHO-TEQ m <sup>-3</sup> )	PCB Totale Famiglie (pg m <sup>-3</sup> )	PCDD/DF+PCB DL (fg WHO-TEQ m <sup>-3</sup> )
<b>Gennaio 2022</b>	ND	ND	ND	ND
<b>Febbraio 2022</b>	*	0,00388	70	3,9*
<b>Marzo 2022</b>	11,88	0,00151	54	12,1
<b>Aprile 2022</b>	4,49	0,00138	53	5,4
<b>Maggio 2022</b>	7,79	0,00145	75	10,7
<b>Giugno 2022</b>	4,56	0,00293	76	8,1
<b>Luglio 2022</b>	4,68	0,00393	90	9,2
<b>Agosto 2022</b>	1,36	0,00297	90	4,4
<b>Settembre 2022</b>	6,76	0,00215	79	8,5
<b>Ottobre 2022</b>	7,41	0,00126	131	8,4
<b>Novembre 2022</b>	13,11	0,00196	76	14,6
<b>Dicembre 2022</b>	18,82	0,00142	56	17,6

ND: campione non disponibile a causa di malfunzionamenti della strumentazione di prelievo

\* frazione PCDD/DF non disponibile per il mese di febbraio 2022 a causa di un problema di preparativa

TABELLA 39: concentrazioni di PCDD, PCDF e PCB in aria ambiente per i mesi del 2022.

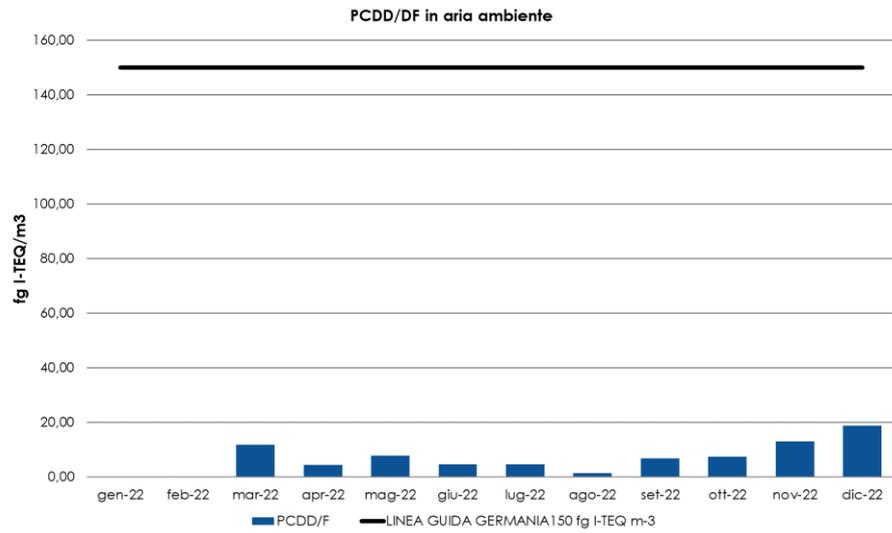


FIGURA 45: concentrazioni di PCDD e PCDF in aria ambiente anno 2022.

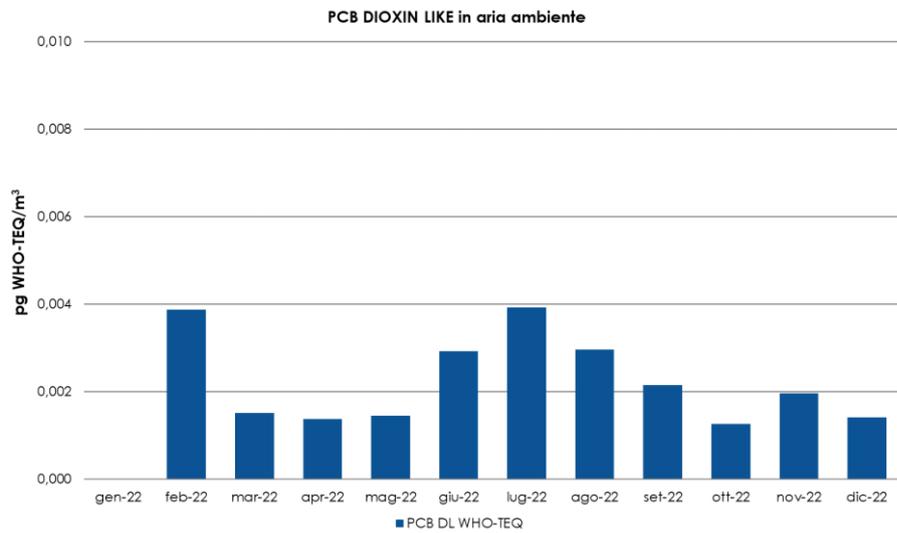


FIGURA 46: concentrazioni di PCB dioxin like in aria ambiente anno 2022.

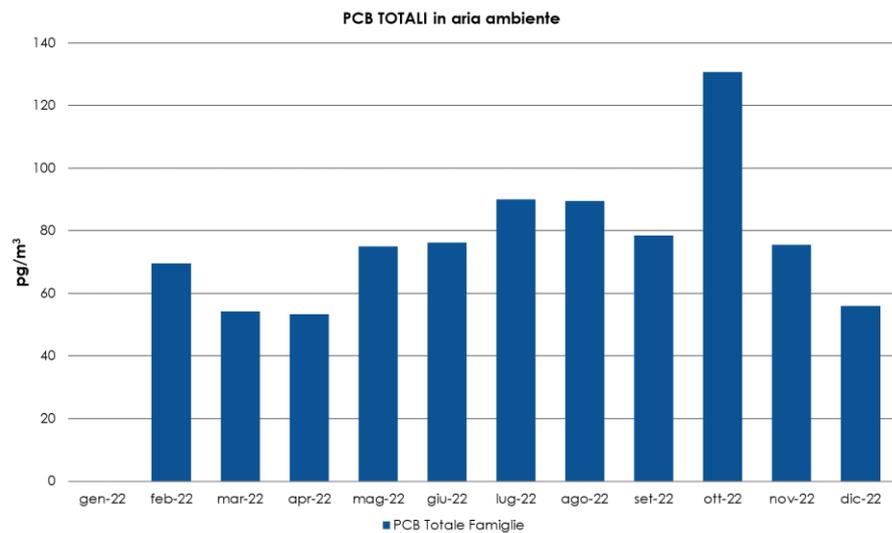


FIGURA 47: concentrazioni di PCB Totali in aria ambiente anno 2022.

## PCDD/DF e PCB nelle deposizioni atmosferiche

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

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

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

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

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

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

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

Cornelis et al (2007)

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

In letteratura, l'Istituto Superiore di Sanità (presentazione di Gaetano Settimo del 06/02/2014 presso il Ministero della Salute nell'ambito di "Salute e Rifiuti: ricerca, sanità pubblica e comunicazione" e del 05/06/2014 nell'ambito di un seminario sullo stato dell'arte delle Deposizioni Atmosferiche) cita anche altre valutazioni realizzate dal German Expert Group - LAI in Germania che ha definito per le deposizioni un valore di linea guida per la sommatoria di PCDD/DF e PCB dioxin like pari a: 4 pg WHO-TEQ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> come media di lungo periodo.

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

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

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

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

- a) deposizione media annua di PCDD/DF: 14 pg I-TEQ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> correlata a un'assunzione giornaliera (TDI) pari a 4 pg I-TEQ kg<sup>-1</sup> di peso corporeo;
- b) deposizione media mensile di PCDD/DF: 27 pg I-TEQ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> correlata a un'assunzione giornaliera (TDI) pari a 4 pg I-TEQ kg<sup>-1</sup> di peso corporeo;

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

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

In TABELLA 41 e FIGURA 48 si riportano i flussi di deposizione medi annui calcolati per i parametri PCDD/DF e PCB a partire dai dati mensili rilevati presso la stazione Aldo Mei di Beinasco.

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

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

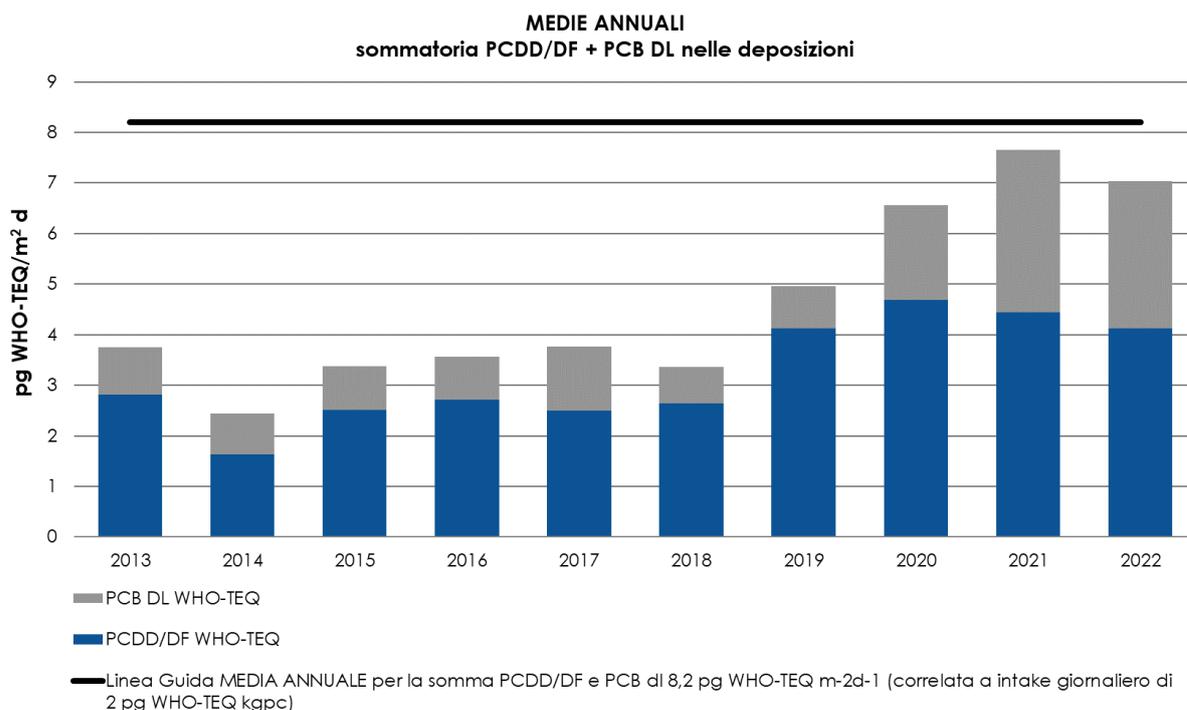


FIGURA 48: medie annuali della sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like nelle deposizioni.

Nel FIGURA 49 viene riportato l'andamento della sommatoria PCDD/DF PCB dioxin like nelle deposizioni atmosferiche delle singole mensilità degli anni dal 2013 al 2022. 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.

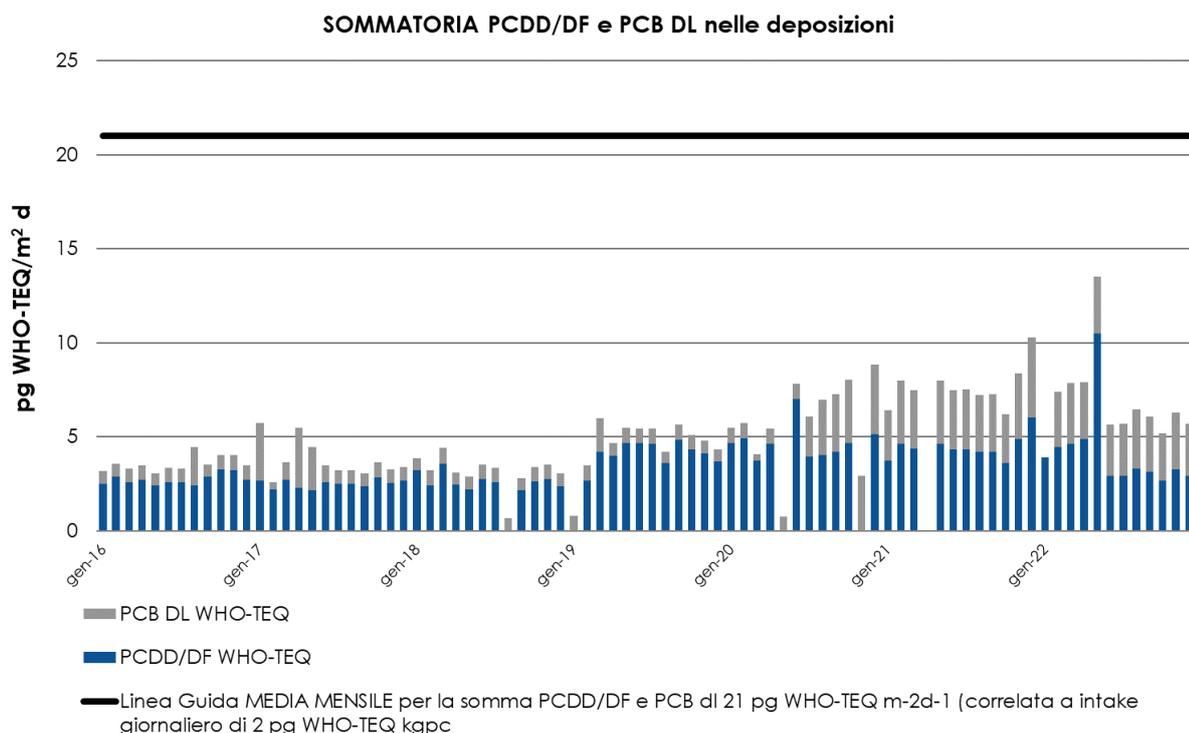


FIGURA 49: andamento sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like nelle deposizioni mensili dal 2017.

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 (2022).

	PCDD/DF (pg I-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	PCB Dioxin Like (ng WHO-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	PCB Totale Famiglie (ng m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	PCDD/DF+PCB DL (pg WHO-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
<b>Gennaio 2022</b>	3,54	*	*	3,91*
<b>Febbraio 2022</b>	4,09	0,00293	8,1	7,40
<b>Marzo 2022</b>	4,18	0,00324	8,1	7,87
<b>Aprile 2022</b>	4,88	0,00302	8,8	7,92
<b>Maggio 2022</b>	9,27	0,00303	7,6	13,52
<b>Giugno 2022</b>	2,71	0,00273	5,3	5,64
<b>Luglio 2022</b>	2,72	0,00276	5,4	5,69
<b>Agosto 2022</b>	3,09	0,00312	6,0	6,44
<b>Settembre 2022</b>	2,91	0,00293	5,8	6,06
<b>Ottobre 2022</b>	2,48	0,00250	4,5	5,16
<b>Novembre 2022</b>	3,04	0,00302	5,9	6,28
<b>Dicembre 2022</b>	2,73	0,00274	4,9	5,67

\* per il campione di gennaio 2022 è disponibile solo la determinazione di PCDD/DF a causa di problematiche analitiche intervenute in fase di preparativa

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

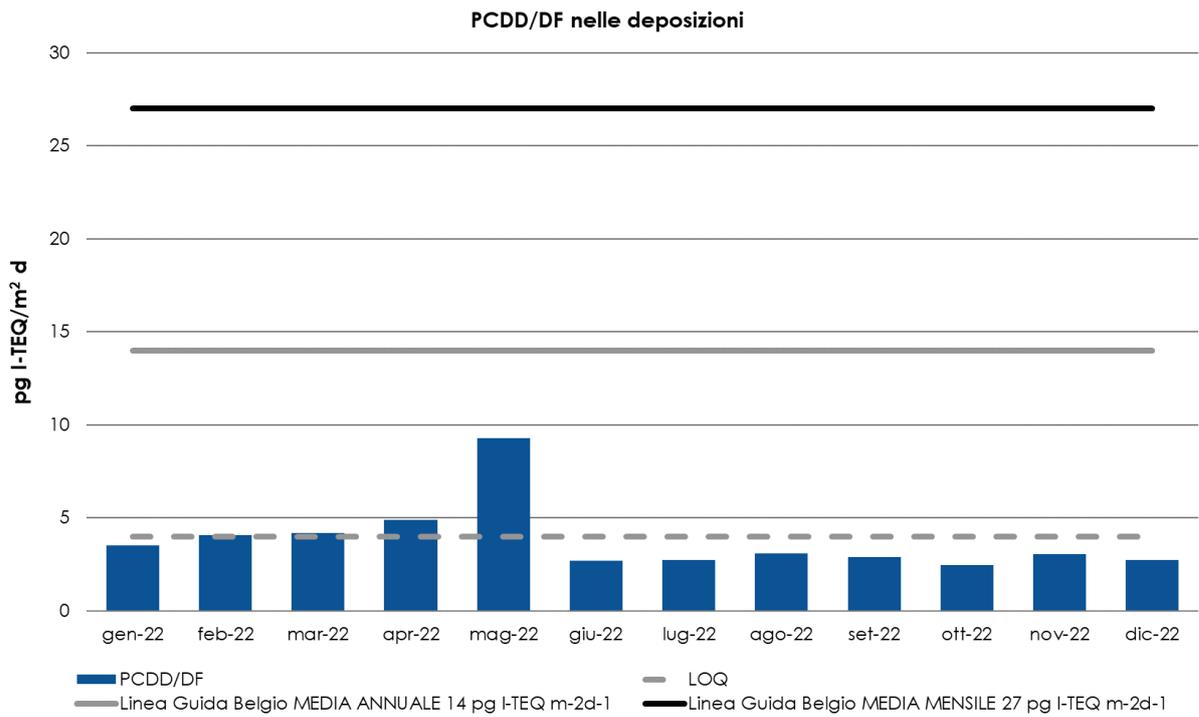


FIGURA 50: concentrazioni di PCDD e PCDF nelle deposizioni mensili anno 2022.

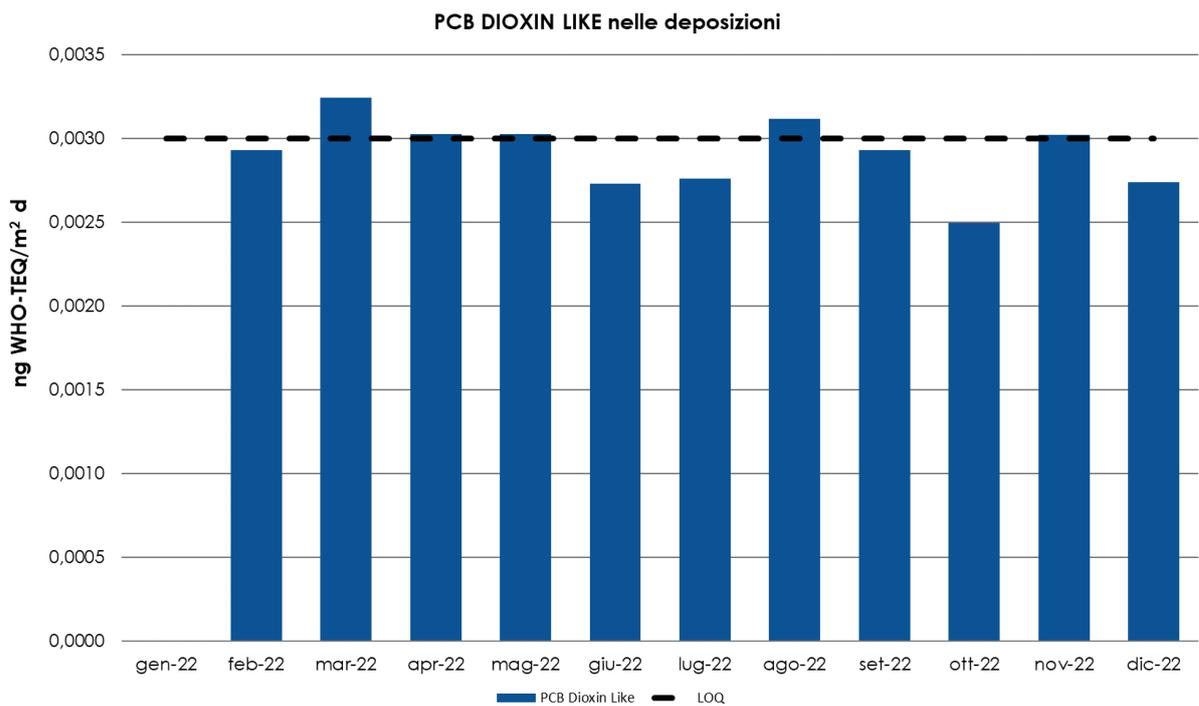


FIGURA 51: concentrazione di PCB DIOXIN LIKE nelle deposizioni mensili anno 2022.

