

# Uno sguardo all'aria

2021







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

Anno 2021

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, D. Marangon, L. Milizia, S. Possamai, M. Sacco

ARPA Piemonte - Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali:

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

Università degli studi di Torino, Dipartimento Scienze della Sanità Pubblica e Pediatriche:

Tiziana Schilirò e Marta Gea

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, 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, "Passaggi" 2021

## 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.....	26
PARTICOLATO SOSPESO .....	28
DEPOSIZIONI ATMOSFERICHE "BULK" DI IPA E METALLI.....	38
DETERMINAZIONE DI PCDD/PCDF E PCB PRESSO LA STAZIONE DI BEINASCO (TRM) .....	48
MUTAGENICITÀ DEL PM <sub>2,5</sub> .....	59
ATTIVITÀ ESTROGENICA DEL PARTICOLATO ATMOSFERICO.....	64
METALLI.....	69
MERCURIO ELEMENTARE GASSOSO .....	75
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI.....	79
CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'ANNO 2021.....	84
EMISSIONI INQUINANTI DEI VEICOLI A MOTORE .....	107
IL PROTOCOLLO ANTISMOG NELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO.....	113

## SOMMARIO

L'analisi dei dati di qualità dell'aria 2021 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. Come negli anni precedenti, il particolato PM10 e il biossido di azoto superano i rispettivi valori limite, ma con significativi miglioramenti. L'ozono supera il suo valore obiettivo, senza purtroppo evidenziare una riduzione nelle concentrazioni.

Le condizioni meteo-climatiche del 2021 sono state favorevoli alla dispersione degli inquinanti. Sono confrontabili a quanto osservato nel 2018 e del 2019 e sicuramente meno severe dell'anno 2020 che, per criticità meteorologiche e anomalie emissive legate alle misure di contenimento del Covid-19, è stato un anno del tutto particolare. Pertanto, nell'analisi dei dati, le rilevazioni 2021 sono state prevalentemente confrontate con quelle degli anni 2018 e del 2019.

Dopo il peggioramento del 2020, nel 2021 i valori delle concentrazioni di particolato PM10 si riallineano con quelli del 2018 e del 2019. Il valore limite giornaliero è superato in modo diffuso sul territorio, fanno eccezione le zone più esterne rispetto al capoluogo e i contesti rurali e vallivi. I siti di fondo presentano in media una quarantina di superamenti e sono prossimi al conseguimento del valore limite. Nelle stazioni di traffico il numero di superamenti è ancora elevato, in alcuni casi doppio rispetto al consentito. Tuttavia, sono principalmente queste ultime a mostrare i miglioramenti più marcati. Il valore limite annuale è invece rispettato in tutti i siti di monitoraggio.

Relativamente al biossido di azoto, i dati rilevati nel 2021 evidenziano un miglioramento significativo rispetto agli anni 2018 e 2019 e confermano i livelli di concentrazione relativamente bassi raggiunti nel 2020, dovuti alla riduzione delle emissioni per le misure legate alla pandemia. Il valore limite annuale è superato solo in due stazioni di traffico del capoluogo torinese, mentre il valore limite orario è rispettato ovunque. Anche per questo inquinante sono le stazioni da traffico dell'agglomerato torinese a registrare le riduzioni più significative.

Nel 2021, il valore obiettivo per la protezione della salute umana definito per l'ozono è superato in tutte le stazioni del territorio metropolitano, con l'eccezione della stazione di Ceresole Reale.

La serie storiche evidenziano, sostanzialmente per tutti gli inquinanti, una nettissima riduzione delle concentrazioni. I rilevamenti confermano però che le misure di riduzione degli inquinanti non sono state sempre efficaci nell'assicurare il conseguimento dei valori limite nel termine prefissato. Si evidenzia infatti un significativo ritardo nel garantire, su tutto il territorio e per tutta la popolazione, il rispetto dei valori limite per il particolato PM10 e il biossido di azoto.

I miglioramenti osservati nell'ultimo periodo per il biossido di azoto, in particolare nelle stazioni di traffico, sembrano indicare che le misure più recenti, adottate da diversi livelli decisionali per limitare le emissioni dei veicoli, portano visibili miglioramenti e suggeriscono di insistere in questa direzione. Per il particolato PM10, inquinante di natura complessa, sono in campo i recenti provvedimenti di riduzione delle emissioni su ampia scala territoriale, in particolare sulle sorgenti agricoltura e combustione della biomassa, i cui risultati dovrebbero emergere nei prossimi anni.

L'auspicio è che la situazione di crisi attualmente in atto non favorisca il ritorno a fonti energetiche maggiormente inquinanti, rallentando il percorso di miglioramento faticosamente intrapreso negli ultimi anni.

		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 2021.

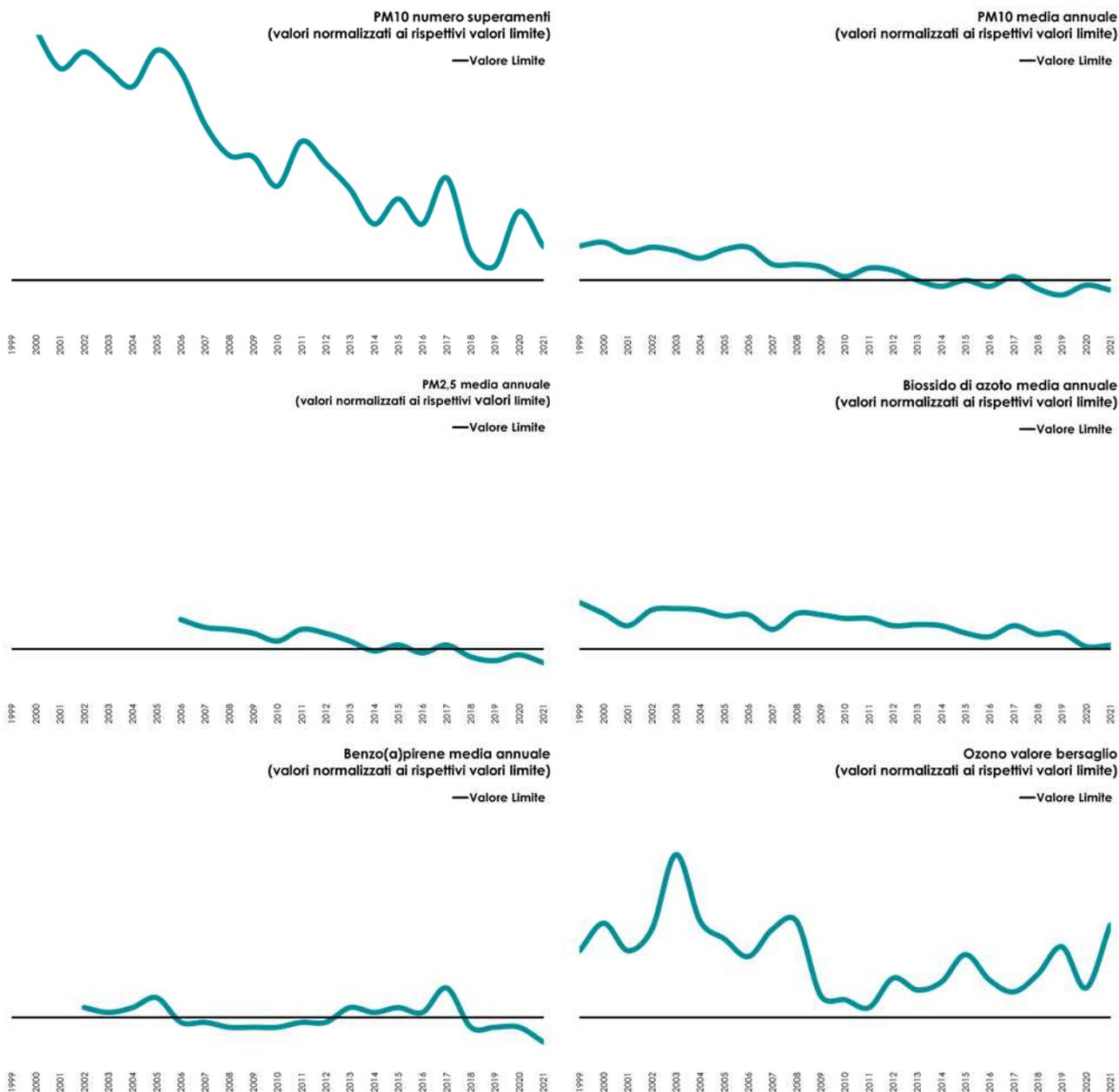


FIGURA 1: evoluzione degli inquinanti nella città di Torino.

## 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 (B)" 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-PM10 <sub>B</sub> , PM2,5-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-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 Italfani – 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
NH3	Ammoniaca
NOX	Ossidi di azoto
O3	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
SO2	Biossido di zolfo

TABELLA 3: descrizione dei codici dei parametri.

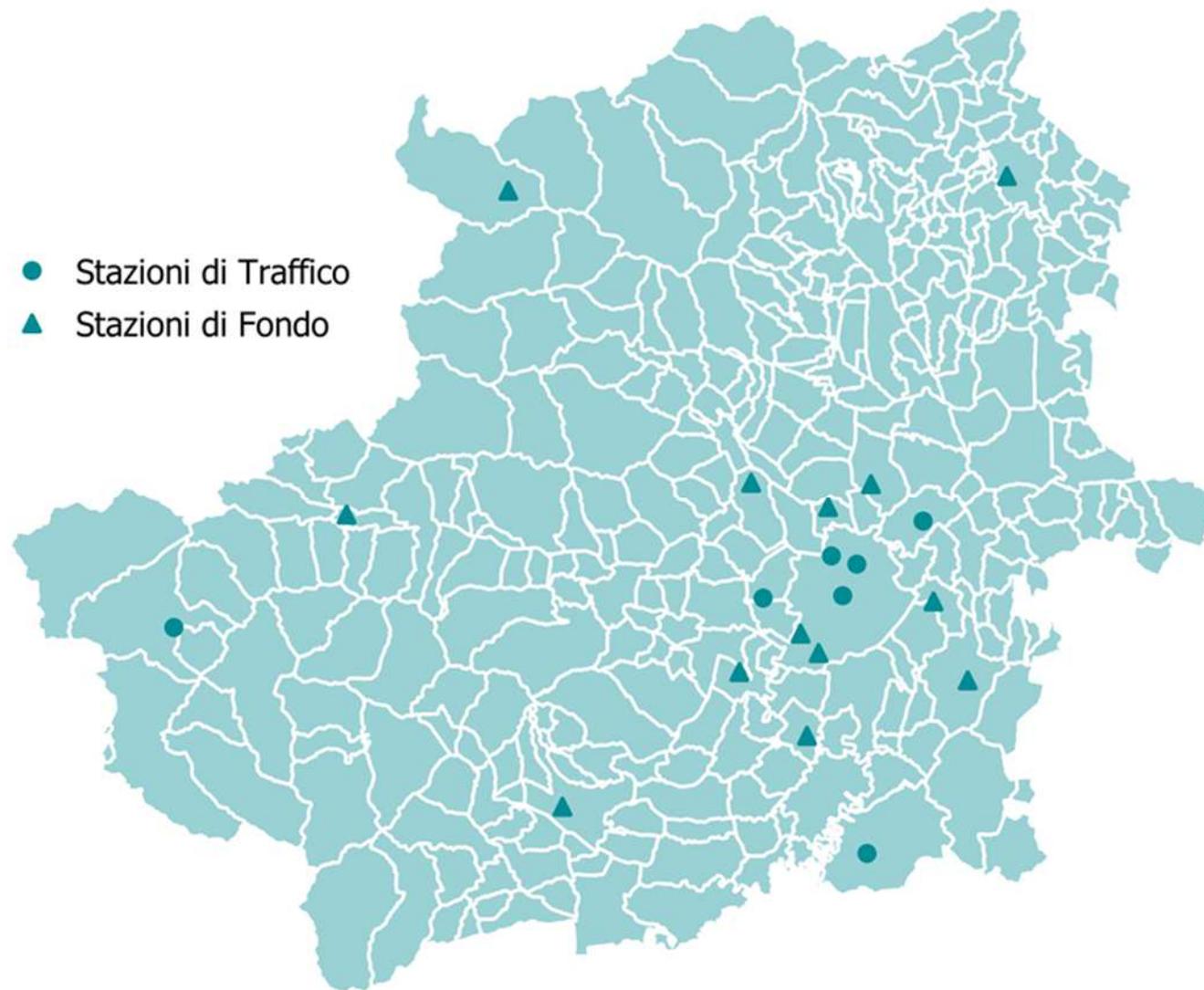


FIGURA 2: disposizione delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria.

## 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 2021 evidenziano concentrazioni medie annuali comprese fra 0,4 e 0,8 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 3,4 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 0,7 e 1,6 mg/m<sup>3</sup>. Negli ultimi tre anni le concentrazioni sono ulteriormente diminuite fino a raggiungere il valore di 0,8 mg/m<sup>3</sup> nel 2021. 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)

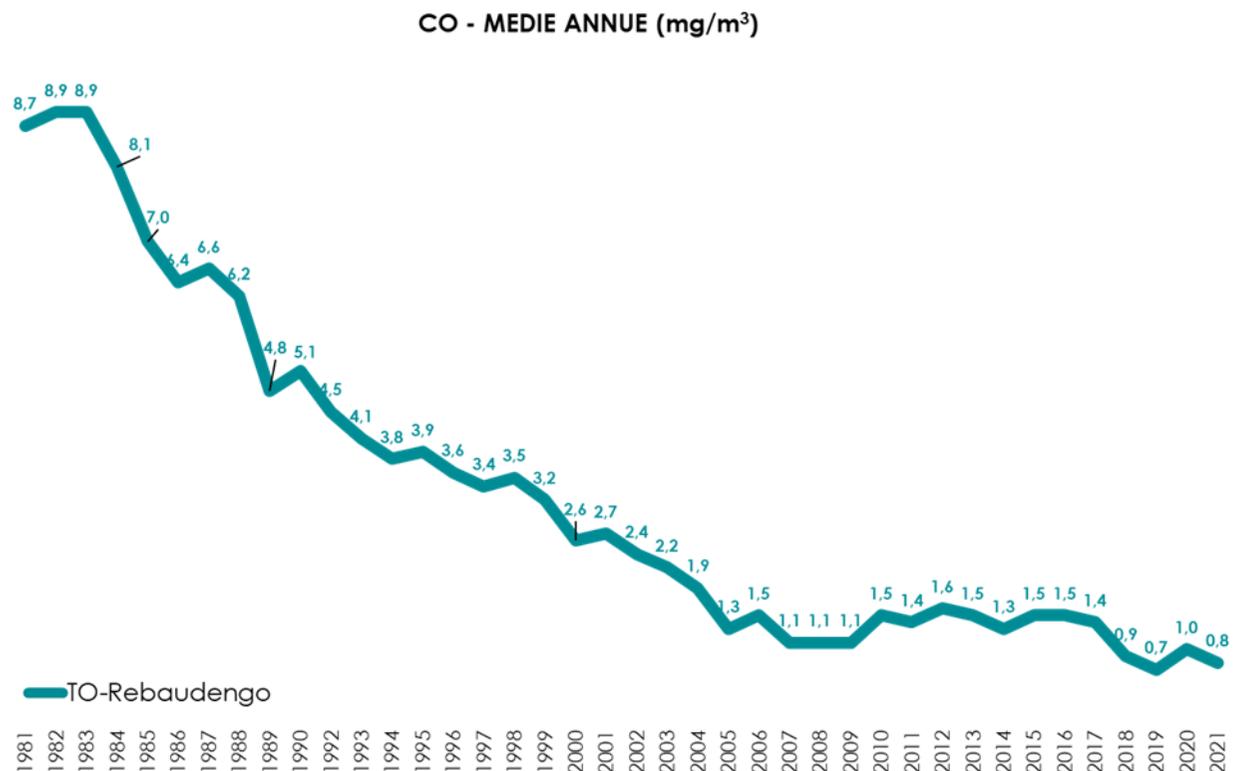


FIGURA 3: parametro CO, concentrazioni medie annuali rilevate presso la stazione di To-Rebaudengo dal 1981 al 2020.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2020 (% 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>												
		'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	
Baldissero	75%	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	1,3	1,1	1	1,2	1,1	1,1	1,0	1,2	0,9	1,2*	
Leinì	99%	0,7	0,6	0,6	0,7	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	2,3	2,1	2	1,9	1,7	1,6	2,1	1,6	1,6	
Oulx	95%	0,5	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5*	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0	0	1,7	1,9	1,8	1,8	1,5	2,3	1,5	1,8*	1,3	1,6
To-Consolata	99%	1,3	1,2	1,2	1,5	1,2	1,1	0,7	0,5*	0,8	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0*	0	0	4,4	3	3,4	3,8	3,3	4,5	2,9	2,8*	2,9	3,4
To-Rebaudengo	94%	1,6	1,5	1,3	1,5	1,5	1,4	0,9	0,7	1,0	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,4	4	3,2	3,1	3,6	4,0	2,4	2,1	2,5	2,7	

\*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 2021 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 1991-2021, 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 ultimi 4 anni (2018-2021) presentano invece

<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);

un significativo miglioramento sia nella stazione di traffico sia, anche se in misura minore, nella stazione di fondo rispetto al decennio precedente.

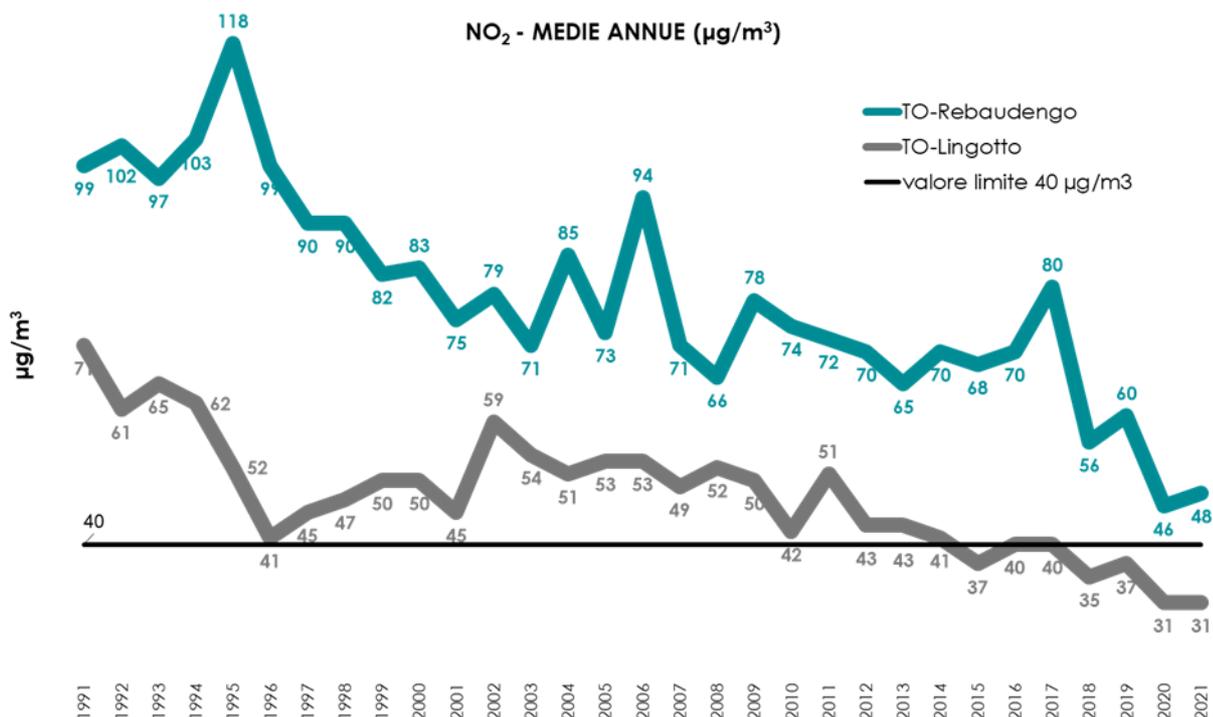


FIGURA 4: parametro NO<sub>2</sub>, andamento storico delle medie annuali, stazioni di To-Lingotto e To-Rebaudengo.

Questo accentuato miglioramento, riscontrabile anche negli altri punti di misura del territorio metropolitano (TABELLA 7), si ritiene sia in parte attribuibile alle condizioni meteorologiche particolarmente favorevoli alla dispersione degli inquinanti che hanno caratterizzato gli anni 2018 e 2019. Il netto miglioramento osservato nel 2020 si è ottenuto invece in condizioni meteo dispersive particolarmente severe ed è, al contrario di quanto avvenuto nei due anni precedenti, imputabile alla significativa riduzione del traffico veicolare causata dalla pandemia da COVID-19, in particolare nei periodi di lockdown. Il 2021, pur con una meteorologia favorevole alla dispersione degli inquinanti paragonabile a quella degli anni 2018 e 2019, ha sostanzialmente confermato i dati particolarmente contenuti misurati nel 2020 nelle stazioni di fondo e ha mostrato un lieve incremento nelle stazioni di traffico. 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.

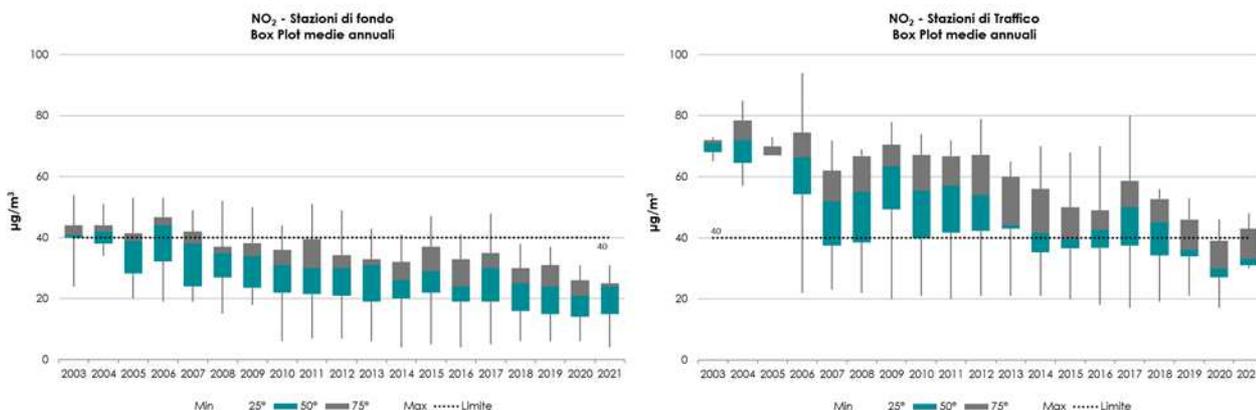


FIGURA 5: parametro NO<sub>2</sub> - distribuzione medie annuali rilevate nelle stazioni di rilevamento di fondo e di traffico.

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 fondo e di traffico 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 fondo e quelle misurate nei siti di traffico.

Relativamente ai dati del 2020, si evidenzia la riduzione delle concentrazioni a partire dalla seconda decade di marzo, con valori inferiori ai minimi del periodo di riferimento (banda verde) per tutta la "Fase 1" dell'emergenza sanitaria, durata fino al 3 maggio, e concentrazioni inferiori ai valori medi del periodo di riferimento fino a inizio giugno.

Concentrazioni inferiori ai valori medi e, in taluni casi, inferiori anche ai valori minimi degli anni di riferimento, si riscontrano anche nell'autunno 2020 e nel periodo delle festività natalizie, interessati da nuove misure per il contenimento della pandemia.

Nel 2021 i dati sono spesso al di sotto del periodo di confronto 2013-2019 sia nelle stazioni di traffico che in quelle di fondo, confermando il trend in riduzione dell'inquinante.

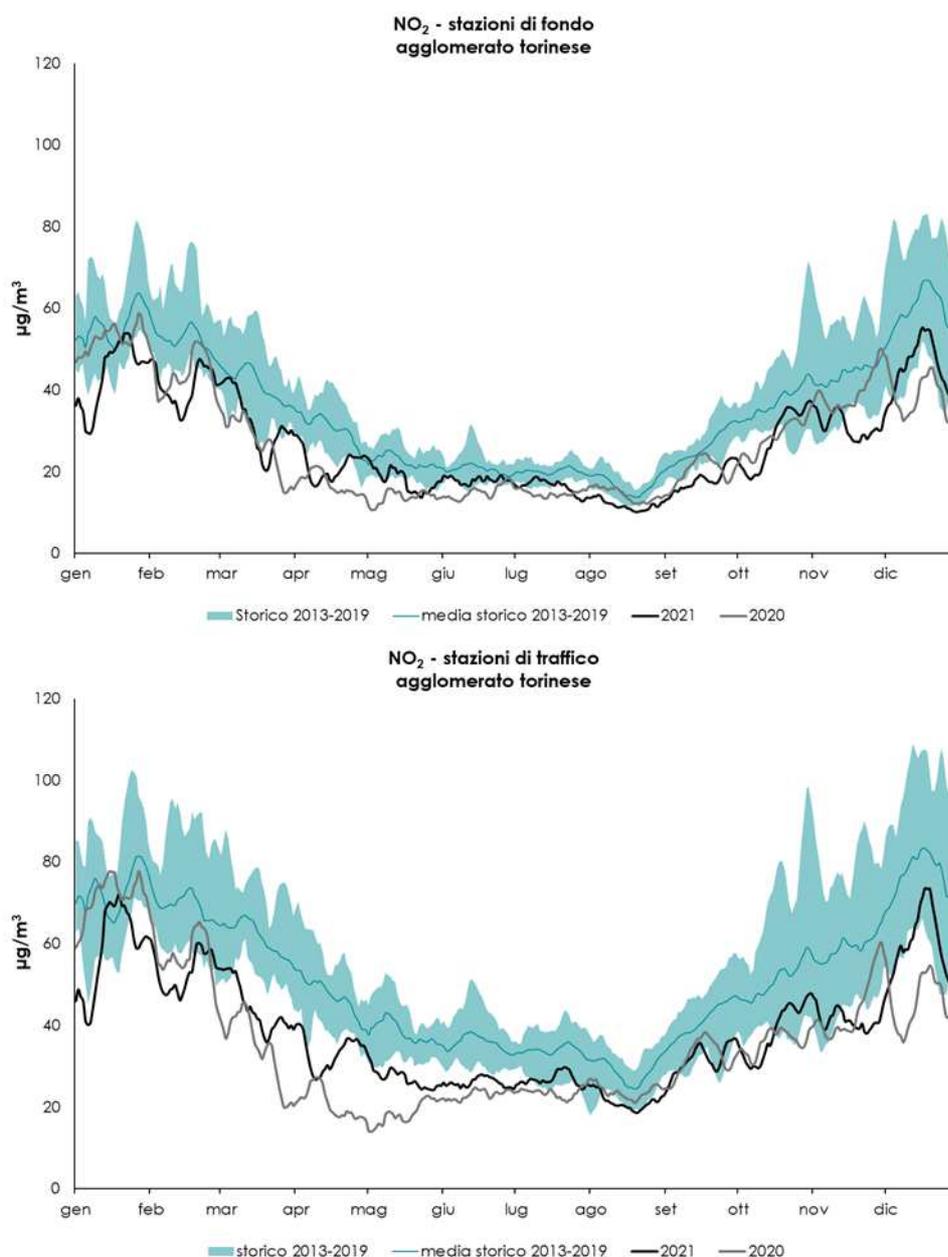


FIGURA 6: parametro NO<sub>2</sub> - serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2021 (% dati validi)	Valore limite annuale per la protezione della salute umana (40 µg/m³)										Valore limite orario per la protezione della salute (Numero di superamenti del valore di 200 µg/m³ come media oraria)									
		Media Annuale (µg/m³)																			
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Baldissero	98%	16	12	14	14	12	15	11	15	11	<b>10</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Beinasco TRM(6)	98%		41	38	47	41	48	38	31	26	<b>27</b>		0	0	0	0	0	0	1	0	<b>0</b>
Borgaro	95%	32	31	26	29	30	30	30	25	23	<b>24</b>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Carmagnola	98%	79		36	38	39	42	38	34	30	<b>31</b>	7		0	0	1	0	0	0	0	<b>0</b>
Ceresole reale	97%	7	6	4	5	4	5	6	6	6	<b>4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Chieri(1)	98%	33	28	23	25	19	23	20	21	14	<b>17</b>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Collegno	97%	40*	44	47	36	46	58	53	46	30	<b>33</b>	0*	5	0	0	4	6	0	0	3	<b>0</b>
Druento	92%	18	12	14	16	11	12	12	11	11	<b>9</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Ivrea	97%	25	25	24	26	23	25	22	24	22	<b>22</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Leini	98%	28	33	31	31	24	32	25	23	21	<b>24</b>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Orbassano	100%	35	32	32	35	32	34	30	31	29	<b>29</b>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Oulx	73%	21	21	21	20	18	17	19	21	17	<b>13*</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0*</b>
Settimo	99%	49*	43	35	41	36	36	33	36	26	<b>30</b>	12*	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
Susa	99%	22	19	20	22	20	19	16	15	14	<b>15</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>
To-Consolata	97%	59	60	59	53	50	59	52	53	42	<b>43</b>	3	5	1	1	0	1	0	0	0	<b>0</b>
To-Lingotto	97%	43*	43	41	37	40	40	35	37	31	<b>31</b>	0*	0	0	0	5	0	0	0	0	<b>0</b>
To-Rebaudengo	99%	70	65	70*	68	70	80	56	60*	46	<b>48</b>	13	31	0*	21	28	25	1	11*	0	<b>4</b>
To-Rubino	97%	49	42	39	44	35	37*	31	33	26	<b>25</b>	0	0	0	0	0	0*	0	0	0	<b>0</b>
Vinovo	93%	34	31	30	43	33	35	26*	28	21	<b>25</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 (SO<sub>2</sub>) è il naturale prodotto di ossidazione dello zolfo e dei composti che lo contengono allo stato ridotto. È un gas incolore, di odore pungente ed è molto irritante per gli occhi, la gola e le vie respiratorie; per inalazione può causare edema polmonare ed una prolungata esposizione può portare alla morte.

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

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

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

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

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

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

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

### ESAME DEI DATI

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

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

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

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

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

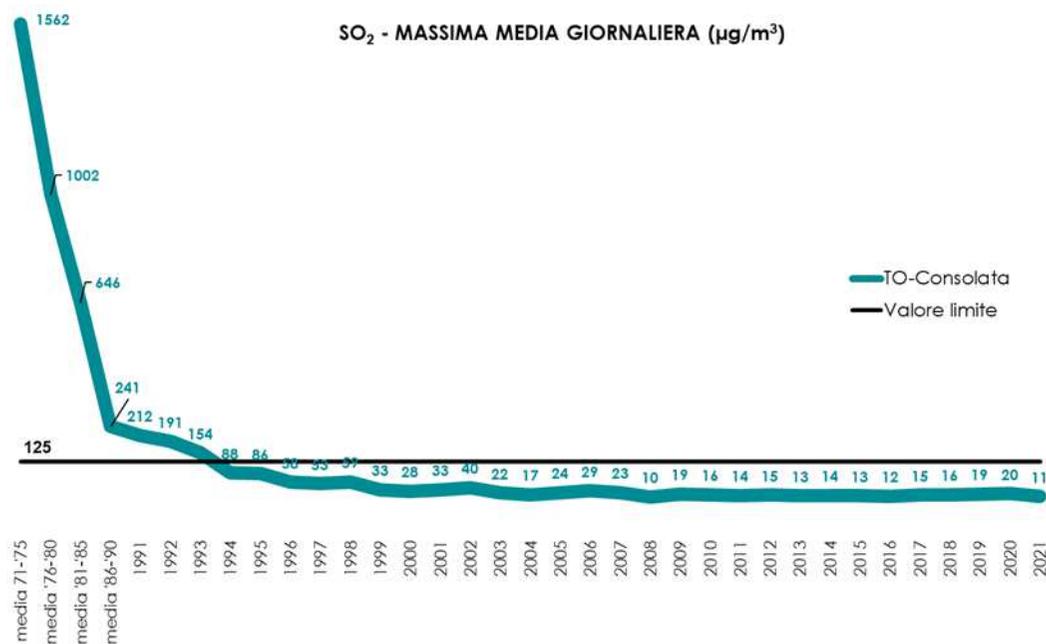


FIGURA 7: parametro SO<sub>2</sub>, massima media giornaliera su base annuale rilevata nella stazione di To-Consolata.

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									
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
To-Consolata	<b>99%</b>	6	6	7	7	6	7	7	7	7	<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>
To-Rebaudengo	<b>92%</b>	7	6	7	6	7	8	11	11	8	<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 - 31 dic										Soglia di allarme 500 µg/m <sup>3</sup> Numero di superamenti										Massimo orario µg/m <sup>3</sup>									
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
To-Consolata	<b>99%</b>	7	7	9	7	7	9	9	9	9	<b>6</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	23	15	19	19	19	21	23	26	27	<b>17</b>
To-Rebaudengo	<b>92%</b>	9	7	9	5	8	10	13	12	9	<b>6</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	33	26	24	17	25	39	21	21	22	<b>29</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 2020<sup>6</sup> - riferito tuttavia agli anni fino al 2018 - riconosce che 20 stati membri dell'UE presentano nel 2018 concentrazioni giornaliere 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 5.1 di pagina 60 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 che il 2021, come già il 2020, è stato uno degli anni con il minore numero di superamenti nell'ultimo decennio. Complessivamente nell'area della Città Metropolitana nel 2021 ci sono stati solo 35 superamenti del limite (nel 2020 erano stati 34, nel 2019 122), principalmente nelle stazioni di Borgaro, Druento e Orbassano. La diminuzione dei superamenti complessivi a partire almeno dal 2015 è evidente.

Un'ulteriore dimostrazione della diminuzione negli anni delle concentrazioni di picco di ozono, è rappresentato dall'analisi dei dati sui superamenti della soglia di allarme. Anche nel 2021 la soglia di allarme di 240 µg/m<sup>3</sup> come media oraria su tre ore consecutive non è stata superata in nessuna

<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 Air quality in Europe - 2020 report, 59-70

stazione di rilevamento del territorio della Città Metropolitana di Torino, come già avvenuto nei sette anni precedenti (2014-2020). Viene confermato quindi il trend in decrescita in atto dal 2008.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2021 (% dati validi)	Soglia di informazione 180 µg/m³ come media oraria Numero di superamenti									
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Baldissero	94%	12	16	14	26	1	3	0*	3	0	0
Borgaro	96%	2	0	2	32	15*	6	2	5	0*	4
Ceresole	100%	5	6	0	0	1	1	0*	0	0	0
Chieri	96%	0 <sup>(1)*</sup>	0	9*	0	1	4*	0*	1	0	0
Druento	95%	63	42	26	69	36	46	3	17	32*	10
Ivrea	96%	0	0*	1	4	0	7	0	1	2	0
Leini	96%	0	0	2	3	4	1	0*	5	0	0
Orbassano	95%	14	4	7	68	39	79	9	34	1	18
Susa	97%	0	0	0	0	12	5	0	0	0	0
To-Lingotto	90%	3	0*	18	8	8	7	3*	18	0	1*
To-Rubino	93%			6 <sup>(2)</sup>	3	12	6	4*	29	0	2
Vinovo	93%	0	0	4	1	4*	12	9*	8*	0	0

(1) strumento operativo dal 17/02/12

(2) 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.

Come più volte sottolineato nei precedenti report, un fattore di influenza importante per le concentrazioni annuali e stagionali di ozono è rappresentato dalla meteorologia, spesso in grado di spiegare molta della variabilità inter-annuale delle concentrazioni di ozono.

In Piemonte, il 2021 è stato ancora un anno mediamente caldo, anche se non come i precedenti. Si è trattato del 15° anno più caldo dal 1958, con un'anomalia termica complessiva di +0.8 °C rispetto alla climatologia del periodo di riferimento (1971-2000). L'anomalia termica ha interessato quasi tutto l'annata, in particolare i mesi di giugno e settembre in cui le temperature sono risultate quasi sempre superiori alla norma. Infatti, proprio nei mesi estremi del periodo estivo si è concentrato mediamente il 50% dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana, come vedremo più avanti. Ciononostante, la temperatura media del semestre caldo registrata nella stazione di Torino-Consolata è risultata leggermente inferiore a quella degli ultimi 4 anni, soprattutto a causa delle basse temperature medie misurate ad aprile e maggio, tra i mesi primaverili più freddi degli ultimi 64 anni (FIGURA 8).

In merito alle precipitazioni cumulate, il 2021 è stato un anno poco piovoso in Piemonte, con un deficit di circa il 18% rispetto alla media del periodo 1970-2000. Tuttavia, nella stazione di Torino-Consolata, presa come riferimento per la città Metropolitana di Torino, nel semestre caldo sono caduti complessivamente 604 mm di pioggia, valore inferiore ai dati del 2019 e del 2020, ma prossimo alla media degli ultimi 15 anni (587 mm). In particolare, sono stati molto piovosi giugno e luglio, poco tutti gli altri mesi primaverili-estivi, soprattutto agosto, con solo 52 mm di pioggia caduti (FIGURA 8).

Complessivamente nella Città Metropolitana di Torino, il semestre estivo del 2021 è stato caratterizzato da una temperatura media leggermente inferiore a quella del periodo 2005-2020, mentre le precipitazioni sono state in linea con la media del periodo di riferimento.

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 2021.

**TEMPERATURA MEDIA E SOMMA DELLE PRECIPITAZIONI ATMOSFERICHE  
(periodo aprile-settembre) ANNI 2012-2021**

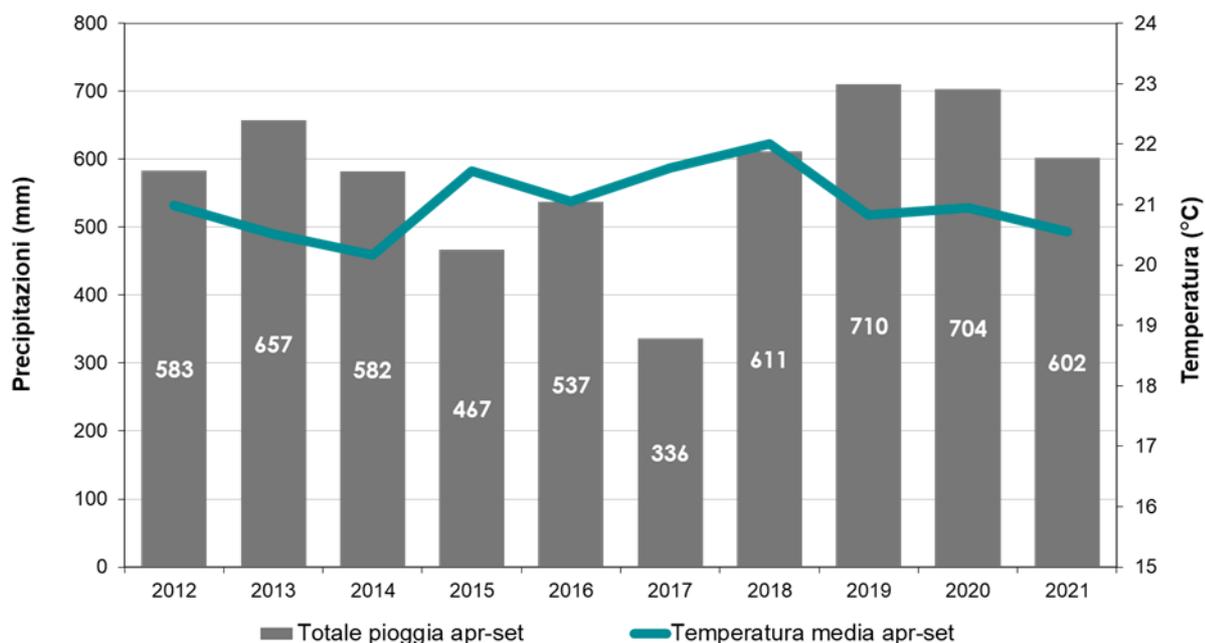


FIGURA 8: temperatura media e somma delle precipitazioni atmosferiche, nel periodo aprile-settembre, anni 2012-2021, stazione di To-Consolata.

	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 2019-2021 (3)
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Baldissero	74	88	51	62	60	72	61*	67	46	70	<b>61</b>
Borgaro	41	27	10	71	51*	40	39	31	34*	63	<b>43</b>
Ceresole	77	58	26	57	40	38	10*	24	21	21	<b>22</b>
Chieri	53*(1)	36	41	73	52	56*	58*	42	5	31	<b>26</b>
Druento	87	72	21	59	59	54	49	41	56*	63	<b>53</b>
Ivrea	42	31*	19	61	24	48	44	33	37	45	<b>38</b>
Leini	37	34	8	39	45	34	23*	40	28	46	<b>38</b>
Orbassano	65	66	34	74	78	83	76	59	70	83	<b>71</b>
Susa	45	38	5	20	46	56	31	23	22	49	<b>31</b>
To-Lingotto	45	39*	43	57	44	38	47*	61	40	72	<b>58</b>
To-Rubino			18(2)	53	52	43	47*	51	53	55	<b>53</b>
Vinovo	64	47	13	31	42*	52	64*	46*	34	38	<b>39</b>

(1) strumento operativo dal 17/02/2012

(2) strumento operativo dal 23/05/2013

(3) 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 Ceresole Reale, 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 22 superamenti della stazione di Ceresole Reale ai 71 della stazione di Orbassano, con una media della città Metropolitana di Torino di 44 superamenti, superiori in numero a quelli ammessi dalla normativa e simile al dato registrato nel 2020 (43).

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 2021 solamente la stazione di Ceresole Reale 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 2003. 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 (2003-2007), mentre negli ultimi 15 anni gli indici statistici rimangono abbastanza costanti nel tempo, al netto delle peculiarità meteorologiche del singolo anno di misura. Di fatto 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.

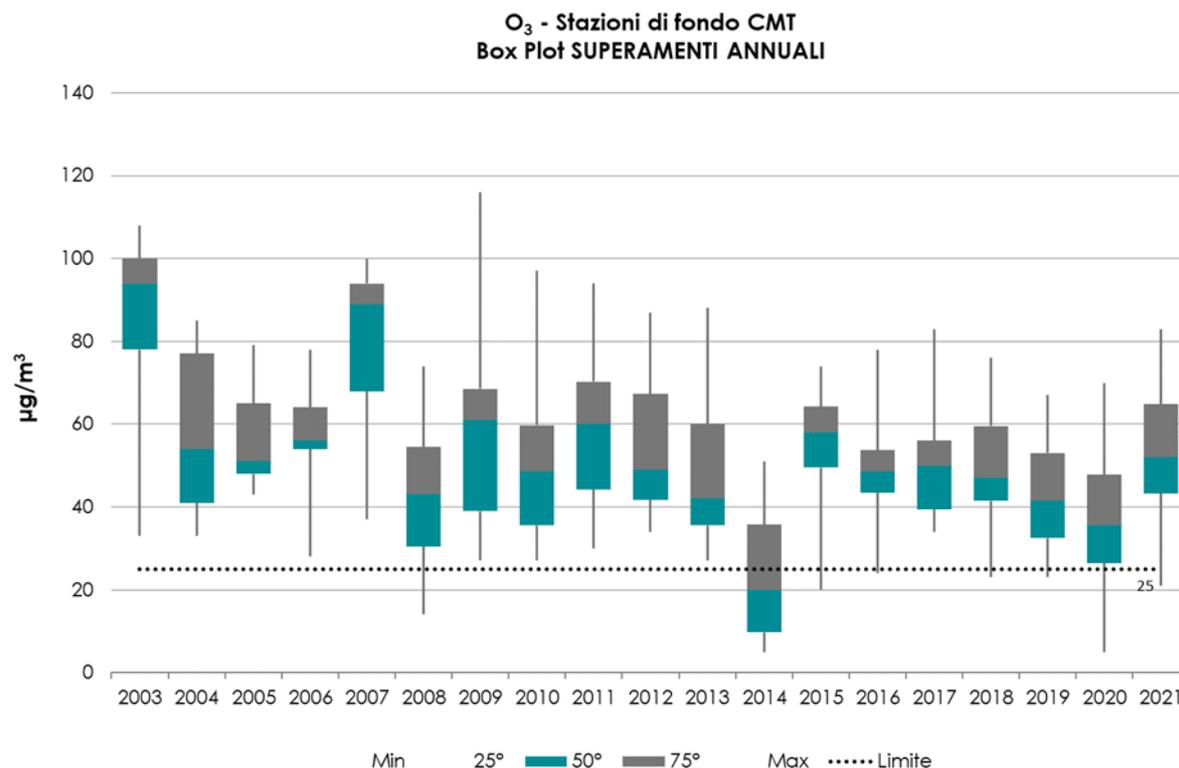


FIGURA 9: rappresentazione a "box plot" dei superamenti annuali del valore obiettivo nella CMT anni 2003-2021.

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 varia di poco rispetto al quinquennio 2016-2020 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. Si può osservare che l'AOT40 del 2021 per Baldissero e Druento, aumenta rispetto al 2020, mentre per Ceresole diminuisce

leggermente. 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 18000  $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$  e rimane molto superiore all'obiettivo a lungo termine di 6000  $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ , fissato dalla legislazione europea nella direttiva 2008/50/CE.

	DECRETO LEGISLATIVO n. 155/ del 13/08/2010 Valore obiettivo per la protezione della vegetazione AOT 40 (18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$ )										
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	MEDIA 2017-2021
Baldissero	30256	38576	28525	36285	23327	32186	24211*	35254	22378	<b>28382</b>	<b>29550</b>
Druento	38098	32780	23341	36839	27031	33531	19952	21808	17039*	<b>22785</b>	<b>24519</b>
Ceresole	35311	30089	23159	32688	23285	25714	15148*	23358	21016	<b>19360</b>	<b>22362</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 2021, 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. Le temperature sopra la media di giugno e settembre hanno contribuito a stabilire una sorta di plateau nella curva della temperatura che si riverbera nel numero di superamenti del valore obiettivo per il parametro ozono. I superamenti compaiono già a marzo per tutte le stazioni e raggiungono il massimo nel mese di giugno per Baldissero e To-Lingotto e addirittura a settembre per Ceresole Reale. Le basse temperature di aprile e soprattutto maggio, hanno comportato un numero di superamenti del valore obiettivo inferiore a quello atteso per tutte le stazioni di misura considerate.

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, è ben evidente una tendenza alla diminuzione delle concentrazioni medie di ozono del periodo aprile-settembre da quando sono iniziate le misurazioni. Baldissero Torinese passa 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 sono diminuite da 102  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2010 a 85  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2021. Il decremento fin qui registrato è stato rispettivamente del 12% e del 15%. I dati esposti confermano quanto già rilevato dall'EEA nei suoi report: nel corso degli anni è stato possibile individuare in tutto il territorio europeo un leggero e generalizzato calo nelle concentrazioni di ozono in particolare presso le stazioni rurali.

Altrettanto non è possibile dire per le stazioni urbane, benché di fondo. Dal grafico di FIGURA 11 si osserva che a To-Lingotto le concentrazioni medie annue di ozono, benché inferiori in assoluto a quelle delle stazioni rurali, non diminuiscono dal 1993 al 2021, ma addirittura aumentano. Per la stazione di To-Lingotto nel 2021 la media di ozono estivo (il periodo di mediazione va da aprile a settembre) è stata di 83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , il valore più alto della intera serie storica e il più prossimo ai dati delle stazioni rurali. Se questo dato venisse confermato nei prossimi anni, si tratterebbe di un incremento nelle concentrazioni estive di ozono di quasi il 25% negli ultimi 30 anni.

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 2018 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 2021**

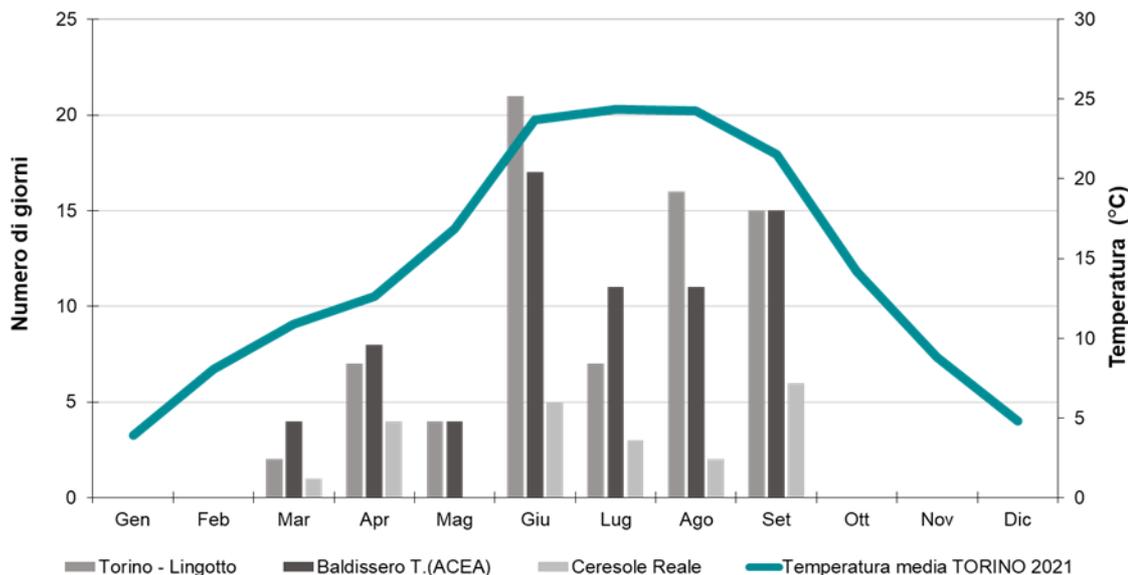


FIGURA 10: ozono - distribuzione temporale dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per le stazioni di Torino-Lingotto, Baldissero Torinese e Ceresole, anno 2021.

