

Uno sguardo all'aria

2020





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

Anno 2020

Testi ed elaborazioni a cura di:

Città metropolitana di Torino – Dipartimento Ambiente e Vigilanza ambientale:

A. Bertello

ARPA Piemonte - Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest:

I. Bottazzi, A. Bruno, E. Calderaro, D. Marangon, L. Milizia, S. Possamai, M. Sacco

ARPA Piemonte - Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali:

F. Lollobrigida, S. Bande, F. Bissardella, M. Clemente, D. Gandini, S. Ghigo, M. Nicoella

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

ARPA Piemonte - Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest

F. F. Pitasi, S. Bertero, C. Bugnone, M. Carrera, G. Gallina, P. Giansanti, F. Romeo, P. Rosina, R. Sergi, D. Simondi, I. Coretti

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, "Settembre" 2019

INDICE

| | |
|---|-----|
| SOMMARIO | 6 |
| LA RETE DI MONITORAGGIO DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO | 8 |
| MONOSSIDO DI CARBONIO..... | 11 |
| BIOSSIDO D'AZOTO..... | 13 |
| BIOSSIDO DI ZOLFO | 19 |
| OZONO | 21 |
| BENZENE..... | 29 |
| PARTICOLATO SOSPESO | 31 |
| IL BLACK CARBON IN PIEMONTE | 45 |
| STUDIO DELLA CONCENTRAZIONE NUMERICA DI PARTICELLE ULTRAFINI | 52 |
| DETERMINAZIONE DI PCDD/PCDF E PCB PRESSO LA STAZIONE DI BEINASCO (TRM) | 61 |
| MUTAGENICITÀ DEL PM _{2,5} | 71 |
| METALLI | 78 |
| MERCURIO ELEMENTARE GASSOSO..... | 86 |
| IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI..... | 90 |
| IMPATTO SULLA QUALITÀ DELL'ARIA DEI PROVVEDIMENTI LEGATI ALL'EMERGENZA COVID-19 | 95 |
| CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'ANNO 2020 | 114 |
| EMISSIONI INQUINANTI DEI VEICOLI A MOTORE | 137 |
| IL PROTOCOLLO ANTISMOG NELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO | 143 |

SOMMARIO

L'analisi dei dati di qualità dell'aria rilevati nel 2020 offre spunti di riflessione interessanti per gli effetti positivi dovuti alla riduzione delle emissioni dei settori traffico e industria durante i periodi di lockdown e alle misure di contenimento del contagio da coronavirus Sars-CoV-2, contrastati da una meteorologia particolarmente sfavorevole alla dispersione degli inquinanti.

Dei 12 inquinanti per i quali sono stabiliti valori di riferimento, 9 - monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO₂), benzene, metalli (Pb, As, Cd, Ni), benzo(a)pirene e PM_{2,5} – hanno rispettato nel 2020 come negli anni precedenti i valori limite e obiettivo su tutto il territorio metropolitano.

Il valore limite annuale del PM₁₀ (40 µg/m³) è stato nominalmente superato nel 2020 nella sola stazione di To-Grassi, mentre non era mai stato superato nel 2018 e nel 2019. Occorre però sottolineare che tale stazione ha presentato una bassa percentuale di dati validi nei mesi estivi che, di norma, presentano valori di concentrazione particolarmente bassi. La media annuale calcolata risulta quindi sovrastimata. Per quanto riguarda il numero di superamenti del valore limite giornaliero (50 µg/m³ da non superare più di 35 volte all'anno), che è il limite più severo, il superamento è avvenuto in 13 stazioni su 19 (erano 10 su 18 nel 2019 e 9 su 18 nel 2018).

Il valore limite annuale del biossido di azoto (NO₂) (40 µg/m³) è stato superato in 2 stazioni su 19 (erano 3 su 19 nel 2019 e nel 2018) e tutte le stazioni hanno presentato valori medi inferiori rispetto all'anno precedente. In nessuna stazione è stato superato il valore limite di 18 superamenti della soglia oraria (200 µg/m³).

L'ozono (O₃) conferma la sua criticità nei mesi estivi su tutto il territorio metropolitano con qualche leggero miglioramento. Il valore obiettivo per la protezione della salute è stato superato in tutti i punti di misura con l'eccezione della stazione di Ceresole Reale e per la prima volta di Susa.

Il benzo(a)pirene rispetta il valore limite in tutti i siti di campinamento ubicati nel territorio metropolitano dal 2018. Occorre osservare però che in alcune stazioni i valori sono prossimi al valore obiettivo e che le medie annuali del 2020 sono maggiori rispetto a quelle del 2019 e del 2018 in 11 stazioni su 14.

La variabilità meteorologica, riassunta nell'indice "numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM₁₀" (FIGURA 120 e FIGURA 121), illustra in modo evidente il peggioramento delle condizioni dispersive del 2020 rispetto agli anni più recenti (2018 e 2019) e individua il 2017 come l'anno più prossimo con condizioni meteo diffusive paragonabili.

Il confronto con gli anni più recenti (2018 e 2019) evidenzia che le condizioni meteo-climatiche del 2020 hanno inciso negativamente sui valori di PM₁₀ e che la riduzione delle attività antropiche, dovuta alle misure di contenimento del COVID-19, non è stata sufficiente a compensare gli effetti della meteorologia su questo inquinante, che ha un'origine complessa in termini di sorgenti emissive e meccanismi di formazione secondaria in atmosfera.

Un esame più circostanziato evidenzia però che i dati del 2020 sono significativamente migliori rispetto a quelli del 2017. In termini di medie annuali nel 2017 c'erano 5 stazioni in superamento mentre solo 1 nel 2020 e la media complessiva su tutte le stazioni scende da 33,4 a 27,8 µg/m³.

Netti miglioramenti si sono poi osservati sull' NO₂ dove la riduzione del traffico veicolare, che rappresenta la fonte prioritaria di questo inquinante, ha portato riduzioni significative rispetto al 2017 ma anche rispetto agli anni 2018 e 2019. La media complessiva su tutte le stazioni scende da 34 µg/m³ nel 2017 a 29 µg/m³ nel 2018 e nel 2019 fino a 24 µg/m³ nel 2020.

Le serie storiche degli inquinanti, al netto delle condizioni meteo dispersive, certificano l'efficacia delle misure di risanamento adottate nel corso degli anni e evidenziano che la riduzione delle emissioni di carattere straordinario avvenuta nel 2020 ha avuto effetti positivi sulla qualità dell'aria. In particolare è rilevante il fatto che nel 2020 si sia sfiorato il rispetto del valore limite per il biossido di azoto su tutto il territorio.

Occorre ancora insistere con determinazione nelle azioni di miglioramento della qualità dell'aria e cercare di capitalizzare in termini ambientali la riduzione delle emissioni di inquinanti in atmosfera, forse l'unico aspetto positivo di questo terribile periodo di pandemia.

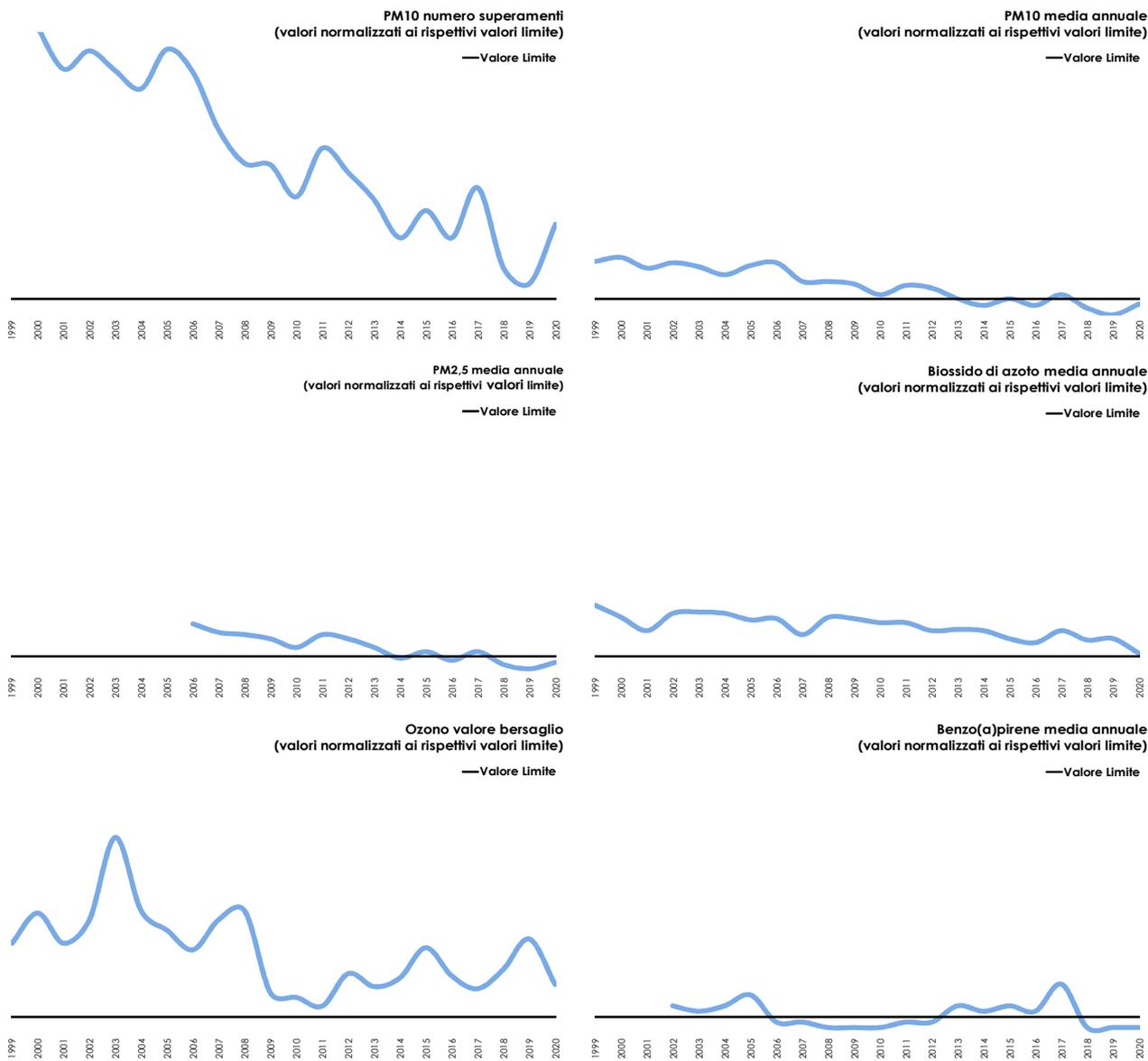


FIGURA 1: evoluzione degli inquinanti nella città di Torino.

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 1.

Nella TABELLA 1 dopo PM10/PM2,5 si trova in alcuni casi l'indicazione "beta (β)" in relazione al metodo di misura utilizzato.

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

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

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

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

Tutti i siti monitorati sono oggetto di specifiche relazioni tecniche curate dal Dipartimento ARPA di Torino; copia delle relazioni è disponibile sia presso tale Dipartimento che presso l'Area Risorse Idriche e Qualità dell'Aria della Città Metropolitana di Torino e sono scaricabili via internet 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 | NOx, O ₃ , CO, PM10 _B , Deposimetro IPA | Fondo-rurale |
| Beinasco (TRM) (1) | Via San Giacomo c/o giardino pubblico Aldo Mei - Beinasco | NOx, PM10, PM10 _B , PM2,5 _B , 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 | NOx, O ₃ , PM10, PM2,5, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX | Fondo-suburbano |
| Carmagnola | P.zza I Maggio– Carmagnola | NOx, PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P | Traffico-urbano |
| Ceresole Reale | c/o cent. Idroelettrica - Ceresole | NOx, O ₃ , PM10 _B , PM2,5 _B , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P | Fondo-rurale |
| Chieri | c/o Scuola Infanzia B.go Venezia Via Bersezio– Chieri | NOx, O ₃ , PM10 _B , PM2,5 _B | Fondo-suburbano |
| Collegno | C.so Francia, 137 - Collegno | NOx, PM10 | Traffico-urbano |
| Druento | parco La Mandria c/o cascina Peppinella – Druento | NOx, O ₃ , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P | Fondo rurale |
| Ivrea | Viale della Liberazione, 1 – Ivrea | NOx, O ₃ , PM10, PM10 _B , PM2,5, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P | Fondo-suburbano |
| Leinì (GDF) (1) | Via Vittime di Bologna, 12 - c/o Grande Torino - Leinì | NOx, O ₃ , CO, PM10 _B , PM2,5 _B | Fondo-suburbano |
| Mezzo Mobile | | NOx, O ₃ , CO, PM10, PM2,5, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX | |
| Orbassano | Via Riesi c/o Complesso Sportivo Comunale – Orbassano | NOx, O ₃ | Fondo-suburbano |
| Oulx | Via Roma angolo via Des Moines – Oulx | NOx, CO, PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P | Traffico-suburbano |
| Pinerolo | P.zza III Alpini, 1 – Pinerolo | PM10 _B | Fondo-urbano |
| Settimo T.se | Via Milano, 31 – Settimo | NOx, PM10, PM2,5, BTX, B(a)P | Traffico-urbano |
| Susa | P.zza della Repubblica – Susa | NOx, O ₃ , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P | Fondo-suburbano |
| To-Consolata | Via Consolata, 10 – Torino | NOx, CO, SO ₂ , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, PTS | Traffico-urbano |
| To-Grassi | Via P.Veronese ang. via Reiss Romoli c/o ITIS Grassi – Torino | PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P | Traffico-urbano |
| To-Lingotto | Viale Augusto Monti, 21 zona Lingotto – Torino | NOx, O ₃ , PM10-PM10 _B , PM2,5-PM2,5 _B , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, BC, NH ₃ | Fondo-urbano |
| To-Rebaudengo | P.zza Rebaudengo, 23 - Torino | NOx, CO, SO ₂ , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, PM10 _B , PM2,5 _B | Traffico-urbano |
| To-Rubino | Via Edoardo Rubino c/o giardini Rubino - Torino | NOx, O ₃ , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, PM10 _B orario, PM2,5 _B orario | Fondo-urbano |
| Vinovo | via Garibaldi ang. via Volontari Italiani – Vinovo | NOx, O ₃ , BTX | Fondo-suburbano |

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

TABELLA 1: 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 _B | Particolato sospeso < 10 µm metodo automatico a radiazione β |
| PM2,5 | Particolato sospeso < 2,5 µm |
| PM2,5 _B | Particolato sospeso < 2,5 µm metodo automatico a radiazione β |
| PTS | Polveri totali sospese |
| SO2 | Biossido di zolfo |

TABELLA 2: descrizione dei codici dei parametri.

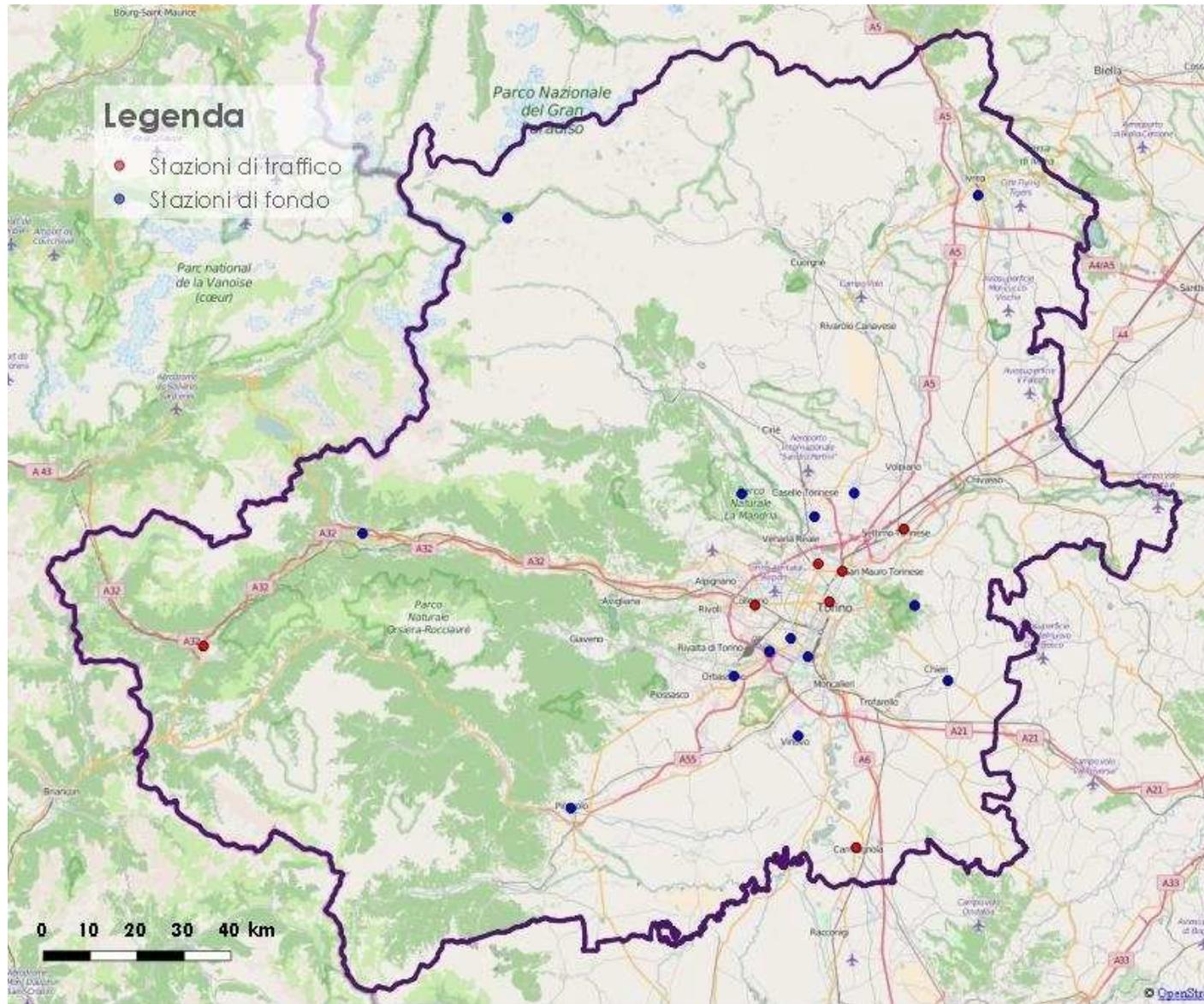


FIGURA 2: disposizione delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria.

MONOSSIDO DI CARBONIO

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

A. Bertello, Città metropolitana di Torino.

DESCRIZIONE

Il carbonio, legandosi all'ossigeno, forma due composti (ossidi): il monossido di carbonio (CO) ed il biossido di carbonio (CO₂).

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/m³), a differenza degli altri parametri inquinanti misurati in µg/m³ o in ng/m³ in quanto presenti in minore concentrazione in aria ambiente.

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

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

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

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

I valori limite definiti dalla normativa vigente sono riportati nella TABELLA 3.

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

TABELLA 3: D.Lgs. 155/2010, valori limite per il monossido di carbonio.

ESAME DEI DATI

I dati relativi al 2020 evidenziano concentrazioni medie annuali comprese fra 0,4 e 1 mg/m³.

Viene confermato il rispetto del limite di protezione della salute umana di 10 mg/m³, calcolato come media mobile trascinata su otto ore (D.Lgs. 155/2010). Il valore massimo della media calcolata su 8 ore è di 2,9 mg/m³ e si attesta ben al di sotto del valore limite.

A partire dai primi anni '80 fino al 2008 le misurazioni di CO evidenziano 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 4) 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/m³. Negli ultimi tre anni le concentrazioni sono ulteriormente diminuite fino a raggiungere il valore di 1 mg/m³ nel 2020. Non si sono registrati negli ultimi 10 anni superamenti del valore limite per la protezione della salute umana.

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

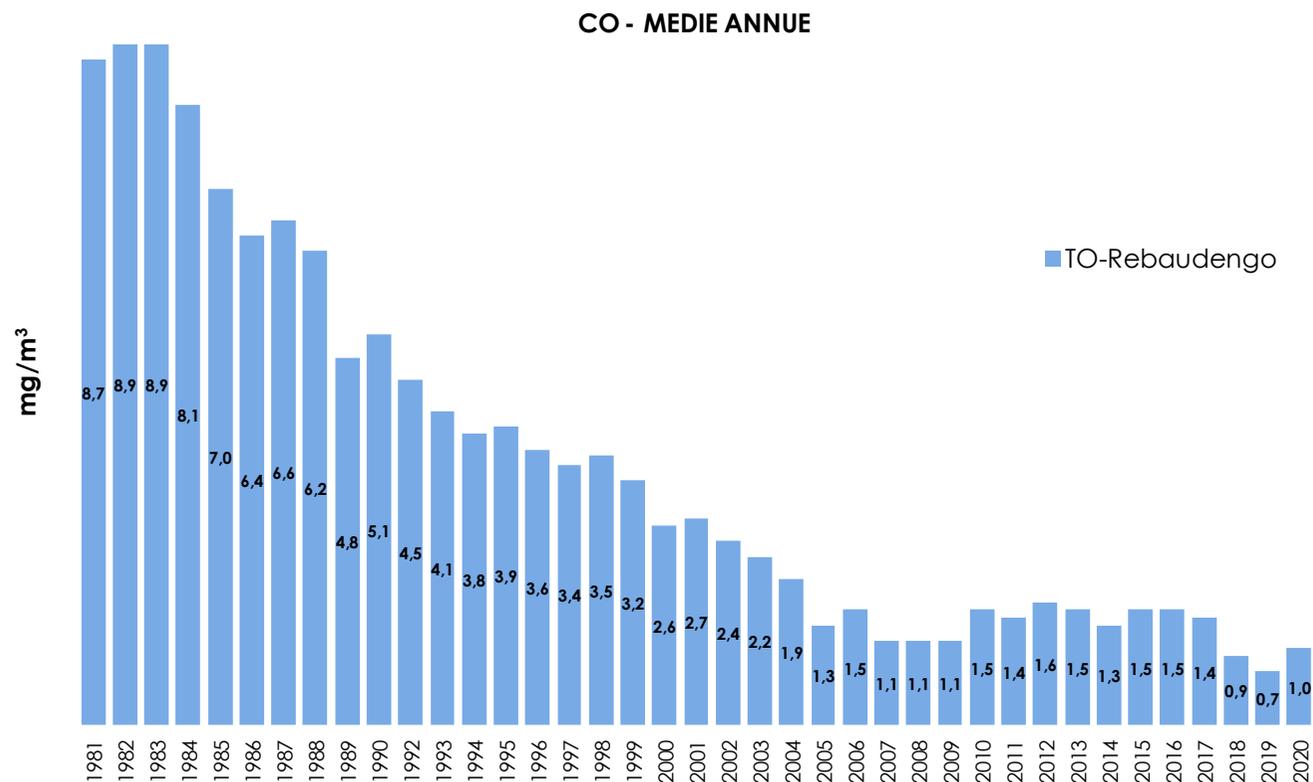


FIGURA 3: parametro CO, concentrazioni medie annuali rilevate presso la stazione di To-Rebaudengo dal 1981 al 2020.

| STAZIONE | Rendimento strumentale 2020 (% dati validi) | Media Annuale mg/m³ | | | | | | | | | | Valore limite Numero di giorni con la media massima calcolata su 8 ore superiore a 10 mg/m³ | | | | | | | | | | Valore massimo delle medie calcolate su 8 ore mg/m³ | | | | | | | | | |
|---------------|---|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| | | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | '19 | '20 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | '19 | '20 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | '19 | '20 |
| Baldissero | 91% | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,4 | 1,3 | 1,1 | 1 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1,0 | 1,2 | 0,9 |
| Leini | 96% | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,4 | 2,5 | 2,3 | 2,1 | 2 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 2,1 | 1,6 |
| Oulx | 91% | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5* | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0* | 0 | 1,7 | 1,7 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,5 | 2,3 | 1,5 | 1,8* | 1,3 |
| To-Consolata | 95% | 1,3 | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | 0,7 | 0,5* | 0,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0* | 0 | 5,1 | 4,4 | 3 | 3,4 | 3,8 | 3,3 | 4,5 | 2,9 | 2,8* | 2,9 |
| To-Rebaudengo | 96% | 1,4 | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 1,5 | 1,5 | 1,4 | 0,9 | 0,7 | 1,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,8 | 4,4 | 4 | 3,2 | 3,1 | 3,6 | 4,0 | 2,4 | 2,1 | 2,5 |

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

TABELLA 4: 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 (N₂O, NO, NO₂ 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 (NO₂) 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 NO₂ e NO_x sono riportati nella TABELLA 5.

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

TABELLA 5: D.Lgs. 13 agosto 2010, n. 155, valori limite per gli ossidi di azoto.

ESAME DEI DATI

I dati misurati nel corso del 2020 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 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 1991-2020, 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 NO₂ che però sembrava essersi arrestata nel corso degli ultimi anni con concentrazioni medie annue che oscillano intorno al valore di 70 µg/m³ nella stazione di traffico e in prossimità del valore limite (40 µg/m³) nella stazione di fondo. Il 2018 e il 2019 e ancor di più il 2020 presentano invece un significativo miglioramento sia

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

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

nella stazione di traffico sia, anche se in misura minore, nella stazione di fondo rispetto al decennio precedente 2008-2017.

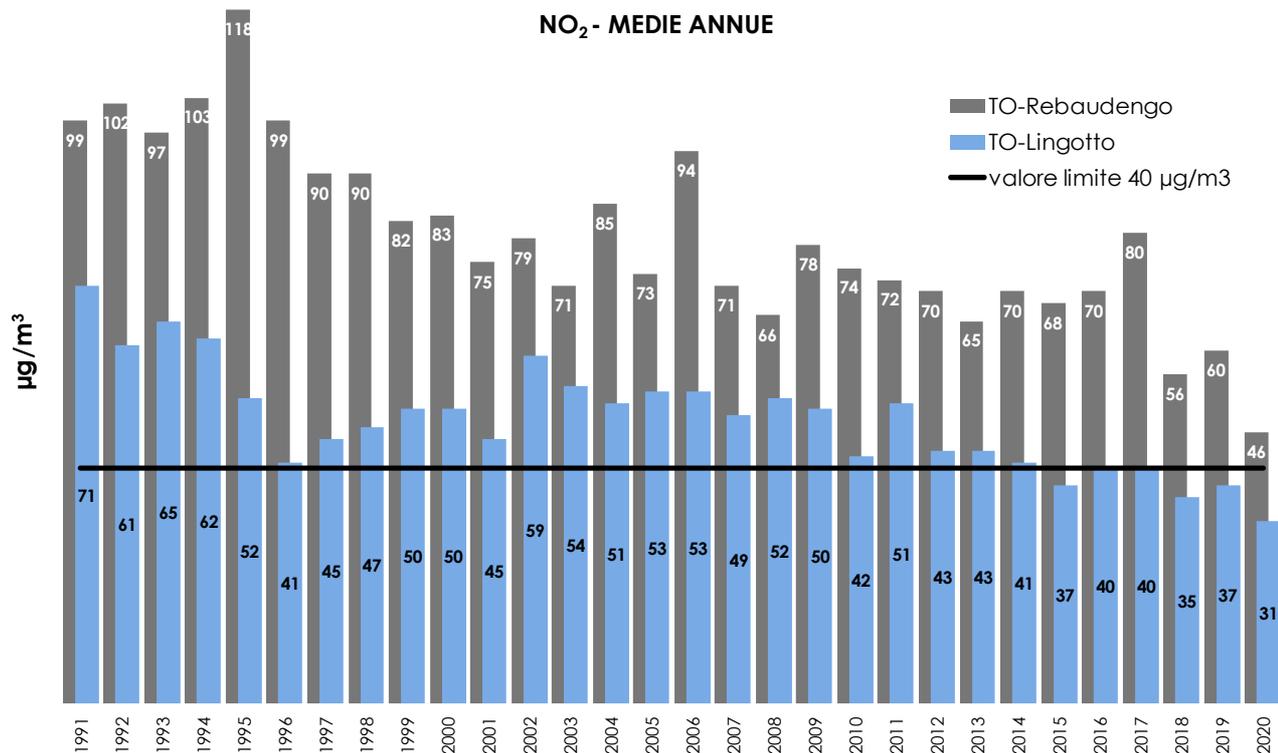


FIGURA 4: parametro NO₂, andamento storico delle medie annuali, stazioni di To-Lingotto e To-Rebaudengo.

Questo accentuato miglioramento, riscontrabile anche negli altri punti di misura del territorio metropolitano (TABELLA 6), 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. 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 negli ultimi 10 anni in relazione all'indicatore "numero di giorni favorevoli all'accumulo degli inquinanti". Si osserva che, rispetto ad anni con criticità dispersiva paragonabile, le concentrazioni medie annue rilevate nel 2020 sono inferiori di circa il 30% proprio grazie alla riduzione del traffico.

In generale il decremento del NO₂ non è equivalente a quello registrato per altri inquinanti quali, CO, benzene, piombo e in misura minore PM10, per i quali la riduzione è stata molto più consistente. La diffusione dei veicoli diesel e i problemi emissivi di questa motorizzazione, che non è stata in grado di rispettare gli standard di omologazione nelle condizioni di guida reali, è sicuramente la causa principale del perdurare della situazione di criticità di questo inquinante. I dati "anomali" rilevati nel 2020 confermano che la strada per ottenere il rispetto dei valori limite non può prescindere da una necessaria limitazione delle emissioni dovute al traffico veicolare.

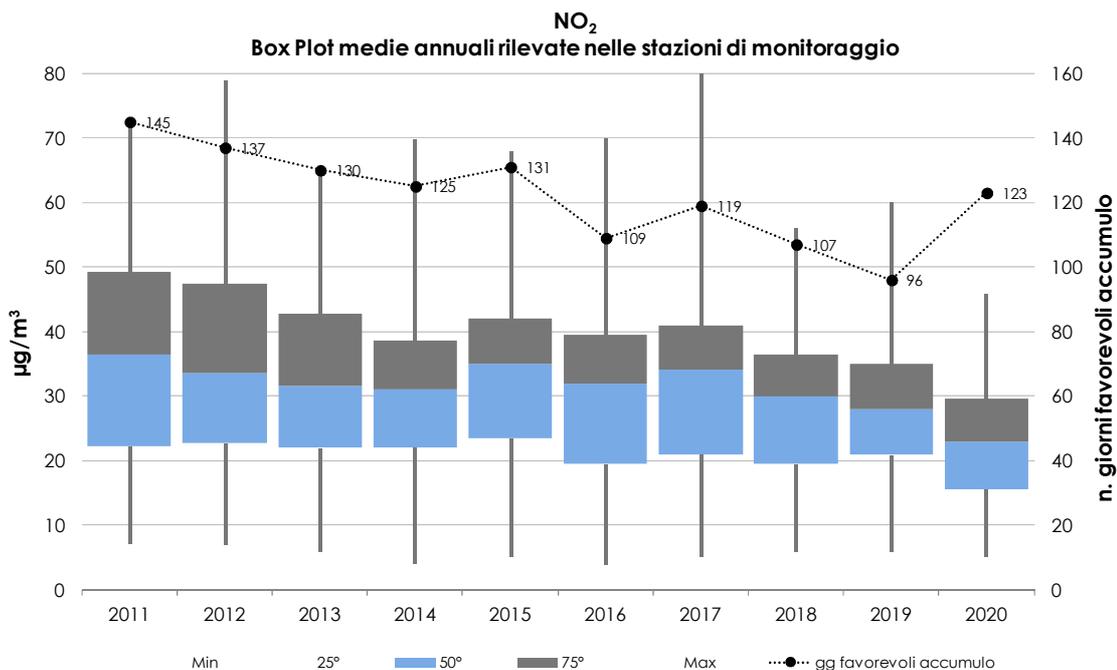


FIGURA 5: distribuzione medie annuali rilevate nelle stazioni di rilevamento.

Quello che inoltre si osserva nel grafico in FIGURA 4 è una significativa differenza fra le concentrazioni medie annue misurate all'interno della città capoluogo, che di fatto possono quasi raddoppiare fra quanto misurato in un parco urbano e quanto misurato in prossimità di una strada molto trafficata. Per fornire una rappresentazione più approfondita di questa variabilità nelle figure successive (FIGURA 6, FIGURA 7 e FIGURA 8) si riportano gli andamenti storici dei valori massimi, minimi e medi misurati rispettivamente in tutte le stazioni operanti nella città metropolitana di Torino, in quelle dell'agglomerato urbano (Torino e prima cintura), e in quelle esterne all'area urbana torinese.

La variabilità sul territorio provinciale è assolutamente evidente con concentrazioni medie annue che nel 2020 oscillano fra il valore minimo di 6 µg/m³ e il valore massimo di 46 µg/m³. La stessa tipologia di grafico suddivisa fra stazioni dell'agglomerato urbano e stazioni esterne ci consegna una rappresentazione molto diversa, un agglomerato con valori alti e mediamente prossimi o al di sopra del valore limite di 40 µg/m³ e un'area esterna che, con poche eccezioni riconducibili a siti di traffico intenso, rispetta invece i limiti normativi negli ultimi 10 anni.

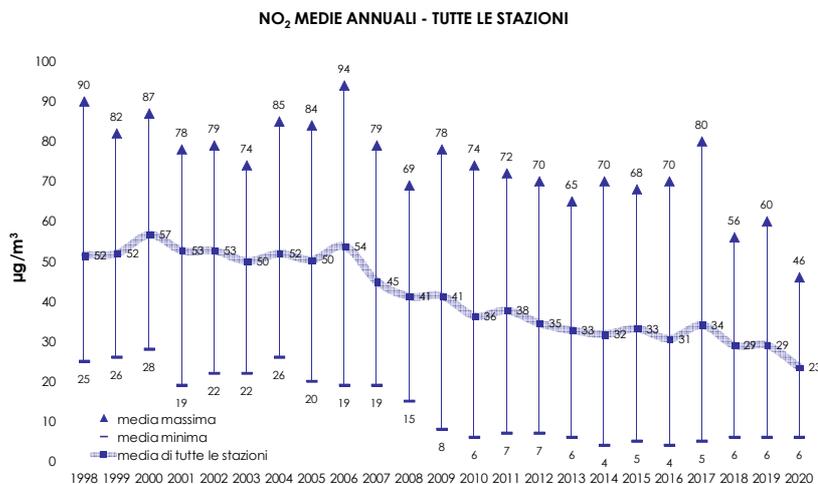


FIGURA 6: parametro NO₂, andamento storico dei valori massimi, minimi e medi di tutte le stazioni operanti nella città metropolitana di Torino.

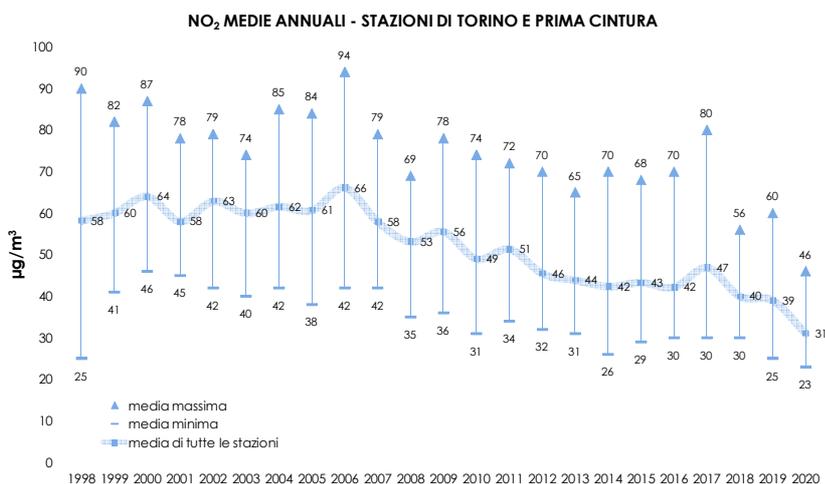


FIGURA 7: parametro NO₂, andamento storico dei valori massimi, minimi e medi di tutte le stazioni operanti nella città di Torino e nella prima Cintura.

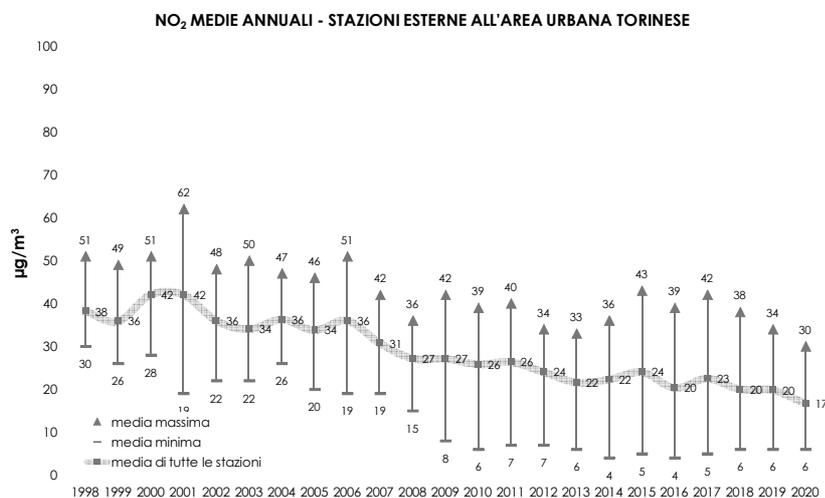


FIGURA 8: parametro NO₂, andamento storico dei valori massimi, minimi e medi di tutte le stazioni esterne all'area urbana Torinese.

Un'ulteriore ripartizione fra stazioni di traffico FIGURA 9 e stazioni di fondo FIGURA 10 del capoluogo evidenzia in modo ancora più chiaro la situazione. Le aree direttamente interessate da traffico veicolare sono stabilmente posizionate al di sopra del valore limite, le aree residenziali e di fondo presentano valori molto omogenei e con medie ovunque inferiori al valore limite negli ultimi anni. Quest'ultimo aspetto evidenzia che l'inquinamento da biossido di azoto è intenso nelle aree prossime alle maggiori arterie viarie con elementi di forte criticità all'interno della conurbazione torinese. In relazione all'elevato numero di popolazione esposta è pertanto necessario che le misure di risanamento previste dalla pianificazione nazionale e regionale, in particolare la limitazione della circolazione dei veicoli più inquinanti e l'installazione di generatori di calore a basse emissioni, siano adottate tempestivamente e in modo omogeneo e diffuso su tutta l'area urbana torinese.

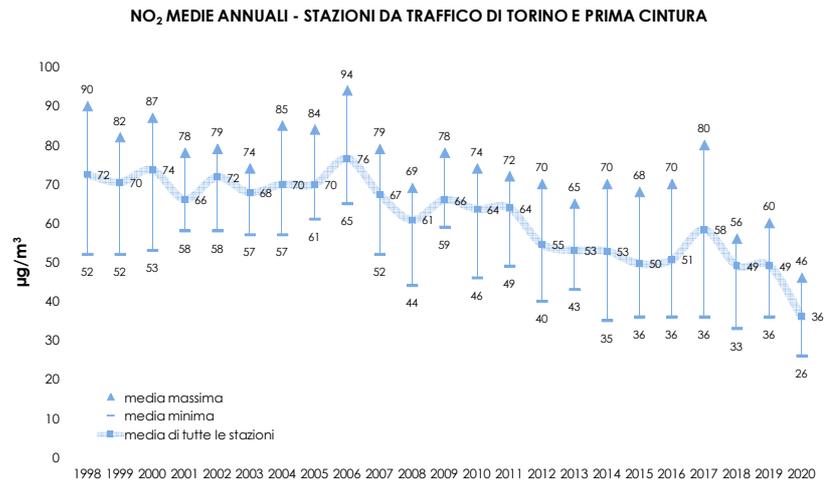


FIGURA 9: parametro NO₂, andamento storico dei valori massimi, minimi e medi di tutte le di traffico della conurbazione torinese.

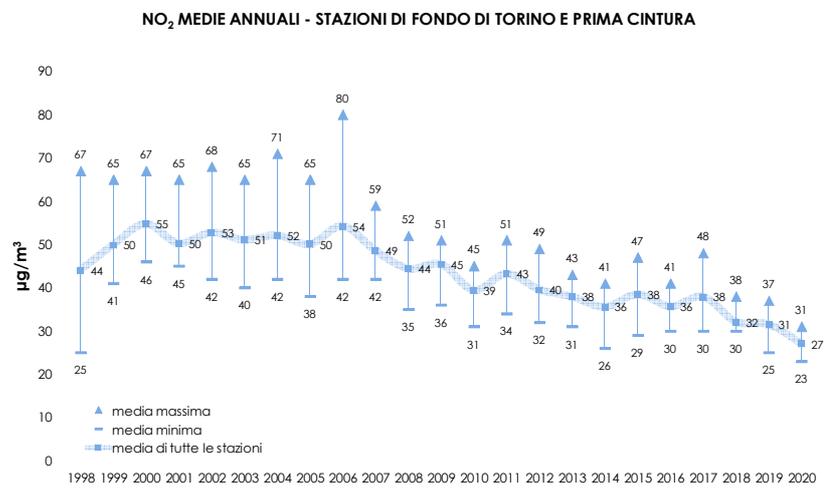


FIGURA 10: parametro NO₂, andamento storico dei valori massimi, minimi e medi di tutte le di traffico della conurbazione torinese.

| STAZIONE | Rendimento strumentale 2020 (% dati validi) | Valore limite annuale per la protezione della salute umana (40 µg/m³) Media Annuale (µg/m³) | | | | | | | | | | Valore limite orario per la protezione della salute Numero di superamenti del valore di 200 µg/m³ come media oraria | | | | | | | | | |
|-----------------|---|--|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|--|-----------|------|------|------|------|------|------|----------|----------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| | | Baldissero | 92% | 20 | 16 | 12 | 14 | 14 | 12 | 15 | 11 | 15 | 11 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Beinasco TRM(6) | 97% | | | 41 | 38 | 47 | 41 | 48 | 38 | 31 | 26 | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | |
| Borgaro | 91% | 34 | 32 | 31 | 26 | 29 | 30 | 30 | 30 | 25 | 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Carmagnola | 98% | | 79 | | 36 | 38 | 39 | 42 | 38 | 34 | 30 | | 7 | | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ceresole reale | 93% | 7 | 7 | 6 | 4 | 5 | 4 | 5 | 6 | 6 | 6 | 0* | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Chieri(1) | 98% | 39 | 33 | 28 | 23 | 25 | 19 | 23 | 20 | 21 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Collegno | 99% | | 40* | 44 | 47 | 36 | 46 | 58 | 53 | 46 | 30 | | 0* | 5 | 0 | 0 | 4 | 6 | 0 | 0 | 3 |
| Druento | 90% | 18 | 18 | 12 | 14 | 16 | 11 | 12 | 12 | 11 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ivrea | 99% | 29 | 25 | 25 | 24 | 26 | 23 | 25 | 22 | 24 | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Leini | 96% | 30 | 28 | 33 | 31 | 31 | 24 | 32 | 25 | 23 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Orbassano | 100% | 39 | 35 | 32 | 32 | 35 | 32 | 34 | 30 | 31 | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Oulx | 100% | 20 | 21 | 21 | 21 | 20 | 18 | 17 | 19 | 21 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Settimo | 98% | 49 | 49* | 43 | 35 | 41 | 36 | 36 | 33 | 36 | 26 | 3* | 12* | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Susa | 100% | 23 | 22 | 19 | 20 | 22 | 20 | 19 | 16 | 15 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| To-Consolata | 95% | 65 | 59 | 60 | 59 | 53 | 50 | 59 | 52 | 53 | 42 | 5 | 3 | 5 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| To-Lingotto | 95% | 51 | 43* | 43 | 41 | 37 | 40 | 40 | 35 | 37 | 31 | 4 | 0* | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| To-Rebaudengo | 96% | 72 | 70 | 65 | 70* | 68 | 70 | 80 | 56 | 60* | 46 | 10 | 13 | 31 | 0* | 21 | 28 | 25 | 1 | 11* | 0 |
| To-Rubino | 99% | 50 | 49 | 42 | 39 | 44 | 35 | 37* | 31 | 33 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0* | 0 | 0 | 0 |
| Vinovo | 90% | 40 | 34 | 31 | 30 | 43 | 33 | 35 | 26* | 28 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0* | 0 | 0 | 0 |

(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 6: dati relativi alle stazioni di monitoraggio che rilevano il biossido di azoto.

BIOSSIDO DI ZOLFO

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

A. Bertello, Città metropolitana di Torino.

DESCRIZIONE

Il biossido di zolfo (SO_2) è il naturale prodotto di ossidazione dello zolfo e dei composti che lo contengono allo stato ridotto. È un gas incolore, di odore pungente ed è molto irritante per gli occhi, la gola e le vie respiratorie; per inalazione può causare edema polmonare ed una prolungata esposizione può portare alla morte.

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

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

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

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 7.

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

TABELLA 7: D.Lgs. 155/2010, valori limite per il biossido di zolfo.

ESAME DEI DATI

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

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

Il livello critico per la protezione degli ecosistemi, 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ calcolato come valore medio nei mesi freddi dell'anno, è ampiamente rispettato anche nelle stazioni che sono posizionate in siti di traffico urbano.

Si può affermare che il parametro SO_2 non rappresenti più una criticità per il territorio della città metropolitana di Torino, 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 PM_{10} . Per tale ragione occorre continuare a garantire un adeguato monitoraggio delle concentrazioni di SO_2 e mantenere in vigore le misure che ne hanno ridotto la presenza in atmosfera.