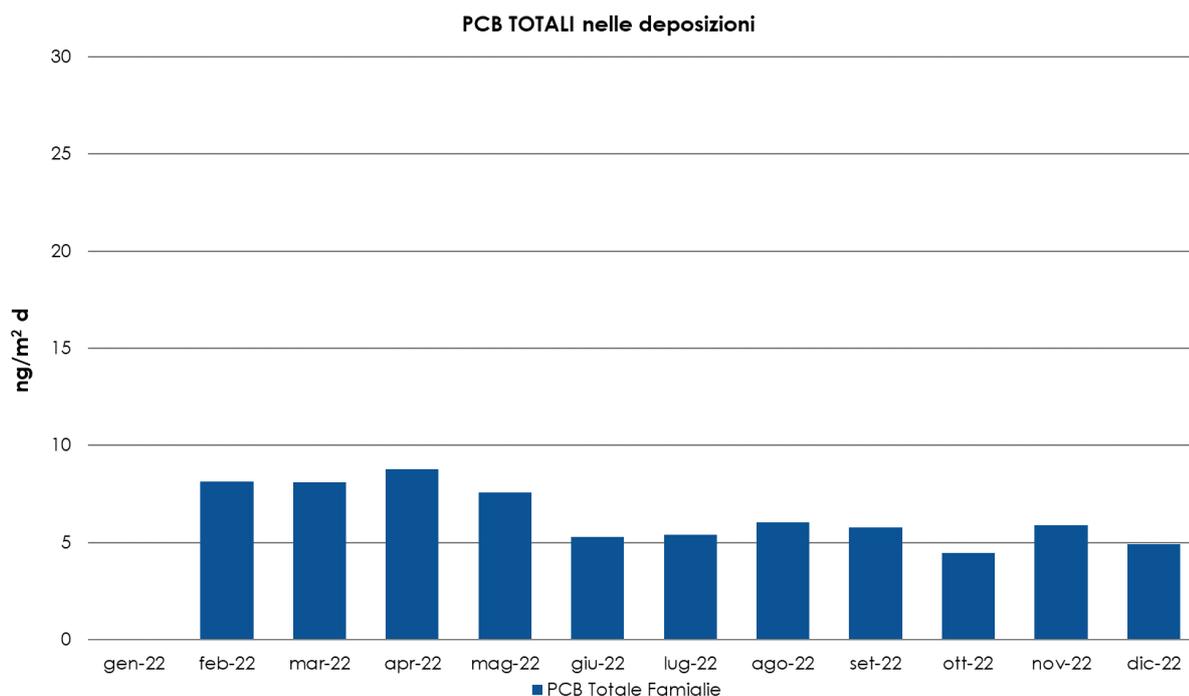


FIGURA 52: concentrazione di PCB TOTALI nelle deposizioni mensili anno 2022.

Per una migliore interpretazione degli esiti del monitoraggio, considerato l'elevato numero di congeneri inferiori al limite di quantificazione, riportiamo nella tabella i valori delle sommatorie di PCDD/DF e PCB dioxin like calcolato secondo il criterio del lower bound e del medium bound per tutte le mensilità del 2022.

Ricordiamo che secondo il criterio del lower bound il contributo dei congeneri inferiori al limite di quantificazione al calcolo della sommatoria è pari a zero. Nel criterio medium bound, utilizzato in tutte le elaborazioni di questo capitolo, il contributo dei congeneri inferiori al limite di quantificazione al calcolo della sommatoria è pari alla metà del limite di quantificazione.

L'applicazione del calcolo secondo il criterio del medium bound in sommatorie in cui il numero di congeneri inferiori al limite di quantificazione è così elevato rappresenta una sovrastima della concentrazione reale.

	Criterio lower bound		Criterio medium bound	
	PCDD/DF WHO-TEQ pg WHO-TEQ m-2 d-1	PCB DL WHO-TEQ pg WHO-TEQ m-2 d-1	PCDD/DF WHO-TEQ pg WHO-TEQ m-2 d-1	PCB DL WHO-TEQ pg WHO-TEQ m-2 d-1
<b>Gennaio 2022</b>	0,14	0	3,91	2,93
<b>Febbraio 2022</b>	0,66	0	4,47	3,24
<b>Marzo 2022</b>	0,16	0	4,63	3,02
<b>Aprile 2022</b>	1,26	0	4,89	3,03
<b>Maggio 2022</b>	8,87	0,010	10,49	2,73
<b>Giugno 2022</b>	0	0	2,91	2,76
<b>Luglio 2022</b>	0	0,020	2,93	3,12
<b>Agosto 2022</b>	0	0	3,33	2,93
<b>Settembre 2022</b>	0	0	3,13	2,50
<b>Ottobre 2022</b>	0	0	2,66	3,02
<b>Novembre 2022</b>	0,06	0	3,26	2,74
<b>Dicembre 2022</b>	0,05	0	2,94	

TABELLA 43: confronto valori delle Medie mensili della sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like nelle deposizioni calcolati con il criterio del lower bound e del medium bound.

## CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'ANNO 2022

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

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

La relazione "Uno sguardo all'aria" costituisce un utile documento per la conoscenza e la comprensione dei fenomeni d'inquinamento atmosferico. A tal fine, oltre alla consueta analisi dei dati chimici rilevati nel corso del 2022, 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 2022 vengono descritti sommariamente i seguenti parametri meteorologici: andamento delle temperature, delle precipitazioni e dell'altezza del geopotenziale in relazione ai valori climatologici. L'altezza del geopotenziale 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 2012-2022; invece per quanto riguarda i campi in quota, sono relativi al periodo 1971-2000 e derivano dalle re-analisi (note come "archivio ERA40") del Centro Meteorologico Europeo di Reading (ECMWF). Questa climatologia di 30 anni viene utilizzata (anche a livello internazionale) 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 2022.

Nel complesso si osserva come l'anno 2022 in Piemonte è stato il 1° più caldo degli ultimi 65 anni, con una temperatura media di circa 11.4°C ed un'anomalia termica positiva di circa +2.3 °C rispetto alla climatologia del periodo 1971-2000.

Analizzando l'andamento giornaliero, notiamo come l'anomalia termica negativa sia stata presente con una buona frequenza e continuità solo a marzo (unico mese ad avere avuto una temperatura nella norma degli anni 1971-2000) e aprile, nell'ultima decade di settembre e nelle prime due di dicembre. Lo scostamento termico positivo è stato marcato soprattutto durante l'estate, risultata la seconda più calda dopo il 2003. Sostanziale assenza di giorni più freddi della norma anche a ottobre 2022, con prima posizione nella rispettiva serie storica dei mesi più caldi. Da citare anche il secondo posto di gennaio e maggio 2022.

Il mese più caldo dell'anno è stato luglio con 22.1°C medi, mentre dicembre è risultato il mese più freddo, con 2.2°C.

Nonostante l'estate 2022 sia risultata la seconda più calda dopo quella del 2003, i record assoluti di temperatura massima sono risultati quasi assenti, con l'unica eccezione del primato di Passo del Moro (VB), a 2820 m con 23.7°C il 27 giugno 2022. Inoltre non sono stati raggiunti i 40°C come avvenuto in diverse estati passate.

La caratteristica termica principale dell'annata 2022 è stata quindi quella di una temperatura frequentemente al di sopra della norma climatica, piuttosto che di periodi brevi di anomalie termiche positive intense come accaduto in passato.

Le precipitazioni cumulate medie dell'anno 2022 in Piemonte sono state pari a 611.9 mm e sono risultate inferiori alla norma 1971-2000, con un deficit di 438.6 mm, che corrisponde al 42% circa; il 2022 è il 2° anno meno piovoso nella distribuzione storica degli anni 1958-2022.

L'analisi dell'andamento giornaliero evidenzia come al deficit pluviometrico abbiano contribuito soprattutto i primi tre mesi dell'anno. Infatti il 9 dicembre 2021 ha avuto inizio un lungo periodo di giornate secche (precipitazione giornaliera inferiore a 5 mm/24h) che è terminato il 29 marzo 2022; tale serie di 111 giorni si è posizionata ufficialmente al 2° posto tra i periodi secchi invernali più lunghi degli ultimi 65 anni, dopo la stagione 1999-2000 (137 giorni).

L'esame dell'andamento nei singoli mesi mostra come solo dicembre abbia avuto un'anomalia pluviometrica positiva mentre tutti gli altri mesi sono risultati più secchi della norma. Agosto è stato il mese più piovoso dell'anno 2022 con 81.5 mm medi e un lieve deficit del 2%. Gennaio con soli 4.8 mm medi e un'anomalia negativa del 92% è risultato il mese più secco dell'annata. Il giorno più piovoso dell'anno è stato il 23 aprile con una media giornaliera di 31.6 mm sul territorio piemontese.

Pertanto, se prendiamo in considerazione l'andamento termico e pluviometrico annuale in maniera congiunta, il 2022 si colloca al primo posto tra gli anni contemporaneamente più caldi e secchi.

Nel 2022 si sono avuti, complessivamente sulla regione, 78 giorni di foehn che risultano superiori alla media annuale del periodo 2000-2020 che è pari a 66.

Nell'anno 2022 si sono verificati 114 giorni di nebbia ordinaria (visibilità inferiore ad 1 km), leggermente inferiori (-6%) rispetto ai 122 attesi dalla climatologia recente del periodo 2004-2021. Andamento simile anche per gli episodi annuali di nebbia fitta (visibilità inferiore a 100 m): 19 rilevati e 21 attesi dalla norma climatica, con un deficit del 10%,

## IL CLIMA DEL 2022

### Gennaio

In Piemonte gennaio 2022 ha avuto una temperatura media di 3.3°C, con un'anomalia termica positiva di circa 2.8°C rispetto alla media del periodo 1971-2000, ed è risultato il 2° mese di gennaio più caldo nella distribuzione storica degli ultimi 65 anni.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state molto inferiori alla norma degli anni 1971-2000, con soli 4.8 mm medi ed un deficit di 55 mm (pari al 92%); gennaio 2022 si pone al 5° posto tra i corrispondenti mesi più carenti di precipitazioni degli ultimi 65 anni.

Il 1° gennaio dell'anno 2022 il Piemonte è stato interessato da un'area di alta pressione di matrice africana con massimo a sudovest delle Isole Baleari (FIGURA 53), che ha determinato temperature superiori di circa 8-9°C rispetto alla norma del periodo 1971-2000, mentre lo zero termico ha raggiunto i 3900 m.

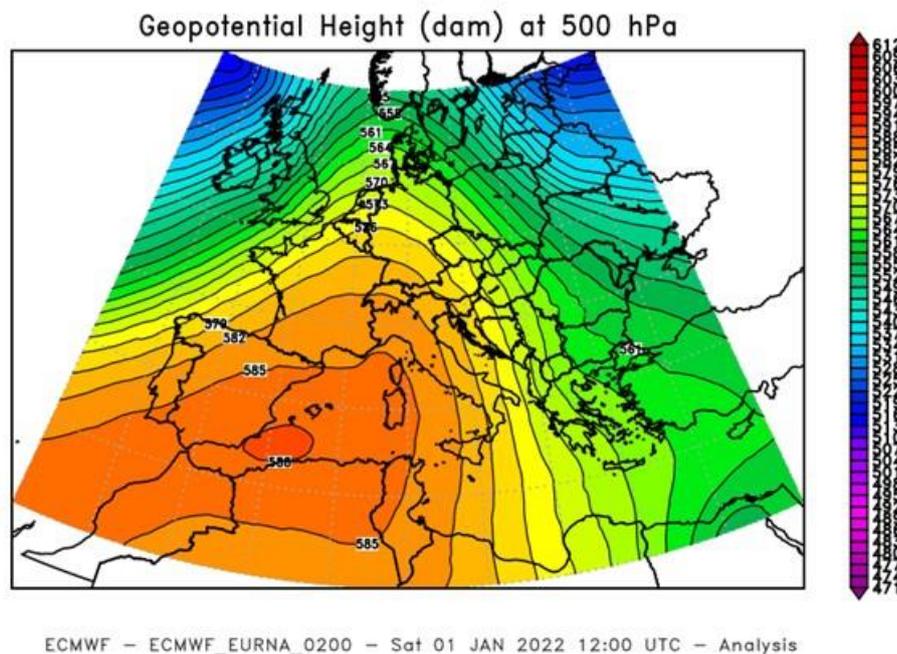


FIGURA 53: altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa alle ore 12 UTC del 1° gennaio 2022. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

Il 1° gennaio 2022 rientra tra i 10 giorni più caldi del mese di gennaio valutati a partire dal 1958, ma senza raggiungere il podio; in 22 stazioni termometriche della rete ARPA Piemonte (pari all'8% del totale) è stato registrato il record di temperatura massima mensile; si tratta di primati raggiunti nelle località montane e pedemontane, mentre in pianura le condizioni di stabilità atmosferica, con l'irraggiamento notturno, hanno favorito l'inversione termica e la formazione di nebbie e foschie con valori termici più bassi.

Nel mese di gennaio 2022 è stato rilevante il numero di giorni con foehn, 16, quando mediamente nel mese se ne registrano 9.

Il 30 gennaio 2022 il Piemonte si è trovato al confine tra un'area anticiclonica estesa tra l'Algeria e la Francia e una vasta circolazione depressionaria sull'Europa nordorientale (FIGURA 54 in alto).

Il marcato gradiente barico presente sul territorio piemontese ha determinato un'intensificazione dei venti da nordovest, con condizioni di foehn nelle vallate alpine nordoccidentali.

Il vento di caduta ha favorito l'aumento delle temperature; il 30 gennaio 2022 ha registrato le temperature massime più elevate del mese sui settori pianeggianti, con una media dei valori massimi di 16°C e picco termico mensile a Domodossola (VB) con 21.2°C.

Nel giorno successivo, 31 gennaio 2022, un'onda depressionaria è scesa velocemente dalle isole britanniche verso il nord-Italia, causando l'evento di foehn più intenso del mese sul Piemonte. Sulle località inferiori a 2000 m di quota, la raffica massima è stata registrata a Pietrastretta (TO) alle ore 10 UTC, con 29.1 m/s (104.8 km/h).

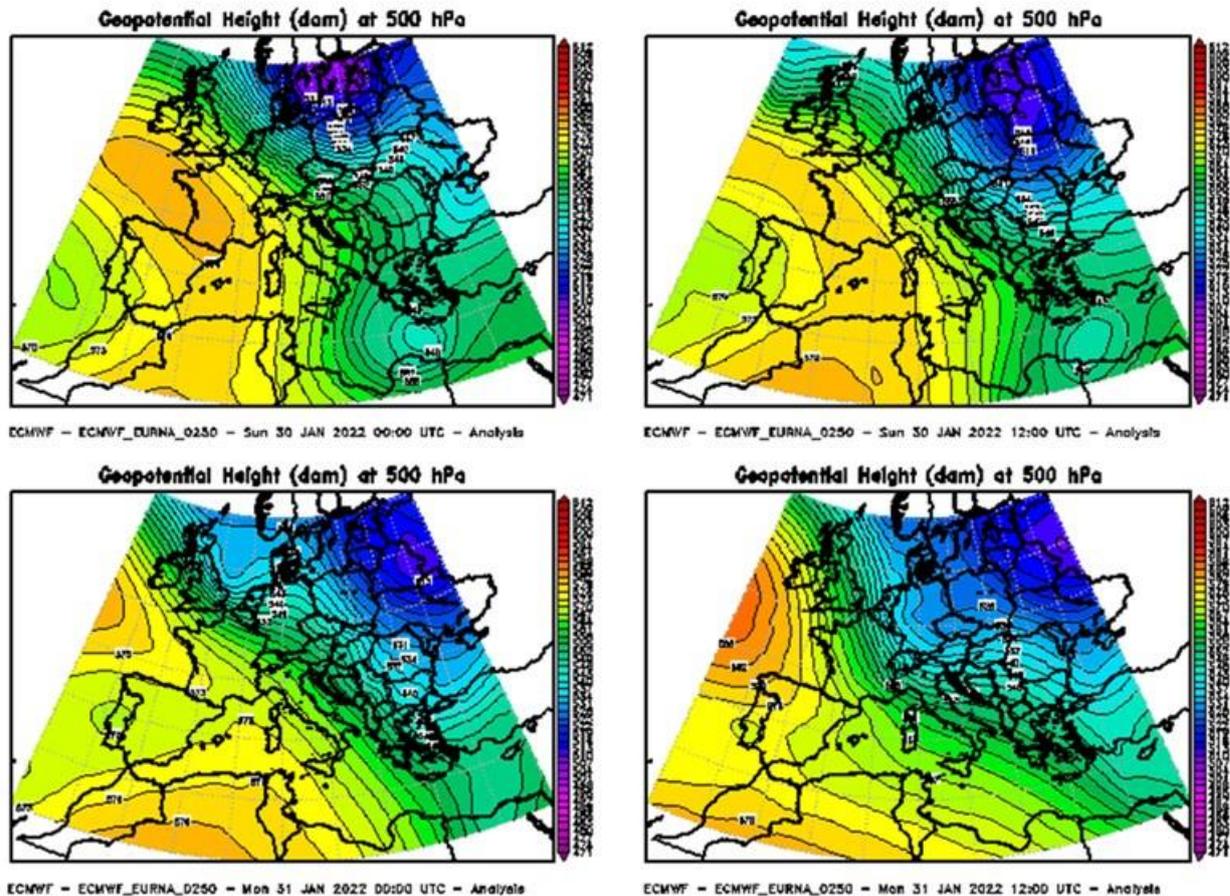


FIGURA 54: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 00 UTC del 30 gennaio 2022 e 12 UTC del 31 gennaio 2022, intervallata ogni 12 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

## Febbraio

In Piemonte febbraio 2022 ha avuto una temperatura media di circa 4.5°C, con un'anomalia termica positiva di 3°C rispetto alla media del periodo 1971-2000, ed è stato il sesto mese di febbraio più caldo nella distribuzione storica degli ultimi 65 anni.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono pari a 10.2 mm medi con un deficit di 46.1 mm (pari all'82%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000; febbraio 2022 si pone all'8° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi considerati a partire dal 1958.

Numerosi anche in questo mese gli episodi di foehn: 17; insieme al 2020 è il mese di febbraio con più eventi di foehn dal 2004.

Nel giorno 7 febbraio 2022 la penisola italiana era interessata da un marcato gradiente barico, causato dalla discesa di una saccatura dall'Europa nordorientale verso il Mar Ionio e dalla contemporanea presenza di un'area di alta pressione con massimo sul Golfo di Biscaglia (FIGURA 55).

In tali condizioni il Piemonte è stato interessato da una forte ventilazione da nord, nordovest con diffuse condizioni di foehn. Le raffiche di vento sono risultate le più intense del mese, con picco massimo a Pietrastretta (TO) alle 10:00 UTC di 32 m/s (115.2 km/h); 6 capoluoghi su 8 hanno registrato la massima intensità mensile del vento.

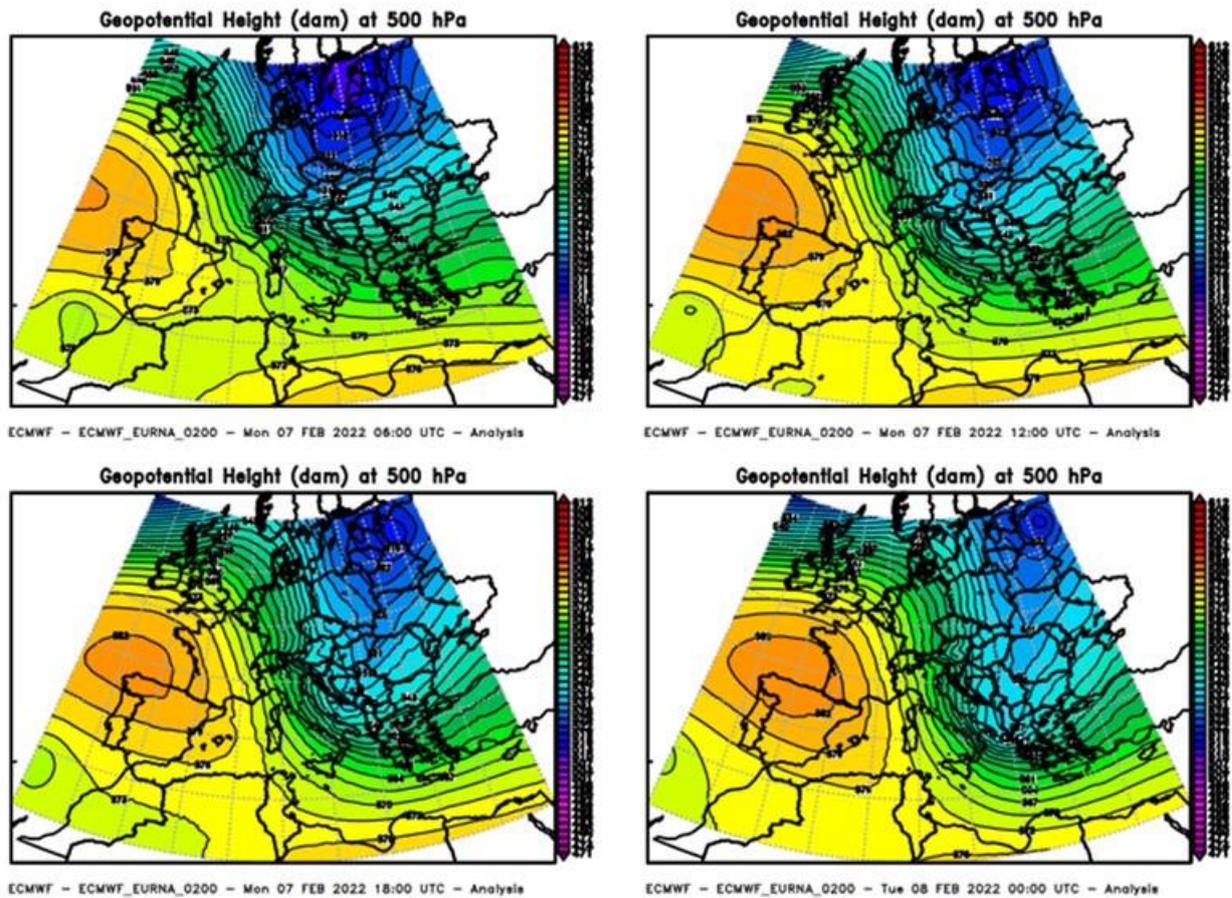


FIGURA 55: evoluzione dell'altezza di geopotenziale a 500 hPa (dam) tra le ore 06 UTC del 7 febbraio 2022 e 00 UTC del'8 febbraio 2022, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

### Marzo

Nel mese di marzo 2022 in Piemonte le precipitazioni sono risultate pari a 19.8 mm medi con un deficit di 60.8 mm (pari al 75%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000; marzo 2022 si pone all'11° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi degli ultimi 65 anni. Nel penultimo giorno del mese è stato interrotto un periodo di siccità che durava da 111 giorni.