**O<sub>3</sub> - CONCENTRAZIONI MEDIE ESTIVE (aprile - settembre)  
trend storico**

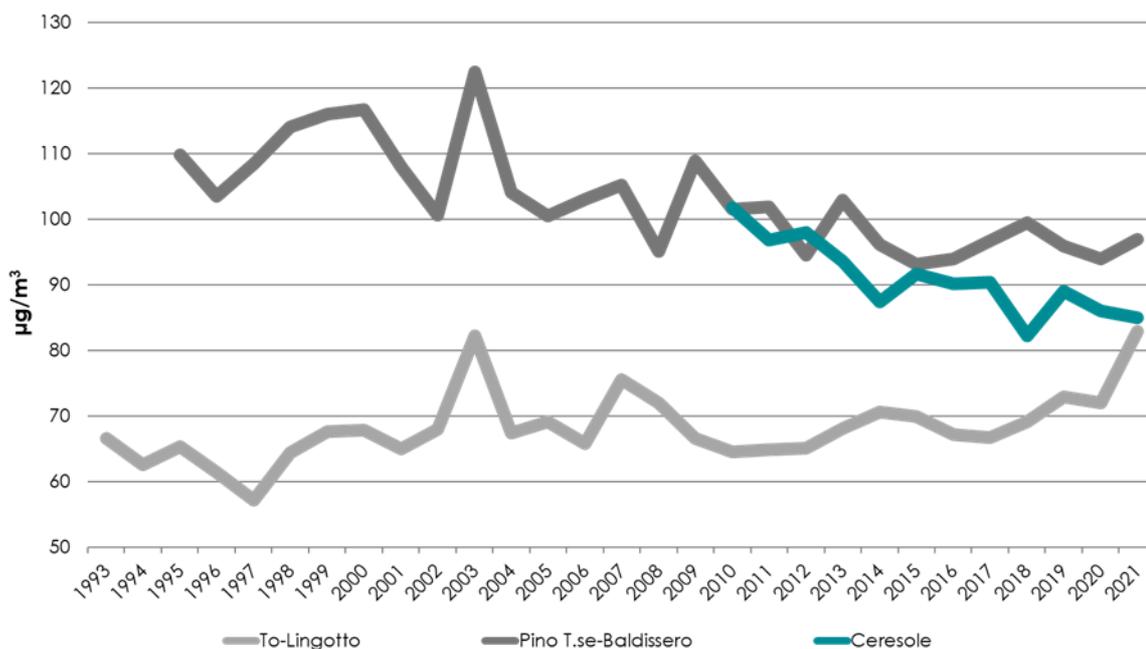


FIGURA 11: ozono, medie di concentrazione nel periodo aprile-settembre dal 1993 al 2021.

## BENZENE

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

A. Bertello, Città metropolitana di Torino.

### DESCRIZIONE

Il benzene ( $C_6H_6$ ) è un composto chimico che a temperatura ambiente e pressione atmosferica si presenta allo stato liquido.

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

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

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

Il benzene è una sostanza classificata:

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

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

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

Stime dell'Organizzazione Mondiale della Sanità indicano che, a fronte di un'esposizione a  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di benzene per l'intera vita, quattro persone ogni milione sono sottoposte al rischio di contrarre la leucemia.

VALORE LIMITE		
Periodo medio	Valore limite (293°K e 101,3 kPa)	Data di entrata in vigore del valore limite
Anno civile	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	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  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come media annuale) è rispettato, anche grazie all'introduzione, da luglio 1998, del limite dell'1% del tenore di benzene nelle benzine ed al progressivo aumento del numero di auto con catalizzatore ossidante sul totale degli autoveicoli circolanti.

La TABELLA 15 evidenzia che le medie annuali misurate nel 2021 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 inferiori alla metà del valore limite. Il 2021 conferma la significativa riduzione delle concentrazioni osservata nell'ultimo periodo in tutti i siti di monitoraggio. Tutte le misure sembrano assestarsi su un valore di fondo pari a circa  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di media annuale. Solo il sito di traffico di To-Rebaudengo presenta una concentrazione media annuale lievemente più alta, pari a  $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . I dati misurati confermano che il parametro benzene è efficacemente sotto controllo.

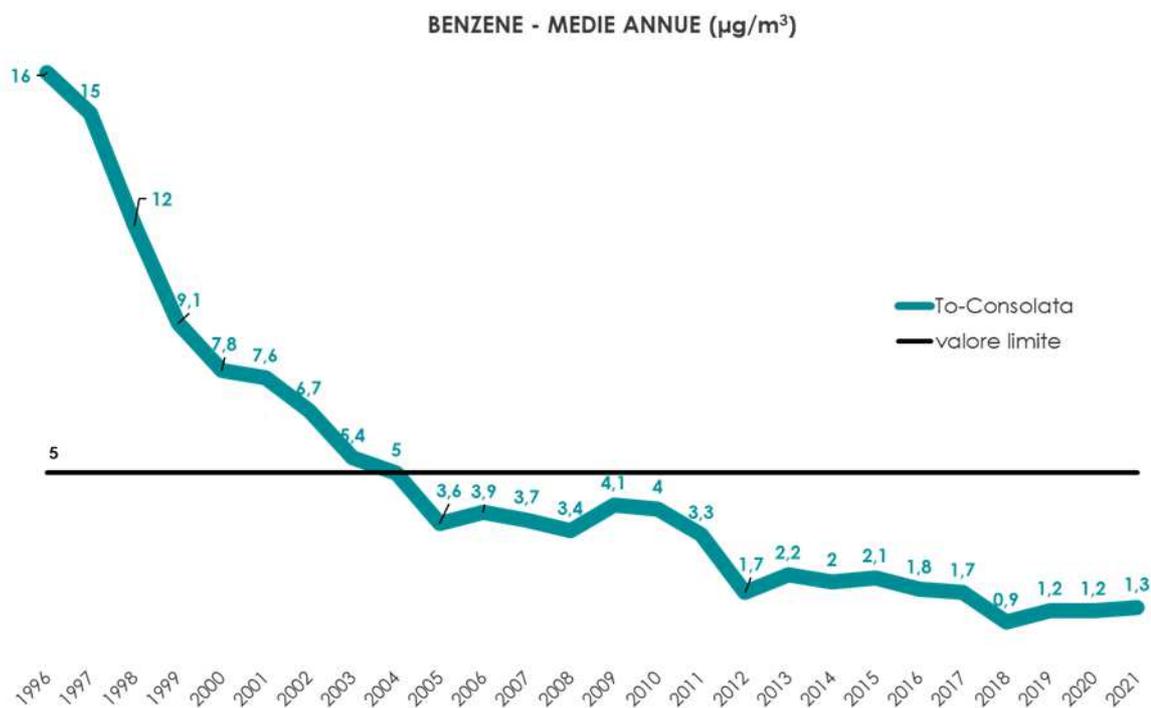


FIGURA 12: concentrazioni medie annue di benzene rilevate negli anni 1996-2018.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2020 (% dati validi)	VALORE MEDIO ANNUO									
		Valore limite annuale: 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$									
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Beinasco (TRM)	92%		2,2*	2,1*	1,3	1,3	1,3	1	1*	1	<b>1</b>
Borgaro T.se	92%		1,5	1,4	1,3	1,2	1,3	1,1	1	1,2*	<b>1</b>
Settimo T.se	95%		2,0	2,1	2,3	2,1*	1,6*	0,9	1,1	1,2	<b>1,1</b>
To-Consolata	96%	1,7	2,2	2,0	2,1	1,8	1,7	0,9	1,2*	1,2*	<b>1,3</b>
To-Lingotto	89%	1,3	1,2*	1,0	1,1*	1,1*	1,1*	1*	0,9*	0,8*	<b>1*</b>
To-Rebaudengo	92%	2,0	2,0	2,4*	2,6	2,1	2,3	1,5	1,8*	1,6	<b>1,6</b>
To-Rubino	96%	2,6	2,5	2,2	2,1*	1,6	1,3	1,1	1	1	<b>0,9</b>
Vinovo	88%	1,2	1,7*	1,2*	1,6	1,4	1,5	1,1	1	1,1	<b>1,1*</b>

\* 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>7</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 2021 mostrano un lieve decremento nelle medie annuali rispetto all'anno precedente, così anche per quanto riguarda il numero di superamenti del valore limite di 24 ore, per i quali la decrescita è stata molto più decisa.

Nel modulare le concentrazioni del particolato atmosferico la meteorologia gioca un ruolo fondamentale ed il 2021, a differenza dell'anno precedente, è stato caratterizzato da una meteorologia favorevole alla dispersione atmosferica degli inquinanti, riallineandosi alle condizioni osservate nel 2018-2019. Questo ha determinato un decremento delle concentrazioni del particolato atmosferico. Dal punto di vista climatico l'anno 2021 in Piemonte è stato il 15° più caldo degli ultimi 64 anni, con un'anomalia termica media attorno a +0,8 °C rispetto alla climatologia del periodo 1971-2000. L'apporto delle precipitazioni totali annue è stato pari a 858,4 mm, con un deficit di 192.1 mm (pari al 18%) portando il 2021 ad essere il 16° anno meno piovoso a partire dal 1958. In questo

<sup>7</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.

anno, tuttavia, si è verificato l'evento alluvionale dei giorni 3-5 ottobre, in cui alcune stazioni della rete meteorografica ligure-piemontese hanno stabilito dei primati italiani.

Gli 84 giorni di foehn annuali sono il secondo valore più alto del nuovo millennio dopo gli 86 episodi giornalieri del 2019.<sup>8</sup>

Il numero di occorrenze di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 nel 2021 è stato pari a 100 giorni (FIGURA 80) secondo valore più basso della serie storica a disposizione. L'andamento mensile dell'indice (FIGURA 81) si attesta su valori medio bassi rispetto al periodo di riferimento. Si evidenziano il mese di gennaio particolarmente piovoso ed estremamente favorevole alla dispersione degli inquinanti e il mese di dicembre, leggermente più siccitoso e critico della media.

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.

Considerando l'insieme delle stazioni metropolitane esistenti e con dati validi in entrambi gli anni 2020-2021, si osserva un decremento delle concentrazioni medie dell'8% rispetto al 2020.

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 2021 è dal 12 ottobre fino a fine anno. Utilizzando per questi mesi i valori medi rilevati nelle altre stazioni operanti nella città di Torino, si stima una media annuale di  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e un numero di 59 superamenti del valore limite giornaliero.

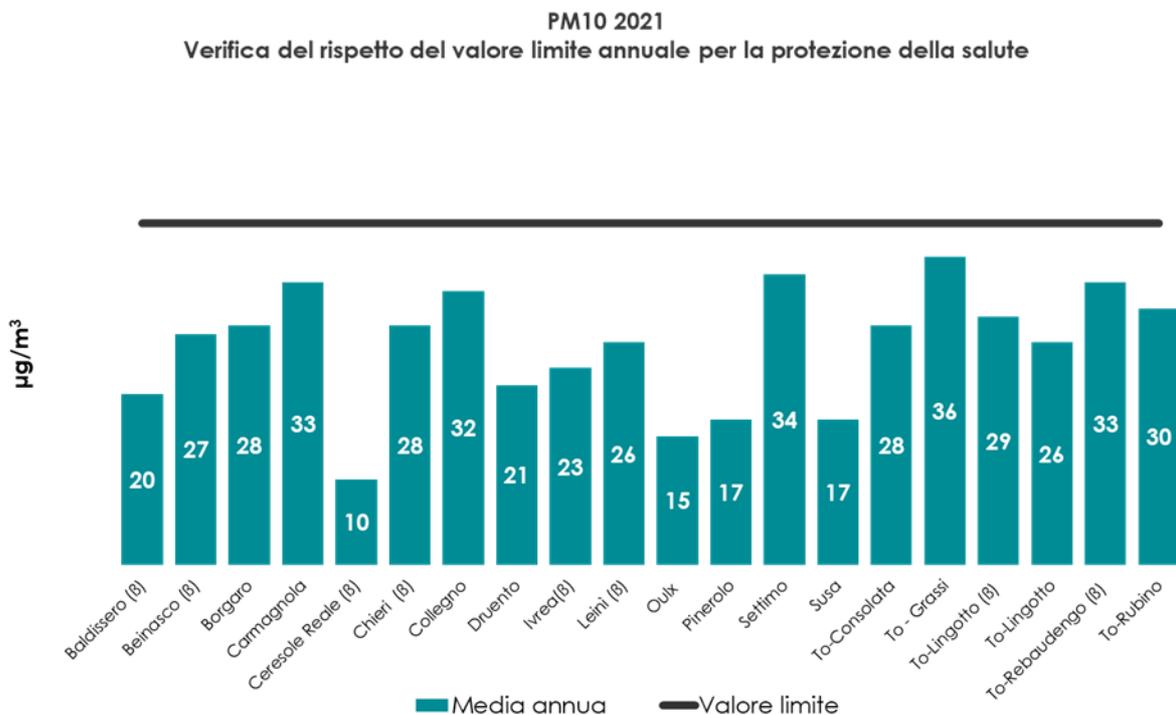


FIGURA 13: valore medio annuale misurato presso le stazioni di monitoraggio metropolitane.

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 2021 i mesi più critici sono stati i siccitosi febbraio e dicembre. Da aprile a settembre prevalgono condizioni di instabilità atmosferica favorevoli alla dispersione degli inquinanti; pertanto, anche nelle stazioni più critiche i valori medi mensili risultano nell'intorno dei  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Il Decreto Legislativo 155/2010 stabilisce anche un limite giornaliero ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e un numero massimo di superamenti di tale valore nel corso dell'anno, pari a 35. Tale limite risulta più stringente di quello annuale<sup>9</sup> e pertanto nella maggior parte delle stazioni non è rispettato (FIGURA 15). Il numero

<sup>8</sup> Arpa Piemonte Sistemi Previsionali, Il clima in Piemonte - Anno 2020

<sup>9</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

maggiore di superamenti del limite giornaliero si è verificato a To-Grassi ed è stato pari a 75, seguita da To-Rebaudengo con 65 superamenti, entrambe stazioni di traffico, ma anche nelle stazioni di fondo urbano di To-Rubino e To-Lingotto la situazione si mostra problematica con 57 e 40 superamenti rispettivamente.

Al di fuori della città di Torino le stazioni più critiche sono quelle di Settimo Torinese (64 superamenti), Collegno (57 superamenti), e Carmagnola (49 superamenti).

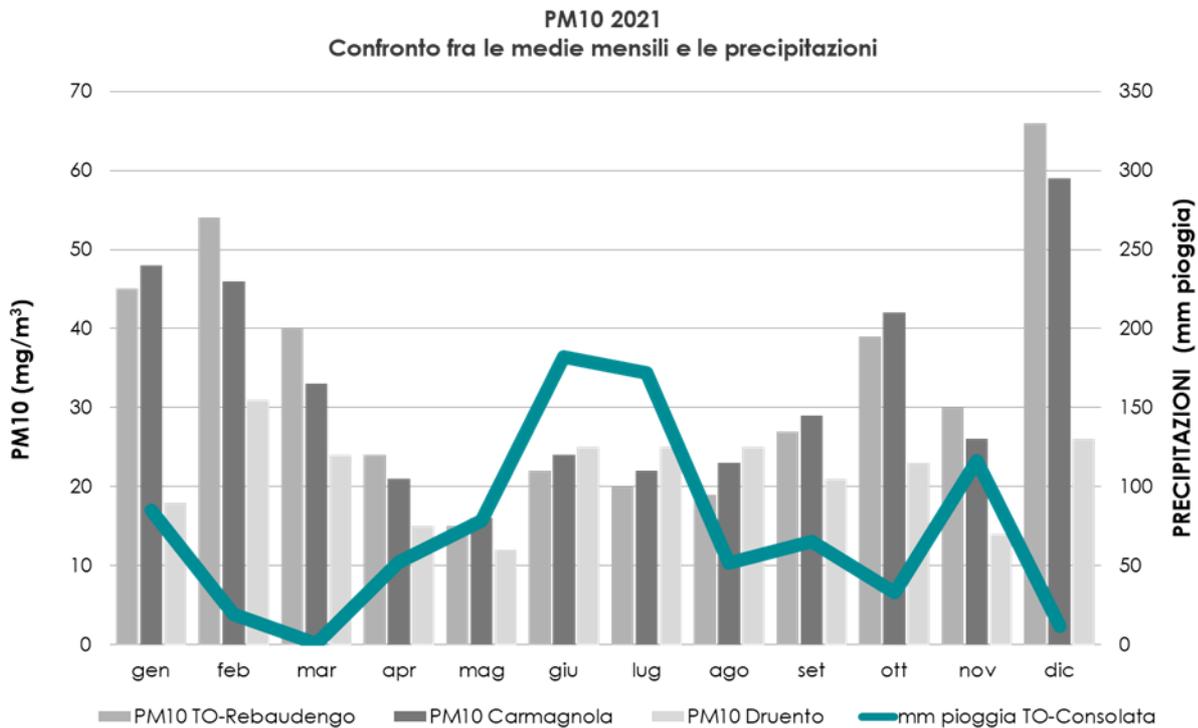


FIGURA 14: andamento delle precipitazioni atmosferiche e delle concentrazioni di PM10 in alcune stazioni della città metropolitana di Torino nell'anno 2021.

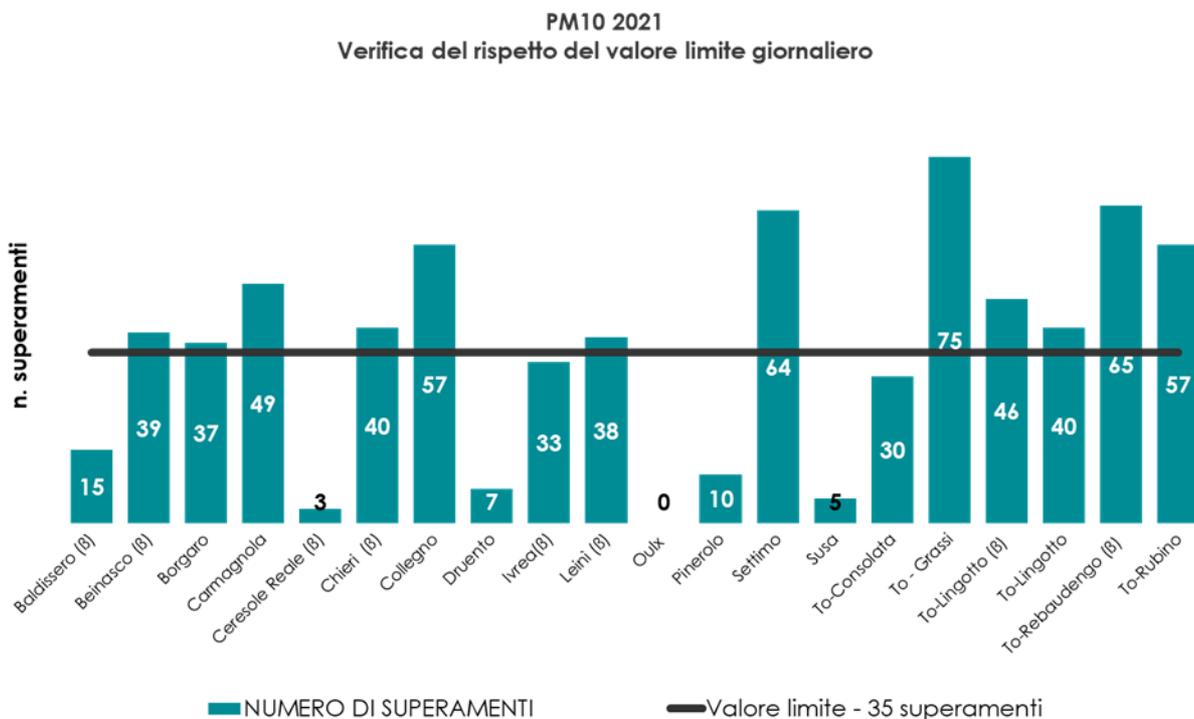


FIGURA 15: parametro PM10, numero di superamenti del limite di 24 ore per la protezione della salute ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come media giornaliera). NB: il dato di To-Consolata è sottostimato per insufficiente rendimento strumentale.

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 quattro 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 caratterizzato 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 17b, ma nel 2021 ancora più del 45% delle stazioni supera l'indicatore normativo.

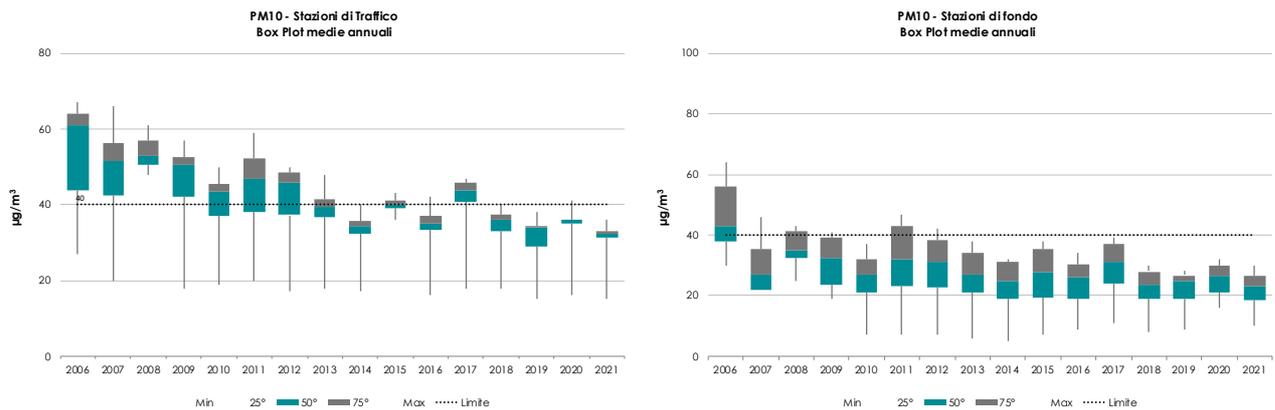


FIGURA 16: : box plot delle distribuzioni medie annuali rilevate nelle stazioni di monitoraggio di traffico e di fondo.

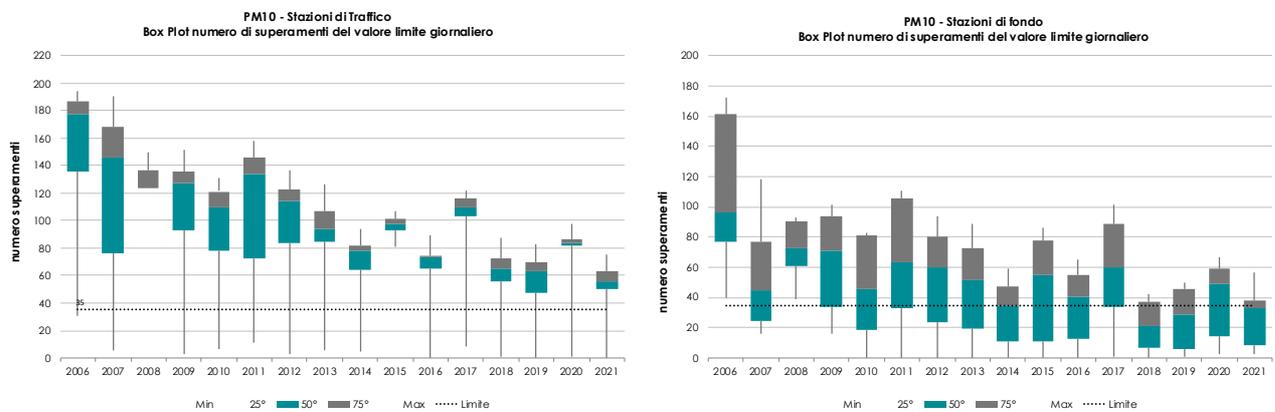


FIGURA 17: box plot delle distribuzioni del numero di superamenti del valore limite per le concentrazioni medie giornaliere misurate presso le stazioni di monitoraggio di traffico e di fondo.

Nei grafici di FIGURA 18 sono riportate le serie temporali delle concentrazioni delle polveri PM10 misurate nel 2020 e nel 2021 dalle stazioni della Città Metropolitana rispetto al periodo di riferimento 2013-2019. L'anno 2020 si è utilizzato come confronto, in quanto caratterizzato dal periodo delle restrizioni imposte dal lockdown a causa del Covid-19, nel quale parte delle emissioni si sono ridotte. 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 2021 (in nero) e del 2020 (in grigio tratteggiata) sono confrontate con i valori massimi, minimi (banda azzurra del grafico) e medi (linea azzurro scuro) misurati dai medesimi gruppi di stazioni negli anni presi come riferimento (2013-2019).

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 FIGURA 18 (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).

Nel 2020, tra metà ottobre e fine novembre, si evidenzia per tutte le stazioni un lungo periodo di incremento delle concentrazioni, con accumulo del PM10 attribuibile alle persistenti condizioni di stabilità anticiclonica e alle conseguenti rare precipitazioni che si sono verificate nel periodo. Il fenomeno è maggiormente evidente nelle stazioni di pianura situate sia all'interno che all'esterno dell'area metropolitana torinese. Esaminando l'andamento del 2021 è particolarmente evidente il picco nelle concentrazioni tra il 23 ed il 27 febbraio, dovuto a fenomeni di trasporto di polvere e sabbia dal Sahara sul settore occidentale, che ha interessato il Piemonte anche nelle stazioni in quota. Invece, al di sotto della media 2013-2019 i primi giorni di gennaio, caratterizzati da intensa pioggia; il periodo dalla seconda metà di gennaio a metà febbraio, e tutto il mese di novembre, sempre per fenomeni piovosi.

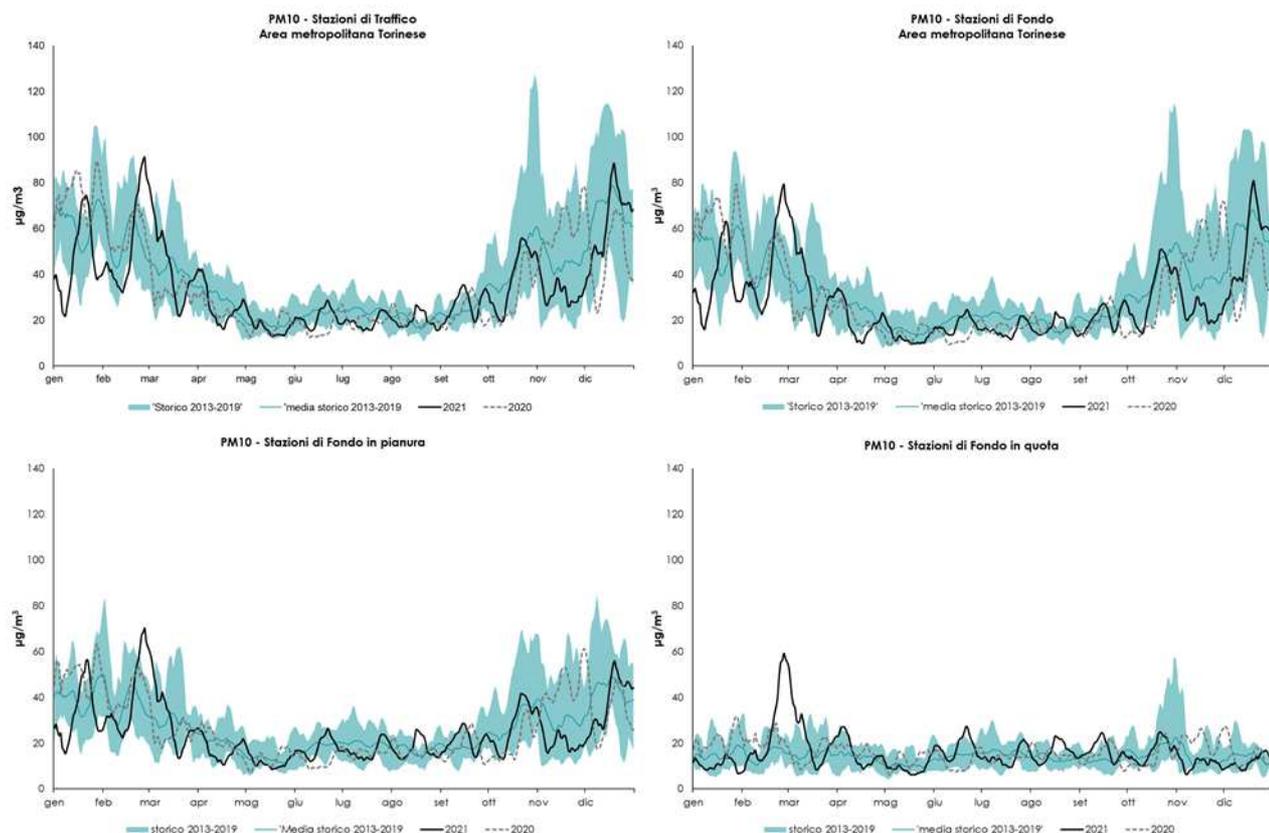


FIGURA 18: PM10 Città Metropolitana di Torino: serie temporale delle medie mobili su 7 giorni delle concentrazioni giornaliere del 2020 e del 2021 confrontate con i dati del periodo di riferimento.

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  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  da raggiungere entro l'anno 2015, sia stato rispettato.

La rete della città metropolitana di Torino nel corso degli anni è stata arricchita di numerosi campionatori, infatti oltre a quelli "storici" delle stazioni di To-Lingotto e Leini, attivi da quindici 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 2021 la concentrazione media di PM<sub>2,5</sub> su base annuale è diminuita ed il valore limite è stato rispettato in tutte le stazioni, come avviene dal 2018. Il trend su lungo periodo è decrescente per tutte le stazioni. La stazione di Ceresole invece rappresenta un'area rurale non soggetta ad emissioni antropiche e pertanto ha valori minimi.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2021 (% giorni validi)	PM <sub>2,5</sub> - VALORE MEDIO ANNUO									
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Beinasco – TRM (β)	96%	38*	25	23	26	23	26	20	20	21	18
Borgaro	95%	31	27	23	26	23	27	22	19	21	20
Ceresole Reale (β)	88%	5*	5*	4	6*	7	9	8*	6*	6*	7
Chieri (β)	98%	43*	28	22	24	22	27	22	20	21	21
Ivrea	99%	27	24*	19*	24	20	24	19*	16	19	17
Leini (β)	96%	29*	26	22	30	24	26*	17*	20*	22	16
Settimo (β)	94%	37	33	26	31	26	30	24	22	23	23
To-Lingotto (β)	94%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20
To-Lingotto	82%	33	29	24	27*	23	27	21*	19	22	18*
To-Rebaudengo (β)	96%	-	-	25*	27*	29*	33	25	25*	22*	23
To-Rubino (β)	86%	-	-	23*	28*	23*	27	23*	20	20	19*

(\*) 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 2021 nella stazione di To-Lingotto il PM<sub>2,5</sub> costituisce in media circa il 77% del PM<sub>10</sub> nel semestre freddo e il 71% nel semestre caldo.

**PM10 E PM2,5 CONFRONTO DELLE MEDIE MENSILI**  
**Stazione di Torino Lingotto - anno 2021**

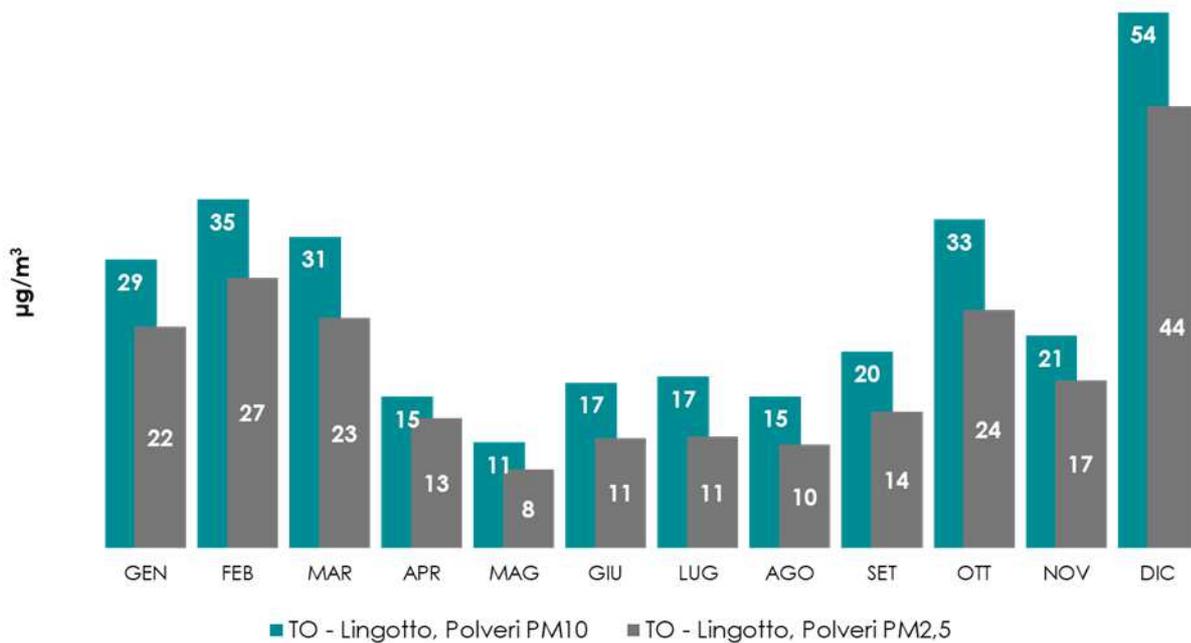


FIGURA 19: confronto tra PM2,5 e PM10 presso la stazione di To-Lingotto.

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>10</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>11</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>12</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 risollevarimento della frazione più grossolana del particolato nel periodo estivo.

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

<sup>10</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>11</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>12</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.liferepair.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 2021 le massime medie mensili si sono registrate a febbraio, marzo ed aprile; 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 2010-2020. In febbraio la media è stata notevolmente influenzata da un fenomeno di trasporto di sabbie dal Sahara, avvenuto dal 23 al 27 febbraio (il massimo è stato il 23 febbraio, pari a  $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ); a marzo un fenomeno di trasporto ha influenzato le concentrazioni dal 3 al 5 del mese, facendo registrare il massimo mensile il 4 marzo ( $58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

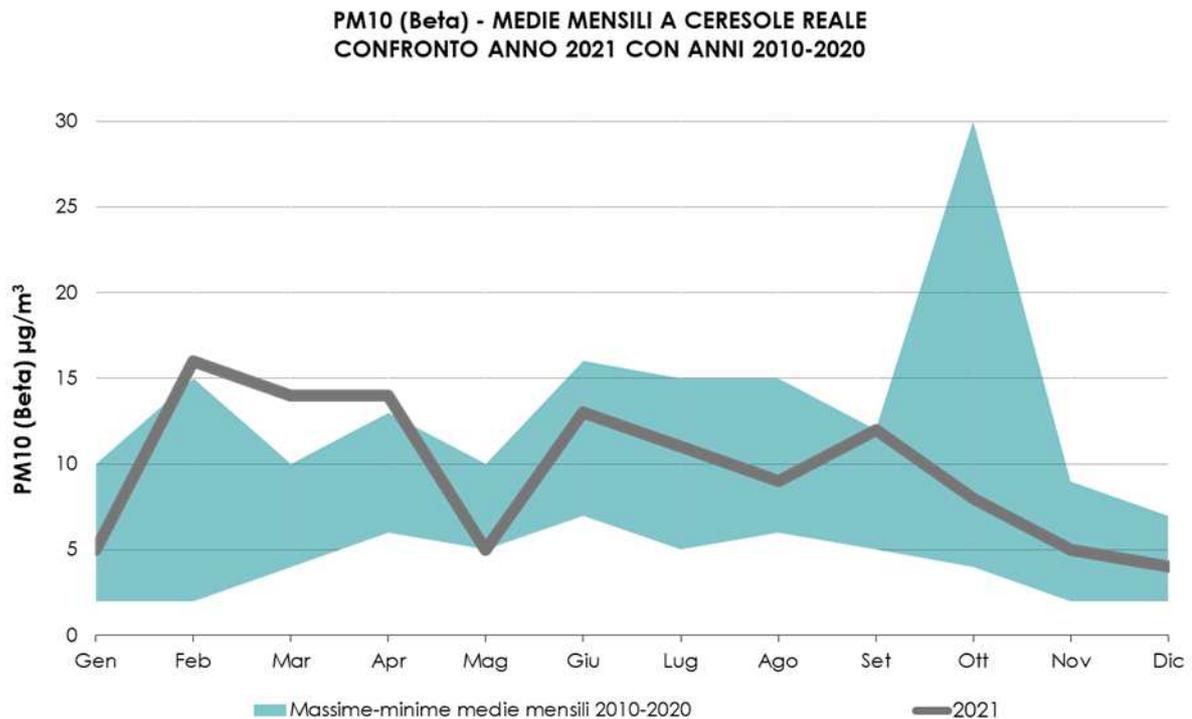


FIGURA 20: confronto tra le medie mensili di PM10 nel 2021 con le medie 2010-2020 presso la stazione di Ceresole Reale.

### 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 42 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 ed i miglioramenti nell'efficienza dei motori e nelle emissioni degli autoveicoli.

**CONCENTRAZIONI MEDIE ANNUE DI PARTICOLATO TOTALE SOSPESO**  
**Stazioni di Torino (1980-2021)**

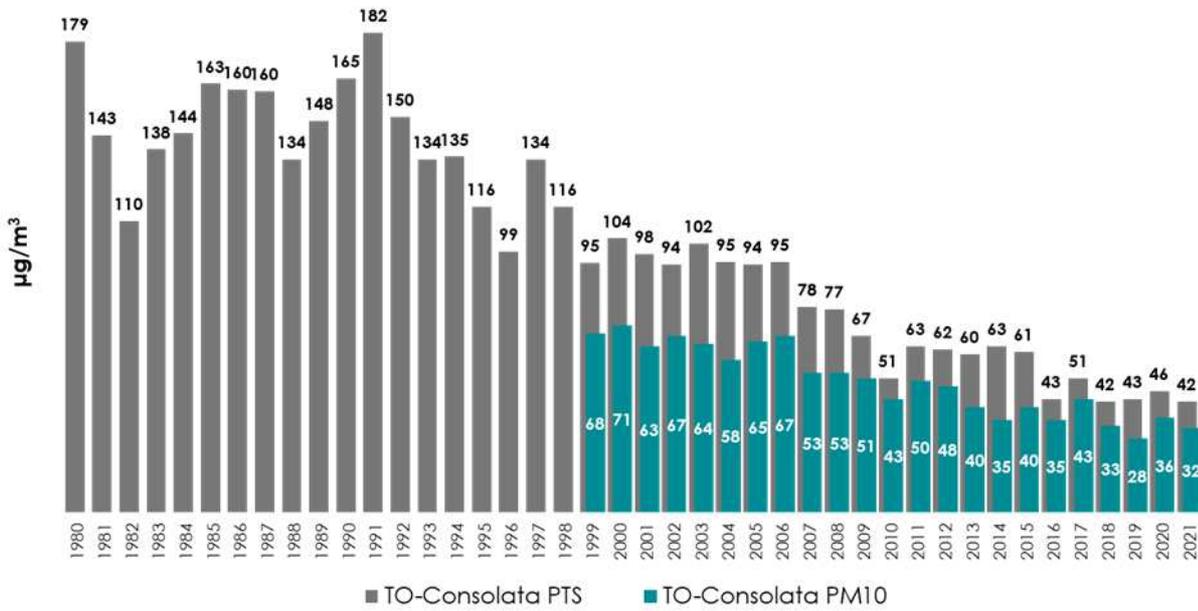


FIGURA 21: parametro PTS, medie annuali misurate nelle stazioni di Torino dal 1980 al 2021.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2021 (% 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)									
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Baldissero (B)	82%	21	17	14*	17	14	11	8	18*	22	<b>20*</b>	17	9	6*	8	1	1	0	5*	22	<b>15*</b>
Beinasco (B)	96%	<b>48*</b>	33	30	33	29	36	28	27	28	<b>27</b>	<b>37*</b>	<b>70</b>	<b>47</b>	<b>68</b>	<b>52</b>	<b>88</b>	<b>41</b>	<b>49</b>	<b>59</b>	<b>39</b>
Borgaro (B)	93%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>27</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>33</b>
Borgaro	90%	<b>42*</b>	<b>35*</b>	<b>31*</b>	<b>35*</b>	31	38	30	26*	30	<b>28</b>	<b>90*</b>	<b>75*</b>	<b>44*</b>	<b>71*</b>	<b>54</b>	<b>90</b>	<b>42</b>	28*	<b>51</b>	<b>37</b>
Carmagnola	87%	<b>50</b>	<b>42</b>	36	<b>41</b>	37	<b>45</b>	36	35	36	<b>33*</b>	<b>137</b>	<b>109</b>	<b>82</b>	<b>107</b>	<b>73</b>	<b>122</b>	<b>69</b>	<b>69</b>	<b>81</b>	<b>49*</b>
Ceresole Reale (B)	88%	7	6*	5	7	9	11	11*	9*	10*	<b>10*</b>	0	0*	0	0	0	6	0*	1*	1*	<b>3*</b>
Chieri (B)	98%	-	-	-	-	-	-	-	-	28	<b>28</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	55	<b>40</b>
Collegno	99%	<b>33*</b>	36	32	36	32	40	33*	30	35	<b>32</b>	<b>50*</b>	<b>83</b>	<b>61</b>	<b>81</b>	<b>61</b>	<b>102</b>	<b>56*</b>	<b>50</b>	<b>85</b>	<b>57</b>
Druento	91%	28	24	19	23	21	27	22	19	21*	<b>21</b>	<b>45</b>	29	11	23	22	41	15	10	11*	<b>7</b>
Ivrea - Liberazione (B)	100%	-	-	-	-	-	-	-	-	25	<b>23</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	48	<b>33</b>
Ivrea - Liberazione	-	34	27	23	28	26	31*	25	24*	27*	-	<b>71</b>	<b>52</b>	30	<b>55</b>	<b>41</b>	<b>60*</b>	28	29*	<b>43*</b>	-
Leini (B)	91%	33	29	25	36	30	34	33*	26	29	<b>26</b>	<b>66</b>	<b>59</b>	35	<b>84</b>	<b>57</b>	<b>79</b>	<b>28*</b>	<b>44</b>	<b>59</b>	<b>38</b>
Oulx	88%	17	18	17*	18*	16	18	18	15	16	<b>15*</b>	3	6	5*	7*	0	8	1	0	1	<b>0*</b>
Pinerolo	88%	29	26	-	21	23	26	21	19	18	<b>17*</b>	<b>54</b>	33	-	11	15	40	11	5	12	<b>10*</b>
Settimo (B)	93%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>31</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>55</b>
Settimo	87%	<b>44</b>	39	34	39	35	<b>44*</b>	<b>36*</b>	34	35	<b>34*</b>	<b>111</b>	<b>88</b>	<b>81</b>	<b>98</b>	<b>70</b>	<b>99*</b>	<b>65*</b>	<b>63</b>	<b>83</b>	<b>64</b>
Susa	97%	21	18	16	18	17	22	18	15	16	<b>17</b>	15	10	1	11	10	27	6	1	3	<b>5</b>
To - Consolata	76%	<b>48</b>	40	35	40	35	<b>43</b>	33*	28	36*	<b>28*</b>	<b>118</b>	<b>100</b>	<b>75</b>	<b>93</b>	<b>75</b>	<b>108</b>	<b>55</b>	<b>45</b>	<b>84*</b>	<b>30*</b>
To - Grassi	96%	<b>60*</b>	<b>48</b>	<b>43*</b>	<b>52*</b>	<b>42</b>	<b>47</b>	40*	38	41*	<b>36</b>	<b>103*</b>	<b>126</b>	<b>77*</b>	<b>75*</b>	<b>89</b>	<b>112</b>	<b>76*</b>	<b>83</b>	<b>98*</b>	<b>75</b>
To - Lingotto (B)	94%	<b>41*</b>	34	31	36	32	38	31*	28	31	<b>29</b>	<b>90*</b>	<b>69</b>	<b>56</b>	<b>85</b>	<b>60</b>	<b>101</b>	<b>45*</b>	<b>50</b>	<b>72</b>	<b>46</b>
To - Lingotto	96%	<b>42</b>	38	32	38	34	39	28*	27	30	<b>26</b>	<b>94</b>	<b>89</b>	<b>59</b>	<b>86</b>	<b>62</b>	<b>92</b>	<b>39*</b>	<b>48</b>	<b>67</b>	<b>40</b>
To - Rebaudengo (B)	96%	-	37*	40	<b>43</b>	37	<b>46</b>	39	34	36	<b>33</b>	-	<b>53*</b>	<b>94</b>	<b>101</b>	<b>74</b>	<b>118</b>	<b>87</b>	<b>71</b>	<b>88</b>	<b>65</b>
To - Rubino (B)	82%	-	-	32*	36*	30*	37	30*	28	28	<b>26*</b>	-	-	<b>55*</b>	<b>53*</b>	<b>46*</b>	<b>91</b>	<b>36*</b>	<b>46</b>	<b>53</b>	<b>26*</b>
To - Rubino	93%	40*	35	31	36	32	38	29*	28*	32	<b>30</b>	<b>83*</b>	<b>87</b>	<b>58</b>	<b>84</b>	<b>65</b>	<b>97</b>	<b>33*</b>	<b>42*</b>	<b>66</b>	<b>57</b>

(\*) Rendimento strumentale inferiore al 90%

TABELLA 18: parametro PM10, valutazione statistica anni 2012-2021.

	Rendimento strumentale. 2021 (% giorni validi)	PTS – VALORE MEDIO ANNUO									
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
To-Consolata	67%	62*	60*	63*	61*	43	51*	42	43*	46*	<b>42*</b>

(\*) Rendimento strumentale inferiore al 90%

TABELLA 19: parametro polveri totali (PTS), valutazione statistica anni 2012-2021.

## 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 20 sono riportati i dati di IPA relativi ai campioni raccolti e analizzati nel 2021 e nei sei anni precedenti (2015-2020) 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 a causa del ridotto numero di campionamenti mensili svolti, come spiegato nel paragrafo precedente. 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 22 presenta i dati degli IPA totali nelle deposizioni nel 2021. In genere, come accade anche negli anni precedenti, le stazioni di Beinasco TRM e Orbassano presentano i valori più elevati dei quattro IPA misurati. Si tratta d'altronde delle stazioni caratterizzate da un impatto antropico maggiore: Beinasco TRM si trova in prossimità di diverse e importanti arterie stradali; il punto di prelievo di Orbassano si trova all'interno del complesso di edifici dell'ospedale San Luigi su cui insiste un ampio bacino di utenza. I valori minimi si registrano principalmente nella stazione di Rivalta, sita nella periferia a sud ovest della città di Torino in un'area della SMAT adibita a campo pozzi, lontano centinaia di metri dalle principali arterie di traffico. Dal grafico di FIGURA 22 è possibile inoltre osservare che anche nel 2021 il Benzo(a)pirene, considerato critico per l'uomo, non risulta essere preponderante rispetto agli altri contaminanti, la cui componente maggioritaria è rappresentata dal Benzo [b+j+k]fluorantene.

Nella TABELLA 21 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 23 vengono presentati gli andamenti storici degli IPA nelle deposizioni totali dal 2013 al 2021. Per facilità di comprensione nel grafico di ogni parametro è stata indicata la fascia dei valori minimi e massimi provinciali e il dato annuale misurato nella stazione di Beinasco TRM. Si fa notare che il dato massimo del 2020 è sicuramente sovrastimato per tutti i parametri analizzati a causa del ridotto numero di campionamenti mensili svolti nel periodo primaverile-estivo di quell'anno. Per continuità grafica si è deciso di non eliminare il valore massimo del 2020, si consiglia, tuttavia, di tenere conto di tale evidente sovrastima nell'analisi dell'andamento storico di ogni parametro.

Per il benzo(a)pirene e il fluorantene è possibile evidenziare una significativa tendenza alla diminuzione dei flussi totali di deposizione dal 2013 al 2021, sia nei valori minimi e massimi provinciali sia nei valori annuali della stazione di Beinasco TRM.