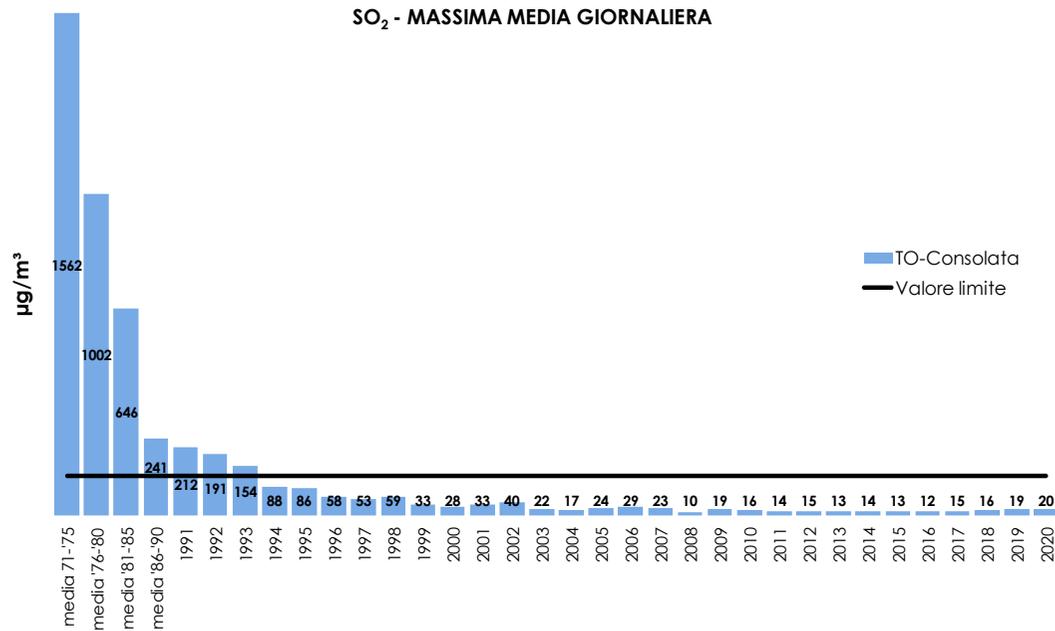


FIGURA 11: parametro SO₂, massima media giornaliera su base annuale rilevata nella stazione di To-Consolata.

| STAZIONE | Rendimento strumentale 2020 (% dati validi) | Media Annuale µg/m ³ | | | | | | | | | | Valore limite orario per la protezione della salute umana 350 µg/m ³ 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 ³ da non superare più di 3 volte nell'anno civile Numero di superamenti | | | | | | | | | |
|---------------|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|
| | | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | '19 | '20 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | '19 | '20 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | '19 | '20 |
| To-Consolata | 96% | 6 | 6 | 6 | 7 | 7 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| To-Rebaudengo | 91% | 7 | 7 | 6 | 7 | 6 | 7 | 8 | 11 | 11 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| STAZIONE | Rendimento Strumentale 2020 (% dati validi) | Valore limite per la protezione degli ecosistemi 20 µg/m ³ Media calcolata sul periodo di riferimento 1 gen - 31 mar e 1 ott - 31 dic | | | | | | | | | | Soglia di allarme 500 µg/m ³ Numero di superamenti | | | | | | | | | | Massimo orario µg/m ³ | | | | | | | | | |
| | | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | '19 | '20 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | '19 | '20 | '11 | '12 | '13 | '14 | '15 | '16 | '17 | '18 | '19 | '20 |
| To-Consolata | 96% | 10 | 7 | 7 | 9 | 7 | 7 | 9 | 9 | 9 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 19 | 23 | 15 | 19 | 19 | 19 | 21 | 23 | 26 | 27 |
| To-Rebaudengo | 91% | 14 | 9 | 7 | 9 | 5 | 8 | 10 | 13 | 12 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 | 33 | 26 | 24 | 17 | 25 | 39 | 21 | 21 | 22 |

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

TABELLA 8: 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 ³ da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni (b) | Il raggiungimento del valore obiettivo è valutato nel 2013, con riferimento al triennio 2010-2012. |
| VALORE OBIETTIVO PER LA PROTEZIONE DELLA VEGETAZIONE | | |
| Periodo di mediazione | Valore obiettivo (293°K e 101,3 kPa) | Data di entrata in vigore del valore obiettivo |
| AOT 40(c), calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio | 18000 µg/m ³ ·h come media su 5 anni (b) | Il raggiungimento del valore obiettivo è valutato nel 2015, con riferimento al triennio 2010-2014. |
| OBIETTIVO A LUNGO TERMINE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA | | |
| Periodo di mediazione | Valore obiettivo (293°K e 101,3 kPa) | Data di entrata in vigore del valore obiettivo |
| Media massima giornaliera su 8 ore (a) | 120 µg/m ³ per anno civile | Non definita |
| OBIETTIVO A LUNGO TERMINE PER LA PROTEZIONE DELLA VEGETAZIONE | | |
| Periodo di mediazione | Valore obiettivo (293°K e 101,3 kPa) | Data di entrata in vigore del valore obiettivo |
| AOT 40(c), calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio | 6000 µg/m ³ ·h | Non definita |
| SOGLIA DI INFORMAZIONE | | |
| Periodo di mediazione | Valore soglia (293°K e 101,3 kPa) | Data di entrata in vigore del valore soglia |
| 1 ora | 180 µg/m ³ | 9 marzo 2002 |
| SOGLIA DI ALLARME | | |
| Periodo di mediazione | Valore soglia (293°K e 101,3 kPa) | Data di entrata in vigore del valore soglia |
| 1 ora (d) | 240 µg/m ³ | 9 marzo 2002 |
| <p>(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.</p> <p>(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:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 <p>(c) Per AOT40 (espresso in µg/m³·h) s'intende la somma della differenza fra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m³ (=40 ppb) e 80 µg/m³ in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari medi rilevati ogni giorno tra le 08:00 e 20:00, ora dell'Europa centrale.</p> <p>(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.</p> | | |

TABELLA 9: D. Lgs. 13/08/10 n. 155 – ozono - valori obiettivo, obiettivo a lungo termine, e soglie di informazione ed allarme.

L'ozono troposferico non ha sorgenti dirette, ma si forma all'interno di un ciclo di reazioni fotochimiche che coinvolgono composti, quali ossidi di azoto e composti organici volatili, immessi in atmosfera dalle attività umane.

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 nella UE e in Italia sono riportati nella TABELLA 9.

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'aria⁴ ha confermato per l'ozono il valore guida di 100 µg/m³, 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/m³. Nonostante 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. Certo, le linee guida non sono vincolanti legalmente, ma si spera siano destinate pesare sugli orientamenti di governi e autorità portando ad un adeguamento della normativa comunitaria e nazionale.

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 traffico⁵. 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 NO₂ – la cosiddetta “NO_x titration” – contribuisce a diminuire la concentrazione di ozono nei siti urbani influenzati dal traffico veicolare.

Il rapporto dell'EEA (European Environmental Agency - Agenzia Europea dell'Ambiente) uscito nel 2020⁶ - 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/m³ (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/m³, ben oltre il valore guida normativo.

In TABELLA 10 sono riportati i superamenti della soglia di informazione per l'ozono - concentrazione oraria di 180 µg/m³ - degli ultimi 10 anni di misure nell'area metropolitana torinese. Dall'analisi dei dati si rileva che il 2020 è stato l'anno con il minor numero di superamenti dell'ultimo decennio.

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

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

⁶ EEA Air quality in Europe – 2020 report, 59-70

Complessivamente nell'area della Città Metropolitana nel 2020 ci sono stati solo 34 superamenti del limite (nel 2019 erano stati 122), di cui 32 presso la stazione di misura di Druento. Nonostante il numero potrebbe risultare leggermente sottostimato a causa dell'insufficiente rendimento strumentale degli analizzatori di Borgaro e soprattutto di Druento, la diminuzione dei superamenti complessivi a partire almeno dal 2015 è evidente. Per le stazioni di misura di Borgaro e Druento gli indici statistici sono calcolati su un numero di dati validi inferiore al 90%, pertanto non sono pienamente rappresentativi dell'intero anno solare. I dati mancanti riguardano principalmente la primavera 2020 in corrispondenza del lockdown stretto di marzo-aprile quando a causa delle limitazioni imposte dall'emergenza sanitaria COVID-19 sono state sospese le attività di manutenzione strumentale su alcune stazioni di misura perché non raggiungibili.

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 2020 la soglia di allarme di 240 µg/m³ come media oraria su tre ore consecutive non è stata superata in nessuna stazione di rilevamento del territorio della città metropolitana di Torino, come già avvenuto nei sei anni precedenti (2014-2019). Viene confermato quindi il trend positivo in atto dal 2008.

| STAZIONE | Rendimento strumentale, 2020 (% dati validi) | Soglia di informazione 180 µg/m ³ come media oraria | | | | | | | | | |
|-------------|--|--|--------|------|------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | Numero di superamenti | | | | | | | | | |
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Baldissero | 92% | 4 | 12 | 16 | 14 | 26 | 1 | 3 | 0* | 3 | 0 |
| Borgaro | 74% | 0 | 2 | 0 | 2 | 32 | 15* | 6 | 2 | 5 | 0* |
| Ceresole | 93% | 4 | 5 | 6 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0* | 0 | 0 |
| Chieri | 93% | | 0 (1)* | 0 | 9* | 0 | 1 | 4* | 0* | 1 | 0 |
| Druento | 76% | 19 | 63 | 42 | 26 | 69 | 36 | 46 | 3 | 17 | 32* |
| Ivrea | 97% | 1 | 0 | 0* | 1 | 4 | 0 | 7 | 0 | 1 | 2 |
| Leini | 91% | 4 | 0 | 0 | 2 | 3 | 4 | 1 | 0* | 5 | 0 |
| Orbassano | 96% | 6 | 14 | 4 | 7 | 68 | 39 | 79 | 9 | 34 | 1 |
| Susa | 91% | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| To-Lingotto | 96% | 1 | 3 | 0* | 18 | 8 | 8 | 7 | 3* | 18 | 0 |
| To-Rubino | 94% | | | | 6 ⁽²⁾ | 3 | 12 | 6 | 4* | 29 | 0 |
| Vinovo | 91% | 5 | 0 | 0 | 4 | 1 | 4* | 12 | 9* | 8* | 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 10: 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 2020 è stato ancora un anno caldo, anche se non come i due precedenti. Si è trattato del sesto anno più caldo dal 1958, con un'anomalia termica complessiva di +1,1 °C rispetto alla climatologia del periodo di riferimento (1971-2000). L'anomalia termica ha interessato quasi tutto l'annata, ma in particolare i mesi invernali, febbraio 2020 è stato il più caldo di tutta la serie storica. Tra i mesi estivi, invece, l'anomalia positiva è stata piuttosto contenuta, soprattutto a giugno e luglio, quando nel 2019 si era concentrato il 70% dei superamenti del limite normativo di 120 µg/m³. Giugno 2020 in particolare, è stato il giugno più fresco del nuovo millennio.

L'ondata di caldo più importante dell'anno si è verificata tra il 31 luglio e il 1° agosto 2020. Con una temperatura massima provinciale di 38,9 °C. Tuttavia, nella Città Metropolitana di Torino il numero delle notti tropicali (temperatura minima > 20°C) e dei giorni estivi (temperatura massima > 30°C) è stato inferiore alla media del periodo di riferimento.

A differenza dei due anni precedenti, molto piovosi, le precipitazioni cumulate nel 2020 in Piemonte sono state inferiori di circa il 5% alla media del periodo 1970-2000, così come i giorni di pioggia nel territorio provinciale hanno subito una riduzione del 10% rispetto al numero medio del periodo di riferimento. Tuttavia, i mesi di giugno e agosto sono stati i più piovosi dell'anno con rispettivamente 224 mm e 183 mm di pioggia caduti nella stazione di misura di To-Consolata.

In ogni caso, considerando nel complesso il semestre caldo - al netto, cioè, delle differenze dei singoli mesi di cui si è già detto - il 2020 e il 2019 sono stati anni molto simili dal punto di vista degli indici meteorologici: 710 mm di pioggia cumulata nel 2019, 704 nel 2020; 20,8 °C di temperatura media nel 2019 e 20,9 °C nel 2020 (FIGURA 12).

In TABELLA 11 e in 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 nel 2020 non sono quasi mai rispettati.

**TEMPERATURA MEDIA E SOMMA DELLE PRECIPITAZIONI ATMOSFERICHE
(periodo aprile-settembre) ANNI 2010-2020**

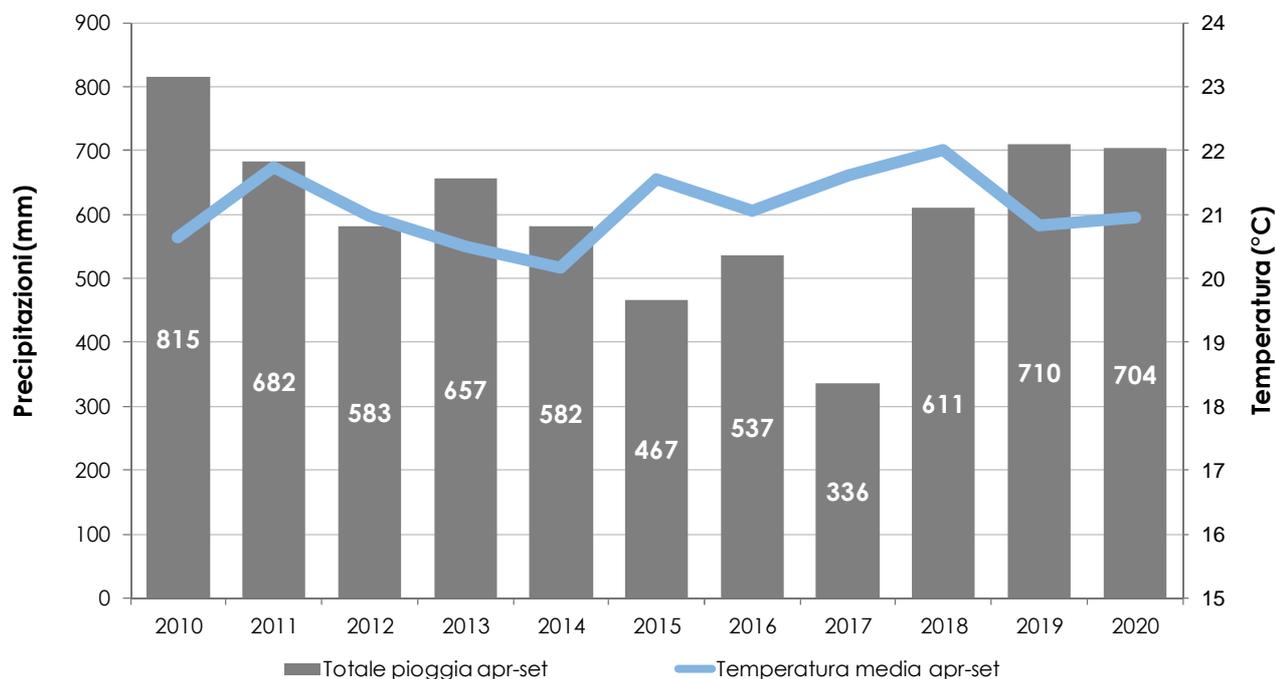


FIGURA 12: Temperatura media e somma delle precipitazioni atmosferiche, nel periodo aprile-settembre, anni 2010-2020, stazione di Torino – Consolata

| STAZIONE | Valore obiettivo per la protezione della salute umana | | | | | | | | | | MEDIA 2018-2020 (3) |
|-------------|--|-------------------|------|-------------------|------|------|------|------|------|------|---------------------|
| | Numero di giorni con la media massima, calcolata su 8 ore, superiore a 120 µg/m ³ | | | | | | | | | | |
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | |
| Baldissero | 94 | 74 | 88 | 51 | 62 | 60 | 72 | 61* | 67 | 46 | 58 |
| Borgaro | 46 | 41 | 27 | 10 | 71 | 51* | 40 | 39 | 31 | 34* | 35 |
| Ceresole | 70 | 77 | 58 | 26 | 57 | 40 | 38 | 10* | 24 | 21 | 23 |
| Chieri | | 53 ⁽¹⁾ | 36 | 41 | 73 | 52 | 56* | 58* | 42 | 5 | 35 |
| Druento | 93 | 87 | 72 | 21 | 59 | 59 | 54 | 49 | 41 | 56* | 49 |
| Ivrea | 39 | 42 | 31* | 19 | 61 | 24 | 48 | 44 | 33 | 37 | 38 |
| Leini | 70 | 37 | 34 | 8 | 39 | 45 | 34 | 23* | 40 | 28 | 34 |
| Orbassano | 60 | 65 | 66 | 34 | 74 | 78 | 83 | 76 | 59 | 70 | 68 |
| Susa | 36 | 45 | 38 | 5 | 20 | 46 | 56 | 31 | 23 | 22 | 25 |
| To-Lingotto | 30 | 45 | 39* | 43 | 57 | 44 | 38 | 47* | 61 | 40 | 49 |
| To-Rubino | | | | 18 ⁽²⁾ | 53 | 52 | 43 | 47* | 51 | 53 | 50 |
| Vinovo | 71 | 64 | 47 | 13 | 31 | 42* | 52 | 64* | 46* | 34 | 48 |

(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 11: ozono, confronto con i valori bersaglio per la protezione della salute umana.

Con l'esclusione di Ceresole Reale e Susa, 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 maggiori di 25. Trattandosi di superamenti e 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 dei giorni di superamento del valore obiettivo va dai 21 della stazione di Ceresole Reale ai 70 della stazione di Orbassano, con una media della città Metropolitana di Torino di 37 superamenti, superiori in numero a quelli ammessi dalla normativa, ma sensibilmente inferiori a quelli dei trienni: 2017-2019 (47 superamenti), 2016-2018 (49) e 2015-2017 (52). Nonostante il limite normativo non sia ancora rispettato nella maggior parte delle stazioni di misura, si conferma, comunque, una lieve, ma confortante tendenza alla diminuzione delle concentrazioni di ozono nel corso degli ultimi anni.

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 2020 solamente tre stazioni metropolitane, Ceresole Reale, Chieri e Susa, lo rispetterebbero. Dal grafico di FIGURA 13 spicca il dato di Orbassano - 70 giorni di superamento del limite di $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - e Druento - 56 superamenti, ma il numero è probabilmente sottostimato a causa della bassa percentuale di dati validi (76%). 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.

"soglia del valore obiettivo" ovvero superamenti annuali del valore obiettivo per la protezione della salute umana (numero di giorni con la media massima, calcolata su 8 ore, superiore a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) anno 2020

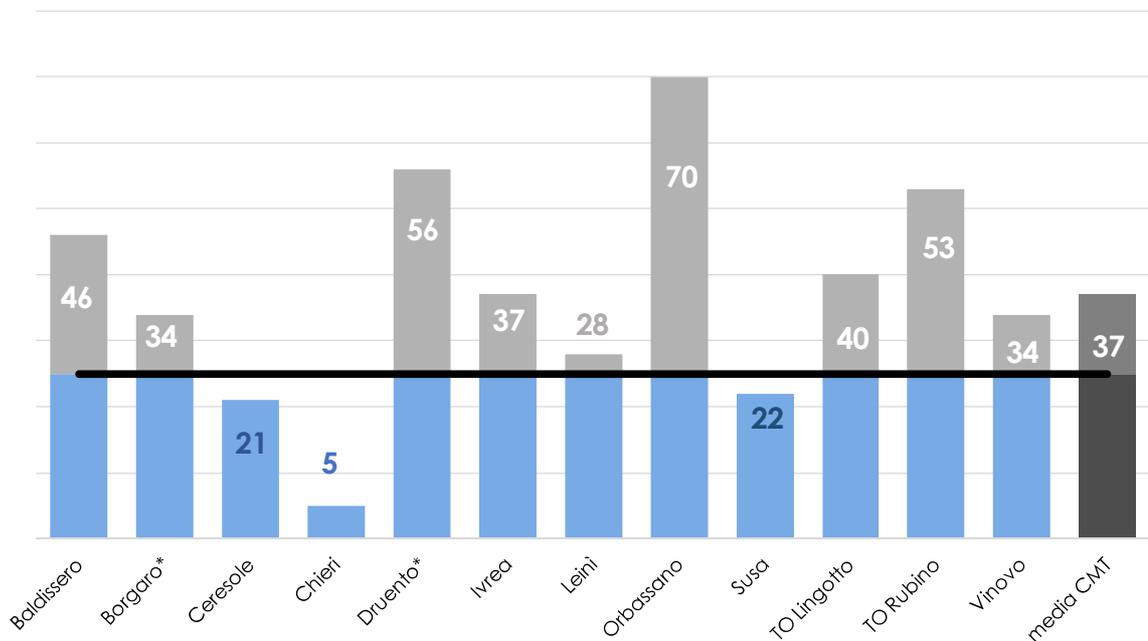


FIGURA 13: superamenti annuali del valore obiettivo di protezione della salute umana (CMT) – 2020

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 diminuisce rispetto al quinquennio 2015-2019 per tutte le stazioni considerate, circa 23000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$ per Ceresole Reale, 25000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$ per Druento e poco più di 28000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$ per Baldissero Torinese. 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 2020 è spesso il più basso registrato negli ultimi 10 anni di misurazioni per tutte e tre le stazioni di monitoraggio considerate. Il dato annuale della stazione di Druento - pari a 17039 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$, rispetta il valore bersaglio stabilito dalla normativa europea ed italiana di 18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$, ma non può essere considerato completamente rappresentativo a causa dell'insufficiente numero di dati validi sui quali è calcolato. In ogni caso, il valore bersaglio per la protezione della vegetazione rimane molto superiore all'obiettivo a lungo termine di 6000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$ fissato dalla legislazione europea nella direttiva 2008/50/CE.

| STAZIONE | DECRETO LEGISLATIVO n. 155/ del 13/08/2010 | | | | | | | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|---------------|-----------------|
| | Valore obiettivo per la protezione della vegetazione | | | | | | | | | | |
| | AOT 40 (18000 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{h}$) | | | | | | | | | | |
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | MEDIA 2016-2020 |
| Baldissero | 30317 | 30256 | 38576 | 28525 | 36285 | 23327 | 32186 | 24211* | 35254 | 22378 | 28286 |
| Druento | 31022 | 38098 | 32780 | 23341 | 36839 | 27031 | 33531 | 19952 | 21808 | 17039* | 25581 |
| Ceresole | 27976 | 35311 | 30089 | 23159 | 32688 | 23285 | 25714 | 15148* | 23358 | 21016 | 23343 |
| * la percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal DLgs 155/2010 (90%) | | | | | | | | | | | |

TABELLA 12: ozono, confronto degli ultimi 5 anni con i valori bersaglio per la protezione della vegetazione.

In FIGURA 14 è riportata, per l'anno 2020, la distribuzione mensile dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per tre stazioni: To-Lingotto, rappresentativa del fondo urbano metropolitano; Baldissero Torinese e Ceresole Reale, poste più in quota e rappresentative del fondo rurale. Dal grafico è ben evidente l'influenza della temperatura e quindi della radiazione solare sulla formazione di ozono troposferico. Per tutte le stazioni, infatti, il numero di giorni di superamenti del limite di 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mediato su 8 ore segue l'andamento della temperatura media mensile registrata nella stazione di Torino-Consolata. I primi superamenti del limite compaiono già a marzo per la stazione di Baldissero, i massimi per tutte le stazioni si registrano nel mese di agosto, il più caldo del 2020 e uno dei più caldi della serie storica dal 1958.

È possibile notare come sia il numero di superamenti del valore obiettivo sia il valore medio di temperatura subiscano una lieve flessione nel mese di giugno, che, come precedentemente detto, è stato caratterizzato da un'importante anomalia pluviometrica positiva (+36%), rendendo di fatto il clima più sfavorevole alla formazione di ozono troposferico. A differenza dei precedenti 3 anni di misurazioni, infine, nel 2020 si registrano ancora diversi superamenti del valore obiettivo nel mese di settembre (8 a Baldissero Torinese e 6 a To-Lingotto), caratterizzato da giorni estremamente miti (media mensile della temperatura di +1,4° C rispetto alla media 1971-2000).

Veniamo infine alla serie storica delle concentrazioni medie di ozono durante il semestre caldo (aprile-settembre) per le stazioni di Torino-Lingotto, Baldissero Torinese e Ceresole Reale. Nel grafico di FIGURA 15 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 da quando sono iniziate le misurazioni. Baldissero Torinese passa da 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nel 1995 a 94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nel 2020; le concentrazioni medie di Ceresole Reale sono diminuite da 102 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nel 2010 a 86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ nel 2020. Per entrambe le stazioni il decremento fin qui registrato è stato del 14,5%. 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 14 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 2020, ma addirittura aumentano leggermente, passando da 67 a 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (+7,5%). 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 NOx, 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.

O₃ - 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/m³) - anno 2020

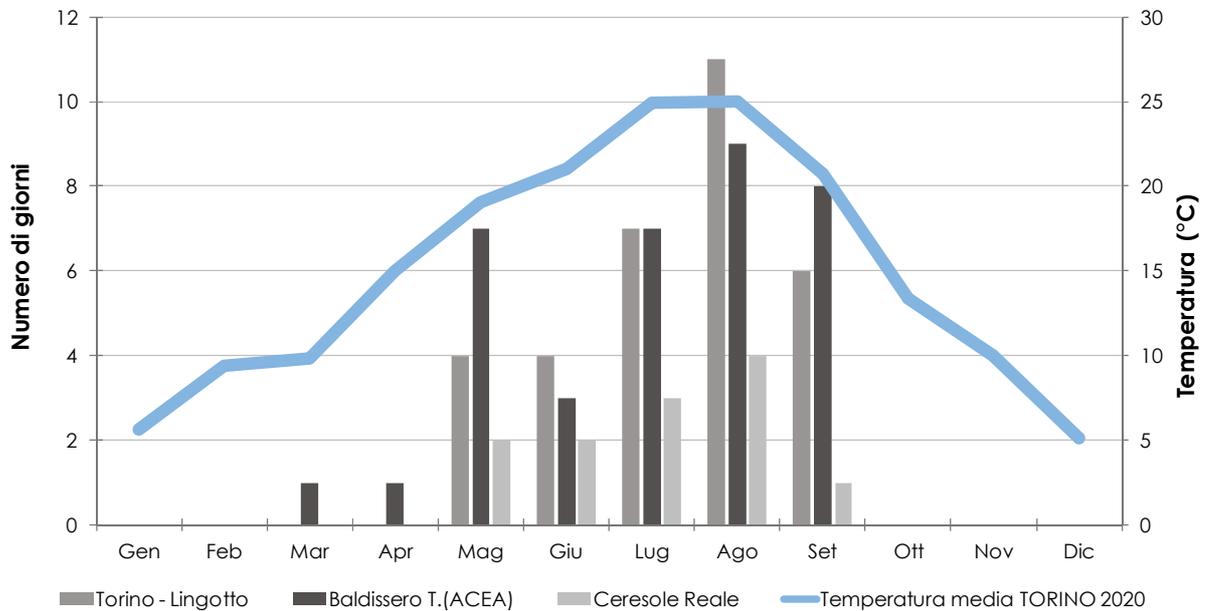


FIGURA 14: Ozono - distribuzione temporale dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per le stazioni di Torino-Lingotto, Baldissero Torinese e Ceresole, anno 2020

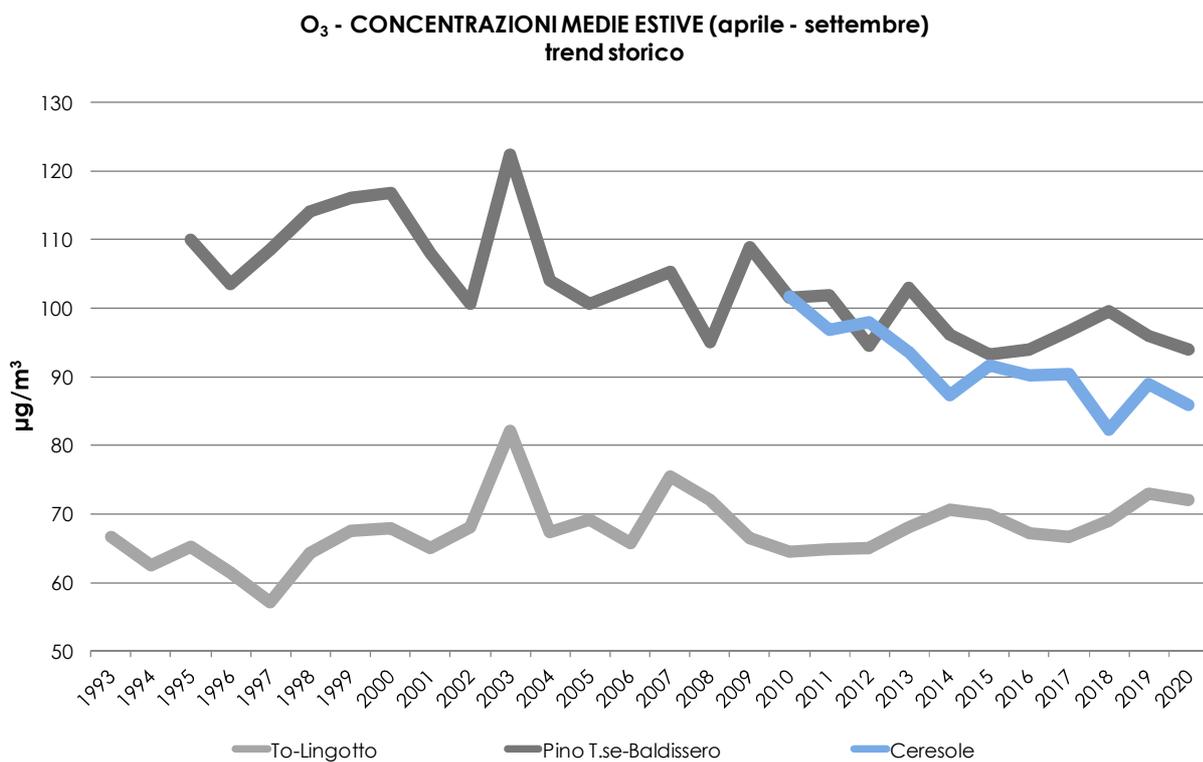


FIGURA 15: ozono, medie di concentrazione nel periodo aprile-settembre dal 1993 al 2020

BENZENE

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

A. Bertello, Città metropolitana di Torino.

DESCRIZIONE

Il benzene (C₆H₆) è un composto chimico che a temperatura ambiente e pressione atmosferica si presenta allo stato liquido.

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

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

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

Il benzene è una sostanza classificata:

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

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

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

Stime dell'Organizzazione Mondiale della Sanità indicano che, a fronte di un'esposizione a 1 µg/m³ di benzene per l'intera vita, quattro persone ogni milione sono sottoposte al rischio di contrarre la leucemia.

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

TABELLA 13: D.lgs. 155/2010, valori limite per il benzene.

ESAME DEI DATI

La FIGURA 16 mostra i valori medi annui di Benzene misurati nella stazione di To-Consolata a partire dal 1996. Dal 2004 in poi il valore limite (pari a 5 µg/m³ 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 14 evidenzia che le medie annuali misurate nel 2020 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 2020 conferma la significativa riduzione delle concentrazioni osservata nell'ultimo triennio in tutti i siti di monitoraggio. Tutte le misure sembrano assestarsi su un valore di fondo pari a circa 1 µg/m³ di media annuale. Solo il sito di traffico di To-Rebaudengo presenta una concentrazione media annuale lievemente più alta, pari a 1,6 µg/m³. I dati misurati confermano che il parametro benzene è efficacemente sotto controllo.

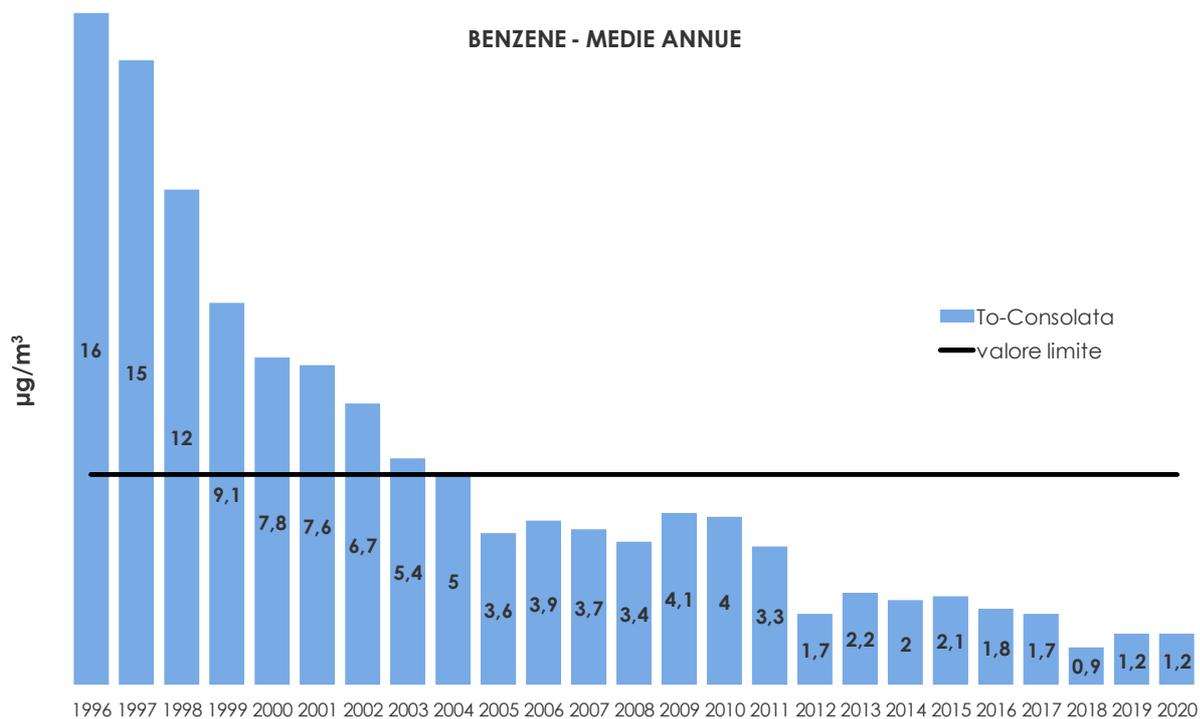


FIGURA 16: concentrazioni medie annue di benzene rilevate negli anni 1996-2018.

| STAZIONE | Rendimento strumentale. 2020 (% dati validi) | VALORE MEDIO ANNUO | | | | | | | | | |
|----------------|--|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | Valore limite annuale: 5 µg/m³ | | | | | | | | | |
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Beinasco (TRM) | 92% | | | 2,2* | 2,1* | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1 | 1* | 1 |
| Borgaro T.se | 73% | | | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 1,2 | 1,3 | 1,1 | 1 | 1,2* |
| Settimo T.se | 95% | | | 2,0 | 2,1 | 2,3 | 2,1* | 1,6* | 0,9 | 1,1 | 1,2 |
| To-Consolata | 72% | 3,3 | 1,7 | 2,2 | 2,0 | 2,1 | 1,8 | 1,7 | 0,9 | 1,2* | 1,2* |
| To-Lingotto | 62% | | 1,3 | 1,2* | 1,0 | 1,1* | 1,1* | 1,1* | 1* | 0,9* | 0,8* |
| To-Rebaudengo | 90% | | 2,0 | 2,0 | 2,4* | 2,6 | 2,1 | 2,3 | 1,5 | 1,8* | 1,6 |
| To-Rubino | 95% | 2,7 | 2,6 | 2,5 | 2,2 | 2,1* | 1,6 | 1,3 | 1,1 | 1 | 1 |
| Vinovo | 94% | | 1,2 | 1,7* | 1,2* | 1,6 | 1,4 | 1,5 | 1,1 | 1 | 1,1 |

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

TABELLA 14: 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 15.

| PM10 VALORE LIMITE | | |
|---|--|--|
| Periodo di mediazione | Valore limite (condizioni di campionamento) | Data di entrata in vigore del valore limite |
| 24 ore | 50 µg/m ³ PM10 non superare più di 35 volte per anno civile | 1 gennaio 2005 |
| Anno civile | 40 µg/m ³ PM10 | 1 gennaio 2005 |
| PM2,5 FASE 1 ⁷ - VALORE LIMITE | | |
| Periodo di mediazione | Valore limite (condizioni di campionamento) | Data di entrata in vigore del valore limite |
| Anno civile | 25 µg/m ³ PM2,5 | 1 gennaio 2015 |

TABELLA 15: 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 2020 mostrano un lieve aumento nelle medie annuali rispetto all'anno precedente, mentre per quanto riguarda il numero di superamenti del valore limite di 24 ore, questo incremento è stato molto più deciso.

Nel modulare le concentrazioni del particolato atmosferico la meteorologia gioca un ruolo fondamentale ed il 2020, a differenza dei due anni precedenti, è stato caratterizzato da una meteorologia sfavorevole alla dispersione atmosferica degli inquinanti. Questo ha determinato un incremento delle concentrazioni, nonostante la diminuzione delle emissioni nei settori traffico e industria durante i periodi di lockdown e le misure di contenimento del contagio da coronavirus Sars-CoV-2 (si veda l'approfondimento nel capitolo "Impatto sulla qualità dell'aria dei provvedimenti legati all'emergenza Covid-19"). Dal punto di vista climatico l'anno 2020 in Piemonte è stato il 6° più caldo degli ultimi 63 anni, con un'anomalia termica media attorno a +1,1 °C rispetto alla climatologia del periodo 1971-2000. L'apporto delle precipitazioni totali annue è

⁷ Il Decreto Legislativo 155/2010, che ha sostituito il DM 60/2002, ha poi previsto una fase 2 per il PM2,5, da raggiungere entro il 2020, con un valore limite più restrittivo che sarà stabilito con successivo decreto, tenuto conto del valore indicativo di 20 µg/m³ e delle verifiche effettuate dalla Commissione Europea alla luce di ulteriori informazioni circa le conseguenze sulla salute e sull'ambiente, la fattibilità tecnica e l'esperienza circa il perseguimento del valore obiettivo negli Stati membri.

stato pari a 936,1 mm, con un deficit di 50 mm (pari al 5%) portando il 2020 ad essere il 24° anno meno piovoso a partire dal 1958.⁸

Il numero di occorrenze di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 nel 2020 è stato pari a 123 giorni (FIGURA 120), valore più elevato degli ultimi 5 anni. L'andamento mensile dell'indice (FIGURA 121) evidenzia che i mesi gennaio e novembre presentano una criticità accentuata, i mesi di febbraio marzo e ottobre si attestano su valori medi mentre il solo mese di dicembre si colloca sui valori inferiori della distribuzione del periodo 2006-2019.

In FIGURA 17 si osserva che il valore limite annuale (40 µg/m³) è stato rispettato in tutte le stazioni del territorio della città metropolitana, tranne che nella stazione di To-Grassi, ma occorre sottolineare che tale stazione ha presentato una bassa percentuale di dati validi, tanto da non raggiungere la percentuale minima di legge su base annuale, nei mesi da maggio ad agosto, che sono caratterizzati da valori di concentrazione particolarmente bassi. Questo aspetto non modifica il numero di superamenti ma ha prodotto certamente una sovrastima della media annuale.

Considerando l'insieme delle stazioni metropolitane esistenti e con dati validi in entrambi gli anni 2019-2020, si osserva un incremento delle concentrazioni medie del 10% rispetto al 2019.

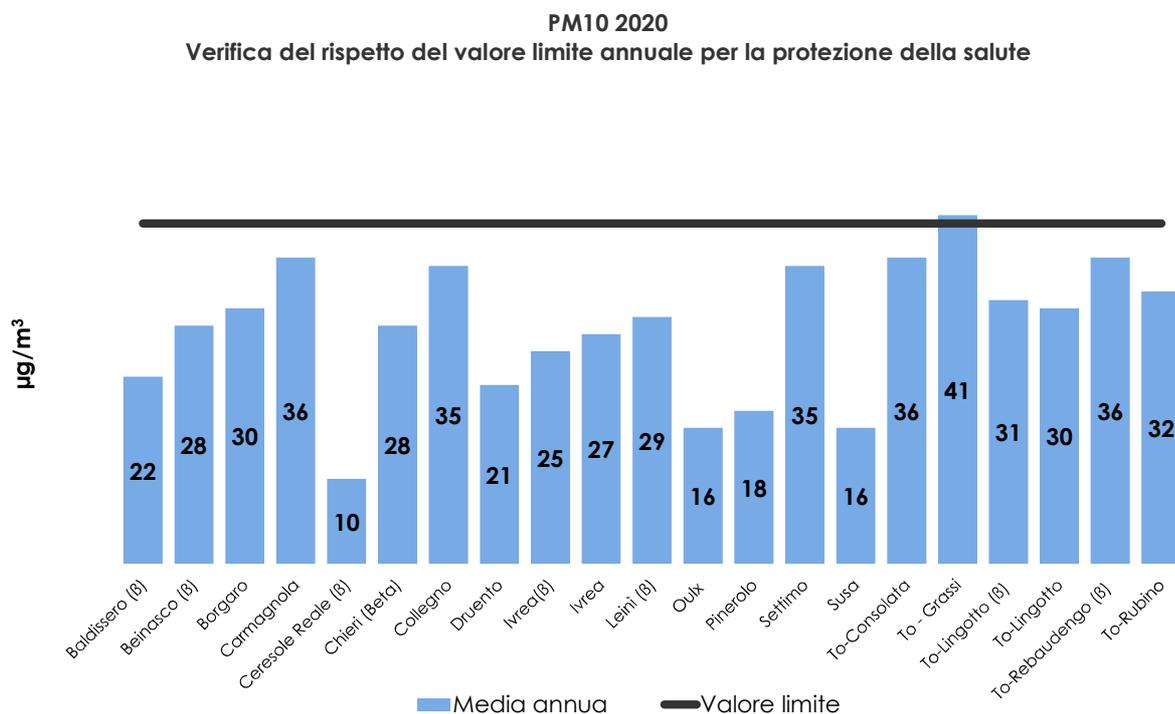


FIGURA 17: valore medio annuale misurato presso le stazioni di monitoraggio metropolitane.

In FIGURA 18 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 2020 i mesi più critici sono stati i molto siccitosi gennaio, febbraio e novembre. Da aprile a settembre prevalgono condizioni di instabilità atmosferica favorevoli alla dispersione degli inquinanti, pertanto anche nelle stazioni più critiche i valori medi mensili risultano nell'intorno dei 20 µg/m³.

Il Decreto Legislativo 155/2010 stabilisce anche un limite giornaliero (50 µg/m³) e un numero massimo di superamenti di tale valore nel corso dell'anno, pari a 35. Tale limite risulta più stringente di quello annuale⁹ e pertanto nella maggior parte delle stazioni non è rispettato (FIGURA 19). Il numero maggiore di superamenti del limite giornaliero si è verificato a To-Grassi ed è stato pari a 98, seguita da To-Rebaudengo con 88 superamenti, entrambe stazioni di traffico, ma anche nelle stazioni di fondo urbano di To-Lingotto e To-Rubino la situazione si mostra critica con rispettivamente 72 e 66 superamenti.

⁸ Arpa Piemonte Sistemi Previsionali, Il clima in Piemonte - Anno 2020

⁹ Si veda il capitolo Analisi del rapporto di correlazione fra media annuale e numero di superamenti del valore limite per il particolato pm10 – la situazione nella città metropolitana di torino nel quadro europeo, Uno sguardo all'aria 2014

Al di fuori della città di Torino le stazioni più critiche sono quelle di Collegno (85 superamenti), Settimo Torinese (83 superamenti) e Carmagnola (81 superamenti).

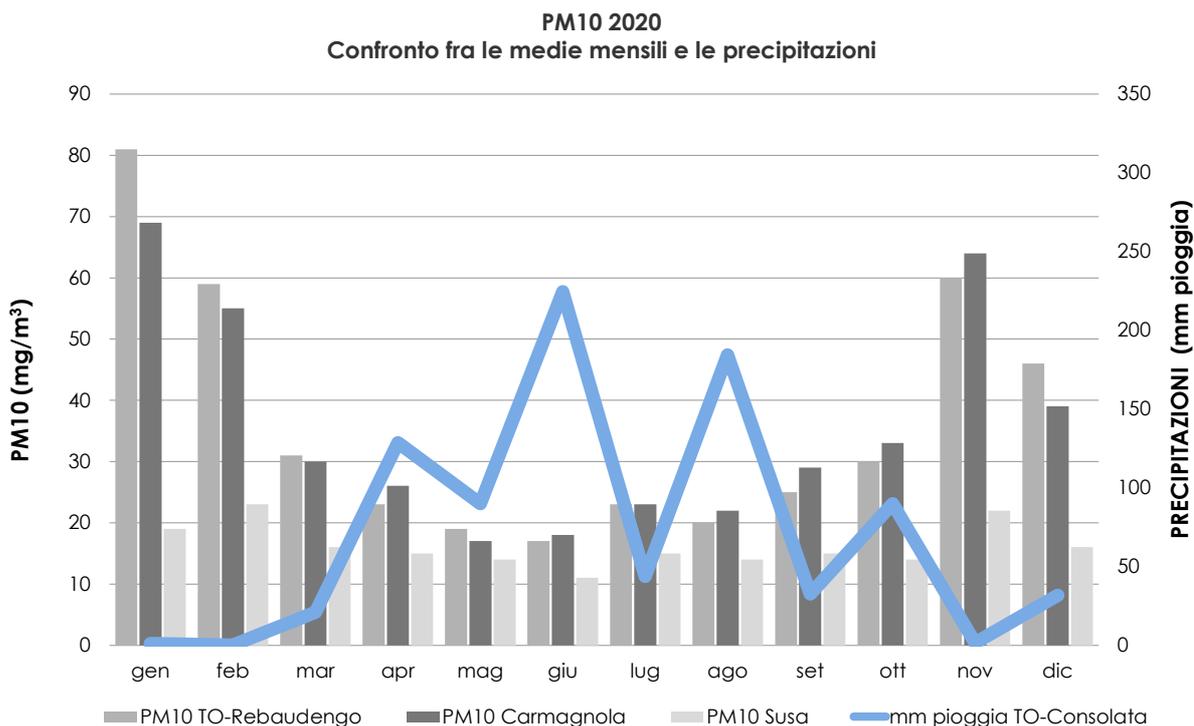


FIGURA 18: andamento delle precipitazioni atmosferiche e delle concentrazioni di PM10 in alcune stazioni della città metropolitana di Torino nell'anno 2020.

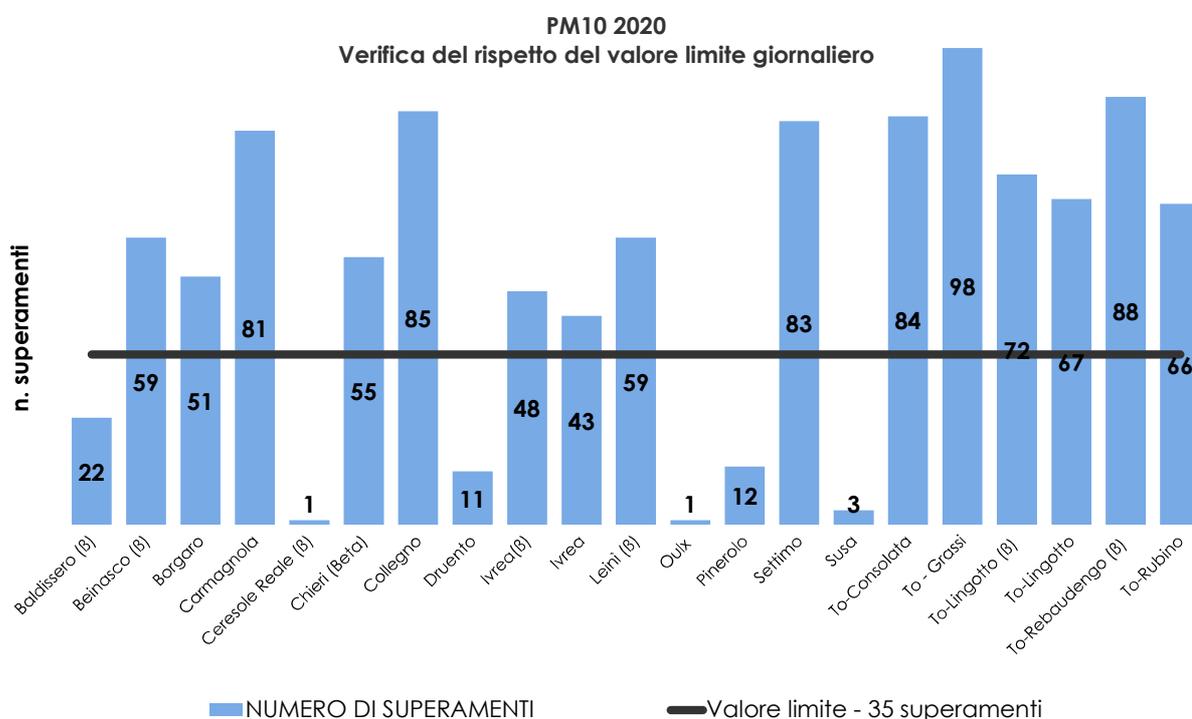


FIGURA 19: parametro PM10, numero di superamenti del limite di 24 ore per la protezione della salute (50 µg/m³ come media giornaliera).