Dal punto di vista termometrico marzo 2022 ha avuto una temperatura media di circa 4.6°C, con una lievissima anomalia termica negativa di 0.01°C rispetto alla norma del periodo 1971-2000. Ha interrotto una sequenza di 9 mesi consecutivi più caldi della climatologia. È risultato il 30° mese di marzo più freddo dal 1958.

Per la prima volta nel nuovo millennio non si è verificato nessun evento di foehn.

Con un solo episodio di nebbia mensile è risultato il mese di marzo con il minor numero di fenomeni nebbiosi da quando è attiva la rete dei visibilimetri ARPA (2004).

Nelle ore centrali del 7 marzo 2022 una depressione con minimo localizzato tra il medio Adriatico e la Bosnia-Erzegovina ha interessato il Piemonte con correnti fredde e secche da nordest (FIGURA 56 in alto a sinistra). Tale giorno ha registrato le temperature minime più basse del mese sul territorio piemontese, con una media dei valori minimi pari a -4.1°C.

Nella giornata successiva il minimo depressionario sull'Adriatico si è spostato verso est, unendosi ad una saccatura presente sull'Europa nordorientale (FIGURA 56 in alto a destra e in basso). L'8 marzo 2022 è stato il giorno mediamente più freddo del mese, in quanto ha avuto una copertura nuvolosa più compatta rispetto alla giornata precedente, grazie ad un maggior afflusso di umidità negli strati medio-bassi dell'atmosfera; la temperatura media sul Piemonte è stata pari a -0.3°C.

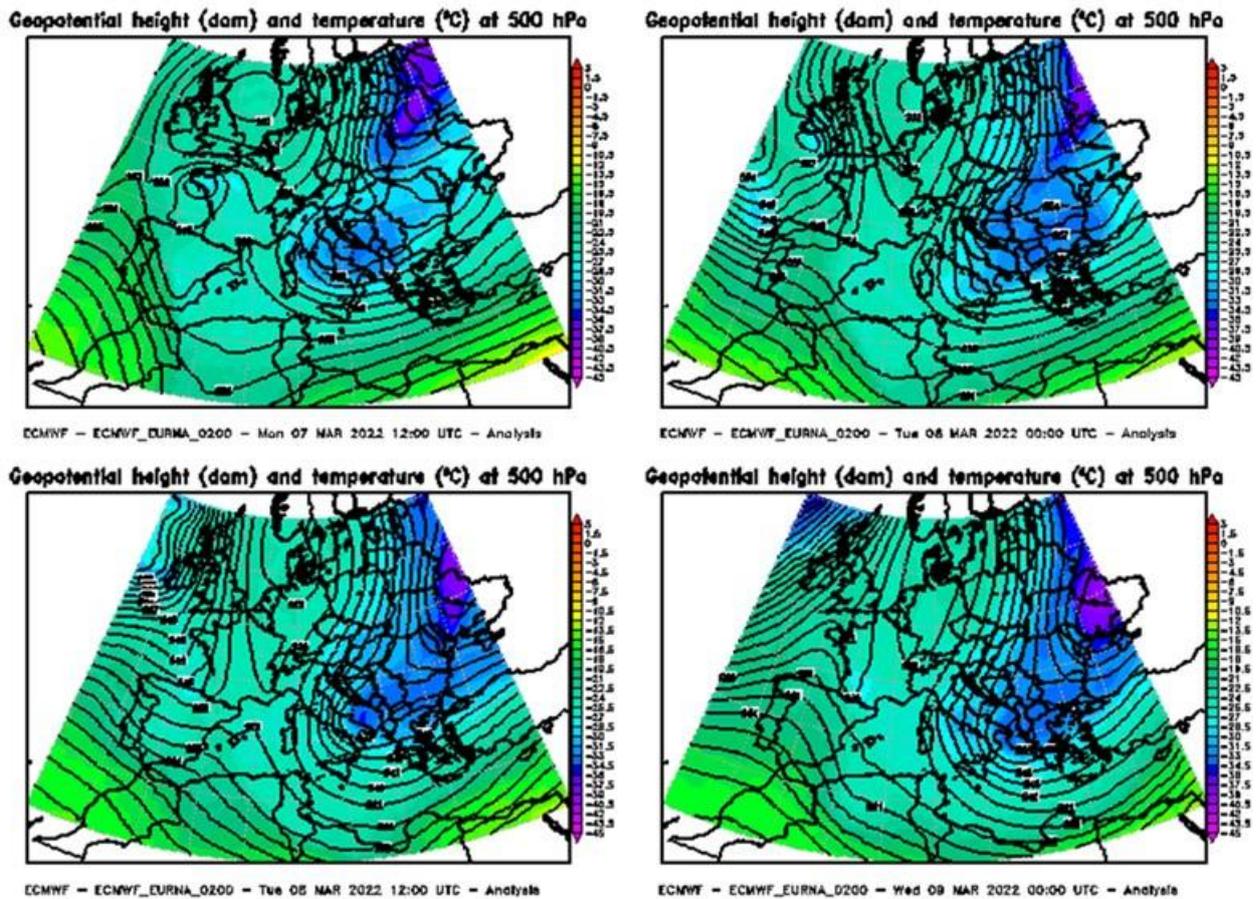


FIGURA 56: evoluzione di temperatura (colori, °C) e altezza di geopotenziale (dam, isolinee) a 500 hPa tra le ore 12 UTC del 7 marzo 2022 e 00 UTC del 9 marzo 2022, intervallate ogni 12 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

Invece sui settori pianeggianti i valori termici minimi più bassi del mese sono stati registrati all'alba del giorno ancora successivo, il 9 marzo, con una media delle temperature minime di  $-3^{\circ}\text{C}$  e picco negativo a Castell'Alfero (AT) con  $-10,5^{\circ}\text{C}$ . Tale valore rappresenta anche il minimo termico assoluto per la pianura piemontese nell'anno 2022.

## Aprile

In Piemonte aprile 2022 ha avuto una temperatura media di circa  $8,5^{\circ}\text{C}$ , con un'anomalia termica positiva di  $1^{\circ}\text{C}$  rispetto alla media del periodo 1971-2000, e si pone così al 21° posto tra i mesi di aprile più caldi degli ultimi 65 anni.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1971-2000, con 58.1 mm medi ed un deficit di 59.5 mm (pari al 51%); aprile 2022 si pone al 14° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi a partire dal 1958.

Nonostante l'anomalia pluviometrica negativa nel corso di tale mese si è verificato il giorno mediamente più piovoso dell'anno 2022.

Nella giornata del 23 aprile 2022 una circolazione depressionaria avente il minimo sulla Spagna è gradualmente avanzata verso est, arrivando sul territorio piemontese in tarda serata (FIGURA 57). Tale struttura di bassa pressione ha causato un deciso peggioramento del tempo sul Piemonte, convogliando flussi umidi da sudovest nella fase di avvicinamento e aria fredda instabile quando il suo nucleo era in prossimità dell'arco alpino.

In Piemonte i fenomeni precipitativi connessi alla circolazione depressionaria hanno interessato inizialmente i settori montani e pedemontani settentrionali e occidentali e nel corso del pomeriggio si sono estesi a tutta la regione e intensificati.

Il 23 aprile 2022 è risultato il giorno più piovoso dell'anno sul territorio piemontese con una media giornaliera di 31.6 mm. La quota neve si è localizzata sui 1500 m sulle Alpi settentrionali e sui 1800 m sugli altri settori alpini regionali.

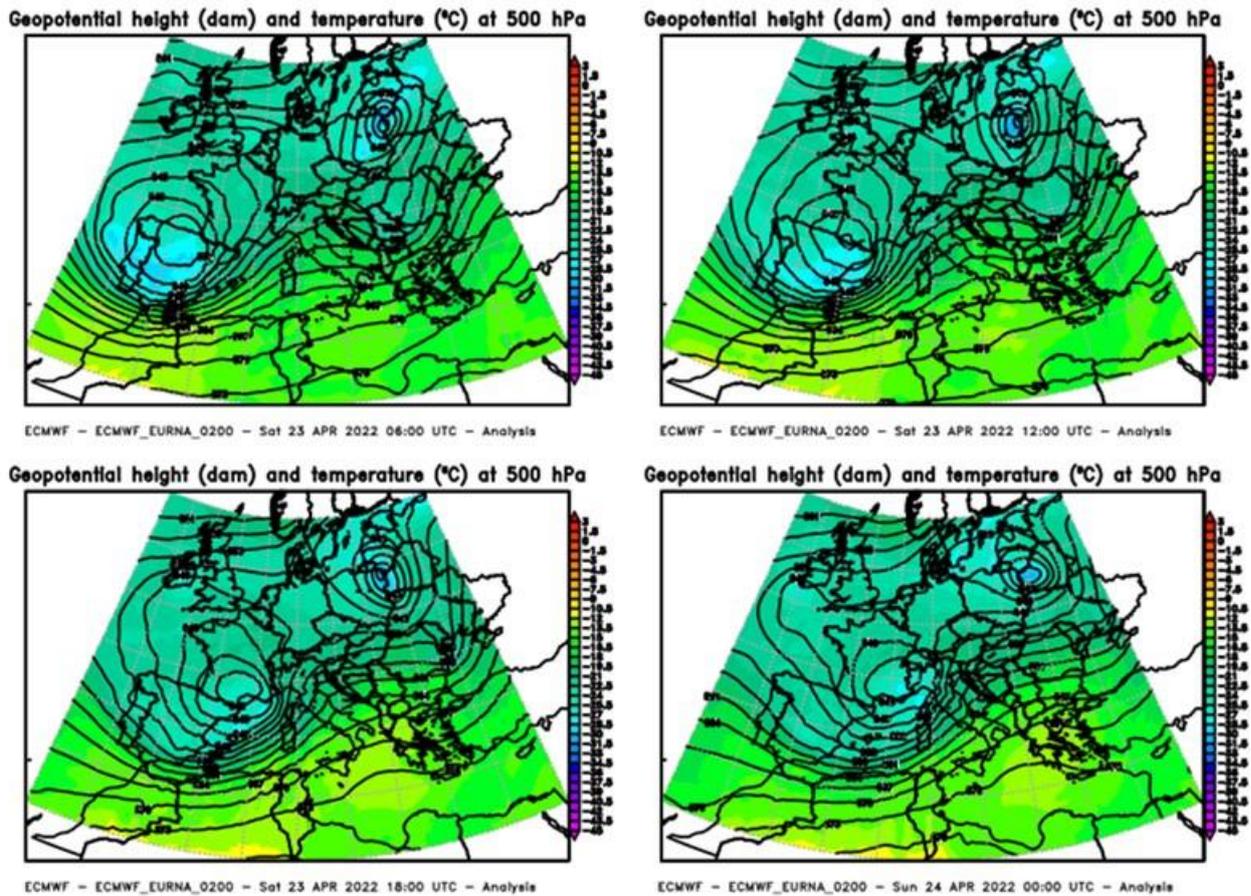


FIGURA 57: evoluzione di temperatura (colori, °C) e altezza di geopotenziale (dam, isolinee) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 23 aprile 2022 e 00 UTC del 24 aprile 2022, intervallate ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

## Maggio

Nel mese di maggio 2022 in Piemonte sono caduti 80.6 mm medi di precipitazione con un deficit di 50.4 mm (pari al 38%) rispetto alla norma climatica degli anni 1971-2000. È risultato il 23° mese di maggio più secco dal 1958 a oggi.

La temperatura media del mese è stata pari a circa 15.2°C, con un'anomalia termica positiva di 3.2°C rispetto alla media del periodo 1971-2000; maggio 2022 si pone al 2° posto tra i mesi di maggio più caldi degli ultimi 65 anni, preceduto da maggio 2009 per soli 0.03°C.

Il giorno più caldo del mese è stato il 21 maggio 2022 quando il Piemonte è stato interessato da un promontorio anticiclonico di matrice africana che ha influenzato la regione anche nella giornata successiva, pur indebolendosi gradualmente (FIGURA 58).

Il 21 maggio 2022 la media delle temperature massime sul Piemonte è stata pari a 25.3°C; in tale giornata e in quella successiva del 22 una ventina di termometri della rete ARPA Piemonte situati in località montane hanno stabilito il record di temperatura massima per il mese di maggio.

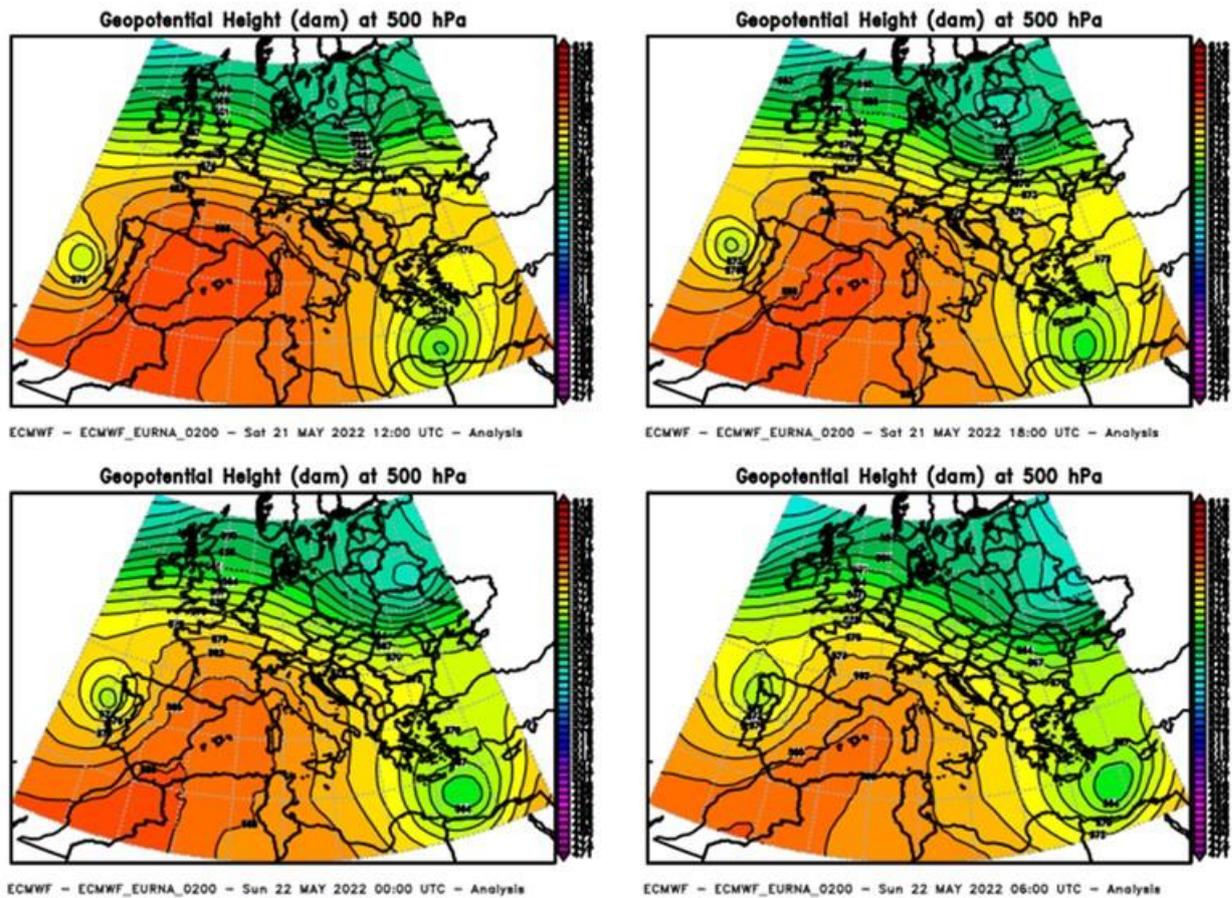


FIGURA 58: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 12 UTC del 21 maggio 2022 e 06 UTC del 22 maggio 2022, intervallate ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

## Giugno

In Piemonte a giugno 2022 le precipitazioni mensili sono state pari a 73.8 mm medi con un deficit di 22.3 mm (pari al 23%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000; giugno 2022 si pone al 24° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi a partire dal 1958.

È stato comunque un mese in cui si sono verificati fenomeni temporaleschi localmente forti.

Analizziamo brevemente l'evento del 3 giugno 2022 quando una circolazione depressionaria avente il minimo sulle coste atlantiche iberiche ha convogliato aria fredda instabile sul Piemonte nella prima parte della giornata (FIGURA 59).

In tali condizioni si sono sviluppati diffusi rovesci e temporali su buona parte del territorio piemontese, più intensi sul settore settentrionale della regione.

In Piemonte giugno 2022 ha avuto una temperatura media di circa 19.5°C, con un'anomalia termica positiva di 3.9°C rispetto alla media del periodo 1971-2000, ed è risultato il secondo mese di giugno più caldo degli ultimi 65 anni, dopo l'eccezionale giugno 2003.

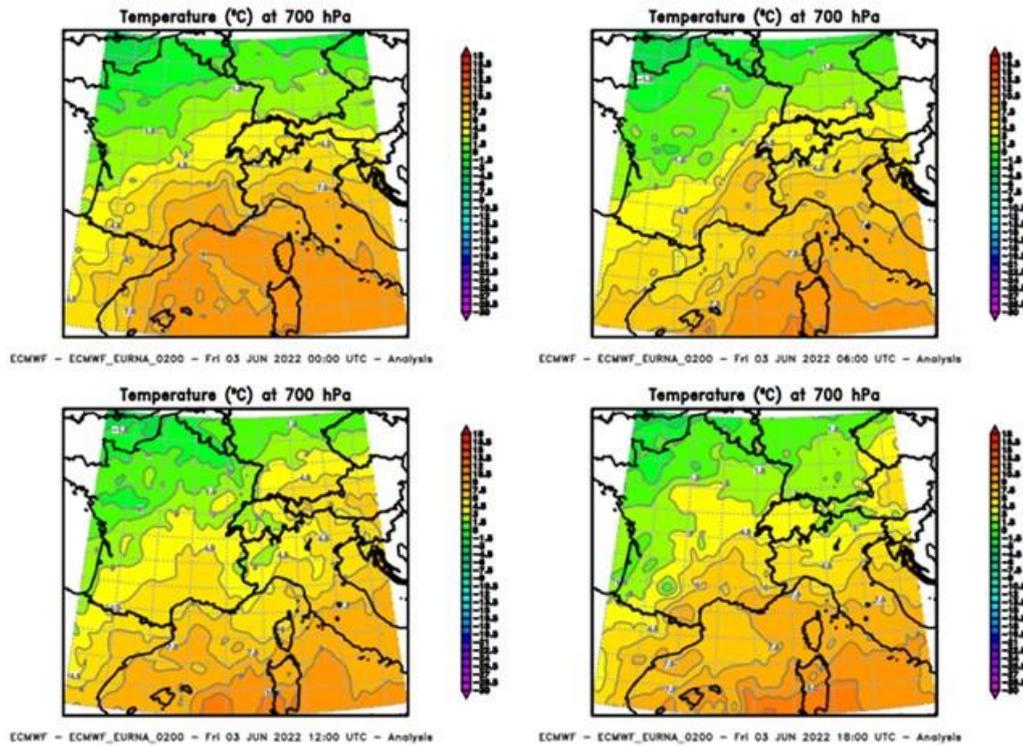


FIGURA 59: evoluzione della temperatura (°C) a 700 hPa tra le ore 00 e 18 UTC del 3 giugno 2022, intervallata ogni 6 ore Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

Il 27 giugno 2022 si è verificato l'unico primato assoluto di temperatura massima con i 23.7°C raggiunti a Passo del Moro (VB), a 2820 m di quota. Anche in tale giornata la struttura barica responsabile dei valori termici elevati è stato un promontorio anticiclonico di origine africana esteso dall'Africa nordoccidentale alla penisola balcanica (FIGURA 60).