Anche per Indeno[1,2,3-cd]pirene e Benzo[a]antracene la diminuzione è evidente benché meno significativa che per gli altri 2 IPA.

Stazione	Anno	Benzo[a]pirene	Indeno[1.2.3-cd]pirene	Benzo[a]antracene	Benzo [b+j+k]fluorantene
Baldissero	2013	12,3	9,7	4,1	14,1
	2014	6,2	15,9	6,5	29,6
	2015	9,1	11,5	6,6	24,9
	2016	6,1	13,9	4,4	22,2
	2017	9,3	9,3	5,8	16,8
	2018	5,9	11,1	3,5	15,2
	2019	-	-	-	-
	2020	-	-	-	-
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*
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*
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*
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		5,6	4,2	9,7	

TABELLA 20: IPA nelle deposizioni totali – medie annuali nel periodo 2013-2021.

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

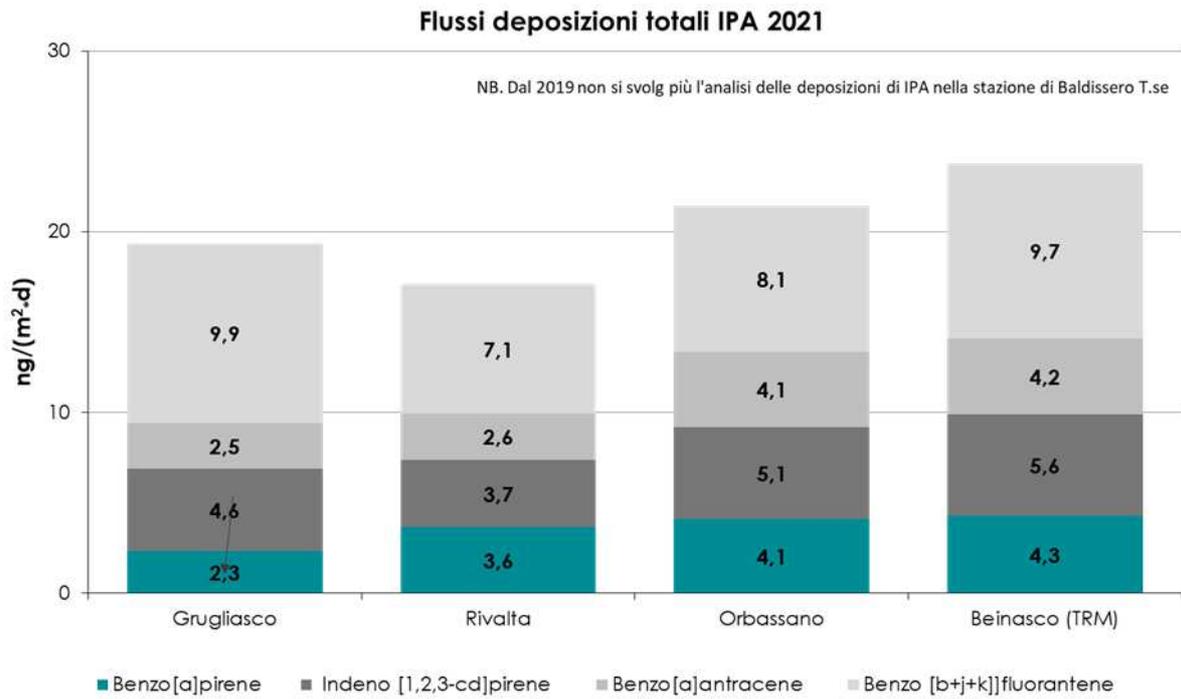


FIGURA 22: grafico di confronto flussi deposizioni totali anno 2021.

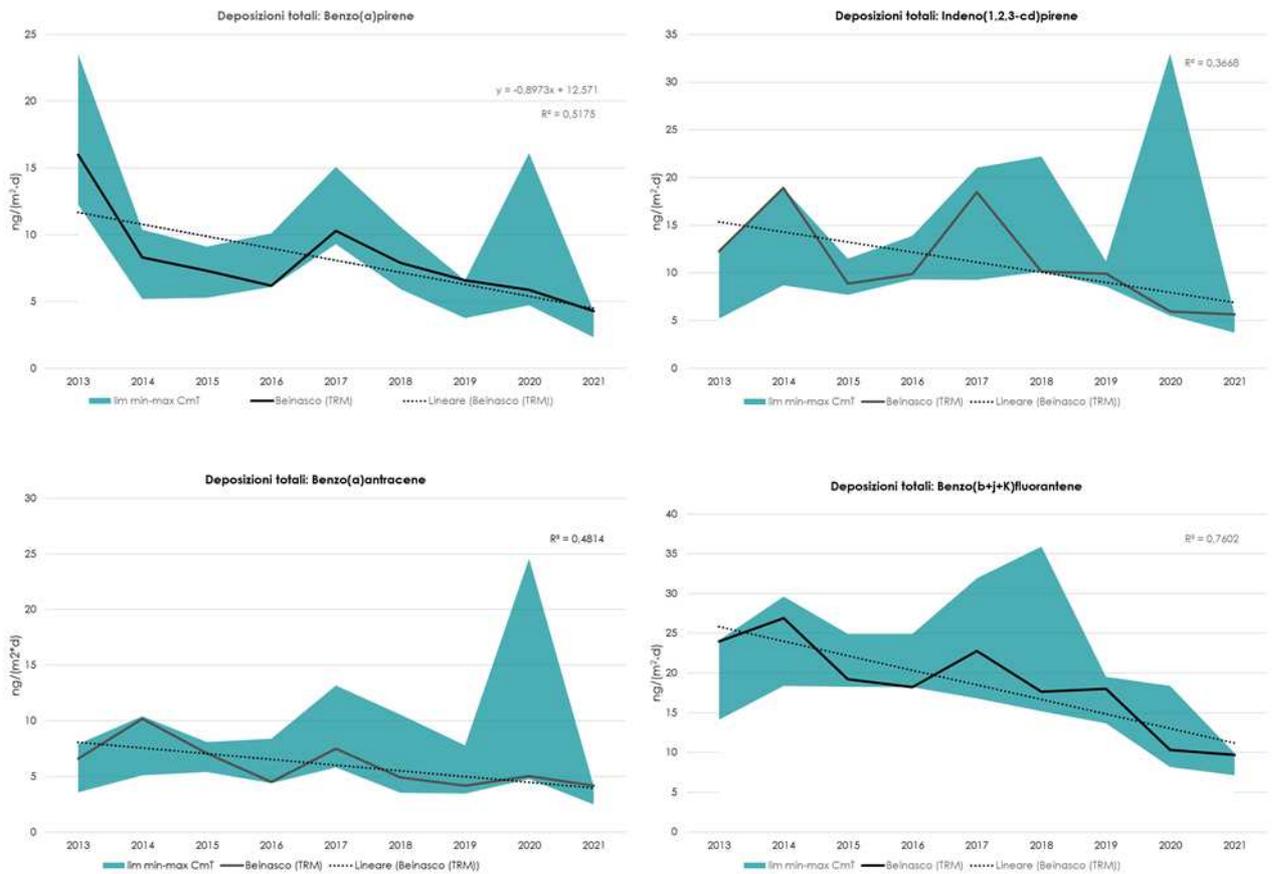


FIGURA 23: IPA nelle deposizioni totali, confronto andamento 2013-2021.

## 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 22). 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 22 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 (2013–2021). 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 23.

Nel grafico di FIGURA 24 sono stati rappresentati i flussi di deposizioni totali misurati nel 2021 presso tutte le stazioni della Città Metropolitana di Torino. Il tipo di grafico selezionato (colonne in pila) è stato scelto perché permette di apprezzare sia i flussi dei singoli metalli sia il totale dei flussi in ogni stazione di misura. Così come per gli IPA, anche per i metalli le stazioni più critiche risultano Orbassano e Beinasco-TRM, dove a fare la differenza sono soprattutto alti valori di piombo, elemento indicatore, tra l'altro, di sorgenti da intenso traffico veicolare. Nel grafico di FIGURA 24, 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 25 a FIGURA 29) sono stati riportati per ogni metallo gli andamenti nelle deposizioni totali delle analisi effettuate nel periodo 2013-2021. Anche per i metalli si è deciso di semplificare la rappresentazione grafica dell'andamento storico di ogni metallo tramite l'utilizzo di una fascia di valori minimi e massimi provinciali e la linea dei flussi annuali della stazione di Beinasco TRM. In merito al 2020, vale inoltre la stessa considerazione fatta per gli IPA: il dato massimo del 2020 è sicuramente sovrastimato a causa del ridotto numero di campionamenti mensili svolti nel periodo primaverile-estivo di quell'anno. Come si osserva dai grafici, in generale nel corso degli anni la presenza di metalli nelle deposizioni totali varia e non è possibile, salvo poche eccezioni, evidenziare una tendenza in diminuzione a partire dal 2013.

		Flusso di deposizione $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$									
		As	Cd	Co	Cr	Ni	Pb	Cu	Se	V	Zn
BALDISSERO	2019	1.4	0.2	1.4	2.6	2.9	6.7	5.8	1.4	1.8	53.8
	2020	9.9	0.6	1.2	1.6	2.0	5.8	4.8	1.2	1.3	38.8
	2021	<b>1.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.6</b>	<b>1.8</b>	<b>1.4</b>	<b>5.6</b>	<b>3.7</b>	<b>0.7</b>	<b>1.1</b>	<b>68.3</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	<b>1.1</b>	<b>0.1</b>	<b>0.7</b>	<b>2.4</b>	<b>2.0</b>	<b>3.2</b>	<b>7.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.1</b>	<b>40.6</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	<b>1.2</b>	<b>0.1</b>	<b>0.7</b>	<b>3.2</b>	<b>2.4</b>	<b>2.8</b>	<b>6.5</b>	<b>0.8</b>	<b>1.1</b>	<b>45.1</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	<b>1.2</b>	<b>0.2</b>	<b>1.0</b>	<b>4.9</b>	<b>3.6</b>	<b>23.1</b>	<b>9.2</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>	<b>84.2</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	<b>1.4</b>	<b>0.1</b>	<b>1.4</b>	<b>6.1</b>	<b>5.1</b>	<b>13.1</b>	<b>13.0</b>	<b>1.2</b>	<b>2.8</b>	<b>242.2</b>

TABELLA 22: metalli nelle deposizioni totali – indicatori statistici anno 2013-2021.

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

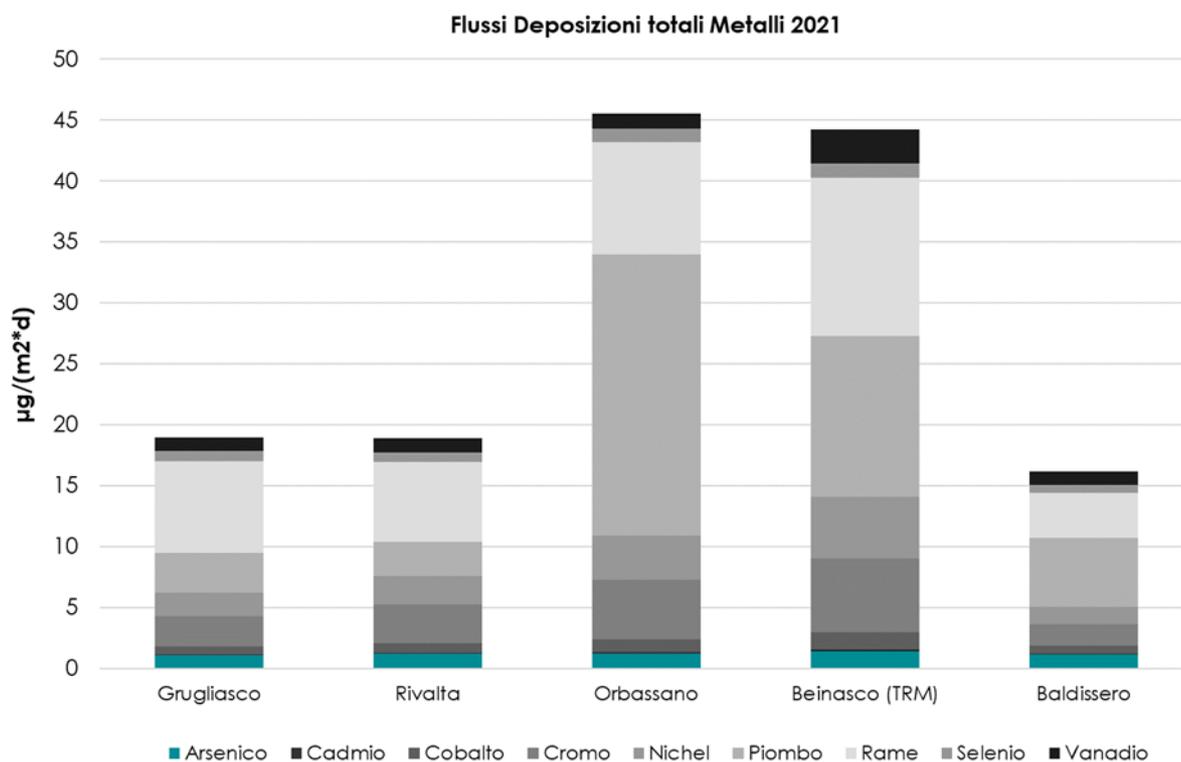


FIGURA 24: flussi di metalli nelle deposizioni totali – anno 2021.

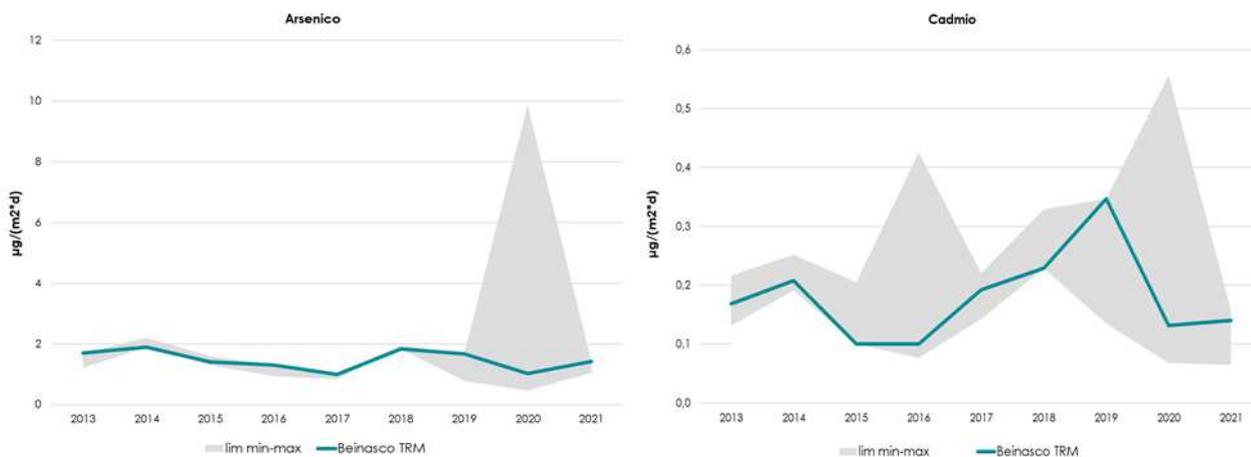


FIGURA 25: metalli nelle deposizioni totali 2013-2021 in CMT (arsenico e cadmio).

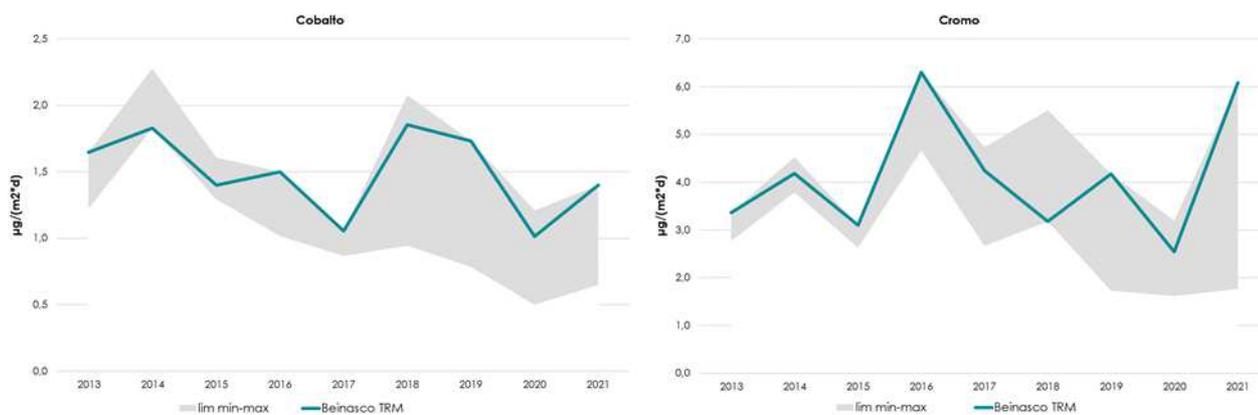


FIGURA 26: metalli nelle deposizioni totali 2013-2021 in CMT (cobalto e cromo).

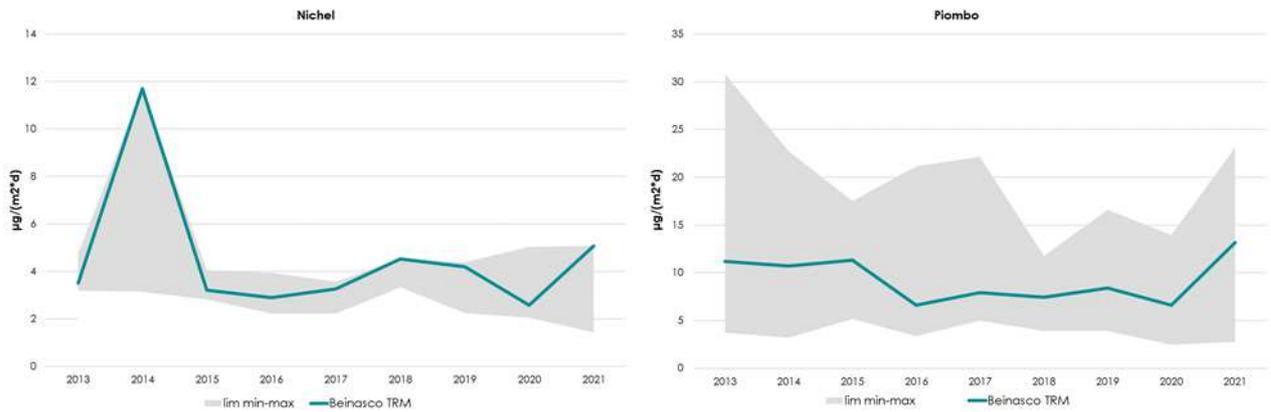


FIGURA 27: metalli nelle deposizioni totali 2013-2021 in CMT (nichel e piombo).

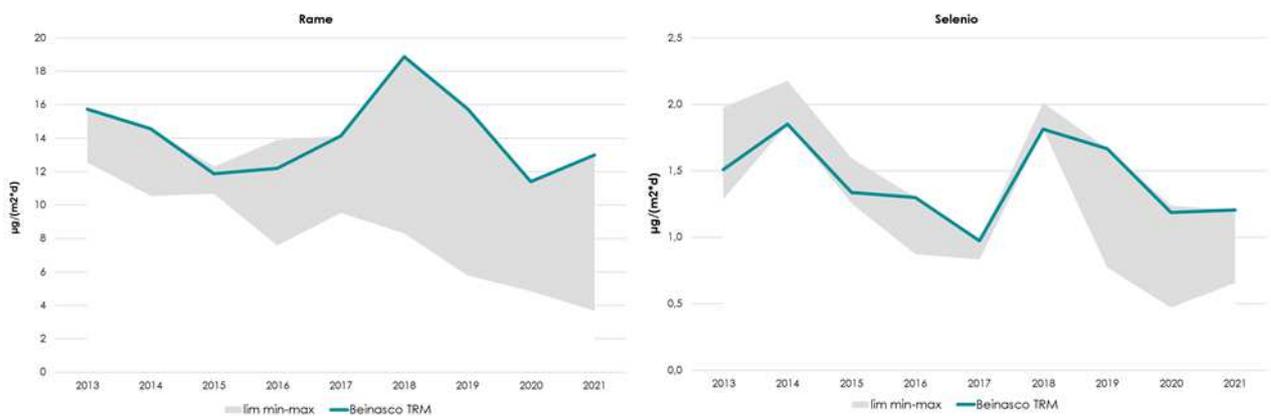


FIGURA 28: metalli nelle deposizioni totali 2013-2021 in CMT (rame e selenio).

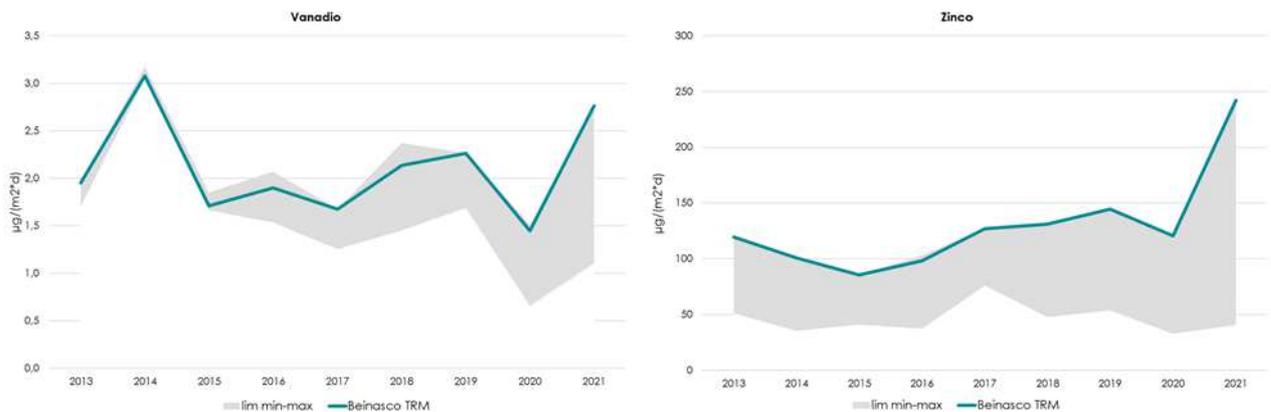


FIGURA 29: metalli nelle deposizioni totali 2013-2021 in CMT (vanadio e zinco).

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.

In letteratura ci sono pochi dati a disposizione sulla presenza di mercurio nelle deposizioni totali atmosferiche e attualmente la normativa nazionale ed europea non prevede valori limite per le deposizioni di mercurio. Germania e Croazia hanno identificato un valore di 1000 ng/(m²\*d) come valore medio annuale per la protezione di effetti dannosi inclusi quelli di alterazione dei suoli. In FIGURA 30 viene riportato l'andamento annuale del flusso di mercurio totale a Beinasco - Aldo Mei nel corso degli anni 2013-2021. Il valore determinato presso la stazione nel corso del 2021 risulta pari

a 32  $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ , in linea con il valore degli altri anni ad eccezione del 2016, caratterizzato dall'anomalia verificatasi presso l'impianto nell'autunno 2016<sup>48</sup>.

I dati di mercurio e di altri metalli misurati nelle deposizioni totali a Beinasco-Aldo Mei nel 2021 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 24). Il dato di Beinasco Aldo Mei è in linea con quello trovato da Arpa Toscana nei siti di Castelluccio e Badia al Pino nel periodo 2011-2013.

Il dettaglio dei valori mensili riportato in TABELLA 25 mostra che nel 2021 i valori maggiori sono stati rilevati da maggio a luglio, mentre valori minimi si registrano nei mesi invernali di dicembre e gennaio-marzo 2021. A tale proposito si ricorda che da gennaio a fine aprile 2021, a causa dell'emergenza pandemica Covid-19, sono state in vigore disposizioni restrittive che hanno limitato gli spostamenti delle persone in maniera più o meno severa a seconda della gravità della situazione sanitaria in essere.

Parametro	medie delle deposizioni annuali - $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{y})$				
	Castelluccio	Badia al Pino	Laguna di Venezia	Parco Cavriglia	Beinasco TRM 2021
Arsenico	207	153	290	100	1.4
Cadmio	364	55	672	17	0.1
Cromo	807	979	536	257	6.1
Rame	6685	5316	5818	570	13.0
<b>Mercurio</b>	<b>40</b>	<b>40</b>	<b>6</b>	--	<b>32.0</b>
Nichel	916	821	1633	190	5.1
Piombo	1367	1945	11392	157	13.1
Vanadio	757	499	1109	281	2.8
Zinco	31516	29735	11864	7933	242.2

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

TABELLA 24: dati comparativi ratei medi di deposizione annuali ( $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{y})$ ) Badia al Pino, Castelluccio, Laguna di Venezia, Enel Parco Cavriglia. Tabella tratta da pubblicazione di Arpa Toscana "Campagna di caratterizzazione deposizioni umide e secche 2011-2013 postazione Castelluccio comune Capolona - Arezzo".

<sup>48</sup> <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/territorio/torino/impianti/termovalorizzatore-del-gerbido/dati/relazio/2016/rapporto-stazione-monitoraggio-qualita-aria-beinasco-anno-2016/view>

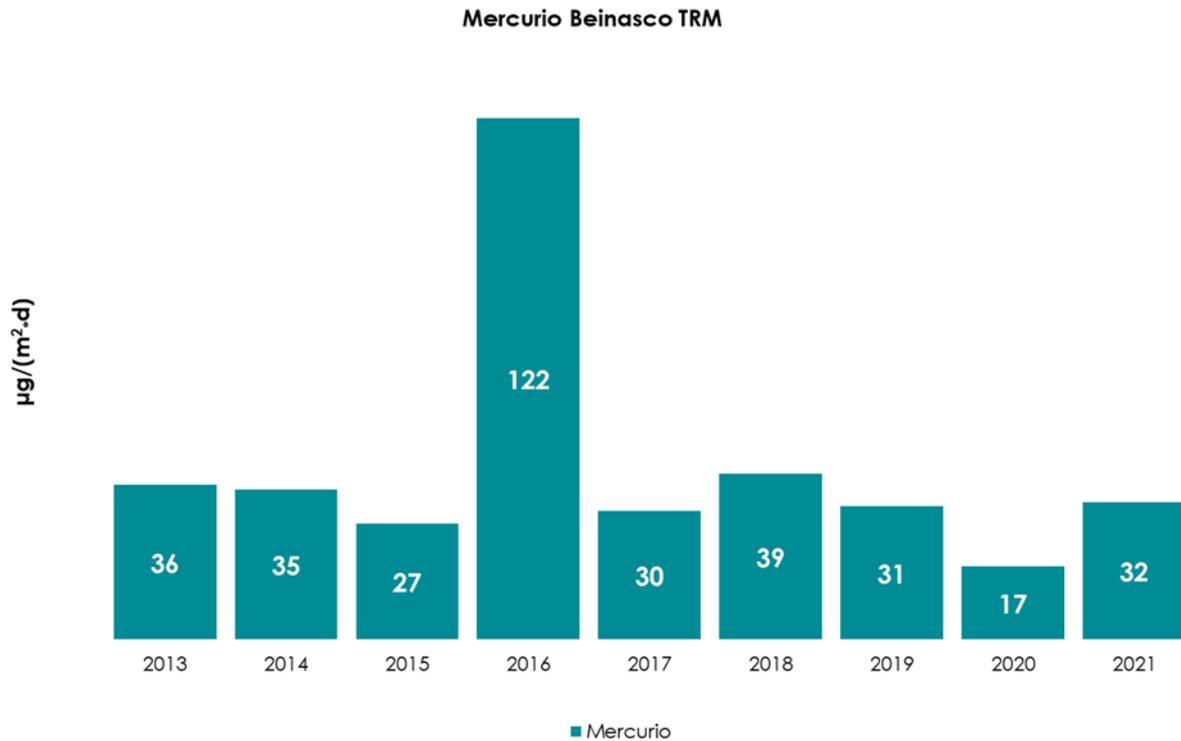


FIGURA 30: andamento concentrazione Mercurio TRM 2013-2021.

Mese	Beinasco – Aldo Mei Mercurio ng/(m²·d)									
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Gennaio	7	47	20	13	18	63	n.d.	4	6	
Febbraio	22	99	7	15	27	23	10.99	6	3	
Marzo	39	22	26	57	17	38	29.88	6	1	
Aprile	78	22	20	50	23	49	42.14	6	33	
Maggio	78	22	69	37	28	79	30.84	57	62	
Giugno	8	38	55	21	37	69	14.14	34	88	
Luglio	58	26	21	53	48	51	16.23	14	67	
Agosto	50	26	29	35	n.d.	18	29.88	24	18	
Settembre	10	30	27	22	n.d.	26	42.69	29	21	
Ottobre	25	22	18	794	n.d.	23	46.69	15	16	
Novembre	37	56	0	333	n.d.	33	70.12	6	57	
Dicembre	20	24	22	23	63	2	16.05	10	7	

n.d.: dati non disponibili per guasto strumentale

TABELLA 25: dettaglio mensile del flusso di deposizione di mercurio a Beinasco – Aldo Mei 2013 – 2021.

## 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 26 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 26 : 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 31: moduli di campionamento.

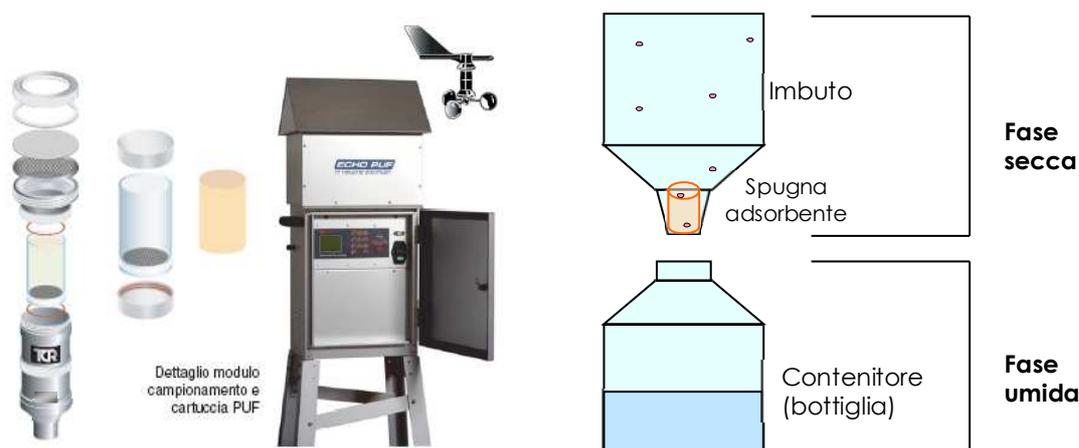


FIGURA 32: campionatore echo puf e deposimetro per la raccolta delle deposizioni secche e umide.

### ESAME DEI DATI

Nell'espressione della sommatoria dei congeneri di PCDD/PCDF e PCB dioxin-like viene applicato il criterio del "middle 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 27 e nella FIGURA 33 sono riportate le medie annuali rilevate dal 2013 al 2021 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

TABELLA 27: concentrazioni medie annuali di PCDD, PCDF e PCB in aria ambiente.

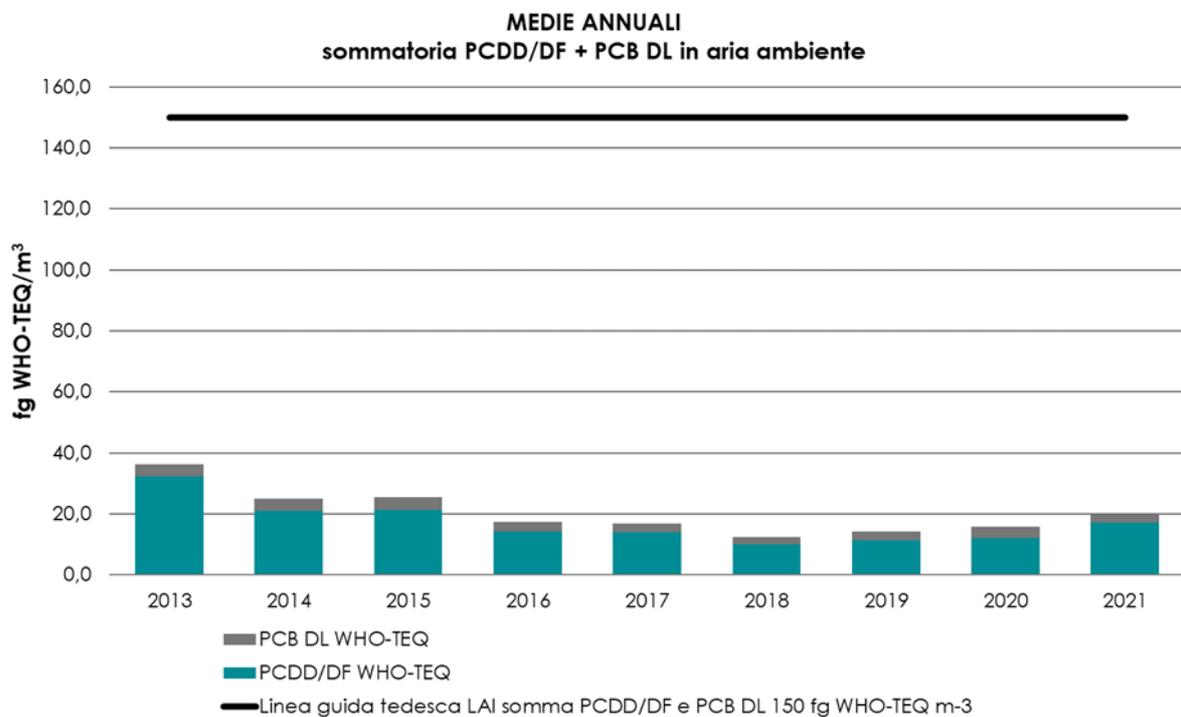


FIGURA 33: medie annuali sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like in aria ambiente.

Nella FIGURA 34 viene riportato l'andamento della sommatoria PCDD/DF PCB dioxin like nelle singole mensilità degli anni dal 2017 al 2021, per i mesi di aprile e luglio 2021 i campioni non sono stati prelevati a causa di problemi strumentali.

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.

Si osserva per il mese di dicembre una concentrazione più elevata, in particolare per PCDD/DF, rispetto al trend storico imputabile a un evento incidentale (incendio) che ha interessato la zona.

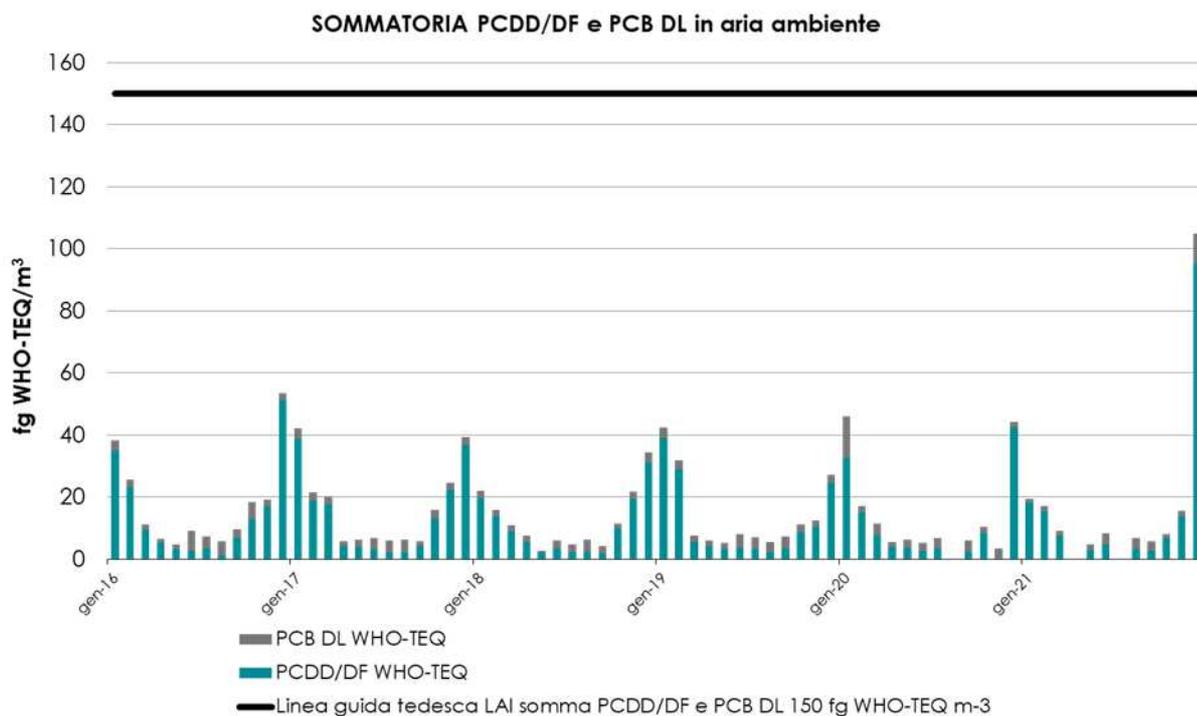


FIGURA 34: andamento sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like in aria ambiente dal 2016.

Nella TABELLA 28 sono riportate le concentrazioni medie mensili di PCDD/DF e PCB determinate nei campioni di qualità dell'aria prelevati nel corso dell'ultimo anno (2021).

	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> )
Gennaio 2021	19,76	0,00142	69,6	19,5
Febbraio 2021	17,08	0,00177	90,2	17,0
Marzo 2021	8,15	0,00165	71,9	9,19
Aprile 2021	*	*	*	*
Maggio 2021	2,82	0,00190	89,9	4,73
Giugno 2021	4,33	0,00369	132	8,49
Luglio 2021	*	*	*	*
Agosto 2021	3,24	0,00370	131	6,87
Settembre 2021	2,92	0,00302	138	5,78
Ottobre 2021	7,62	0,00128	89	8,00
Novembre 2021	15,30	0,00164	111	15,54
Dicembre 2021	100,00	0,00911	124	104,71

\* per i mesi di aprile e luglio 2021 i campioni non sono stati prelevati a causa di problemi strumentali

TABELLA 28: concentrazioni di PCDD, PCDF e PCB in aria ambiente per i mesi del 2021.

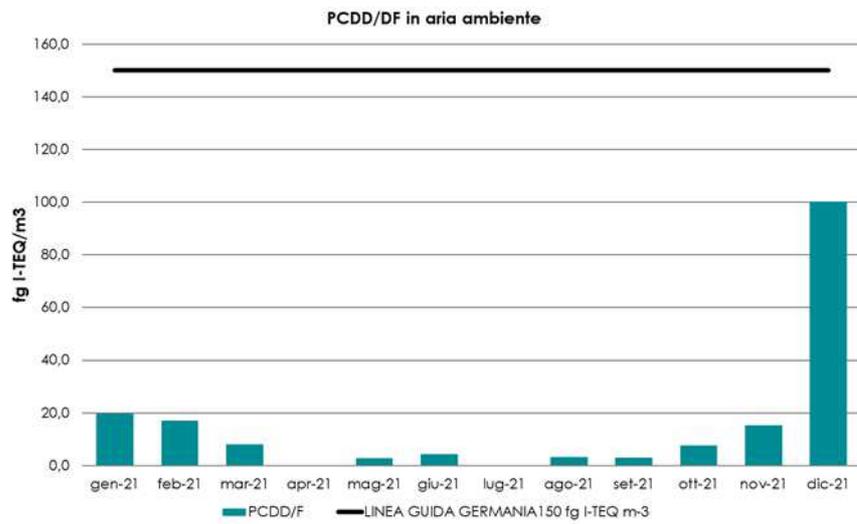


FIGURA 35: concentrazioni di PCDD e PCDF in aria ambiente anno 2021.

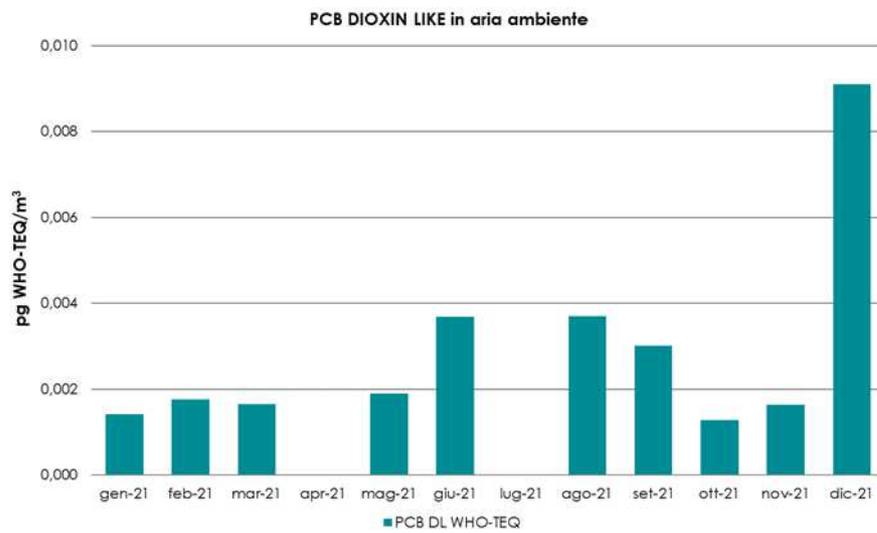


FIGURA 36: concentrazioni di PCB dioxin like in aria ambiente anno 2021.

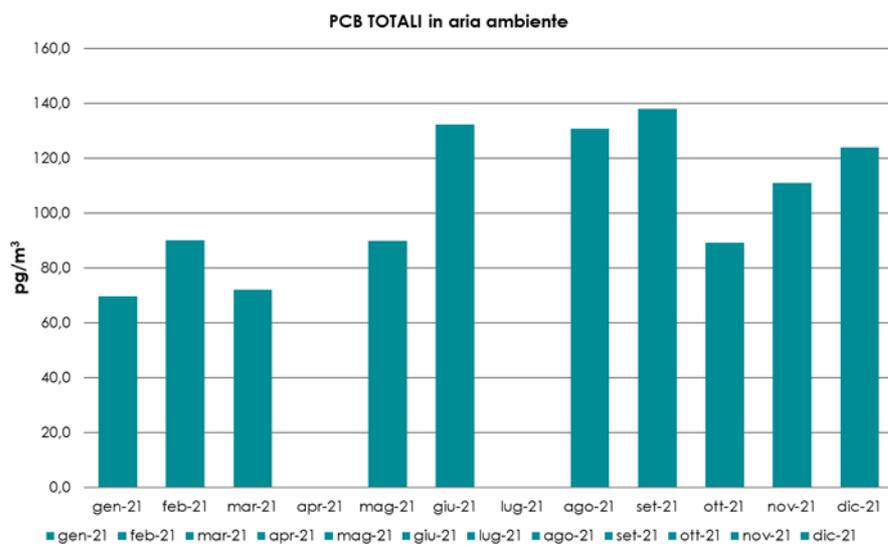


FIGURA 37: concentrazioni di PCB Totali in aria ambiente anno 2021.

## 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 29. 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 29: 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 30 e FIGURA 38 si riportano i flussi di deposizione medi annui calcolati per i parametri PCDD/DF e PCB a partire dai dati mensili rilevato 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

TABELLA 30: concentrazioni MEDIE ANNUALI di PCDD, PCDF e PCB nelle deposizioni.

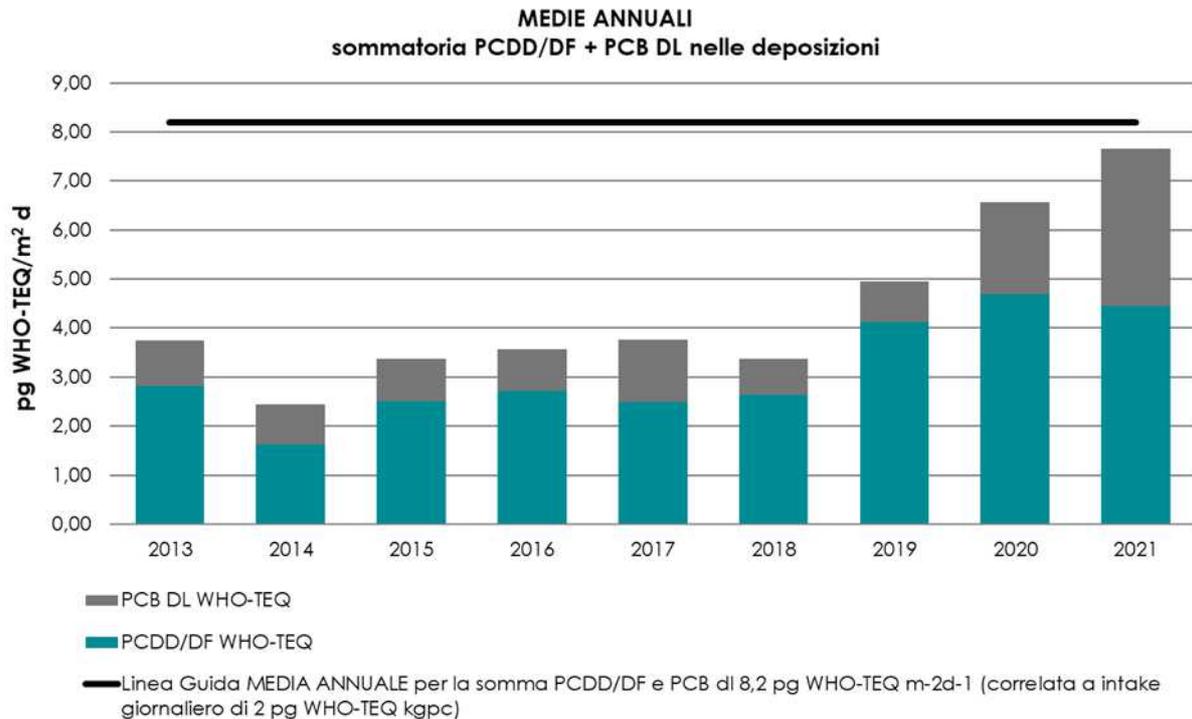


FIGURA 38: medie annuali della sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like nelle deposizioni.

Nel FIGURA 39 viene riportato l'andamento della sommatoria PCDD/DF PCB dioxin like nelle deposizioni atmosferiche delle singole mensilità degli anni dal 2013 al 2021. 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.

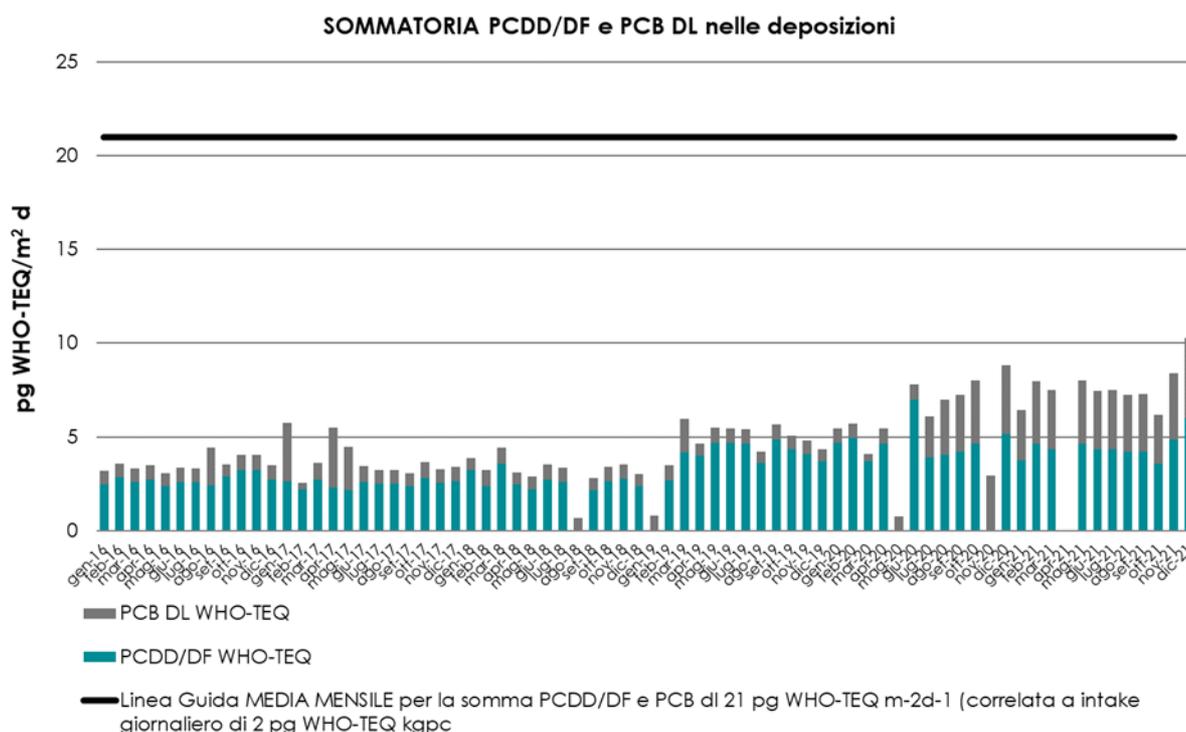


FIGURA 39: andamento sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like nelle deposizioni mensili dal 2017.