Negli ultimi anni la normativa ha preso in considerazione anche le particelle di minori dimensioni e il Decreto Legislativo 155/2010 ha introdotto un valore limite per il PM2,5 (la cosiddetta frazione fine del particolato) pari a 25 µg/m³ come media annua da raggiungere entro il 1 gennaio 2015. La Direttiva Europea sulla qualità dell'aria ambiente ha inoltre stabilito un obiettivo nazionale di

riduzione dell'esposizione umana per il PM_{2,5} basato sull'indicatore di esposizione media (IEM), valido a livello nazionale. L'IEM è un livello medio di concentrazioni (sulla base di 3 anni di dati), misurato in stazioni di monitoraggio di fondo urbano (rappresentanti dell'esposizione della popolazione urbana in generale) selezionate in ogni Stato Membro. Il DM 13/3/2013 ha scelto 23 stazioni, tra le quali anche quella di To-Lingotto, per valutare se l'obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione è stato raggiunto. L'IEM serve anche per stabilire se l'obbligo di concentrazione dell'esposizione, stabilito a 20 µg/m³ da raggiungere entro l'anno 2015, sia stato rispettato.

La rete della città metropolitana di Torino nel corso degli anni è stata arricchita di numerosi campionatori, infatti oltre a quelli "storici" delle stazioni di To-Lingotto e Leini, attivi da quindici anni, attualmente il monitoraggio del PM_{2,5} avviene in ulteriori sette siti, scelti per rappresentare varie situazioni emissive (TABELLA 16). 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. Dal 2014 si è aggiunta la stazione di To-Rebaudengo.

Nel 2020 la concentrazione media di PM_{2,5} su base annuale è diminuita ed il valore limite è stato rispettato in tutte le stazioni. 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. 2020 (% giorni validi) | PM _{2,5} - VALORE MEDIO ANNUO | | | | | | | | | |
|--------------------|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Beinasco – TRM (β) | 97% | - | 38* | 25 | 23 | 26 | 23 | 26 | 20 | 20 | 21 |
| Borgaro | 91% | 33 | 31 | 27 | 23 | 26 | 23 | 27 | 22 | 19 | 21 |
| Ceresole Reale (β) | 80% | - | 5* | 5* | 4 | 6* | 7 | 9 | 8* | 6* | 6* |
| Chieri | 95% | - | 43* | 28 | 22 | 24 | 22 | 27 | 22 | 20 | 21 |
| Ivrea | 97% | 28* | 27 | 24* | 19* | 24 | 20 | 24 | 19* | 16 | 19 |
| Leini (β) | 93% | 29* | 29* | 26 | 22 | 30 | 24 | 26* | 17* | 20* | 22 |
| Settimo | 96% | - | 37 | 33 | 26 | 31 | 26 | 30 | 24 | 22 | 23 |
| To-Lingotto | 93% | 35 | 33 | 29 | 24 | 27* | 23 | 27 | 21* | 19 | 22 |
| To-Rebaudengo (β) | 87% | - | - | - | 25* | 27* | 29* | 33 | 25 | 25* | 22* |

(*) Rendimento strumentale inferiore al 90%

TABELLA 16: parametro PM_{2,5}, valutazione statistica anni 2011-2020.

In FIGURA 20 sono riportati i valori mensili di PM_{2,5} a confronto con quelli di PM₁₀ a To-Lingotto, prendendo in considerazione solo i giorni in cui entrambi gli strumenti erano funzionanti.

In questa stazione, ed in generale in quelle di fondo urbano, la frazione più fine incide mediamente in maniera maggiore nei mesi freddi, mentre nei mesi estivi è percentualmente meno alta rispetto al PM₁₀. Nel 2020 nella stazione di To-Lingotto il PM_{2,5} costituisce in media circa il 75% del PM₁₀ nel semestre freddo e il 68% nel semestre caldo.

PM10 E PM2,5 CONFRONTO DELLE MEDIE MENSILI
Stazione di Torino Lingotto - anno 2020

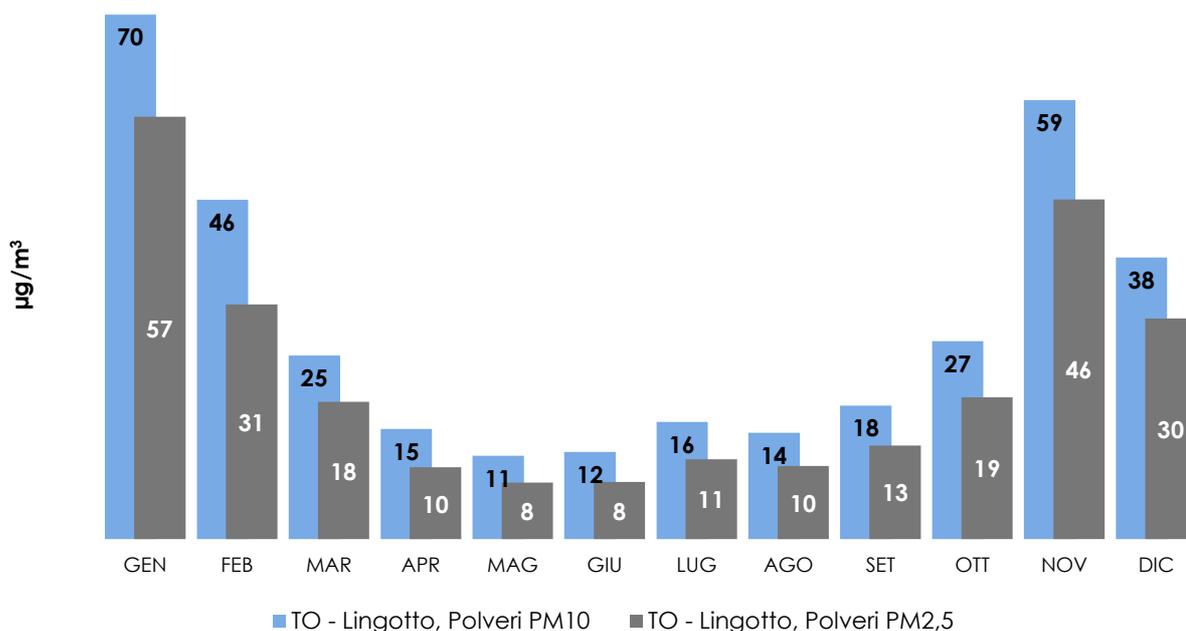


FIGURA 20: confronto tra PM2,5 e PM10 presso la stazione di To-Lingotto.

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%¹⁰.

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. 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 particolato¹¹. 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 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

¹⁰ 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

¹¹ 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

della massima insolazione. Nel 2020 le massime medie mensili si sono registrate a febbraio, aprile e settembre; i valori medi mensili si collocano sopra le medie del periodo 2010-2019 a gennaio-febbraio ed aprile, come si può osservare in FIGURA 21, dove è rappresentato un confronto con le medie mensili registrate negli anni 2010-2019. In gennaio la media mensile è stata notevolmente influenzata da un fenomeno di trasporto di sabbie dal Sahara, che ha fatto crescere le concentrazioni giornaliere di PM10 dal valore di 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del 21 gennaio, ai 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del 22 gennaio, fino al picco 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del 23 gennaio. I valori si sono mantenuti relativamente alti anche nei quattro giorni successivi. In febbraio, il giorno 3, si è verificato l'unico sfioramento del valore limite di 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in corrispondenza ad una intensa ventilazione sull'arco alpino con condizioni di foehn estese anche alle zone pianeggianti. L'area di alta pressione ha convogliato sabbia dal Sahara verso il Piemonte, con le linee di flusso in quota che hanno percorso l'Algeria, il Marocco, il Portogallo, la Spagna e la Francia raggiungendo infine il Piemonte¹².

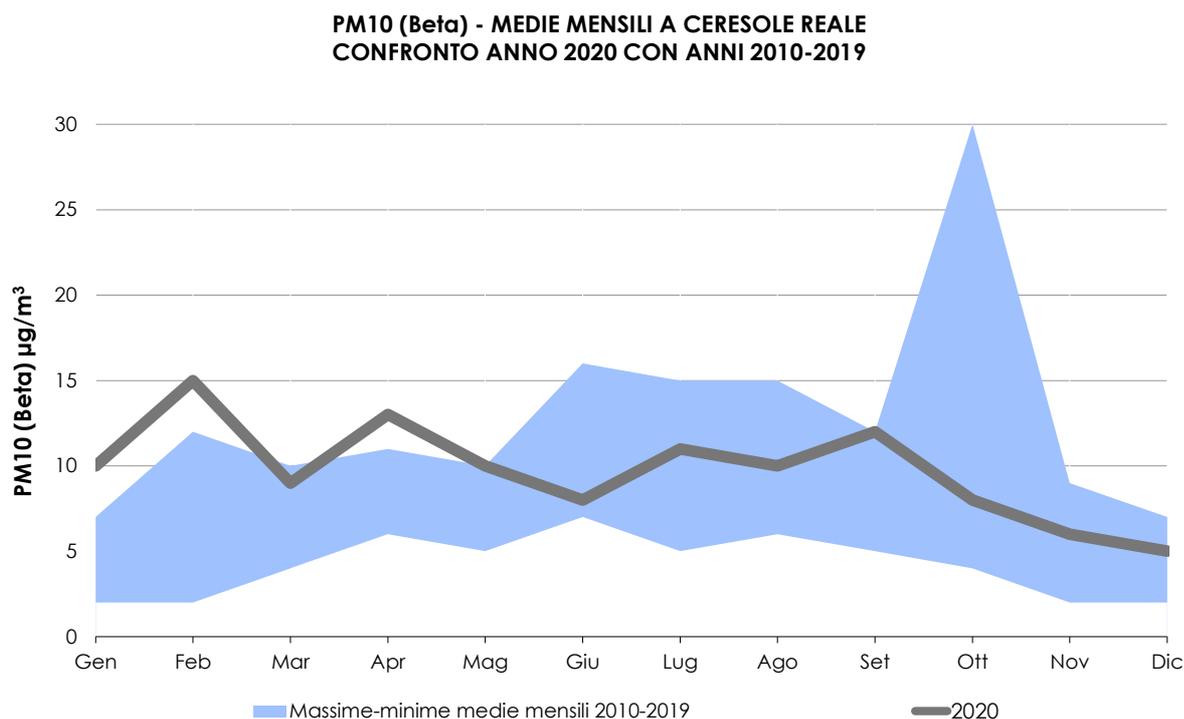


FIGURA 21: confronto tra le medie mensili di PM10 nel 2020 con le medie 2010-2019 presso la stazione di Ceresole Reale.

ANALISI DELLE SERIE STORICHE DI PARTICOLATO IN DUE SITI URBANI DI TRAFFICO E DI BACKGROUND.

E' possibile osservare, da un punto di vista qualitativo, un andamento decrescente delle medie annuali nelle stazioni di monitoraggio provinciali più critiche, per le quali la serie storica è quasi ventennale (dal 2000, FIGURA 22), ma un approccio di tipo statistico consente di stimare numericamente un trend e la sua significatività. Per questo è stato scelto il metodo Theil-Sen^{12,13}, utilizzato nel pacchetto software openair¹⁴, il cui vantaggio è che produce intervalli di confidenza accurati anche quando i dati non sono distribuiti normalmente e in caso di varianza dell'errore non costante. Inoltre, è un metodo robusto rispetto agli outliers (eventuali valori anomali).

Le serie storiche di dati giornalieri scelte per poter effettuare la stima sono quelle di To-Consolata, stazione di traffico nel centro di Torino, e di Borgaro, stazione di fondo collocata in un'area di verde pubblico, non direttamente esposta a sorgenti emissive, e quindi rappresentativa

¹² <https://www.arpa.piemonte.it/news/temperature-record-in-piemonte-il-3-febbraio-2020>

¹² Theil, H., 1950. "A rank invariant method of linear and polynomial regression analysis, i, ii, iii." Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie Wetenschappen, Series A - Mathematical Sciences 53, 386-392, 521-525, 1397-1412.

¹³ Sen, P. K., 1968. "Estimates of regression coefficient based on Kendall's tau." Journal of the American Statistical Association 63(324).

¹⁴ Carlsaw DC and Ropkins K (2012). "openair — An R package for air quality data analysis." Environmental Modelling & Software, 27-28(0), pp. 52-61. ISSN 1364-8152, doi: 10.1016/j.envsoft.2011.09.008.

dell'esposizione media della popolazione agli inquinanti atmosferici. Il trend è stato valutato dopo avere rimosso la componente stagionale dalla serie di dati.

Le medie mensili destagionalizzate del PM10 sono rappresentate in FIGURA 23 per la stazione di To-Consolata (periodo 2000-2020) e in FIGURA 24 per la stazione di Borgaro Torinese (periodo dal 2002 al 2020). La linea rossa continua indica il trend stimato e le due linee rosse tratteggiate l'intervallo di confidenza al 95%. Il valore complessivo del trend, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ per anno, è indicato in alto e tra parentesi è l'intervallo di confidenza.

L'analisi di trend evidenzia una riduzione nelle concentrazioni di PM10 per entrambi i siti, con elevata significatività statistica ($p < 0,001$); la riduzione più marcata è per To-Consolata, che mostra un trend complessivo di $-1,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno, mentre per la stazione di Borgaro la riduzione è limitata a $1,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ all'anno.

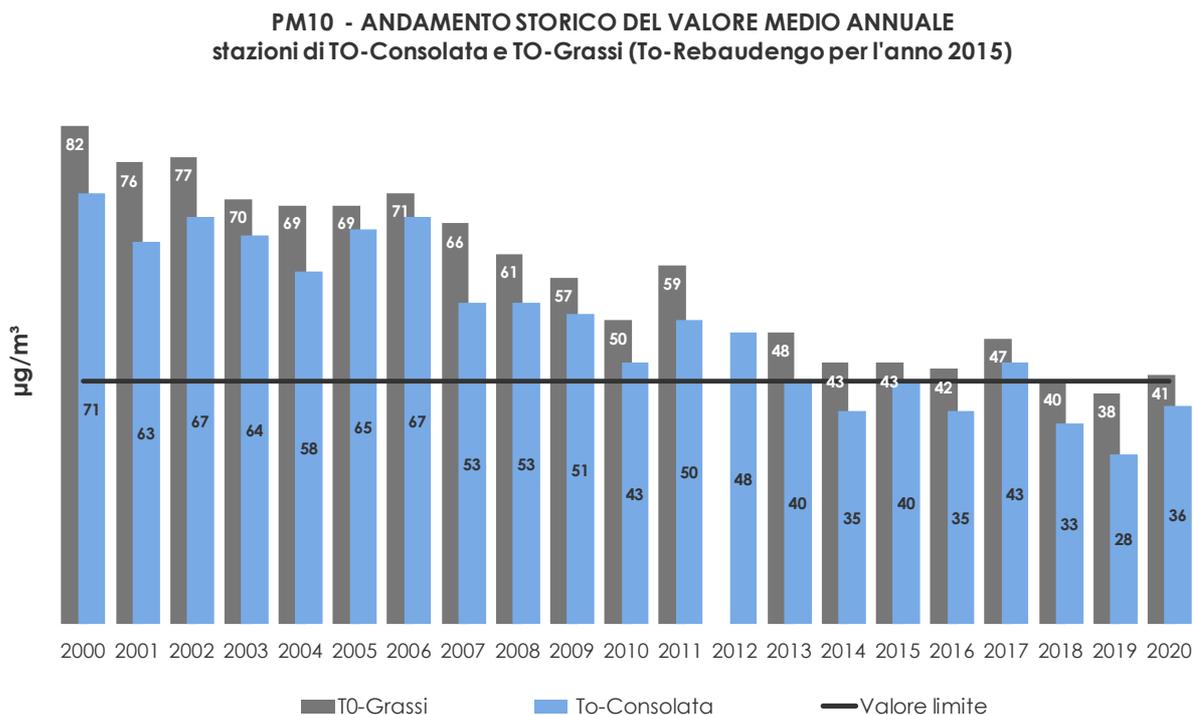


FIGURA 22: parametro PM10, concentrazioni medie annue rilevate nella città di Torino nel periodo 2000-2020 (per l'anno 2015 il dato è relativo a To-Rebaudengo).

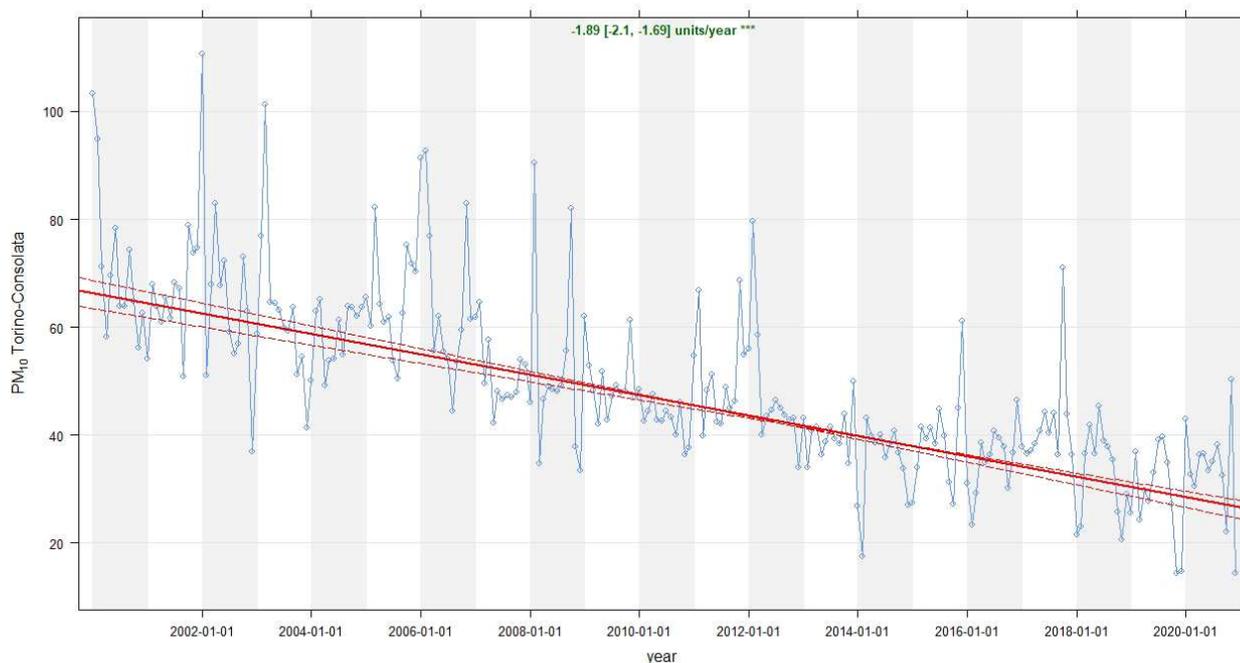


FIGURA 23: stima del trend dal 2000 al 2020 delle concentrazioni giornaliere di PM10, per la stazione di To_Consolata (significatività statistica: $p < 0,001 = ***$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,05 = *$ e $p < 0,1 = +$).

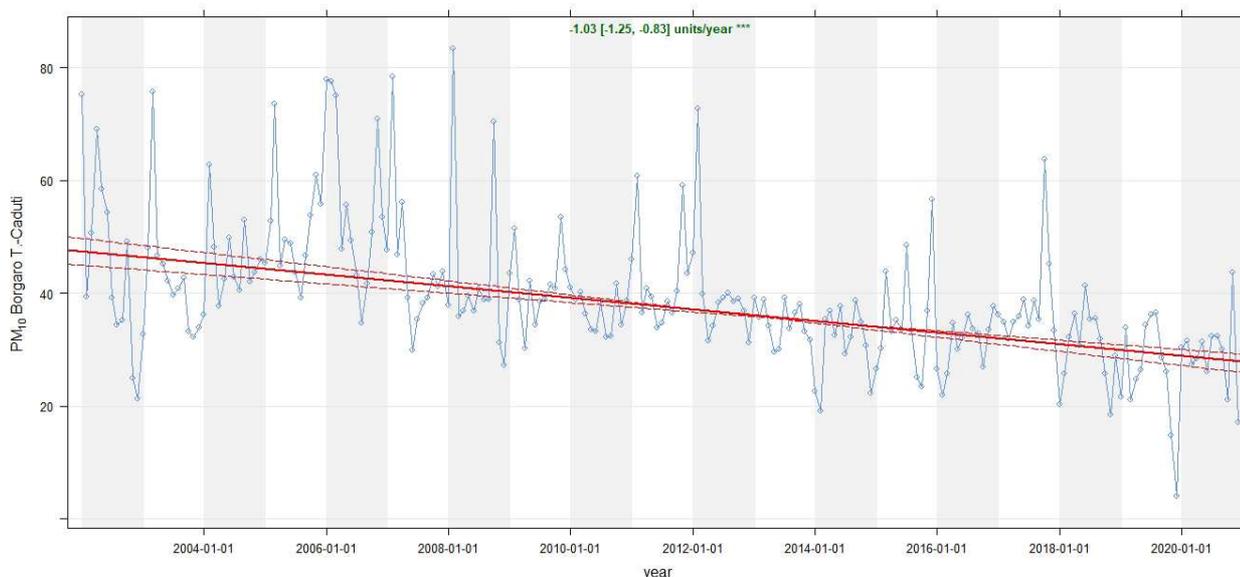


FIGURA 24: stima del trend dal 2002 al 2020 delle concentrazioni giornaliere di PM10, per la stazione di Borgaro Torinese (significatività statistica: $p < 0,001 = ***$, $p < 0,01 = **$, $p < 0,05 = *$ e $p < 0,1 = +$).

L'ANDAMENTO ORARIO DEL PARTICOLATO IN DUE SITI URBANI DI TRAFFICO E DI BACKGROUND.

La misura del particolato con dettaglio orario non ha rilevanza in merito al rispetto dei limiti, che fanno riferimento alla concentrazione media giornaliera, ma è utile al fine di valutare le prestazioni dei modelli di dispersione e trasformazione degli inquinanti (che ricostruiscono le serie temporali orarie) e per approfondire le dinamiche di formazione del particolato aerodisperso. A questo scopo nel maggio 2013 è stato installato nella stazione di To-Rubino uno strumento che fornisce la misura del PM10 e PM2,5 su base oraria in modo automatico (con un analizzatore a raggi beta).

I dati sono stati confrontati con quelli provenienti dalla stazione di To-Rebaudengo, dove dal 2013 è presente uno strumento che stima la concentrazione oraria in massa di PM10 e PM2,5 a partire dalle concentrazioni numeriche delle particelle rilevate da un contatore ottico. Le due stazioni di monitoraggio hanno caratteristiche diverse: quella in piazza Rebaudengo rappresenta situazioni

emissive di picco, visto il notevole traffico veicolare circolante nella piazza, mentre la stazione in via Rubino rappresenta un valore tipico di fondo urbano, non essendo direttamente soggetta a fonti di emissione.

Il valore di PM10 ottenuto dall'analizzatore beta in via Rubino è stato mediato a livello giornaliero e confrontato con le concentrazioni ottenute utilizzando il campionatore di riferimento europeo, che si basa sulla pesata in laboratorio dei filtri campionati. I risultati del 2020, come nei cinque anni precedenti, indicano un'ottima correlazione dei dati giornalieri e confermano la validità del dato acquisito dall'analizzatore automatico (FIGURA 25).

In FIGURA 26 si possono confrontare gli andamenti delle medie orarie di PM10 e PM2,5 nel giorno tipo annuale. Come si può osservare, l'andamento del PM10 in piazza Rebaudengo presenta due massimi alle 9-10 del mattino e alle 21-22 con valori pari a 47 e 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ rispettivamente. I minimi si hanno intorno alle 4 del mattino, quando le emissioni sono meno intense, e intorno alle 16, quando per la maggiore temperatura atmosferica si verifica il maggiore rimescolamento delle masse d'aria atmosferica e quindi la maggiore diluizione degli inquinanti. Il PM2,5 presenta un andamento analogo con picchi alle 9 e alle 21, pari a 40 e 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'andamento del biossido di azoto, anch'esso inquinante di natura prevalentemente secondaria, presenta due picchi, di cui quello serale anticipato di un paio d'ore rispetto al particolato (FIGURA 27). Inoltre il massimo assoluto si registra in ore serali, quando in assenza di radiazione solare, è sfavorita la fotolisi del biossido di azoto a monossido e le condizioni atmosferiche sono di maggiore stabilità. Invece per il particolato il picco mattutino è superiore a quello serale (FIGURA 28), come avvenuto nel quadriennio 2016-2019, ma non nel 2015, quando i due picchi mattutino e serale presentavano una concentrazione praticamente identica. La presenza di valori alti notturni è strettamente dipendente dalle condizioni di stabilità atmosferica; quando si verificano frequenti inversioni termiche notturne e se l'inversione avviene anche nelle ore diurne può capitare che i picchi serali siano superiori a quelli mattutini. Il fenomeno è stato particolarmente evidente nell'ultimo trimestre dell'anno 2015.

Come detto la stazione di To-Rubino è meno soggetta a fonti primarie di emissione, e questo si manifesta nei valori di particolato misurati, che sono inferiori a quelli di To-Rebaudengo. C'è inoltre una certa differenza nel profilo del giorno tipo, che presenta valori molto più costanti nella giornata. Si può notare, inoltre, nel profilo del PM10, che i valori dall'una alle 6 del mattino sono molto simili nelle due stazioni, nonostante la citata differenza nell'ubicazione delle stesse. Una possibile spiegazione al fenomeno sulla persistenza di alti valori notturni può essere il meccanismo di accrescimento delle particelle, che di notte aumentano la propria dimensione in conseguenza della condensazione sulla propria superficie dei precursori gassosi, favorita dalla diminuzione della temperatura. Inoltre, come descritto nel capitolo "La concentrazione numerica di particelle ultrafini nell'area metropolitana torinese", il numero di particelle progressivamente diminuisce a seguito della coagulazione per collisione tra loro, mentre aumenta la loro massa e quindi aumentano i valori di PM2,5 misurati, soprattutto in condizioni di alta stabilità atmosferica.

I minimi orari per il PM10 e il PM2,5 di To-Rubino (23 e 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) si verificano nel pomeriggio alle 16 in corrispondenza alle ore di maggiore rimescolamento atmosferico e rappresentano concentrazioni di fondo urbano che si stanno lentamente riducendo negli anni, con il progressivo contenimento delle emissioni di particolato primario e dei precursori gassosi del particolato.

Interessante inoltre confrontare i valori di PM10 nel periodo freddo (gennaio-marzo e ottobre-dicembre) e quello caldo (aprile-settembre), che nel seguito chiameremo "inverno" ed "estate".

I valori invernali di PM10 e PM2,5 sono circa il doppio di quelli estivi; la differenza maggiore tra estate ed inverno si verifica per il PM2,5 di To-Rubino, dove i valori invernali sono 2,8 volte quelli estivi. Il giorno tipo del PM2,5 e PM10 in piazza Rebaudengo presenta un andamento pressoché identico nei due periodi e mostra infatti il classico doppio picco mattutino e serale, come quanto riscontrato l'anno precedente.

Per quanto riguarda il giorno tipo di To-Rubino si nota una sostanziale costanza dei valori estivi di PM10 e PM2,5, mentre nel periodo invernale i valori notturni del PM10 (dalle 19 alle 3 di notte) sono più alti della media, in conseguenza della maggiore stabilità atmosferica notturna (FIGURA 29).

In conclusione l'analisi dei dati orari di PM10 e PM2,5, pur non avendo una valenza normativa, costituisce un ulteriore strumento a supporto delle politiche di risanamento, in quanto permette di approfondire la conoscenza dei fenomeni di formazione del particolato e dell'interconnessione degli stessi con le proprietà meteo-dispersive dell'atmosfera.

Torino Rubino - Correlazione PM10 beta con PM10 gravimetrico, Anno 2020

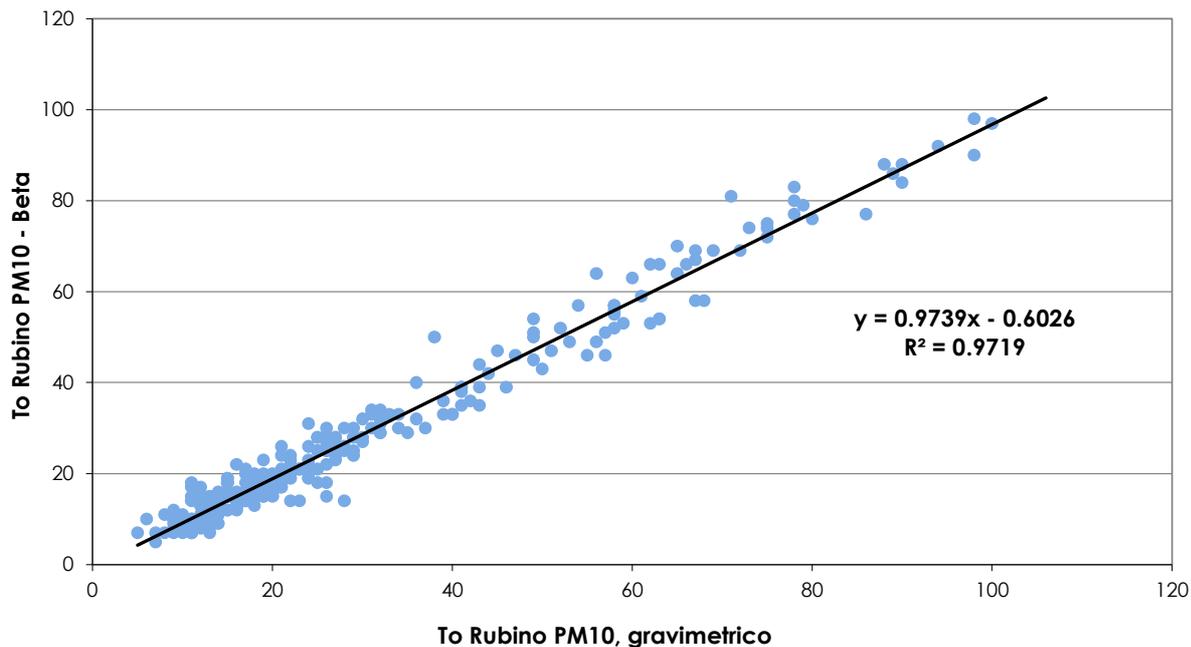


FIGURA 25: correlazione tra i dati giornalieri del PM10 di To-Rubino misurati con tecnica gravimetrica e analizzatore a raggi beta.

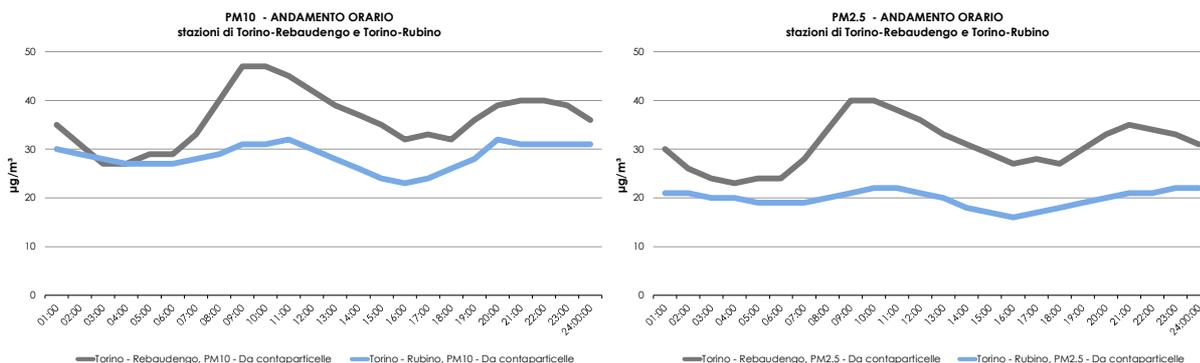


FIGURA 26: giorno tipo annuale di PM10 e PM2,5 a To-Rebaudengo e To-Rubino, anno 2020.

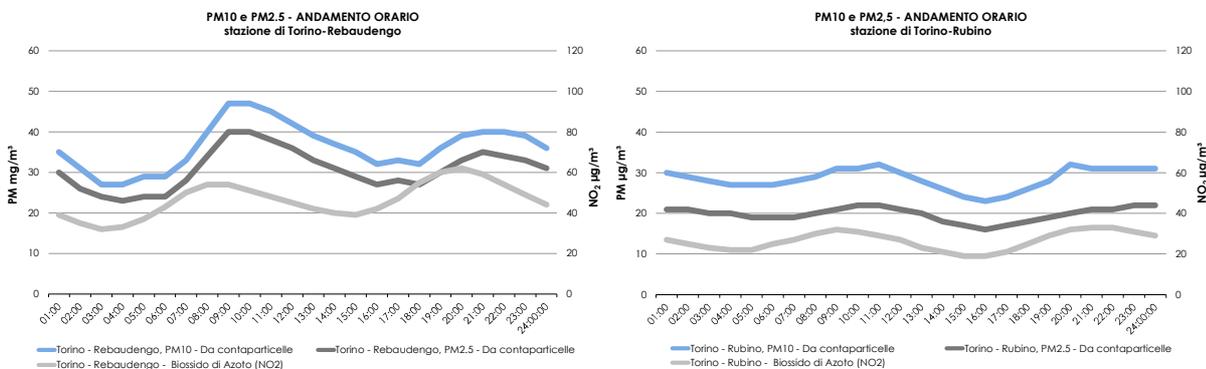


FIGURA 27: giorno tipo annuale di PM10 e PM2,5 a To-Rebaudengo e To-Rubino, confronto con le medie di NO₂, anno 2020.

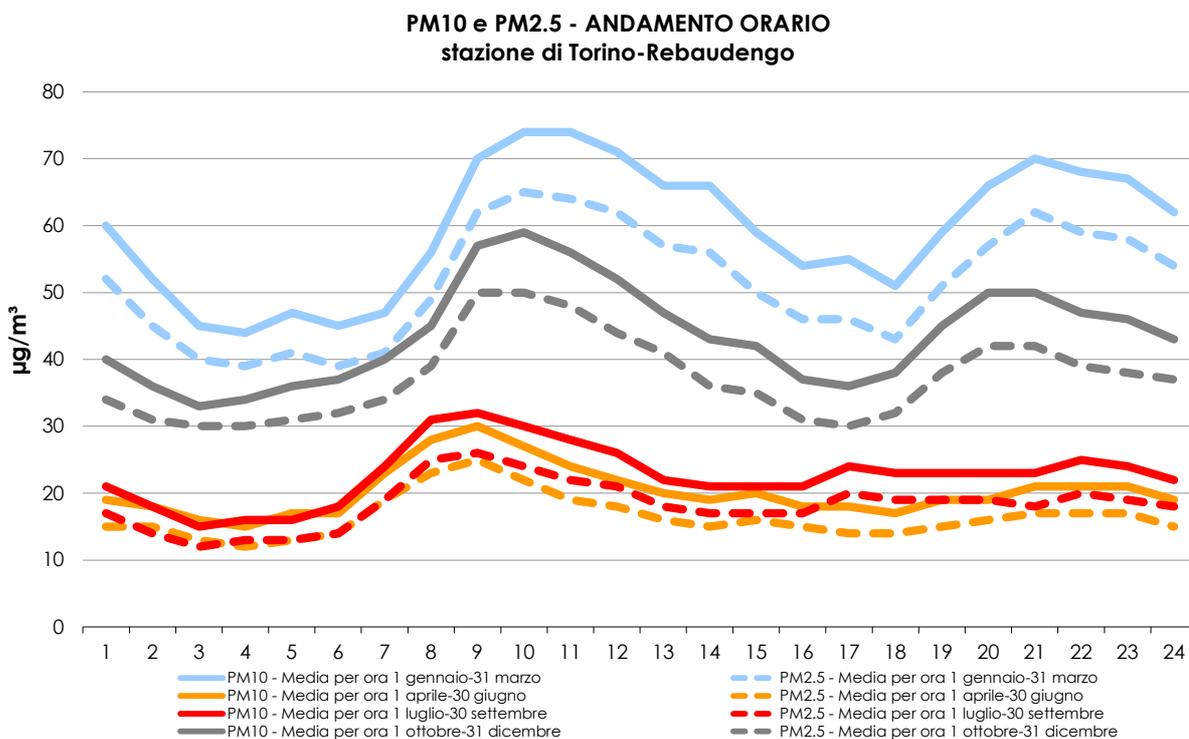


FIGURA 28: giorno tipo per trimestri di PM10 e PM2,5 a To-Rebaudengo, anno 2020.

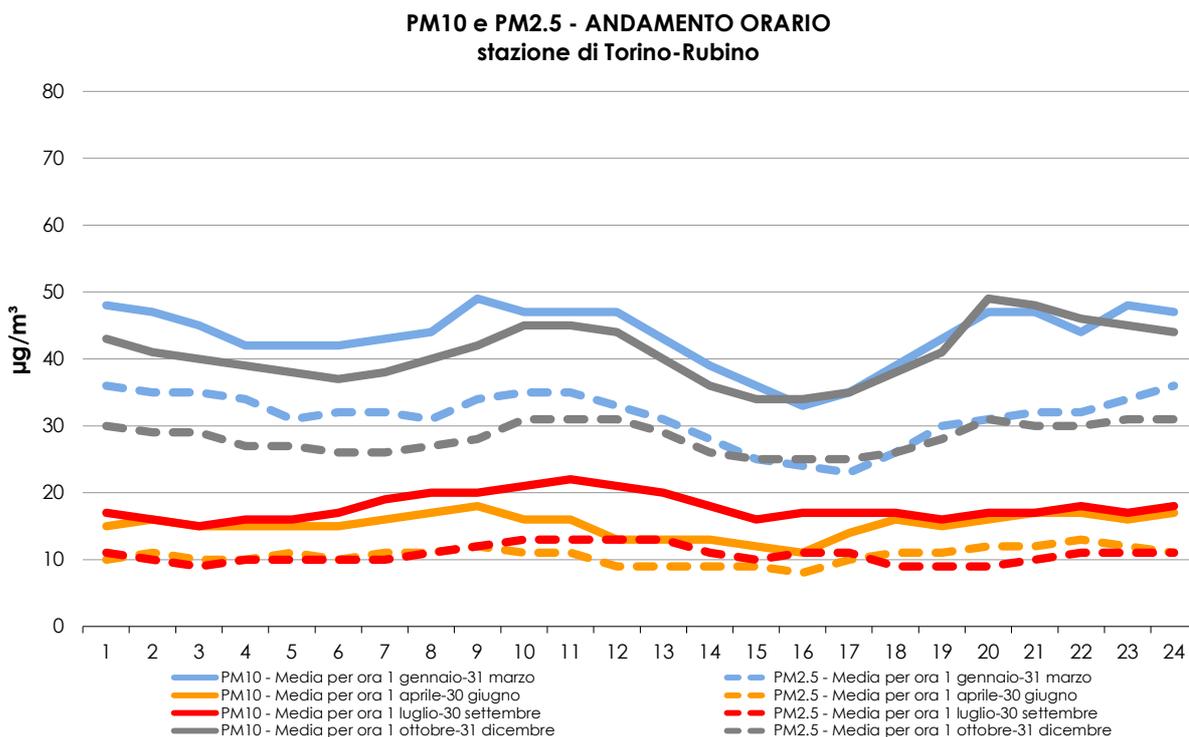


FIGURA 29: giorno tipo per trimestri di PM10 e PM2,5 a To-Rubino, anno 2020.

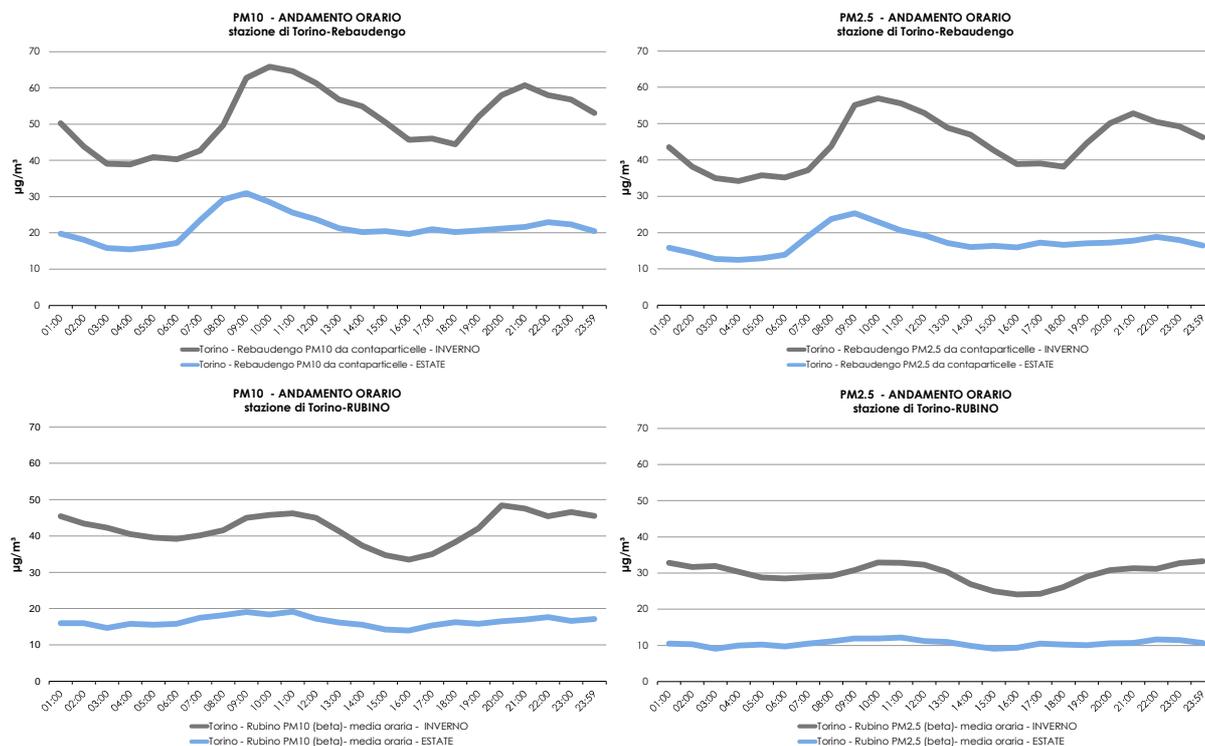


FIGURA 30: PM10 e PM2,5 orari confronto tra il giorno medio invernale ed estivo - anno 2020.

PARTICELLE SOSPENSE TOTALI

L'attenzione normativa si è incentrata negli ultimi anni sulla frazione di particolato PM10 e PM2,5, in quanto gli studi tossicologici ed epidemiologici hanno evidenziato che le particelle di minori dimensioni sono quelle più dannose per la salute umana. Le particelle sospese totali, che precedentemente al recepimento delle Direttive Europee costituivano il parametro di riferimento di legge, sono ancora misurate presso la stazione in via Consolata a Torino. L'esame dell'andamento della concentrazione delle polveri totali, vista la lunga serie storica di dati, è utile per avere un'indicazione del trend relativo al PM10 anche in periodi nei quali questo parametro non veniva misurato. Infatti, come si osserva in FIGURA 31 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 31 per il PTS sono riportate le concentrazioni medie annue rilevate in 41 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, con 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, nel 2020 la media è stata lievemente più alta, 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ma il valore risulta sovrastimato, in quanto i dati da fine marzo a inizio maggio, normalmente bassi, sono assenti, causa inaccessibilità della stazione per il periodo di lockdown da COVID-19.