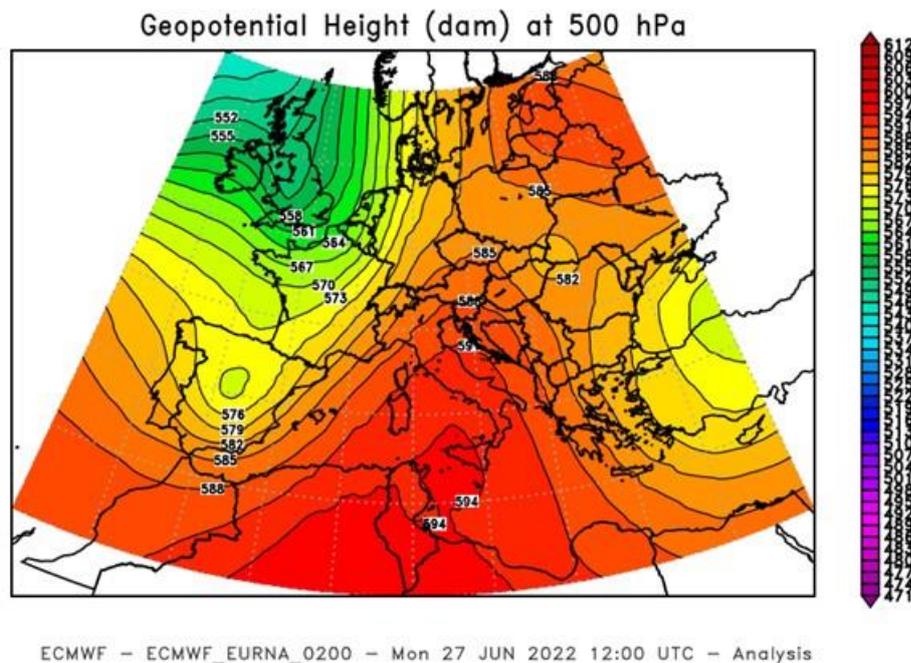


FIGURA 60: altezza di geopotenziale (dam) alle ore 12 UTC del 27 giugno 2022. Elaborazione ARPA Piemonte su dati ECMWF

## Luglio

In Piemonte luglio 2022 ha registrato una temperatura media di circa 22.1°C, con un'anomalia termica positiva di 3.4°C rispetto alla media del periodo 1971-2000, risultando il 2° mese di luglio più caldo dal 1958 dopo il 2015. È anche il terzo mese in assoluto più caldo dopo luglio 2015 e agosto 2003.

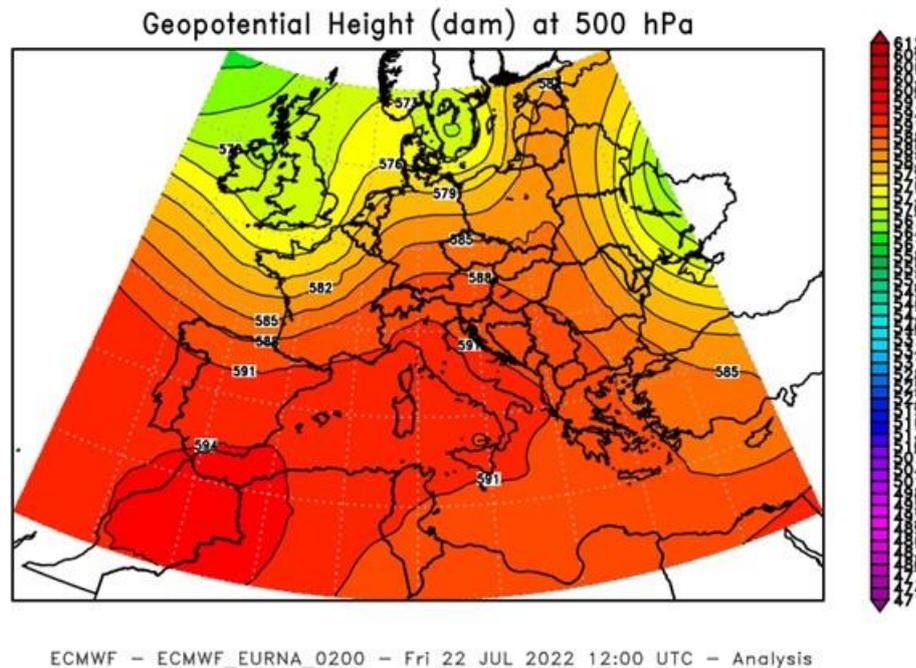


FIGURA 61: altezza di geopotenziale (dam) tra le ore 12 del 22 luglio 2022. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

Nel giorno 22 luglio 2022 il Piemonte è stato ancora interessato da un promontorio anticiclonico di matrice africana, stavolta con asse orientato più longitudinalmente (FIGURA 61) e per buona parte della giornata il cielo si è mantenuto soleggiato. È stato il giorno mediamente più caldo dell'anno, con una media delle temperature massime in pianura pari a 35°C.

Sul territorio piemontese luglio 2022 ha avuto una precipitazione media di 37.4 mm, con un'anomalia negativa di 23.4 mm (pari al 38%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000, ed è risultato il decimo mese di luglio meno piovoso degli ultimi 65 anni.

Tuttavia, in tale mese si è verificato il temporale più intenso dell'anno.

Un'onda depressionaria, ancora di matrice atlantica, è transitata sul Piemonte tra il tardo pomeriggio del 26 luglio 2022 e le ore prima dell'alba del 27 luglio 2022 (FIGURA 62), erodendo l'area anticiclonica presente sul Mediterraneo.

In questo evento c'è stato un afflusso di aria fredda instabile in quota, unito a una flessione del geopotenziale, in un'atmosfera calda e umida a causa della persistenza dell'anticiclone africano a partire dalla metà di luglio, con elevati valori degli indici di instabilità atmosferica. Ma, almeno a prima vista, non è sembrata una struttura depressionaria particolarmente definita e incisiva.

I picchi pluviometrici sono stati tuttavia elevati, a causa della formazione di un minimo di pressione al livello del mare sul Mar Ligure, che ha indotto una circolazione più orientale nei bassi strati.

Nella FIGURA 63 a sinistra si nota come alle 18 UTC del 26 luglio 2022 sul Piemonte nordorientale era presente una convergenza tra il vento da sud proveniente dal Mar Ligure e le correnti da est-nord est presenti in Val Padana. Le prime celle temporalesche si sono sviluppate proprio sul settore nordorientale al confine con la Lombardia e sono traslate successivamente verso ovest-sudovest a causa del vento nord-orientale presente alle 00 UTC del 27 luglio 2022 (FIGURA 63 al centro). Infine, con un flusso ancora più settentrionale, i picchi pluviometrici si sono concentrati sul Cuneese nella notte tra il 26 e il 27 (FIGURA 63 a destra).

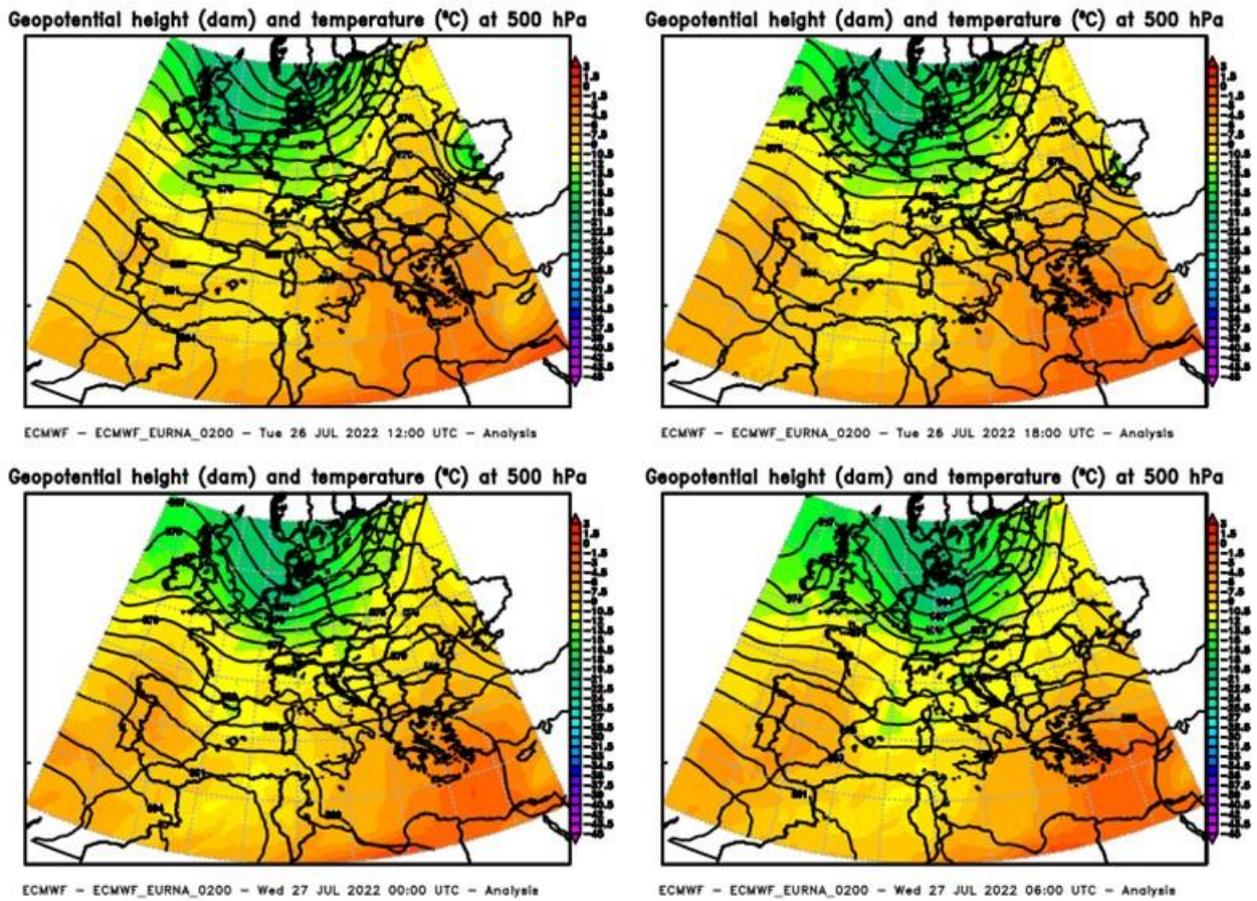


FIGURA 62: evoluzione di altezza di geopotenziale (dam, isolinee) e temperatura (°C, colori) a 500 hPa tra le ore 12 del 26 luglio 2022 e 06 UTC del 27 luglio 2022, intervallate ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

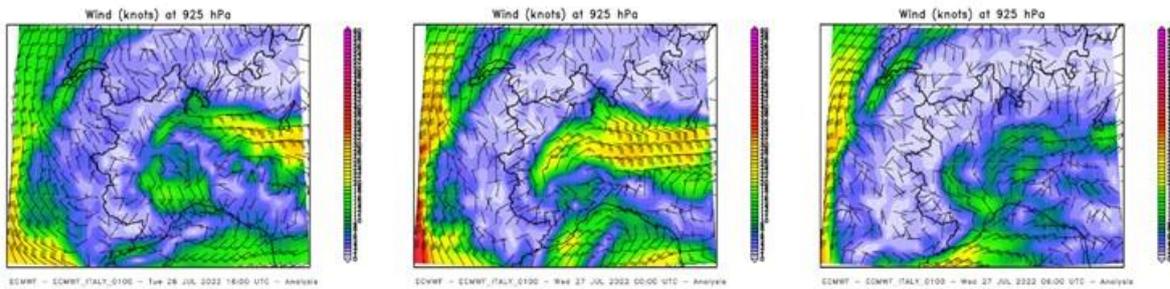


FIGURA 63: vento a 925 hPa (nodi) alle ore 18 UTC del 26 luglio 2022 (a sinistra), 00 UTC del 27 luglio 2022 (al centro) e 06 UTC del 27 luglio 2022 (a destra). Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

Complessivamente in una decina di stazioni pluviometriche della rete Arpa Piemonte sono caduti più di 50 mm/3h, in prevalenza nel Cuneese, a causa della risalita orografica delle masse d'aria sui rilievi, ma anche su Verbano, Novarese e Valli di Lanzo.

## Agosto

Sul territorio piemontese agosto 2022 ha registrato una temperatura media di circa 20.4°C, con un'anomalia termica positiva di 2.2°C rispetto alla media del periodo 1971-2000, risultando il 5° mese di agosto più caldo dal 1958.

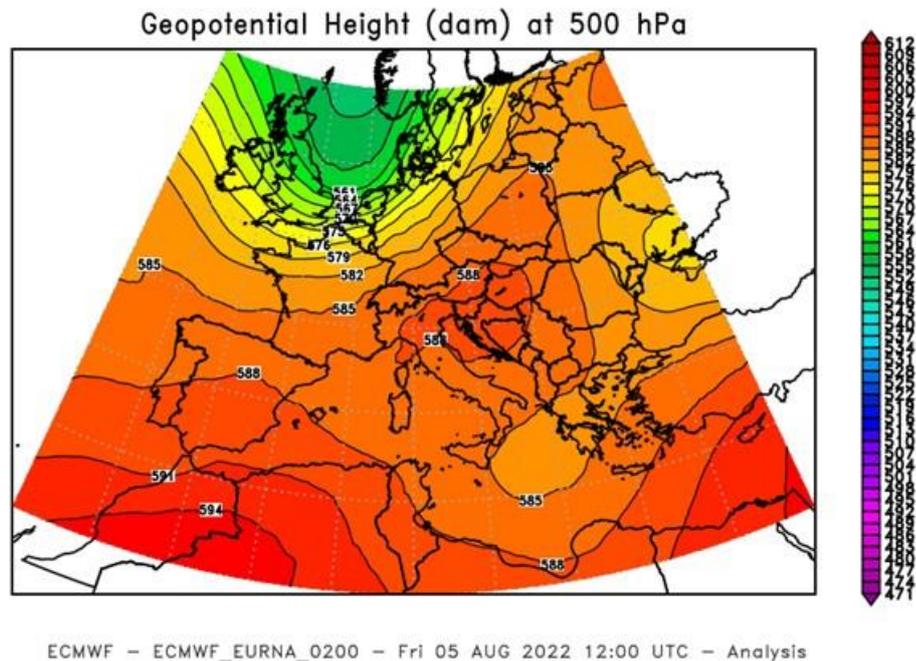


FIGURA 64: altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa alle ore 12 UTC del 5 agosto 2022. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

Il giorno 5 agosto 2022 sullo scenario meteorologico europeo si evidenziava un'area di alta pressione di origine africana, con massimi barici tra Italia nordorientale, Balcani settentrionali, Austria e Ungheria (FIGURA 64). Tale giornata ha registrato il picco termico annuale di 39.8°C a Basaluzzo (AL). Inoltre agosto 2022 ha avuto una precipitazione media di 81.5 mm, con una lieve anomalia negativa di 1.5 mm (pari al 2%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000 ed è risultato il 36° mese di agosto meno piovoso degli ultimi 65 anni.

Nella generale carenza pluviometrica dell'anno 2022, agosto 2022 è stato comunque il mese più piovoso dell'annata.

### Settembre

In Piemonte settembre 2022 ha avuto una temperatura media di circa 15.2°C, con un'anomalia termica positiva di 0.8°C rispetto alla norma climatica del periodo 1971-2000, risultando il 27° mese di settembre più caldo degli ultimi 65 anni.

È stato eguagliato il primato del 2001 con 10 episodi mensili di foehn.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state pari a 54 mm medi con un deficit di 45.4 mm (pari al 46%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000; settembre 2022 si pone al 23° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi considerati a partire dal 1958.

Negli ultimi due giorni del mese sono stati rilevati i picchi pluviometrici annuali sugli intervalli di 12 e 24 ore.

Nel giorno 29 settembre 2022 il Piemonte si è trovato sotto l'influenza di una vasta area depressionaria con valori minimi sull'Europa settentrionale che ha convogliato flussi umidi da sudovest sul territorio piemontese (FIGURA 65 in alto).

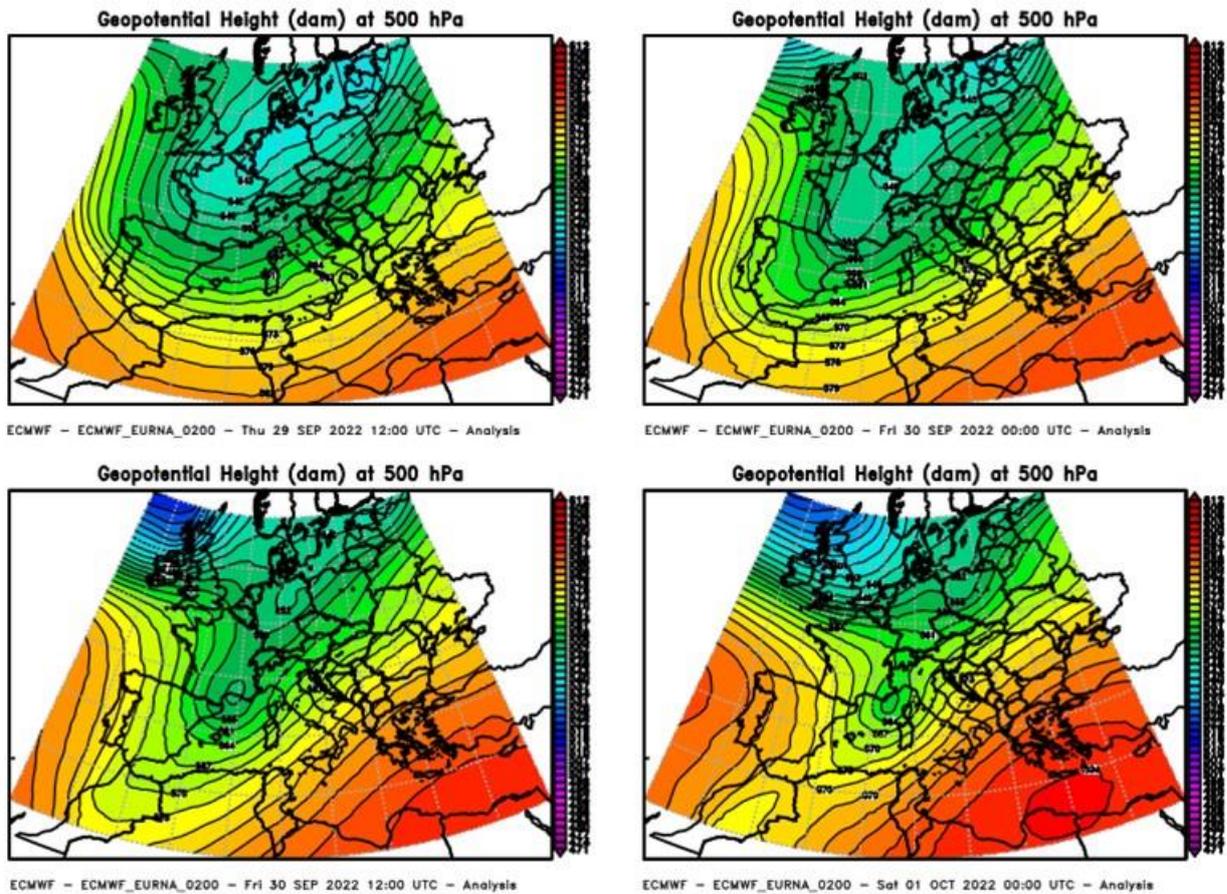


FIGURA 65: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 12 UTC del 29 settembre 2022 e 00 UTC del 1° ottobre 2022, intervallata ogni 12 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

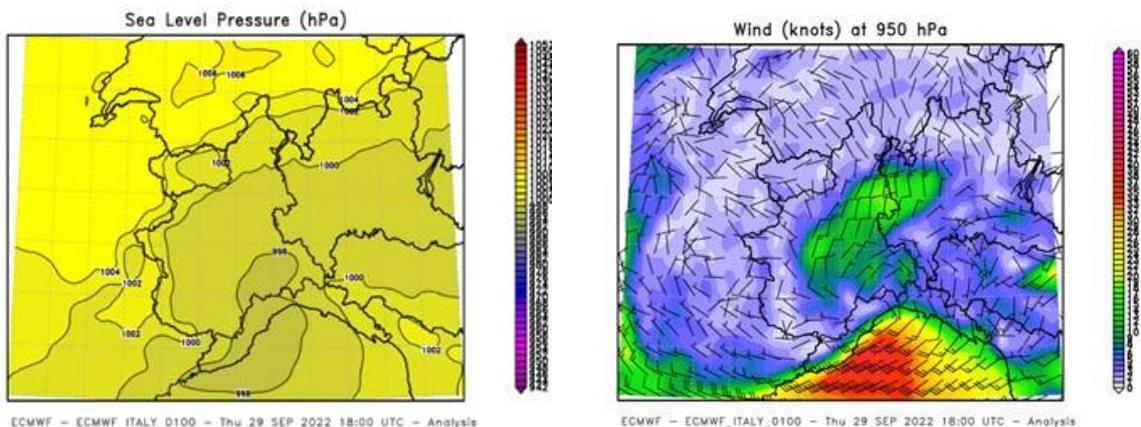


FIGURA 66: pressione al livello del mare (a sinistra) e vento a 950 hPa (a destra) alle ore 18 UTC del 29 settembre 2022. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

Nella tarda serata si sono sviluppati temporali molto forti sull'Appennino ligure-piemontese al confine con la Liguria; analizzando la situazione a scala macro-regionale e nei bassi strati notiamo due fattori che hanno agevolato la marcata instabilità su tale settore: la presenza di un minimo al livello del mare tra il golfo ligure e i rilievi appenninici (FIGURA 66 a sinistra) e la convergenza tra il vento da sud proveniente dal mar ligure e la circolazione da nord, nordest presente sulla pianura piemontese (FIGURA 66 a destra).