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 (2021).

	PCDD/DF (pg I-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	PCB Dioxin Like (ng WHO-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	PCB Totale Famiglie (ng m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	PCDD/DF+PCB DL (pg WHO-TEQ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )
Gennaio 2021	3,37	0,00269	7,06	6,43
Febbraio 2021	4,18	0,00334	9,42	7,97
Marzo 2021	3,92	0,00315	13,06	7,50
Aprile 2021	*	*	*	*
Maggio 2021	4,19	0,00335	11,5	8,00
Giugno 2021	3,91	0,00313	8,12	7,47
Luglio 2021	3,91	0,00317	17,8	7,50
Agosto 2021	3,78	0,00303	8,7	7,23
Settembre 2021	3,78	0,00307	27,3	7,27
Ottobre 2021	3,24	0,00260	9,8	6,19
Novembre 2021	4,39	0,00351	11,1	8,38
Dicembre 2021	5,43	0,00427	19,1	10,28

\* per il mese di aprile 2021 il campione non è stato prelevato a causa di problemi strumentali

TABELLA 31: concentrazioni di PCDD, PCDF e PCB nelle deposizioni atmosferiche.

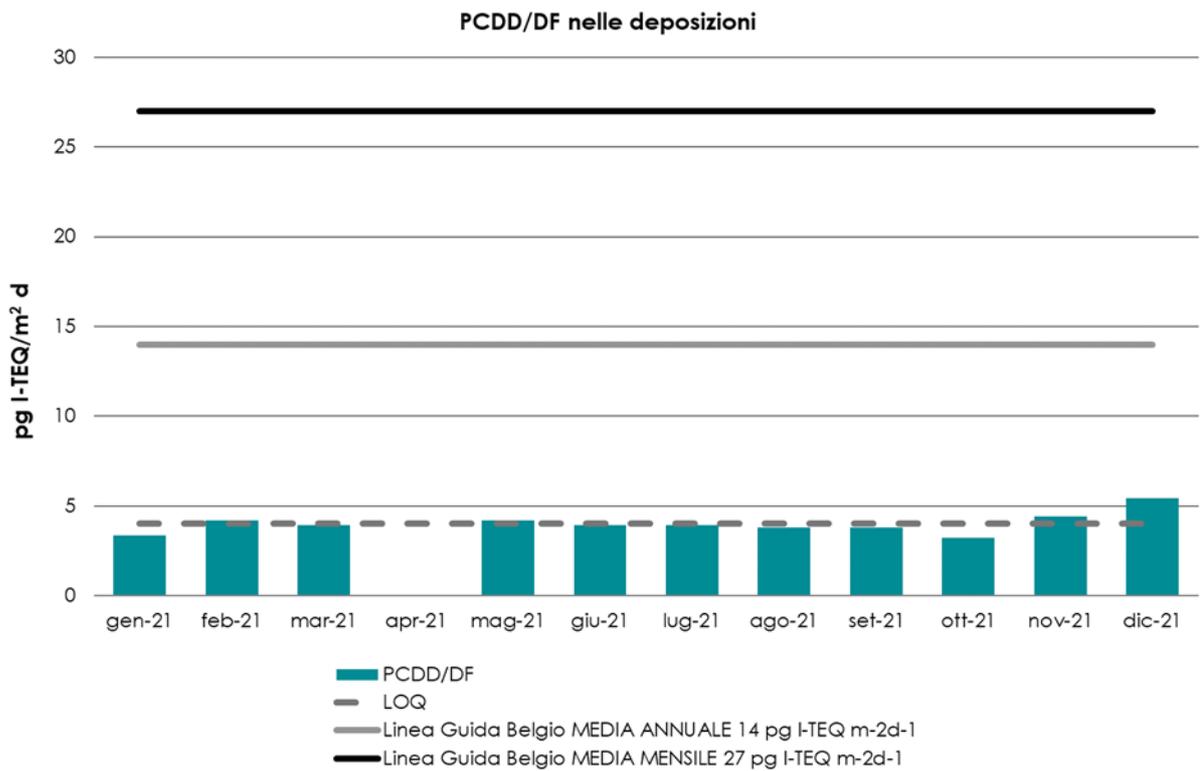


FIGURA 40: concentrazioni di PCDD e PCDF nelle deposizioni mensili anno 2021.

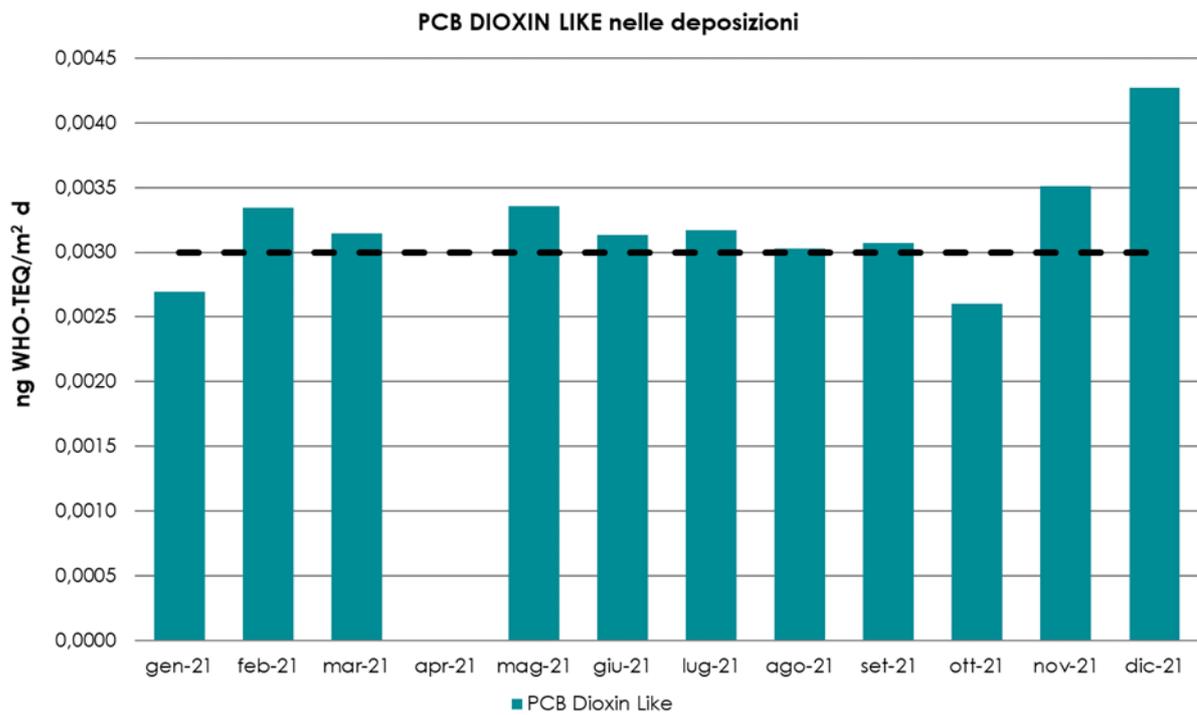


FIGURA 41: concentrazione di PCB DIOXIN LIKE nelle deposizioni mensili anno 2021.

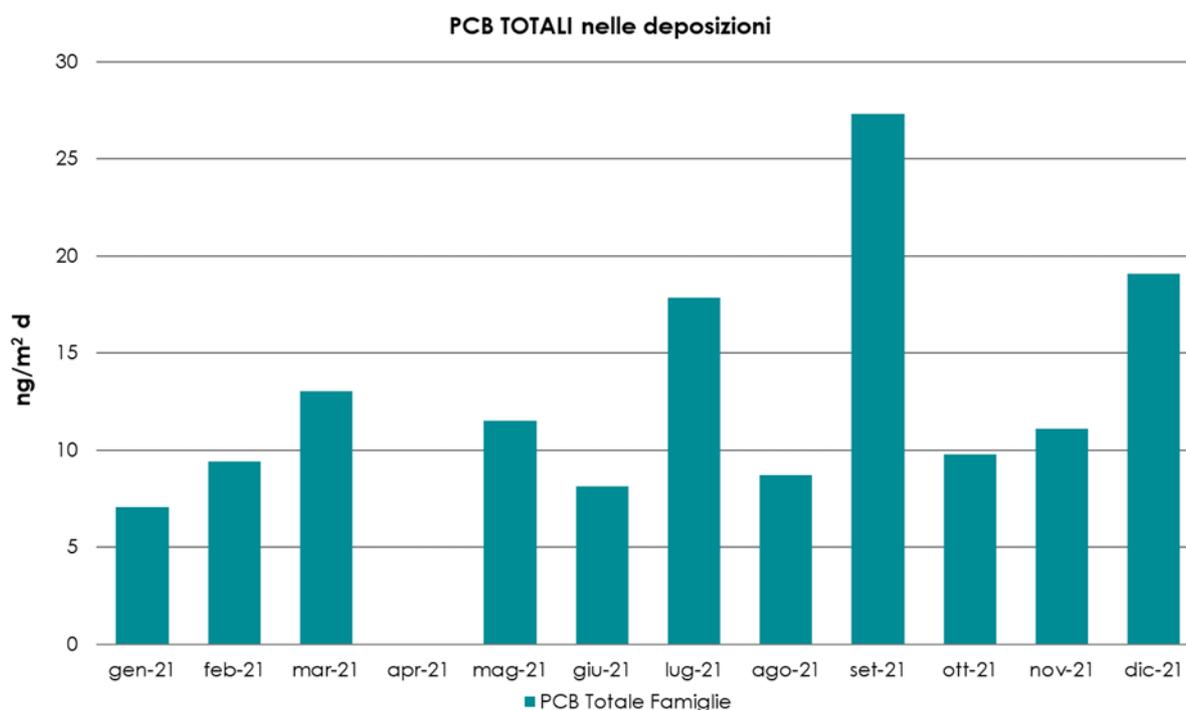


FIGURA 42: concentrazione di PCB TOTALI nelle deposizioni mensili anno 2021.

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 2021.

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
gen-21	0	0,00001	3,74	2,690
feb-21	0	0,00002	4,63	3,340
mar-21	0	0,00003	4,35	3,146
apr-21				
mag-21	0	0,00002	4,65	3,353
giu-21	0	0,00003	4,34	3,132
lug-21	0	0,00006	4,34	3,167
ago-21	0	0,00002	4,20	3,030
set-21	0	0,00007	4,20	3,070
ott-21	0	0,00003	3,59	2,600
nov-21	0	0,00002	4,87	3,510
dic-21	0,21	0,00006	6,01	4,270

TABELLA 32: 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.

## MUTAGENICITÀ DEL PM<sub>2,5</sub>

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

D. Marangon - Laboratorio Specialistico Nord-Ovest.

### DESCRIZIONE

La frazione del particolato atmosferico con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm rappresenta la componente più pericolosa per la salute in relazione alla sua capacità di superare le prime vie respiratorie e raggiungere i distretti polmonari più profondi. Le polveri sottili veicolano numerosi composti chimici con differente tossicità per l'uomo, sia considerati singolarmente, sia in relazione al loro potenziale effetto sinergico. Sebbene la definizione quali-quantitativa dei livelli di concentrazione delle specie chimiche estratte dalle particelle solide rappresenti un approccio valutativo significativo, è possibile sottoporre una matrice così complessa ad analisi di laboratorio che non si limitino a valutare solo la concentrazione di una o più specie chimiche, ma al contrario riescano a valutarne la complessità nel suo insieme considerando eventuali effetti sinergici o antagonisti delle varie specie chimiche presenti.

Quest'ultimo aspetto è soddisfatto dai test biologici che prevedono l'utilizzo di batteri, cellule animali e/o vegetali o organismi pluricellulari per valutare la tossicità e/o la genotossicità di matrici complesse come le matrici ambientali. Tali test sono utilizzati da anni nei laboratori di ricerca e di controllo.

Si è scelto di utilizzare il test di reversione genica in *Salmonella typhimurium*, sia in relazione alla tipologia di inquinanti atmosferici presenti sul particolato atmosferico, sia sulla base di pubblicazioni che indicano lo stesso come migliore test *in vitro* per la valutazione del particolato atmosferico da un punto di vista della mutagenicità.

Il test di routine utilizza due ceppi di *Salmonella* geneticamente modificati, il TA98 e il TA100, che con un differente meccanismo di azione sono in grado di rilevare la maggior parte dei composti mutageni.

Allo scopo di rilevare anche le sostanze pro-mutagene, in grado cioè di causare un danno al DNA dopo l'azione degli enzimi detossificanti del fegato, sono stati utilizzati estratti epatici di ratto (S9) che forniscono un'attivazione metabolica esogena.

Nel 2021 sono proseguiti gli studi per la valutazione della mutagenicità del PM<sub>2,5</sub> prelevato nelle stazioni Torino-Lingotto (fondo urbano) e Alessandria Dernice (stazione a basso inquinamento). Rispetto al 2020 è stata introdotta la stazione di traffico Torino-Grassi (PM<sub>10</sub>) in sostituzione di Settimo-Vivaldi. La mutagenicità è stata valutata anche sul PM<sub>10</sub> campionato nella stazione di Beinasco TRM allo scopo di valutare eventuali effetti riconducibili al vicino termovalorizzatore, confrontando i dati ottenuti con la stazione di fondo urbano.

I prelievi del particolato atmosferico sono stati eseguiti su filtri in quarzo, diametro 47 mm, tramite campionatore a basso volume per particolato PM<sub>2,5</sub> (e PM<sub>10</sub>). La durata del campionamento è stata di 24 ore effettuato quotidianamente. I filtri del mese sono stati uniti e analizzati con il test descritto in precedenza, secondo la procedura indicata da Maron e Ames (1983).

Il risultato è stato espresso come rapporto di mutagenicità (MR) riferito a 20 m<sup>3</sup> di aria (quantità media respirata quotidianamente da un adulto). Il rapporto di mutagenicità confronta la risposta del campione con quella ottenuta su un controllo negativo. I campioni sono considerati positivi quando la risposta del campione è doppia rispetto al controllo (Rapporto di Mutagenicità pari a 1) e si osserva un proporzionale aumento della risposta del microorganismo indicatore con l'aumentare della dose testata.

Allo scopo di fornire un dato di mutagenicità complessivo, i valori di MR ottenuti con i ceppi TA98 e TA100 in presenza e in assenza di attivatore metabolico, sono stati sommati per costituire il Fattore di Genotossicità (FG).

## ESAME DEI DATI

I dati ottenuti mostrano, in tutte le stazioni esaminate, un tipico andamento stagionale con picchi di massima attività mutagena nel periodo invernale e valori minimi nel periodo primaverile e autunnale. I campioni prelevati nel periodo estivo non evidenziano attività mutagena.

I diversi ceppi utilizzati, in presenza o assenza di attivatore metabolico, hanno risposto positivamente fornendo un quadro articolato. In particolare, il ceppo TA98 si è dimostrato più sensibile mostrando generalmente valori più elevati, tuttavia la risposta positiva ottenuta con entrambi i ceppi in presenza e in assenza di attivatore metabolico evidenzia la complessità della matrice ambientale sottoposta ad analisi.

Si riscontrano valori di mutagenicità particolarmente elevati nella stazione di traffico di Torino-Grassi nel periodo invernale (FIGURA 43). I Dati ottenuti dalle polveri prelevate nella stazione di Beinasco TRM FIGURA 43 sono comparabili a quelli ottenuti nella stazione di fondo urbano di Torino Lingotto, valori che si attestano a quelli rilevati negli anni precedenti.

La stazione di Dernice pur mostrando lo stesso andamento stagionale, mostra valori ridotti durante tutto il periodo di indagine.

La maggiore risposta ottenuta senza l'attivatore metabolico S9, nella maggior parte dei siti sottoposti ad indagine, suggerisce un importante contributo alla mutagenicità complessiva per la presenza di composti mutageni ad azione diretta.

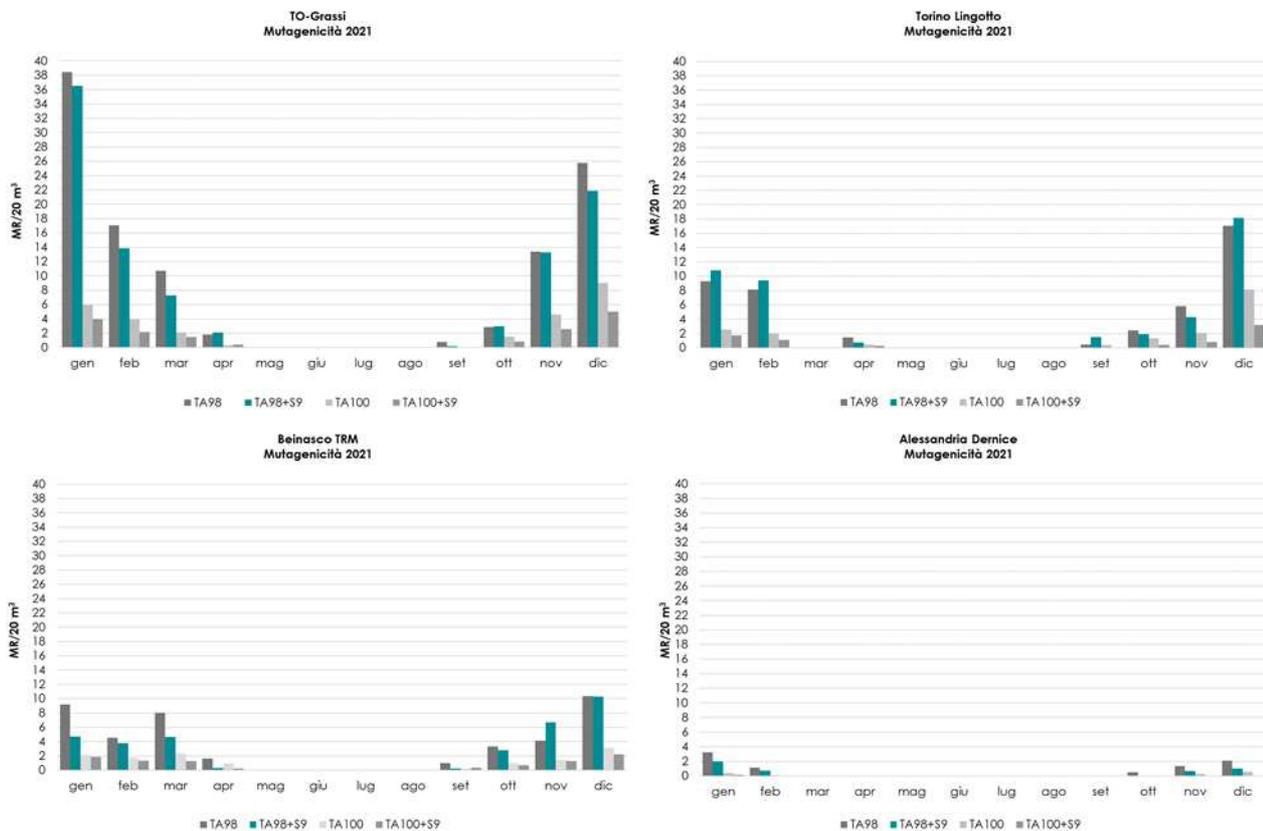


FIGURA 43: mutagenicità rilevata nella stazione di To-Grassi, To-Lingotto, Beinasco TRm e AI-Dernice.

Allo scopo di valutare la mutagenicità complessiva, i valori di MR ottenuti con ogni ceppo sono stati aggregati per ottenere il Fattore di Genotossicità (FG). Il grafico seguente (FIGURA 44) mostra l'andamento annuale della mutagenicità complessiva, consentendo un confronto tra i siti in esame.

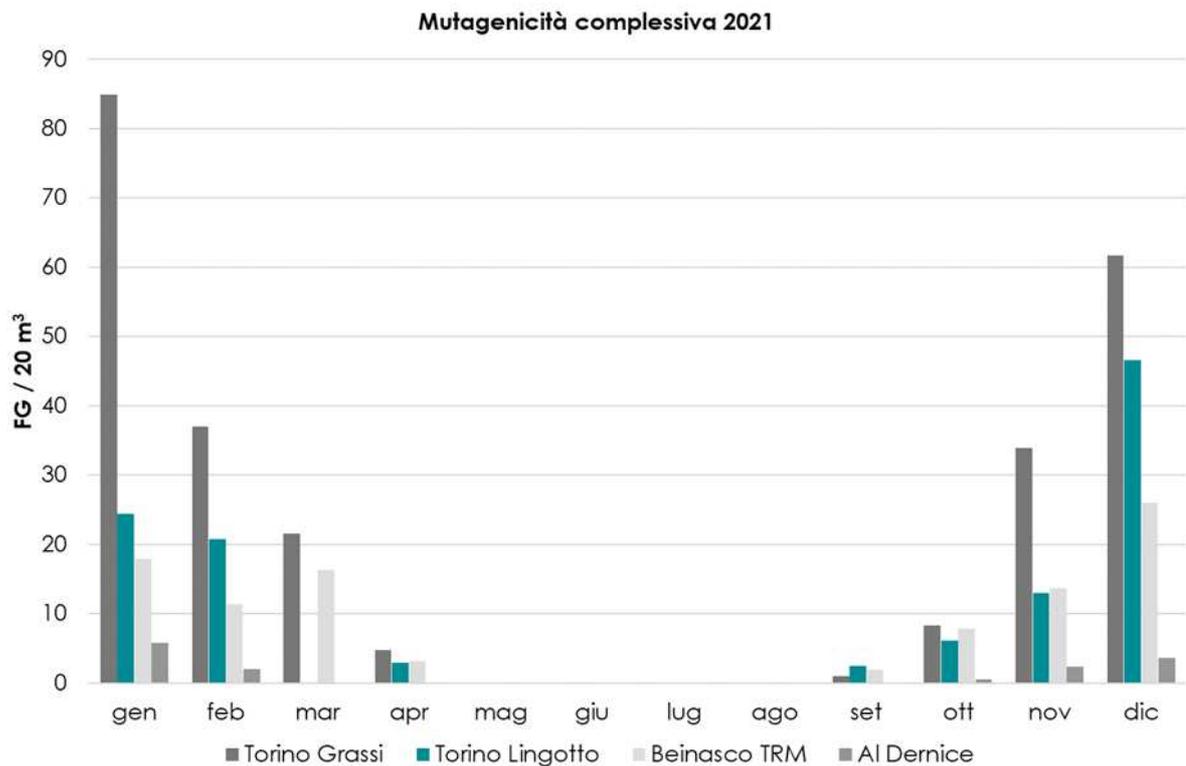


FIGURA 44: mutagenicità complessiva - confronto tra le stazioni in esame.

Il seguente box-plot (FIGURA 45) considera solo i dati autunno-inverno, cioè comprende le risultanze analitiche totali di gennaio, febbraio, novembre e dicembre.

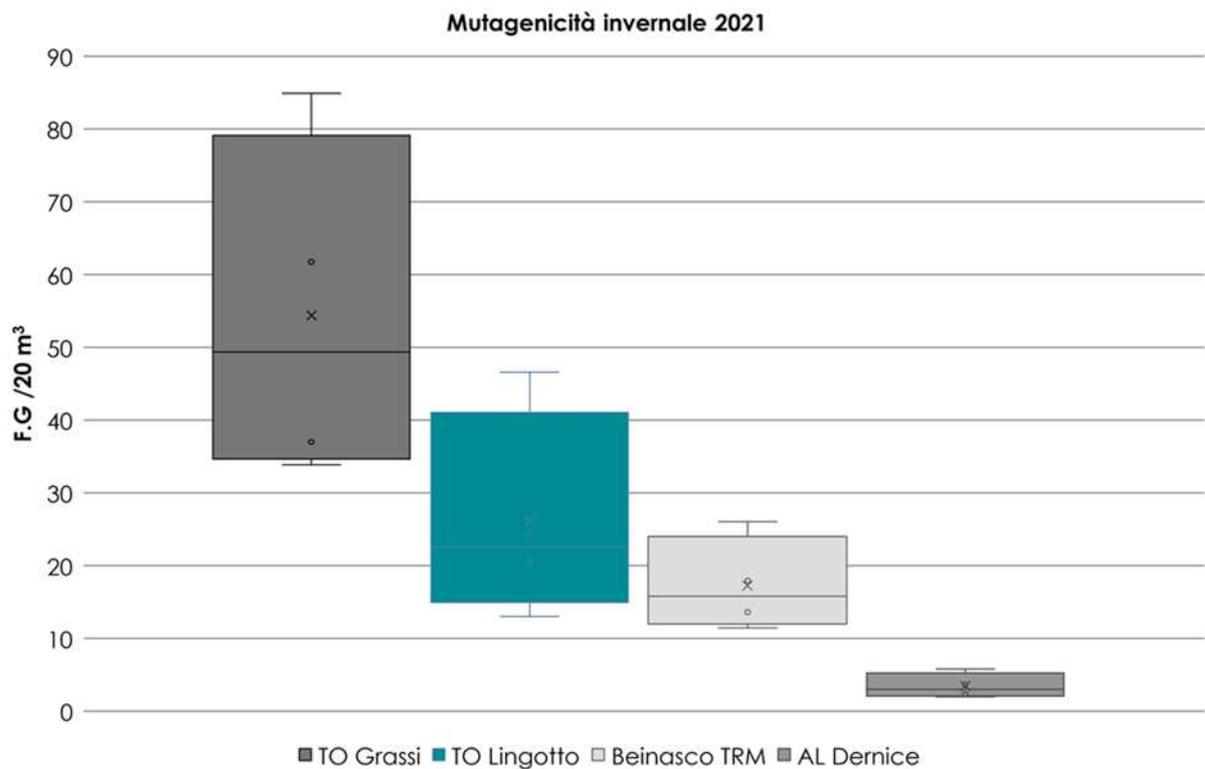


FIGURA 45: box-plot mutagenicità complessiva mesi invernali 2020.

Le analisi eseguite sul particolato atmosferico prelevato nella stazione di traffico urbano TO-Grassi mostrano una mutagenicità significativamente più elevata di quella riscontrata nelle altre stazioni.

I valori riscontrati nelle stazioni To-Lingotto e Beinasco TRM sono tra loro comparabili, mentre la stazione di fondo rurale Dernice si conferma come stazione a basso inquinamento presentando valori significativamente più bassi delle tre stazioni precedenti.

I dati in nostro possesso sono stati aggregati per costruire Indici di Qualità Ambientali (IQA). Ci siamo serviti di curve di qualità ambientale descritte da equazioni, che permettono di passare rapidamente dai valori dei parametri ambientali rilevati (MR, FG) a valori di qualità espressi da un Indice di Qualità Ambientale.

Tale indice assume valori compresi tra 0 e 1 ai quali viene convenzionalmente assegnato rispettivamente il significato di qualità ambientale pessima (IQA=0) e qualità ambientale ottimale (IQA=1). La TABELLA 33 mostra la situazione complessiva ottenuta adottando tali indici.

20m3/piastra	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov
AL - Dernice	0,53	0,71	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,68
TO - Lingotto	0,28	0,31	nd	0,64	1,00	1,00	1,00	1,00	0,68	0,52	0,39
TO - Grassi	0,07	0,21	0,30	0,56	1,00	1,00	1,00	1,00	0,83	0,47	0,23
Beinasco - TRM	0,34	0,41	0,35	0,63	1,00	1,00	1,00	1,00	0,72	0,48	0,38



TABELLA 33: IQA stazioni di TO-Lingotto, TO-Grassi, Beinasco TRM e Alessandria Dernice.

Nonostante il costante rinnovamento del parco veicolare, con conseguente miglioramento della qualità delle emissioni, i dati raccolti negli ultimi sei anni, relativi alla stazione di fondo urbano TO-Lingotto, non indicano sostanziali miglioramenti nel tempo, evidenziando a partire dal 2016 una tendenza pressoché costante della mutagenicità del PM2,5. (FIGURA 46).

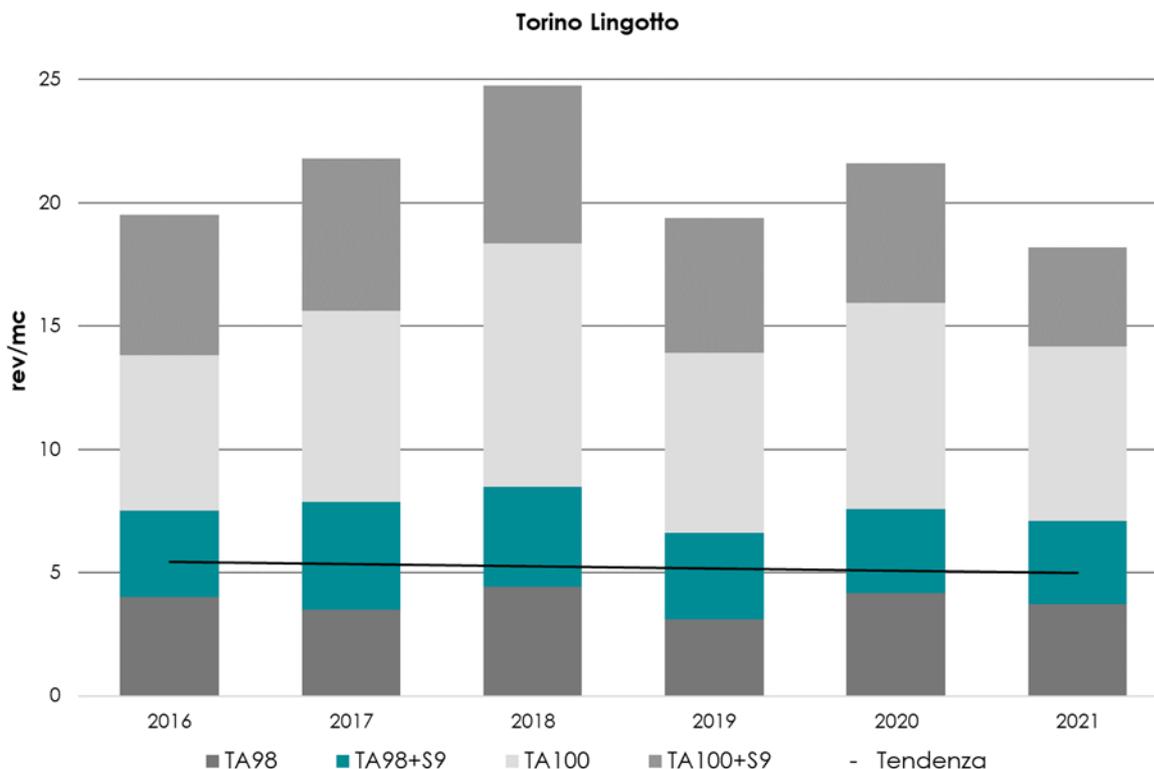


FIGURA 46: confronto dati storici Stazione di Torino Lingotto (media annuale revertenti/m³).

## CONSIDERAZIONI FINALI

La maggior parte dei campioni analizzati nel corso del 2021 ha fornito risultati positivi.

I dati di mutagenesi mostrano lo stesso andamento stagionale evidenziato negli anni precedenti, con valori particolarmente elevati nel periodo invernale. Le condizioni di stabilità atmosferica che si verificano durante il periodo invernale con il conseguente scarso ricambio dei composti inquinanti favoriscono l'assorbimento degli stessi sulle polveri; nello stesso periodo le emissioni dovute al riscaldamento domestico (considerando anche l'utilizzo delle biomasse), tendono ad incrementare la concentrazione di sostanze genotossiche nell'ambiente.

La frazione del particolato con diametro aerodinamico inferiore a  $2,5 \mu\text{m}$  è la più significativa ai fini della stima del danno per la salute, non solo in considerazione del potere di penetrazione e della persistenza biologica, ma anche in conseguenza delle specie chimiche presenti. Sono infatti numerosi i composti chimici presenti nel PM2,5 che possiedono una riconosciuta capacità genotossica. L'articolata risposta ottenuta con tutti i ceppi, con e senza attivazione metabolica, conferma la complessità della matrice analizzata, In particolare il ceppo TA98 ha risposto maggiormente evidenziando la presenza di composti mutageni ad azione diretta sul DNA con un meccanismo di azione per inserzione o delezione di basi azotate.

Le regioni del Nord Italia (in particolare la Pianura Padana) rappresentano una criticità europea relativamente all'inquinamento da polveri sottili. La particolare conformazione geografica e le condizioni meteo climatiche invernali non permettono un'adeguata dispersione degli inquinanti che costituiscono un problema per la salute che interessa non solo i grossi centri urbani, ma tutta la pianura, compresi i centri suburbani e le aree rurali.

In questo territorio il contenimento dei livelli emissivi deve essere ricercato con determinazione, in relazione al costante riscontro di sostanze mutagene nel PM2,5 e vista la correlazione esistente tra evento mutagenetico e cancerogenetico per le sostanze genotossiche.

## ATTIVITÀ ESTROGENICA DEL PARTICOLATO ATMOSFERICO

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

Tiziana Schilirò e Marta Gea – Dip. Scienze della Sanità Pubblica e Pediatriche, Università degli studi di Torino  
Marco Fontana e Daniele Marangon - Laboratorio Specialistico Nord-Ovest, ARPA Piemonte.

### DESCRIZIONE

Gli Interferenti Endocrini (IE) sono sostanze o miscele esogene che alterano la funzione del sistema endocrino e di conseguenza possono causare effetti negativi sulla salute di un organismo o della sua progenie (WHO, 2002). Gli IE possono avere un'origine naturale, come steroidi sessuali, fitoestrogeni e micotossine, o un'origine sintetica, come ad esempio i composti utilizzati nell'industria (es. ftalati, fenoli, policlorobifenili – PCB e idrocarburi policiclici aromatici – IPA) e in particolare nell'industria farmaceutica (es. 17 $\alpha$ -etinilestradiolo e dietilstilbestrolo) o in agricoltura (pesticidi come DDT, atrazina e glifosato). Sono inoltre inclusi in una moltitudine di prodotti di uso quotidiano, come i prodotti per la cura personale e i cosmetici (Martín-Pozo et al., 2021). Le fonti di esposizione a IE per l'uomo sono numerose e molto diverse tra loro (es. cibo, prodotti di uso quotidiano, acqua, suolo e aria) e variano notevolmente a seconda delle abitudini, dell'età, degli ambienti di vita e di lavoro. Una volta entrati nell'organismo umano attraverso l'ingestione, l'inalazione o il contatto dermico, gli IE possono raggiungere il flusso sanguigno e quindi essere distribuiti nell'intero organismo con potenziali effetti sullo sviluppo, sulla riproduzione e sulla cancerogenesi ormone-dipendente (Kumar et al., 2020).

Il monitoraggio di questi inquinanti nelle matrici ambientali risulta di particolare rilevanza per tutelare la salute dell'uomo. La loro presenza è stata ampiamente studiata nelle acque superficiali, nei reflui civili ed industriali (Schilirò et al., 2009; Schilirò et al., 2012; Wee et al., 2019; Zheng et al., 2021), nelle acque potabili (Wee et al., 2021) e negli alimenti, mentre in atmosfera manca di sufficiente documentazione. Negli ultimi anni è cresciuta l'attenzione per la stima del contributo che l'esposizione per inalazione può dare al *body-burden* complessivo degli IE e quindi la comunità scientifica ha iniziato a valutare i potenziali effetti avversi sulla salute dell'uomo attribuibili all'inalazione di questi composti (Darbre, 2018; Plunk e Richards, 2020; Teil et al., 2016).

In generale, le principali attività antropiche che comportano il rilascio degli IE nell'atmosfera comprendono: gli scarichi autoveicolari, l'irrorazione di pesticidi, la vaporizzazione di prodotti chimici di sintesi, le applicazioni di detergenti in ambiente domestico, l'utilizzo di prodotti cosmetici per la cura della persona e la combustione di rifiuti solidi urbani. I principali gruppi di IE che possono essere presenti in atmosfera sono: IPA, PCB, ftalati (es. dietilftalato), polibromodifenil eteri (PBDE), fenoli (es. nonilfenolo), policlorodibenzodiossine (PCDD), pesticidi (es. atrazina) e sostanze perfluoroalchiliche (es. acido perfluorottansolfonico - PFOS) (Annamalai et al., 2015).

A questo proposito le polveri sottili veicolano differenti composti chimici, compresi gli IE, con tossicità eterogenea per l'uomo sia considerati singolarmente, sia in relazione al loro potenziale effetto sinergico. Sebbene la valutazione quali-quantitativa dei livelli di concentrazione delle specie chimiche estratte dalle particelle solide rappresenta un monitoraggio significativo, è possibile sottoporre una matrice così complessa ad analisi di laboratorio che non si limitino ad esaminare solo la concentrazione di una o più specie chimiche, ma che riescano a valutarne anche la complessità nel suo insieme (considerando eventuali effetti sinergici od antagonisti che si instaurano tra le varie specie chimiche presenti). Pertanto, approcci di bio-monitoraggio, attraverso analisi basate sugli effetti, possono essere un utile strumento complementare al monitoraggio tradizionale. Inoltre la Commissione Europea ha riconosciuto l'importanza di sviluppare e implementare metodologie per l'identificazione di miscele chimiche di potenziale preoccupazione e per la valutazione del loro impatto sia sull'ambiente che sulla salute dell'uomo (Kase et al., 2018). Test biologici che prevedono l'utilizzo di batteri, cellule animali e/o vegetali o organismi pluricellulari per valutare la tossicità, la mutagenicità, la genotossicità e l'attività estrogenica di matrici complesse come le matrici ambientali, sono utilizzati da anni nei laboratori di ricerca.

A partire da queste considerazioni, il progetto di studio è stato finalizzato alla valutazione dell'attività estrogenica degli estratti organici di PM<sub>10</sub> e PM<sub>2,5</sub> raccolti negli anni 2019 e 2020 in quattro siti appartenenti alla rete di monitoraggio della qualità dell'aria di ARPA Piemonte, caratterizzati da fonti di inquinamento differenti (TABELLA 34).

Per valutare l'attività estrogenica è stato utilizzato un saggio *gene reporter*, un test capace di valutare l'attivazione del *gene reporter* della luciferasi a seguito del legame del recettore estrogenico con sostanze ad attività estrogenica presenti nei campioni. Il test è stato eseguito sulla

linea cellulare MELN. L'attività estrogenica dei campioni è stata valutata mediante la stima della quantità equivalente di estradiolo (EEQ) che rappresenta la concentrazione totale di composti ad attività estrogenica presenti nella matrice ambientale normalizzata sul composto di riferimento ovvero sul 17 $\beta$ -estradiolo.

Stazione	Codice	Tipo stazione	Tipo zona	PM
To-Lingotto	H19	Background	Urbana	PM2,5
Settimo T.se (TO)	H27	Traffico	Urbana	PM2,5
Dernice (AL)	C09	Background	Rurale	PM2,5
Beinasco (TO)	H33	Background	Suburbana	PM10

TABELLA 34: stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria di ARPA Piemonte.

Il campionamento si è svolto anche durante la pandemia da SARS-CoV-2 consentendo di valutare l'eventuale influenza delle restrizioni pandemiche sulla qualità dell'aria. Per tale motivo i filtri giornalieri sono stati raggruppati in modo da ottenere per ciascun sito e per ciascun anno considerato i seguenti sei campioni:

1. gennaio/febbraio;
2. marzo (2020 con restrizioni elevate es. limitazione degli spostamenti e chiusura delle attività produttive non essenziali);
3. aprile (2020 con restrizioni elevate);
4. maggio/giugno (2020 con restrizioni intermedie es. graduale riapertura delle attività accompagnata da misure meno severe riguardanti gli spostamenti);
5. luglio/agosto/settembre (estate 2020 con restrizioni limitate);
6. ottobre/novembre/dicembre (autunno 2020 con restrizioni intermedie).

### ESAME DEI DATI

In generale quasi tutti i campioni analizzati hanno evidenziato un effetto estrogenico. In tutte le stazioni di monitoraggio esaminate si è rilevato un tipico andamento stagionale con picchi di massima attività estrogenica nel periodo invernale e valori minimi nel periodo primaverile-estivo.

Nelle figure seguenti (FIGURA 47 e FIGURA 48) si riportano i dati degli EEQ calcolati rispettivamente per il 2019 e per il 2020 suddivisi per raggruppamento mensile e per sito.

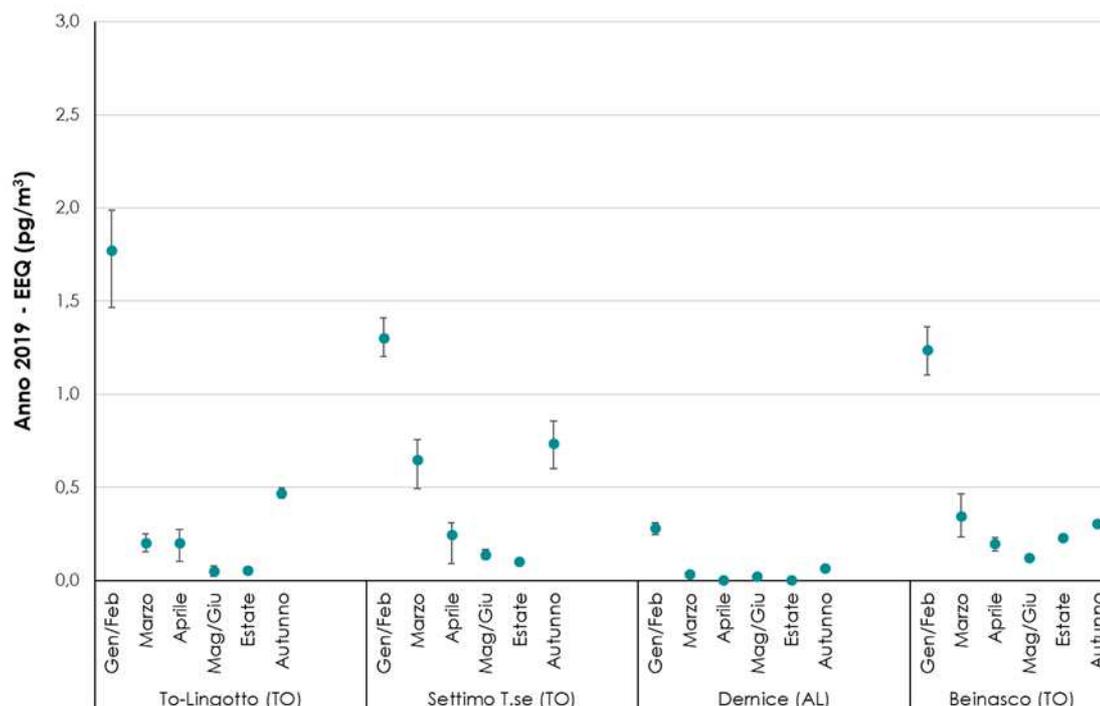


FIGURA 47: andamento degli EEQ misurati nell'anno 2019. I dati sono espressi come media  $\pm$  intervallo di confidenza al 95% (IC 95%) e sono presentati suddivisi in base al raggruppamento mensile e al sito.

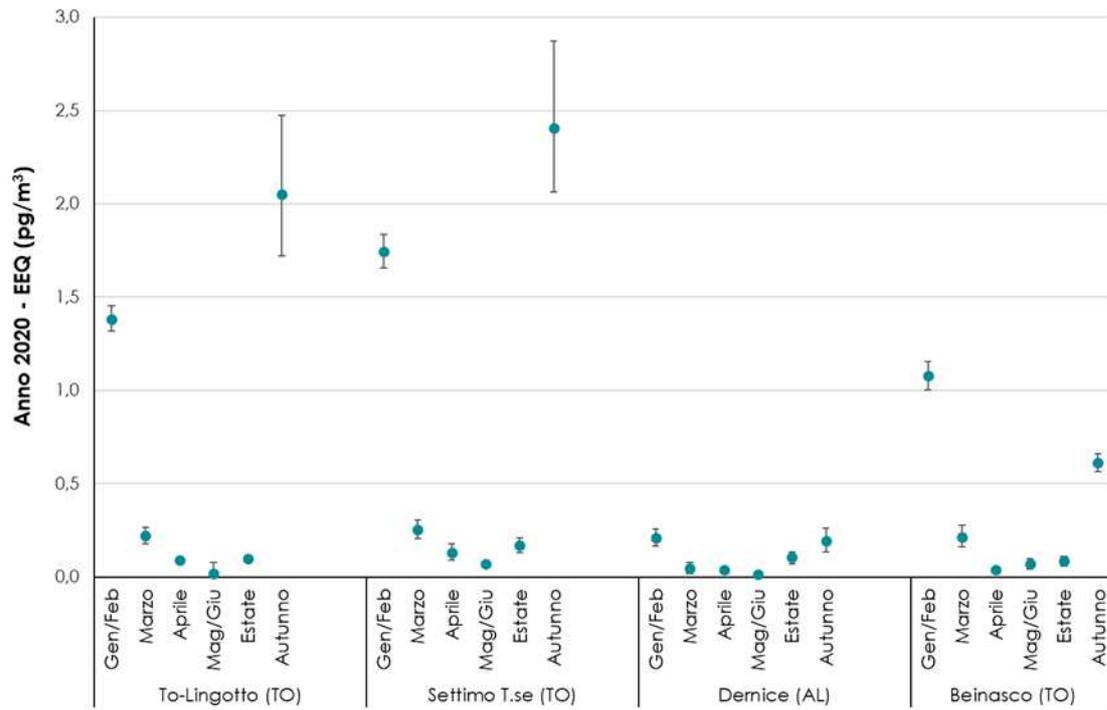


FIGURA 48: andamento degli EEQ misurati nell'anno 2020. I dati sono espressi come media  $\pm$  intervallo di confidenza al 95% (IC 95%) e sono presentati suddivisi in base al raggruppamento mensile e al sito.

Gli EEQ medi per ciascun raggruppamento sono risultati variabili da un minimo di 0,02  $\text{pg}/\text{m}^3$  (Dernice, maggio/giugno 2019 – To-Lingotto, maggio/giugno 2020 – Dernice maggio/giugno 2020) a un massimo di 2,410  $\text{pg}/\text{m}^3$  (Settimo T.se, autunno 2020). Tutti i campioni analizzati hanno indotto un'attività estrogenica significativa ad eccezione dei campioni Dernice aprile 2019 ed estate 2019.

I risultati derivanti dal confronto degli EEQ hanno rivelato una differenza statisticamente significativa tra i quattro siti (test di *Kruskal-Wallis*  $p = 0,006$ ). In particolare, il confronto a coppie (test di Bonferroni) ha evidenziato una differenza statisticamente significativa per le seguenti coppie di siti: Settimo T.se vs Dernice ( $p = 0,006$ ) e Beinasco vs Dernice ( $p = 0,044$ ). Queste differenze tra i siti sono analoghe a quanto emerge per le concentrazioni del  $\text{PM}_{10}$  e del  $\text{PM}_{2,5}$  ad eccezione del confronto tra Dernice e To-Lingotto, la cui differenza è risultata statisticamente significativa solo tra le relative concentrazioni di particolato e non tra i valori di EEQ.

Sono state valutate le correlazioni tra le concentrazioni di inquinanti e gli EEQ utilizzando il coefficiente di correlazione di *Spearman*: benzo(a)pirene vs EEQ,  $r_s = 0,820$  ( $p < 0,001$ );  $\text{PM}_{10}$  vs EEQ  $r_s = 0,851$  ( $p < 0,001$ );  $\text{PM}_{2,5}$  vs EEQ  $r_s = 0,851$  ( $p < 0,001$ ). In generale è possibile affermare che al crescere della concentrazione degli inquinanti si osserva un aumento dell'attività estrogenica (FIGURA 49).

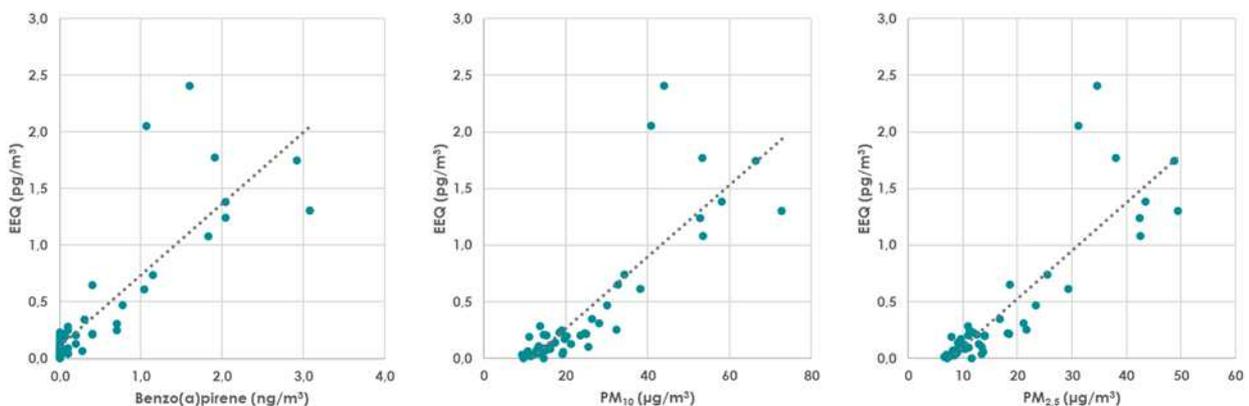


FIGURA 49: relazione tra le concentrazioni degli inquinanti e attività estrogenica espressa in EEQ ( $\text{pg}/\text{m}^3$ ).