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 (1980-2020)

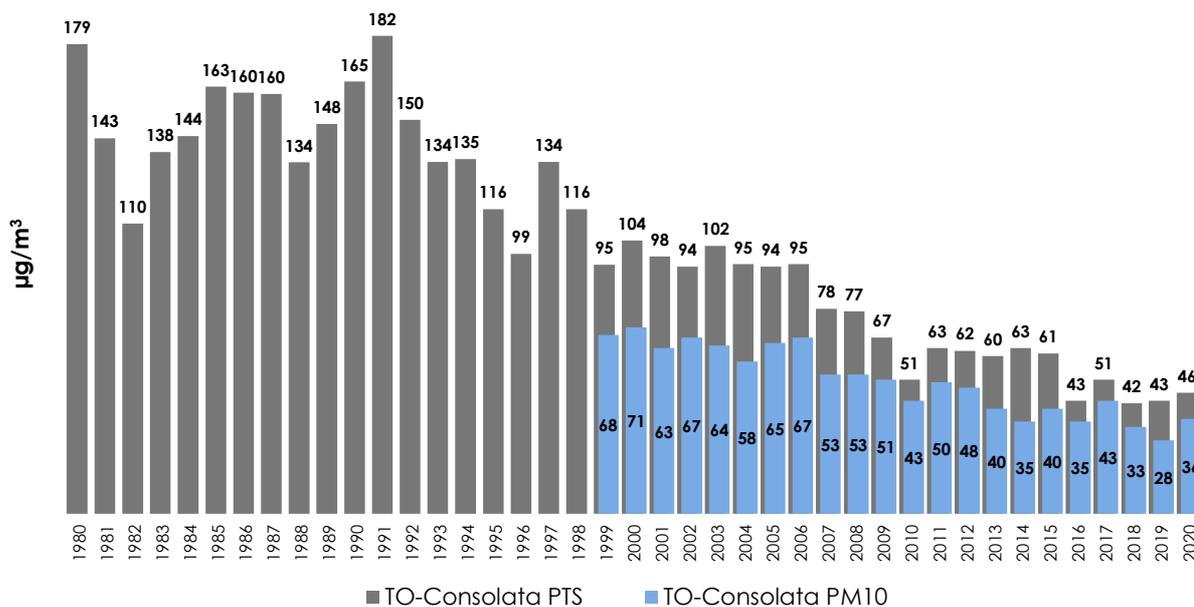


FIGURA 31: parametro PTS, medie annuali misurate nelle stazioni di Torino dal 1980 al 2020.

| STAZIONE | Rendimento strumentale. 2020 (% 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) | | | | | | | | | |
|--------------------|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Baldissero (B) | 93% | 23 | 21 | 17 | 14* | 17 | 14 | 11 | 8 | 18* | 22 | 33 | 17 | 9 | 6* | 8 | 1 | 1 | 0 | 5* | 22 |
| Beinasco-TRM (B) | 97% | - | 48* | 33 | 30 | 33 | 29 | 36 | 28 | 27 | 28 | - | 37* | 70 | 47 | 68 | 52 | 88 | 41 | 49 | 59 |
| Borgaro | 90% | 43 | 42* | 35* | 31* | 35* | 31 | 38 | 30 | 26* | 30 | 107 | 90* | 75* | 44* | 71* | 54 | 90 | 42 | 28* | 51 |
| Carmagnola | 96% | 49 | 50 | 42 | 36 | 41 | 37 | 45 | 36 | 35 | 36 | 130 | 137 | 109 | 82 | 107 | 73 | 122 | 69 | 69 | 81 |
| Ceresole Reale (B) | 79% | 7* | 7 | 6* | 5 | 7 | 9 | 11 | 11* | 9* | 10* | 0* | 0 | 0* | 0 | 0 | 0 | 6 | 0* | 1* | 1* |
| Chieri (B) | 97% | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 28 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 55 |
| Collegno | 99% | - | 33* | 36 | 32 | 36 | 32 | 40 | 33* | 30 | 35 | - | 50* | 83 | 61 | 81 | 61 | 102 | 56* | 50 | 85 |
| Druento | 83% | 31 | 28 | 24 | 19 | 23 | 21 | 27 | 22 | 19 | 21* | 63 | 45 | 29 | 11 | 23 | 22 | 41 | 15 | 10 | 11* |
| Ivrea (B) | 97% | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 25 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 48 |
| Ivrea | 87% | 35 | 34 | 27 | 23 | 28 | 26 | 31* | 25 | 24* | 27* | 82 | 71 | 52 | 30 | 55 | 41 | 60* | 28 | 29* | 43* |
| Leini (B) | 93% | 36* | 33 | 29 | 25 | 36 | 30 | 34 | 33* | 26 | 29 | 74* | 66 | 59 | 35 | 84 | 57 | 79 | 28* | 44 | 59 |
| Oulx | 99% | 20 | 17 | 18 | 17* | 18* | 16 | 18 | 18 | 15 | 16 | 11 | 3 | 6 | 5* | 7* | 0 | 8 | 1 | 0 | 1 |
| Pinerolo (B) | 96% | 32 | 29 | 26 | - | 21 | 23 | 26 | 21 | 19 | 18 | 57 | 54 | 33 | - | 11 | 15 | 40 | 11 | 5 | 12 |
| Settimo | 93% | - | 44 | 39 | 34 | 39 | 35 | 44* | 36* | 34 | 35 | - | 111 | 88 | 81 | 98 | 70 | 99* | 65* | 63 | 83 |
| Susa | 98% | 23 | 21 | 18 | 16 | 18 | 17 | 22 | 18 | 15 | 16 | 24 | 15 | 10 | 1 | 11 | 10 | 27 | 6 | 1 | 3 |
| To-Consolata | 79% | 50 | 48 | 40 | 35 | 40 | 35 | 43 | 33* | 28 | 36* | 134 | 118 | 100 | 75 | 93 | 75 | 108 | 55 | 45 | 84* |
| To-Grassi | 87% | 59 | 60* | 48 | 43* | 52* | 42 | 47 | 40* | 38 | 41* | 158 | 103* | 126 | 77* | 75* | 89 | 112 | 76* | 83 | 98* |
| To-Lingotto (B) | 94% | 48* | 41* | 34 | 31 | 36 | 32 | 38 | 31* | 28 | 31 | 95* | 90* | 69 | 56 | 85 | 60 | 101 | 45* | 50 | 72 |
| To-Lingotto | 93% | 44 | 42 | 38 | 32 | 38 | 34 | 39 | 28* | 27 | 30 | 106 | 94 | 89 | 59 | 86 | 62 | 92 | 39* | 48 | 67 |
| To-Rebaudengo (B) | 100% | - | - | 37* | 40 | 43 | 37 | 46 | 39 | 34 | 36 | - | - | 53* | 94 | 101 | 74 | 118 | 87 | 71 | 88 |
| To-Rubino | 90% | 47 | 40* | 35 | 31 | 36 | 32 | 38 | 29* | 28* | 32 | 111 | 83* | 87 | 58 | 84 | 65 | 97 | 33* | 42* | 66 |

(*) Rendimento strumentale inferiore al 90%

TABELLA 17: parametro PM10, valutazione statistica anni 2010-2020.

| STAZIONE | Rendimento strumentale. 2020 (% giorni validi) | PTS – VALORE MEDIO ANNUO | | | | | | | | | |
|--------------|--|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| To-Consolata | 70% | 63 | 62* | 60* | 63* | 61* | 43 | 51c | 42 | 43* | 46* |

(*) Rendimento strumentale inferiore al 90%

TABELLA 18: parametro polveri totali (PTS), valutazione statistica anni 2010-2020.

IL BLACK CARBON IN PIEMONTE

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

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

INTRODUZIONE

Il black carbon (BC) è parte della frazione carboniosa del particolato fine, ed è definito come l'insieme delle particelle carboniose in grado di assorbire luce con lunghezza d'onda caratteristica nello spettro del visibile (380 ÷ 760 nm). Fondamentalmente, queste particelle di carbonio presentano una microstruttura simile a quella della grafite aggregata in piccole sfere con diametro indicativamente compreso tra 10 e 50 nm. Il BC proviene dalla combustione incompleta di carburanti di origine fossile, principalmente diesel, dalla combustione della biomassa (ad esempio in ambito agricolo o per gli incendi boschivi) e dal riscaldamento domestico (sia con combustibili fossili che con biomasse).

La misura viene effettuata mediante un analizzatore in continuo (Aethalometer Model AE33 – Magee Scientific, successivamente etalometro). Il principio di misura dell'etalometro è basato sull'attenuazione dell'intensità della radiazione luminosa; l'aria aspirata attraversa un nastro di materiale filtrante, creando così un deposito di PM10 a densità crescente, che viene investito da fasci luminosi a diverse lunghezze d'onda: dall'aumento dell'attenuazione della radiazione luminosa tra due misure consecutive si risale alla concentrazione del black carbon. Questa analisi viene eseguita con sette lunghezze d'onda ottiche, comprese tra vicino infrarosso e vicino ultravioletto. Per la misura del BC si utilizza la lunghezza d'onda di 880 nm.

Il BC ha effetti tossici trascurabili sui polmoni umani e animali e sulle cellule delle vie aeree come macrofagi e cellule epiteliali respiratorie. È stato invece suggerito che eserciti un ruolo chiave indiretto nella tossicità come vettore universale di sostanze organiche semi-volatili tossiche e altri composti co-rilasciati nei processi di combustione o attaccati alla loro superficie durante il trasporto regionale e a lungo raggio¹⁵.

L'attenzione verso questo componente del particolato è cresciuta negli anni, poiché oltre a contribuire all'inquinamento atmosferico, influisce sul cambiamento climatico ed è stato inserito come inquinante da ridurre insieme al PM2,5 nell'aggiornamento 2012 del Protocollo di Gotheborg, entrato in vigore il 7 ottobre 2019. Il BC infatti, è noto come un forzante climatico a vita breve, ha un forte effetto di riscaldamento ma non persiste nell'atmosfera come l'anidride carbonica (CO₂). Tuttavia, ricerche più recenti mostrano che il BC intrappola il calore 680 volte più della CO₂. Pertanto, in particolare nel contesto globale dello scioglimento dei ghiacciai, della riduzione della massa di ghiaccio ai Poli, con effetti a catena sulla flora e sulla fauna e l'innalzamento del livello del mare, la riduzione delle emissioni di BC è un obiettivo fondamentale nella lotta ai cambiamenti climatici¹⁶.

Il monitoraggio del BC con strumentazione in grado di fornire un primo livello di "source apportionment" identificando le due principali categorie di contributo (da fonti fossili e da biomassa) ha quindi rilevanza sia in termini di inquinamento atmosferico al suolo che di valutazione delle politiche di riduzione dei gas climalteranti.

LE MISURE

Il black carbon in Piemonte viene regolarmente misurato dall'estate 2018 in due stazioni, una di fondo urbano in Torino, e una di fondo suburbano a Domodossola. Le due stazioni sono collocate in contesti molto differenti, To-Lingotto in un parco dell'area urbana torinese, Domodossola-Curotti in una città di 18 mila abitanti, centro principale della val d'Ossola nella piana del fiume Toce, alla confluenza di più valli alpine. Questa differenza è messa in evidenza dalle misure degli inquinanti che vengono effettuate presso le due stazioni. To-Lingotto presenta dei valori più critici di biossido di azoto e di PM10 rispetto a Domodossola (vedi TABELLA 19 e FIGURA 32), ma quest'ultima è caratterizzata da livelli di benzo(a)pirene sempre superiori o uguali al valore obiettivo annuale fissato da normativa, pari a 1 ng/m³ (massima media annuale: 1,9 ng/m³ nel 2015 e 2016), quando To-Lingotto ha sempre rispettato il limite. Nel 2020 i valori di benzo(a)pirene a Domodossola sono stati quasi doppi rispetto al Lingotto (1,3 ng/m³ contro 0,7 ng/m³ annuali). Ne risulta quindi un

¹⁵ Janssen N. et al., (2012) Health Effects Of Black Carbon, World Health Organization

¹⁶ [<http://www.unece.org/info/media/presscurrent-press-h/environment/2019/entry-into-force-of-amended-gothenburg-protocol-is-landmark-for-clean-air-and-climate-action/doc.html>]

particolato molto più ricco di Benzo(a)pirene rispetto a quello a To-Lingotto, come si può osservare in FIGURA 33.

Tale criticità relativamente al benzo(a)pirene ha fatto subito supporre come molto significativa la fonte riscaldamento tramite combustione di biomasse. Questa ipotesi è stata poi supportata dal source apportionment modellistico relativo al 2015 effettuato per il nuovo Piano Regionale per la Qualità dell'Aria della Regione Piemonte, nel quale è indicato il contributo percentuale alla media annuale del PM10 del riscaldamento a legna, che è il 44,2% a To-Lingotto ed il 76,7% a Domodossola, mentre complessivamente il traffico veicolare contribuisce al 35,7% del PM10 a Torino-Lingotto, contro il 10,3 % di Domodossola¹⁷.

Come si può vedere in TABELLA 19 ed in FIGURA 34, nel 2020, come avvenuto nel 2019, la media annua di BC a Domodossola è superiore a quella di Torino, mentre per il PM10 vale il contrario, pertanto il BC ha un contributo maggiore nel PM10 a Domodossola rispetto a Torino (8,2% contro 5,6%). I valori giornalieri presentano un andamento tipico annuale con massimi invernali e minimi estivi, correlato a quello del PM10.

| PARAMETRO | Domodossola - Curotti NO ₂ (µg/m ³) | To-Lingotto NO ₂ (µg/m ³) | Domodossola - Curotti NO (µg/m ³) | To-Lingotto NO (µg/m ³) | Domodossola - Curotti Black Carbon (µg/m ³) | To-Lingotto Black Carbon (µg/m ³) |
|---|---|---|--|--|--|--|
| Ore valide | 8672 | 8364 | 8667 | 8357 | 8399 | 8486 |
| Percentuale ore valide | 99% | 95% | 99% | 95% | 96% | 97% |
| Media delle medie mensili dei massimi giornalieri | 33 | 48 | 42 | 55 | 4,88 | 3,24 |
| Media dei massimi giornalieri | 33 | 49 | 42 | 57 | 4,61 | 3,16 |
| Media dei valori orari | 17 | 31 | 12 | 23 | 1,96 | 1,68 |

TABELLA 19: dati statistici anno 2020 per le stazioni To-Lingotto e Domodossola-Curotti.

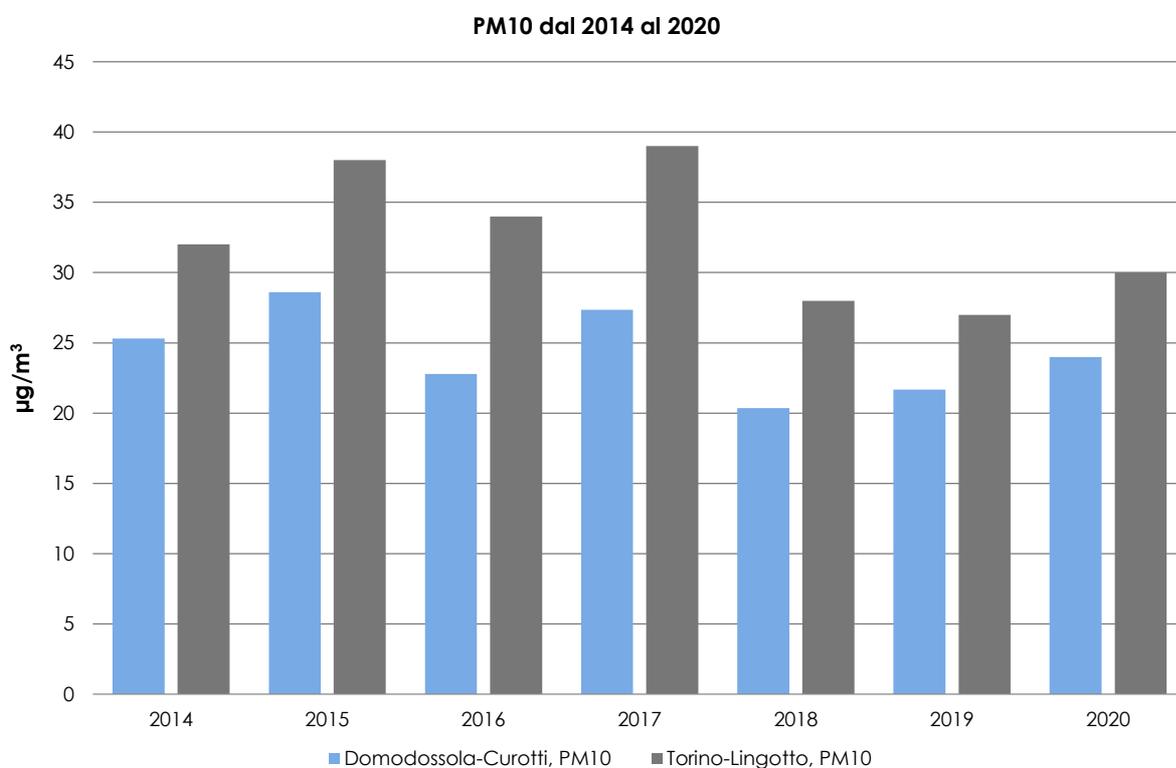


FIGURA 32: medie annuali di PM10 a Torino-Lingotto e Domodossola-Curotti.

¹⁷ https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2019-04/prqa_allegatob.pdf

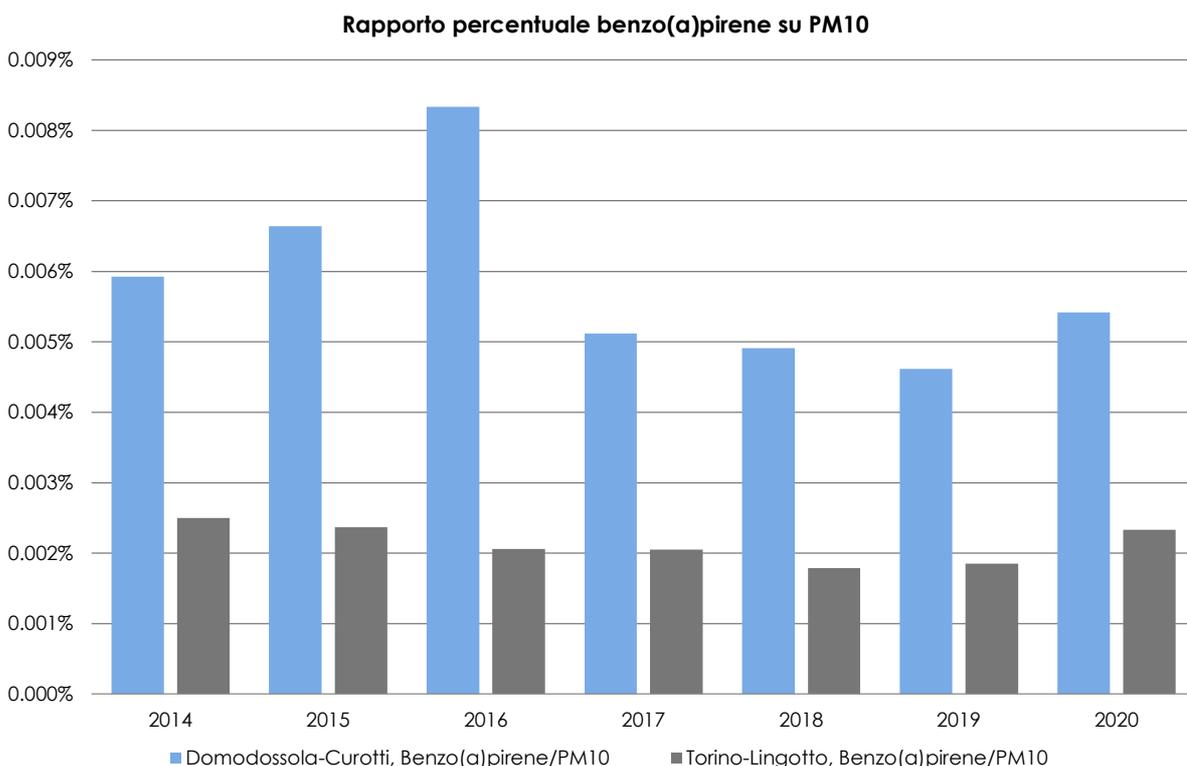


FIGURA 33: percentuale di benzo(a)pirene nel PM10 – anni 2014-2020.

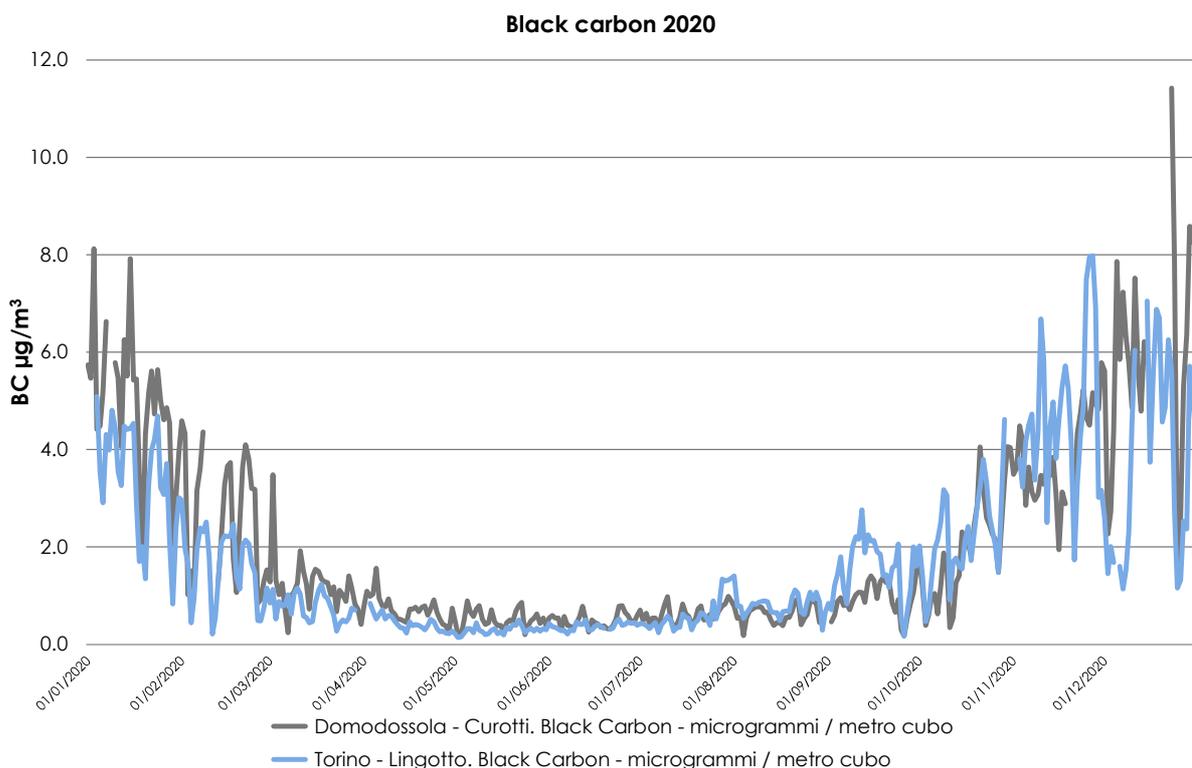


FIGURA 34: Andamento giornaliero del BC a Torino e Domodossola nel 2020.

L'esame delle correlazione del black carbon con NO, NO₂ e PM10 misurati nelle due stazioni, fatta per il periodo invernale, maggiormente significativo per questi inquinanti, evidenzia un'ottima correlazione del PM10 con il BC per entrambe le stazioni, discreta per l'NO₂, mentre per l'NO, tipico inquinante primario da traffico, le due stazioni si differenziano: mediamente, negli ultimi tre inverni a Torino-Lingotto è ottima (R di Pearson 0,9), mentre a Domodossola è più scarsa (R di Pearson 0,6),

come si può vedere in TABELLA 20 ed in TABELLA 21. Questo indica il maggiore contributo della sorgente traffico al BC misurato a Torino, rispetto a Domodossola.

| | To-Lingotto - Black Carbon | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | R di Pearson ott-dic 2018 | R di Pearson gen-mar 2019 | R di Pearson ott-dic 2019 | R di Pearson gen-mar 2020 | R di Pearson ott-dic 2020 | R di Pearson gen-mar 2021 |
| To-Lingotto - NO ₂ | 0,63 | 0,68 | 0,75 | 0,79 | 0,65 | 0,71 |
| To-Lingotto - NO | 0,90 | 0,93 | 0,90 | 0,95 | 0,90 | 0,88 |
| To-Lingotto - PM10 | 0,80 | 0,88 | 0,78 | 0,88 | 0,82 | 0,83 |

TABELLA 20: Correlazione del BC con gli altri inquinanti a Torino-Lingotto (dati orari per NO ed NO₂, giornalieri per il PM10).

| | Domodossola Curotti - Black Carbon | | | | | |
|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | R di Pearson ott-dic 2018 | R di Pearson gen-mar 2019 | R di Pearson ott-dic 2019 | R di Pearson gen-mar 2020 | R di Pearson ott-dic 2020 | R di Pearson gen-mar 2021 |
| Domodossola Curotti - NO ₂ | 0,61 | 0,70 | 0,60 | 0,74 | 0,65 | 0,66 |
| Domodossola Curotti - NO | 0,65 | 0,39 | 0,65 | 0,61 | 0,57 | 0,47 |
| Domodossola Curotti - PM10 | 0,82 | 0,83 | 0,85 | 0,88 | 0,83 | 0,83 |

TABELLA 21: Correlazione del BC con gli altri inquinanti a Domodossola-Curotti (dati orari per NO ed NO₂, giornalieri per il PM10)

L'utilizzo di un analizzatore in continuo di BC nelle due stazioni ha consentito di quantificare la percentuale di black carbon attribuibile alla combustione delle biomasse in entrambi i siti, calcolata applicando il metodo elaborato da Sandradewi, J. et al.¹⁸. La verifica della correttezza di questo tipo di stima è stata approfondita in uno studio di Arpa Piemonte nel sito di To-Lingotto¹⁹. Nel 2019 il BC attribuibile alla combustione di biomasse è stato pari al 31% a Domodossola, e al 14% a To-Lingotto, aumenta nel 2020 (38% e 20% rispettivamente). Considerando solo il periodo freddo ottobre – marzo i valori a Domodossola nel 2018-19 sono il doppio di Torino (46% contro 23%, 3,28 µg/m³ di BC contro 2,63 µg/m³), nel 2019-20 a Domodossola aumenta la percentuale attribuibile alla combustione delle biomasse fino al 51%, mentre a Torino scende al 21%, nel 2020-21 a Domodossola rimane pressoché invariata (48%), mentre a Torino sale al 35%. Anche l'analisi del profilo medio giornaliero degli inverni 2018-19, 2019-20 e 2020-21 del BC da combustione di biomasse e da combustione di combustibili fossili indica che a Domodossola ci sia una fonte aggiuntiva di BC attribuibile a questa fonte, come osservabile nella FIGURA 35 e nella FIGURA 36.

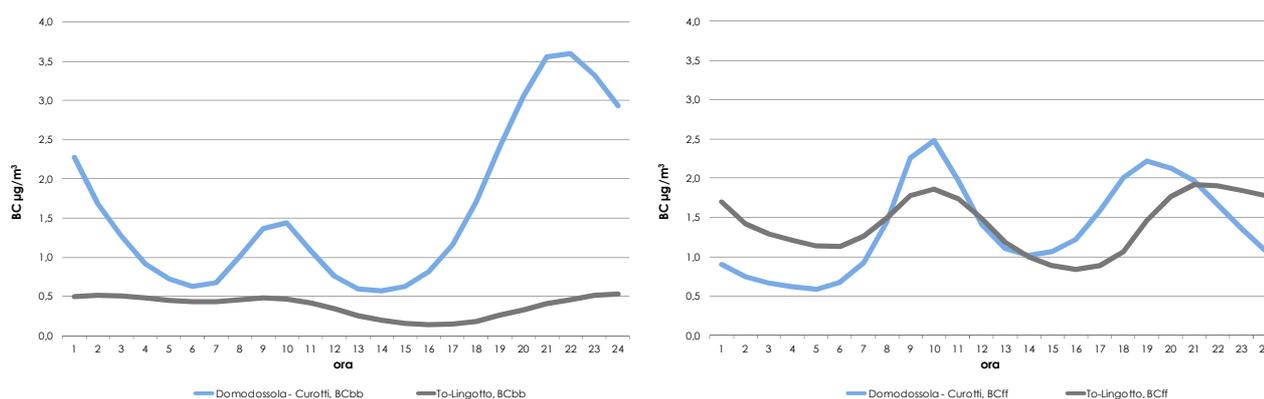


FIGURA 35: andamento del giorno medio per il BC da combustione di biomasse (sinistra) e per il BC da combustione di combustibili fossili (destra) nel periodo ottobre 2019 – marzo 2020.

¹⁸ Sandradewi, J. et al., (2008) Using Aerosol Light Absorption Measurements for the Quantitative Determination of Wood Burning and Traffic Emission Contributions to Particulate Matter, Environ. Sci. Technol. 42, 3316–3323

¹⁹ Sacco M. et al, (2019) Caratterizzazione della componente carboniosa del particolato aero-disperso in un sito di fondo urbano torinese, Atti VII Convegno Nazionale Il controllo degli agenti fisici - Monitoraggio ambientale: dalla produzione all'analisi del dato, Arpa Piemonte in collaborazione con AIRP (Associazione Italiana di Radioprotezione)

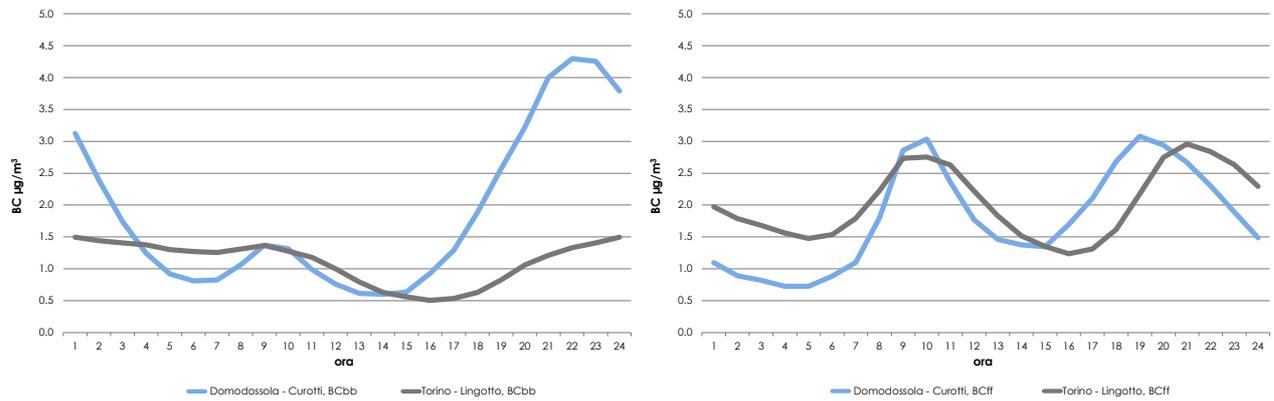


FIGURA 36: andamento del giorno medio per il BC da combustione di biomasse (sinistra) e per il BC da combustione di combustibili fossili (destra) nel periodo ottobre 2020 – marzo 2021.

Dalla FIGURA 37 alla FIGURA 40 è possibile confrontare l'andamento mensile del BC da combustione di biomassa (BCbb) e da combustione di combustibili fossili (BCff) da luglio 2018 a marzo 2021. Interessante il confronto nella variazione dei parametri misurati nei tre inverni (Tabella 4), infatti, se nel caso di Torino-Lingotto il PM10 varia poco, nel caso di Domodossola questo è in crescita; il BC dell'inverno 2020-21 è più alto degli inverni precedenti per entrambe le stazioni, sia nella componente da combustibili fossili che nella componente da combustione di biomassa, per quest'ultima soprattutto a Torino, dove le concentrazioni sono 2,5 volte quelle dell'anno precedente. Si può quindi ipotizzare una sostanziale costanza nell'utilizzo di biomasse combustibili a Domodossola, mentre a Torino un suo aumento.

Tale affermazione può trovare conferma dall'analisi delle temperature e delle precipitazioni.

Per entrambe le stazioni la piovosità è stata inferiore nell'inverno 2020-2021 rispetto a quello precedente, con un deficit pluviometrico di 379 mm a Domodossola e 265 mm a Torino. I fenomeni piovosi si sono verificati soprattutto nei mesi di ottobre e dicembre a Domodossola, a ottobre e gennaio a Torino. L'inverno 2020-2021 di Domodossola ha registrato temperature medie leggermente inferiori a quello 2019-2020 (6,2°C contro 6,9°C), così come le medie dei massimi giornalieri (12,2°C contro 13°C). A Torino le temperature medie invece sono scese maggiormente (8,5°C contro 9,4°C), in particolare da fine novembre a metà febbraio. Questo può aver influito su un maggior utilizzo del combustibile legnoso a Torino e circondario, ricordando che le concentrazioni misurate in una stazione dipendono anche da sorgenti esterne alla città di Torino.

| | media inverno 2018-2019 | | media inverno 2019-2020 | | media inverno 2020-2021 | |
|---|----------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| | To-Lingotto | Domodossola Curotti | To-Lingotto | Domodossola Curotti | To-Lingotto | Domodossola Curotti |
| PM10 (µg/m³) | 40 | 24 | 39 | 30 | 40 | 33 |
| BC (µg/m³) | 2,63 | 3,28 | 1,79 | 2,96 | 3,12 | 3,63 |
| Stima % BC da combustione di biomassa | 23% | 46% | 21% | 51% | 35% | 48% |
| BCbb (µg/m³) | 0,71 | 1,69 | 0,44 | 1,71 | 1,11 | 1,97 |
| BCff (µg/m³) | 1,92 | 1,52 | 1,34 | 1,25 | 1,97 | 1,65 |

TABELLA 22: medie e variazioni percentuali degli inquinanti inverno 2018-2019 , 2019-2020 e 2020-2021.

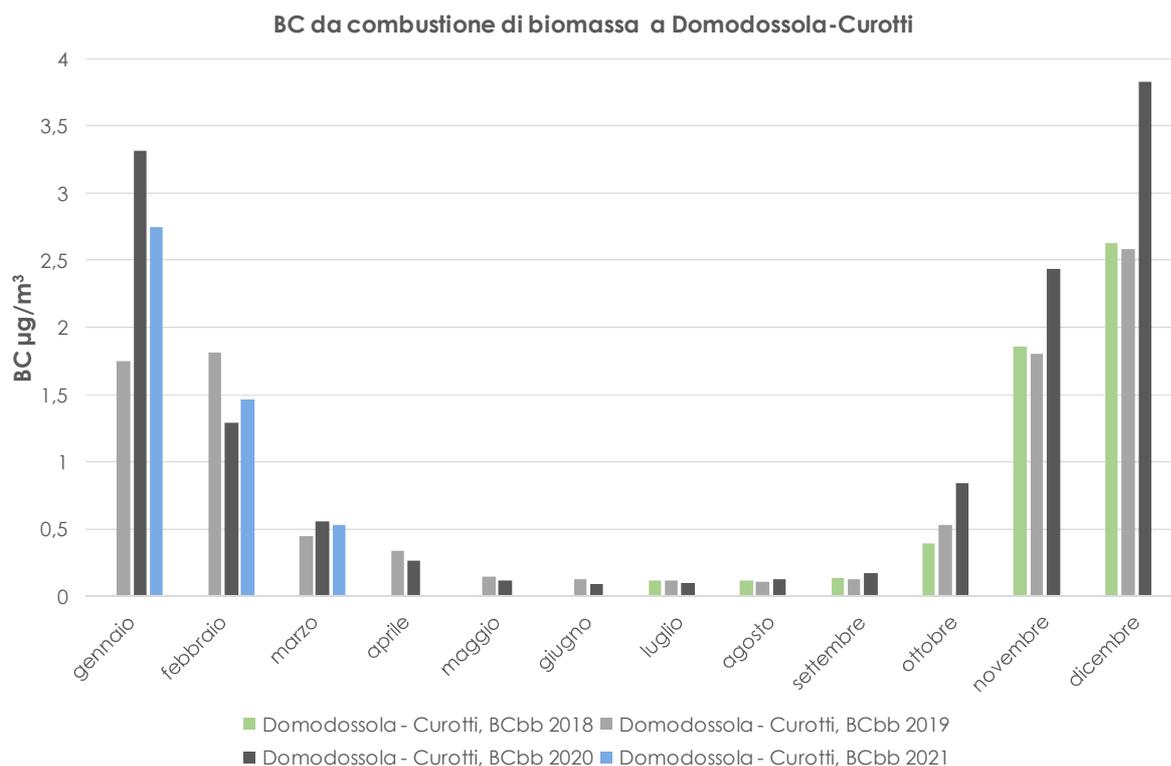


FIGURA 37: andamento del BC da combustione di biomassa a Domodossola-Curotti.

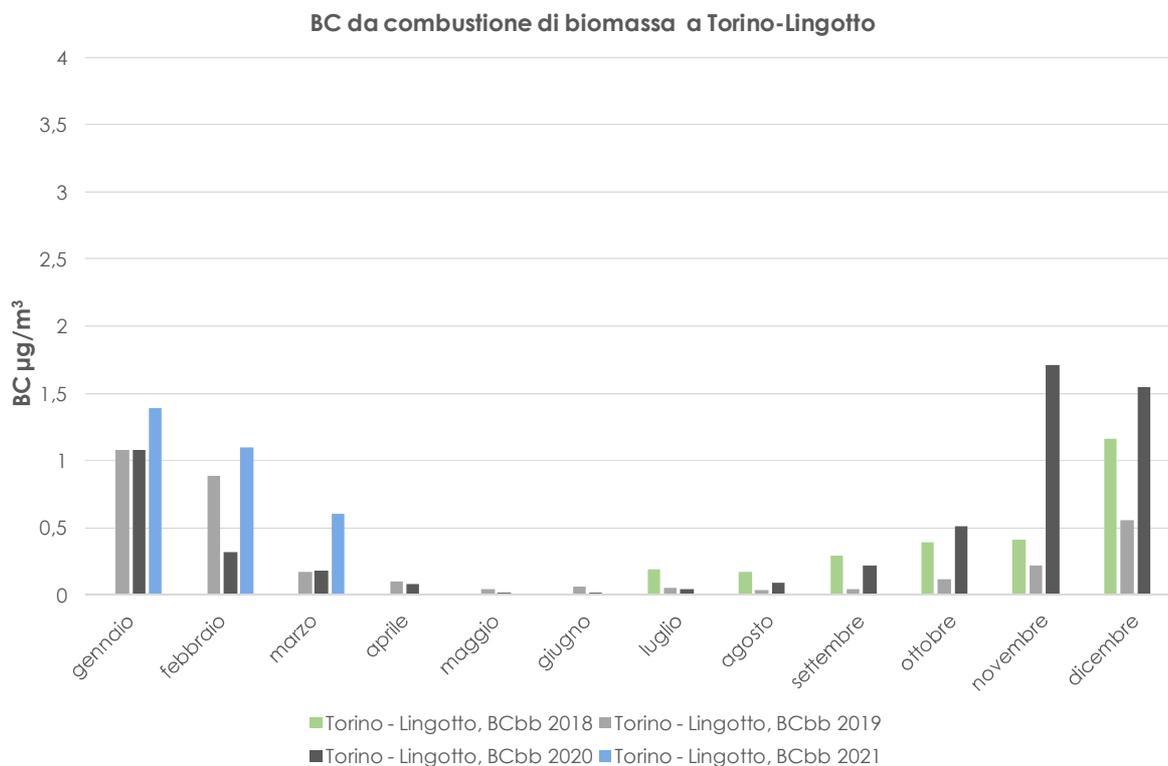


FIGURA 38: andamento del BC da combustione di biomassa a Torino-Lingotto.

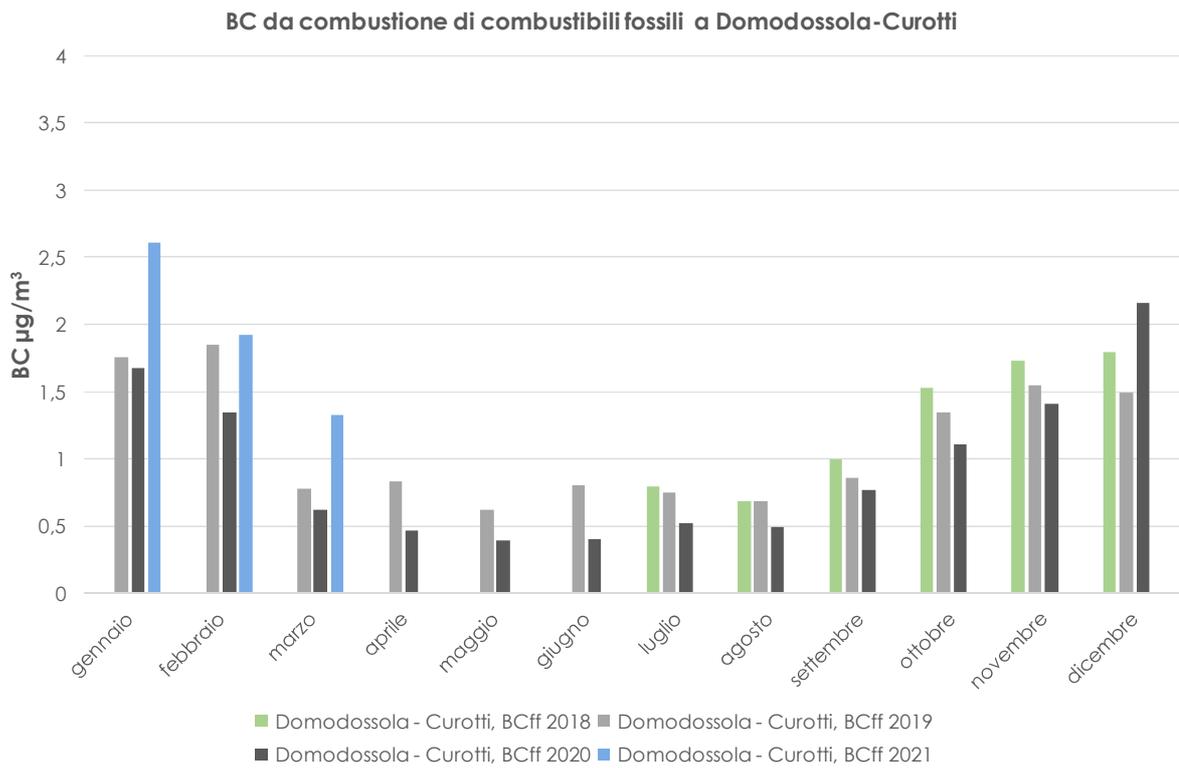


FIGURA 39: andamento del BC da combustione di combustibili fossili a Domodossola-Curotti.

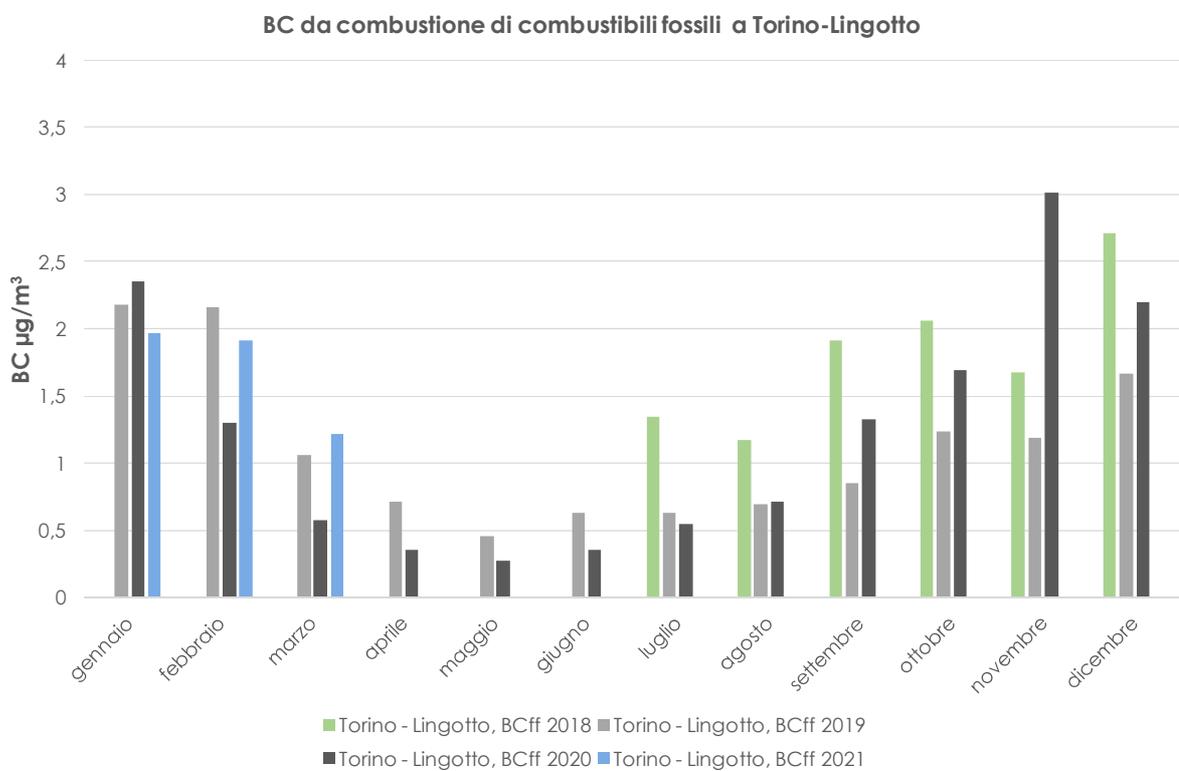


FIGURA 40: andamento del BC da combustione di combustibili fossili a Torino-Lingotto.

STUDIO DELLA CONCENTRAZIONE NUMERICA DI PARTICELLE ULTRAFINI

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

Milena Sacco, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.

INTRODUZIONE

Cos'è il particolato? Gli studi europei ed internazionali da anni stanno cercando di indagare sulla composizione e sulla dimensione di questo complesso inquinante, che è in realtà una somma di sostanze e presenta varie forme e dimensioni. L'eterogeneità del particolato e la sua diffusione su area vasta hanno determinato e continuano a determinare l'estrema difficoltà nell'adozione di strumenti politici pianificatori per la diminuzione delle sue concentrazioni in atmosfera ed il raggiungimento degli obiettivi europei.

Gli studi tossicologici hanno osservato effetti attribuibili soprattutto alle polveri ultrafini in relazione alla elevata superficie specifica e alla capacità di penetrare in profondità negli alveoli polmonari e di raggiungere il circolo ematico. Nel nostro paese, ma anche in ambito europeo, sono ancora relativamente pochi gli studi sulla concentrazione numerica di particelle ultrafini in aria ambiente, in particolare se si fa riferimento a campagne di lungo periodo che tengano conto della variabilità stagionale delle condizioni di formazione/rimozione del particolato e della conseguente variabilità delle condizioni di esposizione della popolazione. La tematica è inoltre di particolare rilevanza in un'area come la conurbazione torinese che è notoriamente una delle più critiche d'Europa in relazione al particolato atmosferico.

Dal 2009 Arpa e la Città Metropolitana di Torino hanno promosso uno specifico progetto di indagine basato su misure di lungo periodo che ha raggiunto i seguenti obiettivi:

- costruire una prima base dati dei valori di concentrazione numerica di particelle ultrafini nell'area urbana di Torino, sulla base di misure di lungo periodo rappresentative delle diverse condizioni meteorologiche. Sono state quindi effettuate misure sia in prossimità del suolo che in quota, in relazione ai fenomeni di confinamento degli inquinanti atmosferici negli strati più bassi della troposfera che sono caratteristici della pianura padana. Le misure in quota sono state condotte da ottobre 2009 a giugno 2012, all'ultimo piano del grattacielo sede della Città Metropolitana di Torino, in Corso Inghilterra 7/9, ad un'altezza di 50 m. Da ottobre 2012 le misure sono condotte al suolo nella stazione di monitoraggio di To-Lingotto;
- confrontare la base dati con analoghe misure effettuate in altre aree urbane italiane ed europee;
- analizzare la correlazione dei dati di concentrazione numerica rilevati con gli inquinanti atmosferici tradizionali e con i principali parametri meteorologici.

Una sintesi dei dati raccolti è stata oggetto di uno specifico capitolo all'interno delle edizioni dal 2009 al 2019 (escluso il 2012) della relazione "Uno sguardo all'aria".

ESAME DEI DATI RELATIVI ALL'ANNO 2020

Lo strumento utilizzato è un Ultrafine Particle Monitor modello 3031 della TSI Incorporated ed è in grado di misurare la concentrazione numerica di particelle da un diametro di 20 nm fino a 1 micron su 6 classi dimensionali (20-30 nm, 30-50 nm, 50-70 nm, 70-100 nm, 100-200 nm, 200-1000 nm). Da ottobre 2012 lo strumento è posto nella stazione di monitoraggio di fondo urbano di To-Lingotto.

In TABELLA 23 sono riportati i valori medi dell'anno 2020, calcolati come media delle medie orarie.

I dati sono assenti dal 6 ottobre fino a fine anno, in quanto lo strumento è stato portato in manutenzione.