Nella giornata successiva del 30 settembre 2022 si è strutturato un minimo barico secondario in quota sul golfo del Leone che in nottata si è portato in prossimità del confine tra Liguria e Francia. In tale giorno i fenomeni precipitativi si sono estesi a tutto il territorio piemontese. Sul settore appenninico le

precipitazioni hanno avuto un'intensità rilevante fino alle ore prima dell'alba; a Fraconalto (AL) sono stati raggiunti i picchi annuali più elevati su 12 e 24 ore con 151 mm/12h e 159.6 mm/24h.

## Ottobre

Ottobre 2022 ha avuto una precipitazione media di 63 mm, con un deficit pluviometrico di 70 mm (pari al 53%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000, e si pone al 20° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi degli ultimi 65 anni.

La temperatura media mensile è stata pari a circa 13.9°C, con una marcata anomalia termica positiva di 4.3°C rispetto alla norma climatica del periodo 1971-2000, ed è risultato il più caldo dell'intera serie storica, distanziando di circa 1°C ottobre 2001 che si trova in seconda posizione.

È stato anche il mese dell'anno 2022 con il maggiore scostamento positivo rispetto alla climatologia.

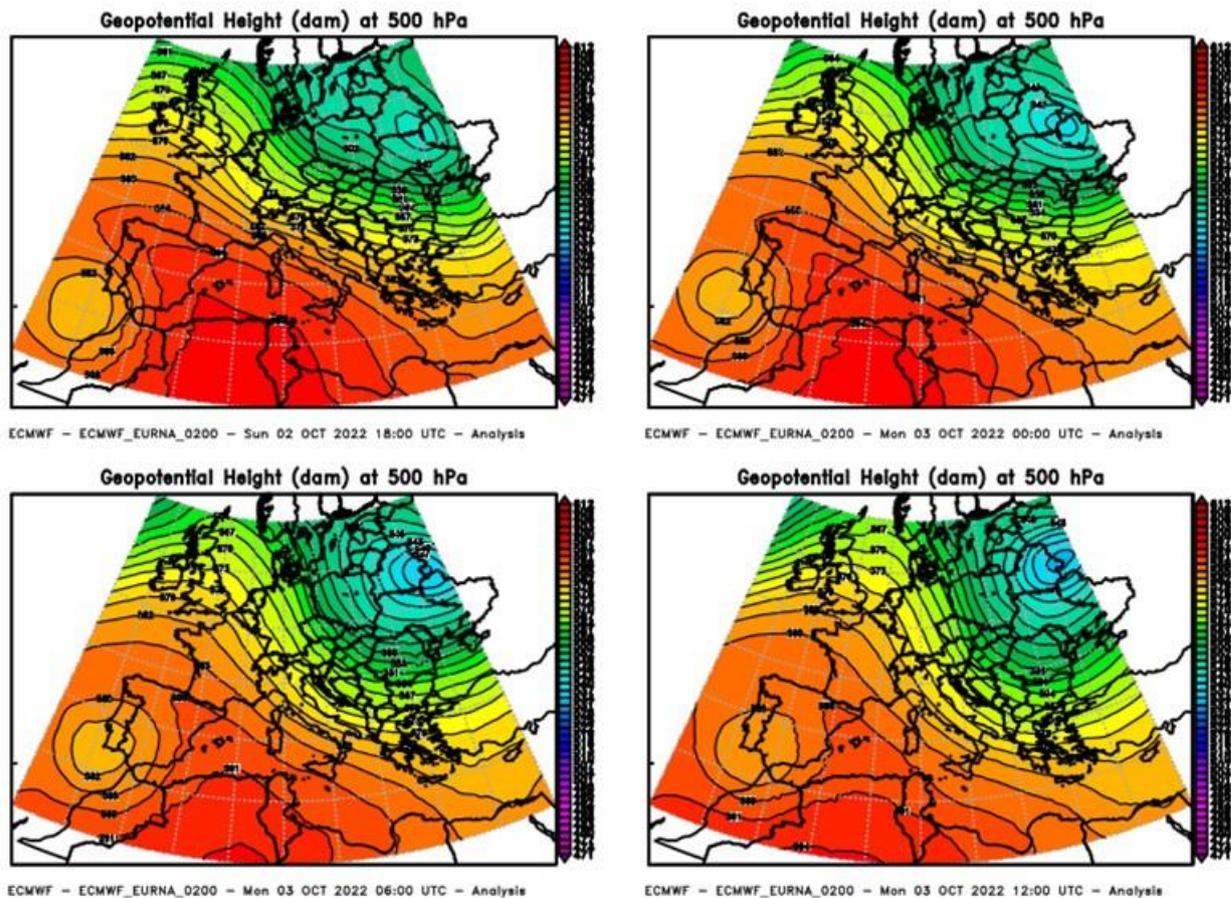


FIGURA 67: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 18 UTC del 2 ottobre 2022 e 12 UTC del 3 ottobre 2022, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMW

Tra la serata del 2 e la mattinata del 3 ottobre 2022 il Piemonte si è trovato al confine tra l'area di influenza di una vasta depressione con minimo tra la Bielorussia e l'Ucraina e un promontorio anticiclonico di matrice africana con asse esteso dall'Algeria verso la Spagna.

In tale configurazione barica il territorio piemontese è stato interessato da correnti nordoccidentali con tempo prevalentemente soleggiato, ad eccezione di foschie e nebbie in pianura nelle ore più fredde. È risultato il giorno con le temperature massime più elevate del mese, con una media di 25.2°C sui settori pianeggianti e picco termico mensile di 27.8°C a Sezzadio (AL), raggiunto già il giorno precedente a Pietrastretta (TO).

## Novembre

In Piemonte novembre 2022 ha registrato una temperatura media di circa 6.4°C, con un'anomalia termica positiva di 2.2°C rispetto alla norma climatica del periodo 1971-2000, risultando il 7° mese di novembre più caldo dal 1958.

Inoltre novembre 2022 ha avuto una precipitazione media di 51 mm, con un deficit pluviometrico di 27.6 mm (pari al 35%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000, e si pone al 20° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi degli ultimi 65 anni.

In tale mese non si sono verificati eventi rilevanti ai fini di un'analisi dell'anno 2022.

## Dicembre

In Piemonte dicembre 2022 ha registrato una temperatura media di 2.2°C, valore superiore di 0.9°C rispetto alla norma climatica del periodo 1971-2000, risultando il 19° mese di dicembre più caldo degli ultimi 65 anni. È stato comunque il mese più freddo dell'anno solare 2022 mentre il 12 dicembre ha registrato le temperature mediamente più basse dell'annata.

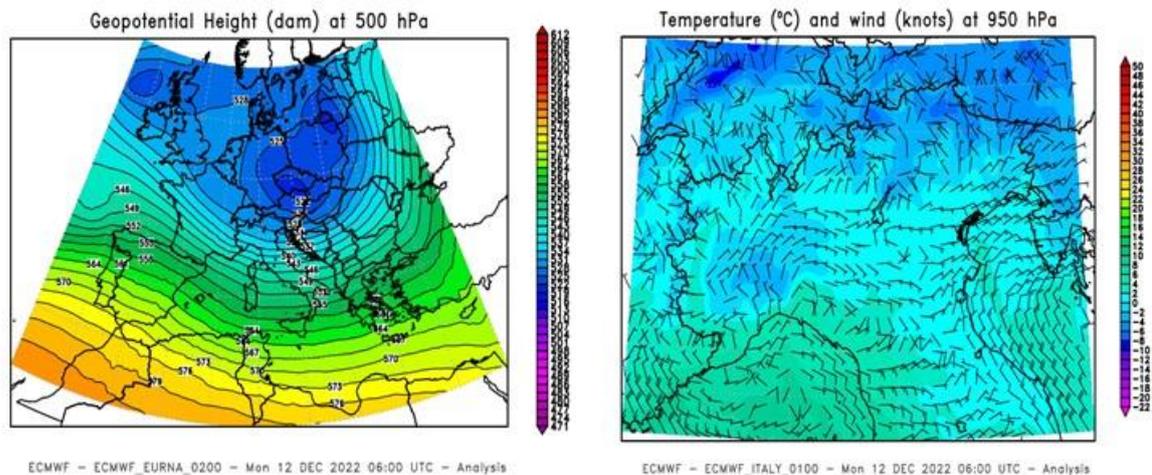


FIGURA 68: altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa (immagine a sinistra), temperatura (°C) e vento (nodi) a 950 hPa (immagine a destra) alle ore 06 UTC del 12 dicembre 2022. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

Alle ore 6 UTC del 12 dicembre 2022 lo scenario meteorologico europeo vedeva una circolazione depressionaria di origine polare con minimo in quota tra l'Austria e la Repubblica Ceca (FIGURA 68 a sinistra), mentre nei bassi strati atmosferici in valle Padana era presente una circolazione da est, nordest (FIGURA 68 a destra).

In tale configurazione barica nella mattinata del 12 dicembre 2022 in Piemonte il cielo si è mantenuto in prevalenza sereno in montagna mentre in pianura erano presenti nebbie diffuse e persistenti. Tale giornata è risultata la più fredda dell'anno 2022 sul territorio piemontese, con una media di -3.8°C delle temperature minime sulla pianura piemontese e di -6.1°C su tutto il Piemonte considerato nella sua globalità. In questo giorno è risultata sottozero anche la temperatura media sui settori pianeggianti con -1.8°C.

Dicembre 2022 ha avuto una precipitazione media di 79 mm, con un surplus pluviometrico di 24.7 mm (pari a +45%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000, e si pone al 17° posto tra i corrispondenti mesi più ricchi di precipitazione degli ultimi 65 anni.

Intorno alla metà del mese si è verificato un evento di neve in pianura.

Il 15 dicembre 2022 una saccatura atlantica avente l'asse sull'Europa occidentale ha convogliato flussi di aria umida da sudovest in quota sul territorio piemontese (FIGURA 69), determinando condizioni di cielo molto nuvoloso o coperto per buona parte della giornata.

I fenomeni precipitativi connessi a tale struttura depressionaria sono iniziati in mattinata sul Piemonte meridionale, si sono estesi a tutta la regione nel pomeriggio e sono gradualmente esauriti in tarda serata a partire dal settore sudoccidentale.

Le precipitazioni hanno avuto carattere nevoso su gran parte della pianura piemontese, grazie alla presenza di aria fredda nei bassi strati atmosferici (FIGURA 70), risultata più marcata nel pomeriggio quando il vento da nordest ha avuto una maggiore intensità.

I nivometri gestiti da Arpa Piemonte hanno rilevato accumuli di neve fresca pari a 12 cm a Torino, 11 cm ad Asti e ben 27 cm a Cuneo. Sul capoluogo piemontese occorre tornare indietro fino al 29 gennaio 2012 per rilevare una nevicata giornaliera con una simile intensità.

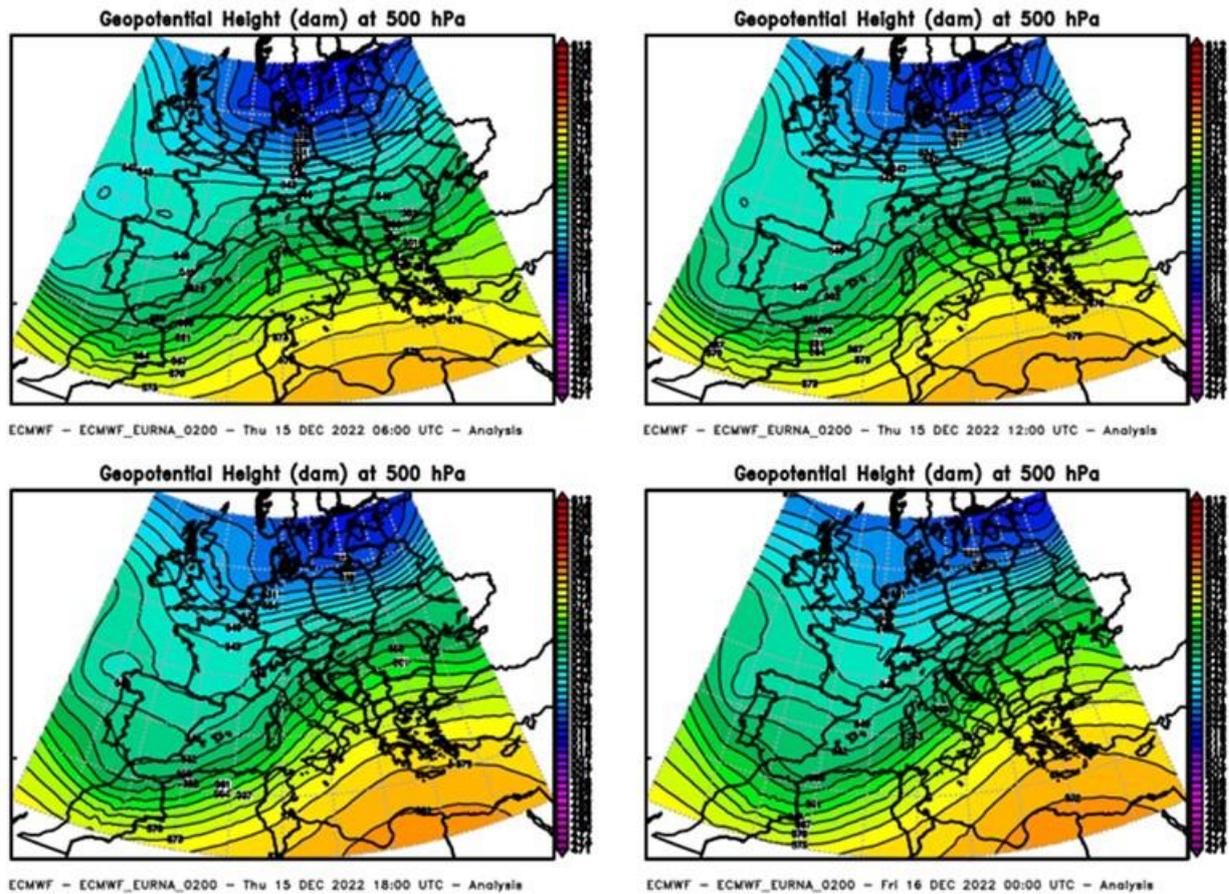


FIGURA 69: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 15 dicembre 2022 e 00 UTC del 16 dicembre 2022, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

Sui settori alpini della regione i quantitativi maggiori sono stati segnalati sui rilievi meridionali e in alta Val Susa: a 2000 m di quota sono stati registrati 25-30 cm dalla val Po al monregalese. Punte di 40 cm sono state registrate a Bardonecchia (TO) e ad Artesina (CN).

Nel primo pomeriggio si sono verificati fenomeni di pioggia ghiacciata sull'Appennino alessandrino, mentre le precipitazioni hanno avuto solo carattere piovoso sull'estrema pianura orientale, lungo una linea immaginaria che andava da Novara a nord a Novi Ligure (AL) a sud.

Nei 5 giorni successivi la media delle temperature minime in pianura è risultata inferiore a 0°C, mentre i valori medi hanno oscillato tra 1°C e 2°C. Grazie a tali temperature il manto nevoso sulle località pianeggianti è perdurato fino all'inizio dell'inverno astronomico.

Inoltre in questo mese di dicembre 2022 in Piemonte si sono verificati 28 giorni di nebbia ordinaria (visibilità inferiore ad 1 km), secondo valore mensile più elevato dopo i 30 episodi giornalieri del 2015.

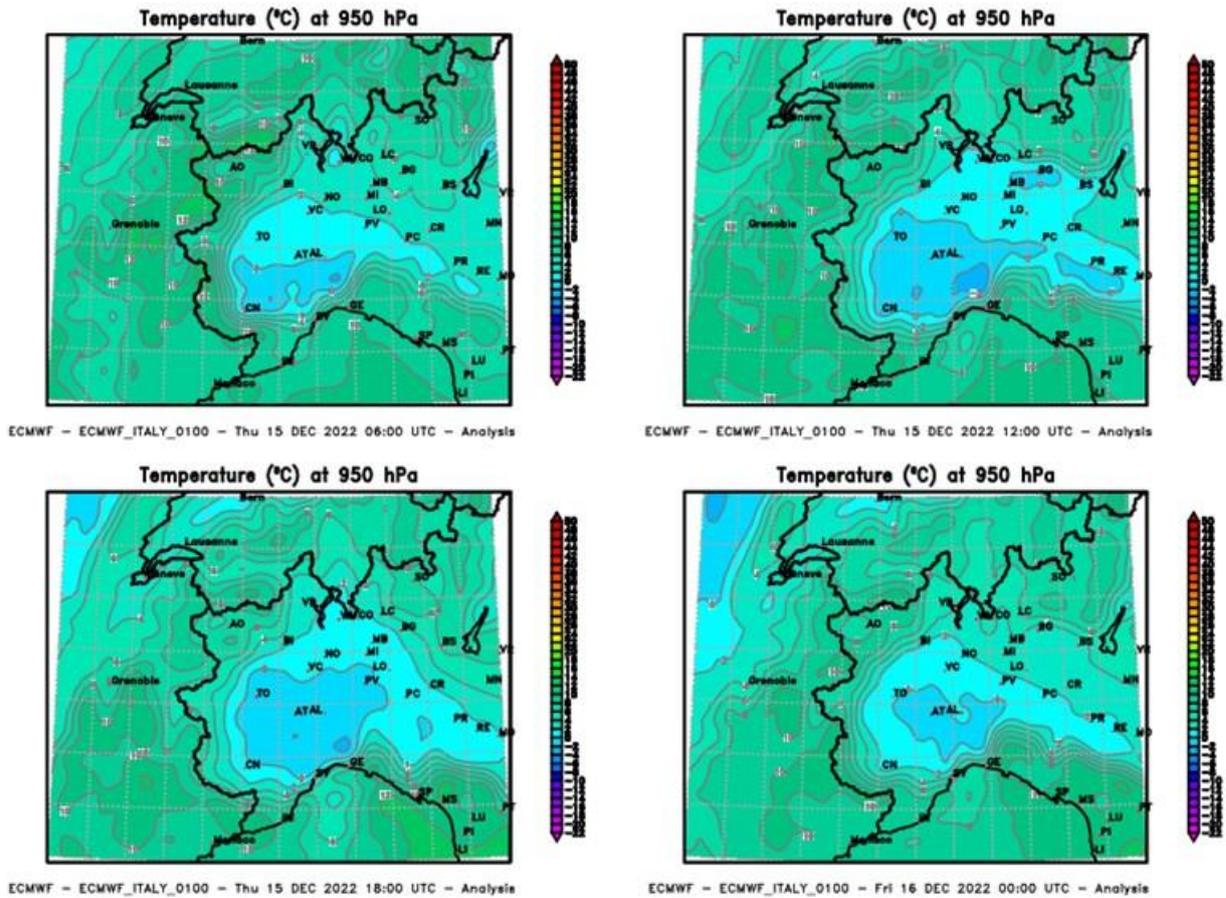


FIGURA 70: evoluzione della temperatura (°C) a 950 hPa tra le ore 06 UTC del 15 dicembre 2022 e 00 UTC del 16 dicembre 2022, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF

### I DATI METEO MISURATI NEL 2022

Al termine della caratterizzazione meteorologica, si è ritenuto interessante effettuare l'analisi dei dati meteorologici misurati dalle stazioni a terra nell'anno 2022, limitata all'andamento delle variabili meteorologiche maggiormente significative in rapporto al decennio precedente 2012-2021.