L'effetto estrogenico è certamente influenzato dalla concentrazione del PM ed anche dalle miscele di inquinanti assorbiti sulla superficie del PM, ad ogni modo, la concordanza dei valori non è risultata sempre assoluta e talvolta le differenze tra le concentrazioni di inquinanti non necessariamente si sono manifestate in differenze significative dell'effetto biologico valutato.

Per la valutazione dell'andamento stagionale sono stati confrontati i dati relativi ai raggruppamenti mensili caratterizzati da un clima freddo e i dati relativi ai raggruppamenti mensili caratterizzati da un clima caldo (gennaio/febbraio, marzo e autunno vs aprile, maggio/giugno ed estate). L'andamento stagionale è stato analizzato per ciascun sito: To-Lingotto  $p = 0,004$ ; Settimo T.se  $p = 0,004$ ; Dernice  $p = 0,025$ ; Beinasco  $p = 0,006$  (test di *Mann-Whitney*); tutti i confronti mostrano una differenza statisticamente significativa tra il clima caldo e il clima freddo. È interessante notare che la differenza tra clima caldo e clima freddo è risultata significativa anche per il sito di Dernice, per il quale non è stato evidenziato alcun andamento stagionale significativo delle concentrazioni di PM10 e PM2,5. Questo dimostra che gli effetti a livello di attività estrogenica risultano essere diversi tra l'inverno e l'estate, probabilmente anche a causa dell'influenza delle variabili meteorologiche. Si può ipotizzare che nei mesi caldi ci sia una maggiore degradazione degli inquinanti adsorbiti sul PM con attività estrogenica (es. maggiore fotodegradazione dovuta all'irraggiamento UV e maggiore concentrazione di ossidanti come O<sub>3</sub>), tale meccanismo potrebbe giustificare il minore effetto estrogenico rispetto alla stagione invernale-autunnale.

Al fine di valutare se le restrizioni negli spostamenti e il blocco di alcune realtà lavorative volte al contenimento della diffusione del SARS-CoV-2, possano aver contribuito a una diversificazione dell'effetto biologico, l'attività estrogenica valutata negli anni 2019 e 2020 è stata messa a confronto in ciascun sito (test di *Wilcoxon*). Non sono state rilevate differenze statisticamente significative in accordo con i risultati della stessa analisi sul PM ed altri inquinanti. Sono state inoltre valutate eventuali differenze confrontando i dati di attività estrogenica suddivisi per singolo raggruppamento mensile, ma non per sito; analogamente a quanto riscontrato suddiviso per ciascun sito, non si è osservata una differenza statisticamente significativa.

La TABELLA 35 mostra il confronto tra gli EEQ medi annuali dei siti considerati e i valori degli EEQ riportati in altri studi della letteratura scientifica internazionale. Nel complesso, l'attività estrogenica misurata in questo studio è in accordo con altri studi nei quali l'attività estrogenica è stata misurata negli estratti organici di PM campionato in ambienti *outdoor*.

Tipologia di sito	EEQ (pg/m <sup>3</sup> )	Stato
To-Lingotto - 2019	0,05 – 1,77	Italia
Settimo T.se - 2019	0,10 – 1,30	Italia
Dernice - 2019	< lod – 0,28	Italia
Beinasco - 2019	0,12 – 1,24	Italia
To-Lingotto - 2020	0,02 – 2,05	Italia
Settimo T.se - 2020	0,07 – 2,41	Italia
Dernice - 2020	0,02 – 0,21	Italia
Beinasco - 2020	0,04 – 1,08	Italia
Traffico (Croes et al., 2016a)	< lod – 0,20	Belgio
Rurale (Croes et al., 2016b)	0,03 – 0,04	Belgio
Urbano (Oziol et al., 2017)	0,02 – 0,2	Francia
Urbano (Wenger et al., 2009)	0,08 – 1,25	Svizzera
Rurale (Wenger et al., 2009)	0,07 – 0,77	Svizzera

TABELLA 35: confronto tra i valori medi annuali degli EEQ del 2019 e del 2020 per ciascun sito e i valori degli EEQ riportati da altri studi della letteratura scientifica internazionale; lod = limite di rilevabilità.

## CONSIDERAZIONI FINALI

Al momento in letteratura è presente un limitato numero di studi inerenti la valutazione dell'attività estrogenica su campioni di particolato atmosferico e vi sono anche poche azioni di monitoraggio a tale proposito, soprattutto sul territorio nazionale.

Da questo studio è emerso che la maggior parte dei campioni analizzati ha indotto un'attività estrogenica rilevabile; questo effetto biologico è risultato variabile a seconda del sito considerato. In particolare, nei siti urbano (To-Lingotto), di traffico (Settimo T.se) e in prossimità del termovalorizzatore (Beinasco) è stata rilevata una maggiore attività estrogenica rispetto al sito rurale (Dernice), in accordo con le concentrazioni degli inquinanti e con altri studi di letteratura scientifica.

Inoltre, per entrambi gli anni considerati, in tutti i siti, è stato rilevato un andamento stagionale significativo, caratterizzato da valori maggiori in autunno-inverno rispetto alla primavera-estate.

Non si sono osservate differenze significative, invece, tra l'anno 2019 e 2020 analogamente a quanto già riscontrato nel territorio per le concentrazioni di vari inquinanti; le restrizioni dovute alla pandemia, nonostante possano aver contribuito a ridurre o modificare le emissioni di inquinanti, non hanno ridotto o modificato in maniera significativa le concentrazioni di inquinanti né l'effetto biologico del PM (attività estrogenica) rispetto all'anno precedente.

La Regione Piemonte (come tutta la Pianura Padana) rappresenta una criticità a livello europeo relativamente all'inquinamento da polveri sottili. La particolare conformazione geografica e le condizioni meteo-climatiche invernali non permettono un'adeguata dispersione degli inquinanti che costituiscono un problema per la salute dell'uomo. Questo problema interessa non solo le aree urbane ma anche quelle rurali. In questo territorio il contenimento dei livelli emissivi deve essere perseguito con costanza così come il monitoraggio della qualità dell'aria, non solo da un punto di vista quantitativo (concentrazioni di PM e di inquinanti) ma anche qualitativo in relazione al riscontro di effetti biologici, come quello estrogenico. Infatti, il monitoraggio delle concentrazioni di inquinanti e, in modo complementare, dei loro effetti biologici sembrano essere utili strumenti per quantificare l'efficacia di differenti azioni politiche sulla qualità dell'aria e quindi sulla salute umana.

Annamalai, J., Namasivayam, V. (2015). *Endocrine disrupting chemicals in the atmosphere: Their effects on humans and wildlife*. Environment International 76, 78-97.

Croes, K., Debaillie, P., Van den Bril, B., Staelens, J., Vandemarken, T., Van Langenhove, K., Denison, M. S., Leermakers, M., Elskens, M. (2016a). *Assessment of estrogenic activity in PM10 air samples with the ERE-CALUX bioassay: Method optimization and implementation at an urban location in Flanders (Belgium)*. Chemosphere 144, 392-398.

Croes, K., Van der Heuvel, R., Van der Bril, B., Staelens, J., Denison, M. S., Van Langenhove, K., Vandemarken, T., Elskens, M. (2016b). *Assessment of estrogenic and androgenic activity in PM10 air samples from an urban, industrial and rural area in Flanders (Belgium) using the CALUX bioassay*. Environmental Research 150, 66-72.

Darbre, D. P. (2018). *Overview of air pollution and endocrine disorders*. International Journal of General Medicine 11, 191-207.

Kase, R., Javurkova, B., Simon, E., Swart, K., Buchinger, S., Könemann, S., Escher, B.J., Carere, M., Dulio, V., Ait-Aissa, S., Hollert, H., Valsecchi, S., Polesello, S., Behnisch, P., di Paolo, C., Olbrich, D., Sychrova, E., Gundlach, M., Schlichting, R., Leborgne, L., Clara, M., Scheffknecht, C., Marneffe, Y., Chalou, C., Tusil, P., Soldan, P., von Danwitz, B., Schwaiger, J., Moran Palao, A., Bersani, F., Perceval, O., Kienle, C., Vermeirssen, E., Hilscherova, K., Reifferscheid, G., Werner, I. (2018). *Screening and risk management solutions for steroidal estrogens in surface and wastewater*. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 102, 343-358.

Kumar, M., Sarma, D.K., Shubham, S., Kumawat, M., Verma, V., Prakash, A., Tiwari, R. (2020). *Environmental endocrine-disrupting chemical exposure: role in non-communicable diseases*. Frontiers in Public Health 24(8), 553850.

Martín-Pozo, L., Gómez-Regalado, M.D.C., Moscoso-Ruiz, I., Zafrá-Gómez, A. (2021). *Analytical methods for the determination of endocrine disrupting chemicals in cosmetics and personal care products: A review*. Talanta, 234, 122642.

Oziol, L., Alliot, F., Botton, J., Bimbot, M., Huteau, V., Levi, Y., Chevreuil, M. (2017). *First characterization of the endocrine-disrupting potential of indoor gaseous and particulate contamination: comparison with urban outdoor air (France)*. Environmental Science and Pollution Research 24, 3142-3152.

Plunk, E.C., Richards, S.M. (2020). *Endocrine-disrupting air pollutants and their effects on the hypothalamus-pituitary-gonadal axis*. International Journal of Molecular Sciences 21(23), 9191.

Schilirò, T., Pignata, C., Rovere, R., Fea, E., Gilli, G. (2009). *The endocrine disrupting activity of surface waters and of wastewater treatment plant effluents in relation to chlorination*. Chemosphere 75, 335-340.

Schilirò, T., Porfido, A., Spina, F., Varese, G.C., Gilli, G. (2012). *Oestrogenic activity of a textile industrial wastewater treatment plant effluent evaluated by the E-screen test and MELN gene-reporter luciferase assay*. Science of the Total Environment 432, 389-395.

Teil, M.J., Moreau-Guigon, E., Alliot, M.B.F., Gasperi, J., Cladière, M., Mandin, C., Moukhtar, S., Chevreuil, M. (2016). *Endocrine disrupting compounds in gaseous and particulate outdoor air phases according to environmental factors*. Chemosphere 146, 94-104.

Wee, S.Y., Aris, A.Z., Yusoff, F.M., Praveena, S.M. (2019). *Occurrence and risk assessment of multiclass endocrine disrupting compounds in an urban tropical river and a proposed risk management and monitoring framework*. Science of the Total Environment 671, 431-442.

Wee, S.Y., Aris, A.Z., Yusoff, F.M., Praveena, S.M. (2021). *Tap water contamination: Multiclass endocrine disrupting compounds in different housing types in an urban settlement*. Chemosphere 264(1), 128488.

Wenger, D., Gerecke, A.C., Heeb, N.V., Schmid, P., Hueglin, C., Naegeli, H., Zenobio, R. (2009). *In vitro estrogenicity of ambient particulate matter: contribution of hydroxylated polycyclic aromatic hydrocarbons*. Journal of Applied Toxicology, 29(3), 223-232.

WHO/IPCS 2002. Available from: [http://www.who.int/ipcs/publications/new\\_issues/endocrine\\_disruptors/en/](http://www.who.int/ipcs/publications/new_issues/endocrine_disruptors/en/).

Zheng, R.H., Fang, C., Hong, F.K., Kuang, W.M., Lin, C., Jiang, Y.L., Chen, J.C., Zhang, Y.S., Bo, J. (2021). *Developing and applying a classification system for ranking the biological effects of endocrine disrupting chemicals on male rockfish *Sebastes marmoratus* in the Maowei Sea, China*. Marine Pollution Bulletin 163, 111931.

## METALLI

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

L. Milizia, 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 (saturismo), 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 36 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 36: 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 37, TABELLA 38, TABELLA 39 e TABELLA 40) 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 2021 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. 2021 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di ARSENICO nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )									
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Beinasco-TRM	94%		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
Borgaro	90%	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	<b>0,7</b>
Carmagnola	87%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	<b>0,7*</b>
Ceresole Reale	89%	0,7*	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7*	0,7*	<b>0,7*</b>
Druento	91%	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*	0,7*	
Oulx	88%		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	97%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	<b>0,7</b>
To-Consolata	74%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	<b>0,7*</b>
To-Grassi	99%	0,7*	0,7*	0,7*	0,7*	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7*	<b>0,7</b>
To-Lingotto PM10	96%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7*	0,7	0,7	<b>0,7</b>
To-Rebaudengo	92%	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
To-Rubino	96%	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 37: concentrazioni medie annuali di arsenico determinate sul Particolato Atmosferico, 2012-2021.

Per il **cadmio** in tutti i siti la concentrazione è significativamente inferiore rispetto al valore obiettivo di 5 ng/m<sup>3</sup>. Nel 2021 si osserva un sensibile miglioramento rispetto all'anno precedente, il quadro d'insieme conferma i livelli registrati nel biennio 2018/2019.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2021 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Cadmio nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )									
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Beinasco-TRM	94%		0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	<b>0,1</b>
Borgaro	90%	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1*	0,2	<b>0,1</b>
Carmagnola	87%	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	<b>0,1*</b>
Ceresole Reale	89%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	0,1*	0,1*	<b>0,1*</b>
Druento	91%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	<b>0,1</b>
Ivrea		0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1*	0,1	0,1*	0,1*	
Oulx	88%		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	97%	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	<b>0,1</b>
To-Consolata	74%	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2*	<b>0,1*</b>
To-Grassi	99%	0,4	0,3	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2*	0,2	0,3*	<b>0,3</b>
To-Lingotto PM10	96%	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1*	0,1	0,2	<b>0,1</b>
To-Rebaudengo	92%	0,4	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	<b>0,2</b>
To-Rubino	96%	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1*	0,1*	0,2	<b>0,1</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 38: concentrazioni medie annuali di cadmio determinate sul Particolato Atmosferico, 2012-2021.

Nel 2021 il livello di cadmio più elevato, pari a 0,3 ng/m<sup>3</sup>, è stato registrato presso la stazione di traffico urbano di Torino – Grassi. Presso la stessa stazione anche la composizione percentuale di tale metallo nelle polveri campionate (TABELLA 41) risulta la più elevata ed in lieve aumento rispetto al 2020 al contrario degli altri siti per i quali risulta stabile o in decremento rispetto all'anno precedente.

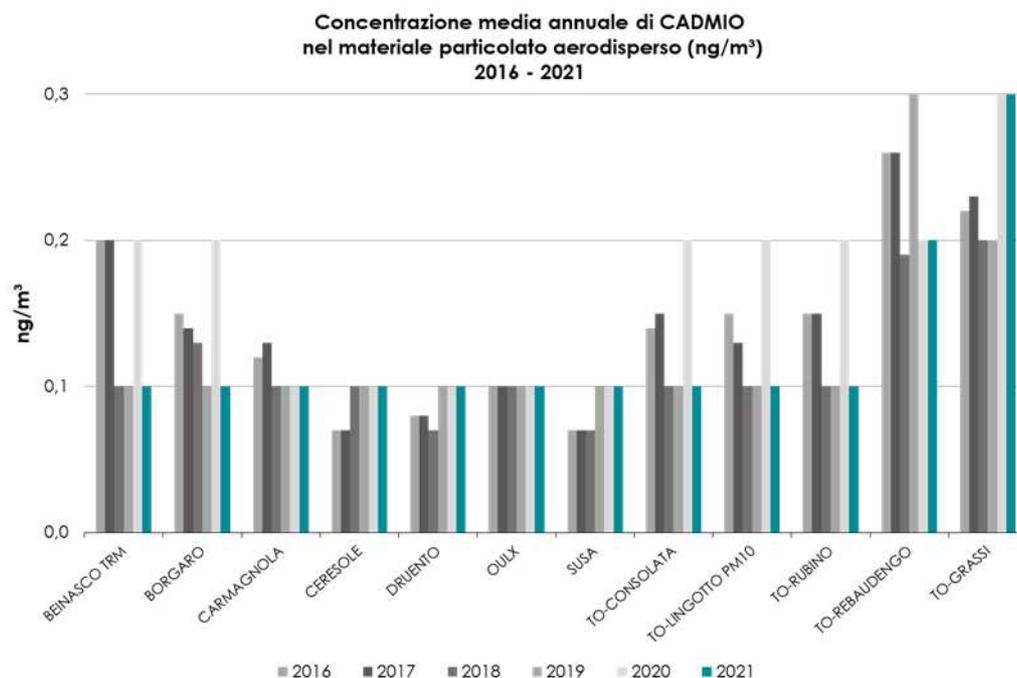


FIGURA 50: concentrazioni medie annuali di cadmio determinate sul Particolato Atmosferico 2016-2021.

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 una diminuzione delle concentrazioni, in alcuni casi anche sostanziale rispetto al 2020.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2021 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Nichel nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )									
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Beinasco-TRM	94%		2,9	2,7	3,0	2,2	2,7	2,2	2,4	1,7	<b>1,8</b>
Borgaro	90%	4,7*	3,4*	3,0*	4,3*	2,4	4,2	2,2	2,2*	2,1	<b>1,9</b>
Carmagnola	87%	3,9	3,2	2,5	3,0	1,9	2,9	2,2	2,7	1,8	<b>1,6*</b>
Ceresole Reale	89%	1,0*	0,7	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8*	0,8*	0,9*	<b>0,7*</b>
Druento	91%	3,2	1,6	1,5	3,8	1,1	2,6	1,3	1,8	1,2*	<b>2,5</b>
Ivrea		3,2	2,4	2,2	3,0	1,6	2,2*	1,4	1,5*	1,5*	
Oulx	88%		1,4	1,8*	1,7*	1,3	2,0	1,3	1,6	1,1	<b>1,3*</b>
Settimo							4,0*	2,3*	5,6	2,2	
Susa	97%	2,2	1,1	1,9	2,7	1,4	1,4	1,0	1,2	0,9	<b>0,9</b>
To-Consolata	74%	7,3	4,9	4,8	5,3	3,7	3,7	2,7	3,3	3,5*	<b>2,6*</b>
To-Grassi	99%	7,9*	5,8*	5,0*	5,5*	3,9	4,8	3,2*	4,6	4,2*	<b>3,8</b>
To-Lingotto PM10	96%	4,8	3,5	3,2	3,3	2,2	2,5	1,4*	1,6	1,3	<b>1,1</b>
To-Rebaudengo	92%	7,2	5,2	4,5	4,6	3,0	3,0	2,3	4,0	2,1	<b>1,6</b>
To-Rubino	96%	4,8	3,0	3,2	3,4	2,0	2,8	1,7*	2,4*	2,3	<b>2,0</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 39: concentrazioni medie annuali di nichel determinate sul Particolato Atmosferico, 2012-2021.

La concentrazione media annuale più bassa è stata rilevata presso il sito montano di Ceresole con un valore pari a 0,7 ng/m<sup>3</sup> mentre nelle altre stazioni della provincia le concentrazioni sono comprese tra 0,9 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 se in decremento rispetto al 2020. Anche a livello di presenza percentuale di nichel nelle polveri PM10 si osserva un generale decremento rispetto al 2020.

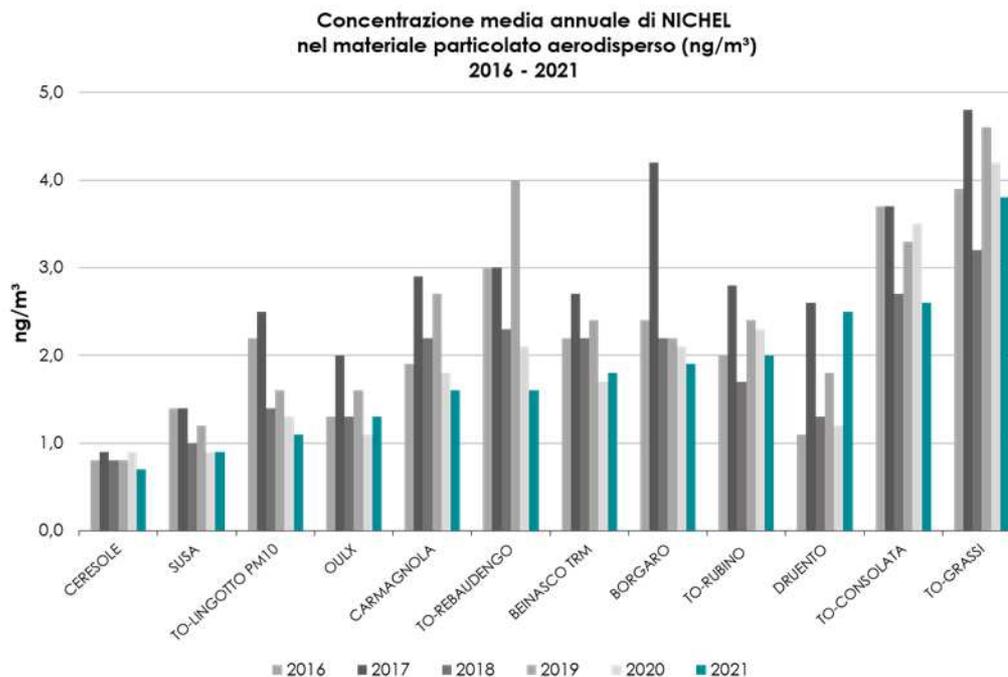


FIGURA 51: concentrazioni medie annuali di nichel determinate sul Particolato Atmosferico – 2016-2021.

Per quanto riguarda il **piombo** in FIGURA 52 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 2020 si registra un miglioramento delle concentrazioni anche se la media annuale del 2021 registrata presso la stazione di Torino - Consolata è certamente sottostimata dal momento che è calcolata senza l'ultimo bimestre (percentuale di dati validi pari a 76%).

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2021 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Piombo nel materiale particolato aerodisperso (µg/m <sup>3</sup> )									
		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Beinasco-TRM	94%	0,009	0,008	0,008	0,008	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	<b>0,005</b>
Borgaro	90%	0,009*	0,009	0,006	0,009	0,007	0,007	0,006	0,005*	0,005	<b>0,005</b>
Carmagnola	87%	0,008	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,004	0,004	0,004	<b>0,005*</b>
Ceresole Reale	89%	0,001*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001*	0,002*	<b>0,001*</b>
Druento	91%	0,006	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,003	0,003	0,003*	<b>0,003</b>
Ivrea		0,006	0,006	0,004	0,005	0,004	0,006	0,004	0,004*	0,003*	
Oulx	88%		0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,001	<b>0,002*</b>
Settimo							0,015	0,006	0,006	0,007	
Susa	97%	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003	0,004	0,003	0,003	0,003	<b>0,002</b>
To-Consolata	74%	0,013	0,01	0,008	0,010	0,008	0,009	0,006	0,006	0,007*	<b>0,005*</b>
To-Grassi	99%	0,018*	0,012	0,012	0,020	0,011	0,011	0,008	0,01	0,011*	<b>0,015</b>
To-Lingotto PM10	96%	0,009	0,007	0,007	0,009	0,007	0,007	0,005	0,005	0,005	<b>0,005</b>
To-Rebaudengo	92%	0,020	0,019	0,015	0,021	0,013	0,016	0,011	0,01	0,011	<b>0,008</b>
To-Rubino	96%	0,010	0,009	0,007	0,008	0,006	0,007	0,005	0,005*	0,005	<b>0,005</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 40: concentrazioni medie annuali di piombo determinate sul Particolato Atmosferico, 2012-2021.

Anche per il piombo la stazione che ha registrato il valore medio annuale maggiore nel 2021 è quella di Torino - Grassi, pari a 0,015 µg/m<sup>3</sup>. Presso lo stesso punto di misura anche la composizione percentuale di tale metallo nel particolato risulta più abbondante ed in crescita rispetto agli anni precedenti: 0.042 % rispetto a 0.027% del 2020 che era stata la più elevata dell'ultimo lustro.

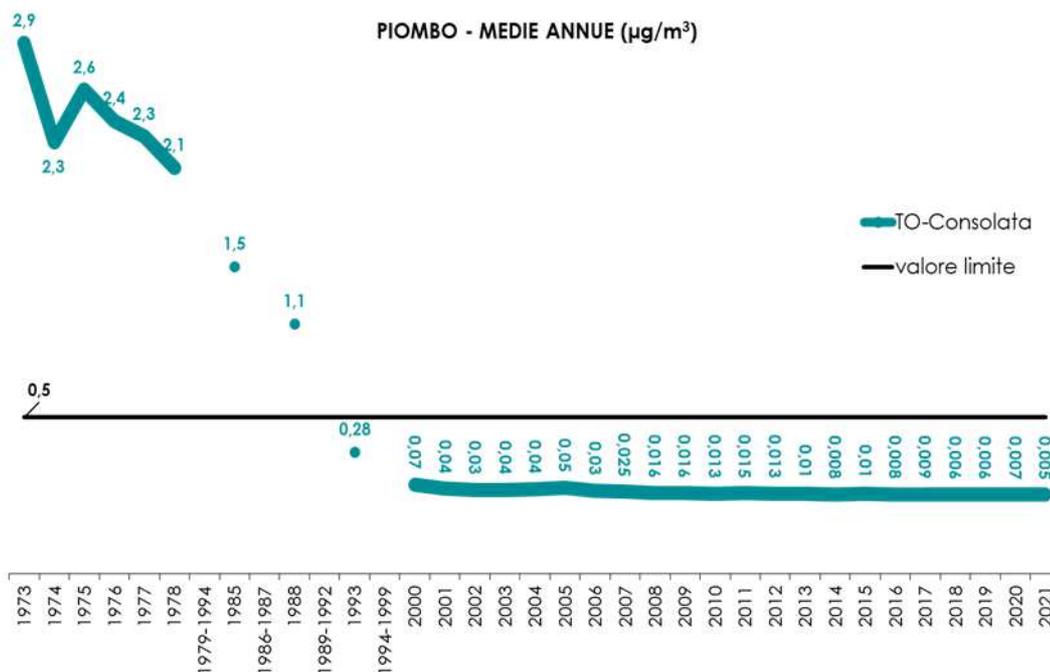


FIGURA 52: parametro piombo, medie annuali misurate presso la stazione di TO-Consolata nel periodo 1973 – 2020.

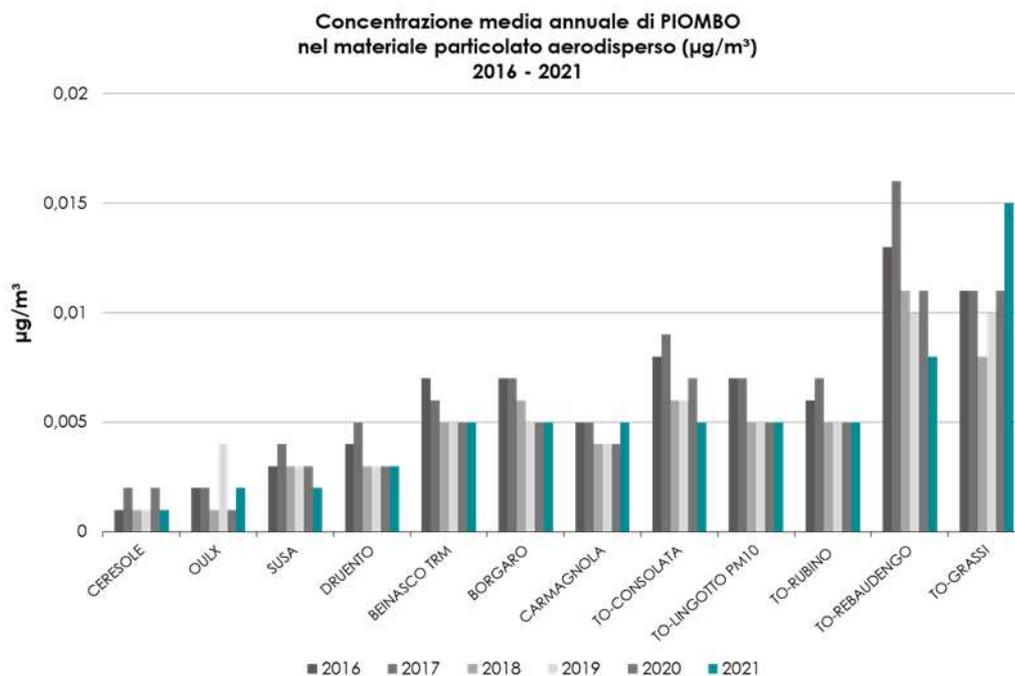


FIGURA 53: concentrazioni medie annuali di piombo determinate sul Particolato Atmosferico – 2015-2020.

A livello provinciale i livelli risultano ampiamente al di sotto del valore limite e la concentrazione più bassa è stata registrata presso la stazione montana di Ceresole. 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 2021 mostra un sostanziale miglioramento dei livelli rispetto agli anni precedenti.

Per tutti i metalli le concentrazioni medie annuali rilevate presso la stazione di Torino – Consolata sono realisticamente sottostimate, considerando che quanto registrato per il 2021 è stato calcolato senza l'ultimo bimestre (mancano i dati dal 28 settembre).

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 della rete di simile tipologia.

STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato %Cd									
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Beinasco-TRM		0,0006	0,0003	0,0006	0,0007	0,0006	0,0004	0,0004	0,0007	<b>0,0004</b>
Borgaro	0,0005	0,0005	0,0004	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	<b>0,0004</b>
Carmagnola	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	<b>0,0003</b>
Ceresole Reale	0,0008	n.c.	n.c.	n.c.	0,0008	0,0006	0,0006	0,0011	0,0010	<b>0,0010</b>
Druento	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0005	0,0005	<b>0,0005</b>
Ivrea	0,0005	0,0004	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	<b>0,0007</b>
Oulx		0,0006	0,0006	0,0006*	0,0006	0,0006	0,0006	0,0007	0,0006	<b>0,0006</b>
Settimo						0,0007	0,0003	0,0003	0,0006	<b>0,0004</b>
Susa	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0004	0,0007	0,0006	<b>0,0008</b>
To-Consolata	0,0006	0,0006	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0004	0,0006	<b>0,0004</b>
To-Grassi	0,0007	0,0006	0,0005	0,0007	0,0005	0,0005	0,0004	0,0005	0,0007	<b>0,0006</b>
To-Lingotto PM10	0,0006	0,0005	0,0004	0,0005	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004	0,0007	<b>0,0003</b>
To-Rebaudengo		0,0009	0,0007	0,0009	0,0007	0,0006	0,0005	0,0009	0,0006	<b>0,0004</b>
To-Rubino	0,0006	0,0005	0,0004	0,0004	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0006	<b>0,0004</b>
STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato %Cd									
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Beinasco-TRM		0,009	0,009	0,009	0,008	0,008	0,008	0,009	0,006	<b>0,007</b>
Borgaro	0,011	0,010	0,010	0,012	0,008	0,011	0,007	0,008	0,007	<b>0,007</b>
Carmagnola	0,008	0,008	0,007	0,007	0,005	0,006	0,006	0,008	0,005	<b>0,005</b>
Ceresole Reale	0,011	0,012	0,018	0,013	0,009	0,008	0,007	0,009	0,009	<b>0,007</b>
Druento	0,011	0,007	0,008	0,017	0,005	0,010	0,006	0,009	0,006	<b>0,012</b>
Ivrea	0,009	0,009	0,010	0,011	0,006	0,007	0,006	0,006	0,006	<b>0,009</b>
Oulx		0,008	0,011	0,009	0,008	0,011	0,007	0,011	0,007	<b>0,005</b>
Settimo						0,009	0,006	0,016	0,006	<b>0,009</b>
Susa	0,011	0,006	0,012	0,015	0,008	0,006	0,006	0,008	0,006	<b>0,011</b>
To-Consolata	0,015	0,012	0,014	0,013	0,011	0,009	0,008	0,012	0,010	<b>0,004</b>
To-Grassi	0,013	0,012	0,012	0,011	0,009	0,010	0,008	0,012	0,010	<b>0,005</b>
To-Lingotto PM10	0,011	0,009	0,010	0,009	0,006	0,006	0,005	0,006	0,004	<b>0,007</b>
To-Rebaudengo		0,014	0,011	0,011	0,008	0,007	0,006	0,012	0,006	<b>0,007</b>
To-Rubino	0,012	0,009	0,010	0,009	0,006	0,007	0,006	0,009	0,007	<b>0,007</b>
STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato %Cd									
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Beinasco-TRM		0,027	0,027	0,024	0,024	0,017	0,018	0,019	0,018	<b>0,019</b>
Borgaro	0,021	0,026	0,019	0,026	0,023	0,018	0,020	0,019	0,017	<b>0,019</b>
Carmagnola	0,016	0,017	0,014	0,012	0,014	0,011	0,011	0,011	0,011	<b>0,015</b>
Ceresole Reale	0,011	0,017	0,020	0,014	0,011	0,018	0,009	0,011	0,020	<b>0,010</b>
Druento	0,021	0,017	0,021	0,017	0,019	0,019	0,014	0,016	0,014	<b>0,014</b>
Ivrea	0,018	0,022	0,017	0,018	0,015	0,019	0,016	0,017	0,011	<b>0,013</b>
Oulx		0,011	0,012	0,011	0,013	0,011	0,006	0,027	0,006	<b>0,012</b>
Settimo						0,034	0,017	0,018	0,020	<b>0,018</b>
Susa	0,024	0,022	0,025	0,017	0,018	0,018	0,017	0,020	0,019	<b>0,042</b>
To-Consolata	0,027	0,025	0,023	0,025	0,023	0,021	0,018	0,021	0,019	<b>0,019</b>
To-Grassi	0,030	0,026	0,028	0,038	0,026	0,023	0,020	0,026	0,027	<b>0,024</b>
To-Lingotto PM10	0,021	0,018	0,022	0,025	0,021	0,018	0,018	0,019	0,017	<b>0,017</b>
To-Rebaudengo		0,051	0,038	0,049	0,035	0,035	0,028	0,029	0,031	<b>0,019</b>
To-Rubino	0,025	0,026	0,023	0,022	0,019	0,018	0,017	0,018	0,016	<b>0,019</b>

TABELLA 41: concentrazioni medie annuali di cadmio, nichel e piombo determinate sul Particolato Atmosferico, 2012-2021.

## MERCURIO ELEMENTARE GASSOSO

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

L. Milizia, 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.

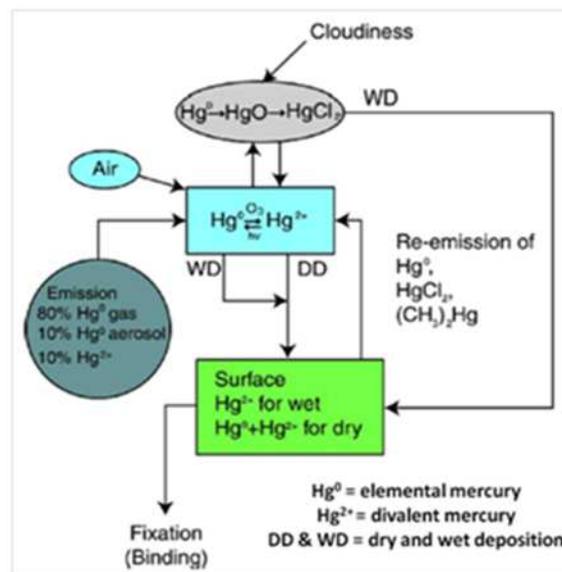


FIGURA 54: mercurio in atmosfera.

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>49</sup>.

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

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

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

La stazione di Torchiarolo (Br), suburbana di tipo industriale, ha rilevato nel 2020 un valore di media annuale pari a 2,6 ng/m<sup>3</sup>, con un massimo orario di 23,0 ng/m<sup>3</sup>. La stazione di Monte Sant'Angelo (FG), di fondo rurale, ha registrato nel 2019 una media di 1,7 ng/m<sup>3</sup>, con un massimo di 4,0 ng/m<sup>3</sup>.

<sup>49</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>50</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>51</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>52</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 2021 sono riassunti nella TABELLA 42, mentre la TABELLA 43 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	5
Media delle medie giornaliere	4
Giorni validi	348
Percentuale giorni validi	95%
Media dei valori orari	4
Massima media oraria	11
Ore valide	8401
Percentuale ore valide	96%

TABELLA 42: mercurio elementare gassoso: indicatori statistici anno 2021.

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

TABELLA 43: mercurio elementare gassoso: concentrazioni medie mensili anno 2021.

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>50</sup> WHO Air Quality Guidelines for Europe, 2nd edition, pag. 157-160. Per mercurio inorganico si intende la somma di mercurio allo stato di vapore e dei composti di mercurio divalente. Nella definizione della linea guida non viene considerato il metilmercurio in quanto l'OMS sottolinea che l'esposizione a questo composto per inalazione è alcuni ordini di grandezza inferiore a quella legata alla contaminazione della catena alimentare attraverso gli ecosistemi acquatici. A questo proposito il Position Paper citato specifica (pag. 4 e pag.29) che la contaminazione da mercurio degli ecosistemi acquatici è originata – oltre che dallo scarico diretto di mercurio nei sistemi acquatici - dal lento processo di trasporto dai suoli in cui il mercurio si accumula a causa delle emissioni antropogeniche in atmosfera e dei conseguenti fenomeni di trasporto, trasformazione e deposizione anche su lunga distanza. Nei sistemi acquatici una parte del mercurio si trasforma per azione di microrganismi in composti del tipo del metilmercurio che hanno facilità a bioaccumularsi nella catena alimentare causa la loro caratteristiche lipofile.

<sup>51</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>52</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 uno specifico periodo temporale (acuta, intermedia, cronica).

questo modo si ottiene un campione medio composito su cui viene effettuata la determinazione, per cui la concentrazione dei metalli risulta disponibile come valore medio mensile. Le medie mensili del mercurio sul PM10 sono riportate in TABELLA 44.

Mercurio sul PM10 (valori di conc. espressi in ng/m <sup>3</sup> )	Beinasco (TRM) Aldo Mei
Gennaio	< 0,14
Febbraio	< 0,15
Marzo	< 0,14
Aprile	< 0,15
Maggio	< 0,14
Giugno	< 0,15
Luglio	< 0,14
Agosto	< 0,14
Settembre	< 0,15
Ottobre	< 0,14
Novembre	< 0,15
Dicembre	< 0,14

TABELLA 44: mercurio sul PM10 - Concentrazioni medie mensili anno 2021.

Analizzando nel dettaglio la serie temporale del mercurio elementare gassoso, si osserva che i valori misurati nel 2021 si sono costantemente assestati attorno ad alcuni ng/m<sup>3</sup>, con un massimo assoluto orario, verificatosi a novembre, pari a 11 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 2021 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 55 è riportato l'andamento temporale delle concentrazioni medie mensili di mercurio dall'attivazione della stazione sino a tutto il 2021. 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.

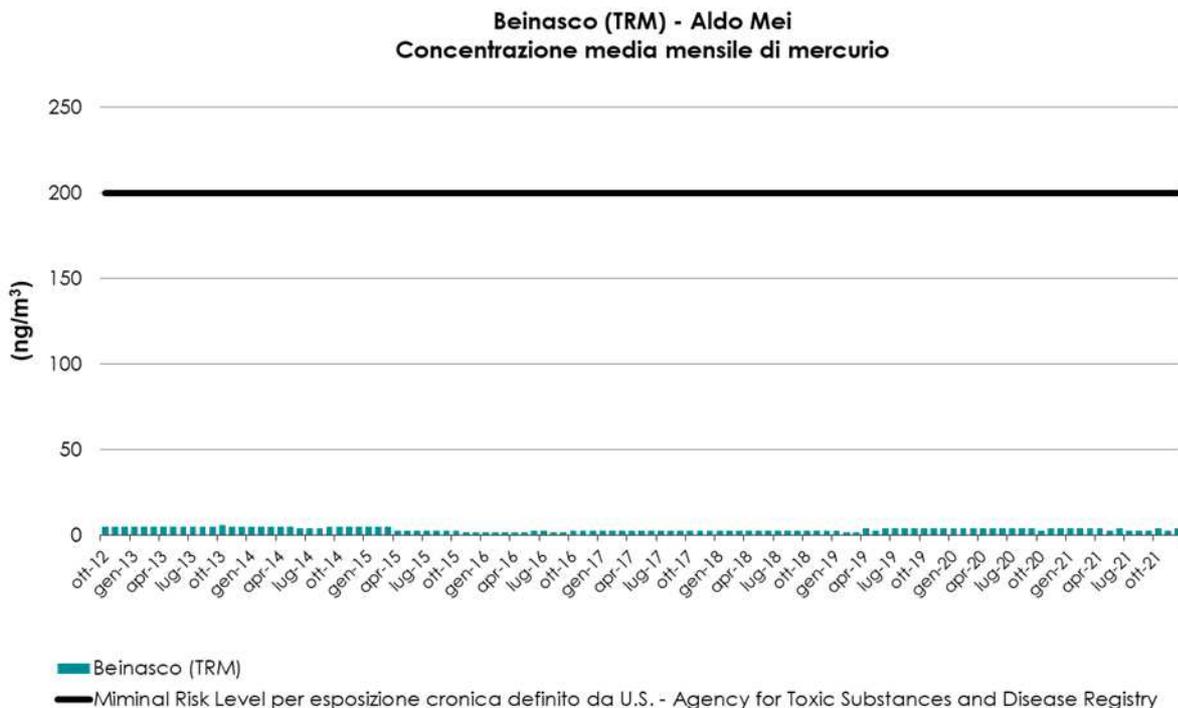


FIGURA 55: andamento delle concentrazioni mensili di mercurio nella stazione di Beinasco Aldo Mei dal 2012 al 2021.

## 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>53</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>54</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 45). Non sono previsti limiti normativi per gli altri IPA perché, essendo il BaP il composto più

<sup>53</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>54</sup> International Agency for Research on Cancer (IARC) - Agents reviewed by the IARC monographs Volumes 1-100A last updated 2 april 2009

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

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

TABELLA 45: benzo(a)pirene, valori di riferimento e normativa in vigore.

### ESAME DEI DATI

In TABELLA 46 sono riportate per le stazioni di monitoraggio del territorio metropolitano e per il periodo 2009-2020. le concentrazioni medie annuali di Benzo(a)Pirene rilevate nella frazione di particolato atmosferico con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm. Come si evince dalla tabella, la revisione della rete di monitoraggio regionale nel corso degli anni ha determinato un incremento del numero di centraline presso le quali vengono effettuate le determinazioni degli IPA.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2021 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Benzo(a)pirene nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )											
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Beinasco-TRM	94%				0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,5	0,5	0,6	0,4
Borgaro	90%	0,7	0,8	0,8*	0,7*	0,7*	0,9*	0,8	0,8	0,6	0,6*	0,7	0,5
Carmagnola	87%	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,5	0,6	0,7	0,5*
Ceresole Reale	89%	0,1*	0,1*	0,1*	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0*	0,0*	0,0*	0,0*
Druento	91%	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3*	0,2
Ivrea	89%	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	1,1	0,8	0,9*	0,6	0,7*	0,9*	0,5*
Oulx	88%				0,5	0,5*	0,5*	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2*
Settimo	93%			1,0	1,2	1,3	1,4	1,1	1,3*	0,7*	0,8	1,0	0,9
Susa	97%	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2
To-Consolata	74%	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,4	0,4	0,6*	0,2*
To-Grassi	99%	0,8	0,9	1,1*	1,1*	1,0*	1,7*	0,9	1,0	0,7*	0,7	0,9*	0,6
To-Lingotto PM10	96%	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	0,8	0,5*	0,5	0,7	0,4
To-Rebaudengo	92%			0,9	1,2	1,1	1,2	1,1	1,6	0,7	0,9	0,8	0,5
To-Rubino	96%	0,5	0,8	0,7	0,8	0,7	0,9	0,7	0,7	0,5*	0,4*	0,6*	0,4

\* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 46: concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene rilevate sul Particolato Atmosferico– 2020-2021.

Le concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene misurate nei siti di Carmagnola, Ceresole Reale, Ivrea, Oulx e To-Consolata 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 al fatto che da metà ottobre e per i mesi di novembre e dicembre è stato installato un cantiere a ridosso della strumentazione utilizzata per il monitoraggio del particolato atmosferico che ha richiesto lo spegnimento e la rimozione temporanea dei campionatori.

Si evidenzia che per l'analisi dei dati 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 2021 si è riscontrata una diminuzione dei valori di concentrazione media annuale del B(a)P rispetto ai dati del 2020, ad esclusione della stazione di Ceresole Reale per la quale il dato medio annuo è rimasto invariato. In questo sito, dal 2018 si registra una concentrazione pari a 0.0 ng/m<sup>3</sup>, poiché le concentrazioni medie mensili risultano di poco superiori o addirittura inferiori all'ordine di quantificazione del metodo. Questo è dovuto sia alla lontananza dalle fonti di inquinamento antropico, 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 confinamento al suolo degli inquinanti e che invece influenzano le concentrazioni rilevate presso le altre stazioni della rete di rilevamento.

Presso la stazione di Settimo Torinese sono stati registrati i valori di concentrazione più elevati della rete di monitoraggio della CMT, facendo registrare una concentrazione media annua di 0.9 ng/m<sup>3</sup>, valore 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 56, le concentrazioni misurate in questa stazione nei mesi freddi, in particolare dicembre, gennaio e febbraio, si discostano in modo piuttosto evidente dai valori medi misurati in tutte le stazioni di monitoraggio del territorio provinciale.

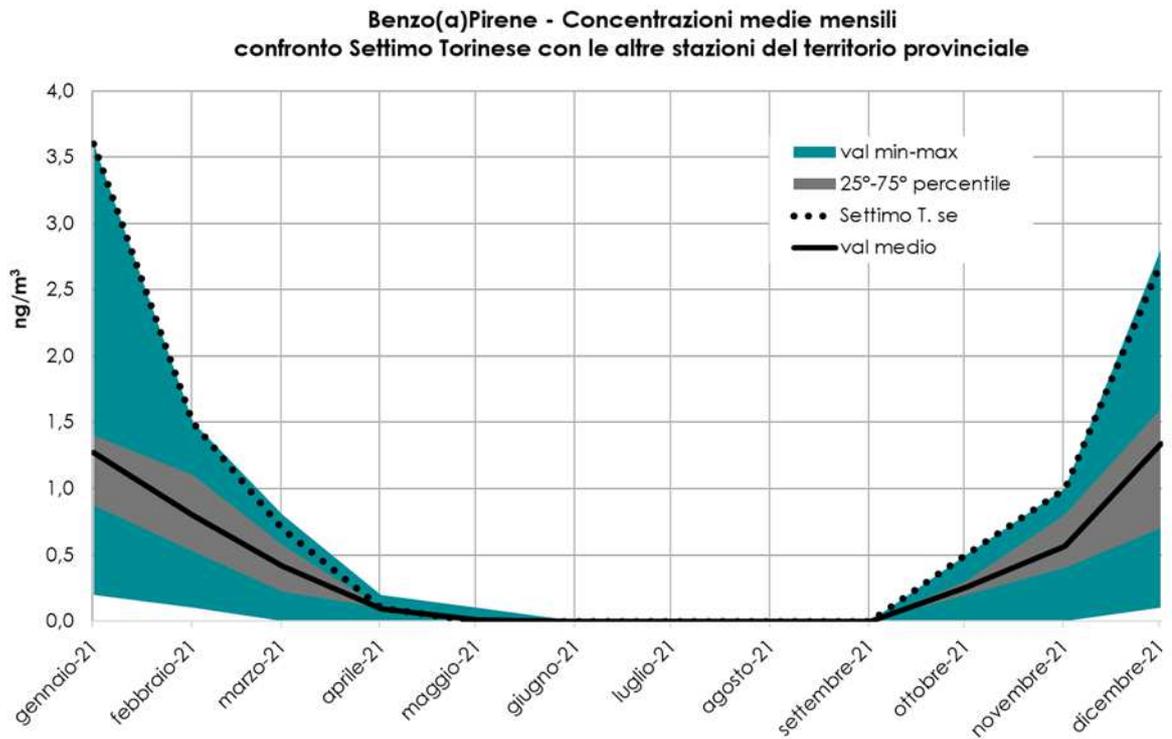


FIGURA 56: andamento mensile della concentrazione di benzo(a)pirene rilevato stazione di Settimo Torinese in relazione alle concentrazioni delle altre stazioni del territorio.

In FIGURA 57 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 nel periodo 2016-2021.

In tutte le stazioni si è registrata nel 2021 una diminuzione delle concentrazioni medie annuali di IPA rispetto al 2020; tale diminuzione, che risulta in linea con il trend che si era osservato nel biennio 2018-2019, può essere imputabile alle condizioni meteorologiche verificatesi nel 2021. Infatti, nei mesi di gennaio e novembre, mesi in genere critici per questi inquinanti, si sono verificate condizioni particolarmente favorevoli alla dispersione degli inquinanti, sia per le precipitazioni atmosferiche che per gli episodi di foehn. Queste condizioni hanno determinato un notevole decremento dei valori di concentrazione degli IPA presso le stazioni provinciali.