Il valore medio del periodo è $6600 \cdot 10^6$ particelle/m³ con massimi giornalieri di $22300 \cdot 10^6$ particelle/m³. I massimi medi giornalieri si sono misurati tutti nel mese di gennaio. Come si può osservare in FIGURA 41 la frazione più rilevante di particelle è quella con diametro compreso tra i 30 e i 50 nm (circa il 25%), mentre la classe numericamente inferiore è quella più grossolana (200-1000 nm), che rappresenta circa il 2% del totale. Complessivamente le particelle ultrafini (al di sotto dei 100 nm) rappresentano l'80 % del totale.

| | 20-30 nm | 30-50 nm | 50-70 nm | 70-100 nm | 100-200 nm | 200-1000 nm | Totale |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| Minima media giornaliera | 416*10 ⁶ | 280*10 ⁶ | 120*10 ⁶ | 80 *10 ⁶ | 40 *10 ⁶ | 4*10 ⁶ | 930*10 ⁶ |
| Massima media giornaliera | 4200*10 ⁶ | 5100*10 ⁶ | 3600*10 ⁶ | 3700*10 ⁶ | 5000*10 ⁶ | 680*10 ⁶ | 22300*10 ⁶ |
| Media delle medie giornaliere | 1400*10 ⁶ | 1700*10 ⁶ | 1200*10 ⁶ | 1100*10 ⁶ | 1200*10 ⁶ | 150*10 ⁶ | 6700*10 ⁶ |
| Giorni validi | 267 | 267 | 267 | 267 | 267 | 267 | |
| Percentuale giorni validi | 73% | 73% | 73% | 73% | 73% | 73% | |
| Media dei valori orari | 1400*10 ⁶ | 1700*10 ⁶ | 1200*10 ⁶ | 1100*10 ⁶ | 1200*10 ⁶ | 150*10 ⁶ | 6600*10 ⁶ |
| Massima media oraria | 25400*10 ⁶ | 27400*10 ⁶ | 11000*10 ⁶ | 6200*10 ⁶ | 8900*10 ⁶ | 1900*10 ⁶ | 81000*10 ⁶ |
| Ore valide | 6533 | 6533 | 6533 | 6533 | 6533 | 6533 | |
| Percentuale ore valide | 74% | 74% | 74% | 74% | 74% | 74% | |
| Distribuzione % rispetto al totale | 21% | 25% | 18% | 17% | 17% | 2% | |

TABELLA 23: elaborazioni statistiche anno 2020.

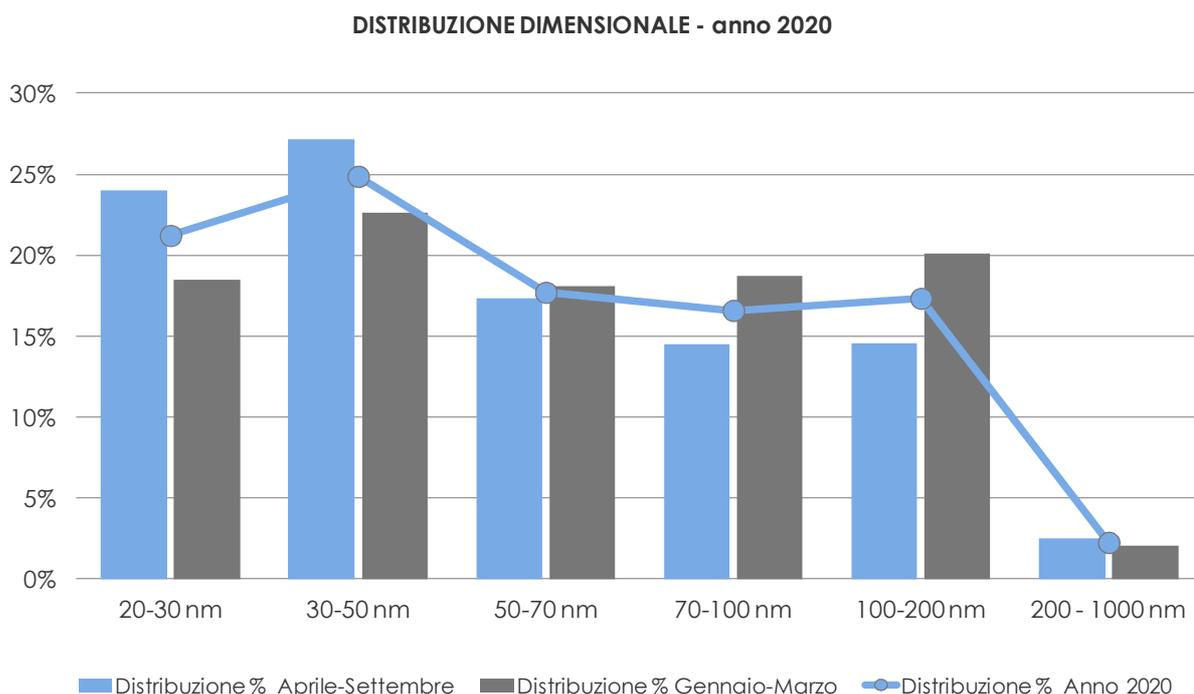


FIGURA 41: distribuzione dimensionale delle particelle - Anno 2020.

Per quanto riguarda i valori assoluti di concentrazione, in assenza di riferimenti normativi può essere utile un confronto con misure condotte in altri siti di fondo urbano europei, che hanno fornito i seguenti risultati (tra parentesi l'intervallo dimensionale di misura dello strumento):

- Barcellona⁵⁵ (5-1000 nm): 17000 * 10⁶ particelle/m³
- Lugano⁵⁶ (7-1000 nm): 15000 * 10⁶ particelle/m³
- Nord Kensington UK² (7-1000 nm): 12000 * 10⁶ particelle/m³
- Roma⁵⁷ (7-1000 nm): 25000 * 10⁶ particelle/m³ (Marconi et al 2007)
- Bologna⁵⁸ (5,6 - 560 nm): 9000 * 10⁶ particelle/m³
- Piacenza⁵⁹ (7nm – 10 µm, strumento identico a quello in esame): 5000-11000 * 10⁶ particelle/m³
- Leicester⁶⁰ (strumento identico a quello in esame): 8000* 10⁶ particelle/m³

⁵⁵ Reche et al, New considerations for PM, Black Carbon e and particle number concentration for air quality monitoring across different European cities, Atmos. Chem. Phys., 11 6207-6227, 2011

⁵⁶ Reche et al, New considerations for PM, Black Carbon e and particle number concentration for air quality monitoring across different European cities, Atmos. Chem. Phys., 11 6207-6227, 2011

⁵⁷ Marconi et al, Two Years of fine and ultrafine particles measurements in Rome, Italy, J Toxicol Environ Health, 70, 213-21, 2007

⁵⁸ Poluzzi Vanes, Ricciardelli Isabella, Ferrari Silvia, Aerosol size distribution: aspetti teorici e primi risultati di monitoraggio effettuati da Arpa Emilia-Romagna, in Qualità dell'Ambiente Urbano VII Rapporto Annuale -Focus su La Qualità dell'Aria, 2011, ISPRA

⁵⁹ Ozgen S., Lonati G., Progetto UPUPA: i rilevamenti ambientali, Convegno Progetto UPUPA, Piacenza, 22/1/2014

⁶⁰ Progetto INTERREG North-West Europe Joaquin, Ultrafine particles in Joaquin cities, www.joaquin.eu

- Londra⁶ (strumento identico a quello in esame): $8000 \cdot 10^6$ particelle/m³
- Anversa⁶¹ (strumento identico a quello in esame): $8000 \cdot 10^6$ particelle/m³ (stazione suburbana), $11000 \cdot 10^6$ particelle/m³ (stazione in parco pubblico)
- Dresda⁶² (10-100 nm): $4700 \cdot 10^6$ particelle/m³
- Praga⁷(10-100 nm): $8200 \cdot 10^6$ particelle/m³

In Italia la serie storica più completa disponibile in area urbana è quella prodotta presso il sito di misura dell'Istituto Superiore di Sanità di Viale Regina Elena a Roma⁶³ dotata di una apparecchiatura in grado di determinare le particelle di dimensioni tra 7 nm e 10 µm. Il sito in questione è caratterizzato da un traffico veicolare più elevato di quello del sito di Torino (dell'ordine di 25.000 veicoli/giorno). Il dato relativo al 2006 è dell'ordine di $30.000 \cdot 10^6$ particelle/m³ e quindi circa quattro volte maggiore nel sito di viale Augusto Monti.

Analizzando le medie per classe dimensionale per i tre periodi "estivo" (aprile-settembre) ed "invernale" (trimestre da gennaio a marzo, nell'ultimo trimestre lo strumento è stato assente), osservabili in FIGURA 42, si evidenzia la differenza tra i due periodi. A partire dalle dimensioni di 50 nm i valori invernali ed estivi si allontanano sempre più tra di loro (i valori del trimestre gennaio-marzo arrivano ad essere tre volte quelli estivi per le particelle tra i 100 e i 200 nm). Sembra pertanto che in periodo invernale sia favorita l'agglomerazione delle particelle in particelle più grandi (soprattutto nell'intervallo 70-100 e 100-200 nm) e la condensazione di gas semivolatili su particelle preesistenti; inoltre si deve ricordare che nel periodo invernale si aggiungono alle usuali fonti di traffico anche il riscaldamento civile ed industriale. Questi ultimi oltre ad essere emettitori diretti di particolato, sono sorgenti di inquinanti quali ossidi di azoto e zolfo, i quali nelle condizioni atmosferiche tipiche dell'inverno in pianura padana danno origine a nitrato e solfato d'ammonio in fase particolata.

Nel 2020 il mese in cui le particelle di dimensioni superiori ai 100 nm hanno rappresentato la maggioranza rispetto al totale è stato gennaio.

A livello annuale la variabilità del corso della giornata è più ampia per le classi dai 20 ai 200 nm rispetto alle classi con dimensioni maggiori di 200 nm, che presentano un andamento più costante, in accordo con altri dati in letteratura⁶⁴.

In estate si evidenzia un andamento con un massimo assoluto alle 8 del mattino ed un picco serale meno pronunciato intorno alle 23 (FIGURA 44), che permane fino alle prime ore notturne per tutte le classi, ad eccezione della classe superiore ai 200 nm, il cui andamento temporale non presenta variazioni significative. La concentrazione diminuisce nell'arco delle ore più calde della giornata, in corrispondenza dell'innalzamento dello strato rimescolato. Come nell'anno precedente, si rileva poco nel giorno medio estivo (aprile-settembre) l'incremento intorno alle ore 15-16 per le particelle dai 20 a 30 nm, che si è sempre verificato nei precedenti anni di monitoraggio, ma si registra soprattutto nei mesi di aprile-maggio-giugno, mentre in agosto si verifica intorno alle 14. Tale picco diurno è imputabile presumibilmente alla formazione di aerosol secondario a seguito di nucleazione per reazioni fotochimiche in atmosfera. Risultati analoghi sono stati ottenuti a San Vittore del Lazio⁶⁵. La forte radiazione solare rende disponibile il radicale ossidrilico OH che ossida l'SO₂ disponibile ad acido solforico, che porta poi alla formazione di particolato. Tale incremento normalmente si ha in corrispondenza del minimo di umidità relativa e con un paio d'ore di ritardo rispetto al massimo di radiazione solare (in FIGURA 43 è riportato la media di radiazione e UR del periodo aprile-settembre).

La variabilità delle concentrazioni è molto più ampia nel periodo invernale piuttosto che quello estivo ed aumenta in generale con la diminuzione della dimensione delle particelle. Mentre in estate i rapporti massimo/minimo hanno valori compresi tra 1,3 e 1,8, in inverno variano da 1,4 per le particelle maggiori di 200 nm a 3,2 per le particelle di dimensione 20-30 nm. In inverno il picco

⁶¹ Progetto INTERREG North-West Europe Joaquin, Intra-urban variability of ultrafine particles in Antwerp (February and October 2013), VMM (2014)

⁶² Handbook UFIREG Project, www.ufireg-central.eu

⁶³ Marconi et al. - Livelli di materiale particolato ultrafine nell'atmosfera e la loro relazione con il traffico auto veicolare, Atti del Seminario "Le emissioni industriali e le immissioni- I nuovi problemi posti dalle particelle ultrafini - Rimini 2007

⁶⁴ Aalto, Hameri et al., Aerosol particle number concentration measurements in five European cities using TSI-3022 condensation particle counter over a three-year period during health effects of air pollution on susceptible subpopulations", J Air Waste Manag Assoc. 2005 Aug;55(8):1064-76.

⁶⁵ Buonanno, Fuoco, Stabile, Viola, La misura dell'esposizione alle polveri aerodisperse: dal PM10 alle nano particelle, 2011, Libellula Edizioni

serale si presenta leggermente più pronunciato rispetto a quello mattutino per le particelle al di sopra dei 70 nm, per le quali mediamente i valori notturni sono superiori a quelli diurni (FIGURA 44).

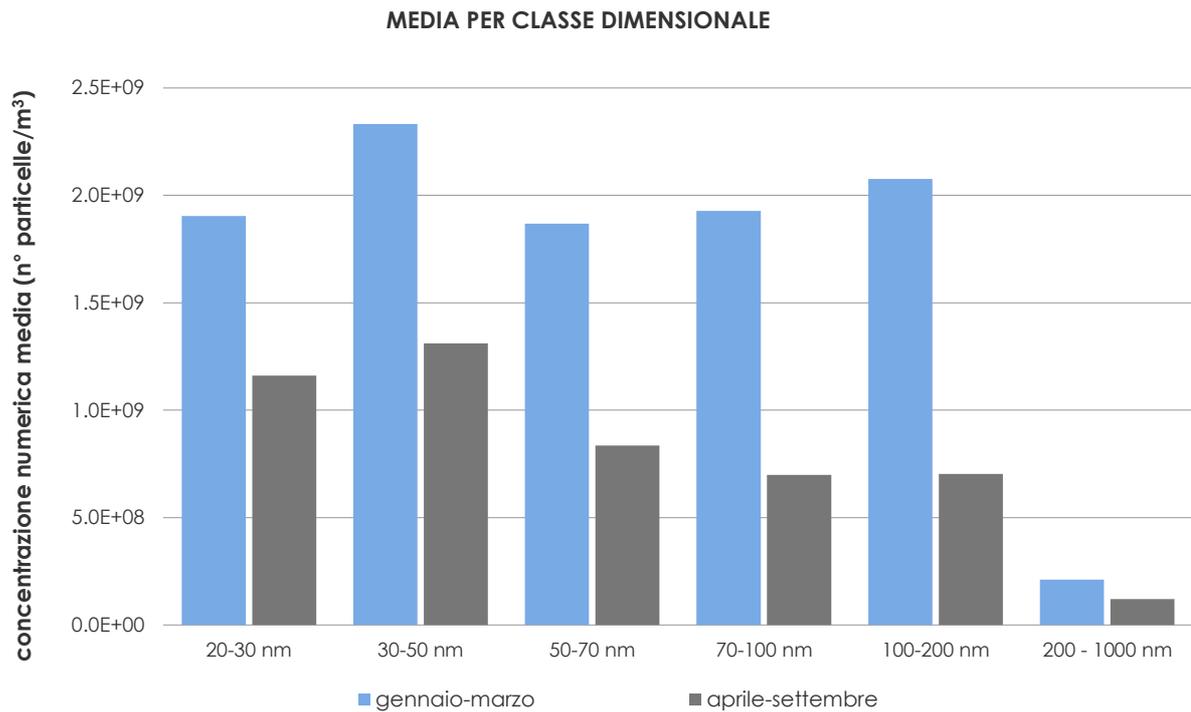


FIGURA 42: media per classe dimensionale.

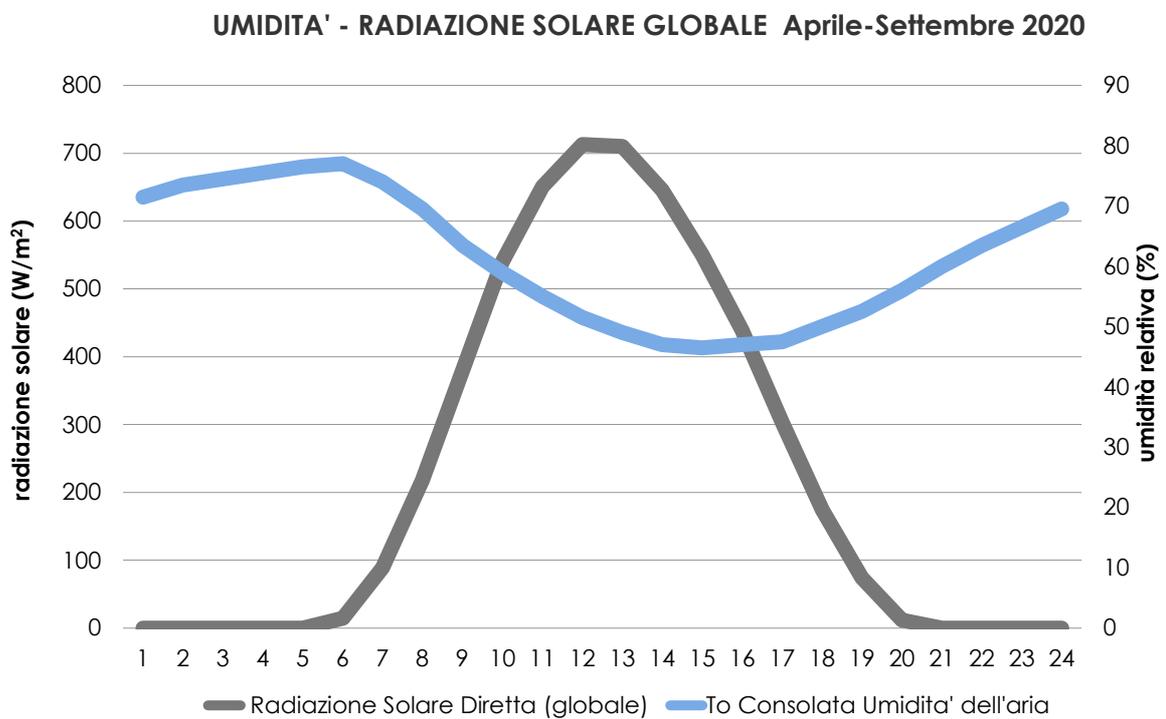


FIGURA 43: giorno medio Umidità relativa e radiazione solare – Aprile-Settembre 2020.

A tale proposito si può ipotizzare che il fenomeno sia determinato dalla coagulazione delle particelle più fini in particelle di maggiori dimensioni e dalla condensazione di gas semivolatili, a causa della stabilità notturna e della minore temperatura, oltreché della maggiore umidità relativa. Quest'ultima favorisce le reazioni acquose in fase eterogenea, dando origine a formazione secondaria di nitrato e solfato d'ammonio⁶⁶.

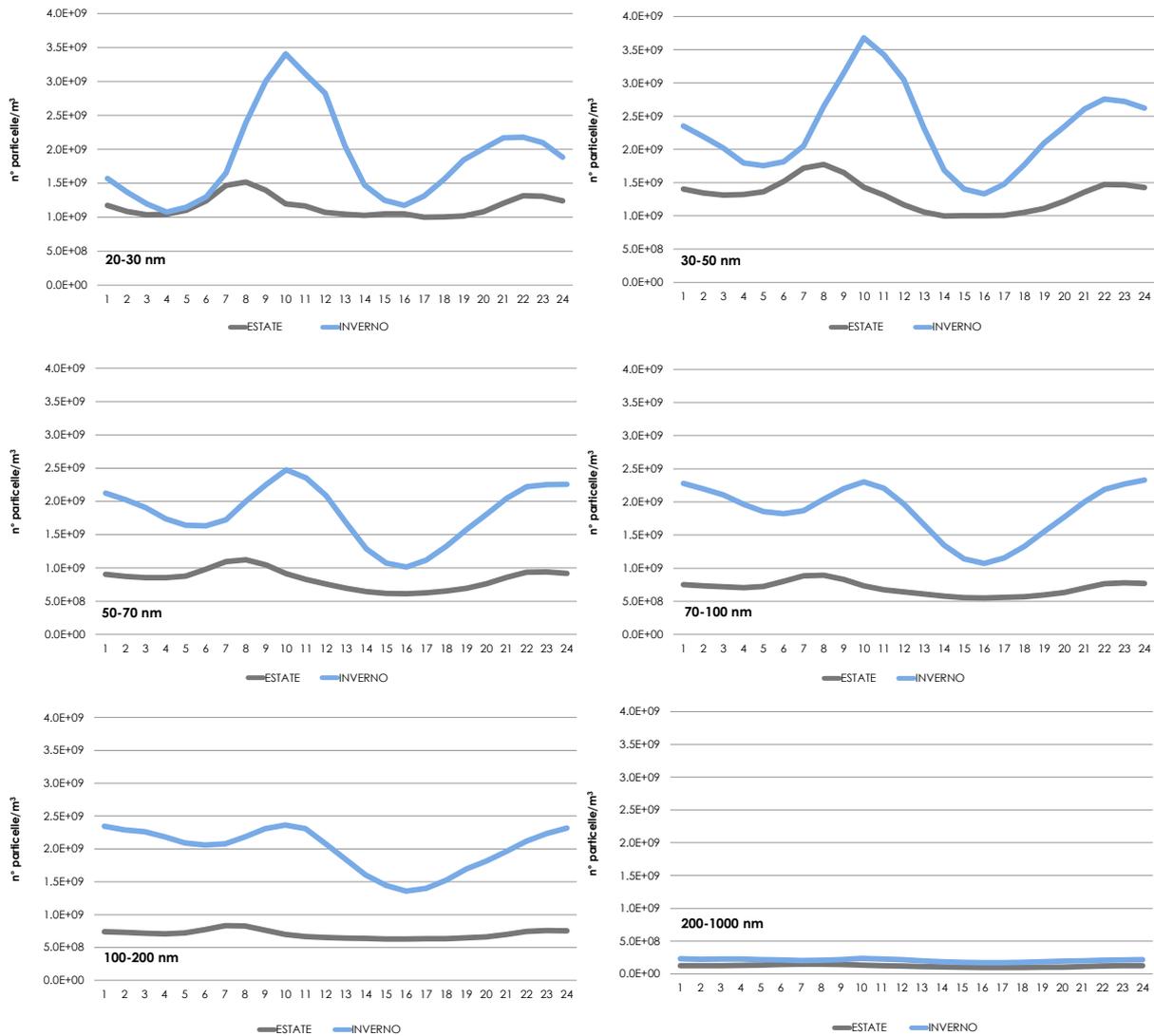


FIGURA 44: andamento giorno medio, confronto per classe dimensionale.

Per quanto riguarda gli andamenti di lungo periodo, in FIGURA 45 è rappresentato l'andamento delle concentrazioni medie mensili totali di particelle relative all'anno 2020.

Si osserva che i massimi assoluti si collocano nel periodo invernale, come per le concentrazioni in massa di PM10 e PM2,5. Per le particelle inferiori ai 50 nm, però, la differenza tra concentrazioni estive ed invernali è più bassa, mentre a partire dai 70 nm ed in particolare per la frazione 100-200 nm aumenta la differenza tra le concentrazioni, che segue l'andamento del PM2,5. La frazione 100-200 nm è quindi quella che maggiormente contribuisce alla massa del particolato ed aumenta in maniera significativa nel periodo invernale quando si incrementano le emissioni in atmosfera ma anche l'aggregazione/condensazione delle frazioni più fini in frazioni più grossolane.

Per quanto riguarda la correlazione con gli altri inquinanti misurati nelle stazioni al suolo, l'elaborazione statistica dei dati a livello di medie giornaliere è stata effettuata separatamente per

⁶⁶ Wang et al, The secondary formation of inorganic aerosols in the droplet mode through heterogeneous aqueous reactions under haze conditions., Atmospheric Environment 63 (2012) 68-76

il periodo aprile-settembre (periodo detto "estivo") e gennaio-marzo + ottobre (periodo "invernale").

In estate (TABELLA 24) la correlazione con gli altri inquinanti misurati presso la stessa stazione è in generale scarsa, soprattutto con inquinanti primari come il monossido di azoto e il benzene. Sono invece ben correlate le concentrazioni di PM10 e PM2,5 al suolo con le particelle superiori ai 100 nm, che hanno una maggiore massa rispetto alle particelle più fini. Discreta la correlazione del black carbon con le particelle superiori ai 100 nm.

ANDAMENTO MEDIE MENSILI - Anno 2020

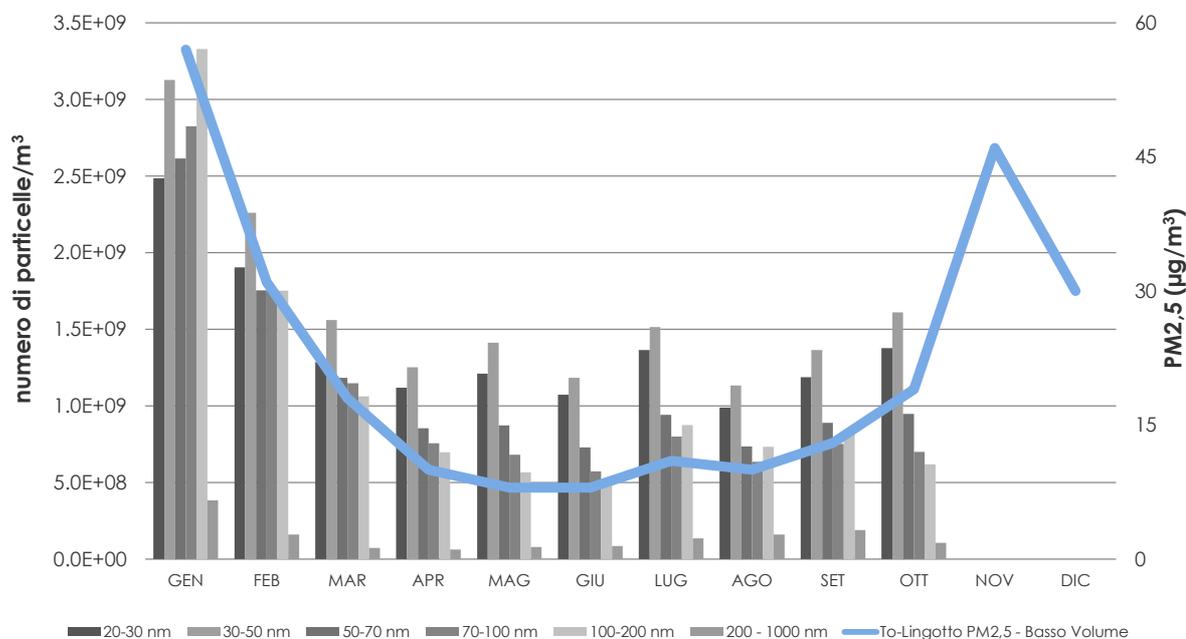


FIGURA 45: medie mensili del numero di particelle.

Nel periodo più freddo invece, come riportato in TABELLA 25, la correlazione delle particelle più fini è buona anche con gli inquinanti di origine primaria, come il monossido di azoto e il black carbon. Una possibile spiegazione è legata al fatto che la maggiore stabilità atmosferica e la maggiore frequenza di episodi di inversione termica fa sì che gli inquinanti si accumulino in maniera più omogenea negli strati atmosferici prossimi al suolo. La correlazione tra PM10 e PM2,5 al suolo e le particelle superiori ai 100 nm è ottima, con coefficienti superiori a 0,9. Le particelle con dimensione inferiore ai 50 nm invece risultano scarsamente o per nulla correlate con la concentrazione di PM10, PM2,5. Dalla fine del 2016 nella stazione di To-Lingotto si è iniziato a misurare l'ammoniaca (NH₃), precursore del particolato soprattutto in periodo invernale, in quanto contribuisce alla formazione di solfato e nitrato d'ammonio. La correlazione con il numero di particelle è molto scarsa in periodo estivo, ma molto buona in periodo invernale per le particelle maggiori di 50 nm.

| R di Pearson | 20-30 nm | 30-50 nm | 50-70 nm | 70-100 nm | 100-200 nm | 200-1000 nm |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|-----------|------------|-------------|
| To-Lingotto, PM10 - Basso Volume | -0,14 | -0,10 | 0,08 | 0,32 | 0,70 | 0,76 |
| To-Lingotto, PM2,5 - Basso Volume | -0,11 | -0,10 | 0,04 | 0,25 | 0,68 | 0,78 |
| To-Lingotto, O ₃ | -0,14 | -0,13 | -0,01 | 0,17 | 0,36 | 0,18 |
| To-Lingotto, NO | 0,16 | 0,19 | 0,24 | 0,24 | 0,16 | 0,18 |
| To-Lingotto, NO ₂ | 0,18 | 0,25 | 0,40 | 0,47 | 0,41 | 0,34 |
| To-Lingotto, Benzene | 0,23 | 0,24 | 0,27 | 0,24 | 0,10 | 0,10 |
| To-Lingotto, NH ₃ | -0,20 | -0,14 | 0,01 | 0,16 | 0,32 | 0,34 |
| To-Lingotto, Black carbon | 0,02 | 0,05 | 0,14 | 0,25 | 0,50 | 0,73 |

TABELLA 24: correlazioni con i principali parametri chimici nel periodo aprile-settembre 2020.

| R di Pearson | 20-30 nm | 30-50 nm | 50-70 nm | 70-100 nm | 100-200 nm | 200-1000 nm |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|-----------|------------|-------------|
| To-Lingotto, PM10 - Basso Volume | 0,58 | 0,68 | 0,80 | 0,87 | 0,93 | 0,91 |
| To-Lingotto, PM2,5 - Basso Volume | 0,58 | 0,69 | 0,81 | 0,87 | 0,93 | 0,92 |
| To-Lingotto, O ₃ | -0,73 | -0,83 | -0,88 | -0,87 | -0,82 | -0,75 |
| To-Lingotto, NO | 0,76 | 0,82 | 0,86 | 0,87 | 0,89 | 0,86 |
| To-Lingotto, NO ₂ | 0,79 | 0,84 | 0,88 | 0,87 | 0,80 | 0,68 |
| To-Lingotto, Benzene (*) | - | - | - | - | - | - |
| To-Lingotto, NH ₃ | 0,75 | 0,83 | 0,91 | 0,94 | 0,92 | 0,80 |
| To-Lingotto, Black carbon | 0,74 | 0,81 | 0,88 | 0,91 | 0,95 | 0,91 |

TABELLA 25: correlazioni con i principali parametri chimici nel periodo gennaio-marzo + ottobre 2020. (*) Per il benzene non è stato possibile calcolare la correlazione per il suo insufficiente numero di dati.

ANALISI DELLA SERIE STORICA

Il monitoraggio è stato condotto in quota (a 50 m) da ottobre 2009 fino a luglio 2012. In FIGURA 46 si evidenzia l'andamento dal 2010 al 2020, escludendo il 2009 in quanto sono stati misurati solo dati invernali. La concentrazione numerica delle particelle è stata messa a confronto con la media del PM2,5 nello stesso periodo di monitoraggio. Il 2010, il 2014, il 2016, il 2018 e il 2019 sono stati caratterizzati da una meteorologia molto favorevole alla dispersione delle polveri PM10-PM2,5, in quanto sono stati rilevanti i fenomeni di precipitazione in termini di mm di pioggia caduti e numero di giorni piovosi. In particolare, il 2014 ed il 2016 hanno registrato il superamento del valore limite annuale del PM10 esclusivamente nella stazione di To-Grassi in tutto il territorio provinciale, fenomeno mai avvenuto in precedenza; il 2018 e il 2019 sono stati ancora migliori in quanto nessuna stazione provinciale ha superato il limite annuale. Nel 2020 il numero di giorni favorevoli all'accumulo è stato il valore più elevato degli ultimi cinque anni, con le maggiori criticità nei mesi di gennaio e novembre. Nella FIGURA 46 si può vedere che negli ultimi sette anni l'andamento numerico delle particelle e del PM2,5 appare maggiormente correlato ed in decremento. Si tenga presente che nel 2020 lo strumento ha funzionato fino al 5 ottobre quindi la media del PM2,5 è stata calcolata sul periodo 1/1-5/10. L'andamento dei due parametri nei primi quattro anni di monitoraggio invece appare non correlato.

Scendendo nel dettaglio della distribuzione del numero di particelle per classe dimensionale (FIGURA 47), si osserva che nel 2010 è stata molto maggiore la presenza di particelle nelle classi più fini (dai 20 ai 50 nm sono il 65% del totale) rispetto a quelle più grandi a confronto con i valori registrati negli anni successivi dal 2011 al 2013, che si attestano al 25% rispetto al totale delle particelle. Nel settennio 2014-2020 aumenta nuovamente la percentuale delle particelle sotto i 50 nm, che raggiungono il 37 % del totale. Queste differenze, più che essere specifiche del sito di misura, sembrano maggiormente attribuibili alle caratteristiche meteorologiche verificatesi negli anni in esame, in quanto lo strumento è rimasto in quota a 50 m dal 2009 al 2012 e solo nel 2013 è stato spostato al suolo. Inoltre, a supporto di tale ipotesi, nel 2010 in periodo invernale sono state confrontate misure di PM2,5 in quota e al suolo dalle quali è emerso come l'andamento e i valori assoluti siano molto simili, per cui si può ipotizzare che queste altezze stiano all'interno dello strato rimescolato e quindi non ci siano notevoli differenze.

In alcuni casi, come negli anni 2010 e 2014, la maggiore presenza in percentuale di particelle più fini potrebbe essere attribuita proprio alle alte precipitazioni che si sono verificate, poiché la pioggia abbatte in maniera più efficace le particelle di dimensioni maggiori, come già evidenziato nel 2013 (vedasi in Sguardo all'aria 2013 il capitolo "Studio della concentrazione numerica di particelle ultrafini nell'area metropolitana torinese – Risultati Anno 2013 e confronto con misure in quota"). Allora si è valutato complessivamente che le precipitazioni avevano ridotto le concentrazioni numeriche di circa il 20% per la classe più fine (20-30 nm), mentre per la classe di maggiori dimensioni (200-1000 nm) l'abbattimento arrivava al 50%. L'anno 2015 è stato anomalo, in quanto nei primi dieci mesi dell'anno le precipitazioni sono assolutamente confrontabili con quelle verificatesi nel 2014 (903 contro 859 mm di pioggia del 2014), ma nel novembre-dicembre a Torino non è piovuto, pertanto nelle statistiche complessive il 2015 risulta in deficit pluviometrico rispetto alla norma 1971-2000. Il numero di particelle sotto i 50 nm nel 2015 è il 34%, quindi molto simile al 35% del 2014. Il 2016 è stato più piovoso rispetto all'anno precedente, sia in termini di precipitazioni totali, sia in termini di numero di giorni piovosi (il mese con meno precipitazioni è risultato gennaio, con un solo giorno di pioggia); in questo caso il numero di particelle sotto i 50 nm è aumentato rispetto al 2015, confermando la giustificazione riguardo la maggiore efficacia di abbattimento

delle particelle più grandi da parte della pioggia. Nel 2017 le precipitazioni sono state le più scarse dal 2010, ma sono aumentate le particelle sotto i 50 nm, che hanno rappresentato il 41 % del totale. L'andamento quindi è in contrasto con quanto appena illustrato, ma si deve considerare l'anomalia del periodo ottobre-dicembre, nel quale il numero di particelle è notevolmente aumentato rispetto ai mesi precedenti. Il numero di particelle del quarto trimestre 2017 ha rappresentato circa il 41% delle particelle misurate nell'anno, fenomeno che si può ricondurre anche alla presenza degli incendi in Piemonte nel mese di ottobre.

Nel 2018 le precipitazioni sono state abbondanti, il numero di particelle sotto i 50 nm ha rappresentato il 42% del totale, la percentuale più alta dietro il 2010, quando il numero di particelle più fini è stato il 65%. Nel 2019 le precipitazioni sono state le più abbondanti dopo il 2010, ma con un numero di giorni piovosi inferiore sia al 2010 che al 2018, il numero di particelle sotto i 50 nm rappresenta il 37% del totale. Nel 2020 la percentuale scende al 35%, con un numero di giorni piovosi e precipitazioni inferiore all'anno precedente.

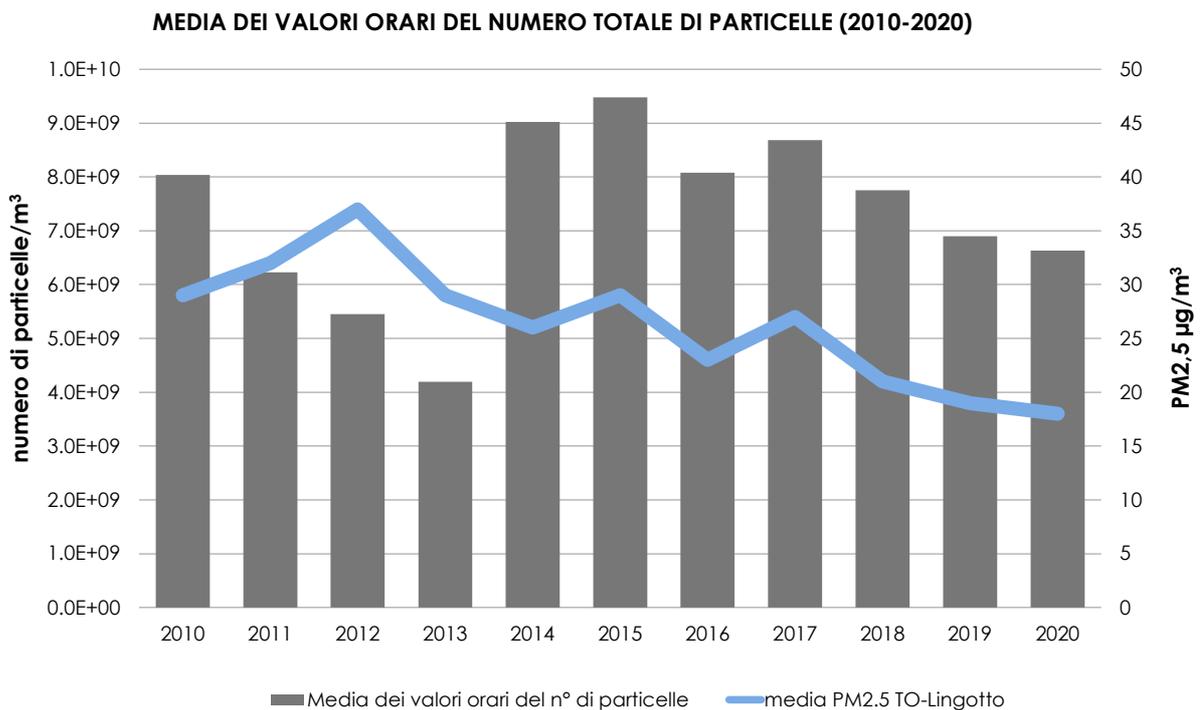


FIGURA 46: andamento dei valori medi annuali del numero di particelle e del PM2,5 dal 2010 al 2020.

DISTRIBUZIONE PERCENTUALE RISPETTO AL TOTALE

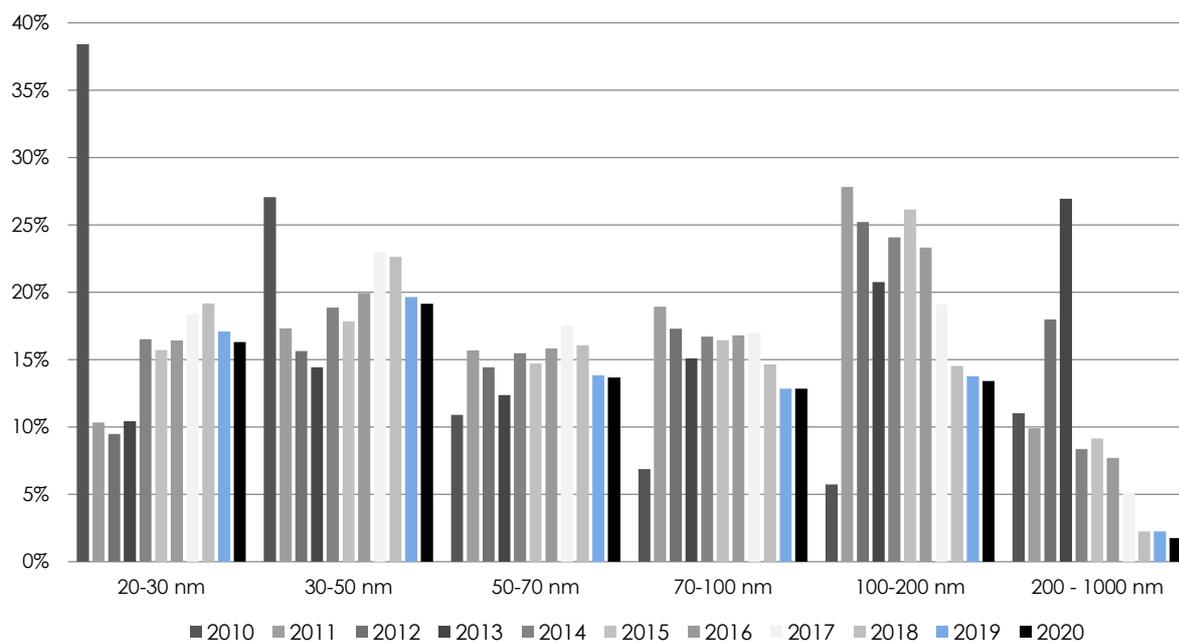


FIGURA 47: andamento della distribuzione percentuale nelle varie classi del numero di particelle.

CONCLUSIONI

Vi è una buona correlazione di lungo periodo con le misure in massa di PM10-PM2,5 effettuate nella stessa stazione soltanto per le particelle superiori ai 100 nm, mentre non si presenta correlazione significativa con le particelle di dimensioni più fini. L'andamento temporale di lungo periodo delle medie mensili, da un punto di vista qualitativo, presenta analogie con l'andamento del PM10-PM2,5 per le particelle superiori ai 50 nm.

Incrementi notevoli nel numero totale di particelle possono verificarsi in corrispondenza di diverse condizioni meteorologiche:

- quando si verificano periodi di almeno due-tre giorni consecutivi di stabilità atmosferica in condizioni di alta pressione, bassa temperatura ed inversione termica al suolo (tipicamente le giornate assolate invernali). In questo caso l'aumento nel numero di particelle avviene per tutte le classi dimensionali tranne quella più fine (20-30 nm), che mantiene valori molto più costanti;
- in presenza di giornate con umidità persistente, bassa temperatura ed in condizioni di cielo coperto (ad esempio in giorni di nebbia). Questa situazione favorisce la formazione delle particelle più grandi (100-1000 nm) per le reazioni acquose in fase eterogenea, che danno origine a nitrato e solfato d'ammonio;
- nelle giornate di alta radiazione e bassa umidità relativa (tipicamente giornate estive assolate e senza nubi), nelle quali si innalzano le particelle più fini (20-30 nm), in conseguenza alla nucleazione di nuove particelle attraverso processi di natura fotochimica.

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

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

S. Possamai, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.

DESCRIZIONE

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

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

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

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

I policlorobifenili (PCB) sono composti chimici molto stabili, resistenti ad acidi e alcali e alla fotodegradazione, non sono ossidabili, non attaccano i metalli, sono poco solubili in acqua, ma lo sono nei grassi e nei solventi organici. Non sono infiammabili, evaporano a temperature comprese fra 170-380 °C e si decompongono solo oltre i 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) ¹ | WHO-TEF (WHO, 2005) ² |
|--------------------------------------|---|-------------------------------------|
| 2,3,7,8 TETRA-CDD | 1 | 1 |
| 1,2,3,7,8 PENTA-CDD | 0,5 | 1 |
| 1,2,3,4,7,8 ESA-CDD | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,6,7,8 ESA-CDD | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,7,8,9 ESA-CDD | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,4,6,7,8 EPTA-CDD | 0,01 | 0,01 |
| OCTA-CDD | 0,001 | 0,0003 |
| 2,3,7,8 TETRA-CDF | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,7,8 PENTA-CDF | 0,05 | 0,03 |
| 2,3,4,7,8 PENTA-CDF | 0,5 | 0,3 |
| 1,2,3,4,7,8 ESA-CDF | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,6,7,8 ESA-CDF | 0,1 | 0,1 |
| 2,3,4,6,7,8 ESA-CDF | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,7,8,9 ESA-CDF | 0,1 | 0,1 |
| 1,2,3,4,6,7,8 EPTA-CDF | 0,01 | 0,01 |
| 1,2,3,4,7,8,9 EPTA-CDF | 0,01 | 0,01 |
| OCTA-CDF | 0,001 | 0,0003 |
| PCB | | WHO-TE (WHO, 2005) |
| 3,3',4,4' TETRA-CB (IUPAC 77) | | 0,0001 |
| 3,4,4',5 TETRA-CB (IUPAC 81) | | 0,0003 |
| 3,3',4,4',5 PENTA-CB (IUPAC 126) | | 0,1 |
| 3,3',4,4',5,5' ESA-CB (IUPAC 169) | | 0,03 |
| 2,3,3',4,4' PENTA-CB (IUPAC 105) | | 0,00003 |
| 2,3,4,4',5 PENTA-CB (IUPAC 114) | | 0,00003 |
| 2,3',4,4',5 PENTA-CB (IUPAC 118) | | 0,00003 |
| 2',3,4,4',5 PENTA-CB (IUPAC 123) | | 0,00003 |
| 2,3,3',4,4',5 ESA-CB (IUPAC 156) | | 0,00003 |
| 2,3,3',4,4',5' ESA-CB (IUPAC 157) | | 0,00003 |
| 2,3',4,4',5,5' ESA-CB (IUPAC 167) | | 0,00003 |
| 2,3,3',4,4',5,5' EPTA-CB (IUPAC 189) | | 0,00003 |

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

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

TABELLA 26 : fattori di Tossicità Equivalente.

Il monitoraggio dei microinquinanti organici negli aeriformi viene realizzato con:

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

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

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

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

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



FIGURA 48: moduli di campionamento.

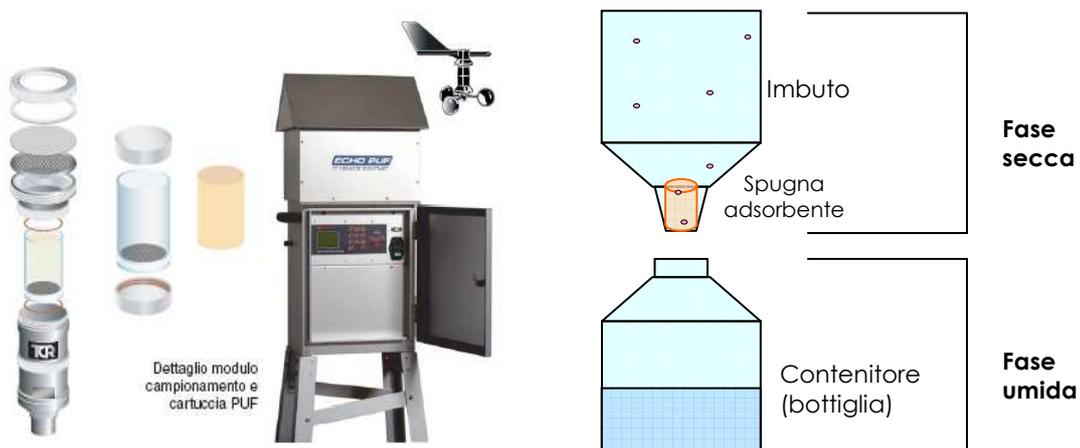


FIGURA 49: campionatore echo puf e deposimetro per la raccolta delle deposizioni secche e umide.

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/m³.

Le suddette linee guida individuano anche dei valori obiettivo di lungo periodo per il controllo dell'inquinamento atmosferico, con particolare attenzione alla valutazione degli inquinanti atmosferici cancerogeni in aria ambiente, e stabiliscono per la sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like, espressa con i fattori di tossicità WHO 2005, il valore di 150 fg WHO-TEQ/m³. Non sono reperibili valori guida o di riferimento per i PCB totali.