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 2022 per la stazione Torino-Giardini Reali risulta pari a 15.1 °C, quindi 1.2 °C gradi superiore rispetto all'ultimo decennio (13.9 °C).

L'andamento delle temperature medie mensili è stato confrontato con l'andamento medio del decennio 2012-2021 (FIGURA 71). Si segnalano valori significativi di temperatura superiori alla media climatologica nei mesi di luglio e ottobre (+3.2°C), maggio (+3.0°C) e giugno (+2.8°C). Le differenze negative rispetto alle relative medie del decennio precedente si riscontrano soltanto nei mesi di gennaio (-0.5°C) e marzo (-1.0°C) mentre dicembre è risultato perfettamente nella media.

Il valore più basso delle temperature medie mensili è stato registrato nel mese di gennaio sia nel 2022 (3.1°C), sia nel decennio di riferimento (3.2 °C). Il valore massimo è stato registrato nel mese di luglio: nel del 2022 è pari a 28°C, mentre nel decennio climatologico 2012-2021 è di 24.7°C.

Dal confronto grafico fra l'andamento dei dati orari acquisiti nel corso del 2022 e l'intervallo di valori medi studiato a partire dai minimi e dai massimi assoluti registrati mensilmente nel decennio precedente (FIGURA 72), si osserva che da gennaio ad aprile, nell'ultima decade di settembre e novembre, nel mese di dicembre si registrano picchi di temperature minime inferiori ai valori medi dei minimi assoluti registrati mensilmente nel decennio di riferimento (linea blu). Per quanto riguarda i superamenti dei massimi assoluti si notano valori di temperatura al di sopra della media dei valori massimi assoluti (oltre la linea rossa dell'andamento dei massimi assoluti registrati mensilmente nel

decennio 2012-2021) il 23 febbraio, il 15 aprile, nel mese di maggio, a metà giugno, a luglio, ad agosto, il 16 settembre e il 3 ottobre.

Per quanto riguarda le precipitazioni atmosferiche, l'analisi dei dati statistici evidenzia per l'anno 2022 (FIGURA 73) un totale di precipitazioni di 336 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 51. Quindi il 2022 risulta meno piovoso rispetto alla media 2012-2021, sia in termini di precipitazioni totali (336 mm contro 992 mm di media), sia per il numero di giorni piovosi che nel 2022 è pari a 51 giorni contro 81 giorni di media, risultando l'anno meno piovoso dell'ultimo decennio.

Utilizzando come parametro di confronto l'intensità delle precipitazioni atmosferiche, calcolata come il rapporto fra la quantità totale di pioggia ed il numero di giorni piovosi, si osserva che i valori più alti sono stati registrati nel 2016 (14.1 mm pioggia/giorno), nel 2015 e nel 2014 (13.5 mm pioggia/giorno) e mentre il valore più basso è stato registrato proprio nel 2022 (6.6 mm pioggia/giorno). Nel 2022 l'intensità giornaliera media è risultata inferiore a quella del decennio (6.6 mm pioggia/giorno contro una media di 12.2 mm pioggia/giorno).

L'analisi della distribuzione annuale delle precipitazioni nell'ambito dei vari mesi può inoltre essere utilizzata per definire il *regime pluviometrico* di un'area geografica. Nello studio climatologico della Regione Piemonte<sup>23</sup>, l'andamento di tale distribuzione per il Piemonte risulta bimodale con i massimi localizzati in primavera ed in autunno. In base alla collocazione nell'anno del minimo principale, del massimo principale e del massimo secondario, si possono distinguere nella nostra regione cinque tipi di regime pluviometrico, dei quali quattro di tipo "continentale" (minimo principale in inverno) ed uno di tipo "mediterraneo" (minimo principale in estate):

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

Sempre secondo tale studio, il regime pluviometrico prealpino è il più diffuso in Piemonte, anche se quello attribuito all'area del capoluogo torinese risulta continentale alpino (Mennella, 1967; Biancotti, 1996)<sup>24</sup>.

Nel grafico illustrato in FIGURA 74 è riportato il confronto tra l'andamento delle precipitazioni totali mensili per il 2022 e le precipitazioni medie mensili (media delle sommatorie mensili) del decennio 2012-2021. Il decennio di riferimento rientra nel regime pluviometrico "subcontinentale" con il massimo principale a novembre (126.8 mm), il massimo secondario a luglio (117.5 mm) e il minimo principale a gennaio (42 mm). Il profilo del 2022 invece si discosta dal regime pluviometrico "subcontinentale" in quanto il massimo principale si registra a maggio (55.2 mm) e non in autunno, il massimo secondario in inverno a dicembre (50 mm) e non in estate.

Un'ulteriore elaborazione è stata effettuata aggregando gli stessi dati di precipitazione su base trimestrale. Nella FIGURA 75 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 le precipitazioni sono inferiori alla media climatologica in tutti e quattro i trimestri, soprattutto nel primo (-90.1%) e nel secondo (-74.7%) trimestre.

Va comunque sottolineato che le osservazioni sopra riportate sulle caratteristiche di piovosità relative all'anno 2022 devono essere valutate alla luce delle seguenti considerazioni:

- l'arco temporale (decennio 2012-2021) utilizzato per il confronto risulta comunque ridotto;
- la rappresentatività spaziale è limitata all'area metropolitana.

<sup>23</sup> "Precipitazioni e temperature" - Collana studi climatologici in Piemonte - Regione Piemonte: Direzione dei Servizi Tecnici di Prevenzione - Settore Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio; Università degli Studi di Torino: Dipartimento di Scienze della Terra.

<sup>24</sup> Mennella C. (1967) - Il clima d'Italia. Vol. I, ed. E.D.A.R.T., Napoli, 1, pp. 157-178.

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

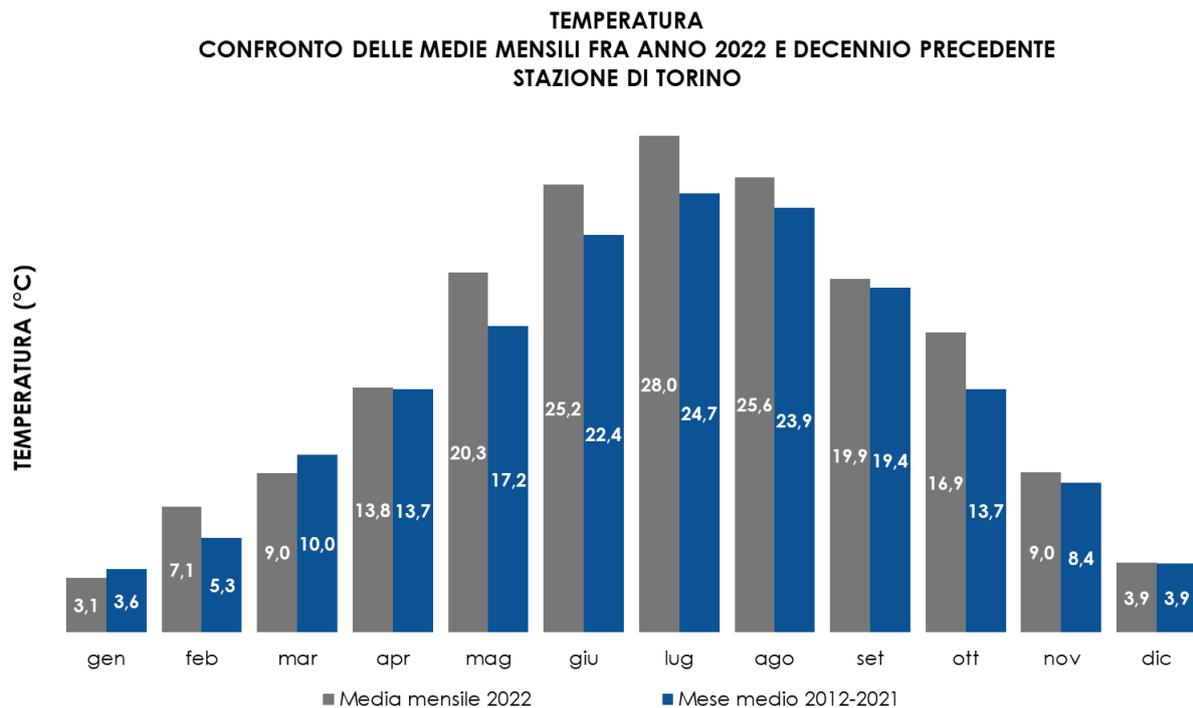


FIGURA 71: temperatura: valori medi mensili per l'anno 2022 e per il decennio 2012÷2021 per la stazione di Torino.

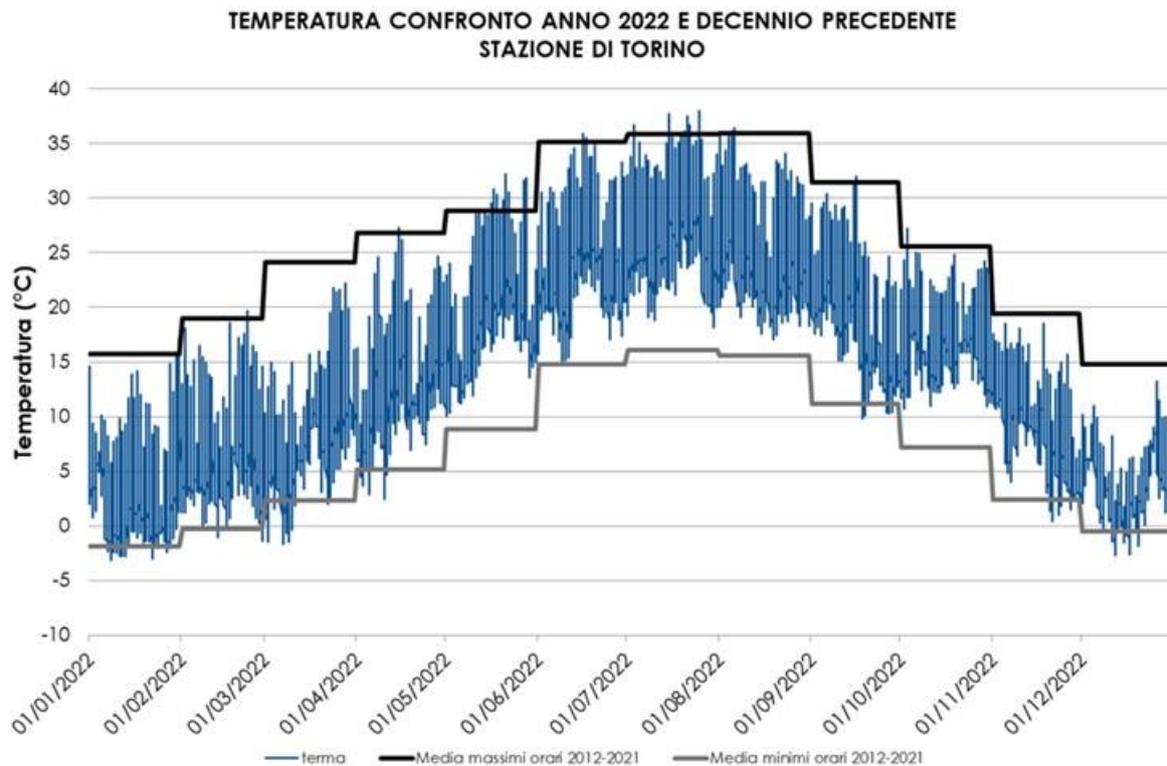


FIGURA 72: temperatura: valori orari per l'anno 2022 e medie dei minimi e dei massimi assoluti registrati nel decennio 2012÷2021 presso la stazione di Torino.

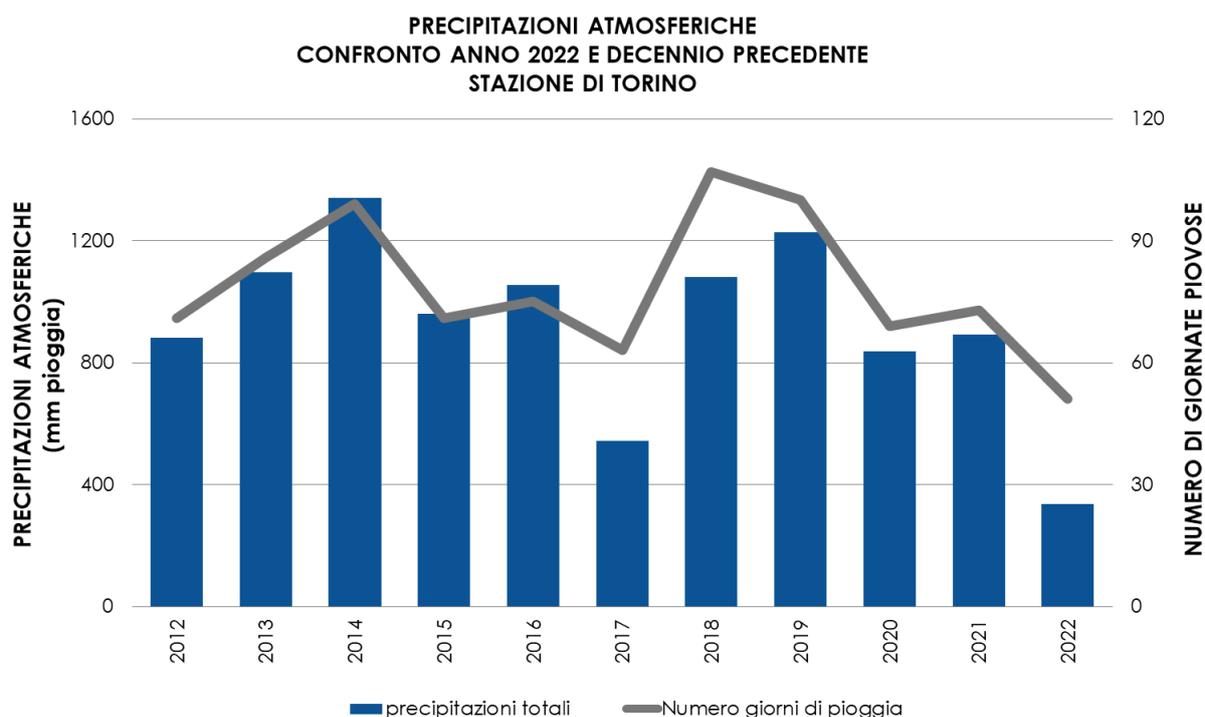


FIGURA 73: precipitazioni atmosferiche: sommatorie annuali e media del decennio in termini di quantità di precipitazioni e di numero di giornate piovose per la stazione di Torino.

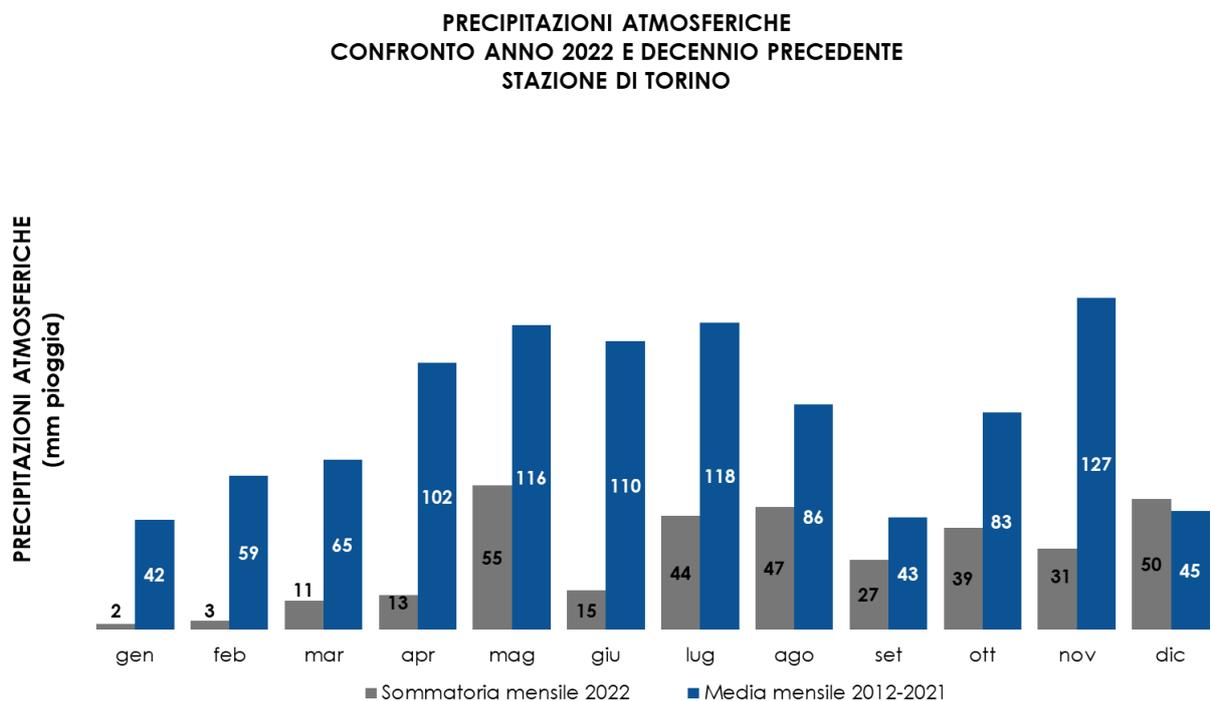


FIGURA 74: precipitazioni atmosferiche: sommatorie mensili per l'anno 2022 e medie mensili relative al decennio 2012÷2021 per la stazione di Torino

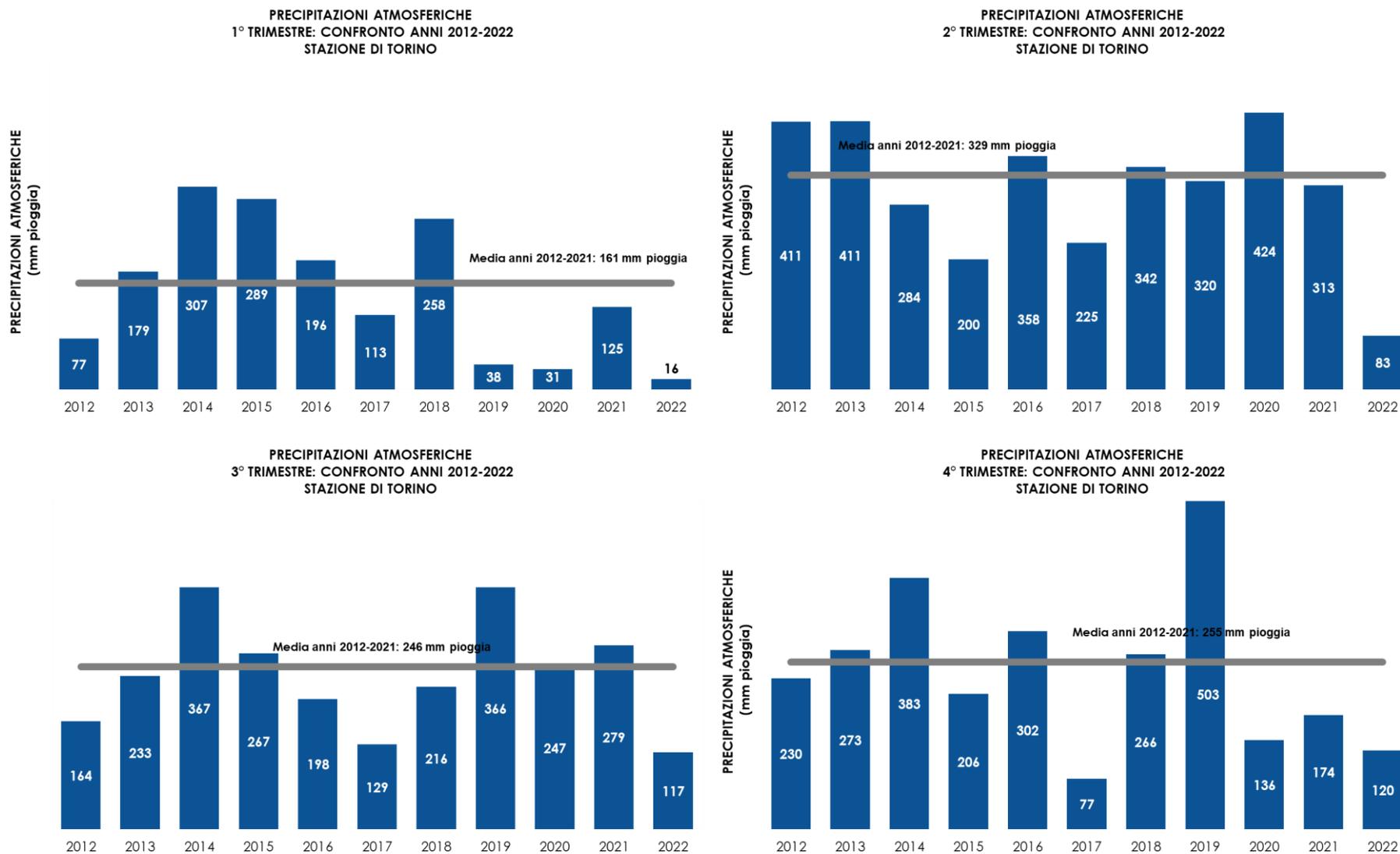


FIGURA 75: precipitazioni atmosferiche: sommatorie trimestrali relative al periodo 2012÷2022 per la stazione di Torino.