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 10% rispetto al 2020.

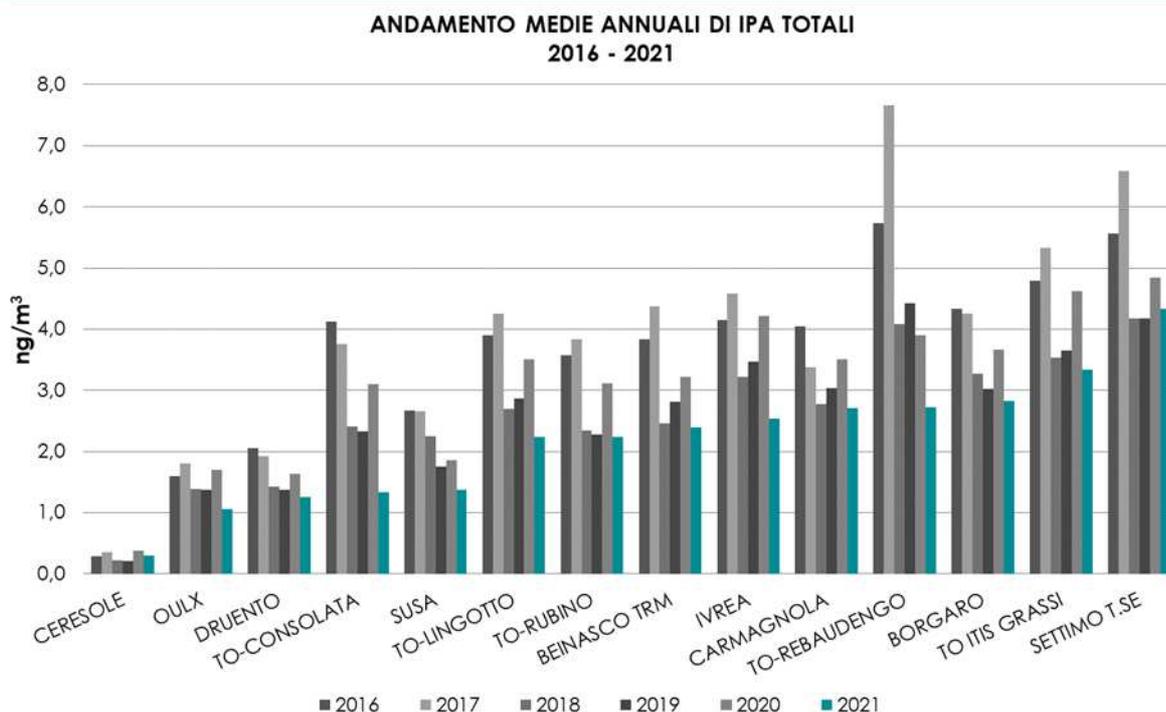


FIGURA 57: andamento medie annuali IPA totali periodo 2016-2021 – Benzo(a)Pirene + Benzo(a)Antracene + Benzo(b,j,k)Fluorantene + Indeno(1,2,3-cd)Pirene.

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  $10 \mu\text{m}^{55}$ .

Come evidenziato in FIGURA 58, 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.

Le maggiori percentuali di IPA nelle polveri si riscontrano a 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.

Anche per il 2021, il sito di Ceresole risulta essere caratterizzato dalle concentrazioni di IPA più basse del 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 59). La scelta di tali stazioni è dovuta al fatto che sono rappresentative delle diverse situazioni territoriali: la stazione di Druento è rappresentativa di una situazione di fondo di tipo rurale, quella di Susa di fondo suburbano e quella di To-Rubino è una stazione di fondo urbano.

A conferma di quanto evidenziato nel precedente istogramma, anche da FIGURA 59 si evince il basso contenuto percentuale di IPA durante i mesi caldi, con valori equivalenti per le varie stazioni confrontate. Invece, nei mesi freddi i valori sono più elevati a causa delle condizioni climatiche che, come già detto in precedenza, favoriscono l'accumulo degli inquinanti negli strati dell'atmosfera più a contatto con il suolo. Soffermandosi ad analizzare i valori percentuali dei mesi invernali, si osserva che le differenze tra le stazioni sono piuttosto marcate. In particolare, a Susa la percentuale di IPA nel particolato atmosferico risulta, a gennaio, novembre e dicembre, più elevata rispetto a Druento

<sup>55</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.

e To-Rubino, per l'apporto degli IPA prodotti dalla combustione delle biomasse utilizzate per il riscaldamento domestico.

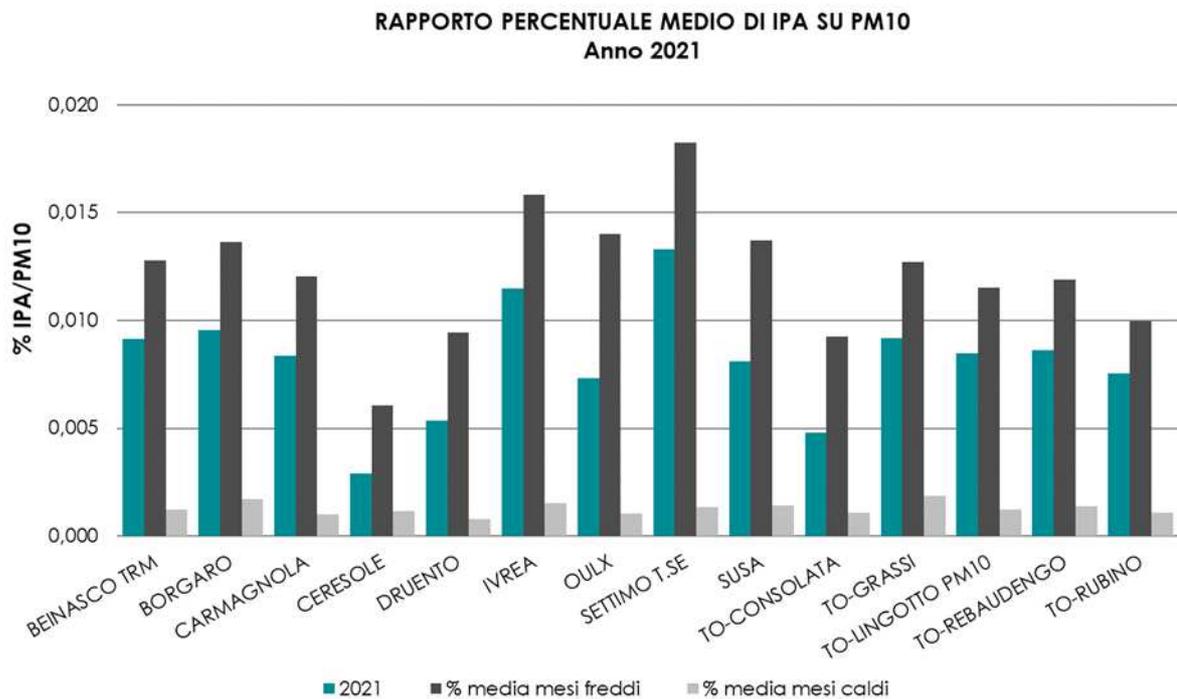


FIGURA 58: percentuale di IPA totali nel PM10 – anno 2021.

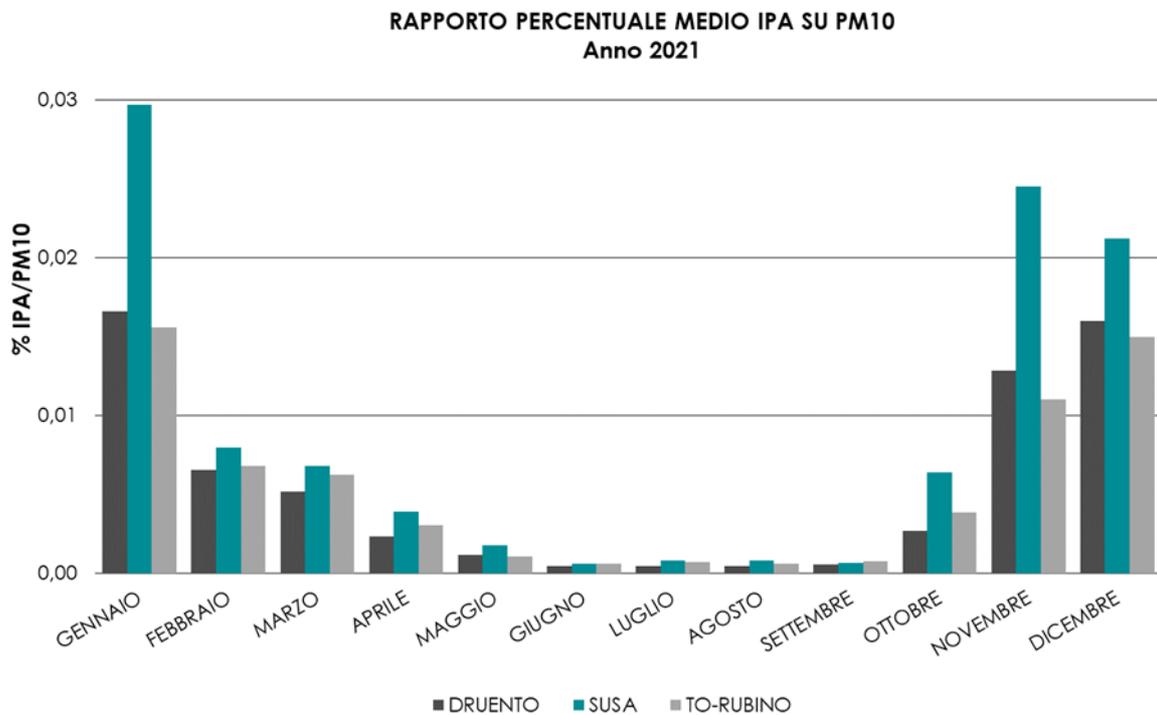


FIGURA 59: percentuale IPA totali nel PM10 – Andamento delle medie mensili – anno 2021.

## CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'ANNO 2021

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

**M. Nicoletta, D. Gandini, S. Bande, ARPA PIEMONTE, Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali**

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 2021, 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 2021 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 [21] 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 2011-2020; 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 2021.

Nel complesso si osserva come l'anno 2021 in Piemonte è stato il 15° più caldo degli ultimi 64 anni, con una temperatura media di circa 9.9°C ed un'anomalia termica positiva di circa +0.8 °C rispetto alla climatologia del periodo 1971-2000.

L'esame dell'andamento nei vari mesi dell'anno evidenzia come solo gennaio, aprile e maggio hanno avuto un'anomalia termica negativa, comunque inferiore a 1°C, mentre tutti gli altri sono stati più caldi della norma e tre (febbraio, giugno e settembre) sono risultati entro i primi 10 posti della rispettiva classifica mensile. Grazie alla presenza di due mesi vicini (aprile e maggio) con un'anomalia termica negativa, per la prima volta dal 2014 si è verificata una stagione con temperature inferiori alla norma; infatti, la primavera 2021 ha interrotto una sequenza di 26 stagioni più calde della climatologia, dall'autunno 2014 all'inverno 2021.

Il mese più caldo dell'anno è stato luglio con 19.1°C medi, mentre gennaio è risultato il mese più freddo, con 0.1°C.

Le precipitazioni cumulate medie dell'anno 2021 in Piemonte sono state pari a 858.4 mm e sono risultate inferiori alla norma 1971-2000, con un deficit di 192.1 mm, che corrisponde al 18% circa; il 2021 è il 16° anno meno piovoso nella distribuzione storica degli anni 1958-2021.

L'analisi dell'andamento giornaliero annuale evidenzia come al deficit pluviometrico abbiano contribuito soprattutto i periodi tra metà febbraio e inizio aprile e tra la seconda decade di agosto e la prima di settembre. Da marzo in poi la precipitazione cumulata dall'inizio dell'anno è risultata sempre inferiore al valore climatico del periodo 1971-2000.

Tuttavia, nell'anno 2021 si è verificato l'evento alluvionale dei giorni 3-5 ottobre, in cui il 4 ottobre è risultato il giorno più piovoso dell'anno con 55.5 mm medi sul Piemonte e alcune stazioni della rete meteoroidrografica ligure-piemontese hanno stabilito dei primati italiani.

Nel 2021 si sono avuti, complessivamente sulla regione, 84 giorni di foehn che risultano superiori alla media annuale del periodo 2000-2020 che è pari a 66 e sono secondi solo agli 86 del 2019.

Nell'anno 2021 si sono verificati 118 giorni di nebbia ordinaria (visibilità inferiore ad 1 km), leggermente inferiori rispetto ai 122 attesi dalla climatologia recente del periodo 2004-2020. Invece

---

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

sono mancati circa un terzo degli episodi annuali di nebbia fitta (visibilità inferiore a 100 m): 14 rilevati e 22 attesi dalla norma climatica.

## IL CLIMA DEL 2021

### Gennaio

In Piemonte gennaio 2021 ha avuto una temperatura media di 0.1°C, con un'anomalia termica negativa di circa -0.3°C rispetto alla media del periodo 1971-2000 ed è risultato il 29° mese di gennaio più freddo nella distribuzione storica degli ultimi 64 anni. È stato anche il mese più freddo dell'anno 2021.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state superiori alla norma degli anni 1971-2000, con 106 mm medi ed un surplus di 46.2 mm (pari al 78%); gennaio 2021 si pone all'8° posto tra i corrispondenti mesi più ricchi di precipitazione degli ultimi 64 anni.

Nei primi giorni dell'anno 2021 il Piemonte è stato interessato da una prolungata fase di maltempo con neve a bassa quota, causata dalla discesa di due successive circolazioni depressionarie di origine polare.

La prima area di bassa pressione, localizzata sulla Francia nordoccidentale a Capodanno (FIGURA 60 in alto a sinistra), è scesa verso sud nella giornata successiva posizionandosi ad ovest delle isole Baleari (FIGURA 60 in alto a destra). Il 3 gennaio il nucleo della depressione si è portato tra la Costa Azzurra e la Sardegna (FIGURA 60 in basso a sinistra) ed infine è stato assorbito da una seconda circolazione depressionaria scesa dalle coste nordatlantiche francesi alla catena pirenaica (FIGURA 60 in basso a sinistra e a destra).

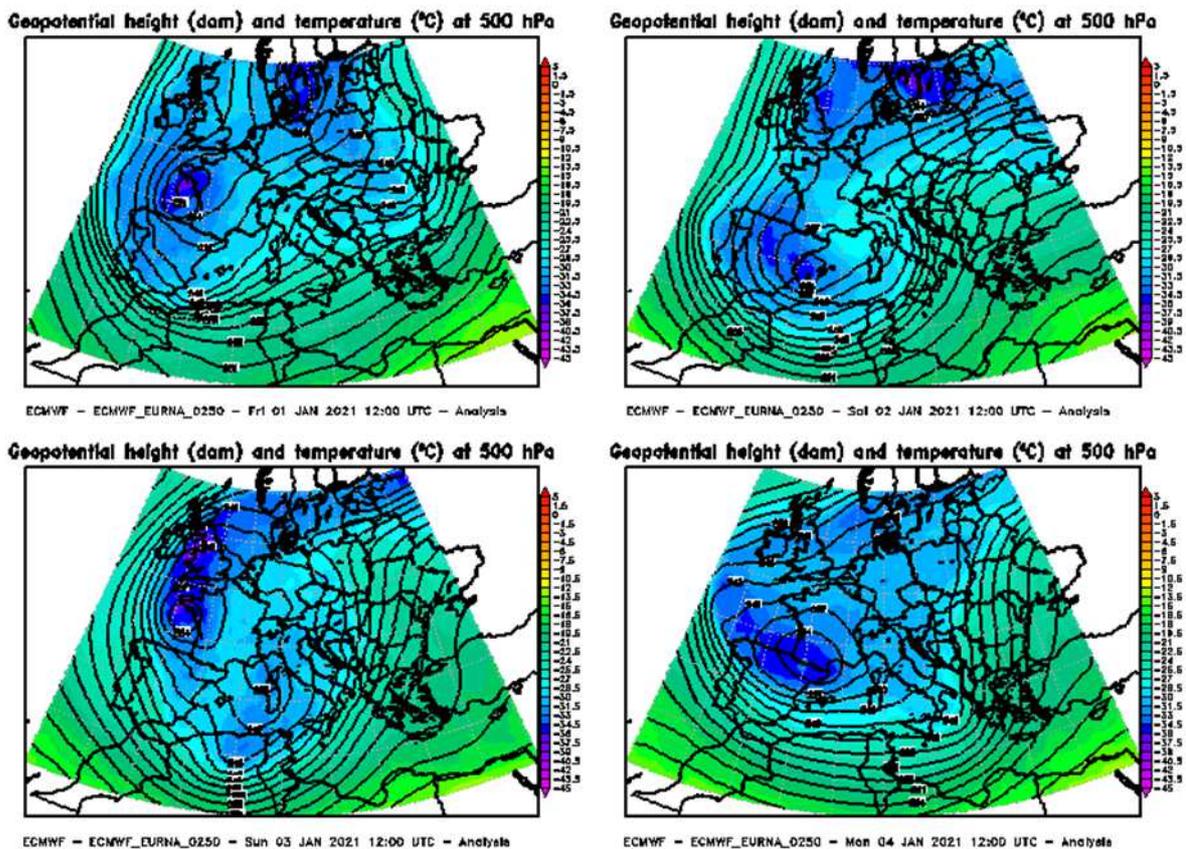


FIGURA 60: evoluzione di temperatura (colori, °C) e altezza di geopotenziale (dam, isolinee) a 500 hPa alle ore 12 UTC dal 1° al 4 gennaio 2021, intervallate ogni 24 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

In tutti e 4 i giorni considerati il cielo si è mantenuto molto nuvoloso o coperto sul territorio piemontese con precipitazioni diffuse, di intensità debole o moderata, localmente forte. Il livello delle nevicate è risultato prossimo alla pianura sul Piemonte meridionale e a quote collinari sul settore settentrionale, ove comunque sono stati presenti episodi di pioggia mista a neve sulle località di pianura.

La circolazione depressionaria localizzata sui Pirenei nel giorno 4 è successivamente avanzata verso est portandosi sul golfo del Leone nella giornata del 5 (FIGURA 61 in alto a destra) ed allontanandosi verso l'Europa orientale nel pomeriggio del 6 (FIGURA 61 in basso a sinistra).

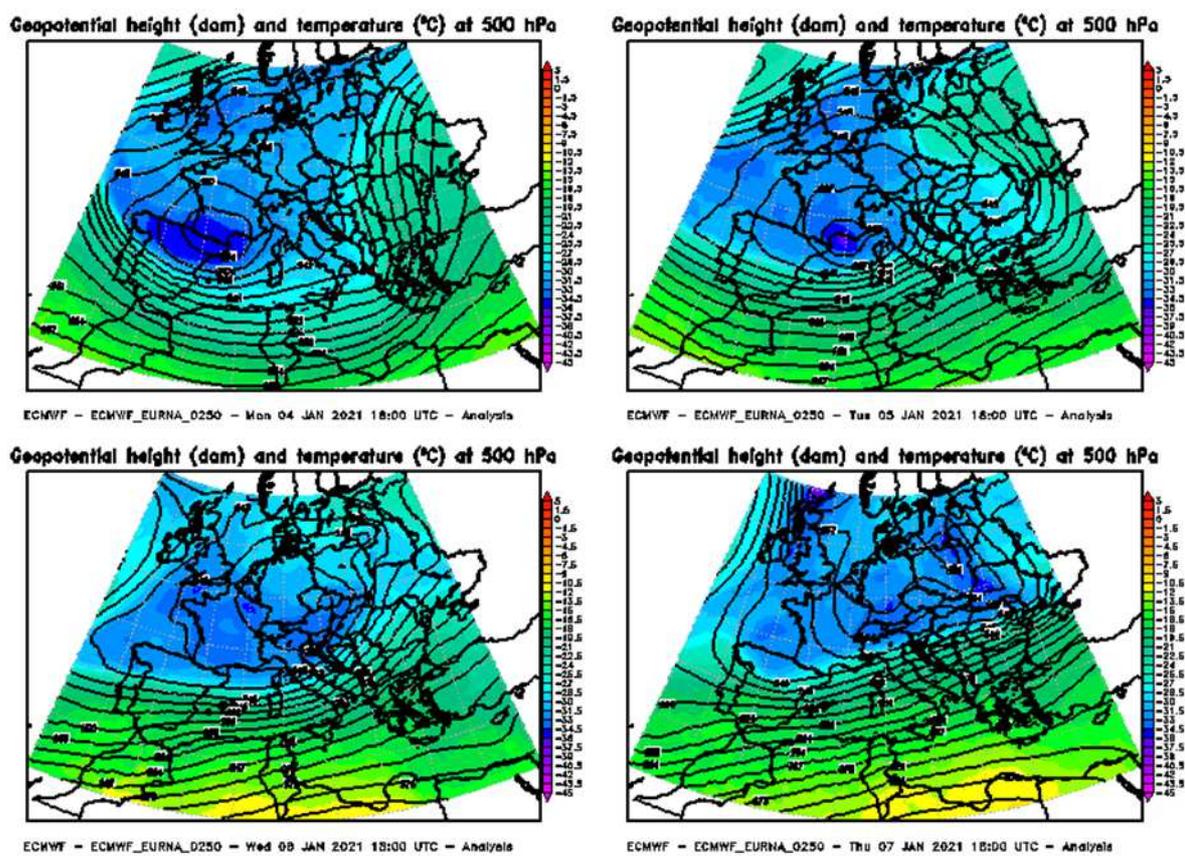


FIGURA 61: evoluzione di temperatura (colori, °C) e altezza di geopotenziale (dam, isolinee) a 500 hPa alle ore 18 UTC dal 4 al 7 gennaio 2021, intervallate ogni 24 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Le condizioni di cielo prevalentemente nuvoloso sul Piemonte sono perdurate fino alla mattinata del 6 con precipitazioni deboli diffuse, localmente moderate sul settore meridionale ove la quota neve è risultata ancora prossima alla pianura mentre a nord il livello delle nevicate si è mantenuto sui 400-600 m.

## Febbraio

In Piemonte febbraio 2021 ha avuto una temperatura media di circa 4.1°C con un'anomalia termica positiva di 2.6°C rispetto alla media del periodo 1971-2000 ed è stato il settimo mese di febbraio più caldo nella distribuzione storica degli ultimi 64 anni.

Nonostante il marcato scostamento termico positivo, attorno alla metà di questo mese si sono verificati i giorni più freddi dell'anno 2021.

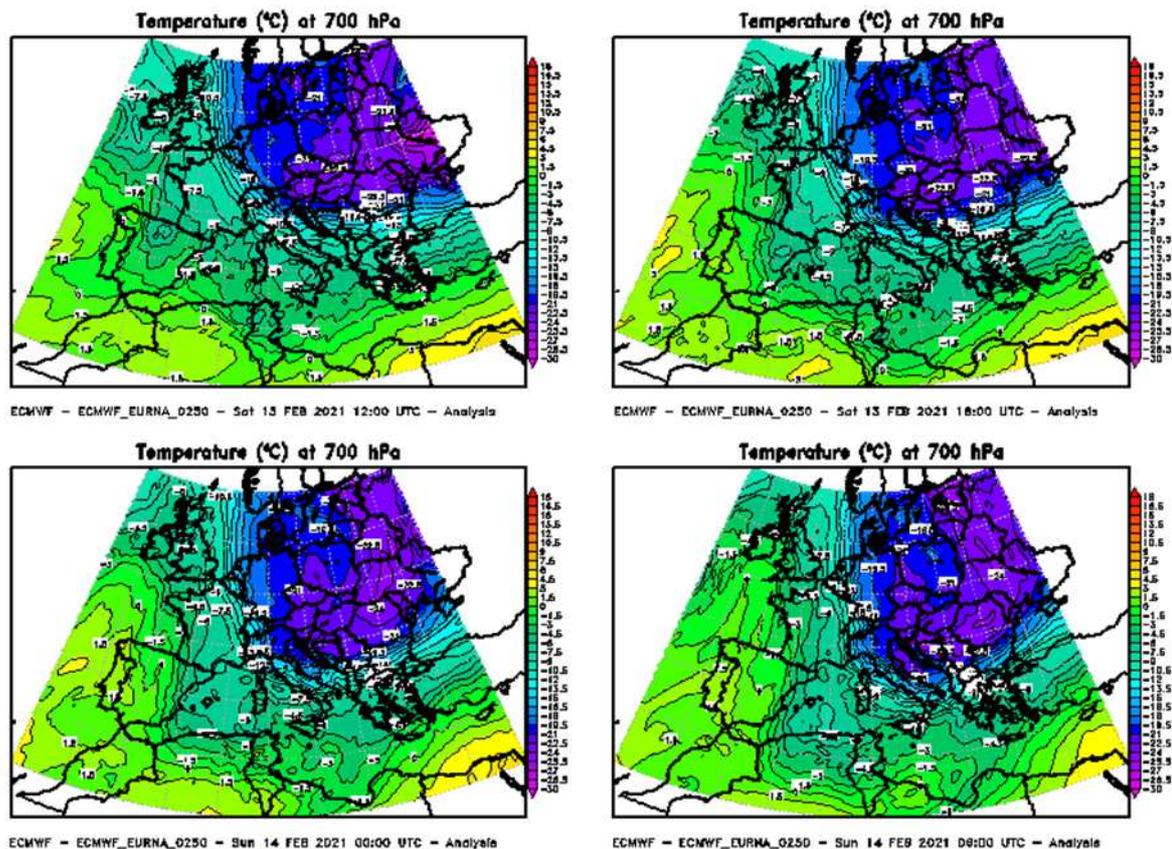


FIGURA 62: evoluzione della temperatura (°C) a 700 hPa tra le ore 12 UTC del 13 febbraio 2021 e 06 UTC del 14 febbraio 2021, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Tra il pomeriggio del 13 e la mattina del 14 un ampio nucleo di aria fredda presente sull'Europa centro-orientale si è esteso verso sud interessando anche la penisola italiana (FIGURA 62).

La discesa di aria fredda ha causato una diminuzione dei valori di temperatura sul Piemonte; il 13 febbraio è stato il giorno più freddo dell'anno 2021 con una media dei valori termici pari a  $-5.2^{\circ}\text{C}$  sul territorio piemontese mentre il 14 febbraio ha avuto le temperature minime più basse con  $-8.1^{\circ}\text{C}$  medi.

Il calo termico ha determinato anche una discesa del livello delle neviccate a quote pianeggianti ma le precipitazioni sono state deboli, e sulle pianure sono state limitate a una spolverata di pochi cm sui settori ovest e sud della regione.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1971-2000, con  $33.6$  mm medi ed un deficit di  $22.7$  mm (pari al 40%); febbraio 2021 si pone al 25° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi degli ultimi 64 anni.

### Marzo

Nel mese di marzo 2021 in Piemonte le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1971-2000, con soli  $8.4$  mm medi e un deficit di  $72.2$  mm (pari al 90%); marzo 2021 si pone al 5° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi degli ultimi 64 anni.

Dal punto di vista termometrico marzo 2021 ha avuto una temperatura media di circa  $5.5^{\circ}\text{C}$ , con un'anomalia termica positiva di  $0.9^{\circ}\text{C}$  rispetto alla media del periodo 1971-2000. È risultato il 22° mese di marzo più caldo dal 1958.

Nella primavera 2021 il numero complessivo di giorni di foehn (28) ha eguagliato il precedente primato del 2010. L'episodio più duraturo e con le raffiche più intense si è verificato tra il 14 e il 17 marzo e ora sarà analizzato in dettaglio.

Il 14 marzo 2021 una saccatura di origine polare era situata a nord dell'arco alpino (FIGURA 63 in alto a sinistra), è successivamente discesa verso sud localizzandosi sul medio Adriatico nella giornata seguente del 15 (FIGURA 63 in alto a destra), è evoluta in una circolazione depressionaria sul mar

Egeo il giorno 16 (FIGURA 63 in basso a sinistra) e si è infine allontanata verso il Mar Nero il 17 (FIGURA 63 in basso a destra).

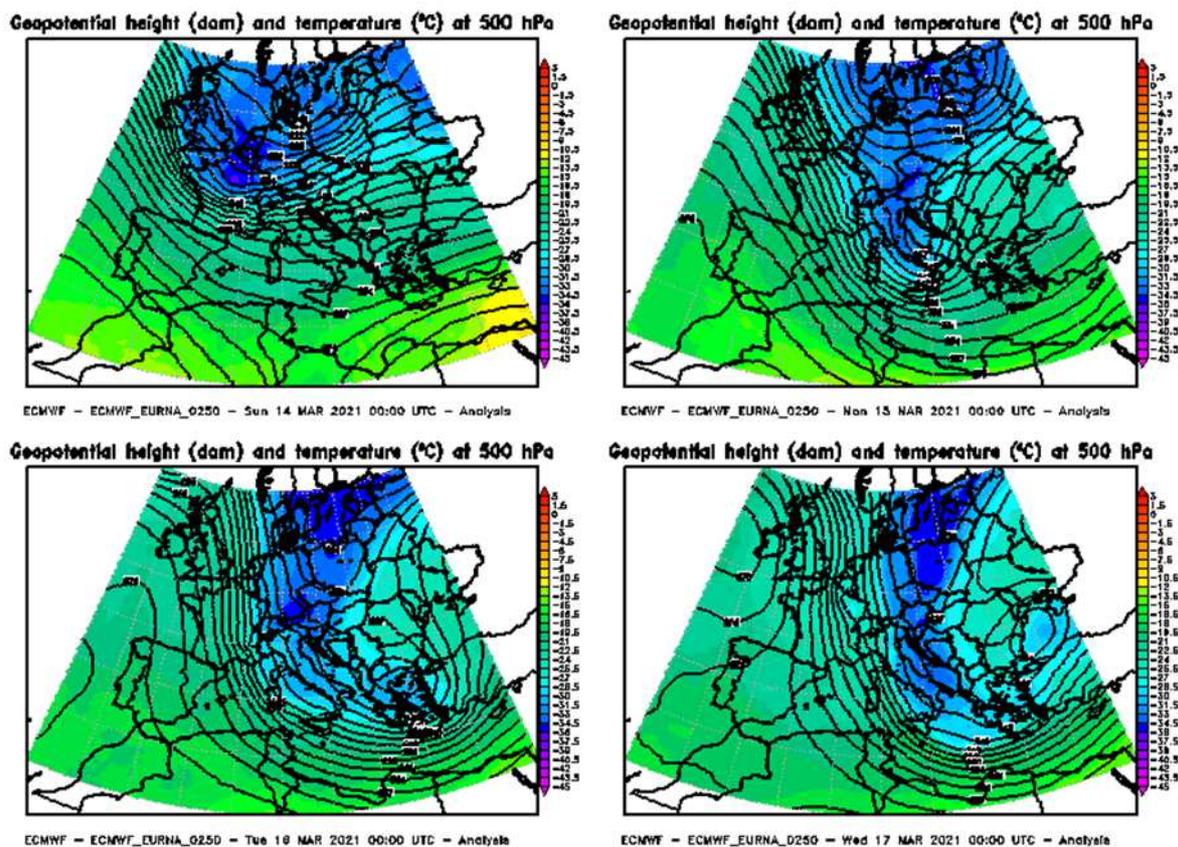


FIGURA 63: evoluzione di temperatura (colori, °C) e altezza di geopotenziale (dam, isolinee) a 500 hPa tra le ore 00 UTC del 14 e del 17 marzo 2021, intervallate ogni 24 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

In tale situazione si è instaurata una marcata differenza di pressione dapprima tra Europa centrale e meridionale (FIGURA 63 in alto a sinistra) e poi tra i settori occidentali e orientali europei (FIGURA 63 in alto a destra e in basso).

Tale gradiente barico ha causato sul Piemonte una forte ventilazione, inizialmente disposta da ovest, nordovest nelle giornate del 14 e del 15 marzo, e in graduale rotazione da nord nei giorni 16-17 marzo. Le raffiche di vento più forti si sono manifestate il 14 marzo, con 95 km/h a Salbertrand in val Susa e 101.5 km/h a Mottarone (VB); il 14 marzo è stato un giorno in cui nelle ore centrali della giornata le condizioni di foehn erano presenti su tutto il Piemonte, zone pianeggianti comprese. Anche nei tre giorni successivi si sono verificate raffiche di vento molto forti sul territorio piemontese, sia pure con intensità leggermente attenuata.

Come generalmente avviene in configurazioni bariche simili a quella esaminata, consistenti annuolamenti hanno interessato i settori alpini di confine settentrionali e occidentali; gli apporti nevosi sono stati particolarmente rilevanti in alta Val Formazza con valori cumulati di 100-145 cm, e in alta Val Susa con 50-70 cm ma sono diminuiti repentinamente allontanandosi dalle testate vallive e dalle zone di confine.

### Aprile

In Piemonte aprile 2021 ha avuto una temperatura media di circa 7°C, con un'anomalia termica negativa di 0.5°C rispetto alla media del periodo 1971-2000 e si pone al 13° posto tra i mesi di aprile più freddi degli ultimi 64 anni.

Spicca l'episodio di freddo anomalo dei giorni 7-8 aprile in cui 96 termometri della rete meteoroidrografica di Arpa Piemonte (pari al 35% del totale) hanno registrato il primato di temperatura minima per il mese di aprile.

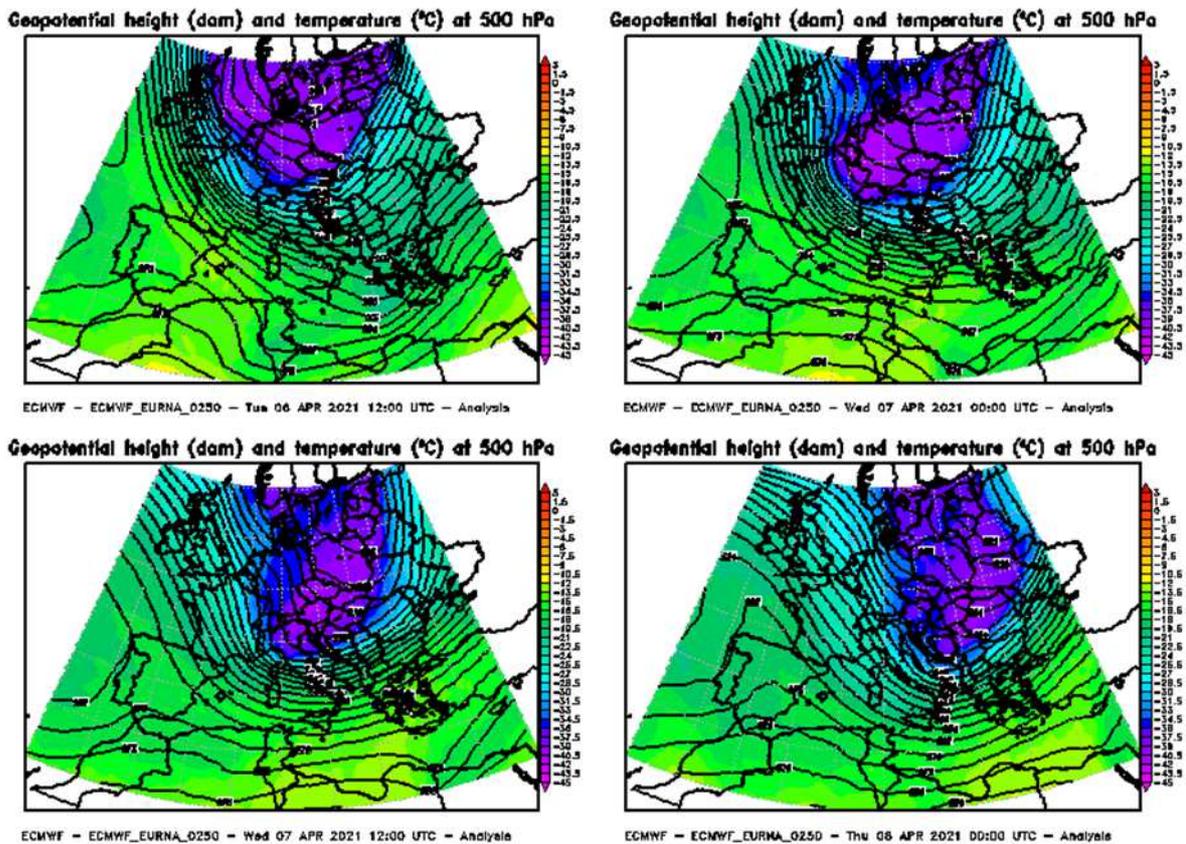


FIGURA 64: evoluzione di temperatura (colori, °C) e altezza di geopotenziale (dam, isolinee) a 500 hPa tra le ore 12 UTC del 6 aprile 2021 e 00 UTC dell'8 aprile 2021, intervallate ogni 12 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Alle ore 12 UTC del 6 aprile una massa di aria fredda associata a una saccatura di origine polare si trovava a nord dell'arco alpino (FIGURA 64 in alto a sinistra); nella giornata successiva si è estesa verso sud (FIGURA 64 in alto a destra e in basso a sinistra) interessando direttamente il Piemonte. Il 7 aprile è stato il giorno in cui l'afflusso di aria fredda sul territorio piemontese è stato più rilevante: la media delle temperature minime sul territorio piemontese è stata pari a  $-3.9^{\circ}\text{C}$ , secondo valore più basso per il mese di aprile dal 1958, dopo i  $-4.5^{\circ}\text{C}$  dell'8 aprile 2003.

L'8 aprile la saccatura si è allontanata verso l'area balcanica favorendo una risalita dei valori di pressione e temperatura sul Piemonte. Tuttavia, in pianura i valori più bassi di temperatura minima sono stati registrati all'alba dell'8 aprile con una media sui settori pianeggianti di  $-1.6^{\circ}\text{C}$ , valore più basso del nuovo millennio. Tale fenomeno è avvenuto a causa della perdita di calore dalla superficie terrestre per irraggiamento notturno, in un'atmosfera già particolarmente fredda, e dell'attenuazione del vento. Infatti, nella prima parte della giornata del 7 aprile si sono verificate condizioni di foehn estese alle zone pianeggianti, il vento discendente ha mitigato il calo di temperatura nei bassi strati atmosferici, risultato più rilevante all'alba del giorno successivo.

Le gelate tardive hanno avuto un impatto negativo sulle coltivazioni agricole, in particolare sui frutteti in fiore. Sul territorio piemontese è avvenuta una fioritura precoce delle piante da frutto dovuta a due periodi con temperature superiori alla norma: il mese di febbraio con un'anomalia termica positiva di  $+2.6^{\circ}\text{C}$  e poi soprattutto i giorni compresi tra fine marzo e inizio aprile che sono stati caratterizzati da temperature massime in pianura di stampo quasi estivo, intorno ai  $24-25^{\circ}\text{C}$  con picchi sui  $28^{\circ}\text{C}$ . L'escursione termica negativa tra il 2 aprile e i giorni 7-8 aprile è stata di  $14^{\circ}\text{C}$  per le temperature massime e  $12^{\circ}\text{C}$  per le minime.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1971-2000, con  $64.2\text{ mm}$  medi ed un deficit di  $53.4\text{ mm}$  (pari al 45%); aprile 2021 si pone al 18° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi a partire dal 1958.

## Maggio

In Piemonte maggio 2021 ha avuto una temperatura media di circa 11.2°C, con un'anomalia termica negativa di 0.9°C rispetto alla media del periodo 1971-2000, e si pone al 13° posto tra i mesi di maggio più freddi degli ultimi 64 anni.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state leggermente inferiori alla norma degli anni 1971-2000, con 115.4 mm medi e un deficit di 15.8 mm (pari al 12%).

Nonostante l'anomalia pluviometrica negativa in tale mese si è verificato un evento precipitativo di rilievo.

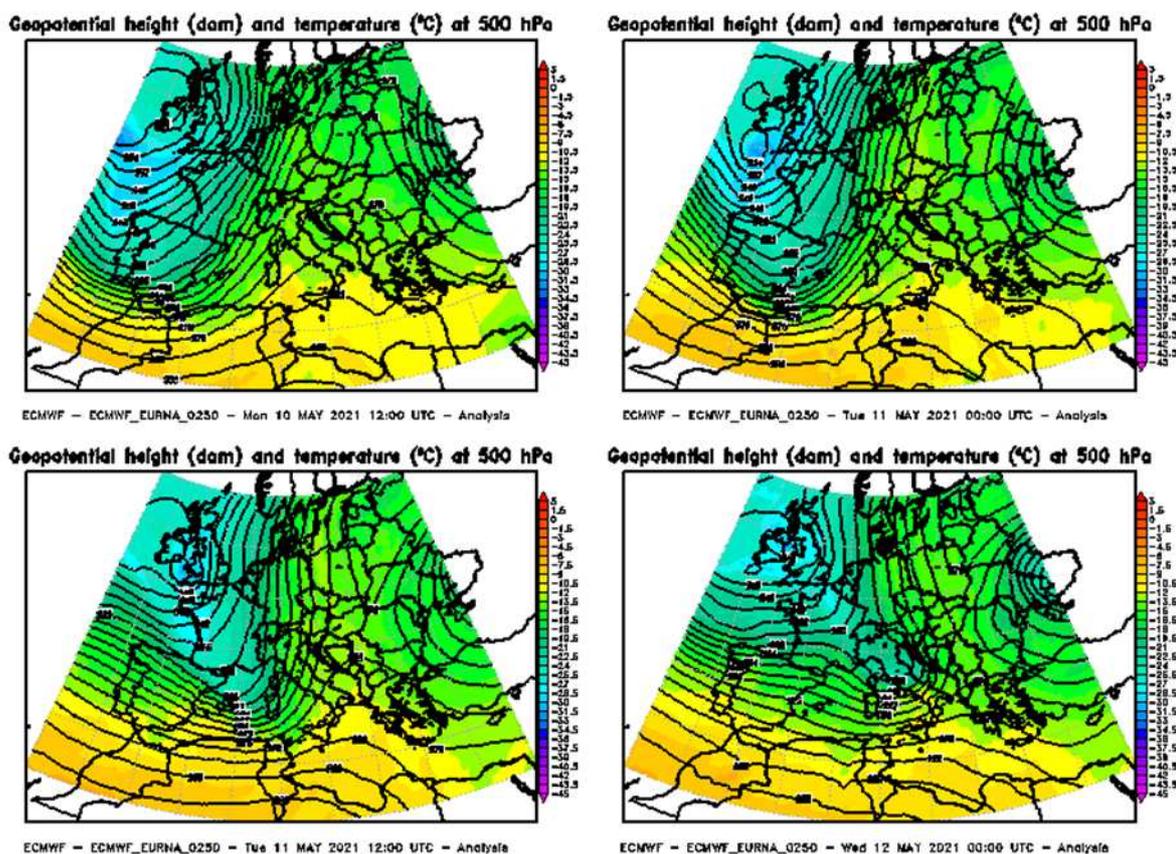


FIGURA 65: evoluzione di altezza di geopotenziale (isolinee, dam) e temperatura a 500 hPa tra le ore 12 UTC del 10 maggio 2021 e 00 UTC del 12 maggio 2021, intervallate ogni 12 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Nella mattinata del 10 una circolazione depressionaria di matrice nordatlantica con minimo sulle isole britanniche si è estesa verso sud convogliando aria umida da sudovest in quota sul territorio piemontese (FIGURA 65 in alto a sinistra); nelle 12 ore successive è avanzata verso est determinando un'intensificazione del flusso umido sudoccidentale sul Piemonte (FIGURA 65 in alto a destra); l'ulteriore traslazione verso oriente ha convogliato aria fredda instabile sulla nostra regione nella giornata dell'11 maggio (FIGURA 65 in basso a sinistra) ed infine nella notte successiva dalla depressione principale si è staccata una saccatura in moto verso il mar Adriatico (FIGURA 65 in basso a destra).

I primi fenomeni precipitativi connessi a tale struttura depressionaria si sono manifestati nel tardo pomeriggio del 9 sui settori alpini e prealpini occidentali piemontesi. Nel corso della giornata successiva le precipitazioni si sono intensificate con valori forti, localmente molto forti e si sono estese a buona parte della regione, con fenomeni deboli solo su Astigiano, Alessandrino e basso Vercellese.

Nella giornata successiva dell'11 è proseguita l'instabilità e le precipitazioni hanno interessato soprattutto il settore centro-settentrionale del Piemonte. I fenomeni precipitativi si sono attenuati in serata a partire dal settore sudoccidentale per poi esaurirsi nel corso della notte.

La pioggia caduta ha avuto anche un impatto dal punto di vista idrologico. Dal pomeriggio del 10 si sono registrati i primi innalzamenti dei corsi d'acqua dei reticoli principale e secondario soprattutto

nei settori settentrionali, centroccidentali e sudoccidentali della regione. L'incremento dei livelli idrografici ha raggiunto i valori più significativi dalla serata del 10 maggio fino alle prime ore dell'11 maggio.

Dal punto di vista anemometrico si sono avuti 13 giorni con foehn che è il valore più elevato del mese di maggio dal 2000.

## Giugno

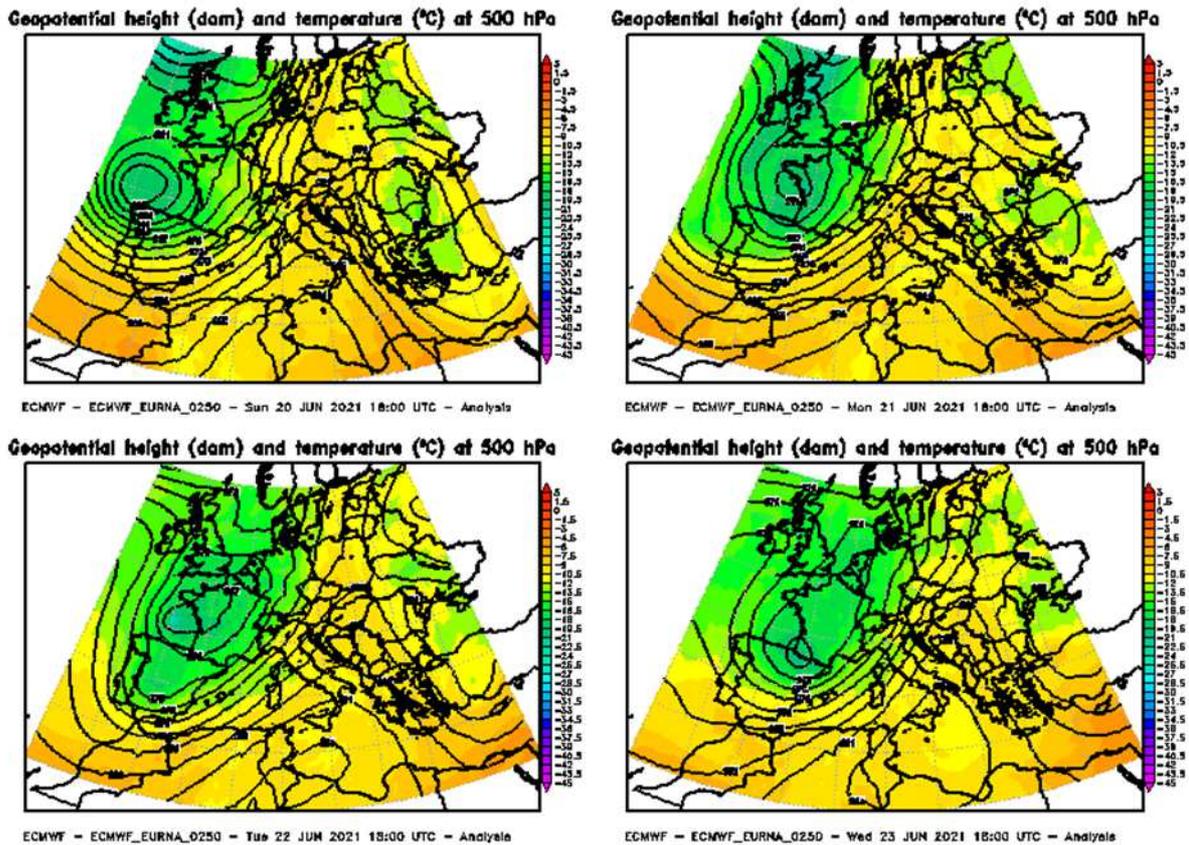


FIGURA 66: evoluzione di altezza di geopotenziale (dam, isolinee) e temperatura (°C, colori) a 500 hPa tra le ore 18 UTC del 20 e del 23 giugno 2021, intervallate ogni 24 ore Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

In Piemonte giugno 2021 ha avuto una temperatura media di circa 18.2°C, con un'anomalia termica positiva di 2.6°C rispetto alla media del periodo 1971-2000 ed è risultato il quarto mese di giugno più caldo degli ultimi 64 anni.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1971-2000, con 73.2 mm medi e un deficit di 22.9 mm (pari al 24%); giugno 2021 si pone al 23° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi a partire dal 1958.

Merita una citazione un evento temporalesco avvenuto nella città di Torino.