Nella TABELLA 27 e nella FIGURA 50 sono riportate le medie annuali rilevate dal 2013 al 2020 per i parametri monitorati, i valori riportati sono stati calcolati come media delle concentrazioni rilevate nelle 12 mensilità.

| | PCDD/DF (fg I-TEQ m ⁻³) | PCB Dioxin Like (pg WHO-TEQ m ⁻³) | PCB Totale Famiglie (pg m ⁻³) | PCDD/DF+PCB DL (fg WHO-TEQ m ⁻³) |
|------|--|---|---|---|
| 2013 | 36 | 0,00382 | 188 | 36 |
| 2014 | 24 | 0,00391 | 190 | 25 |
| 2015 | 24 | 0,00418 | 143 | 25 |
| 2016 | 15 | 0,00319 | 115 | 17 |
| 2017 | 16 | 0,00275 | 110 | 17 |
| 2018 | 11 | 0,00230 | 130 | 12 |
| 2019 | 12 | 0,00290 | 156 | 14 |
| 2020 | 13 | 0,00363 | 120 | 16 |

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

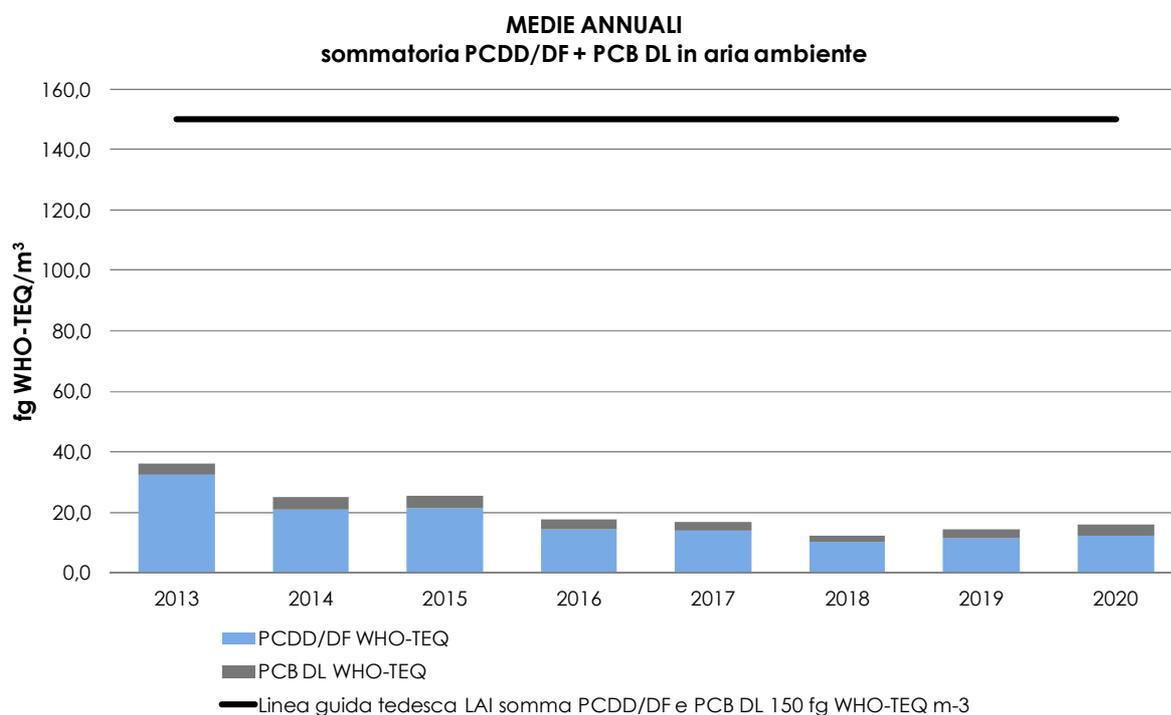


FIGURA 50: medie annuali sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like in aria ambiente.

Nella FIGURA 51 viene riportato l'andamento della sommatoria PCDD/DF PCB dioxin like nelle singole mensilità degli anni dal 2016 al 2020. Tutti i valori si posizionano ampiamente al di sotto delle linee guida definite dalla Germania sia per PCDD/DF che per la sommatoria PCDD/DF e PCB dioxin like con un andamento che possiamo definire "stagionale" in modo particolare per la concentrazione di PCDD e PCDF che aumenta nei mesi invernali per poi scendere nei periodi primaverili ed estivi.

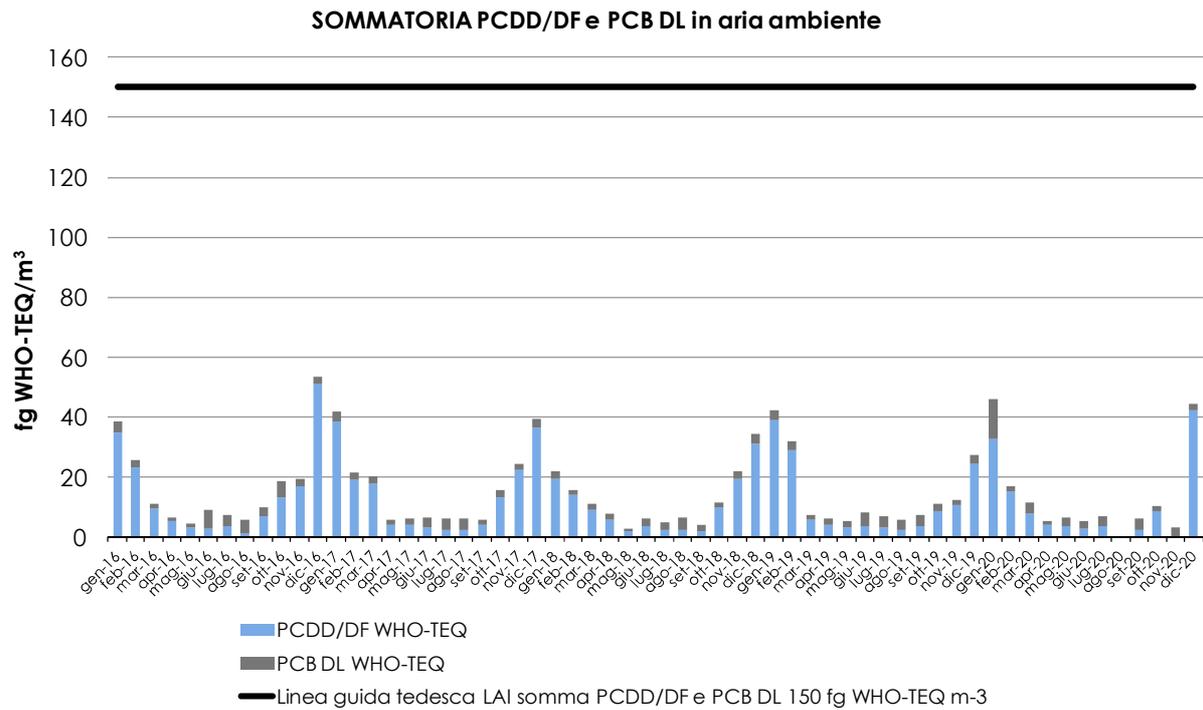


FIGURA 51: andamento sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like in aria ambiente dal 2016.

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 (2020).

| | PCDD/DF (fg I-TEQ m ⁻³) | PCB Dioxin Like (pg WHO-TEQ m ⁻³) | PCB Totale Famiglie (pg m ⁻³) | PCDD/DF+PCB DL (fg WHO-TEQ m ⁻³) |
|----------------|--|---|---|---|
| Gennaio 2020 | 35,8 | 0,01343 | 136 | 45,98 |
| Febbraio 2020 | 16,9 | 0,00196 | 83 | 17,0 |
| Marzo 2020 | 9,53 | 0,00361 | 108 | 11,4 |
| Aprile 2020 | 4,26 | 0,00154 | 91,8 | 5,4 |
| Maggio 2020 | 3,63 | 0,00273 | 113 | 6,4 |
| Giugno 2020 | 2,67 | 0,00254 | 131 | 5,4 |
| Luglio 2020 | 3,25 | 0,00332 | 170 | 6,9 |
| Agosto 2020 | n.d.* | n.d.* | n.d.* | n.d.* |
| Settembre 2020 | 2,34 | 0,00345 | 139 | 6,0 |
| Ottobre 2020 | 10,90 | 0,00203 | 112 | 10,5 |
| Novembre 2020 | n.d.* | 0,00340 | 141 | n.d.* |
| Dicembre 2020 | 42,40 | 0,00198 | 100 | 44,3 |

* il mese di agosto 2020 non è stato referatato per perdita accidentale del campione, il parametro PCDD/DF per il mese di novembre 2020 non è disponibile a causa di problemi tecnici

TABELLA 28: concentrazioni di PCDD, PCDF e PCB in aria ambiente per i mesi del 2020.

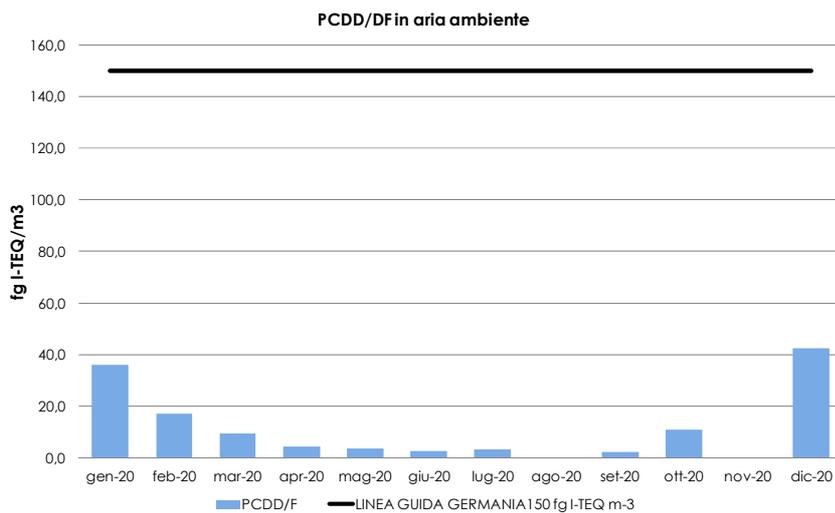


FIGURA 52: concentrazioni di PCDD e PCDF in aria ambiente anno 2020.

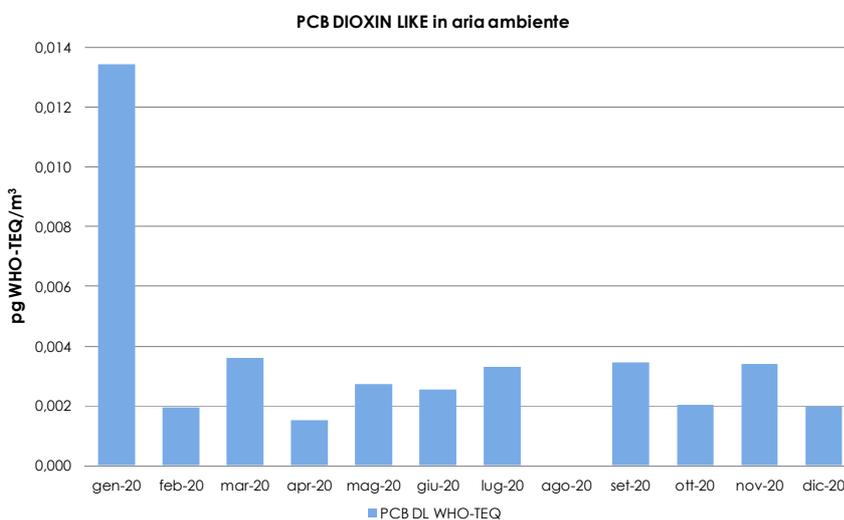


FIGURA 53: concentrazioni di PCB dioxin like in aria ambiente anno 2020.

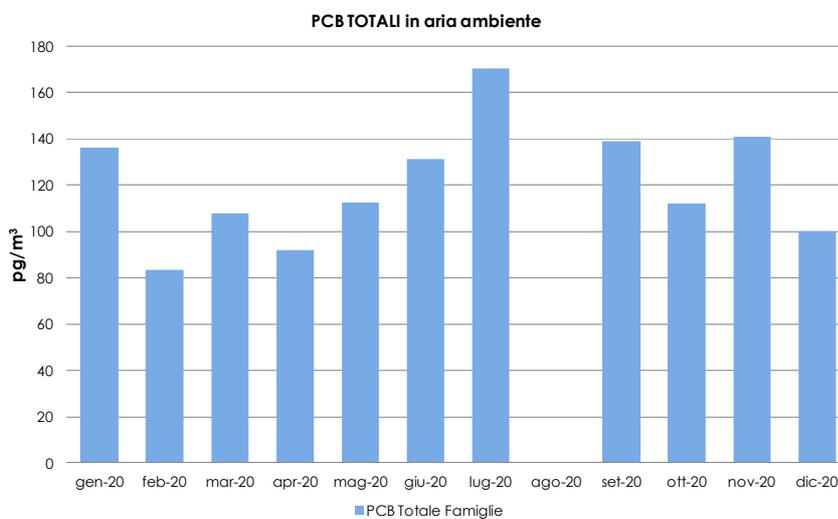


FIGURA 54: concentrazioni di PCB Totali in aria ambiente anno 2020.

PCDD/DF e PCB nelle deposizioni atmosferiche

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

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

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

Per rispettare i citati valori di assunzione giornaliera, il Belgio, paese in cui la Commissione per la valutazione dei regolamenti ambientali (CEM) ha proposto un valore di Tolerable daily intake pari a 3 pg I-TEQ kg⁻¹d⁻¹ per PCDD/PCDF, ha individuato per le deposizioni di diossina i valori guida indicati nella TABELLA 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/m²d.

| PCDD/DF Assunzione giornaliera correlata - TDI (pg I-TEQ kg pc) | PCDD/DF Deposizione media annua concessa (pg I-TEQ m ⁻² d ⁻¹) | PCDD/DF Deposizione media mensile concessa (pg I-TEQ m ⁻² d ⁻¹) |
|--|--|--|
| 4 | 14 | 27 |
| 3 | 10 | 20 |
| 1 | 3,4 | 6,8 |
| L. Van Lieshout et al Deposition of dioxin in Flanders (Belgium) and a proposition for guide values. Atm. Env. 35 suppl. n. 1 2001 S83-S90 | | |
| 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⁻² d⁻¹ come media di lungo periodo.

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

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

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

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

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

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

in TABELLA 30 e FIGURA 55 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 ⁻² d ⁻¹) | PCB DL WHO-TEQ (pg WHO-TEQ m ⁻² d ⁻¹) | PCDD/DF+PCB DL (pg WHO-TEQ m ⁻² d ⁻¹) |
|------|--|---|---|
| 2013 | 2,81 | 0,94 | 3,75 |
| 2014 | 1,63 | 0,80 | 2,44 |
| 2015 | 2,52 | 0,86 | 3,37 |
| 2016 | 2,72 | 0,84 | 3,57 |
| 2017 | 2,49 | 1,27 | 3,77 |
| 2018 | 2,64 | 0,72 | 3,37 |
| 2019 | 4,13 | 0,83 | 4,96 |
| 2020 | 4,69 | 1,87 | 6,57 |

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

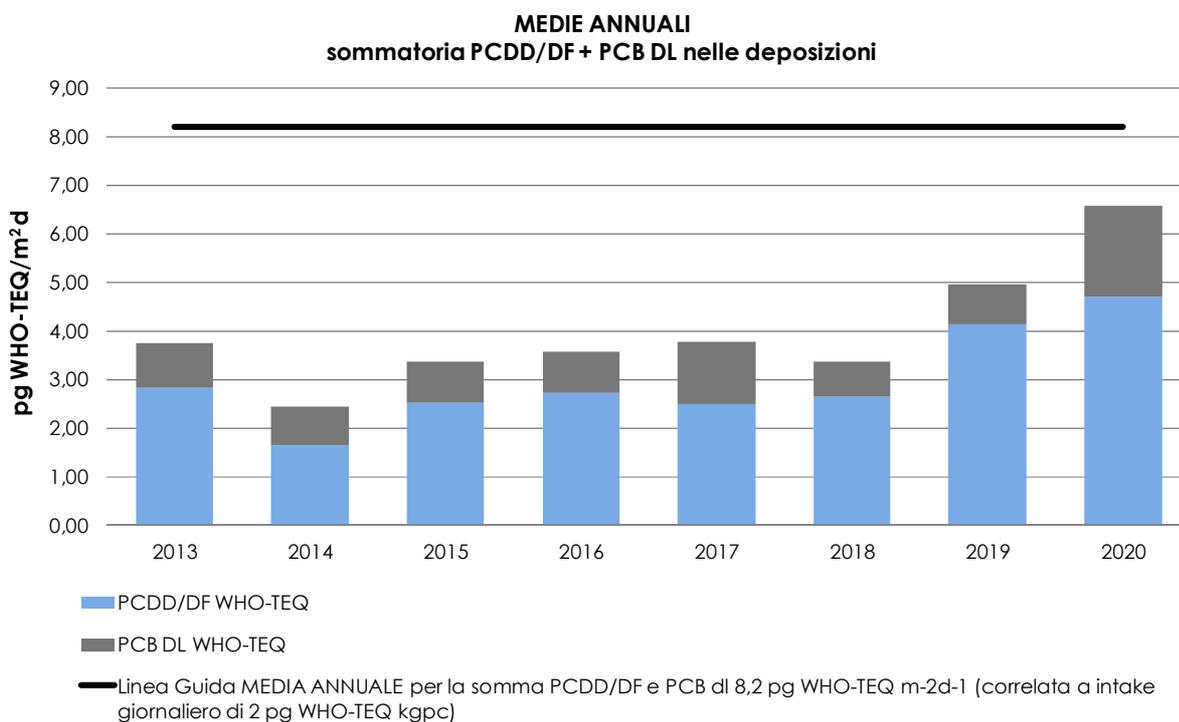


FIGURA 55: medie annuali della sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like nelle deposizioni.

Nel FIGURA 56 viene riportato l'andamento della sommatoria PCDD/DF PCB dioxin like nelle deposizioni atmosferiche delle singole mensilità degli anni dal 2016 al 2020. Tutti i valori mensili di deposizione si posizionano ampiamente al di sotto delle linee guida sia per PCDD/DF che per la sommatoria PCDD/DF e PCB dioxin like.

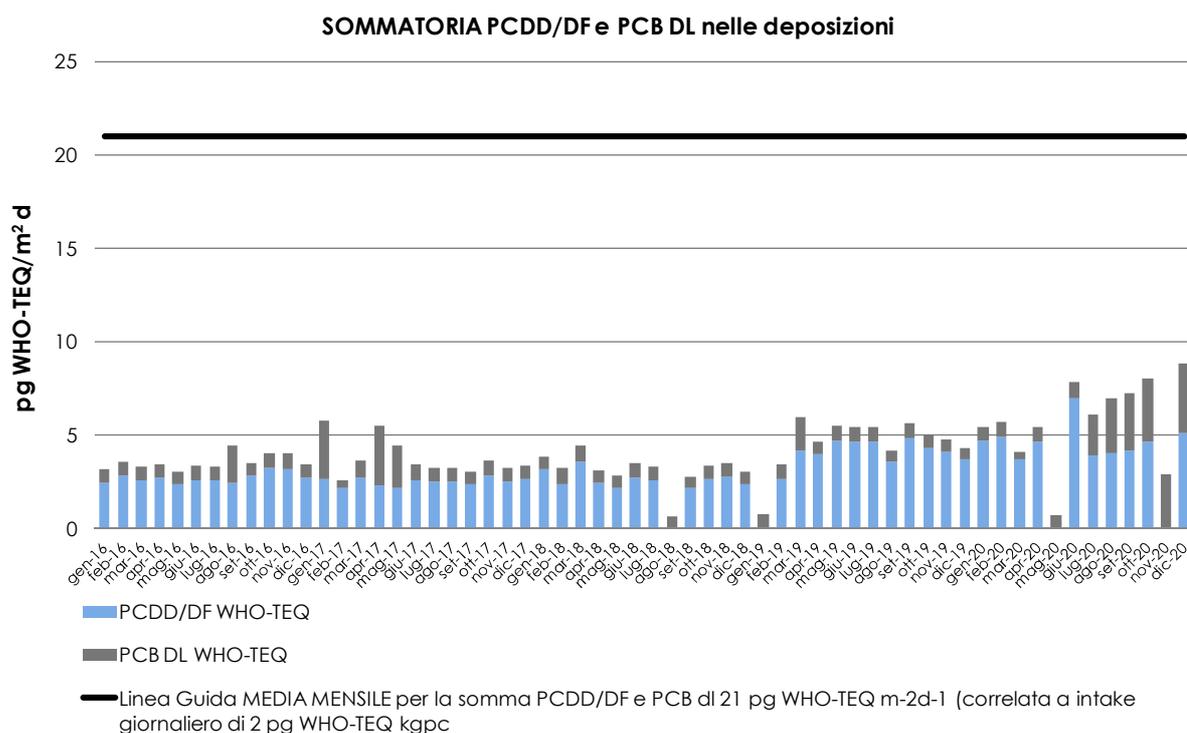


FIGURA 56: andamento sommatoria PCDD/DF + PCB dioxin like nelle deposizioni mensili dal 2016.

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 sia nel corso dell'ultimo anno (2020).

| | PCDD/DF (pg I-TEQ m ⁻² d ⁻¹) | PCB Dioxin Like (ng WHO-TEQ m ⁻² d ⁻¹) | PCB Totale Famiglie (ng m ⁻² d ⁻¹) | PCDD/DF+PCB DL (pg WHO-TEQ m ⁻² d ⁻¹) |
|-----------------------|--|---|---|---|
| Gennaio 2020 | 4,22 | 0,00079 | 10,4 | 5,47 |
| Febbraio 2020 | 4,45 | 0,00080 | 6,88 | 5,72 |
| Marzo 2020 | 3,35 | 0,00037 | 7,10 | 4,09 |
| Aprile 2020 | 4,18 | 0,00080 | 11,04 | 5,43 |
| Maggio 2020 | nd* | 0,00074 | 8,51 | nd* |
| Giugno 2020 | 7,26 | 0,00082 | 13,3 | 7,81 |
| Luglio 2020 | 3,59 | 0,00216 | 19,7 | 6,08 |
| Agosto 2020 | 3,66 | 0,00292 | 9,45 | 6,97 |
| Settembre 2020 | 3,80 | 0,00304 | 9,13 | 7,25 |
| Ottobre 2020 | 4,21 | 0,00335 | 8,98 | 8,01 |
| Novembre 2020 | nd* | 0,00294 | 11,60 | nd* |
| Dicembre 2020 | 4,64 | 0,00370 | 8,64 | 8,84 |

* il parametro PCDD/DF per i mesi di maggio e novembre 2020 non è disponibile a causa di problemi tecnici

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

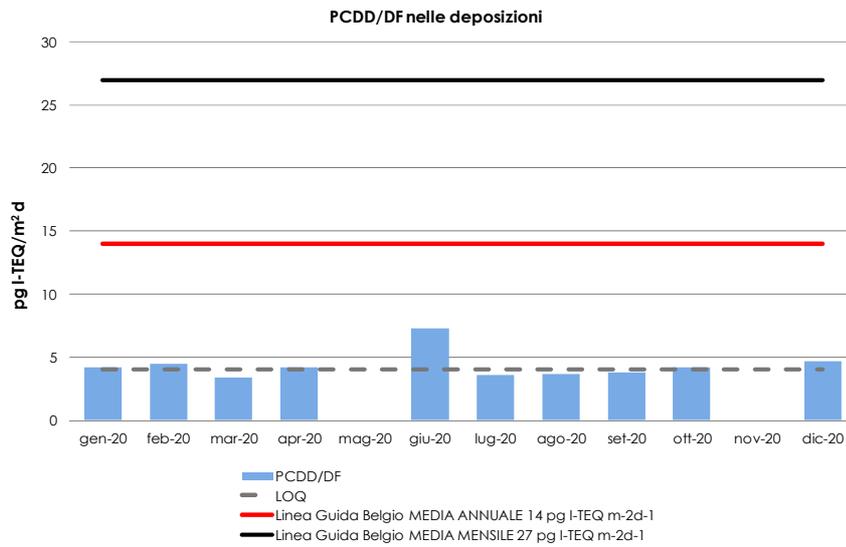


FIGURA 57: concentrazioni di PCDD e PCDF nelle deposizioni mensili anno 2020.

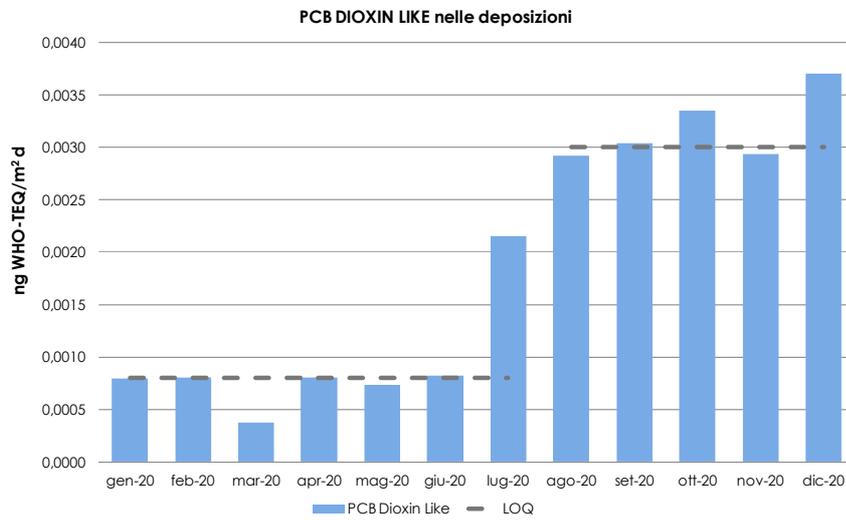


FIGURA 58: concentrazione di PCB DIOXIN LIKE nelle deposizioni mensili anno 2020.

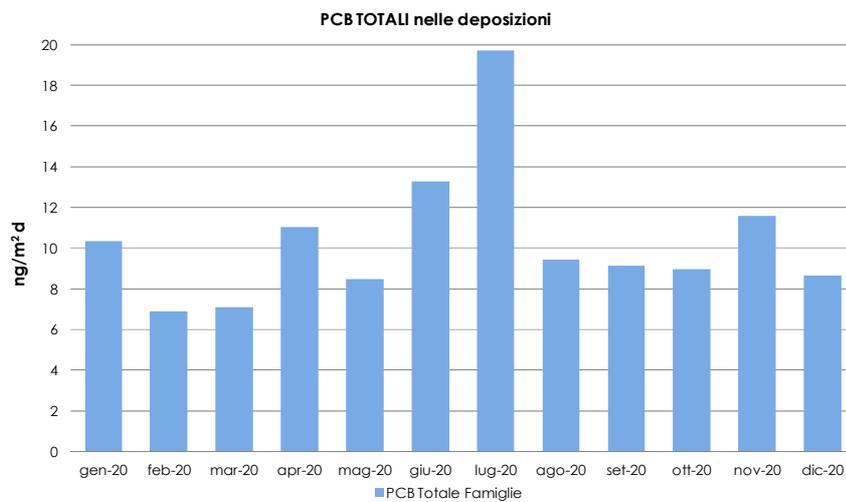


FIGURA 59: concentrazione di PCB TOTALI nelle deposizioni mensili anno 2020.

MUTAGENICITÀ DEL PM2,5

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 od 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 microsomiali epatici di ratto (S9) che forniscono un'attivazione metabolica esogena.

Nel 2020 sono proseguiti gli studi per la valutazione della mutagenicità del PM2,5 prelevato nelle stazioni Torino-Lingotto (fondo urbano), Settimo Vivaldi (traffico) e Alessandria Dernice (stazione a basso inquinamento). La mutagenicità è stata valutata anche sul PM10 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 PM2,5 (e PM10). 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 m³ 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 Settimo Torinese nei mesi di gennaio e febbraio (FIGURA 60). I Dati ottenuti dalle polveri prelevate nella stazione di Beinasco TRM (FIGURA 62) sono comparabili a quelli ottenuti nella stazione di fondo urbano di Torino Lingotto (FIGURA 61), valori che si attestano a quelli rilevati negli anni precedenti.

La stazione di Dernice (FIGURA 63) 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.

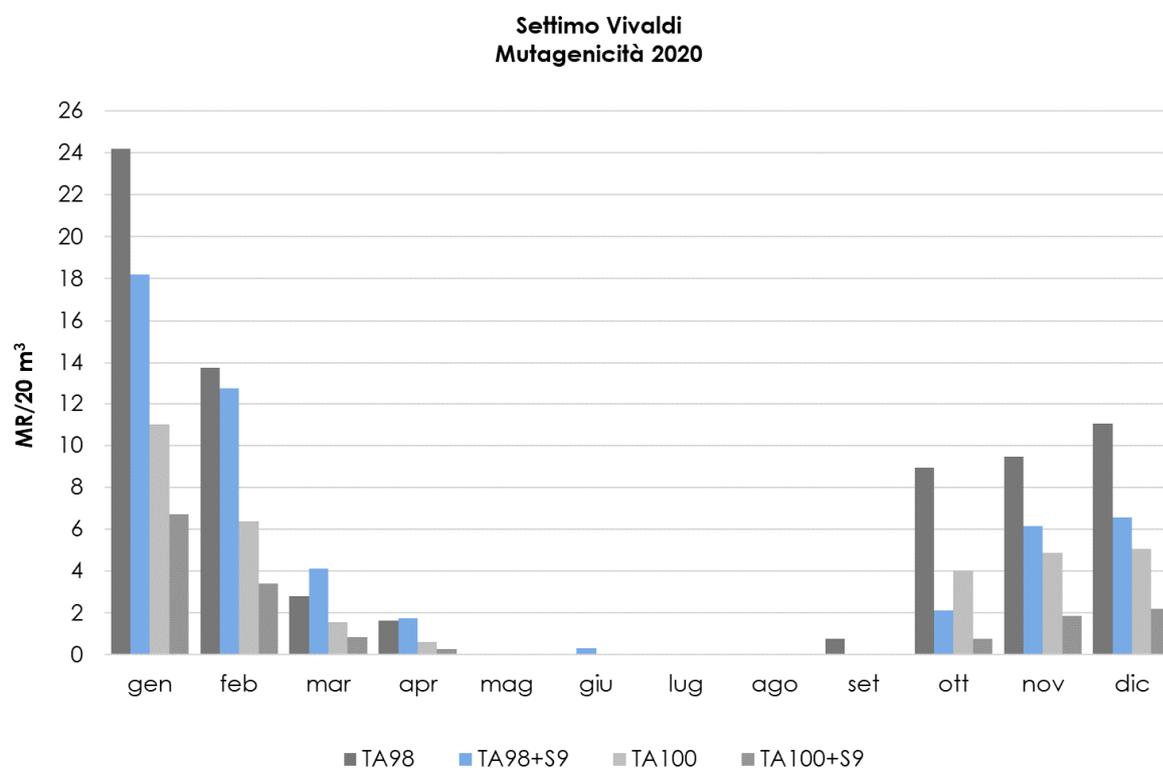


FIGURA 60: mutagenicità rilevata nella stazione di Settimo Vivaldi.

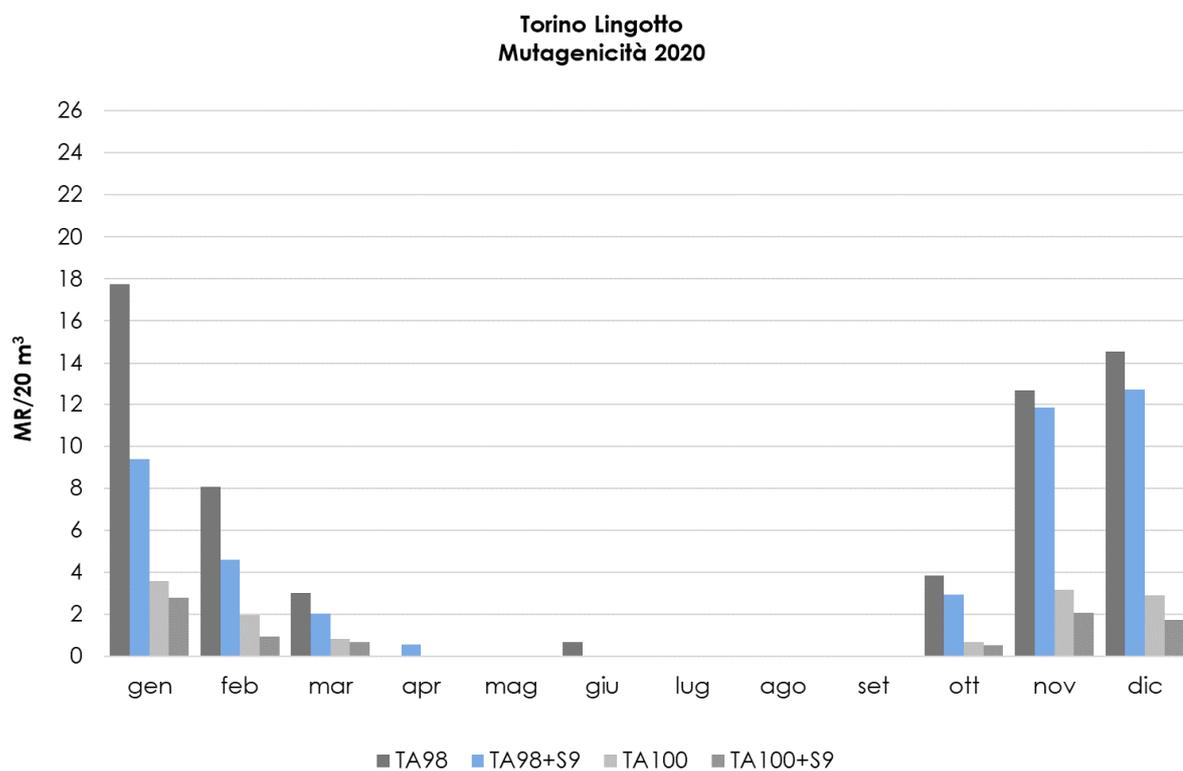


FIGURA 61: mutagenicità rilevata nella stazione di Torino-Lingotto.

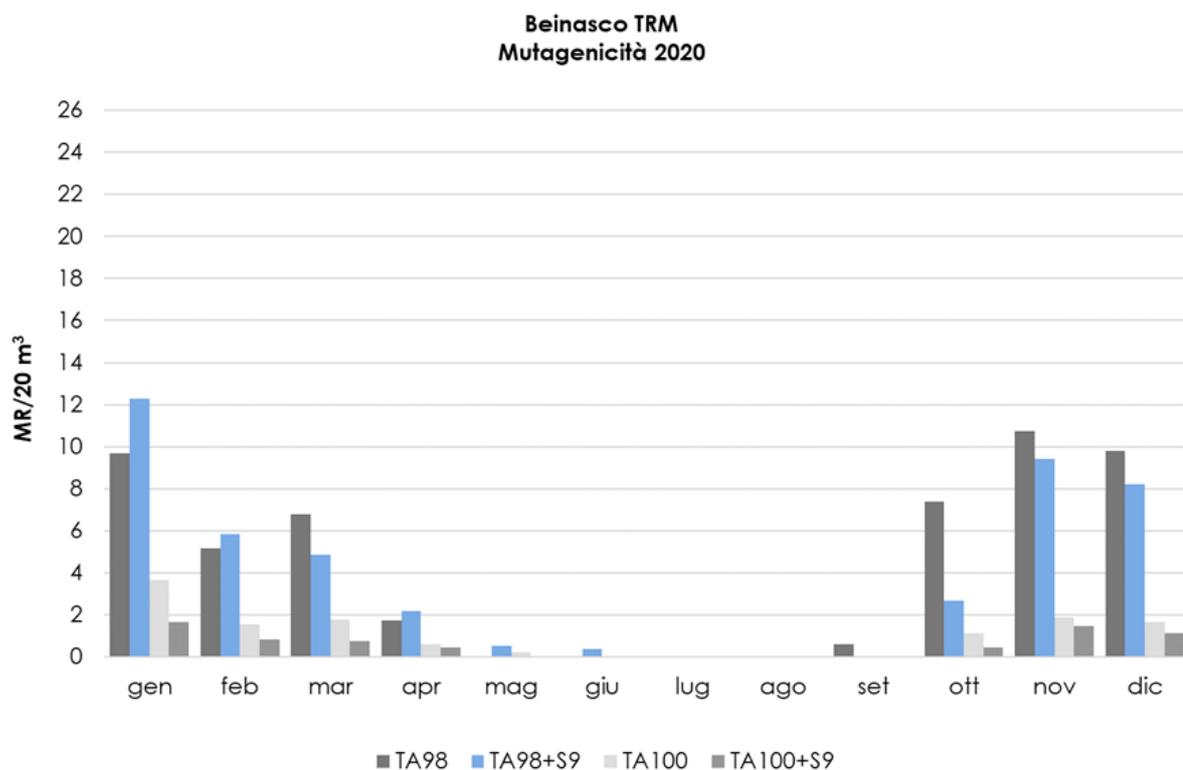


FIGURA 62: mutagenicità rilevata nella stazione di Beinasco TRM.

**Alessandria Dernice
Mutagenicità 2020**

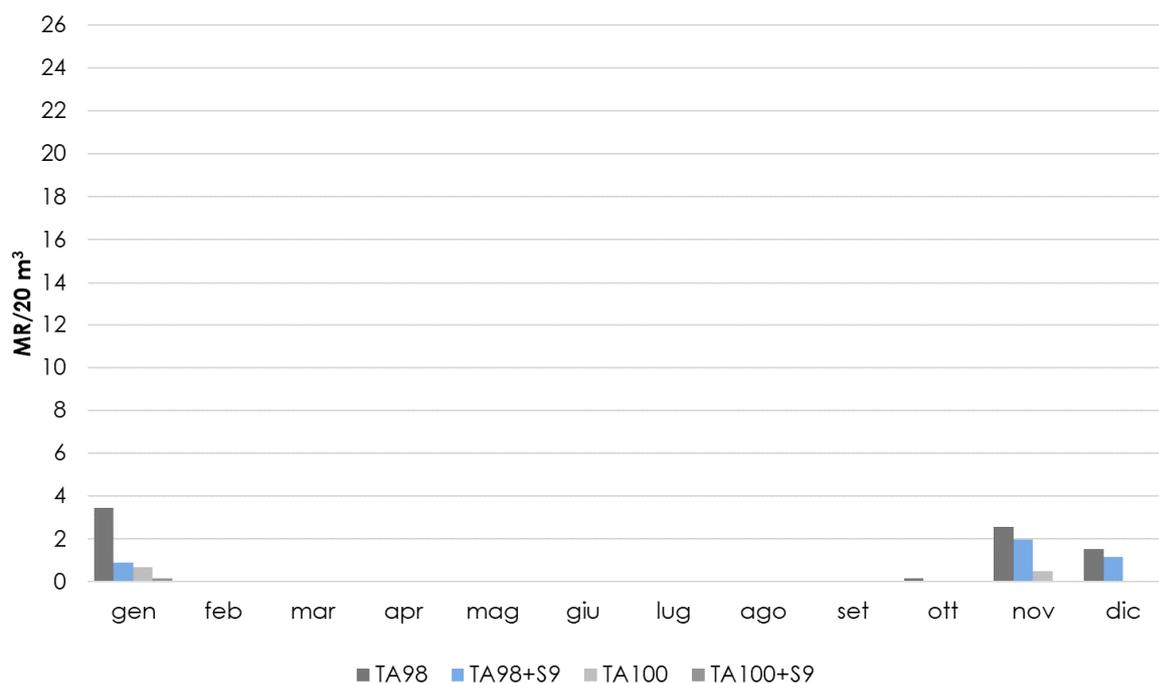


FIGURA 63: mutagenicità rilevata nella stazione di Alessandria Dernice.

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 64) mostra l'andamento annuale della mutagenicità complessiva, consentendo un confronto tra i siti in esame.

Mutagenicità complessiva 2020

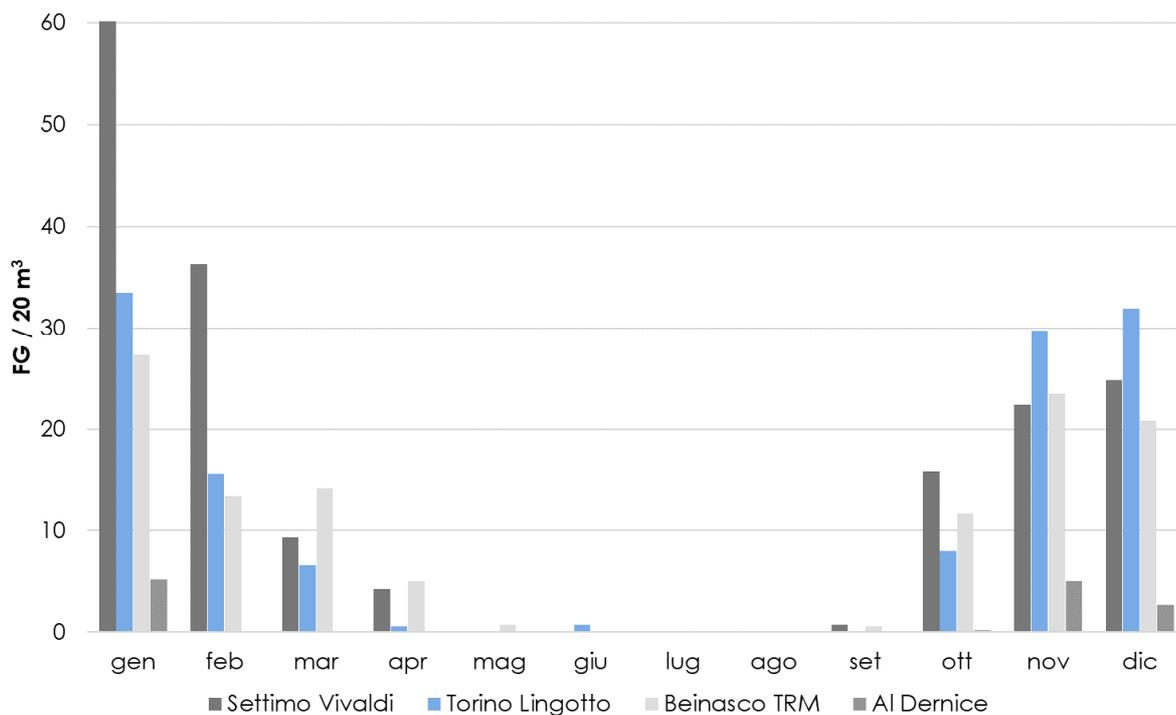


FIGURA 64: Mutagenicità complessiva - confronto tra le stazioni in esame.

Il seguente box-plot (FIGURA 65) considera solo i dati autunno-inverno, cioè comprende le risultanze analitiche totali di gennaio, febbraio, novembre e dicembre.

Le stazioni To-Lingotto e Beinasco TRM non mostrano differenze significative. La stazione di Dernice (fondo rurale) presenta valori significativamente più bassi delle tre stazioni precedenti.

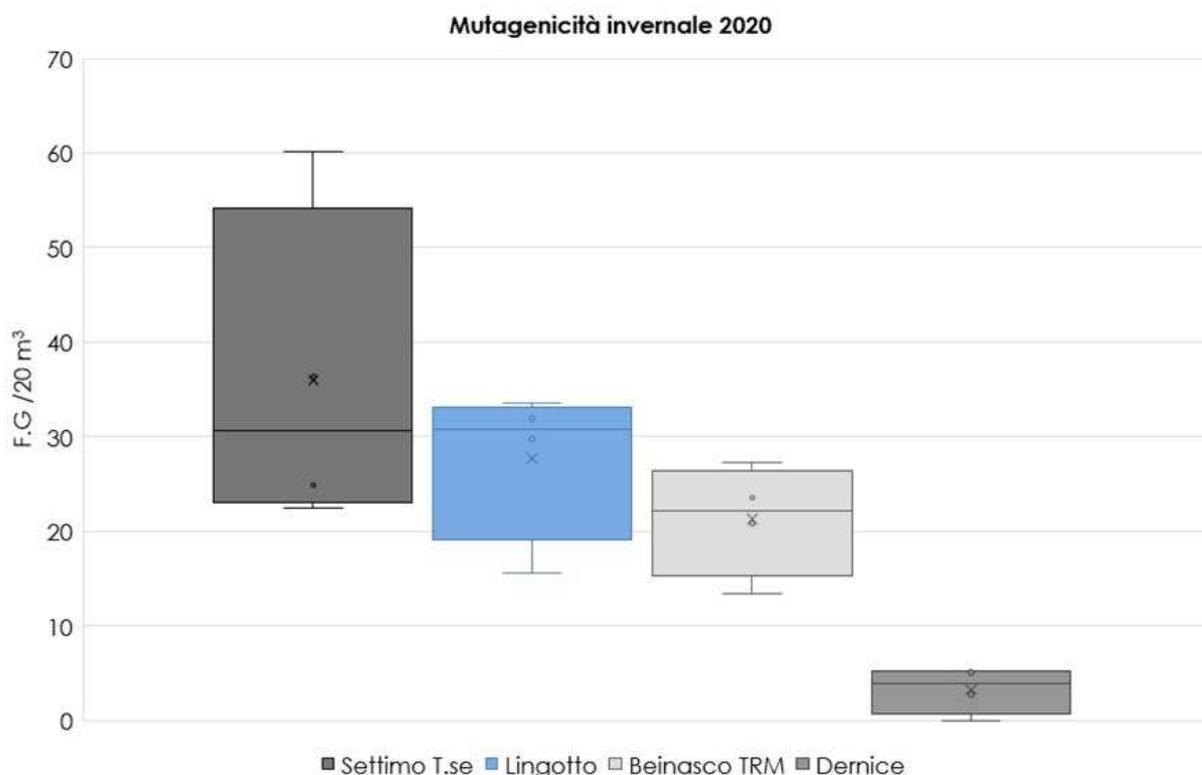


FIGURA 65: box-plot mutagenicità complessiva mesi invernali 2020.

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 32 mostra la situazione complessiva ottenuta adottando tali indici.

| 20m3/piastra | GEN | FEB | MAR | APR | MAG | GIU | LUG | AGO | SET | OTT | NOV | DIC |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| AL - Dernice | 0,55 | nd | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,55 | 0,66 |
| TO - Lingotto | 0,23 | 0,36 | 0,52 | 0,84 | 1,00 | 0,89 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,47 | 0,25 | 0,24 |
| Settimo T.se | 0,13 | 0,22 | 0,45 | 0,58 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,88 | 0,36 | 0,30 | 0,28 |
| Beinasco - TRM | 0,26 | 0,39 | 0,38 | 0,55 | 0,87 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,92 | 0,41 | 0,29 | 0,31 |

TABELLA 32: IQA stazioni di To-Lingotto, Settimo Vivaldi e Alessandria Dernice.

Analizzando i risultati della mutagenicità del PM2,5 a partire dal 2016, si osservano valori in leggera diminuzione nella stazione di traffico di Settimo T.se (FIGURA 67), mentre rimane pressoché costante la mutagenicità nella stazione di fondo urbano (FIGURA 66).

Nonostante il costante rinnovamento del parco veicolare con conseguente miglioramento della qualità delle emissioni, i dati raccolti negli ultimi cinque anni, relativi alla mutagenicità delle polveri sottili non mostrano evidenti segni di miglioramento.