### 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. Il numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 è un indice costruito appositamente per considerare l'influenza della meteorologia sulla variazione della concentrazione degli inquinanti.

Il 2022 è stato estremamente siccitoso sia come quantitativi di precipitazione, sia come numero di giorni piovosi. Principalmente per questo motivo il 2022 ha avuto condizioni sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti, il valore dell'indice è stato infatti di 125 giorni, uno dei valori più elevati degli ultimi anni della serie storica a disposizione (FIGURA 76).

L'andamento mensile dell'indice, rappresentato nella FIGURA 77, si attesta su valori medio alti rispetto al periodo di riferimento. Si evidenziano i mesi di gennaio, febbraio e, anche se in misura minore, novembre come particolarmente critici ed estremamente sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti, mentre il mese di dicembre risulta essere tra i meno critici del periodo di riferimento.

I confronti con i rilevamenti degli anni precedenti dovranno prevalentemente riferirsi agli anni 2017 (119 giorni) e 2020 (123 giorni), anche se quest'ultimo presenta anomalie emissive dovute al periodo di lockdown.

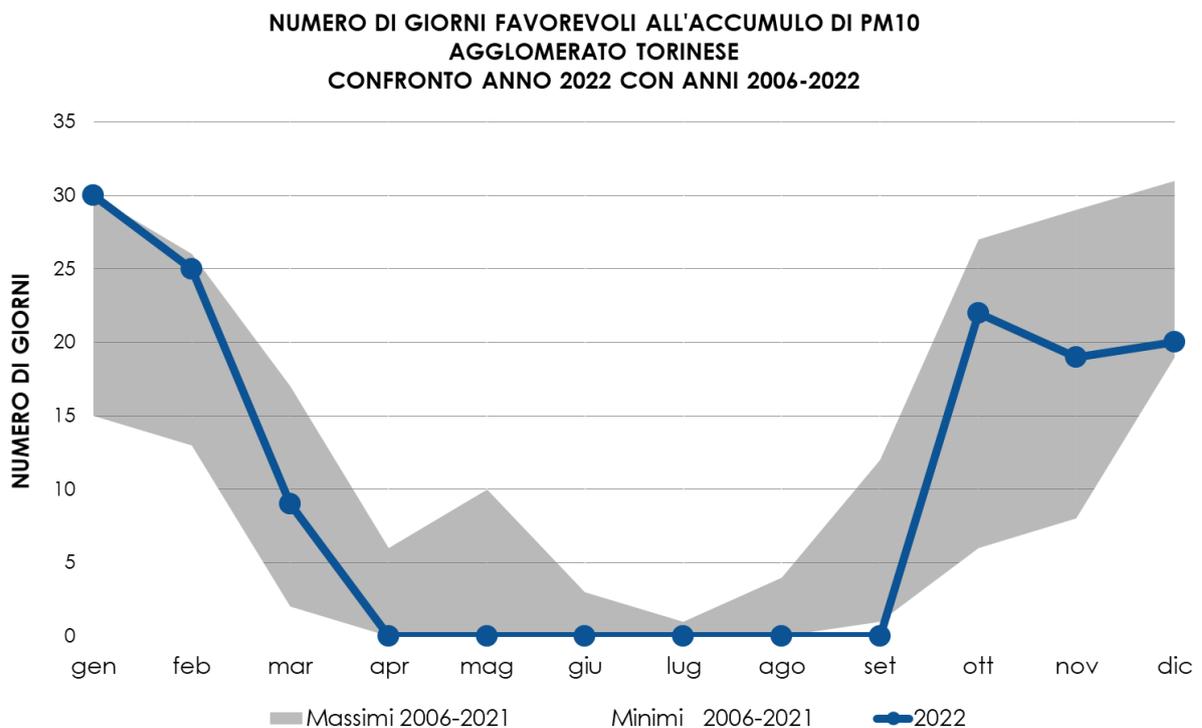


FIGURA 76: numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - confronto su base annuale tra gli anni 2006-2021 (in grigio) e l'anno 2021 (in blu).

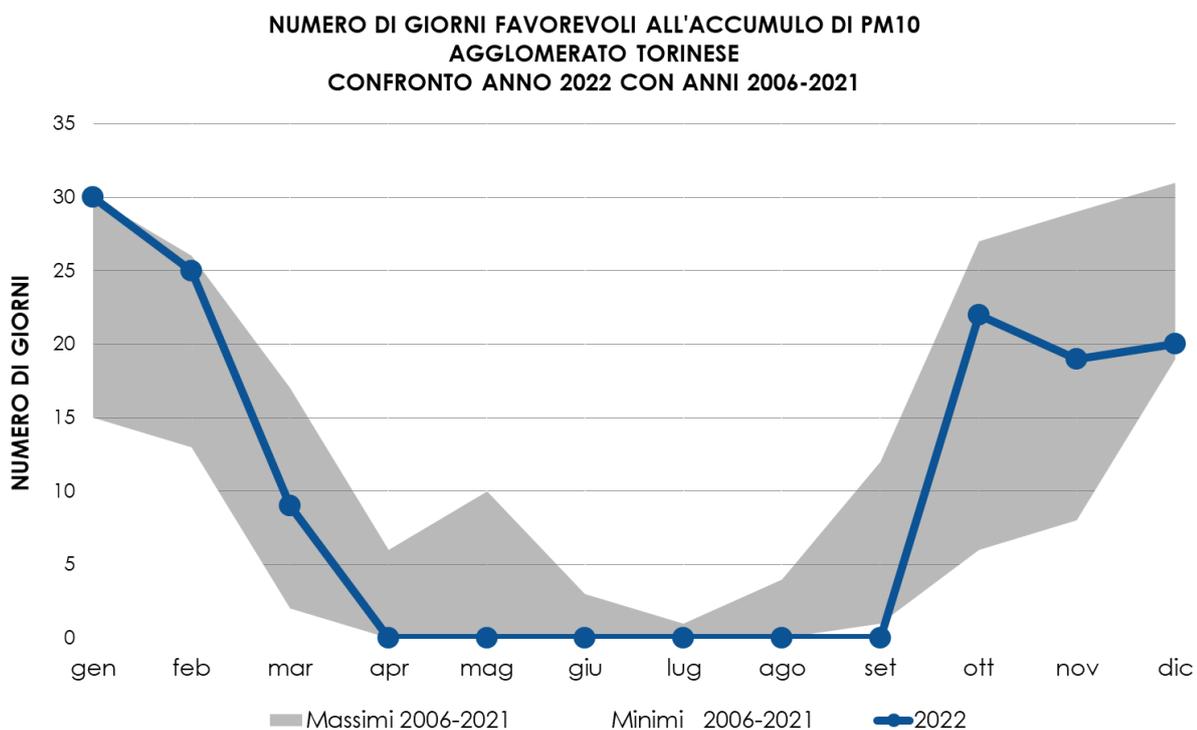


FIGURA 77: numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - confronto tra l'andamento mensile del 2022 (linea blu) ed i valori massimi e minimi mensili del periodo 2006-2021 (banda grigia).

## EMISSIONI INQUINANTI DEI VEICOLI A MOTORE

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

A. Bertello, Città metropolitana di Torino.

### I LIMITI DI EMISSIONE DEI VEICOLI A MOTORE

Il trasporto su strada è tra i maggiori responsabili dell'inquinamento atmosferico presente nelle aree urbane. In particolare, l'inventario delle emissioni relativo all'anno 2015 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 38,5% delle emissioni complessive di particolato primario (PM10) e del 60,1% delle emissioni complessive di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>).

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

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

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

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

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

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

La categoria Euro 6 è ulteriormente suddivisa in 4 fasce:

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

TABELLA 44: limiti di emissione fissati dalle direttive europee per autovetture benzina e diesel.

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

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

FIGURA 78 i limiti previsti per la somma di idrocarburi incombusti (HC) e ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), che rappresentano una delle principali criticità in ambito urbano.

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

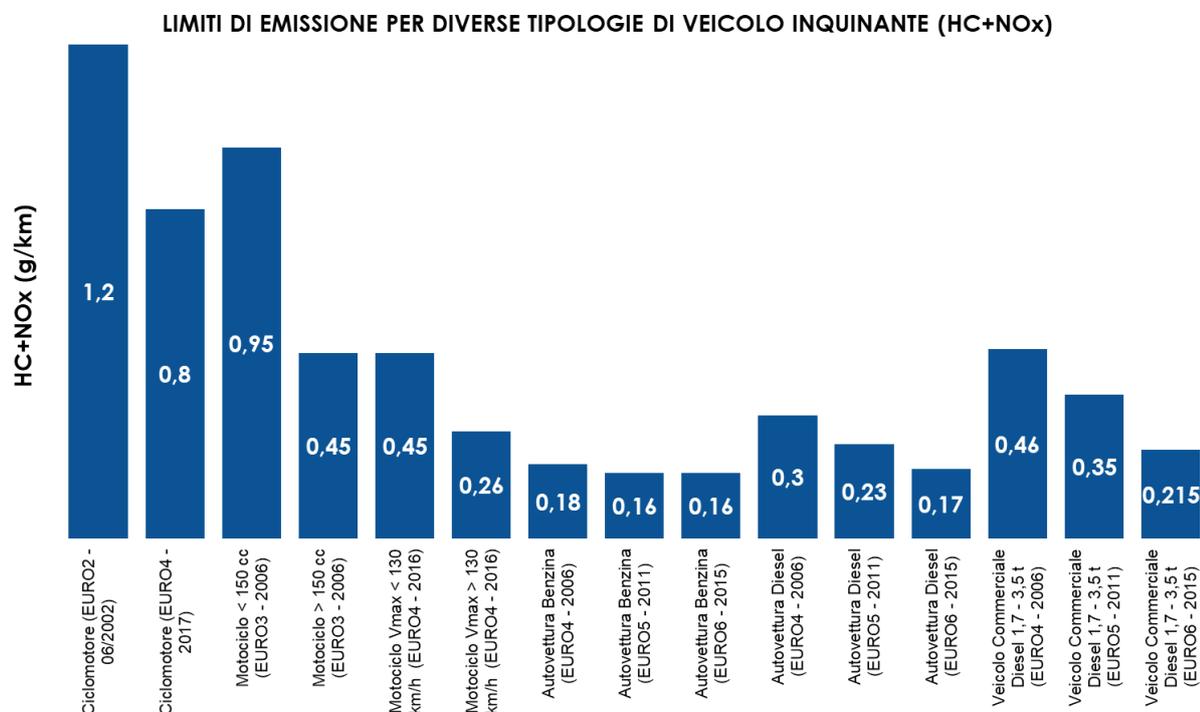


FIGURA 78: limiti di emissione definiti dalle normative più recenti per diverse tipologie di veicolo.

## IL PARCO VEICOLARE NELLA CITTA' METROPOLITANA DI TORINO

Si riportano di seguito per il periodo 2018-2022 i dati forniti dal servizio tributi della Regione Piemonte, relativi alla composizione del parco veicolare immatricolato sul territorio della Città metropolitana di Torino. Dall'analisi dell'attuale composizione del parco veicolare e dalla sua evoluzione negli ultimi anni emergono alcune considerazioni:

- il numero di autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino è aumentato di 18.176 unità rispetto al 2021, quello dei veicoli commerciali leggeri è diminuito di 515 unità sempre rispetto al 2021;
- la somma degli autoveicoli Euro 5 ed Euro 6 rappresenta il 57,0% del totale, con un incremento del 2,9% rispetto allo scorso anno;
- continua a diminuire, dopo anni di costante ascesa, la percentuale degli autoveicoli a gasolio (41,3% nel 2017, 40,8% nel 2018, 38,3% nel 2019, 37,7% nel 2020, 35,5% nel 2021, 34,0 nel 2022), per quelli a GPL e a metano invece la percentuale è in lieve ma costante aumento nel corso degli ultimi anni (12,8% nel 2017, 13,5% nel 2018, 14,3 nel 2019, 14,0 nel 2020, 14,4% nel 2021, 15,1 nel 2022);
- i veicoli completamente elettrici immatricolati nella città metropolitana di Torino sono 4.946 nel 2022 erano 4.105 nel 2021, 2.970 nel 2020, 742 nel 2019 e 379 nel 2018.
- i veicoli commerciali < 3,5 t diesel ante Euro 4, sicuramente non dotati di filtro antiparticolato, sono ancora 56.574 e rappresentano il 35,7% del totale di quelli immatricolati, erano 59.818 pari al 37,6% del totale nel 2021.

		2018			2019			2020			2021			2022		
		numero			numero			numero			numero			numero		
Autoveicoli "pre-EURO"	numero	69.161	54.115	benzina	67.858	53.434	benzina	67.000	52.870	benzina	66.228	52.470		64.600	51.972	benzina
			10.799	gasolio		10.515	gasolio		10.357	gasolio		10.186			9.173	gasolio
			4.247	GPL-CH4		3.909	GPL-CH4		3.773	GPL-CH4		3.572			3.455	GPL-CH4
	%	4,7	3,7	benzina	4,7	3,7	benzina	4,6	3,6	benzina	4,6	3,7		4,5	3,6	benzina
			0,7	gasolio		0,7	gasolio		0,7	gasolio		0,7			0,6	gasolio
			0,3	GPL-CH4		0,3	GPL-CH4		0,3	GPL-CH4		0,2			0,2	GPL-CH4
Autoveicoli "EURO 1"	numero	27.880	20.958	benzina	26.338	19.732	benzina	25.331	18.949	benzina	24.232	18.061		23.439	17.473	benzina
			4.718	gasolio		4.596	gasolio		4.516	gasolio		4.416			4.306	gasolio
			2.204	GPL-CH4		2.010	GPL-CH4		1.866	GPL-CH4		1.755			1.660	GPL-CH4
	%	1,9	1,4	benzina	1,8	1,4	benzina	1,7	1,3	benzina	1,7	1,3		1,6	1,2	benzina
			0,3	gasolio		0,3	gasolio		0,3	gasolio		0,3			0,3	gasolio
			0,2	GPL-CH4		0,1	GPL-CH4		0,1	GPL-CH4		0,1			0,1	GPL-CH4
Autoveicoli "EURO 2"	numero	120.351	88.749	benzina	109.501	80.712	benzina	101.386	74.523	benzina	92.356	67.318		86.670	62.694	benzina
			22.910	gasolio		21.189	gasolio		20.015	gasolio		18.811			18.116	gasolio
			8.692	GPL-CH4		7.600	GPL-CH4		6.848	GPL-CH4		6.227			5.860	GPL-CH4
	%	8,2	6,1	benzina	7,6	5,6	benzina	6,9	5,1	benzina	6,5	4,7		6,0	4,3	benzina
			1,6	gasolio		1,5	gasolio		1,4	gasolio		1,3			1,3	gasolio
			0,6	GPL-CH4		0,5	GPL-CH4		0,5	GPL-CH4		0,4			0,4	GPL-CH4
Autoveicoli "EURO 3"	numero	185.941	98.090	benzina	167.136	90.385	benzina	153.104	83.550	benzina	138.437	76.211		129.482	71.518	benzina
			78.983	gasolio		68.681	gasolio		62.214	gasolio		55.619			51.745	gasolio
			8.868	GPL-CH4		8.070	GPL-CH4		7.340	GPL-CH4		6.607			6.219	GPL-CH4
	%	12,7	6,7	benzina	11,6	6,3	benzina	10,5	5,7	benzina	9,7	5,3		8,9	4,9	benzina
			5,4	gasolio		4,8	gasolio		4,3	gasolio		3,9			3,6	gasolio
			0,6	GPL-CH4		0,6	GPL-CH4		0,5	GPL-CH4		0,5			0,4	GPL-CH4
Autoveicoli "EURO 4"	numero	415.358	181.586	benzina	386.644	174.051	benzina	364.769	167.512	benzina	336.700	158.872		320.199	153.348	benzina
			160.248	gasolio		142.668	gasolio		130.179	gasolio		114.266			105.420	gasolio
			73.524	GPL-CH4		69.925	GPL-CH4		67.078	GPL-CH4		63.562			61.431	GPL-CH4
	%	28,4	12,4	benzina	26,9	12,1	benzina	24,9	11,4	benzina	23,6	11,1		22,1	10,6	benzina
			11,0	gasolio		9,9	gasolio		8,9	gasolio		8,0			7,3	gasolio
			5,0	GPL-CH4		4,9	GPL-CH4		4,6	GPL-CH4		4,4			4,2	GPL-CH4
Autoveicoli "EURO 5"	numero	278.422	86.341	benzina	265.006	84.735	benzina	257.608	83.837	benzina	244.543	82.164		234.606	80.965	benzina
			146.861	gasolio		136.017	gasolio		130.057	gasolio		119.922			112.251	gasolio
			45.220	GPL-CH4		44.254	GPL-CH4		43.714	GPL-CH4		42.457			41.390	GPL-CH4
	%	19,0	5,9	benzina	18,4	5,9	benzina	17,6	5,7	benzina	17,1	5,7		16,2	5,6	benzina
			10,0	gasolio		9,4	gasolio		8,9	gasolio		8,4			7,8	gasolio
			3,1	GPL-CH4		3,1	GPL-CH4		3,0	GPL-CH4		3,0			2,9	GPL-CH4
Autoveicoli "EURO 6"	numero	364.660	137.784	benzina	417.240	180.571	benzina	494.433	226.233	benzina	526.766	260.477		588.442	299.362	benzina
			172.133	gasolio		167.129	gasolio		194.500	gasolio		184.614			190.604	gasolio
			54.743	GPL-CH4		69.540	GPL-CH4		73.700	GPL-CH4		81.675			98.476	GPL-CH4
	%	24,9	9,4	benzina	29,0	12,5	benzina	33,8	15,5	benzina	36,9	18,2		40,7	20,7	benzina
			11,8	gasolio		11,6	gasolio		13,3	gasolio		12,9			13,2	gasolio
			3,7	GPL-CH4		4,8	GPL-CH4		5,0	GPL-CH4		5,7			6,8	GPL-CH4

TABELLA 45: autoveicoli immatricolati nella città metropolitana di Torino dal 2018 al 2022, suddivisi per tipo di omologazione ambientale.