Tra il 20 e il 24 giugno il Piemonte è stato interessato da una prolungata fase instabile causata da una situazione meteorologica di blocco, con una circolazione depressionaria inizialmente localizzata sul golfo di Biscaglia (FIGURA 66 in alto a sinistra), ostacolata nella sua progressione verso levante da un promontorio anticiclonico di matrice africana presente sull'Europa orientale.

La circolazione depressionaria convogliava flussi umidi da sudovest sul Piemonte e, nel corso della sua lenta avanzata verso est, infiltrazioni di aria più fresca in quota che hanno causato fenomeni temporaleschi di breve durata ma di forte intensità per 5 giorni consecutivi. I temporali si sono sviluppati prevalentemente nelle ore pomeridiane e sui settori settentrionali e nordoccidentali del Piemonte.

I picchi più elevati si sono verificati il giorno 22 su due pluviometri della città di Torino. Sia il pluviometro di Torino Giardini Reali che quello situato in via della Consolata hanno registrato il primato di precipitazione tri-oraria con, rispettivamente, 89.8 e 90.2 mm. Invece i record di pioggia oraria

appartengono ancora all'episodio temporalesco dell'11 agosto 2010 con 83.4 mm in via della Consolata e 79.2 mm ai Giardini Reali.

## Luglio

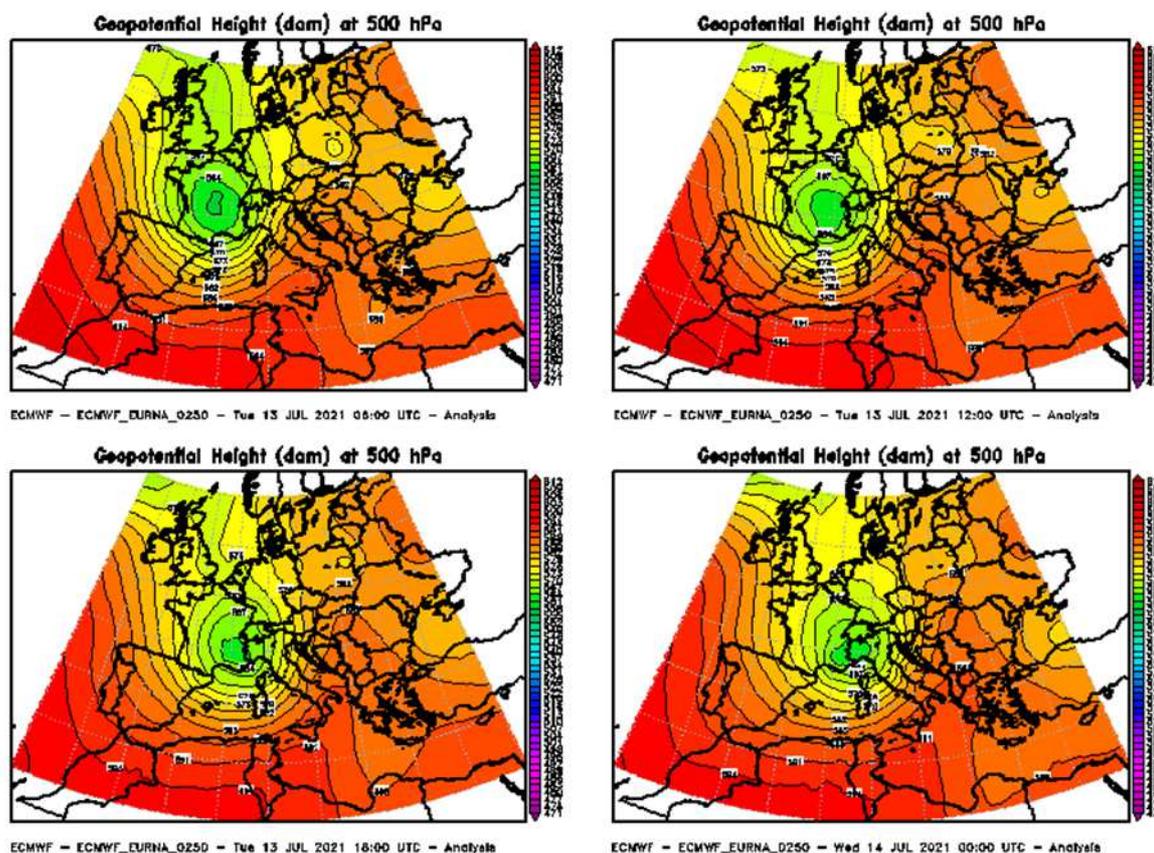


FIGURA 67: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) tra le ore 06 del 13 Luglio 2021 e 00 UTC del 14 luglio 2021, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

In Piemonte luglio 2021 ha avuto una precipitazione media di 112.4 mm, con un'anomalia positiva di 51.6 mm (pari all'85%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000 ed è risultato il quinto mese di luglio più piovoso degli ultimi 64 anni. La precipitazione caduta è risultata quasi il doppio rispetto alla norma grazie a diversi eventi temporaleschi che si sono verificati nel corso del mese.

Analizziamo l'episodio più rilevante che è coinciso con il giorno più piovoso dell'estate 2021.

Il 13 luglio 2021 una circolazione depressionaria situata sulla Francia meridionale è avanzata verso est, localizzandosi tra la Savoia e il Nordovest italiano in tarda serata (FIGURA 67). L'avvicinamento del nucleo freddo della bassa pressione al territorio piemontese ha causato un calo della temperatura in quota di circa 5°C tra i 3000 e i 5000 m con una conseguente diminuzione dello zero termico di circa 1000 m. Tale struttura depressionaria ha causato fenomeni precipitativi su buona parte del territorio piemontese; il 13 luglio è risultato il giorno più piovoso dell'estate, con 24 mm medi sul Piemonte. Nella FIGURA 68 possiamo vedere la precipitazione giornaliera caduta, con i picchi più elevati in provincia di Verbania.

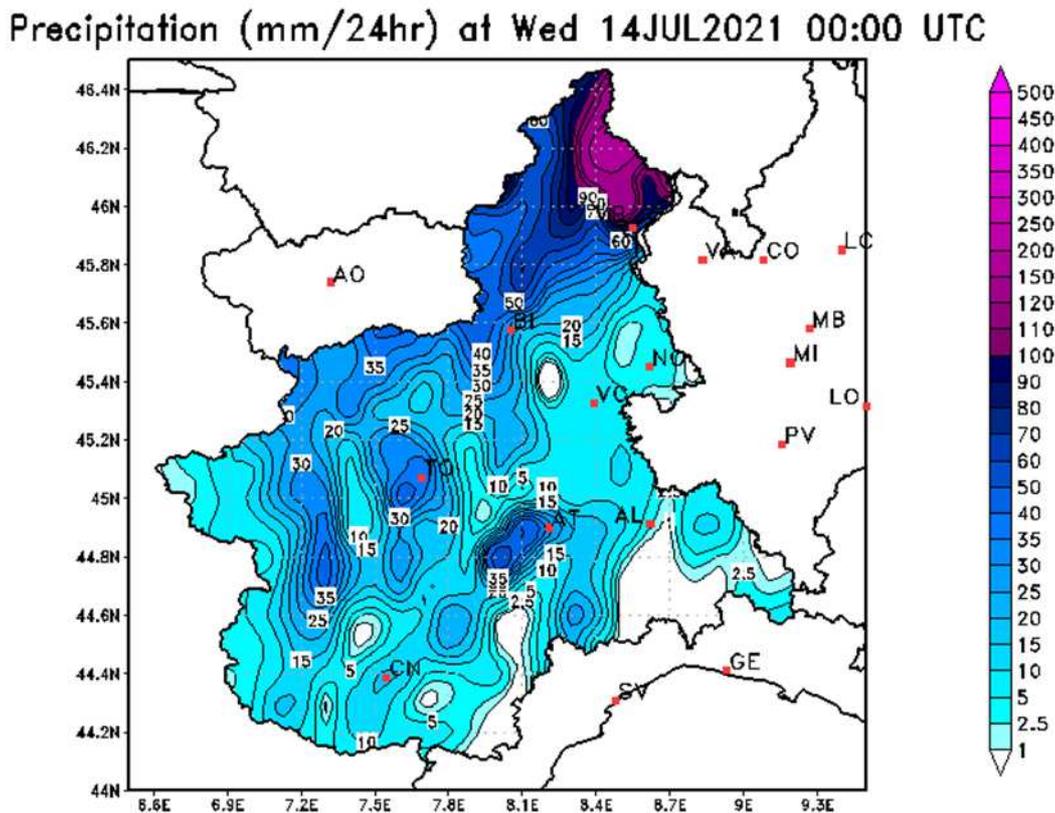


FIGURA 68: precipitazione cumulata nelle 24 ore comprese tra le 00 UTC del 13 e del 14 luglio 2021.

I fenomeni temporaleschi sono stati accompagnati da diffuse fulminazioni, violente grandinate con chicchi di dimensioni superiori ai 4 cm e forti raffiche di vento. Al di sotto dei 2000 m di quota la massima intensità del vento è stata raggiunta ancora nel Verbano, sull'anemometro del Mottarone con 23.1 m/s (83.2 km/h); a quote inferiori sono stati rilevanti i 20.1 m/s (72.4 km/h) a Bric Castellaro (AL) e 19.4 m/s (69.8 km/h) a Oropa (BI).

Le precipitazioni intense della giornata del 13 luglio sul Verbano-Cusio-Ossola, con valori cumulati in 24 ore superiori a 180 mm in alcune stazioni, hanno determinato nell'area un aumento repentino dei livelli dei corsi d'acqua principali e secondari.

Le precipitazioni forti e di breve durata che hanno interessato il Roero, nella serata del 13 luglio, hanno determinato una crescita significativa del livello idrometrico del torrente Bobore, che, nella notte tra il 13 e 14 luglio (ore 01:30 UTC), ha raggiunto la soglia di attenzione.

Dal punto di vista termometrico luglio 2021 ha registrato una temperatura media di circa 19.1°C, con un'anomalia termica positiva di 0.4°C rispetto alla media del periodo 1971-2000, risultando il 28° mese di luglio più caldo dal 1958 ed è risultato il mese più caldo dell'anno 2021.

## Agosto

In Piemonte agosto 2021 ha avuto una precipitazione media di 29.1 mm, con un'anomalia negativa di 53.9 mm (pari al 65%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000 ed è risultato il terzo mese di agosto meno piovoso degli ultimi 64 anni.

Sul territorio piemontese agosto 2021 ha registrato una temperatura media di circa 18.8°C, con un'anomalia termica positiva di 0.5°C rispetto alla media del periodo 1971-2000, risultando il 26° mese di agosto più caldo dal 1958.

Intorno a Ferragosto si sono verificati i giorni più caldi dell'anno 2021.

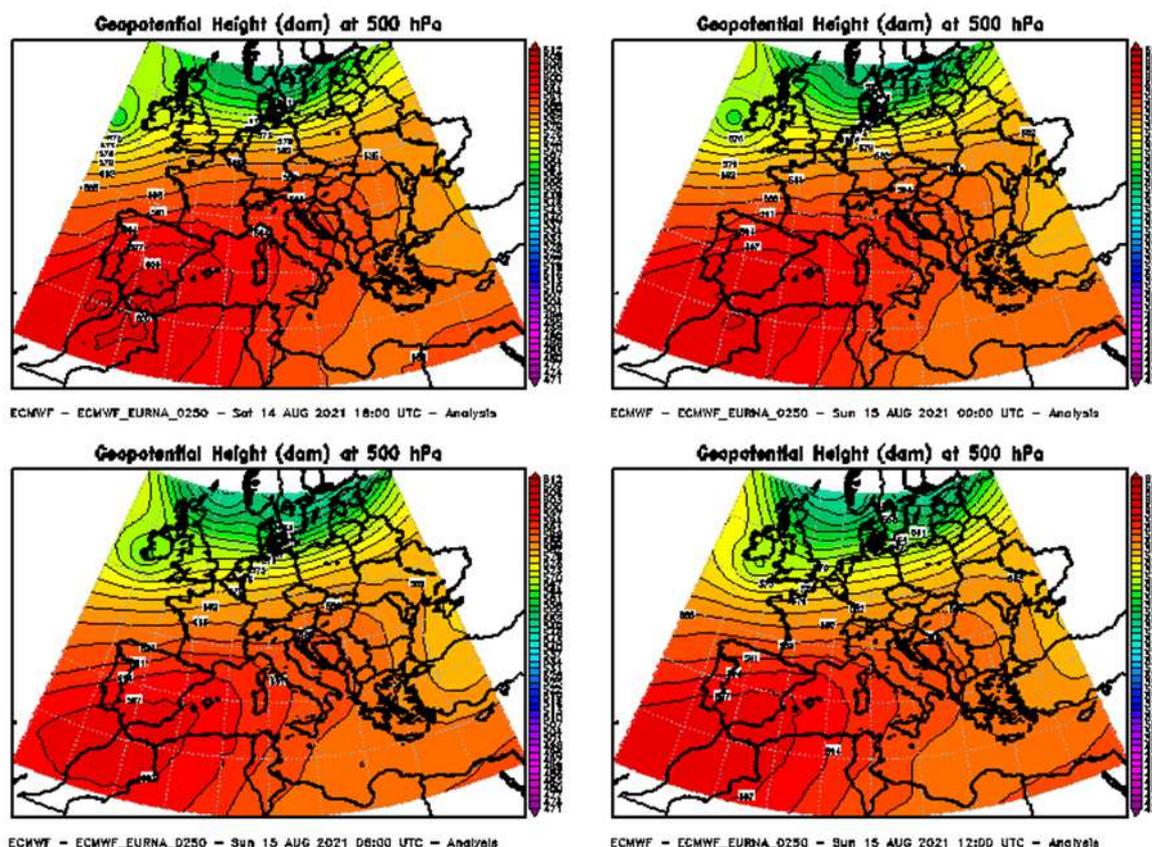


FIGURA 69: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 18 UTC del 14 agosto 2021 e 12 UTC del 15 agosto 2021, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Infatti, tra il 14 e 15 agosto il Piemonte si è trovato sotto l'influenza di un'ampia area di alta pressione di matrice africana avente i massimi tra la penisola iberica e l'Africa nordoccidentale (FIGURA 69). I due giorni citati sono stati i più caldi dell'anno 2021 sul Piemonte; a Ferragosto a Isola Sant'Antonio, in provincia di Alessandria, è stato registrato il valore termico più elevato dell'anno con 37.8°C, mentre nel giorno precedente la media delle temperature massime in pianura è stata pari a 33.1°C, valore più alto nell'anno 2021.

### Settembre

In Piemonte settembre 2021 ha avuto una temperatura media di circa 16.4°C, con un'anomalia termica positiva di circa 2°C rispetto alla norma climatica del periodo 1971-2000, risultando l'ottavo mese di settembre più caldo degli ultimi 64 anni.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1971-2000, con 57.3 mm medi ed un deficit di 42.1 mm (pari al 42%); settembre 2021 si pone al 26° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi considerati a partire dal 1958.

Come evento significativo di tale mese analizziamo il 13 settembre quando il Piemonte è stato interessato da un promontorio anticiclonico di matrice africana con asse esteso dall'Algeria all'Europa centrale (FIGURA 70).

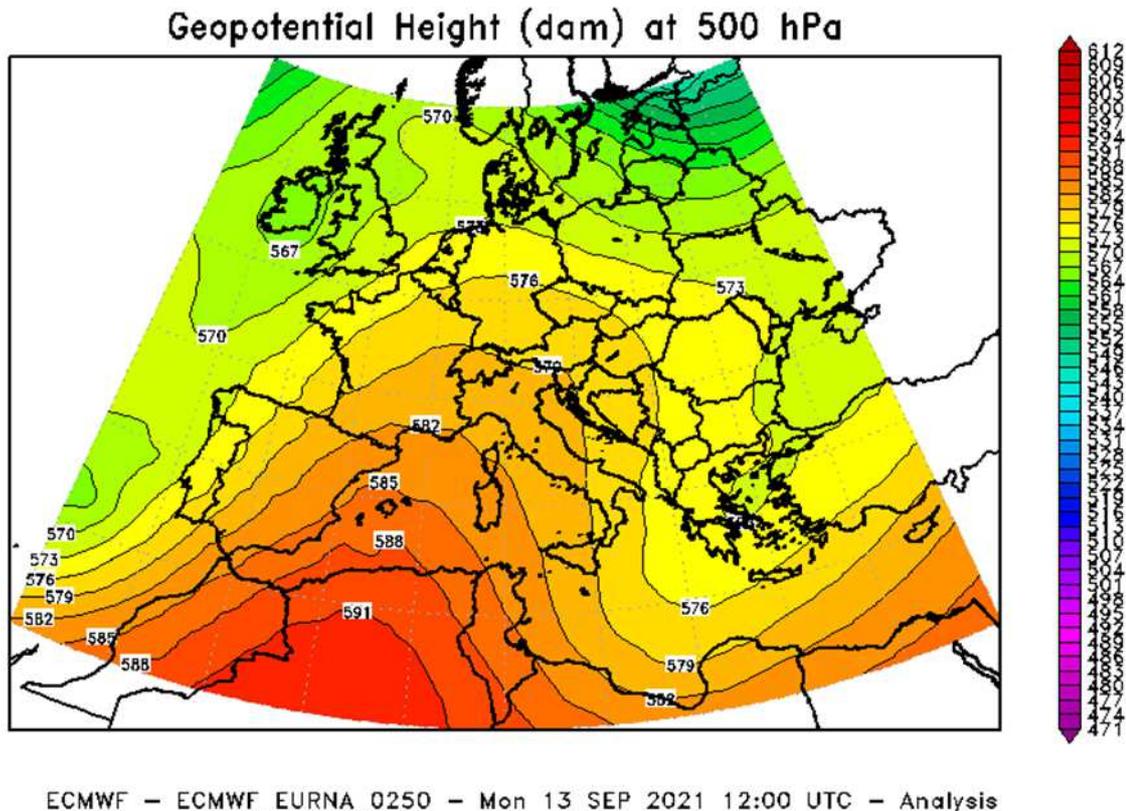


FIGURA 70: altezza di geopotenziale (dam) alle ore 12 UTC del 13 settembre 2021. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Il 13 settembre è stato il giorno più caldo dell'autunno meteorologico 2021 sul territorio piemontese, con una media delle temperature massime in pianura pari a 28.4°C e picchi termici stagionali a Nizza Monferrato (AT) e Sezzadio (AL) con 32.5°C.

### Ottobre

Ottobre 2021 ha avuto una temperatura media di circa 9.9°C, con una lieve anomalia termica positiva di 0.3°C rispetto alla norma climatica del periodo 1971-2000.

In Piemonte ottobre 2021 ha registrato una precipitazione media di 89.9 mm, con un deficit pluviometrico di 43.1 mm (pari al 32%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000, e si pone al 27° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi degli ultimi 64 anni.

Nonostante l'anomalia pluviometrica negativa, in tale mese si è verificato l'evento alluvionale dei giorni 3-5 ottobre, in cui il 4 ottobre ha registrato il 62% della pioggia mensile con primati italiani stabiliti da stazioni della rete meteoidrografica ligure-piemontese.

La struttura barica responsabile di tali forti piogge è stata una saccatura atlantica: il 3 ottobre si sono verificati i primi fenomeni precipitativi su quasi tutta la regione ad eccezione della pianura cuneese, con picchi molto forti sull'Appennino alessandrino e forti sul Verbano.

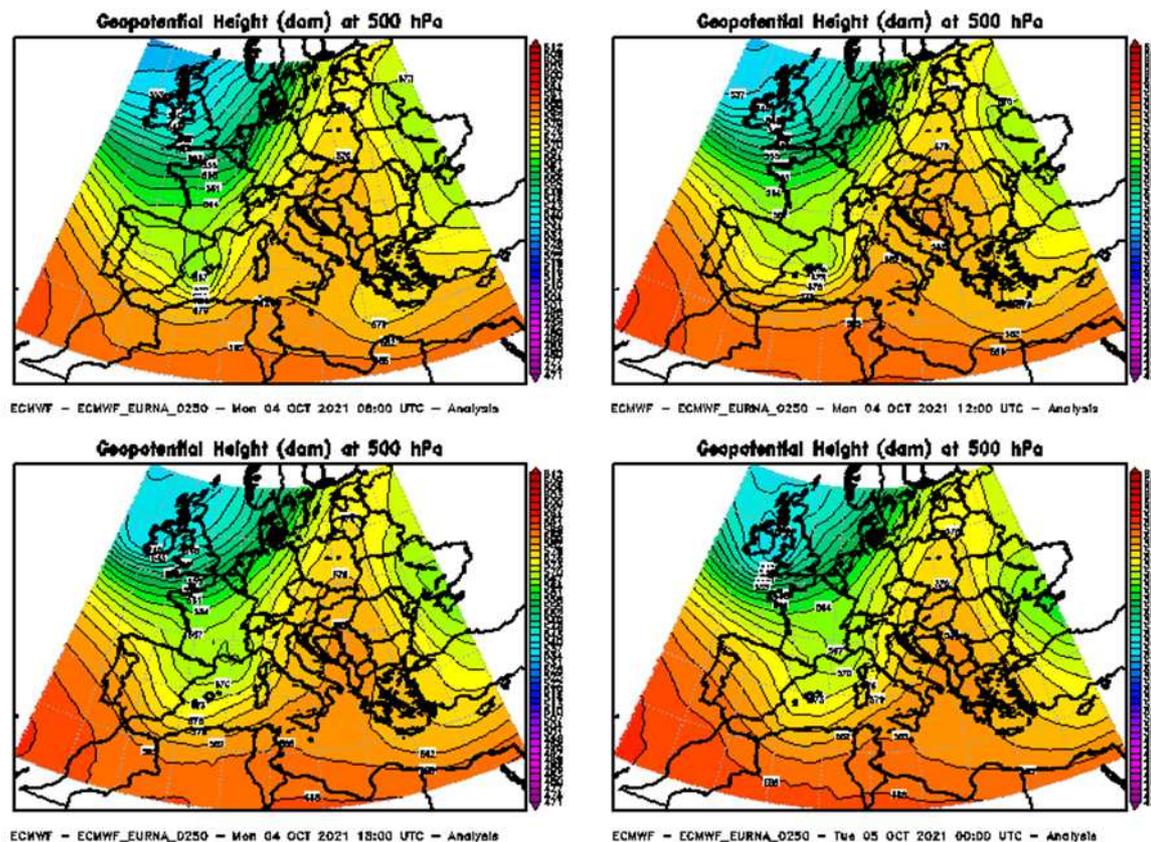


FIGURA 71: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 4 ottobre 2021 e 00 UTC del 5 ottobre 2021, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Nel giorno 4 ottobre l'asse della saccatura citata era sulle isole Baleari ed avanzava lentamente verso est, ostacolato nella sua progressione da un promontorio anticiclonico di blocco, presente sull'Europa orientale balcanica (FIGURA 71); alle ore 18 UTC la struttura depressionaria è temporaneamente evoluta in un minimo chiuso in quota sul Golfo del Leone (FIGURA 71 in basso a sinistra).

Nella mattinata del 4 ottobre nei bassi strati atmosferici era presente un flusso di scirocco forte sul Mar Ligure e moderato sul Piemonte orientale al confine con la Lombardia, mentre sul Cuneese soffiava un debole vento da nordovest (FIGURA 71 in alto). Questo tipo di circolazione ha favorito lo sviluppo di intensi temporali auto-rigeneranti sull'Appennino ligure-piemontese, rimasti stazionari per diverse ore. Anche il Verbano è stato interessato da forti precipitazioni, mentre sul resto della regione le piogge hanno avuto un'intensità inferiore, risultando assenti su quasi tutta la provincia di Cuneo e su parte del Torinese.

Nel pomeriggio del 4 ottobre si è intensificato il flusso da sudest sul Mar Ligure; è aumentata l'intensità del vento anche sulla pianura piemontese, dove si è disposto da est, nordest (FIGURA 72 in basso a sinistra) mentre in serata la circolazione ha iniziato ad attenuarsi (FIGURA 72 in basso a destra).

Pertanto nella seconda parte della giornata del 4 ottobre (FIGURA 71 in basso) sono perdurate le forti precipitazioni sull'Appennino ligure-piemontese (sia pure senza gli eccezionali picchi del mattino) e sul Verbano, e si sono estese a tutto il territorio piemontese con valori molto forti anche sulla fascia pedemontana nordoccidentale, grazie alla rotazione da est, sudest del vento in quota nel momento della formazione del minimo barico temporaneo sul Golfo del Leone (FIGURA 71 in basso a sinistra).

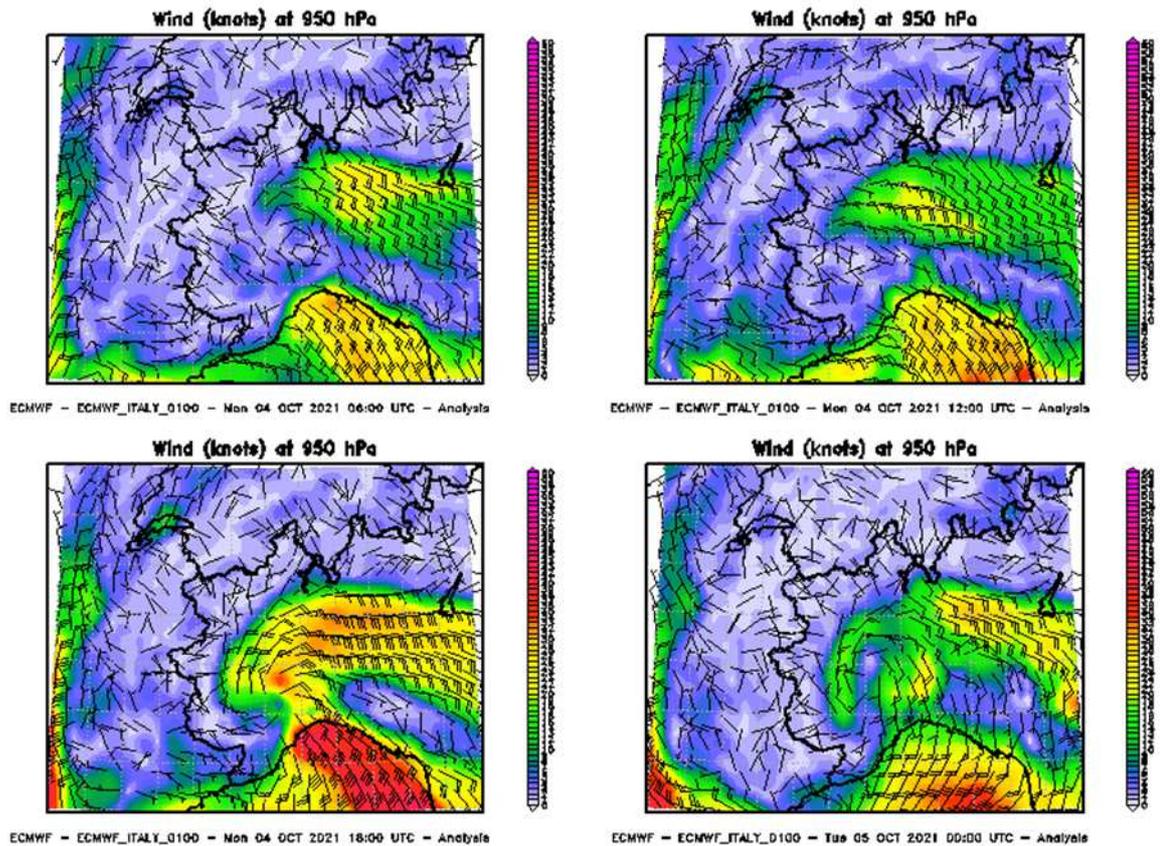


FIGURA 72: evoluzione del vento (nodi) a 950 hPa tra le ore 06 UTC del 4 ottobre 2021 e 00 UTC del 5 ottobre 2021, intervallato ogni 6 ore. Elaborazione ARPA Piemonte su dati ECMWF.

Nella giornata del 5 ottobre la saccatura ha continuato il suo moto verso est raggiungendo l'alto Adriatico verso mezzogiorno; contemporaneamente anche il minimo barico principale è traslato dalle Isole Britanniche verso il Mare del Nord. In tale situazione le correnti in quota sul Piemonte si sono disposte da ovest, permettendo un miglioramento delle condizioni atmosferiche con una sensibile riduzione dell'intensità dei fenomeni precipitativi.

## Novembre

In Piemonte novembre 2021 ha registrato una temperatura media di circa 5.3°C, con un'anomalia termica positiva di 1°C rispetto alla norma climatica del periodo 1971-2000, risultando il 19° mese di novembre più caldo dal 1958.

In Piemonte novembre 2021 ha avuto una precipitazione media di 142.3 mm, con un surplus pluviometrico di 63.7 mm (pari all'81%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000, e si pone al 23° posto tra i corrispondenti mesi più piovosi degli ultimi 64 anni. È risultato il mese più piovoso dell'anno 2021.

Gli eventi pluviometrici del mese sono stati superiori alla norma climatica ma nessuno ha avuto picchi particolarmente intensi. Per cui analizziamo il primo episodio di neve a quote collinari.

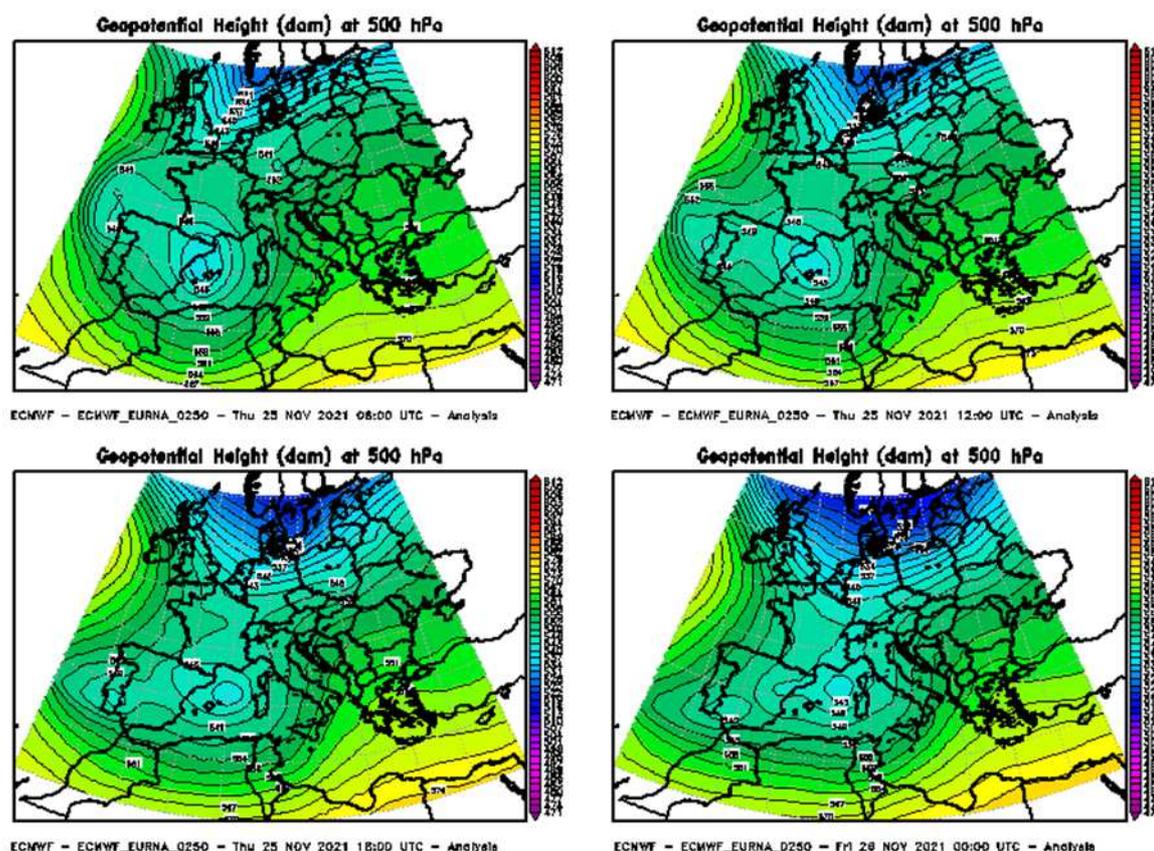


FIGURA 73: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 25 novembre 2021 e 00 UTC del 26 novembre 2021, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Il 25 novembre una circolazione depressionaria localizzata sulle Isole Baleari è avanzata verso est nel corso della giornata, posizionandosi a ovest di Corsica e Sardegna (FIGURA 73).

Tale struttura di bassa pressione ha causato precipitazioni deboli o moderate diffuse sul territorio piemontese, con quantitativi maggiori sul Cuneese, ove sono stati raggiunti 30 cm di neve sulle Alpi Liguri e Alpi Marittime, in particolare in Val Vermentagna. La quota neve si è situata mediamente sui 600-800 m nei settori montani meridionali, localmente a 400 m sull'Appennino, sui 900-1200 m in quelli occidentali e sui 1100-1500 m nei settori settentrionali.

### Dicembre

In Piemonte dicembre 2021 ha registrato una temperatura media di 2.8°C, valore superiore di 1.5°C rispetto alla norma climatica del periodo 1971-2000, risultando il 13° mese di dicembre più caldo degli ultimi 64 anni. Spicca l'episodio di caldo anomalo degli ultimi giorni del mese, in cui il 31 dicembre 2021 è risultato il secondo giorno più caldo del mese di dicembre dal 1958.

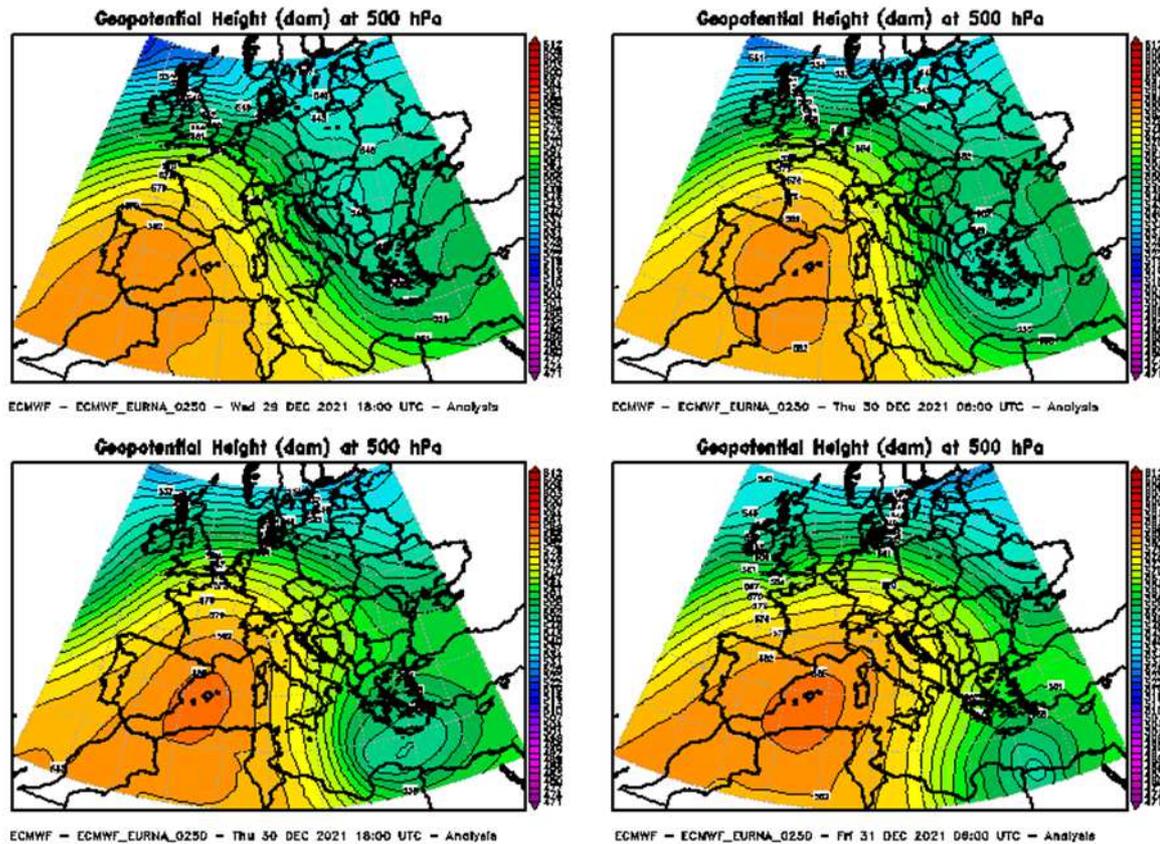


FIGURA 74: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 18 UTC del 29 dicembre 2021 e 06 UTC del 31 dicembre 2021, intervallata ogni 12 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Nel giorno 29 il territorio piemontese si è trovato al confine tra le zone di influenza di un'area depressionaria presente sull'Europa nordorientale e un promontorio anticiclonico di matrice africana in espansione sui settori sudoccidentali europei (FIGURA 74 in alto a sinistra).

In tale configurazione barica sul territorio piemontese era presente una forte ventilazione da nordovest. Si sono verificate condizioni di foehn sui settori alpini settentrionali e nordoccidentali; l'anemometro di Pietrastretta nel comune di Susa (TO) alle 19 UTC ha registrato una raffica di 36.1 m/s (130.0 km/h). Sempre a Pietrastretta in tale giornata si è verificato il picco termico del mese con 23°C.

Nel giorno successivo, il 30, si sono strutturati una circolazione depressionaria sull'area egea e un'area di alta pressione sulle isole Baleari (FIGURA 74 in alto a destra e in basso a sinistra). Nell'ultimo giorno dell'anno 2021 il minimo barico si è allontanato verso l'Egitto mentre la struttura anticiclonica si è consolidata (FIGURA 74 in basso a destra).

L'espansione dell'area di alta pressione di origine africana ha causato un graduale aumento dei valori termici sul Piemonte, con temperature superiori di circa 8-9°C rispetto alla norma del periodo 1971-2000 mentre lo zero termico è gradualmente aumentato fino a 3900-4000 m.

Il 31 dicembre è risultato il secondo giorno più caldo del mese di dicembre degli ultimi 64 anni dopo il 13 dicembre 1994 quando fu raggiunta una temperatura media di 9.7°. Sempre nell'ultimo giorno dell'anno 2021 il radiosondaggio di Cuneo alle 12 UTC ha registrato uno zero termico leggermente superiore ai 4000 m, valore più alto per il mese di dicembre da quando è stata installata l'autosonda nel marzo 2000.

Dal punto di vista pluviometrico dicembre 2021 ha avuto una precipitazione media di 28.5 mm, con un deficit pluviometrico di 28.9 mm (pari a -50%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000, e si pone al 22° posto tra i corrispondenti mesi meno ricchi di precipitazione degli ultimi 64 anni.

## I DATI METEO MISURATI NEL 2021

Al termine della caratterizzazione meteorologica, si è ritenuto interessante effettuare l'analisi dei dati meteorologici misurati dalle stazioni a terra nell'anno 2021, limitata all'andamento delle variabili meteorologiche maggiormente significative in rapporto al decennio precedente 2011-2020.

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 2021 per la stazione Torino-Giardini Reali risulta pari a 13.4 °C, quindi prossima alla media del periodo 1991-2020 (13.6 °C) e 0.5 °C gradi in meno rispetto all'ultimo decennio (13.9 °C), che è stato più caldo dei due decenni precedenti.

L'andamento delle temperature medie mensili è stato confrontato con l'andamento medio del decennio 2011-2020 (FIGURA 75). Si segnalano valori significativi di temperatura superiori alla media climatologica nei mesi di febbraio (+1.9°C), giugno (+0.5°C) e settembre (+0.8°C). Le differenze negative rispetto alle relative medie del decennio precedente si riscontrano nei rimanenti mesi dell'anno, in particolare aprile (-2.3°C), maggio (-1.6°C), luglio e ottobre (-1.2°C).

Il valore più basso delle temperature medie mensili è stato registrato nel mese di gennaio sia nel 2021 (2.8°C), sia nel decennio di riferimento (3.5 °C). Il valore massimo è stato registrato nel mese di luglio: nel del 2021 è pari a 23.4°C, mentre nel decennio climatologico 2011-2020 è di 24.6°C.

Dal confronto grafico fra l'andamento dei dati orari acquisiti nel corso del 2021 e l'intervallo di valori medi studiato a partire dai minimi e dai massimi assoluti registrati mensilmente nel decennio precedente (FIGURA 76), si osserva che in tutti i mesi dell'anno, ad eccezione di settembre, 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 2011-2020) a fine febbraio e dal 30 marzo al primo aprile.

Per quanto riguarda le precipitazioni atmosferiche, l'analisi dei dati statistici evidenzia per l'anno 2021 (FIGURA 77) un totale di precipitazioni di 891 mm, mentre il numero di giorni piovosi (si definisce giorno piovoso quello in cui si registra almeno 1 mm di pioggia su tutto l'arco della giornata) è pari a 73. Quindi il 2021 risulta meno piovoso rispetto alla media 2011-2020, sia in termini di precipitazioni totali (891 mm contro 1025 mm di media), sia per il numero di giorni piovosi che nel 2021 è pari a 73 giorni contro 81 giorni di media.

Il 2021 è tra gli anni meno piovosi dell'ultimo decennio, preceduto soltanto dal 2012 (882 mm), dal 2020 (838 mm) e dal 2017 (544 mm).

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 2011 (17.3 mm pioggia/giorno) e nel 2016 (14.1 mm pioggia/giorno), mentre il valore più basso è stato registrato nel 2017 (8.6 mm pioggia/giorno). Nel 2021 l'intensità giornaliera media è risultata inferiore a quella del decennio (12.2 mm pioggia/giorno contro una media di 12.8 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>22</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;

<sup>22</sup> "Precipitazioni e temperature" - Collana studi climatologici in Piemonte - Regione Piemonte: Direzione dei Servizi Tecnici di Prevenzione - Settore Meteoidrografico e Refi di Monitoraggio; Università degli Studi di Torino: Dipartimento di Scienze della Terra.

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

Sempre secondo tale studio, il regime pluviometrico prealpino è il più diffuso in Piemonte, anche se quello attribuito all'area del capoluogo torinese risulta continentale alpino (Mennella, 1967; Biancotti, 1996)<sup>23</sup>.

Nel grafico illustrato in FIGURA 78 è riportato il confronto tra l'andamento delle precipitazioni totali mensili per il 2021 e le precipitazioni medie mensili (media delle sommatorie mensili) del decennio 2011-2020. Il decennio di riferimento rientra nel regime pluviometrico "subcontinentale" con il massimo principale a novembre (137.4 mm), il massimo secondario a giugno (118.8 mm) e il minimo principale a gennaio (33.6 mm). Il profilo del 2021 invece si discosta dal regime pluviometrico "subcontinentale" in quanto il massimo principale si registra a giugno (175 mm) e non in autunno e il minimo principale in primavera (a marzo con 1.8 mm).

Un'ulteriore elaborazione è stata effettuata aggregando gli stessi dati di precipitazione su base trimestrale. Nella FIGURA 79 sono riportati, per ogni trimestre, gli istogrammi relativi alla quantità di pioggia misurata nei diversi anni, e per ogni grafico viene segnalato il valore medio di precipitazione per il decennio. Dall'esame dei grafici spicca che nel primo (-29.5%), nel secondo (-5.5%) e nel quarto (-33.7%) trimestre le precipitazioni sono inferiori alla media climatologica, nel terzo trimestre del 2021 (+11.2%) le precipitazioni sono superiori alla media climatologica.

Va comunque sottolineato che le osservazioni sopra riportate sulle caratteristiche di piovosità relative all'anno 2021 devono essere valutate alla luce delle seguenti considerazioni:

- l'arco temporale (decennio 2011-2020) utilizzato per il confronto risulta comunque ridotto;
- la rappresentatività spaziale è limitata all'area metropolitana.

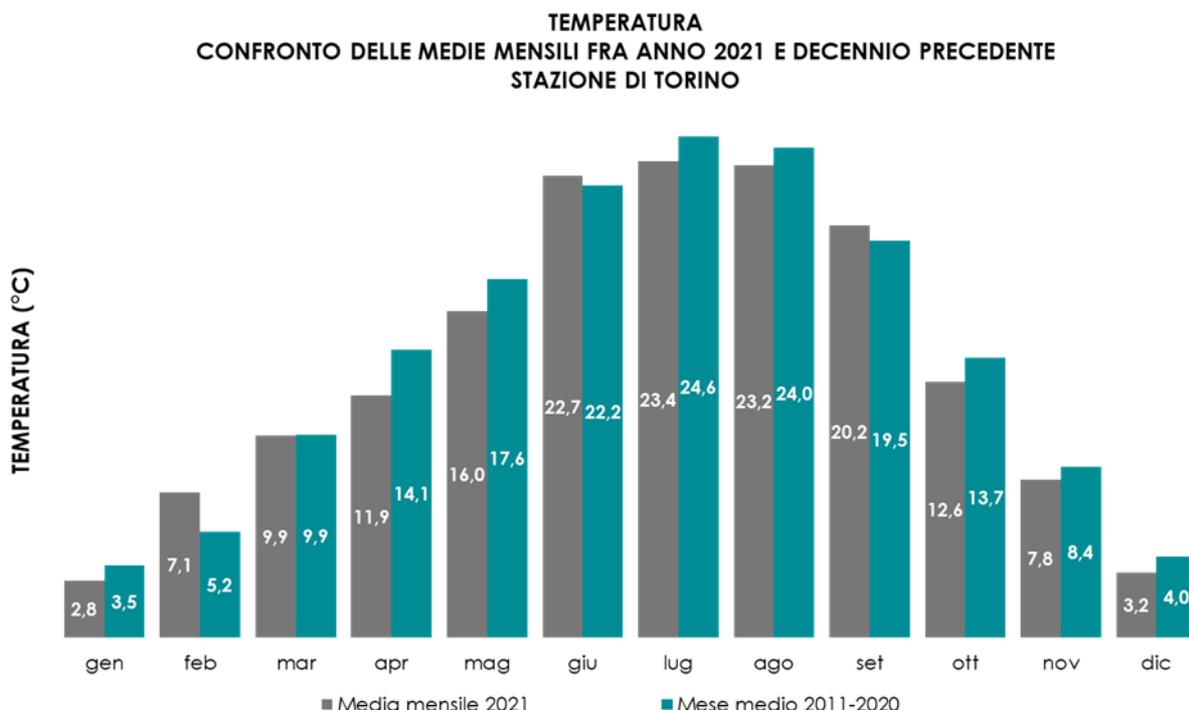


FIGURA 75: temperatura: valori medi mensili per l'anno 2021 e per il decennio 2011÷2020 per la stazione di Torino.

23 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.

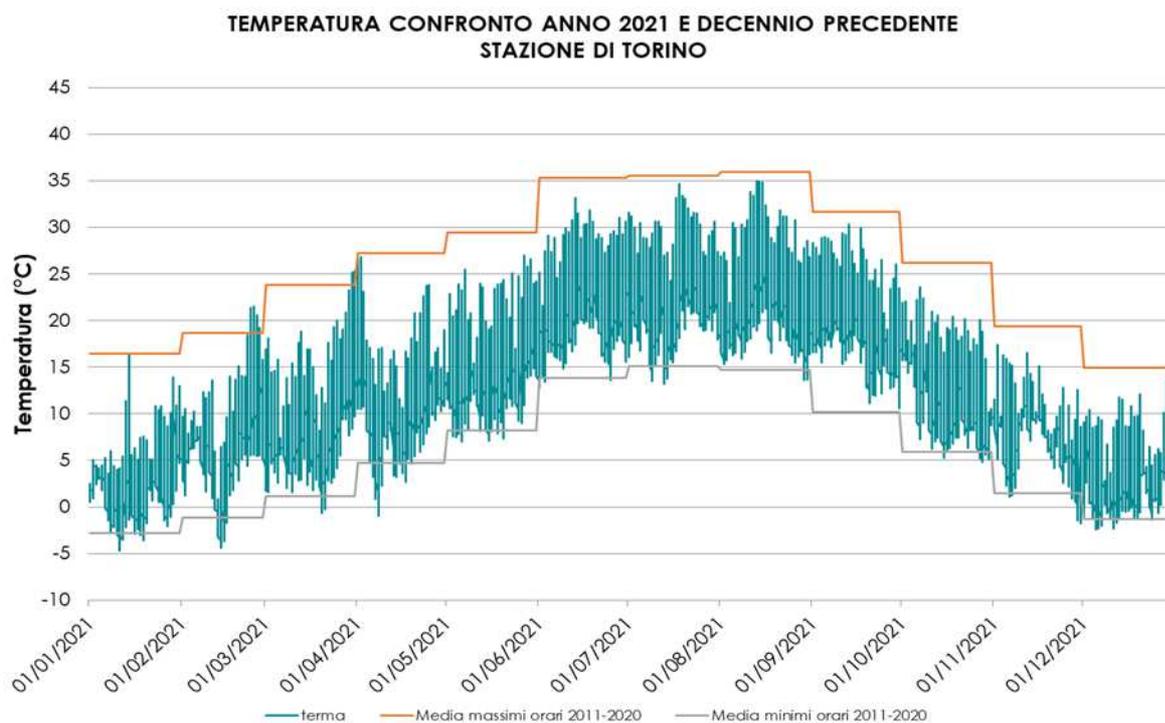


FIGURA 76: temperatura: valori orari per l'anno 2021 e medie dei minimi e dei massimi assoluti registrati nel decennio 2011÷2020 presso la stazione di Torino.