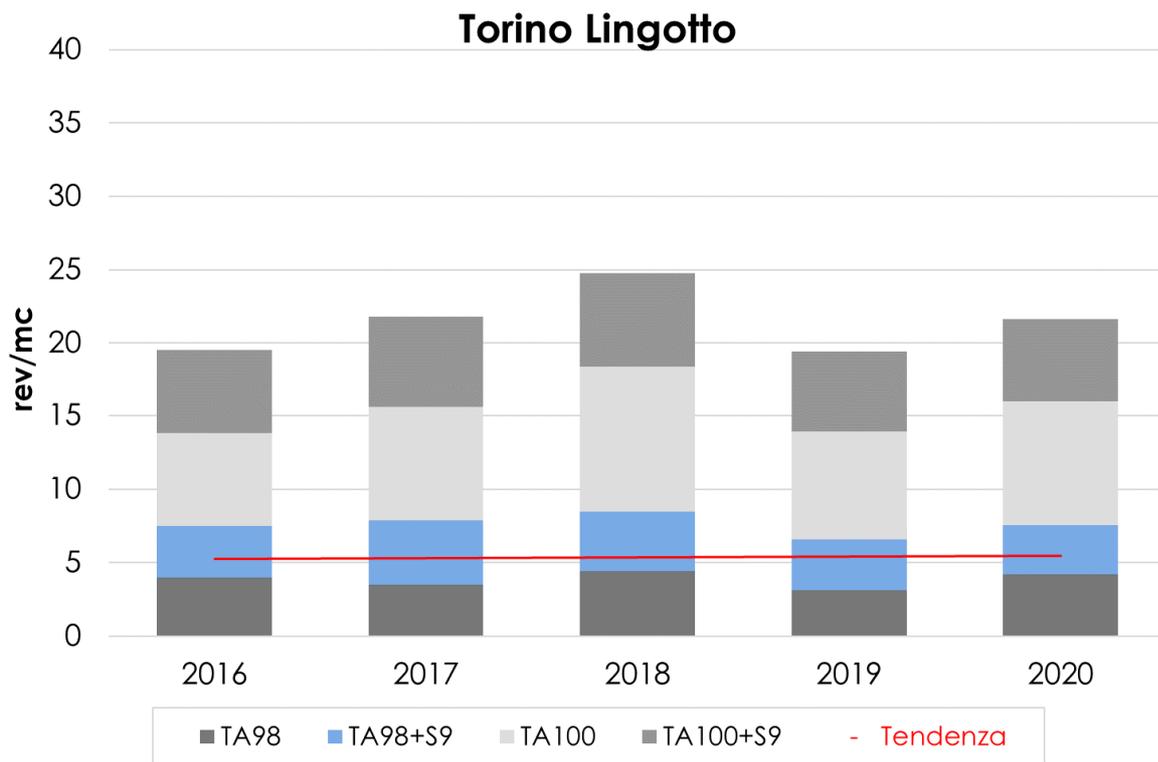


FIGURA 66: confronto dati storici Stazione di Torino Lingotto (media annuale revertenti/m³).

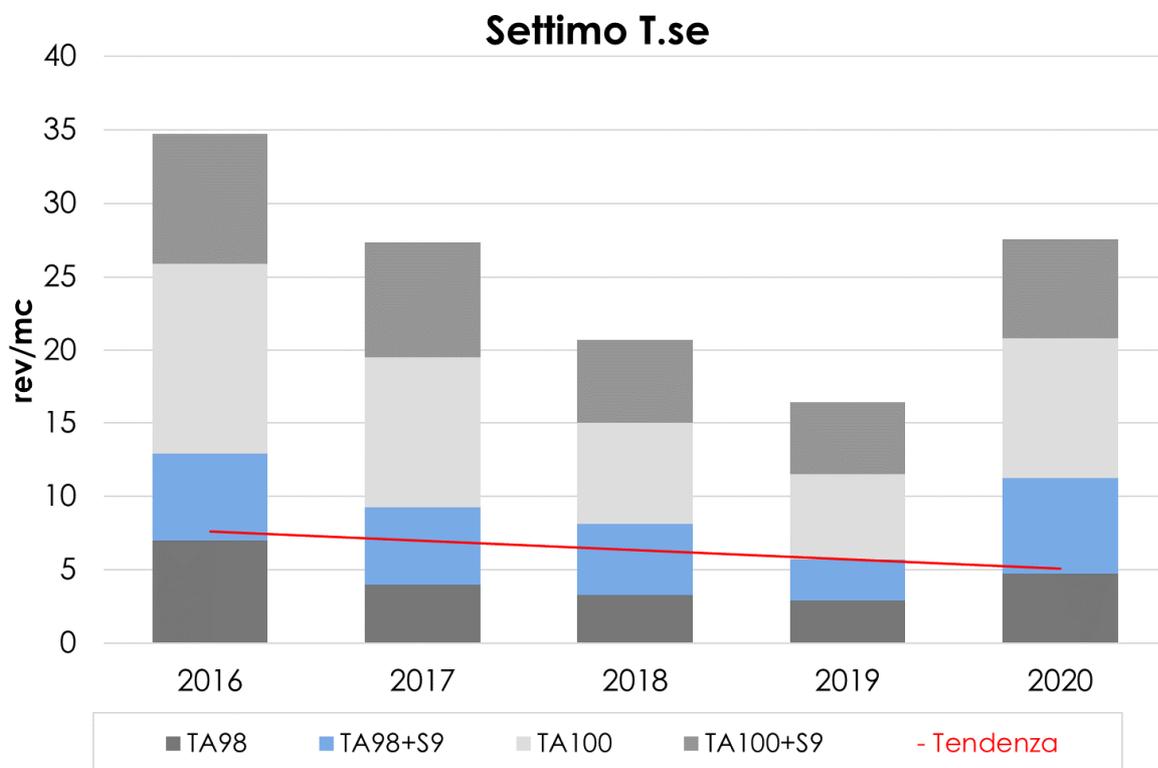


FIGURA 67: confronto dati storici Stazione di Settimo Vivaldi (media annuale revertenti/m³).

CONSIDERAZIONI FINALI

La maggior parte dei campioni analizzati nel corso del 2020 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 μm 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.

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 (saturnismo), ad esempio, è responsabile di anemia emolitica e danni neurologici.

Tra i metalli che sono più comunemente monitorati nel particolato atmosferico, quelli di maggiore rilevanza sotto il profilo tossicologico sono il nichel, il cadmio e il piombo. I composti del nichel e del cadmio sono classificati dalla Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro come cancerogeni per l'uomo; l'Organizzazione Mondiale della Sanità stima che, a fronte di una esposizione ad una concentrazione di nichel nell'aria di $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per l'intera vita, quattro persone su diecimila siano a rischio di contrarre il cancro. Nella TABELLA 33 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 33: 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 34, TABELLA 35, TABELLA 36 e TABELLA 37) si riferiscono alle concentrazioni medie annuali di arsenico, cadmio, nichel e piombo determinate nel materiale particolato aerodisperso PM10, campionato in 14 stazioni ubicate nella città metropolitana di Torino. Dal 2017 la determinazione dei metalli è stata effettuata solo sulla frazione con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm.

Le concentrazioni di As, Cd e Ni sono espresse in ng/m³, quelle relative al piombo in µg/m³.

I limiti previsti dal D.Lgs. 155 del 13/8/2010 sono rispettati per tutti i parametri in tutti i siti monitorati e mostrano un generale incremento nel corso del 2020 rispetto al biennio precedente.

La presenza di **arsenico** nelle polveri inalabili negli ultimi anni di osservazione risulta generalmente 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. 2020 (% giorni validi) | Concentrazione media annuale di ARSENICO nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³) | | | | | | | | | | | |
|------------------|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| | | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | |
| Beinasco-TRM | 97% | | | | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Borgaro | 90% | 0,7 | 0,7 | 0,7* | 0,7* | 0,7* | 0,7* | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7* | 0,7* | 0,7 |
| Carmagnola | 96% | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Ceresole Reale | 79% | 0,7* | 0,7* | 0,7* | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7* | 0,7* | 0,7* | 0,7* |
| Druento | 83% | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7* |
| Ivrea | 87% | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7* | 0,7 | 0,7* | 0,7* | 0,7* |
| Oulx | 99% | | | | 0,7 | 0,7* | 0,7* | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Settimo | 93% | | | | | | | | 0,7* | 0,7* | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Susa | 98% | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,9 |
| To-Consolata | 79% | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7* |
| To-Grassi | 87% | 0,7 | 0,8 | 0,7* | 0,7* | 0,7* | 0,7* | 0,7 | 0,7 | 0,7* | 0,7 | 0,7 | 0,7* |
| To-Lingotto PM10 | 93% | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7* | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| To-Rebaudengo | 98% | | | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| To-Rubino | 90% | 0,7 | 1,2 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7* | 0,7* | 0,7 | 0,7 |

* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 34: concentrazioni medie annuali di arsenico determinate sul Particolato Atmosferico, 2010-2020.

Solo presso la stazione di Susa si è registrato un valore annuale superiore al solito, pari a 0,9 ng/m³. La media annuale risente delle concentrazioni elevata dei primi due mesi del 2020; a gennaio e febbraio infatti è stata rilevata una media mensile pari a 1,7 ng/m³. Tale incremento a Susa potrebbe ascrivere ad una situazione locale di incremento del traffico veicolare. Ciò sembrerebbe confermato anche dal livello di Pb registrato a Susa soprattutto nel mese di gennaio che risulta prossimo a quello rilevato presso la stazione di traffico di Settimo T.se. così come si evince dalla FIGURA 68 che riporta il profilo mensile del Piombo registrato a Susa confrontato con quello rilevato presso la stazione di Settimo T.se e la media tra una stazione di traffico e una di fondo (Torino-Rebaudengo e Torino - Lingotto) del capoluogo.

PIOMBO PROFILO MENSILE 2020

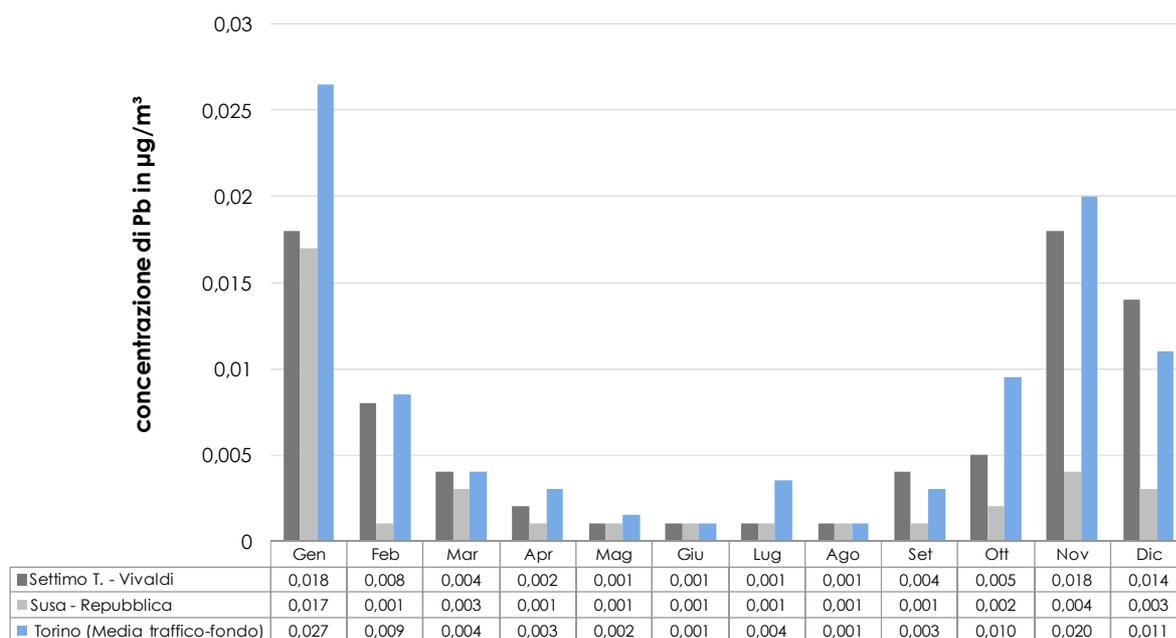


FIGURA 68: concentrazioni medie mensili di Arsenico determinate sul particolato atmosferico nel 2020.

Per il **cadmio** in tutti i siti la concentrazione è significativamente inferiore rispetto al valore obiettivo di 5 ng/m³. Nel 2020 si osserva un sensibile peggioramento rispetto all'anno precedente in quasi tutte le stazioni ad eccezione delle stazioni di Carmagnola, Oulx e Susa che restano stabili e dell'unico decremento registrato presso la stazione di traffico urbano Torino – Rebaudengo.

Nel corso del 2017 il cadmio registrato presso la stazione di Settimo T.se risulta elevato a causa dell'esigua percentuale di dati validi disponibili (pari a 30%); la ricerca dei metalli presso questa stazione è stata condotta a partire dal mese di settembre.

Il livello di cadmio più elevato, per il 2020, è stato registrato presso la stazione di traffico urbano di Torino – Grassi il cui livello, è pari 0,3 ng/m³, potrebbe essere leggermente sovrastimato dal momento che la percentuale di dati validi al di sotto del 90% ed i dati mancanti sono concentrati nel periodo estivo.

A livello di composizione percentuale (TABELLA 38) si osserva un leggero incremento della presenza di tale metallo nelle polveri campionate in tutti i siti rispetto agli anni precedenti.

| STAZIONE | Rendimento strumentale. 2020 (% giorni validi) | Concentrazione media annuale di CADMIO nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³) | | | | | | | | | | |
|------------------|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| | | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Beinasco-TRM | 97% | | | | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2 |
| Borgaro | 90% | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1* | 0,2 |
| Carmagnola | 96% | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Ceresole Reale | 79% | 0,1* | 0,1* | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1* | 0,1* | 0,1* |
| Druento | 83% | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1* |
| Ivrea | 87% | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1* | 0,1 | 0,1* | 0,1* |
| Oulx | 99% | | | | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Settimo | 93% | | | | | | | | 0,3* | 0,1* | 0,1 | 0,2 |
| Susa | 98% | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| To-Consolata | 79% | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,2* |
| To-Grassi | 87% | 0,2 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,2* | 0,2 | 0,3* |
| To-Lingotto PM10 | 93% | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1* | 0,1 | 0,2 |
| To-Rebaudengo | 98% | | | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,2 |
| To-Rubino | 90% | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1* | 0,1* | 0,2 |

* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 35: concentrazioni medie annuali di cadmio determinate sul Particolato Atmosferico, 2010-2020.

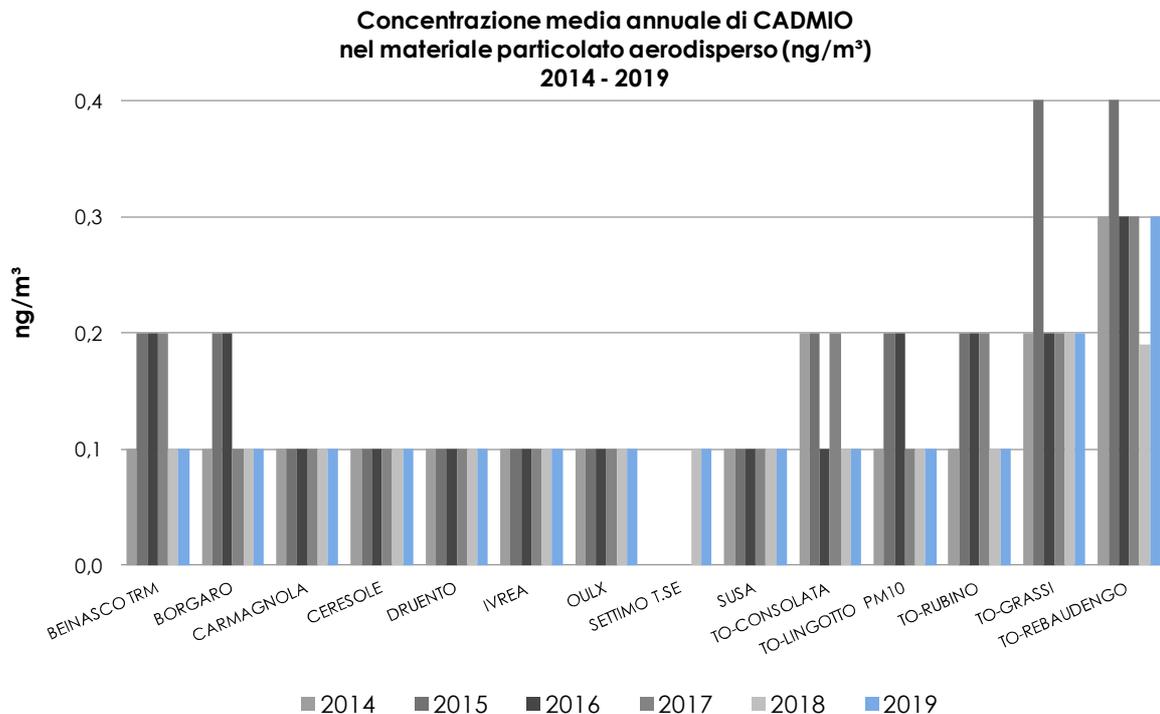


FIGURA 69: concentrazioni medie annuali di cadmio determinate sul Particolato Atmosferico 2015-2020.

Per il **nicel** si osserva una diminuzione, in alcuni casi anche sostanziale, delle concentrazioni rispetto al 2019. In generale i valori si confermano ampiamente al di sotto del valore obiettivo previsto dal D.Lgs. n. 155/2010 (20 ng/m³).

La concentrazione più bassa di nichel è stata rilevata nel sito montano di Ceresole con un valore pari a 0,8 ng/m³ mentre nelle altre stazioni della provincia le concentrazioni sono al di sotto dei 4 ng/m³ ad eccezione della stazione di Torino- Grassi in cui si è registrato il valore più elevato pari a 4,2 ng/m³. Come per il cadmio anche questo valore annuale potrebbe essere leggermente sovrastimato.

Anche a livello di presenza percentuale di nichel nelle polveri PM10 si osserva un generale decremento rispetto al 2019.

| STAZIONE | Rendimento strumentale, 2020 (% giorni validi) | Concentrazione media annuale di NICHEL nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³) | | | | | | | | | | |
|------------------|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Beinasco-TRM | 97% | | | | 2,9 | 2,7 | 3,0 | 2,2 | 2,7 | 2,2 | 2,4 | 1,7 |
| Borgaro | 90% | 4,3 | 5,2 | 4,7* | 3,4* | 3,0* | 4,3* | 2,4 | 4,2 | 2,2 | 2,2* | 2,1 |
| Carmagnola | 96% | 4,0 | 5,1* | 3,9 | 3,2 | 2,5 | 3,0 | 1,9 | 2,9 | 2,2 | 2,7 | 1,8 |
| Ceresole Reale | 79% | 1,3* | 1,6* | 1,0* | 0,7 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 0,8* | 0,8* | 0,9* |
| Druento | 83% | 3,5 | 4,0 | 3,2 | 1,6 | 1,5 | 3,8 | 1,1 | 2,6 | 1,3 | 1,8 | 1,2* |
| Ivrea | 87% | 3,7 | 4,4 | 3,2 | 2,4 | 2,2 | 3,0 | 1,6 | 2,2* | 1,4 | 1,5* | 1,5* |
| Oulx | 99% | | | | 1,4 | 1,8* | 1,7* | 1,3 | 2,0 | 1,3 | 1,6 | 1,1 |
| Settimo | 93% | | | | | | | | 4,0* | 2,3* | 5,6 | 2,2 |
| Susa | 98% | 2,5 | 3,4 | 2,2 | 1,1 | 1,9 | 2,7 | 1,4 | 1,4 | 1,0 | 1,2 | 0,9 |
| To-Consolata | 79% | 8,3 | 8,3 | 7,3 | 4,9 | 4,8 | 5,3 | 3,7 | 3,7 | 2,7 | 3,3 | 3,5* |
| To-Grassi | 87% | 7,6 | 8,7 | 7,9* | 5,8* | 5,0* | 5,5* | 3,9 | 4,8 | 3,2* | 4,6 | 4,2* |
| To-Lingotto PM10 | 93% | 5,1 | 5,6 | 4,8 | 3,5 | 3,2 | 3,3 | 2,2 | 2,5 | 1,4* | 1,6 | 1,3 |
| To-Rebaudengo | 98% | | | 7,2 | 5,2 | 4,5 | 4,6 | 3,0 | 3,0 | 2,3 | 4,0 | 2,1 |
| To-Rubino | 90% | 4,7 | 5,2 | 4,8 | 3,0 | 3,2 | 3,4 | 2,0 | 2,8 | 1,7* | 2,4* | 2,3 |

* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 36: concentrazioni medie annuali di nichel determinate sul Particolato Atmosferico, 2015-2020.

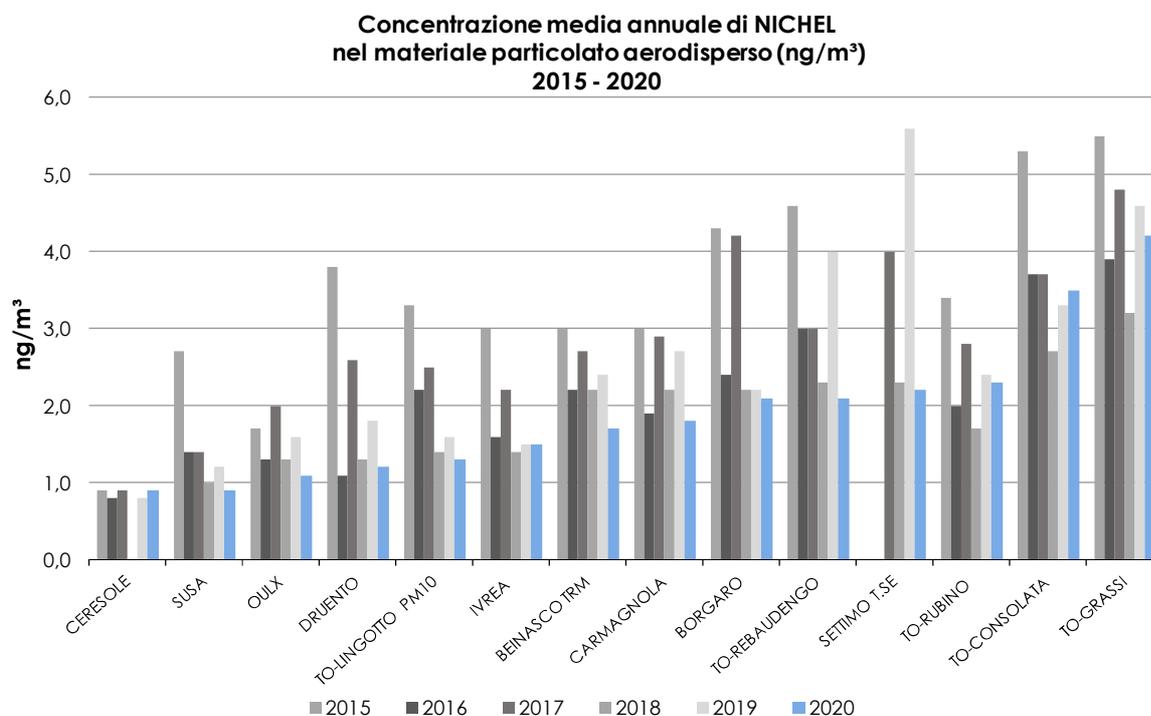


FIGURA 70: concentrazioni medie annuali di nichel determinate sul Particolato Atmosferico – 2015-2020

Per quanto riguarda il **piombo** in FIGURA 71 è riportata la serie storica a partire dagli anni '70. Attualmente i livelli di piombo sono due ordini di grandezza inferiori rispetto ai rilevamenti dei primi anni di monitoraggio. Già a partire dal 2001 le medie annuali sono di un ordine di grandezza inferiori al limite previsto dalla normativa (0,5 µg/m³). Anche per il piombo, si osservano gli andamenti descritti per gli altri metalli: rispetto al 2019 si registra un sensibile peggioramento delle concentrazioni.

Le stazioni con il valore maggiore, registrato nel 2019, sono quella di P.zza Regaudengo e Torino - Grassi dove si è rilevata una concentrazione di piombo pari a 0,011 µg/m³.

Tuttavia, per tutti i siti 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.

| STAZIONE | Rendimento strumentale. 2020 (% giorni validi) | Concentrazione media annuale di PIOMBO nel materiale particolato aerodisperso ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | | | | | | | | |
|------------------|--|--|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------------|
| | | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Beinasco-TRM | 97% | | | | 0,009 | 0,008 | 0,008 | 0,007 | 0,006 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| Borgaro | 90% | 0,010 | 0,013 | 0,009* | 0,009 | 0,006 | 0,009 | 0,007 | 0,007 | 0,006 | 0,005* | 0,005 |
| Carmagnola | 96% | 0,009 | 0,011 | 0,008 | 0,007 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,004 | 0,004 | 0,004 |
| Ceresole Reale | 79% | 0,002* | 0,002* | 0,001* | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,001* | 0,002* |
| Druento | 83% | 0,007 | 0,008 | 0,006 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,005 | 0,003 | 0,003 | 0,003* |
| Ivrea | 87% | 0,010 | 0,010 | 0,006 | 0,006 | 0,004 | 0,005 | 0,004 | 0,006 | 0,004 | 0,004* | 0,003* |
| Oulx | 99% | | | | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,004 | 0,001 |
| Settimo | 93% | | | | | | | | 0,015 | 0,006 | 0,006 | 0,007 |
| Susa | 98% | 0,007 | 0,006 | 0,005 | 0,004 | 0,004 | 0,003 | 0,003 | 0,004 | 0,003 | 0,003 | 0,003 |
| To-Consolata | 79% | 0,013 | 0,015 | 0,013 | 0,01 | 0,008 | 0,010 | 0,008 | 0,009 | 0,006 | 0,006 | 0,007* |
| To-Grassi | 87% | 0,017 | 0,020 | 0,018* | 0,012 | 0,012 | 0,020 | 0,011 | 0,011 | 0,008 | 0,01 | 0,011* |
| To-Lingotto PM10 | 93% | 0,011 | 0,012 | 0,009 | 0,007 | 0,007 | 0,009 | 0,007 | 0,007 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |
| To-Rebaudengo | 98% | | | 0,020 | 0,019 | 0,015 | 0,021 | 0,013 | 0,016 | 0,011 | 0,01 | 0,011 |
| To-Rubino | 90% | 0,011 | 0,011 | 0,010 | 0,009 | 0,007 | 0,008 | 0,006 | 0,007 | 0,005 | 0,005* | 0,005 |

* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 37: concentrazioni medie annuali di piombo determinate sul Particolato Atmosferico, 2010-2020.

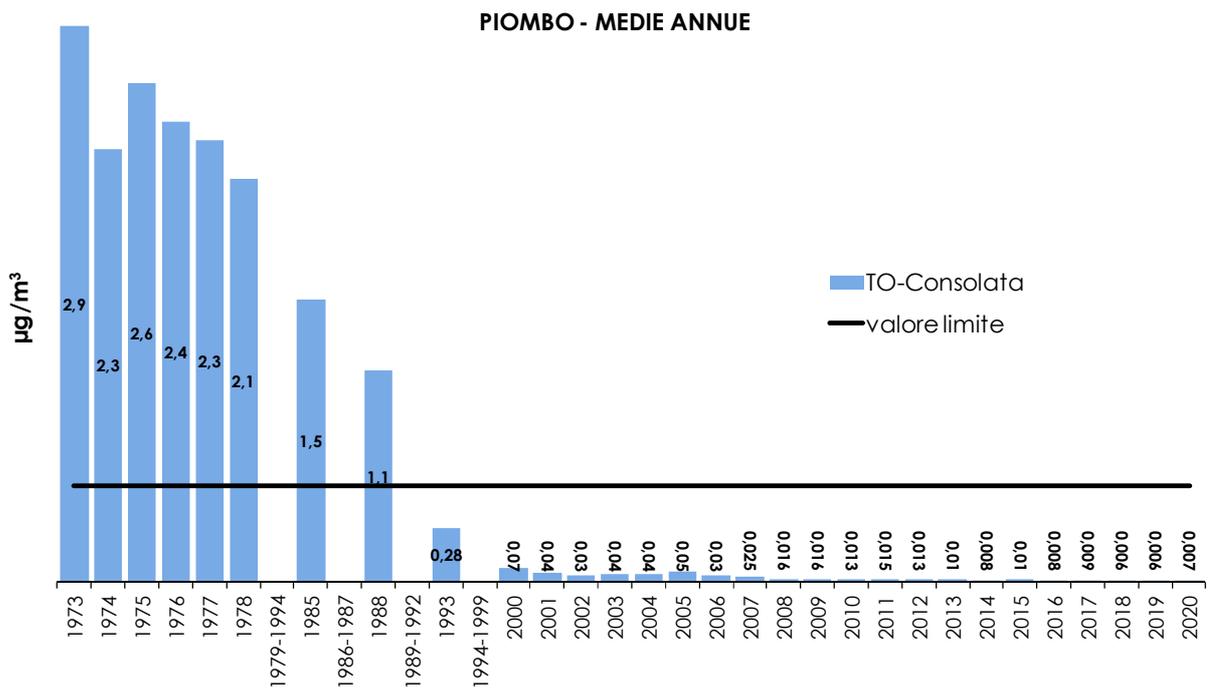


FIGURA 71: parametro piombo, medie annuali misurate presso la stazione di TO-Consolata nel periodo 1973 – 2020.

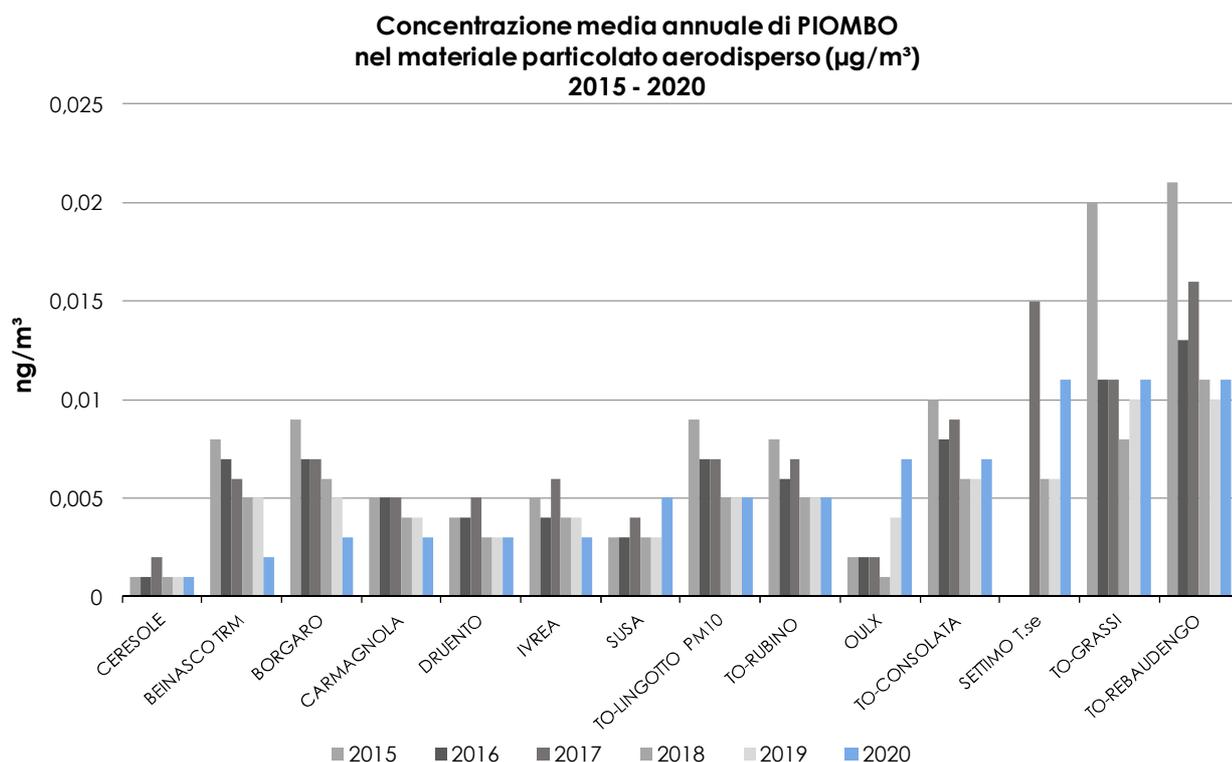


FIGURA 72: concentrazioni medie annuali di piombo determinate sul Particolato Atmosferico – 2015-2020.

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 2020 mostra un sensibile aumento dei livelli rispetto agli anni precedenti pur rimanendo sotto il livello di criticità.

Per la stazione di qualità dell'aria denominata Beinasco-TRM, prevista ed installata a seguito del progetto di costruzione e avvio del termovalorizzatore di rifiuti urbani della provincia 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 | | | | | | | | | | |
| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Beinasco-TRM | | | | 0,0006 | 0,0003 | 0,0006 | 0,0007 | 0,0006 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0007 |
| Borgaro | 0,0005 | 0,0007 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0007 |
| Carmagnola | 0,0004 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 |
| Ceresole Reale | 0,001 | 0,0009 | 0,0008 | n.c. | n.c. | n.c. | 0,0008 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0011 | 0,0010 |
| Druento | 0,0004 | 0,0006 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0005 |
| Ivrea | 0,0006 | 0,0008 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 |
| Oulx | | | | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006* | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0007 | 0,0006 |
| Settimo | | | | | | | | 0,0007 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0006 |
| Susa | 0,0003 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0007 | 0,0006 |
| To-Consolata | 0,0004 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0006 |
| To-Grassi | 0,0005 | 0,0009 | 0,0007 | 0,0006 | 0,0005 | 0,0007 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0005 | 0,0007 |
| To-Lingotto PM10 | 0,0005 | 0,0007 | 0,0006 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0007 |
| To-Rebaudengo | | | | 0,0009 | 0,0007 | 0,0009 | 0,0007 | 0,0006 | 0,0005 | 0,0009 | 0,0006 |
| To-Rubino | 0,0004 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0006 |
| STAZIONE | Percentuale in massa dei metalli nel particolato | | | | | | | | | | |
| | %Ni | | | | | | | | | | |
| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Beinasco-TRM | | | | 0,009 | 0,009 | 0,009 | 0,008 | 0,008 | 0,008 | 0,009 | 0,006 |
| Borgaro | 0,012 | 0,012 | 0,011 | 0,010 | 0,010 | 0,012 | 0,008 | 0,011 | 0,007 | 0,008 | 0,007 |
| Carmagnola | 0,009 | 0,010 | 0,008 | 0,008 | 0,007 | 0,007 | 0,005 | 0,006 | 0,006 | 0,008 | 0,005 |
| Ceresole Reale | 0,018 | 0,020 | 0,011 | 0,012 | 0,018 | 0,013 | 0,009 | 0,008 | 0,007 | 0,009 | 0,009 |
| Druento | 0,013 | 0,013 | 0,011 | 0,007 | 0,008 | 0,017 | 0,005 | 0,010 | 0,006 | 0,009 | 0,006 |
| Ivrea | 0,013 | 0,013 | 0,009 | 0,009 | 0,010 | 0,011 | 0,006 | 0,007 | 0,006 | 0,006 | 0,006 |
| Oulx | | | | 0,008 | 0,011 | 0,009 | 0,008 | 0,011 | 0,007 | 0,011 | 0,007 |
| Settimo | | | | | | | | 0,009 | 0,006 | 0,016 | 0,006 |
| Susa | 0,011 | 0,015 | 0,011 | 0,006 | 0,012 | 0,015 | 0,008 | 0,006 | 0,006 | 0,008 | 0,006 |
| To-Consolata | 0,019 | 0,017 | 0,015 | 0,012 | 0,014 | 0,013 | 0,011 | 0,009 | 0,008 | 0,012 | 0,010 |
| To-Grassi | 0,015 | 0,015 | 0,013 | 0,012 | 0,012 | 0,011 | 0,009 | 0,010 | 0,008 | 0,012 | 0,010 |
| To-Lingotto PM10 | 0,014 | 0,013 | 0,011 | 0,009 | 0,010 | 0,009 | 0,006 | 0,006 | 0,005 | 0,006 | 0,004 |
| To-Rebaudengo | | | | 0,014 | 0,011 | 0,011 | 0,008 | 0,007 | 0,006 | 0,012 | 0,006 |
| To-Rubino | 0,012 | 0,011 | 0,012 | 0,009 | 0,010 | 0,009 | 0,006 | 0,007 | 0,006 | 0,009 | 0,007 |
| STAZIONE | Percentuale in massa dei metalli nel particolato | | | | | | | | | | |
| | %Pb | | | | | | | | | | |
| | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Beinasco-TRM | | | | 0,027 | 0,027 | 0,024 | 0,024 | 0,017 | 0,018 | 0,019 | 0,018 |
| Borgaro | 0,027 | 0,030 | 0,021 | 0,026 | 0,019 | 0,026 | 0,023 | 0,018 | 0,020 | 0,019 | 0,017 |
| Carmagnola | 0,020 | 0,020 | 0,016 | 0,017 | 0,014 | 0,012 | 0,014 | 0,011 | 0,011 | 0,011 | 0,011 |
| Ceresole Reale | 0,029 | 0,025 | 0,011 | 0,017 | 0,020 | 0,014 | 0,011 | 0,018 | 0,009 | 0,011 | 0,020 |
| Druento | 0,026 | 0,026 | 0,021 | 0,017 | 0,021 | 0,017 | 0,019 | 0,019 | 0,014 | 0,016 | 0,014 |
| Ivrea | 0,036 | 0,029 | 0,018 | 0,022 | 0,017 | 0,018 | 0,015 | 0,019 | 0,016 | 0,017 | 0,011 |
| Oulx | | | | 0,011 | 0,012 | 0,011 | 0,013 | 0,011 | 0,006 | 0,027 | 0,006 |
| Settimo | | | | | | | | 0,034 | 0,017 | 0,018 | 0,020 |
| Susa | 0,032 | 0,026 | 0,024 | 0,022 | 0,025 | 0,017 | 0,018 | 0,018 | 0,017 | 0,020 | 0,019 |
| To-Consolata | 0,030 | 0,030 | 0,027 | 0,025 | 0,023 | 0,025 | 0,023 | 0,021 | 0,018 | 0,021 | 0,019 |
| To-Grassi | 0,034 | 0,034 | 0,030 | 0,026 | 0,028 | 0,038 | 0,026 | 0,023 | 0,020 | 0,026 | 0,027 |
| To-Lingotto PM10 | 0,031 | 0,027 | 0,021 | 0,018 | 0,022 | 0,025 | 0,021 | 0,018 | 0,018 | 0,019 | 0,017 |
| To-Rebaudengo | | | | 0,051 | 0,038 | 0,049 | 0,035 | 0,035 | 0,028 | 0,029 | 0,031 |
| To-Rubino | 0,028 | 0,023 | 0,025 | 0,026 | 0,023 | 0,022 | 0,019 | 0,018 | 0,017 | 0,018 | 0,016 |

TABELLA 38: concentrazioni medie annuali di cadmio, nichel e piombo determinate sul Particolato Atmosferico, 2010-2020.

- 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*, 2nd edition, pubblicato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità nell'anno 2000;
 - c) L'ultima edizione disponibile dell'*AMA/UNEP Technical Background Report for the Global Mercury Assessment*, pubblicato nel 2013 dall'Arctic Monitoring and Assessment Programme e dallo United Nations Environment Programme;
2. ai dati forniti dal Centro Regionale Aria di ARPA Puglia, riferiti alla stazione Torchiarolo Don Minzoni ubicata nel Comune di Torchiarolo, in Provincia di Brindisi, che si trova sottovento a un impianto industriale (centrale termoelettrica a carbone) e i cui dati risultano quindi di particolare interesse nella presente relazione;
3. 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/m³ e 10 ng/m³. Il documento *Ambient Air Pollution by Mercury–Position Paper* indica che concentrazioni tipiche sono dell'ordine di 1,2-3,7 ng/m³, con punte nei siti più impattati dell'ordine di 20-30 ng/m³; questi valori sono confermati anche dai dati più recenti messi a disposizione dall'Agenzia Europea dell'Ambiente⁶⁷.

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

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

- tra 1,61 e 1,66 ng/m³ per il mercurio elementare gassoso;
- tra 6,42 e 7,20 pg/m³ per il mercurio presente sul PM2,5;
- tra 0,73 e 1,72 pg/m³ per il mercurio ossidato in fase gassosa.

La stazione di Torchiarolo (Br), suburbana di tipo industriale, ha rilevato nel 2020 un valore di media annuale pari a 2,6 ng/m³, con un massimo orario di 23,0 ng/m³. La stazione di Monte Sant'Angelo (FG), di fondo rurale, ha registrato nel 2019 una media di 1,7 ng/m³, con un massimo di 4,0 ng/m³.

⁶⁷ Si veda il rapporto EEA Air quality in Europe — 2015 report, pag. 38

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

- il valore di linea guida in aria ambiente stabilito dall'Organizzazione Mondiale della Sanità, che è pari a 1000 ng/m³ come media annuale per il mercurio inorganico⁶⁸;
- l'RfC (Reference Concentration for Chronic Inhalation Exposure) definito da U.S. – EPA (Environmental Protection Agency), pari a 300 ng/m³ per il mercurio elementare ⁶⁹ ;
- l'MRL (Minimal Risk Level) per esposizione cronica definito dall'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), pari a 200 ng/m³ per il mercurio elementare⁷⁰.

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 2020 sono riassunti nella TABELLA 39, mentre la TABELLA 40 riporta nel dettaglio le concentrazioni medie mensili.

| Mercurio elementare gassoso (valori di conc. espressi in ng/m ³) | Beinasco (TRM) - Aldo Mei |
|---|---------------------------|
| Minima media giornaliera | 2 |
| Massima media giornaliera | 6 |
| Media delle medie giornaliere | 4 |
| Giorni validi | 349 |
| Percentuale giorni validi | 95% |
| Media dei valori orari | 4 |
| Massima media oraria | 15 |
| Ore valide | 8387 |
| Percentuale ore valide | 95% |

TABELLA 39: Mercurio elementare gassoso: indicatori statistici anno 2020

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

TABELLA 40: Mercurio elementare gassoso: concentrazioni medie mensili anno 2020

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

⁶⁸ 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 i suoli in cui il mercurio si accumula a causa delle emissioni antropogeniche in atmosfera e dei conseguenti fenomeni di trasporto, trasformazione e deposizione anche su lunga distanza. Nei sistemi acquatici una parte del mercurio si trasforma per azione di microorganismi in composti del tipo del metilmercurio che hanno facilità a bioaccumularsi nella catena alimentare causa la loro caratteristiche lipofile

⁶⁹ 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

⁷⁰ 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)

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 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 41.

| Mercurio sul PM10 (valori di conc. espressi in ng/m ³) | Beinasco (TRM) Aldo Mei |
|---|-------------------------|
| Gennaio | < 0,14 |
| Febbraio | < 0,16 |
| Marzo | < 0,14 |
| Aprile | < 0,15 |
| Maggio | < 0,14 |
| Giugno | < 0,15 |
| Luglio | < 0,15 |
| Agosto | < 0,14 |
| Settembre | < 0,15 |
| Ottobre | < 0,14 |
| Novembre | < 0,15 |
| Dicembre | < 0,14 |

TABELLA 41: Mercurio sul PM10 - Concentrazioni medie mensili anno 2020.

Analizzando nel dettaglio la serie temporale del mercurio elementare gassoso, si osserva che i valori misurati nel 2020 si sono costantemente assestati attorno ad alcuni ng/m³, con un massimo assoluto orario, verificatosi a settembre e ad ottobre, pari a 15 ng/m³.

Sotto il profilo della protezione della salute, anche considerando la somma delle due forme di mercurio aerodisperso (gassoso e presente sul PM10), sia le singole medie mensili che la media annuale risultano nel 2020 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 74 è riportato l'andamento temporale delle concentrazioni medie mensili di mercurio dall'attivazione della stazione sino a tutto il 2020. 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.

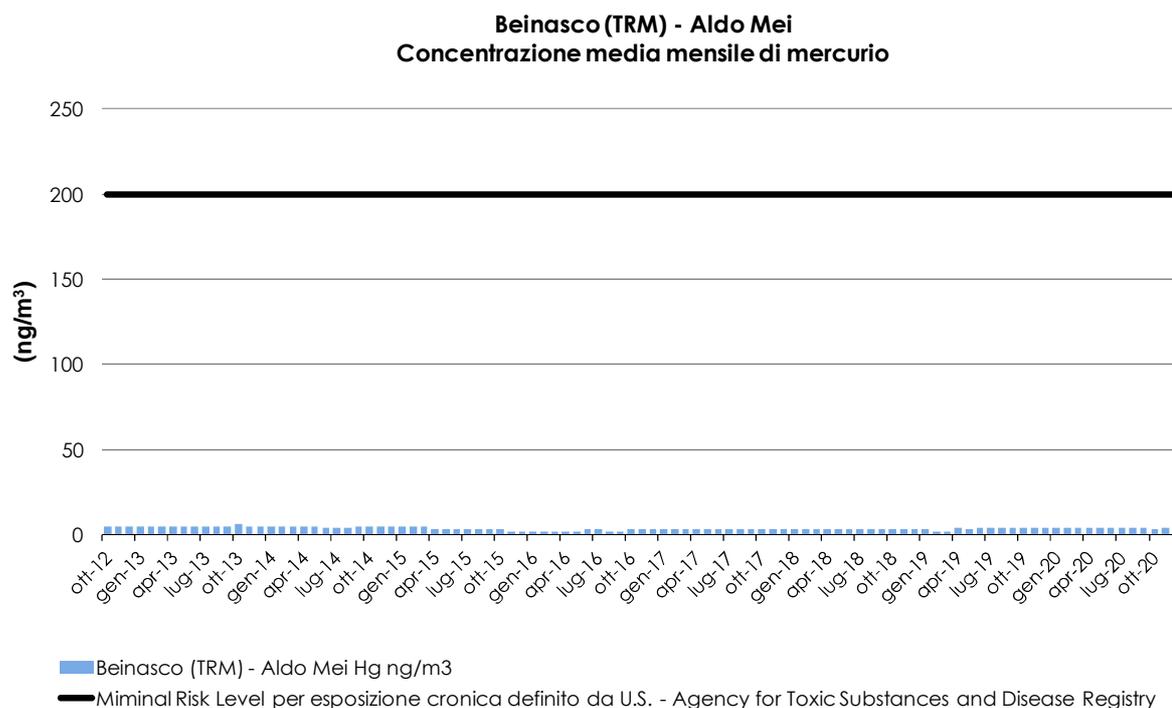


FIGURA 74: Andamento delle concentrazioni mensili di mercurio nella stazione di Beinasco Aldo Mei dal 2012 al 2020

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 una fonte di IPA è costituita anche dalle emissioni prodotte dal traffico veicolare. Esistono inoltre sorgenti naturali rappresentate principalmente dalle eruzioni vulcaniche e dagli incendi boschivi.