		2018			2019			2020			2021					
Autocarri <3,5 t "pre-EURO"	numero	18.528	1.801	benzina	17.907	1.763	benzina	17.494	1.745	benzina	17.136	1.754	benzina	15.222	1.683	benzina
			16.432	gasolio		15.903	gasolio		15.545	gasolio		15.194	gasolio		13.364	gasolio
			295	GPL-CH4		241	GPL-CH4		204	GPL-CH4		188	GPL-CH4		175	GPL-CH4
	%	11,5	1,1	benzina	11,4	1,1	benzina	10,9	1,1	benzina	10,8	1,1	benzina	9,6	1,1	benzina
			10,2	gasolio		10,1	gasolio		9,7	gasolio		9,6	gasolio		8,4	gasolio
			0,2	GPL-CH4		0,2	GPL-CH4		0,1	GPL-CH4		0,1	GPL-CH4		0,1	GPL-CH4
Autocarri <3,5 t "EURO 1"	numero	7.651	1.162	benzina	7.419	1.138	benzina	7.182	1.109	benzina	6.938	1.091	benzina	6.754	1.081	benzina
			6.384	gasolio		6.177	gasolio		5.974	gasolio		5.754	gasolio		5.584	gasolio
			105	GPL-CH4		104	GPL-CH4		99	GPL-CH4		93	GPL-CH4		89	GPL-CH4
	%	4,7	0,7	benzina	4,7	0,7	benzina	4,5	0,7	benzina	4,4	0,7	benzina	4,3	0,7	benzina
			4,0	gasolio		3,9	gasolio		3,7	gasolio		3,6	gasolio		3,5	gasolio
			0,1	GPL-CH4												
Autocarri <3,5 t "EURO 2"	numero	17.999	1.512	benzina	17.111	1.450	benzina	16.368	1.383	benzina	15.627	1.316	benzina	15.122	1.266	benzina
			16.243	gasolio		15.429	gasolio		14.760	gasolio		14.094	gasolio		13.641	gasolio
			244	GPL-CH4		232	GPL-CH4		225	GPL-CH4		217	GPL-CH4		215	GPL-CH4
	%	11,2	0,9	benzina	10,9	0,9	benzina	10,2	0,9	benzina	9,8	0,8	benzina	9,5	0,8	benzina
			10,1	gasolio		9,8	gasolio		9,2	gasolio		8,9	gasolio		8,6	gasolio
			0,2	GPL-CH4		0,1	GPL-CH4									
Autocarri <3,5 t "EURO 3"	numero	31.097	1.637	benzina	29.348	1.551	benzina	27.960	1.454	benzina	26.402	1.369	benzina	25.557	1.321	benzina
			29.161	gasolio		27.516	gasolio		26.238	gasolio		24.776	gasolio		23.985	gasolio
			299	GPL-CH4		281	GPL-CH4		268	GPL-CH4		257	GPL-CH4		251	GPL-CH4
	%	19,3	1,0	benzina	18,7	1,0	benzina	17,5	0,9	benzina	16,6	0,9	benzina	16,1	0,8	benzina
			18,1	gasolio		17,5	gasolio		16,4	gasolio		15,6	gasolio		15,1	gasolio
			0,2	GPL-CH4												
Autocarri <3,5 t "EURO 4"	numero	37.001	1.110	benzina	35.105	1.083	benzina	33.675	1.050	benzina	31.818	1.013	benzina	30.864	988	benzina
			34.057	gasolio		32.324	gasolio		31.015	gasolio		29.260	gasolio		28.403	gasolio
			1.834	GPL-CH4		1.698	GPL-CH4		1.610	GPL-CH4		1.545	GPL-CH4		1.473	GPL-CH4
	%	22,9	0,7	benzina	22,3	0,7	benzina	21,1	0,7	benzina	20,0	0,6	benzina	19,5	0,6	benzina
			21,1	gasolio		20,6	gasolio		19,4	gasolio		18,4	gasolio		17,9	gasolio
			1,1	GPL-CH4		1,1	GPL-CH4		1,0	GPL-CH4		1,0	GPL-CH4		0,9	GPL-CH4
Autocarri <3,5 t "EURO 5"	numero	31.629	400	benzina	27.887	387	benzina	26.337	373	benzina	25.259	365	benzina	24.487	353	benzina
			29.164	gasolio		25.824	gasolio		24.312	gasolio		23.357	gasolio		22.641	gasolio
			2.065	GPL-CH4		1.676	GPL-CH4		1.652	GPL-CH4		1.537	GPL-CH4		1.493	GPL-CH4
	%	19,6	0,2	benzina	17,7	0,2	benzina	16,5	0,2	benzina	15,9	0,2	benzina	15,4	0,2	benzina
			18,1	gasolio		16,4	gasolio		15,2	gasolio		14,7	gasolio		14,3	gasolio
			1,3	GPL-CH4		1,1	GPL-CH4		1,0	GPL-CH4		1,0	GPL-CH4		0,9	GPL-CH4
Autocarri <3,5 t "EURO 6"	numero	17.414	516	benzina	22.405	806	benzina	30.907	1.137	benzina	35.830	1.591	benzina	40.489	2.077	benzina
			12.536	gasolio		17.083	gasolio		26.575	gasolio		30.786	gasolio		34.339	gasolio
			4.362	GPL-CH4		4.516	GPL-CH4		3.195	GPL-CH4		3.453	GPL-CH4		4.073	GPL-CH4
	%	10,8	0,3	benzina	14,3	0,5	benzina	19,3	0,7	benzina	22,5	1,0	benzina	25,5	1,3	benzina
			7,8	gasolio		10,9	gasolio		16,6	gasolio		19,4	gasolio		21,7	gasolio
			2,7	GPL-CH4		2,9	GPL-CH4		2,0	GPL-CH4		2,2	GPL-CH4		2,6	GPL-CH4

TABELLA 46: veicoli commerciali leggeri (&lt; 3,5 t) immatricolati nella città metropolitana di Torino dal 2017 al 2022, suddivisi per tipo di omologazione ambientale.

**Autoveicoli immatricolati nella città metropolitana di Torino (2007-2022)**  
**Suddivisione per omologazione ambientale**  
**Banca dati Regione Piemonte**

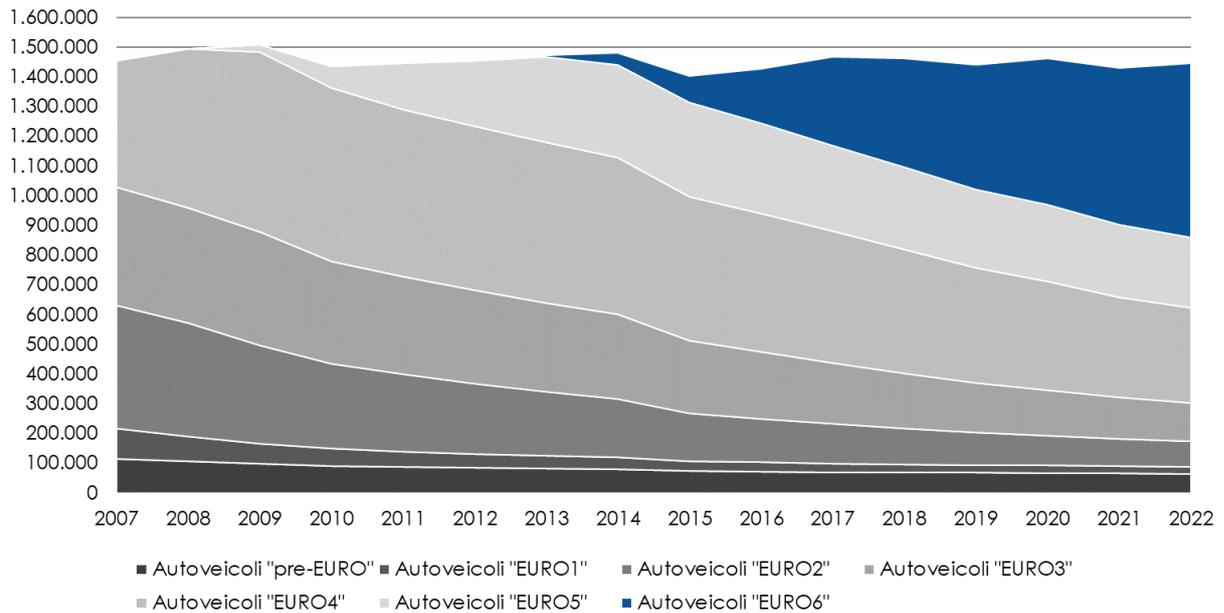


FIGURA 79: autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2022, suddivisi per tipo di omologazione ambientale (Banca Dati di Regione Piemonte).

**Autocarri (<3,5t) immatricolati nella Città Metropolitana di Torino (2007-2022)**  
**Suddivisione per omologazione ambientale**  
**Banca Dati Regione Piemonte**

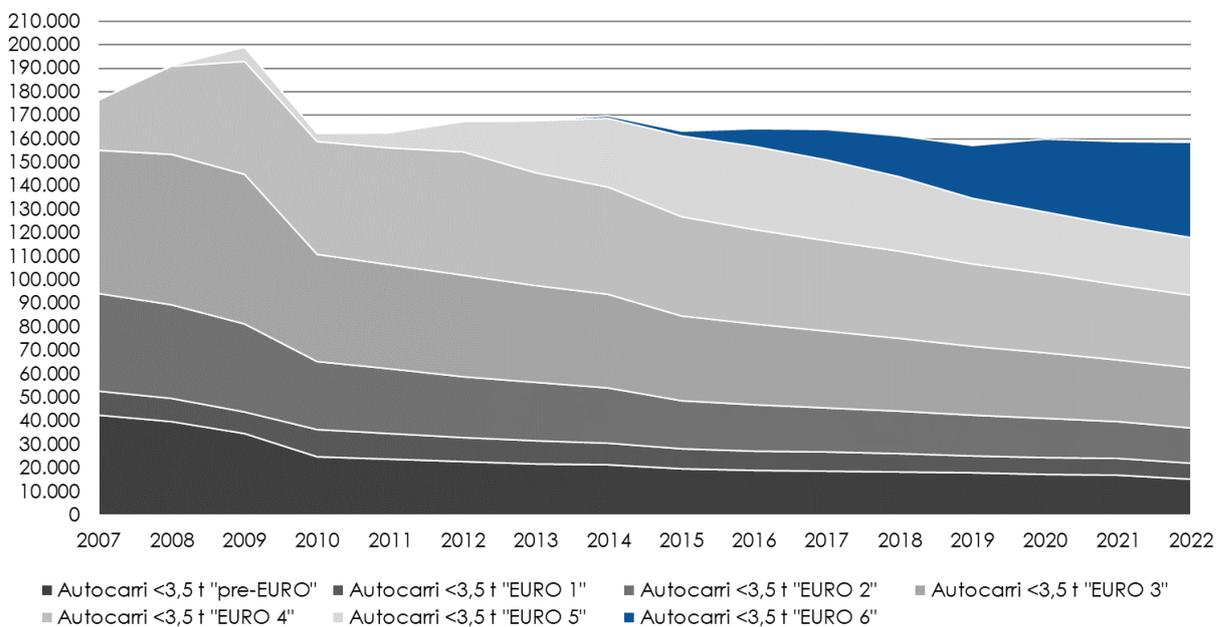


FIGURA 80: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2021, suddivisi per tipo di omologazione ambientale (Banca Dati di Regione Piemonte).

**Autoveicoli immatricolati nella Città Metropolitana di Torino (2007-2022)**  
**Suddivisione per alimentazione**  
**Banca Dati Regione Piemonte**

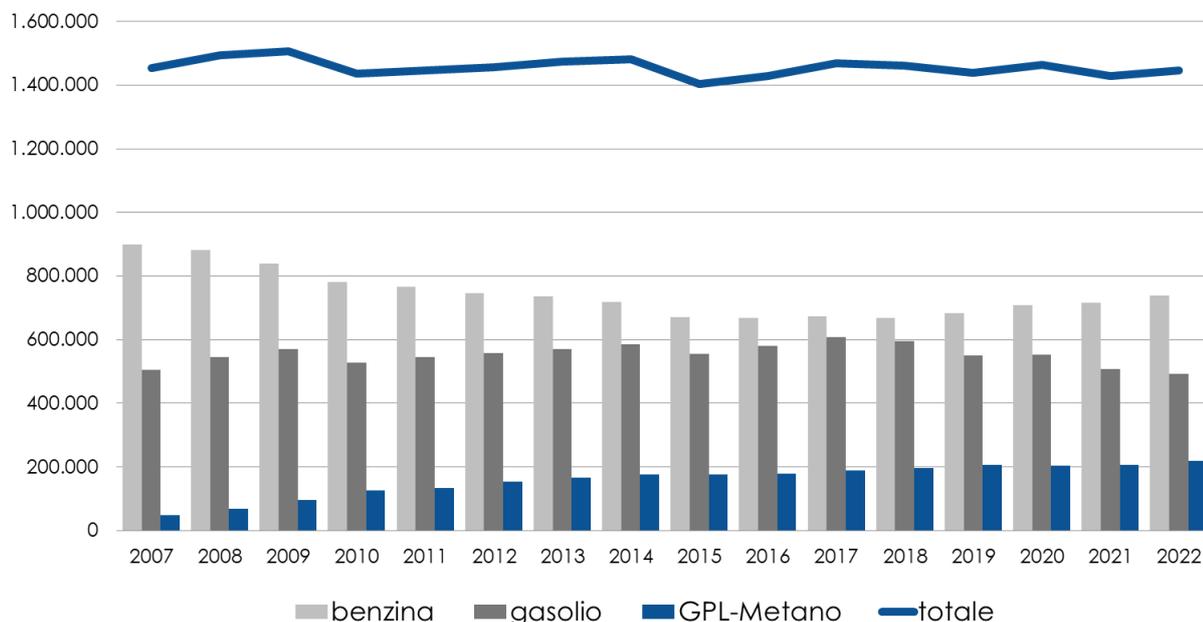


FIGURA 81: autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2008 al 2022, suddivisi per tipo di alimentazione (Banca Dati di Regione Piemonte).

**Autocarri (<3,5t) immatricolati nella Città Metropolitana di Torino (2007-2022)**  
**Suddivisione per alimentazione**  
**Banca Dati Regione Piemonte**

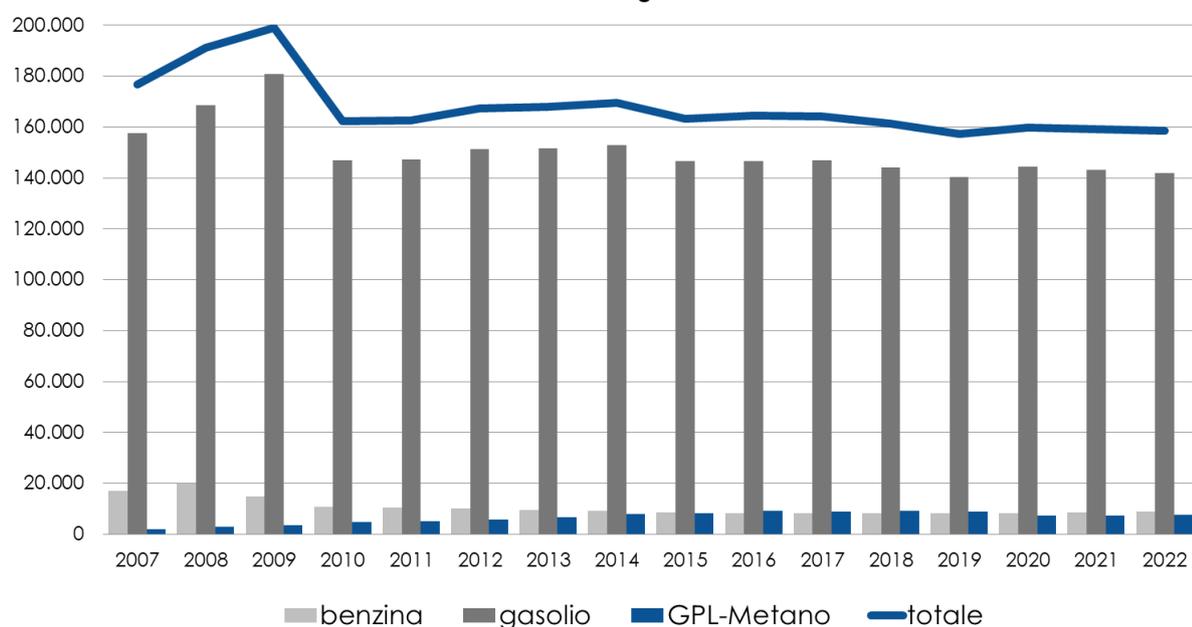


FIGURA 82: veicoli commerciali leggeri (<3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2008 al 2022, suddivisi per tipo di alimentazione (Banca Dati di Regione Piemonte).

## IL PROTOCOLLO ANTISMOG NELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO

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

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

### I PROVVEDIMENTI ADOTTATI NELL'INVERNO 2022-2023

Dal 01/03/2021 è stato attivato il nuovo protocollo antimog, 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 antimog, secondo un meccanismo che comporta l'adozione preventiva dei provvedimenti di limitazione, sia le aree di applicazione del protocollo.

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

Tutti i comuni dell'agglomerato di Torino (zona IT0118) e i comuni localizzati nelle zone di gestione della qualità dell'aria denominate Pianura (zona IT0119) e Collina (zona IT0120) con popolazione superiore a 10.000 abitanti sono chiamati ad adottare l'intero pacchetto di misure<sup>25</sup>. Gli altri comuni delle zone di pianura e collina con popolazione inferiore ai 10.000 abitanti non sono tenuti ad adottare le limitazioni del traffico veicolare ma solo quelle legati agli impianti termici, alle combustioni all'aperto e alle pratiche agricole.

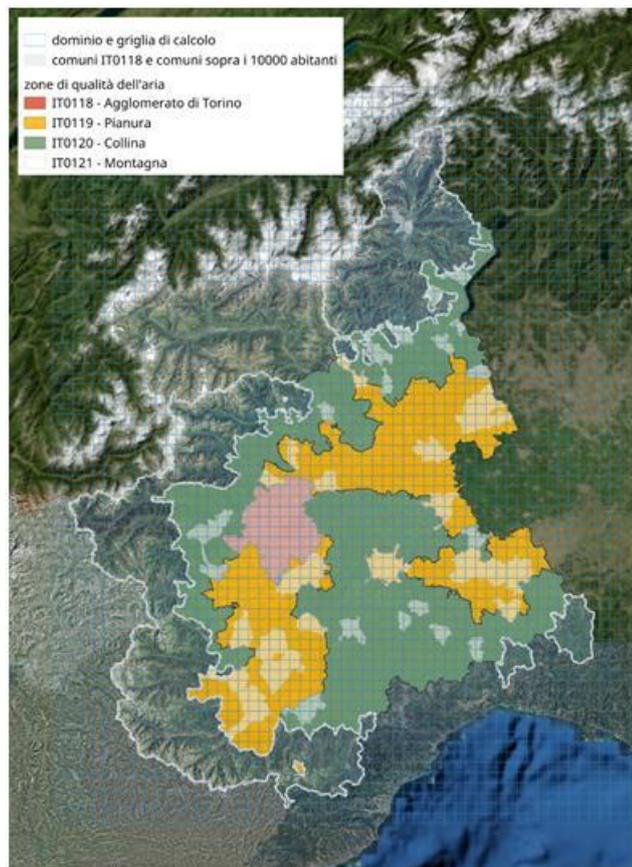


FIGURA 83: comuni interessati dall'applicazione del semaforo antimog.

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

<sup>25</sup> Alpignano, Avigliana, Baldissero Torinese, Beinasco, Borgaro Torinese, Cambiano, Candiolo, Carignano, Carmagnola, Caselle Torinese, Chieri, Chivasso, Ciriè, Collegno, Druento, Giaveno, Grugliasco, Ivrea, La Loggia, Leini, Mappano, Moncalieri, Nichelino, Orbassano, Pecetto Torinese, Pianezza, Pinerolo, Pino Torinese, Piobesi Torinese, Piossasco, Poirino, Rivalta di Torino, Rivarolo Canavese, Rivoli, San Maurizio Canavese, San Mauro Torinese, Santena, Settimo Torinese, Torino, Trofarello, Venaria Reale, Vinovo, Volpiano

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

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

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

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

L'attivazione dei diversi livelli di allerta è stata valutata sull'intero periodo 15 settembre 2022 – 15 aprile 2023, per un totale di complessivo di 213 giorni. La tabella sottostante riassume per ogni zona la frequenza di attivazione dei livelli nell'inverno 2022-2023. (TABELLA 47).

Comune/Area	LIVELLO 0		LIVELLO 1		LIVELLO 2	
	n° giorni	%	n° giorni	%	n° giorni	%
IT0118 Agglomerato di Torino (esclusi i precedenti)	173	81,2	40	18,8	0	0
IT0119 Pianura (esclusi i precedenti)	204	95,8	9	4,2	0	0
IT0120 Collina (esclusi i precedenti)	213	95,3	0	0	0	0

TABELLA 47: tabella riassuntiva sui risultati dell'applicazione del protocollo antismog per l'inverno 2022/2023, dal 15 settembre 2022 al 15 aprile 2023 (212 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 2021-2022 è riportato in FIGURA 84

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

FIGURA 84: schema riassuntivo delle limitazioni 2022-2023.

**Per saperne di più**

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

<https://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/aria/aria/semaforo-qualita-dellaria-pm10>  
<http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/ambiente/qualita-aria/blocchi-traffico>

**DATI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA**

<https://aria.ambiente.piemonte.it/#/>  
[https://webgis.arpa.piemonte.it/aria\\_piemonte/index.html?page=misure](https://webgis.arpa.piemonte.it/aria_piemonte/index.html?page=misure)

**BOLLETTINI INFORMATIVI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA**

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

**RELAZIONI ANNUALI CON INFORMAZIONI APPROFONDITE**

<http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/ambiente/qualita-aria/dati-qualita-aria/relazioni-annuali>  
<http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/territorio/torino/aria/Pubblicazioni>

**BOLLETTINI INFORMATIVI SULLA QUALITÀ DELL'ARIA**

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



Città metropolitana di Torino

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



Sistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

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

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