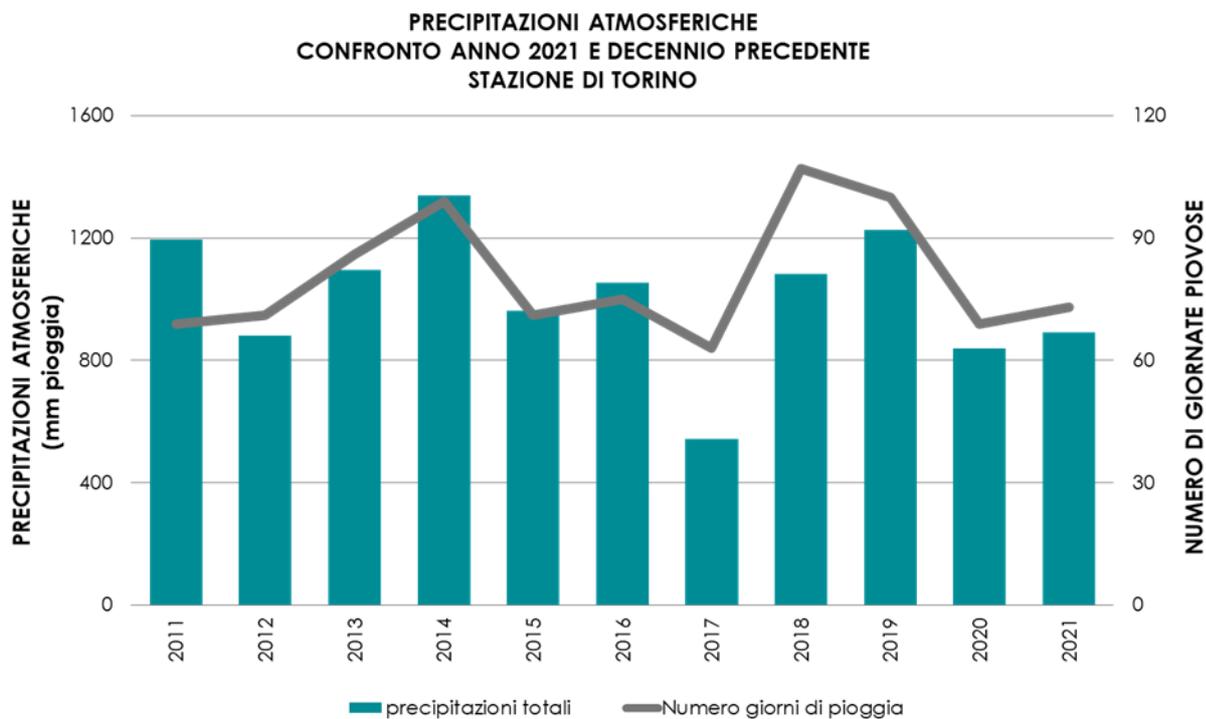


FIGURA 77: precipitazioni atmosferiche: sommatorie annuali e media del decennio in termini di quantità di precipitazioni e di numero di giornate piovose per la stazione di Torino.

**PRECIPITAZIONI ATMOSFERICHE  
CONFRONTO ANNO 2021 E DECENNIO PRECEDENTE  
STAZIONE DI TORINO**

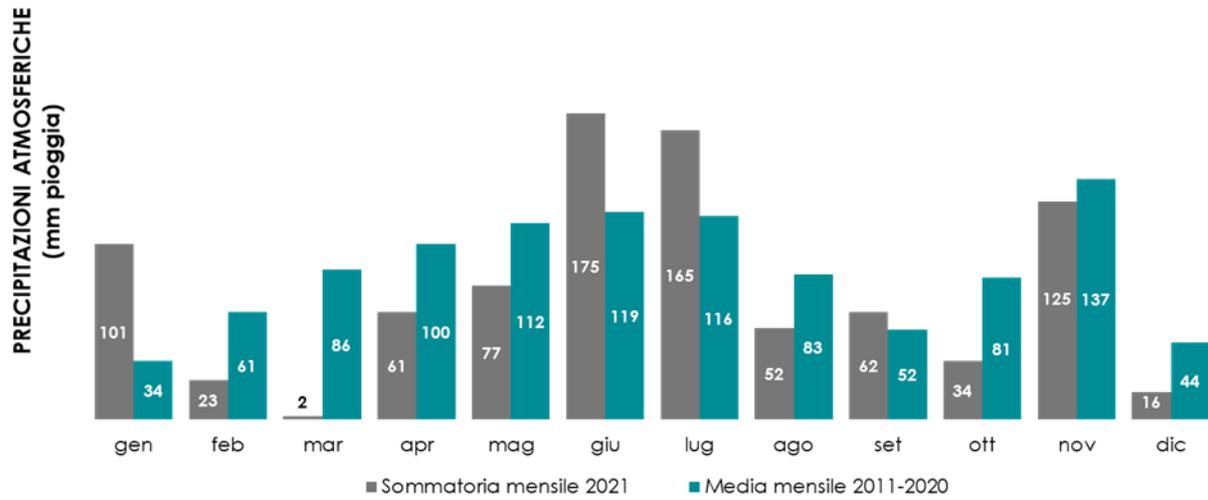


FIGURA 78: precipitazioni atmosferiche: sommatorie mensili per l'anno 2021 e medie mensili relative al decennio 2011÷2020 per la stazione di Torino

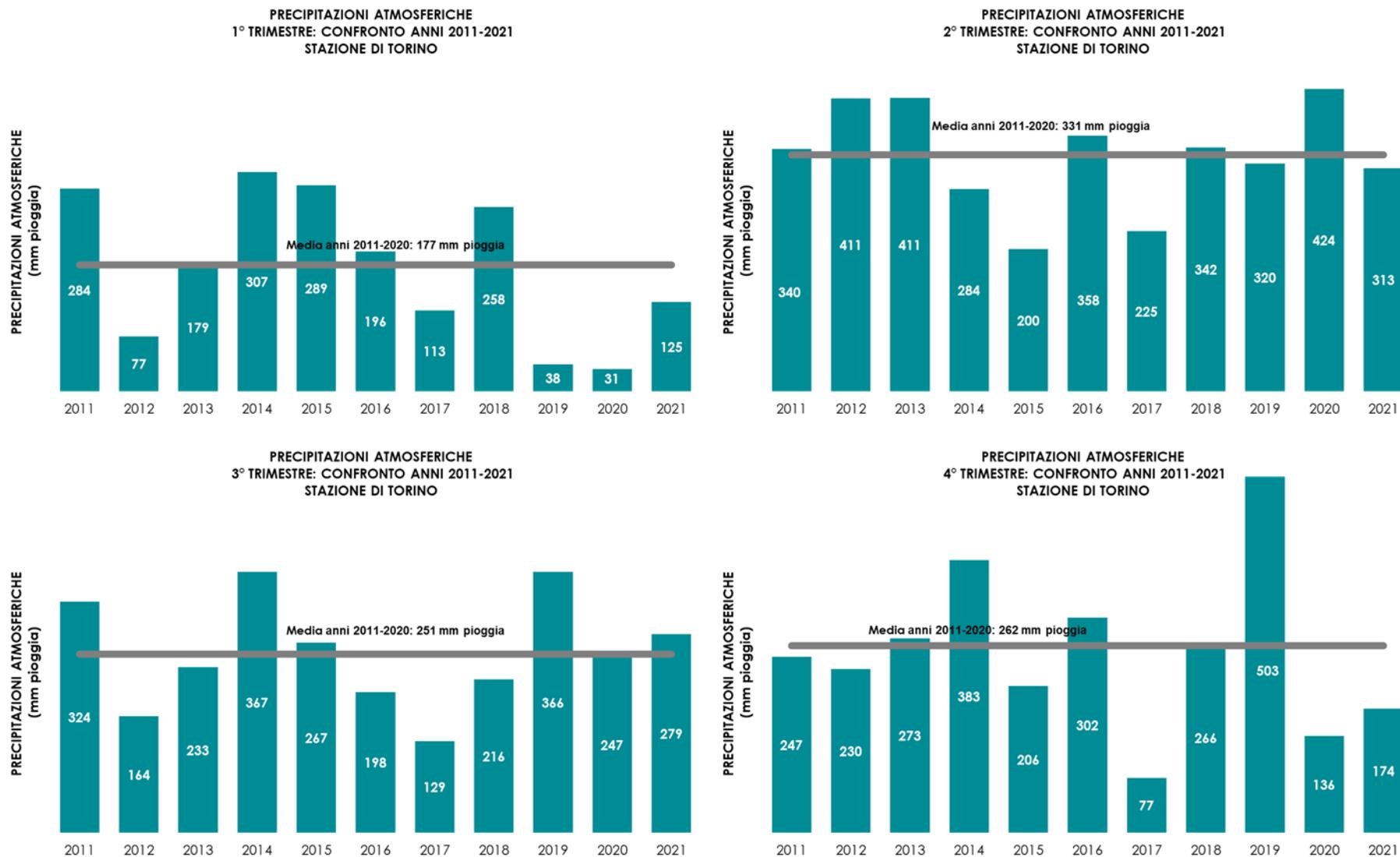


FIGURA 79: precipitazioni atmosferiche: sommatorie trimestrali relative al periodo 2010÷2021 per la stazione di Torino.

### 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.

Nel 2021 tale indice, rappresentativo dell'agglomerato torinese, è stato di 100 giorni. Si tratta del 2° valore più basso della serie storica a disposizione (FIGURA 80). Il 2021 ha avuto condizioni favorevoli alla dispersione degli inquinanti e i confronti con i rilevamenti degli anni precedenti dovranno prevalentemente riferirsi agli anni 2018 (107 giorni) e 2019 (96 giorni) e non al 2020, che presenta condizioni dispersive più severe e anomalie emissive dovute al periodo di lockdown.

L'andamento mensile dell'indice rappresentato nella FIGURA 81 si attesta su valori medio bassi rispetto al periodo di riferimento. Si evidenziano il mese di gennaio particolarmente piovoso ed estremamente favorevole alla dispersione degli inquinanti e il mese di dicembre leggermente più siccitoso e critico della media.

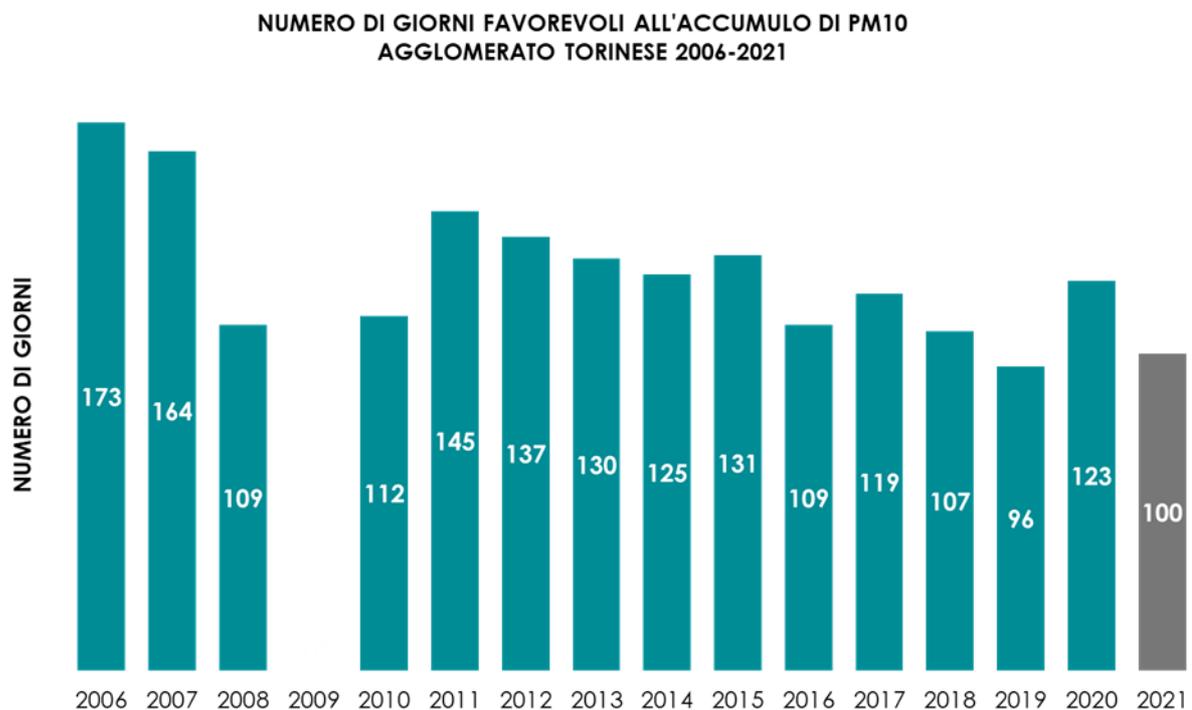


FIGURA 80: numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - confronto su base annuale tra gli anni 2006-2020 (in verde) e l'anno 2021 (in grigio).

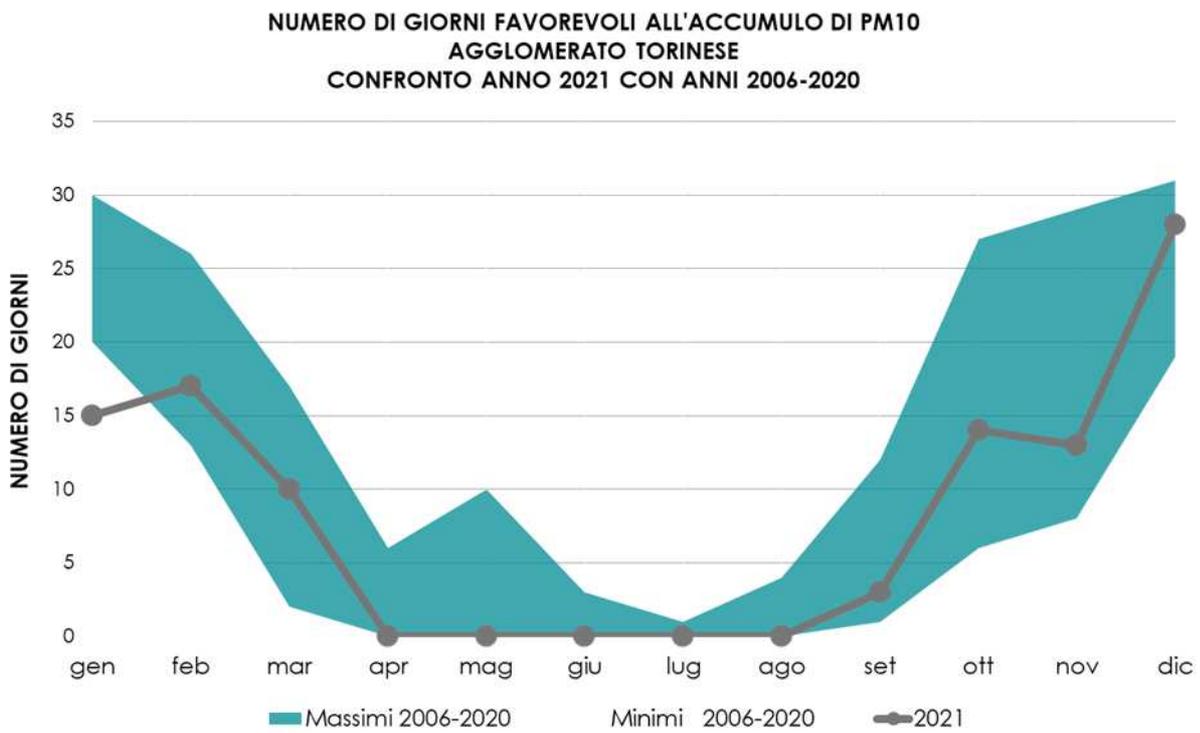


FIGURA 81: numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - confronto tra l'andamento mensile del 2021 (linea grigia) ed i valori massimi e minimi mensili del periodo 2006-2020 (banda verde).

## 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  $6 \times 10^{12}$  particelle per km a  $6 \times 10^{11}$  particelle per km. La novità più importante, introdotta con questo standard, è l'adozione del nuovo ciclo di prova WLTP e della prova delle emissioni reali su strada (test RDE) solo con finalità di monitoraggio.
- Euro 6d-temp: per le omologazioni da settembre 2018, con la 6d-temp viene introdotta la misurazione reale delle emissioni su strada. In questa prova la differenza tra le emissioni misurate nel ciclo in laboratorio WLTP (limite per i NO<sub>x</sub> 60 mg/km per i benzina e 80 mg/km per i diesel) e in quello su strada potrà arrivare massimo al 110% (limite per i NO<sub>x</sub> 126 mg/km per i benzina e 168 mg/km per i diesel).
- Euro 6d: per le immatricolazioni da gennaio 2021, stabilisce che la differenza rilevata tra le emissioni WLTP e quelle misurate nella prova RDE non possa superare il 50% (limite per i NO<sub>x</sub> 90 mg/km per i benzina e 120 mg/km per i diesel).

TABELLA 47: 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 82 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.

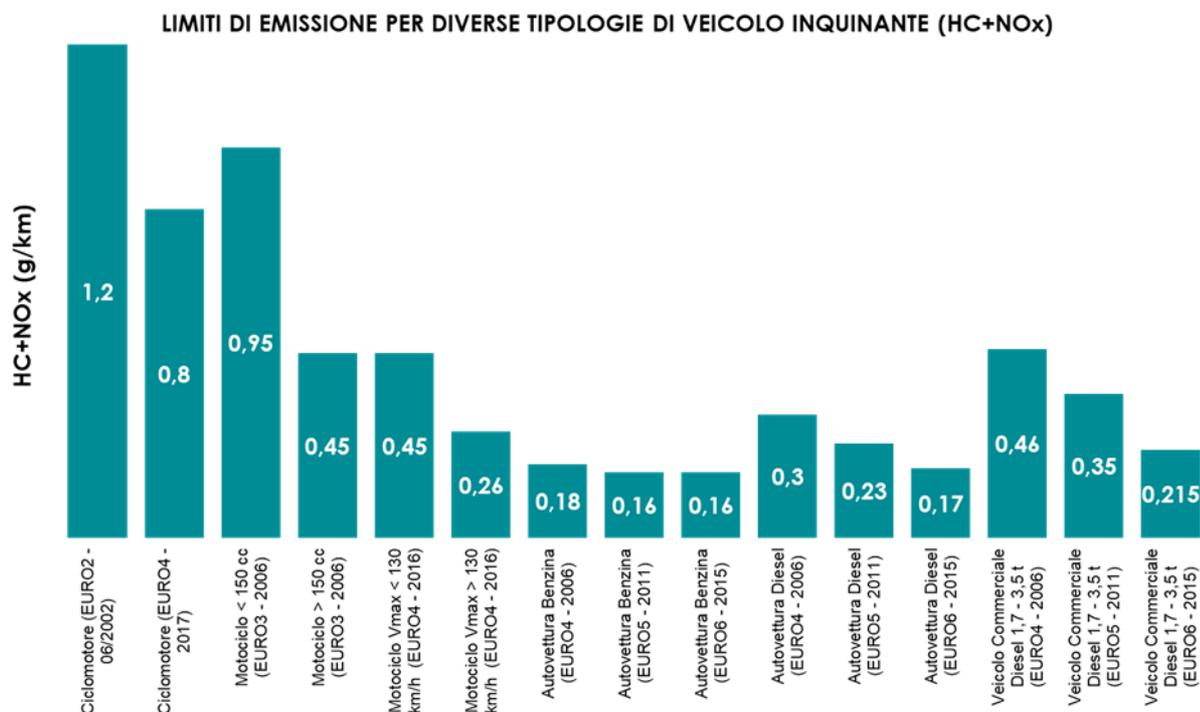


FIGURA 82: limiti di emissione definiti dalle normative più recenti per diverse tipologie di veicolo.

## IL PARCO VEICOLARE NELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO

Si riportano di seguito per il periodo 2016-2021 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 diminuito di 34.369 unità rispetto al 2020, quello dei veicoli commerciali leggeri è diminuito di 4.759 unità sempre rispetto al 2020;
- la somma degli autoveicoli Euro 5 ed Euro 6 rappresenta il 54,0% del totale, con un incremento del 2,6% 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), per quelli a GPL e a metano invece la percentuale in costante aumento nel corso degli ultimi anni si è arrestata (12,8% nel 2017, 13,5% nel 2018, 14,3 nel 2019, 14,0 nel 2020, 14,4% nel 2021);
- i veicoli completamente elettrici immatricolati nella città metropolitana di Torino sono 4.105 nel 2021 erano 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 59.818 e rappresentano il 37,6% del totale di quelli immatricolati, erano 62.517 pari al 39,1% del totale nel 2020.

		2017		2018		2019		2020		2021						
Autoveicoli "pre-EURO"	numero	70.320	54.811	benzina	69.161	54.115	benzina	67.858	53.434	benzina	67.000	52.870	benzina	66.228	52.470	benzina
			10.962	gasolio		10.799	gasolio		10.515	gasolio		10.357	gasolio		10.186	gasolio
			4.547	GPL-CH4		4.247	GPL-CH4		3.909	GPL-CH4		3.773	GPL-CH4		3.572	GPL-CH4
	%	4,8	3,7	benzina	4,7	3,7	benzina	4,7	3,7	benzina	4,6	3,6	benzina	4,6	3,7	benzina
0,7			gasolio	0,7		gasolio										
0,3			GPL-CH4	0,3		GPL-CH4	0,3		GPL-CH4	0,3		GPL-CH4	0,2		GPL-CH4	
Autoveicoli "EURO 1"	numero	29.450	22.205	benzina	27.880	20.958	benzina	26.338	19.732	benzina	25.331	18.949	benzina	24.232	18.061	benzina
			4.846	gasolio		4.718	gasolio		4.596	gasolio		4.516	gasolio		4.416	gasolio
			2.399	GPL-CH4		2.204	GPL-CH4		2.010	GPL-CH4		1.866	GPL-CH4		1.755	GPL-CH4
	%	2,0	1,5	benzina	1,9	1,4	benzina	1,8	1,4	benzina	1,7	1,3	benzina	1,7	1,3	benzina
0,3			gasolio	0,3		gasolio										
0,2			GPL-CH4	0,2		GPL-CH4	0,1		GPL-CH4	0,1		GPL-CH4	0,1		GPL-CH4	
Autoveicoli "EURO 2"	numero	132.554	97.578	benzina	120.351	88.749	benzina	109.501	80.712	benzina	101.386	74.523	benzina	92.356	67.318	benzina
			24.996	gasolio		22.910	gasolio		21.189	gasolio		20.015	gasolio		18.811	gasolio
			9.980	GPL-CH4		8.692	GPL-CH4		7.600	GPL-CH4		6.848	GPL-CH4		6.227	GPL-CH4
	%	9,0	6,6	benzina	8,2	6,1	benzina	7,6	5,6	benzina	6,9	5,1	benzina	6,5	4,7	benzina
1,7			gasolio	1,6		gasolio	1,5		gasolio	1,4		gasolio	1,3		gasolio	
0,7			GPL-CH4	0,6		GPL-CH4	0,5		GPL-CH4	0,5		GPL-CH4	0,4		GPL-CH4	
Autoveicoli "EURO 3"	numero	206.457	105.985	benzina	185.941	98.090	benzina	167.136	90.385	benzina	153.104	83.550	benzina	138.437	76.211	benzina
			90.872	gasolio		78.983	gasolio		68.681	gasolio		62.214	gasolio		55.619	gasolio
			9.600	GPL-CH4		8.868	GPL-CH4		8.070	GPL-CH4		7.340	GPL-CH4		6.607	GPL-CH4
	%	14,1	7,2	benzina	12,7	6,7	benzina	11,6	6,3	benzina	10,5	5,7	benzina	9,7	5,3	benzina
6,2			gasolio	5,4		gasolio	4,8		gasolio	4,3		gasolio	3,9		gasolio	
0,7			GPL-CH4	0,6		GPL-CH4	0,6		GPL-CH4	0,5		GPL-CH4	0,5		GPL-CH4	
Autoveicoli "EURO 4"	numero	441.797	188.634	benzina	415.358	181.586	benzina	386.644	174.051	benzina	364.769	167.512	benzina	336.700	158.872	benzina
			177.003	gasolio		160.248	gasolio		142.668	gasolio		130.179	gasolio		114.266	gasolio
			76.160	GPL-CH4		73.524	GPL-CH4		69.925	GPL-CH4		67.078	GPL-CH4		63.562	GPL-CH4
	%	30,1	12,8	benzina	28,4	12,4	benzina	26,9	12,1	benzina	24,9	11,4	benzina	23,6	11,1	benzina
12,1			gasolio	11,0		gasolio	9,9		gasolio	8,9		gasolio	8,0		gasolio	
5,2			GPL-CH4	5,0		GPL-CH4	4,9		GPL-CH4	4,6		GPL-CH4	4,4		GPL-CH4	
Autoveicoli "EURO 5"	numero	289.440	87.911	benzina	278.422	86.341	benzina	265.006	84.735	benzina	257.608	83.837	benzina	244.543	82.164	benzina
			155.670	gasolio		146.861	gasolio		136.017	gasolio		130.057	gasolio		119.922	gasolio
			45.859	GPL-CH4		45.220	GPL-CH4		44.254	GPL-CH4		43.714	GPL-CH4		42.457	GPL-CH4
	%	19,7	6,0	benzina	19,0	5,9	benzina	18,4	5,9	benzina	17,6	5,7	benzina	17,1	5,7	benzina
10,6			gasolio	10,0		gasolio	9,4		gasolio	8,9		gasolio	8,4		gasolio	
3,1			GPL-CH4	3,1		GPL-CH4	3,1		GPL-CH4	3,0		GPL-CH4	3,0		GPL-CH4	
Autoveicoli "EURO 6"	numero	298.929	116.529	benzina	364.660	137.784	benzina	417.240	180.571	benzina	494.433	226.233	benzina	526.766	260.477	benzina
			143.025	gasolio		172.133	gasolio		167.129	gasolio		194.500	gasolio		184.614	gasolio
			39.375	GPL-CH4		54.743	GPL-CH4		69.540	GPL-CH4		73.700	GPL-CH4		81.675	GPL-CH4
	%	20,4	7,9	benzina	24,9	9,4	benzina	29,0	12,5	benzina	33,8	15,5	benzina	36,9	18,2	benzina
9,7			gasolio	11,8		gasolio	11,6		gasolio	13,3		gasolio	12,9		gasolio	
2,7			GPL-CH4	3,7		GPL-CH4	4,8		GPL-CH4	5,0		GPL-CH4	5,7		GPL-CH4	

TABELLA 48: autoveicoli immatricolati nella città metropolitana di Torino dal 2017 al 2021, suddivisi per tipo di omologazione ambientale.

		2017			2018			2019			2020			2021		
Autocari <3,5 t "pre-EURO"	numero	18.845	1.791	benzina	18.528	1.801	benzina	17.907	1.763	benzina	17.494	1.745	benzina	17.136	1.754	benzina
			16.761	gasolio		16.432	gasolio		15.903	gasolio		15.545	gasolio		15.194	gasolio
			293	GPL-CH <sub>4</sub>		295	GPL-CH <sub>4</sub>		241	GPL-CH <sub>4</sub>		204	GPL-CH <sub>4</sub>		188	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	11,5	1,1	benzina	11,5	1,1	benzina	11,4	1,1	benzina	10,9	1,1	benzina	10,8	1,1	benzina
			10,2	gasolio		10,2	gasolio		10,1	gasolio		9,7	gasolio		9,6	gasolio
			0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,1	GPL-CH <sub>4</sub>		0,1	GPL-CH <sub>4</sub>
Autocari <3,5 t "EURO 1"	numero	7.920	1.183	benzina	7.651	1.162	benzina	7.419	1.138	benzina	7.182	1.109	benzina	6.938	1.091	benzina
			6.629	gasolio		6.384	gasolio		6.177	gasolio		5.974	gasolio		5.754	gasolio
			108	GPL-CH <sub>4</sub>		105	GPL-CH <sub>4</sub>		104	GPL-CH <sub>4</sub>		99	GPL-CH <sub>4</sub>		93	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	4,8	0,7	benzina	4,7	0,7	benzina	4,7	0,7	benzina	4,5	0,7	benzina	4,4	0,7	benzina
			4,0	gasolio		4,0	gasolio		3,9	gasolio		3,7	gasolio		3,6	gasolio
			0,1	GPL-CH <sub>4</sub>												
Autocari <3,5 t "EURO 2"	numero	18.792	1.586	benzina	17.999	1.512	benzina	17.111	1.450	benzina	16.368	1.383	benzina	15.627	1.316	benzina
			16.950	gasolio		16.243	gasolio		15.429	gasolio		14.760	gasolio		14.094	gasolio
			256	GPL-CH <sub>4</sub>		244	GPL-CH <sub>4</sub>		232	GPL-CH <sub>4</sub>		225	GPL-CH <sub>4</sub>		217	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	11,5	1,0	benzina	11,2	0,9	benzina	10,9	0,9	benzina	10,2	0,9	benzina	9,8	0,8	benzina
			10,3	gasolio		10,1	gasolio		9,8	gasolio		9,2	gasolio		8,9	gasolio
			0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,1	GPL-CH <sub>4</sub>		0,1	GPL-CH <sub>4</sub>		0,1	GPL-CH <sub>4</sub>
Autocari <3,5 t "EURO 3"	numero	32.734	1.737	benzina	31.097	1.637	benzina	29.348	1.551	benzina	27.960	1.454	benzina	26.402	1.369	benzina
			30.681	gasolio		29.161	gasolio		27.516	gasolio		26.238	gasolio		24.776	gasolio
			316	GPL-CH <sub>4</sub>		299	GPL-CH <sub>4</sub>		281	GPL-CH <sub>4</sub>		268	GPL-CH <sub>4</sub>		257	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	19,9	1,1	benzina	19,3	1,0	benzina	18,7	1,0	benzina	17,5	0,9	benzina	16,6	0,9	benzina
			18,7	gasolio		18,1	gasolio		17,5	gasolio		16,4	gasolio		15,6	gasolio
			0,2	GPL-CH <sub>4</sub>												
Autocari <3,5 t "EURO 4"	numero	38.524	1.153	benzina	37.001	1.110	benzina	35.105	1.083	benzina	33.675	1.050	benzina	31.818	1.013	benzina
			35.480	gasolio		34.057	gasolio		32.324	gasolio		31.015	gasolio		29.260	gasolio
			1.891	GPL-CH <sub>4</sub>		1.834	GPL-CH <sub>4</sub>		1.698	GPL-CH <sub>4</sub>		1.610	GPL-CH <sub>4</sub>		1.545	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	23,5	0,7	benzina	22,9	0,7	benzina	22,3	0,7	benzina	21,1	0,7	benzina	20,0	0,6	benzina
			21,6	gasolio		21,1	gasolio		20,6	gasolio		19,4	gasolio		18,4	gasolio
			1,2	GPL-CH <sub>4</sub>		1,1	GPL-CH <sub>4</sub>		1,1	GPL-CH <sub>4</sub>		1,0	GPL-CH <sub>4</sub>		1,0	GPL-CH <sub>4</sub>
Autocari <3,5 t "EURO 5"	numero	34.311	385	benzina	31.629	400	benzina	27.887	387	benzina	26.337	373	benzina	25.259	365	benzina
			31.494	gasolio		29.164	gasolio		25.824	gasolio		24.312	gasolio		23.357	gasolio
			2.432	GPL-CH <sub>4</sub>		2.065	GPL-CH <sub>4</sub>		1.676	GPL-CH <sub>4</sub>		1.652	GPL-CH <sub>4</sub>		1.537	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	20,9	0,2	benzina	19,6	0,2	benzina	17,7	0,2	benzina	16,5	0,2	benzina	15,9	0,2	benzina
			19,2	gasolio		18,1	gasolio		16,4	gasolio		15,2	gasolio		14,7	gasolio
			1,5	GPL-CH <sub>4</sub>		1,3	GPL-CH <sub>4</sub>		1,1	GPL-CH <sub>4</sub>		1,0	GPL-CH <sub>4</sub>		1,0	GPL-CH <sub>4</sub>
Autocari <3,5 t "EURO 6"	numero	12.965	341	benzina	17.414	516	benzina	22.405	806	benzina	30.907	1.137	benzina	35.830	1.591	benzina
			8.961	gasolio		12.536	gasolio		17.083	gasolio		26.575	gasolio		30.786	gasolio
			3.663	GPL-CH <sub>4</sub>		4.362	GPL-CH <sub>4</sub>		4.516	GPL-CH <sub>4</sub>		3.195	GPL-CH <sub>4</sub>		3.453	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	7,9	0,2	benzina	10,8	0,3	benzina	14,3	0,5	benzina	19,3	0,7	benzina	22,5	1,0	benzina
			5,5	gasolio		7,8	gasolio		10,9	gasolio		16,6	gasolio		19,4	gasolio
			2,2	GPL-CH <sub>4</sub>		2,7	GPL-CH <sub>4</sub>		2,9	GPL-CH <sub>4</sub>		2,0	GPL-CH <sub>4</sub>		2,2	GPL-CH <sub>4</sub>

TABELLA 49: veicoli commerciali leggeri (&lt; 3,5 t) immatricolati nella città metropolitana di Torino dal 2016 al 2021, suddivisi per tipo di omologazione ambientale.

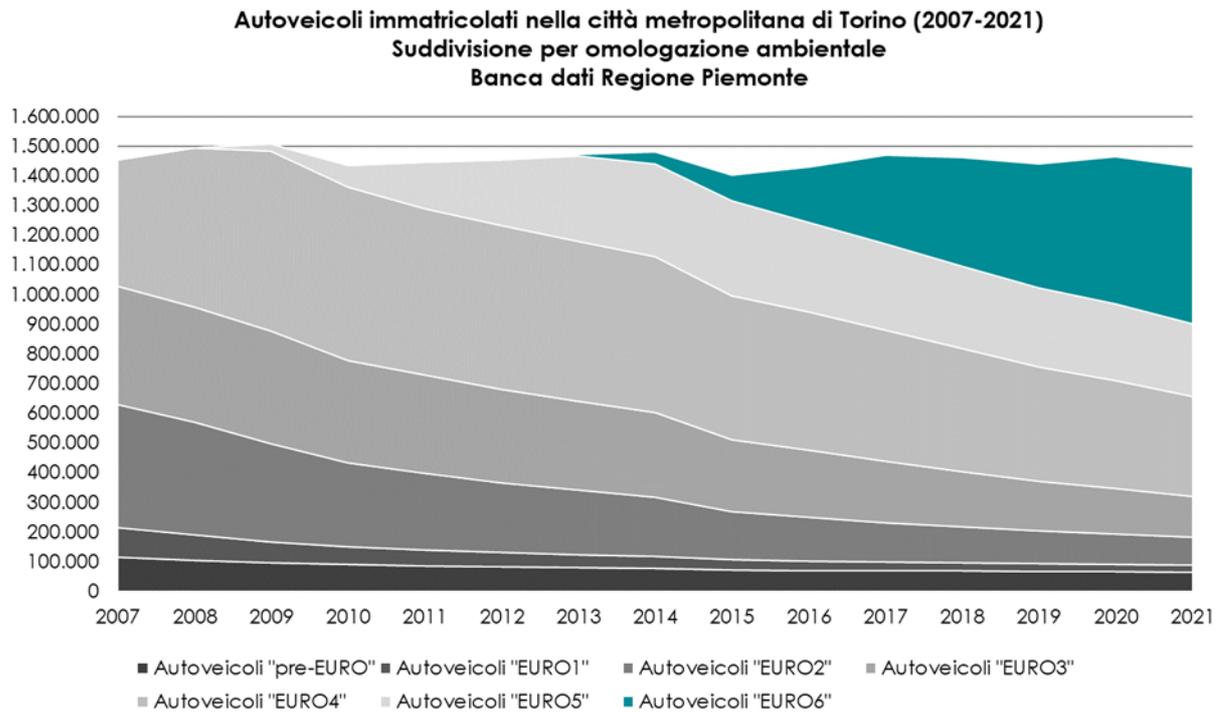


FIGURA 83: autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2021, suddivisi per tipo di omologazione ambientale (Banca Dati di Regione Piemonte).

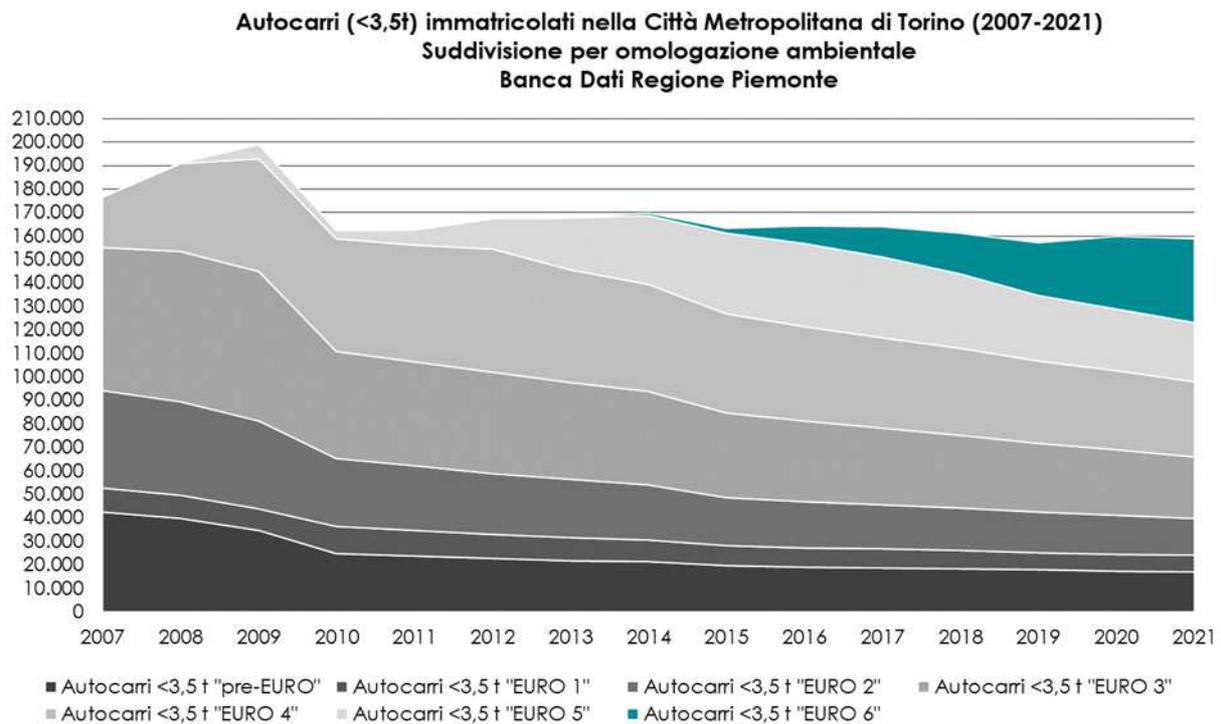


FIGURA 84: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2021, suddivisi per tipo di omologazione ambientale (Banca Dati di Regione Piemonte).

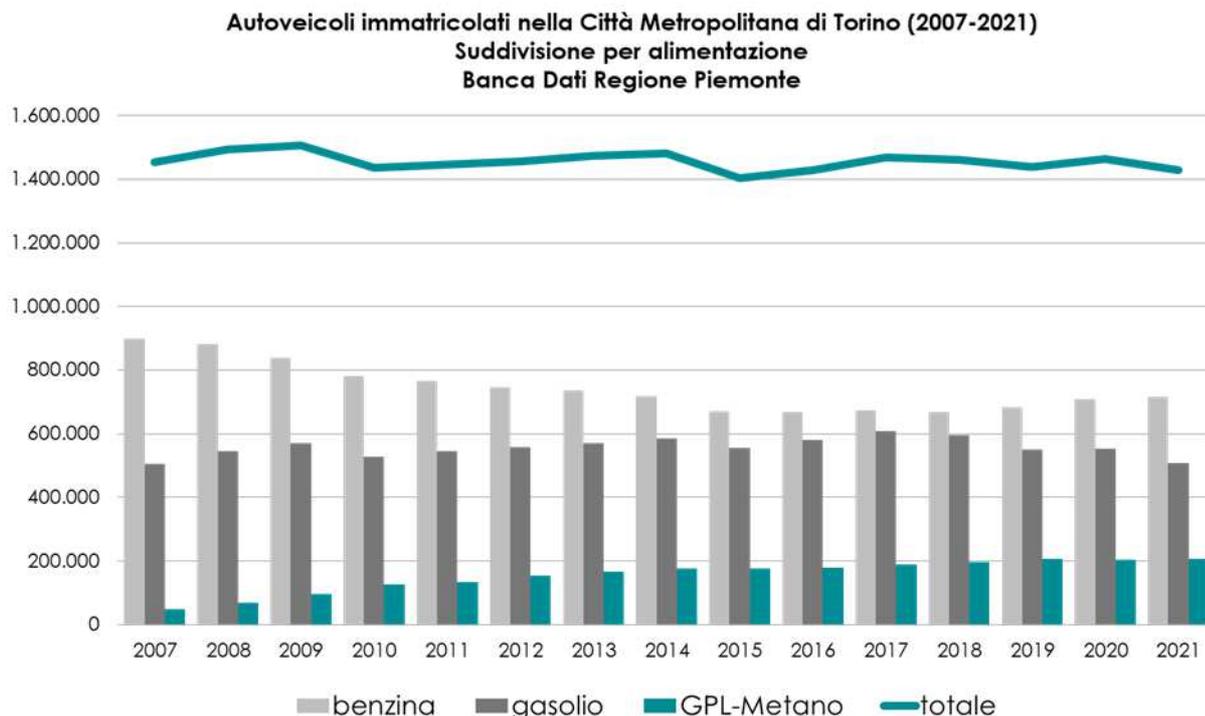


FIGURA 85: autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2021, suddivisi per tipo di alimentazione (Banca Dati di Regione Piemonte).

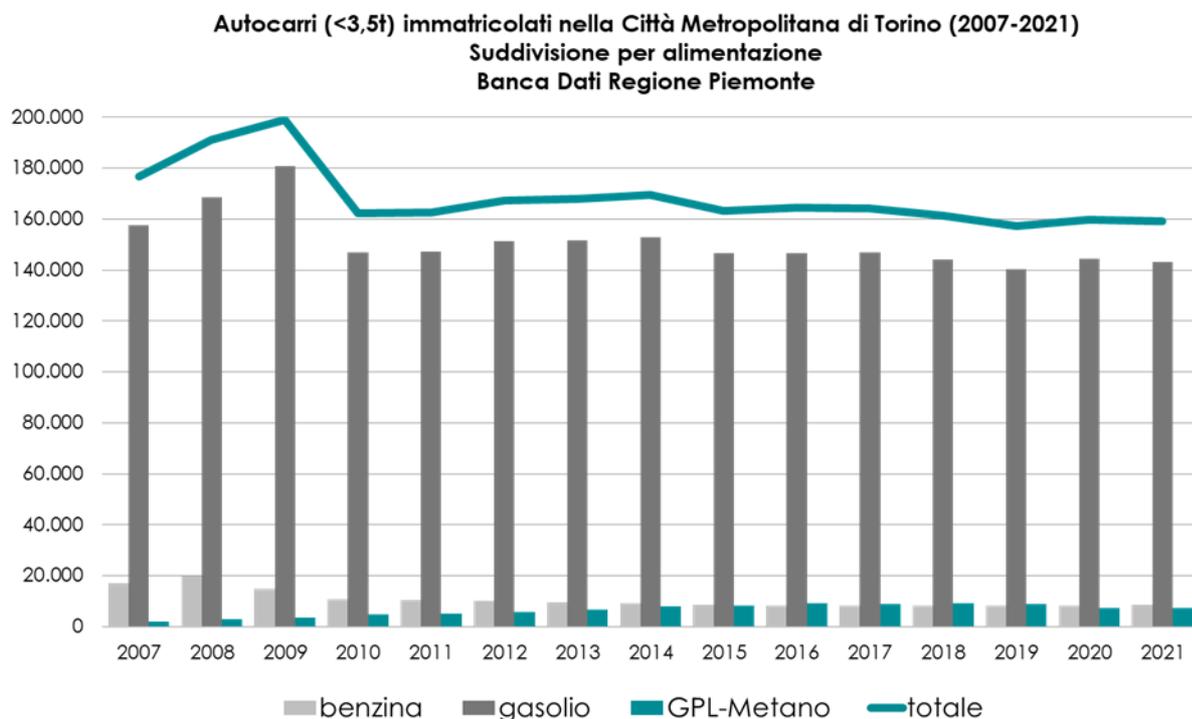


FIGURA 86: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2021, suddivisi per tipo di alimentazione (Banca Dati di Regione Piemonte).

## 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 2021-2022

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

La D.G.R n. 9-2916 del 26 febbraio 2021 estende le aree di applicazione a tutti i comuni (FIGURA 87) 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>24</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.

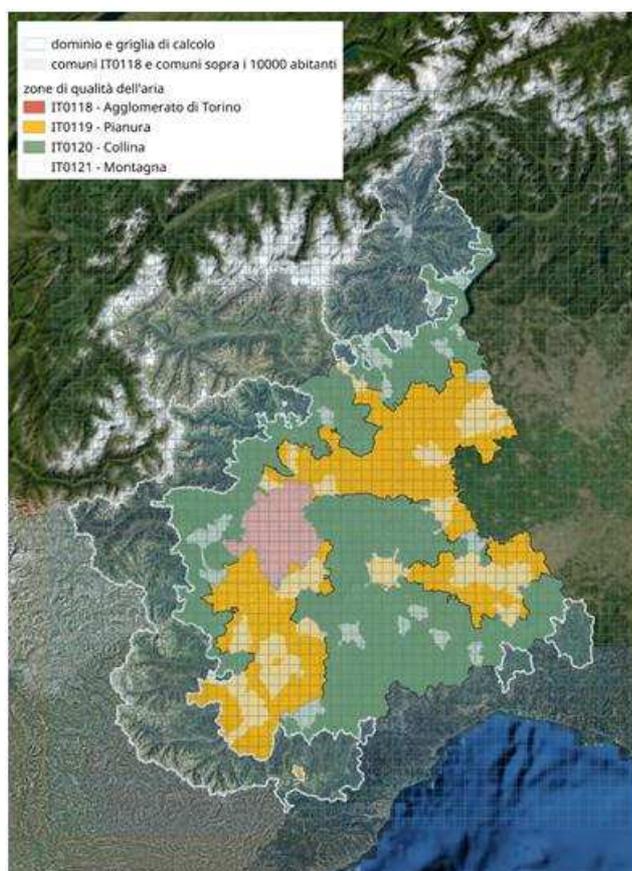


FIGURA 87: comuni interessati dall'applicazione del semaforo antismog.

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

<sup>24</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  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per tre giorni consecutivi a partire dal giorno di controllo;
- livello rosso, nel caso di previsione del superamento del valore di  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (pari ad 1,5 volte il valore limite giornaliero) per tre giorni consecutivi a partire dal giorno di controllo.

Il rientro da una situazione di allerta avviene nel caso in cui, nel giorno di controllo, si hanno due giorni, anche non consecutivi, di previsione per la media giornaliera su valori inferiori ai  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

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

L'attivazione dei diversi livelli di allerta è stata valutata sull'intero periodo 15 settembre 2021 – 15 aprile 2021, per un totale di complessivo di 212 giorni. La tabella sottostante riassume per ogni zona la frequenza di attivazione dei livelli nell'inverno 2021-2022. (TABELLA 50).

Comune/Area	LIVELLO 0		LIVELLO 1		LIVELLO 2	
	n° giorni	%	n° giorni	%	n° giorni	%
IT0118 Agglomerato di Torino (esclusi i precedenti)	174	82,1	24	11,3	14	6,6
IT0119 Pianura (esclusi i precedenti)	196	92,5	16	7,5	0	0
IT0120 Collina (esclusi i precedenti)	202	95,3	10	4,7	0	0

TABELLA 50: tabella riassuntiva sui risultati dell'applicazione del protocollo antismog per l'inverno 2021/2022, dal 15 settembre 2021 al 15 aprile 2022 (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 88

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 giorni, sabato e festivi compresi, con semaforo arancione acceso dalle 8 alle 19
	Diesel Euro 3 e 4	Tutti 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 giorni, sabato e festivi compresi, con semaforo rosso acceso dalle 8 alle 19

FIGURA 88: schema riassuntivo delle limitazioni 2021-2022.



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



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