Negli ultimi anni la concentrazione di queste sostanze in aria ambiente è diminuita in seguito all'adozione di migliorie tecnologiche in vari ambiti, quali l'introduzione di sistemi di abbattimento delle emissioni industriali e l'installazione dei convertitori catalitici sui veicoli. Anche la maggior diffusione dell'uso gas naturale ai fini della produzione di energia ha costituito un indubbio beneficio in termini di emissioni di IPA.

La diffusione dell'utilizzo delle biomasse per il riscaldamento domestico, invece, se da un lato ha indubbi benefici in termini di bilancio complessivo di gas serra, dall'altro va tenuta attentamente sotto controllo in quanto la quantità di IPA emessi da un impianto domestico alimentato a legna è 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 è di oltre 200 volte superiore⁷¹.

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 una piccola percentuale (< 0,1% in termini di massa) 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, che negli ultimi anni è stato oggetto di molti approfondimenti scientifici, 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.

A tal proposito, l'International Agency for Research on Cancer (IARC)⁷² 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 42). Non sono previsti limiti normativi per gli altri IPA perché, essendo il BaP il composto più

⁷¹ 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

⁷² International Agency for Research on Cancer (IARC) –Agents reviewed by the IARC monographs Volumes 1-100A last updated 2 april 2009

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

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

TABELLA 42: benzo(a)pirene, valori di riferimento e normativa in vigore.

ESAME DEI DATI

In TABELLA 43 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. 2020 (% giorni validi) | Concentrazione media annuale di Benzo(a)pirene nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³) | | | | | | | | | | | |
|------------------|--|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| Beinasco-TRM | 98% | | | | | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,5 | 0,5 | 0,6 |
| Borgaro | 90% | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8* | 0,7* | 0,7* | 0,9* | 0,8 | 0,8 | 0,6 | 0,6* | 0,7 |
| Carmagnola | 96% | 0,7 | 0,7 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| Ceresole Reale | 73% | 0,2* | 0,1* | 0,1* | 0,1* | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,0* | 0,0* | 0,0* |
| Druento | 83% | 0,5* | 0,4 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3* |
| Ivrea | 87% | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,7 | 1,1 | 0,8 | 0,9* | 0,6 | 0,7* | 0,9* |
| Oulx | 99% | | | | | 0,5 | 0,5* | 0,5* | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 |
| Settimo | 95% | | | | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,1 | 1,3* | 0,7* | 0,8 | 1,0 |
| Susa | 97% | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| To-Consolata | 79% | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,4 | 0,4 | 0,6* |
| To-Grassi | 89% | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,1* | 1,1* | 1,0* | 1,7* | 0,9 | 1,0 | 0,7* | 0,7 | 0,9* |
| To-Lingotto PM10 | 93% | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,7 | 0,8 | 0,5* | 0,5 | 0,7 |
| To-Rebaudengo | 98% | | | | 0,9 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,6 | 0,7 | 0,9 | 0,8 |
| To-Rubino | 89% | 0,6* | 0,5 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,9 | 0,7 | 0,7 | 0,5* | 0,4* | 0,6* |

* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 43: concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene rilevate sul Particolato Atmosferico- 2009-2020.

Le concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene misurate nei siti di Ceresole Reale, Druento, Ivrea, To-Consolata, To-Grassi e To-Rubino sono calcolate su un numero di dati validi inferiore al 90%, pertanto non sono pienamente rappresentative dell'intero anno solare. In particolare, le stazioni di Druento e To-Consolata hanno una bassa percentuale di dati validi poiché nel periodo di lockdown totale di marzo-aprile le attività di campionamento sono state sospese per problemi conseguenti alle limitazioni imposte dall'emergenza sanitaria; in particolare per la stazione di Druento non si poteva accedere al parco de La Mandria, mentre la stazione di To-Consolata è collocata nei locali ASL che erano stati convertiti a centro Covid.

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.

Per quasi tutte le stazioni, nel 2020 si è riscontrato un incremento dei valori di concentrazione media annuale del B(a)P rispetto ai dati del 2019; solo per le stazioni di Ceresole Reale e Susa il dato non è variato. L'unica stazione presso cui si è registrato un leggero decremento è To-Rebaudengo, che rimane comunque una delle stazioni con le concentrazioni più elevate del territorio metropolitano, insieme a Settimo Torinese, Ivrea e To-Grassi. In particolare, presso la stazione di Settimo il valore medio annuo è di 1 ng/m³, ossia pari al valore obiettivo fissato dalla normativa per questo inquinante.

Come per gli anni scorsi, la stazione con le concentrazioni più basse di B(a)P si conferma quella di Ceresole Reale, per la quale spesso i livelli 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.

In FIGURA 75 sono state confrontate le concentrazioni medie mensili di Benzo(a)Pirene registrate presso la stazione di Settimo Torinese con i valori medi, minimi e massimi misurati nelle altre stazioni del territorio provinciale. Come evidenziato in FIGURA 75, le concentrazioni misurate in questa stazione nei mesi freddi si discostano in modo piuttosto evidente dai valori medi misurati in tutte le stazioni di monitoraggio del territorio provinciale.

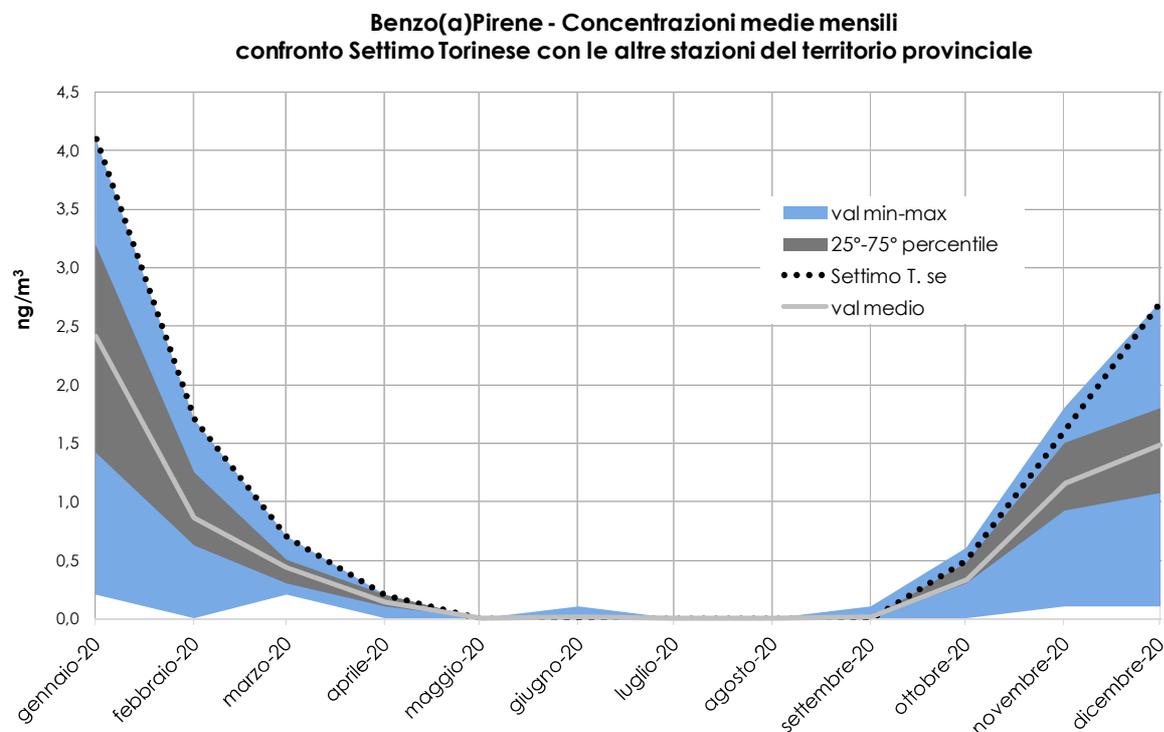


FIGURA 75: andamento mensile della concentrazione di benzo(a)pirene rilevato stazione di Settimo Torinese in relazione alle concentrazioni delle altre stazioni del territorio.

In FIGURA 76 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 2015-2020.

In tutte le stazioni nel 2020 si è registrato un aumento delle concentrazioni medie annuali di IPA, ad esclusione della stazione di Torino Rebaudengo, per la quale è stata riscontrata una diminuzione dei valori di concentrazione del 12%. Il valore più elevato di concentrazione media annuale è stato registrato nella stazione di Settimo Torinese, con un incremento del 16% rispetto al 2019.

L'aumento diffuso sul territorio provinciale dei valori di concentrazione degli IPA è in controtendenza rispetto a quanto si era osservato nel biennio 2018-2019, durante il quale si era riscontrata una diminuzione dei valori. Questo incremento può essere imputabile alle condizioni meteo climatiche del 2020, anno che, a causa delle scarse precipitazioni atmosferiche che hanno determinato un deficit del 5%, è stato classificato come il 24° anno meno piovoso a partire dal 1958. Inoltre, rispetto al biennio precedente sono aumentati gli episodi di nebbia che, verificandosi nei periodi caratterizzati da stabilità anticiclonica con condizioni di inversione termica, favoriscono l'accumulo degli inquinanti negli strati bassi dell'atmosfera⁷³

Un altro fattore che potrebbe avere influito sull'aumento delle concentrazioni di IPA in atmosfera, potrebbe essere legato all'emergenza sanitaria Covid 19. Le limitazioni delle attività lavorative e scolastiche in presenza ha determinato una maggiore permanenza dei cittadini nelle proprie abitazioni (smart working e DAD) con un incremento dell'utilizzo dei riscaldamenti domestici (vd capitolo "Impatto sulla qualità dell'aria dei provvedimenti legati all'emergenza Covid-19"). Infatti,

⁷³ Il clima in Piemonte 2020 - Arpa Piemonte, Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali

gli aumenti più consistenti sono stati registrati nei mesi di marzo (lockdown totale), ottobre e novembre (periodo in cui il Piemonte era in "zona rossa") nelle stazioni a maggior valenza rurale, ossia nelle realtà in cui è maggiormente diffuso l'utilizzo del riscaldamento a biomassa.

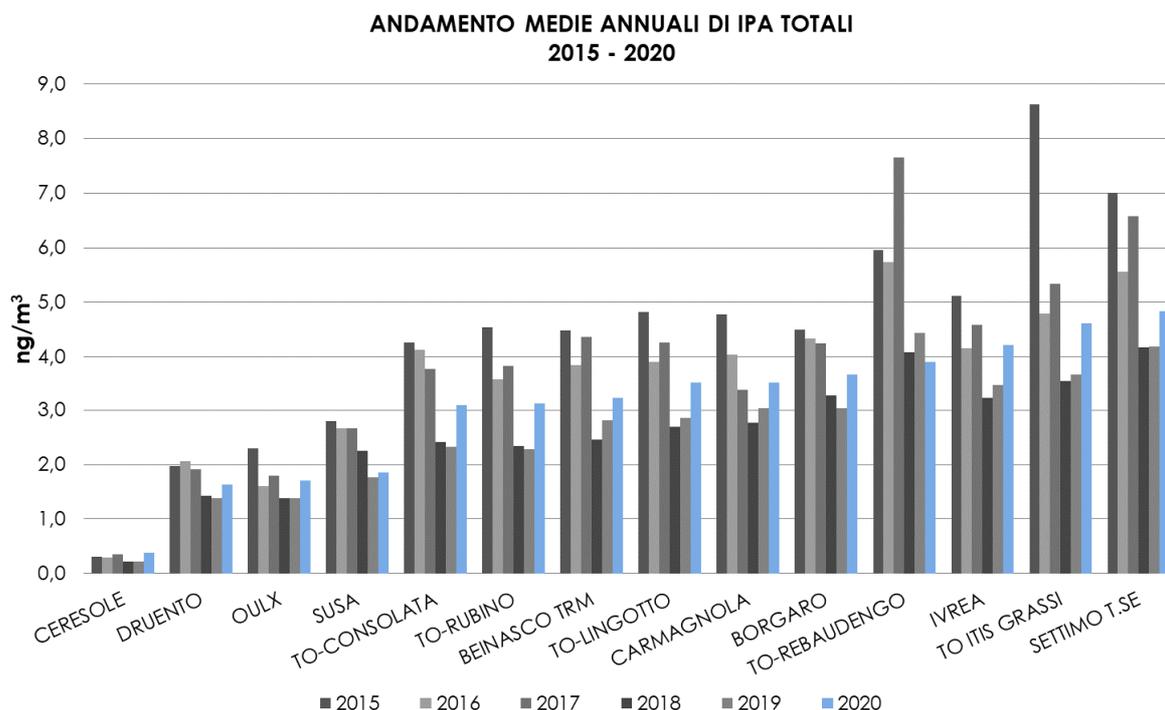


FIGURA 76: andamento medie annuali IPA totali periodo 2015-2020 – Benzo(a)Pirene + Benzo(a)Antracene + Benzo(b,j,k)Fluorantene + Indeno(1,2,3-cd)Pirene.

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 $10\ \mu\text{m}^{74}$.

Come evidenziato in FIGURA 77, 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.

Le stazioni di Susa, Ivrea e Oulx si confermano essere, come per gli anni precedenti, quelle con le percentuali maggiori di IPA nelle polveri; sono tutte rappresentative di siti suburbani maggiormente influenzati dalle emissioni prodotte dalla combustione di biomassa utilizzata per il riscaldamento domestico.

Anche per il 2020, 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-Consolata (FIGURA 78). 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-Consolata è una stazione di traffico urbano. Per il mese di aprile non sono presenti i dati di Druento e To-Consolata a causa delle limitazioni dovute all'emergenza sanitaria che hanno impedito l'accesso alle stazioni di monitoraggio.

⁷⁴ Le percentuali utilizzate nelle figure, in riferimento alla media dei mesi freddi e a quella dei mesi caldi, sono calcolate sulla base delle concentrazioni medie giornaliere di IPA e PM10 misurate per il semestre freddo nei mesi di gennaio, febbraio, marzo, ottobre, novembre, dicembre e per il semestre caldo le concentrazioni misurate nei mesi di aprile, maggio, giugno, luglio, agosto, settembre.

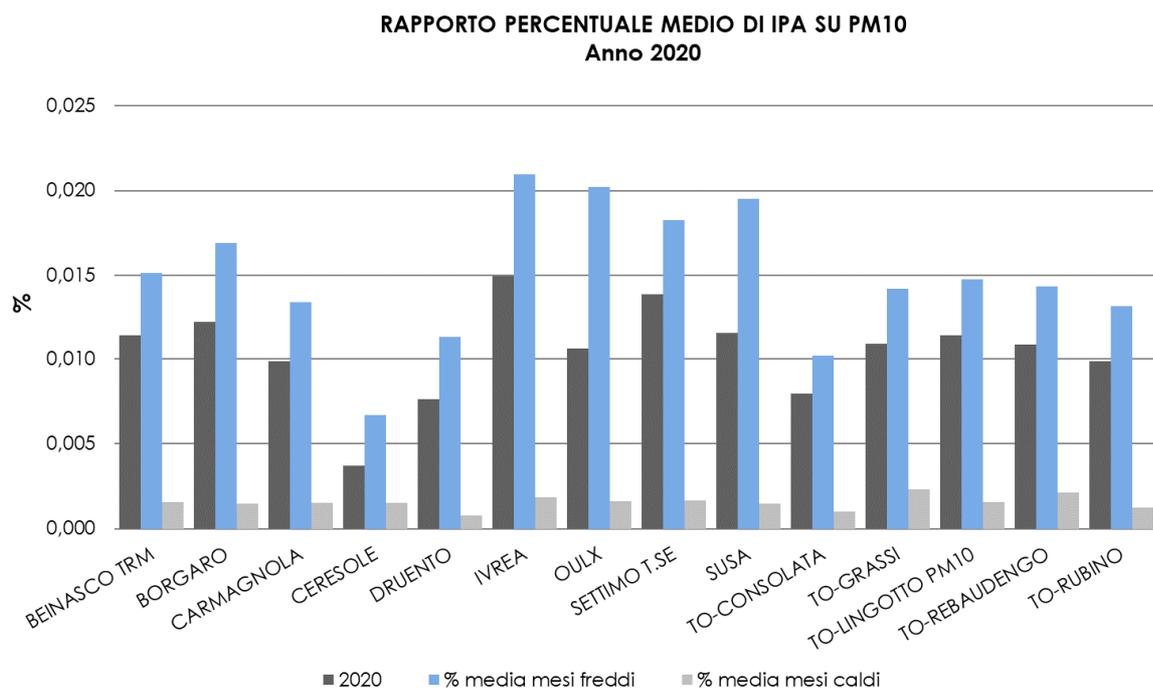


FIGURA 77: percentuale di IPA totali nel PM10 – anno 2020.

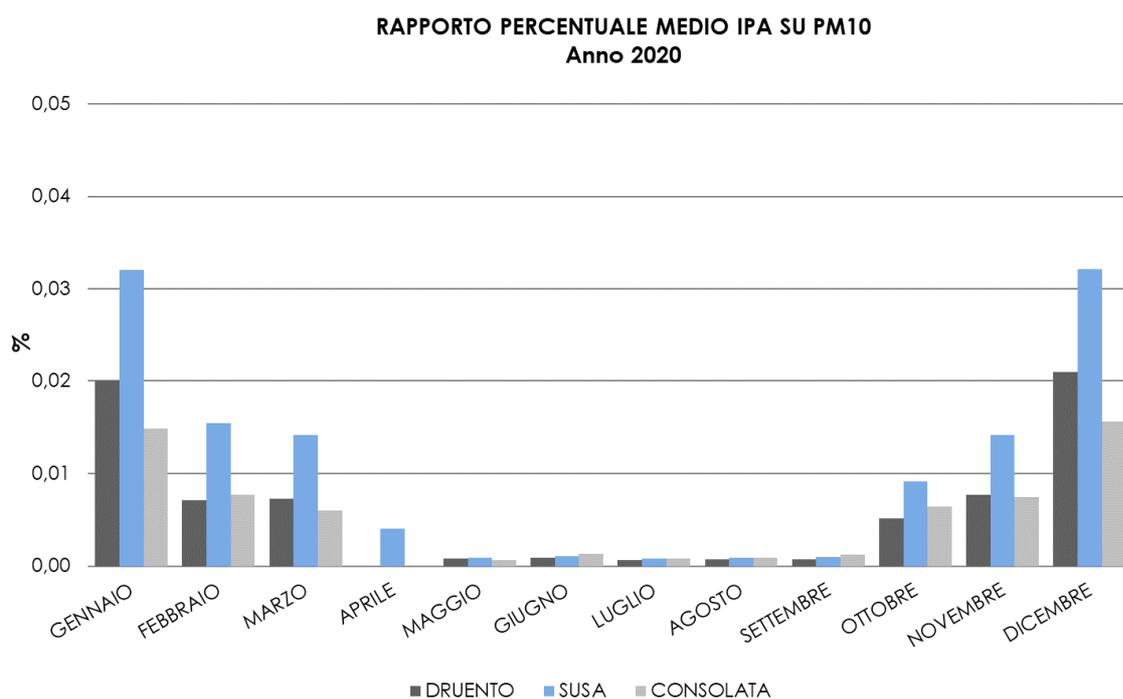


FIGURA 78: percentuale IPA totali nel PM10 – Andamento delle medie mensili – anno 2020.

A conferma di quanto evidenziato nel precedente istogramma, anche da FIGURA 78 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 inquinati 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, nei mesi freddi, soprattutto a gennaio e dicembre, molto più elevata rispetto a Druento e To-Consolata. Tale situazione confermerebbe l'ipotesi che una delle maggiori fonti antropiche di IPA sia rappresentata dalla combustione delle biomasse utilizzate per il riscaldamento domestico.

IMPATTO SULLA QUALITÀ DELL'ARIA DEI PROVVEDIMENTI LEGATI ALL'EMERGENZA COVID-19

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

S.Bande, M. Sacco, A. Bruno, M.Clemente, F. Bissardella, S.Ghigo (Arpa Piemonte)

PREMESSA

A partire dal mese di marzo del 2020 si è assistito ad una complessiva diminuzione delle concentrazioni degli inquinanti in aria ambiente. Poiché nello stesso periodo sono entrati in vigore, a seguito dell'emergenza COVID-19, i provvedimenti di limitazione degli spostamenti e delle attività produttive che agivano indirettamente sulle emissioni, principalmente quelle legate al comparto trasporti e al comparto industriale, risulta importante indagare se e in quale misura esista un legame diretto tra i due fenomeni.

Il presente rapporto prende quindi in esame l'insieme dei dati disponibili (variazioni delle pressioni emissive, meteorologia e stato della qualità dell'aria nella prima parte del rapporto ed analisi della composizione chimica del particolato nella seconda) con lo scopo di verificare se è possibile evidenziare un effetto aggiuntivo dei provvedimenti legati all'emergenza COVID-19 sulla diminuzione delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici. L'analisi, a livello di stato di qualità dell'aria e meteorologia, è stata estesa fino al mese di novembre 2020, per prendere in considerazione anche le misure di contenimento adottate nei mesi estivi ed autunnali, meno stringenti rispetto a quelle del lockdown. I risultati nel seguito presentati sono stati elaborati nell'ambito delle valutazioni condotte nel progetto LIFE Prepair^{75,79} e nell'ambito di specifiche analisi condotte da ARPA Piemonte sull'intero territorio piemontese⁷⁶.

ANALISI DEGLI EFFETTI DELLE MISURE DI CONTENIMENTO SULLE EMISSIONI IN ATMOSFERA E SULLA QUALITÀ DELL'ARIA.

Emissioni

L'analisi degli effetti sulle emissioni in atmosfera è stata condotta stimando per i vari comparti emissivi le variazioni settimanali dei determinanti nel periodo di lockdown, rispetto allo stesso periodo dell'anno in condizioni di normalità (in assenza quindi di provvedimenti di limitazione). La metodologia di stima è stata messa a punto, concordata ed applicata su tutto il Bacino Padano dalle Regioni e dalle Arpa coinvolte nel progetto LIFE Integrato PREPAIR. Per il Piemonte sono stati considerati i seguenti comparti emissivi: produzione di energia, riscaldamento (terziario e domestico), industria, trasporti (urbani, extraurbani e autostrade), trasporti aeroportuali e ferroviari (linee non elettrificate), trasporti "off-road", distribuzione combustibili, agricoltura. Le emissioni di ciascun comparto sono determinate dai fattori di pressione che le diverse sorgenti emissive esercitano sul territorio (determinanti); i principali determinanti analizzati sono stati:

- flussi di traffico su rete urbana, extraurbana, autostrade;
- volumi di traffico ferroviario e aereo;
- consumi di energia per domestico, terziario, industria;
- produzione di energia termoelettrica;
- attività agricole e spandimenti di effluenti zootecnici (calendario dei periodi autorizzati).

Dati emissivi

I dati emissivi si basano sull'Inventario Regionale delle Emissioni, ripartito in 208 attività emissive, con dettaglio comunale: per gli inquinanti particolato primario PM10 e ossidi di azoto (NO_x espressi come NO₂) il totale emesso annualmente (dato di Inventario) è stato prima di tutto aggregato su base regionale a livello di attività SNAP. Per ricostruire le emissioni settimanali del periodo di studio sono stati utilizzati i profili di modulazione temporale in uso nel sistema modellistico di Arpa Piemonte, specifici fino al livello di attività SNAP: le emissioni totali annuali relative a ciascuna categoria SNAP sono state quindi moltiplicate per i propri coefficienti mensili (relativi ai mesi di febbraio, marzo, aprile e maggio) in modo da ottenere le sommatorie mensili per attività emissiva.

75 Arpa Emilia-Romagna, Arpa Piemonte, Arpa Lombardia, Arpa Fvg, Arpa Veneto, Arpa Trento, Arpa Valle D'aosta, REPORT 1 COVID-19 STUDIO PRELIMINARE DEGLI EFFETTI DELLE MISURE COVID-19 SULLE EMISSIONI IN ATMOSFERA E SULLA QUALITÀ DELL'ARIA NEL BACINO PADANO (GIUGNO 2020), E REPORT 2 COVID-19 STUDIO PRELIMINARE DEGLI EFFETTI DELLE MISURE COVID-19 SULLE EMISSIONI IN ATMOSFERA E SULLA QUALITÀ DELL'ARIA NEL BACINO PADANO (AGOSTO 2020), <https://www.lifeprepare.eu/index.php/azioni/air-quality-and-emission-evaluation/#toggle-id-27>

76 ARPA Piemonte, Analisi sul territorio piemontese degli effetti sulla qualità dell'aria e sulle emissioni in atmosfera dei provvedimenti legati all'emergenza COVID-19, https://www.arpa.piemonte.it/arpa-comunica/file-notizie/2020/Qualit_aria_COVID_Piemonte.pdf

Con lo stesso livello di dettaglio sono stati poi ottenuti i giorni-tipo mensili, indispensabili per ricostruire lo step temporale settimanale.

Determinanti

Al dato settimanale è stato applicato un coefficiente di riduzione delle emissioni (proxy), individuato integrando i dati provenienti da più fonti informative, con diverso dettaglio temporale (mensile, settimanale o addirittura giornaliero). Sono state analizzate diverse fonti dati (regionali e nazionali) per individuare le proxy di riduzione delle emissioni più rappresentative per ciascuna delle 208 attività emissive. Alle categorie emissive modificate dal lockdown, sono state quindi applicate le proxy individuate (a livello di attività SNAP, per quanto possibile), mentre le altre sono state lasciate invariate. Le riduzioni emissive sono state calcolate in modo differenziato a seconda della categoria emissiva: in alcuni casi rispetto al giorno-tipo dell'anno precedente, in altri rispetto al giorno-tipo o mese-tipo del periodo pre-Covid19.

Variazione delle emissioni di particolato primario PM10

Per quanto riguarda il particolato primario PM10, il periodo di lockdown ha avuto da una parte un effetto di riduzione sulle emissioni da trasporto stradale e sulle emissioni industriali, dall'altra un effetto di aumento complessivo delle emissioni da riscaldamento (circa il 14%) – aumento legato ad un maggiore fabbisogno energetico in ambito domestico, motivato dalla maggiore permanenza in casa a causa delle misure di distanziamento sociale - parzialmente bilanciato dalla diminuzione del fabbisogno energetico del settore terziario e commerciale. Il fatto che il riscaldamento (in particolare a biomassa) nei mesi in esame rappresenti il contributo principale alle emissioni di particolato primario PM10 (oltretutto leggermente aumentato dalla maggiore permanenza in casa), ha determinato una situazione praticamente invariata dal punto di vista emissivo fino alla prima metà di aprile; a partire dalla seconda metà di aprile, mancando il contributo del riscaldamento, sono risultate evidenti le riduzioni emissive (-35-40%) legate principalmente ai trasporti stradali.

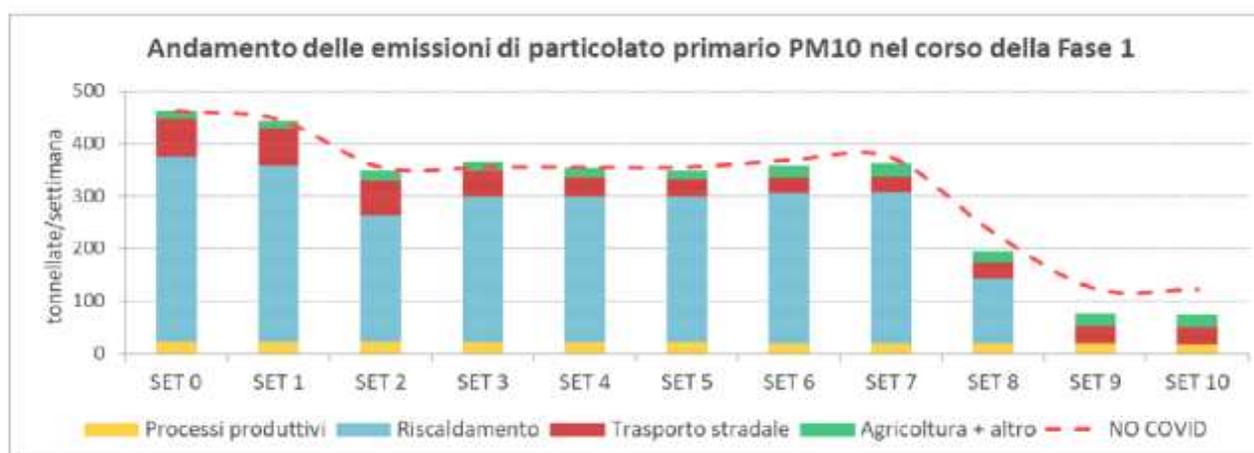
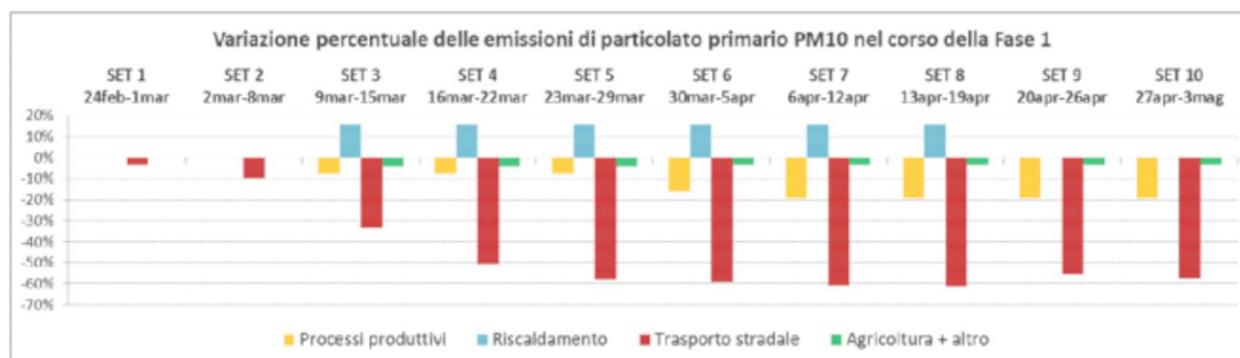


FIGURA 79: emissioni di particolato primario PM10: variazione percentuale settimanale nel corso della fase 1 (in alto); emissioni di particolato primario PM10: contributo emissivo settimanale nel corso della fase 1 (in basso).

Variatione delle emissioni degli ossidi di azoto.

Per quanto riguarda gli ossidi di azoto, il periodo di lockdown ha avuto un effetto di riduzione soprattutto sulle emissioni da trasporto stradale e, in misura minore, sulle emissioni industriali. Non ha avuto effetti significativi sul comparto agricolo: le riduzioni nel grafico associate al comparto "Agricoltura + altro" sono riferite alle emissioni degli aeroporti e delle ferrovie non elettrificate, in quanto classificate come altre tipologie di trasporti. Le misure di distanziamento sociale hanno avuto un effetto di aumento complessivo delle emissioni da riscaldamento, a causa dell'aumentato fabbisogno energetico in ambito domestico, anche se parzialmente bilanciato dalla diminuzione del fabbisogno legato al settore terziario e commerciale. Rispetto all'andamento delle emissioni di ossidi di azoto in una situazione normale (linea tratteggiata in rosso nella successiva figura), il contributo emissivo degli ossidi di azoto nella fase 1 ha visto una evidente riduzione a partire dal 9 marzo, soprattutto grazie alla netta diminuzione dei trasporti stradali: l'effetto finale, pur tenendo conto dell'aumento fisiologico delle emissioni legate al comparto agricolo nel periodo primaverile, ha raggiunto a inizio maggio una riduzione di oltre il 30% del contributo emissivo.

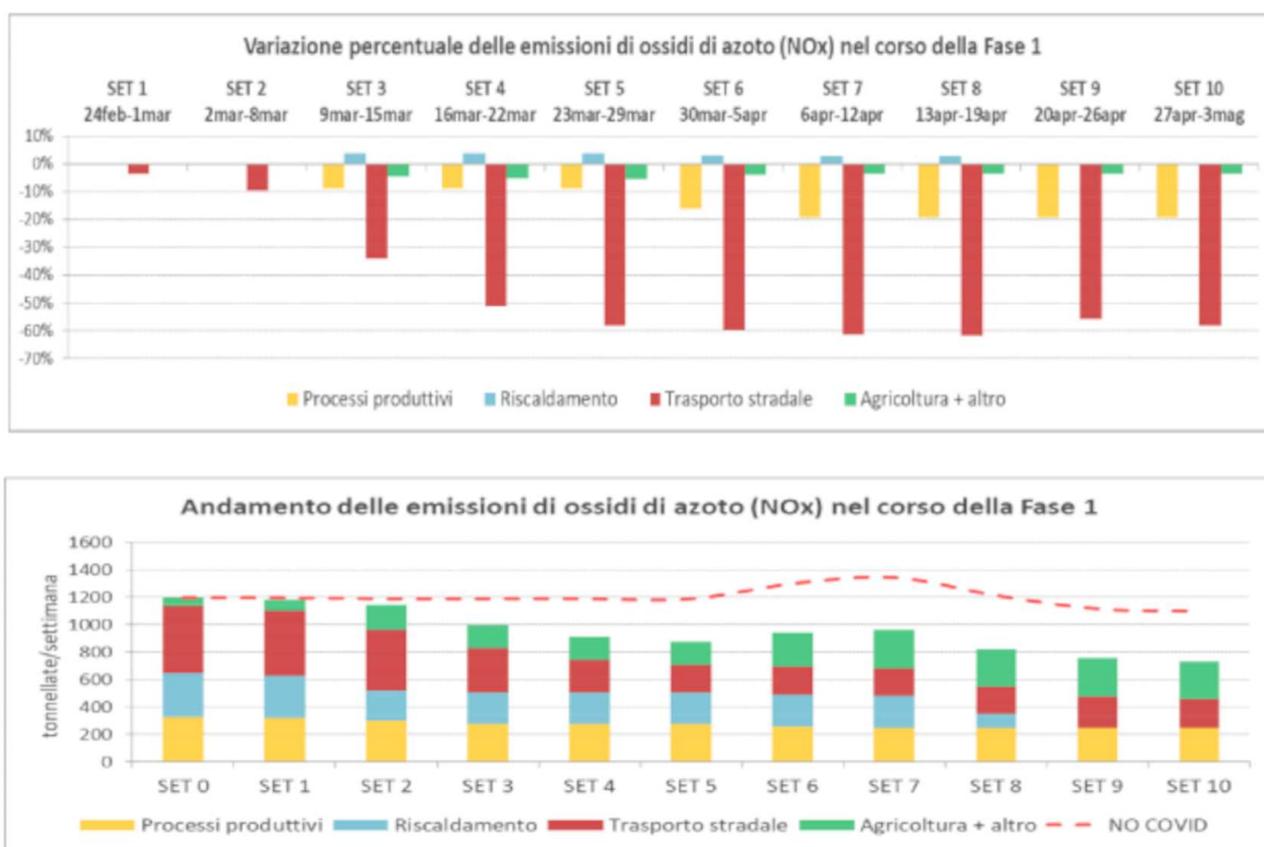


FIGURA 80: emissioni di ossidi di azoto: variazione percentuale settimanale nel corso della fase 1 (in alto); emissioni di ossidi di azoto: contributo emissivo settimanale nel corso della fase 1 (in basso).

Dati di qualità dell'aria

L'analisi dei dati di qualità dell'aria è stata condotta su biossido (NO_2) e monossido di azoto (NO), PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ e benzene misurati dalle stazioni del sistema di monitoraggio della qualità dell'aria di ARPA Piemonte localizzate nella Città Metropolitana di Torino⁷⁷ nel periodo 01 gennaio 30 novembre 2020, quindi sia prima che durante il periodo di efficacia dei provvedimenti legati all'emergenza COVID-19.

La serie temporale delle concentrazioni di inquinanti in atmosfera è di per sé caratterizzata da un andamento stagionale, con livelli più alti in inverno, più bassi in estate ed intermedi nelle stagioni primaverili ed autunnali. Pertanto, per valutare (qualitativamente) gli effetti delle misure di

⁷⁷ Lo studio ha preso in considerazione tutta la regione Piemonte, ma in questa sede si riportano i risultati relativi alla sola Città Metropolitana di Torino.

lockdown sulla qualità dell'aria, le concentrazioni sono state analizzate confrontandole rispetto a quelle misurate nello stesso periodo dalle stazioni di monitoraggio per gli anni che vanno dal 2012 al 2019.

Per tutti gli inquinanti i dati sono stati aggregati a livelli giornaliero e per ciascuno sono state calcolate ed analizzate:

- la distribuzione dei valori medi giornalieri su base mensile del 2020 e del periodo di confronto tramite boxplot⁷⁸, considerando l'insieme di tutte le stazioni utilizzate;
- gli andamenti giornalieri dell'anno in corso rispetto ai valori giornalieri massimi, minimi e medi del periodo di confronto, sulle singole stazioni utilizzate.

Biossido di azoto, monossido di azoto e benzene

Il confronto, mostrato in FIGURA 81, tra le distribuzioni mensili dei valori medi giornalieri di biossido di azoto del 2020 (box in azzurro) e quelle del periodo di riferimento (box in blu), evidenzia un generale calo dei livelli di concentrazione a partire dal mese di marzo 2020 e fino alla fine dell'anno. Nei mesi di lockdown (marzo, aprile, maggio) la diminuzione è marcata: la mediana ed il terzo quartile della distribuzione di questi mesi sono circa dimezzati rispetto a quelle 2012-2019; diminuzioni importanti si hanno anche a giugno, ottobre e novembre. Si noti che nel mese di novembre, l'indice dei giorni favorevoli all'accumulo di PM10 sull'agglomerato torinese, riportato nel capitolo "Considerazioni sulle caratteristiche meteorologiche del 2020", si porta su valori prossimi ai massimi del periodo di riferimento, evidenziando quindi un mese con caratteristiche favorevoli all'accumulo degli inquinanti.

Gli andamenti giornalieri del 2020 (linea rossa) rispetto ai valori giornalieri massimi, minimi (banda azzurra nel grafico) e medi (linea blu) del periodo di confronto (nella figura seguente sono riportati quelli per Torino Consolata, Borgaro T.se Caduti e Torino Rebaudengo) confermano quanto mostrato nei grafici precedenti: le concentrazioni medie si mantengono, dal mese di marzo e fino a fine periodo, sempre al di sotto dei valori medi del periodo, portandosi su livelli inferiori anche ai minimi di riferimento tra marzo e maggio e tra novembre e dicembre (FIGURA 82).

⁷⁸Il boxplot è una rappresentazione sintetica dei valori di una distribuzione. Ciascun box è delimitato in alto ed in basso dal primo e terzo quartile (25° e 75° percentile), la barra orizzontale al centro rappresenta la mediana (50° percentile), mentre le barre orizzontali fuori dal box sono dei valori soglia calcolati sulla base della differenza tra il primo ed il terzo quartile, che servono ad identificare gli outlier, vale a dire "valori anomali", particolarmente alti o bassi che sono indicati come pallini.

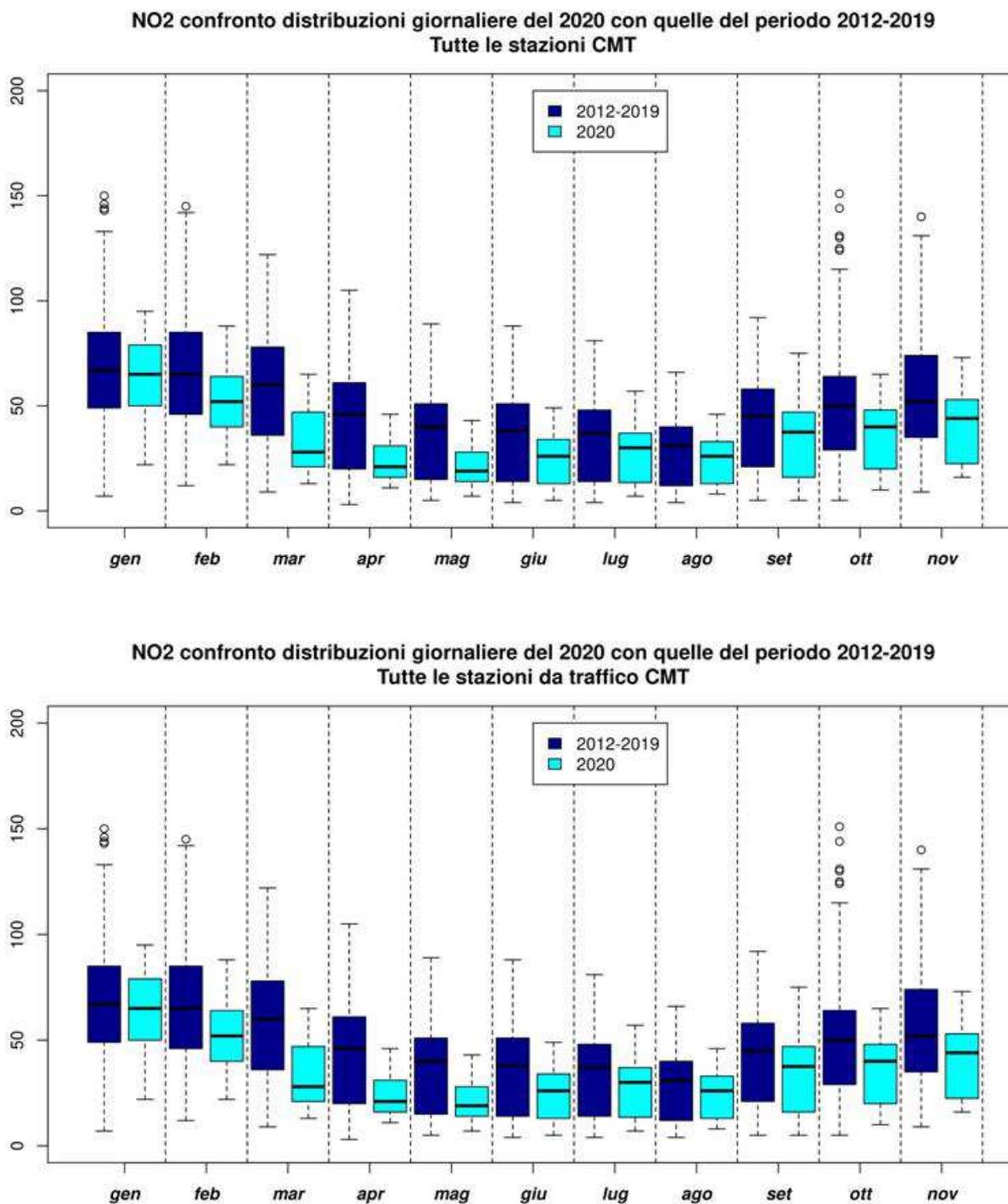


FIGURA 81: boxplot delle distribuzioni dei valori medi giornalieri di biossido di azoto su base mensile per il 2020 (azzurro) e per il periodo di riferimento (in blu) misurati sull'insieme delle stazioni della Città Metropolitana di Torino (in alto) e sulle sole stazioni di traffico (in basso).

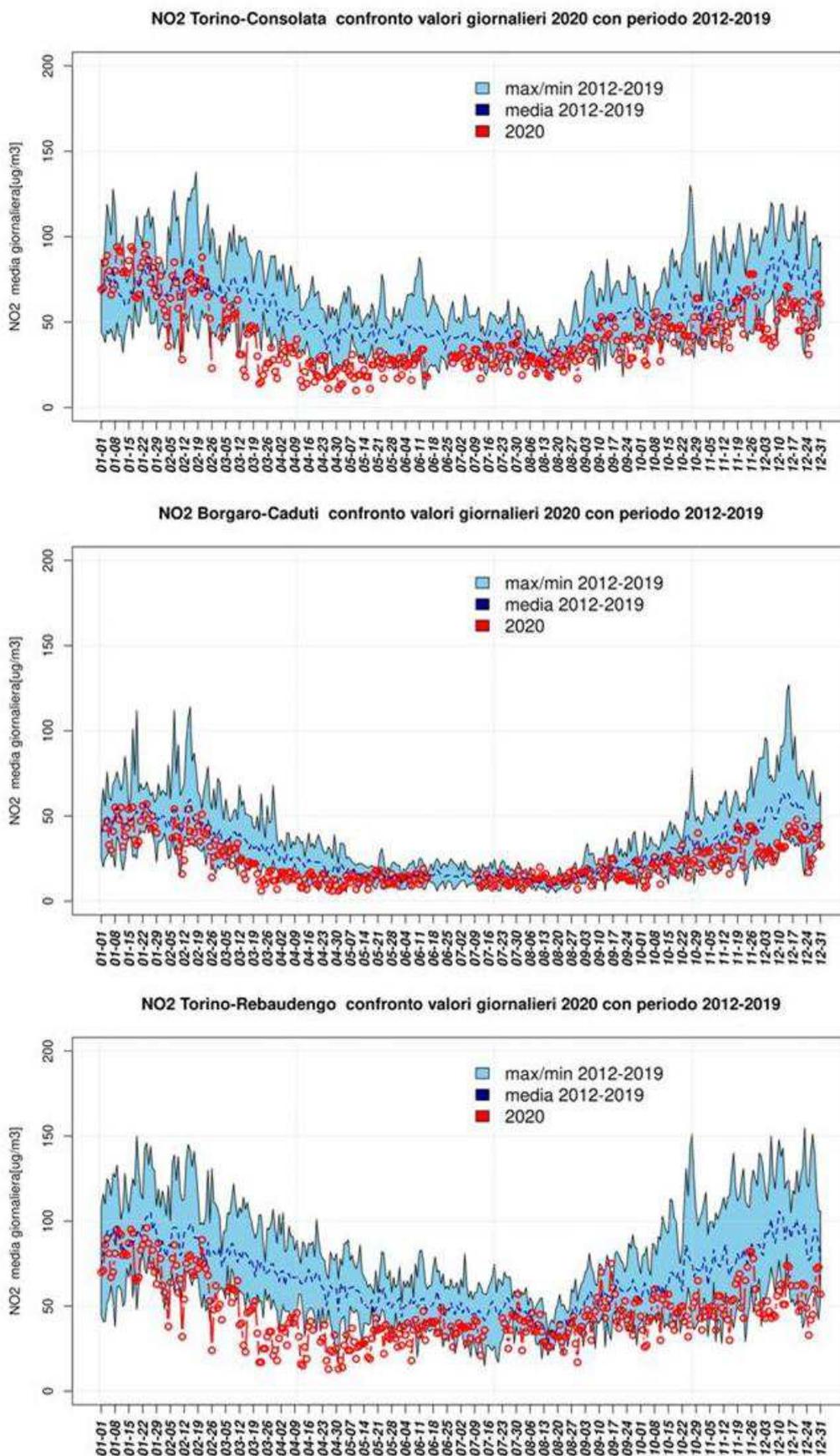


FIGURA 82: andamento della serie temporale di NO2 dal 01 gennaio al 31 dicembre 2020 (in rosso) e confronto con i dati del periodo di riferimento nella stazione di Torino Consolata (in alto), Borgaro Caduti (in mezzo) e Torino Rebaudengo (in basso).

Il comportamento appena descritto del biossido di azoto, in particolare nei mesi tra marzo e maggio, è da attribuire alla consistente riduzione delle emissioni conseguenti all'adozione dei provvedimenti di lockdown, come confermato dall'analisi delle concentrazioni del monossido di azoto e del benzene, inquinanti esclusivamente primari e tipici traccianti delle emissioni veicolari (nella FIGURA 83 le distribuzioni mensili dei valori medi giornalieri di benzene).

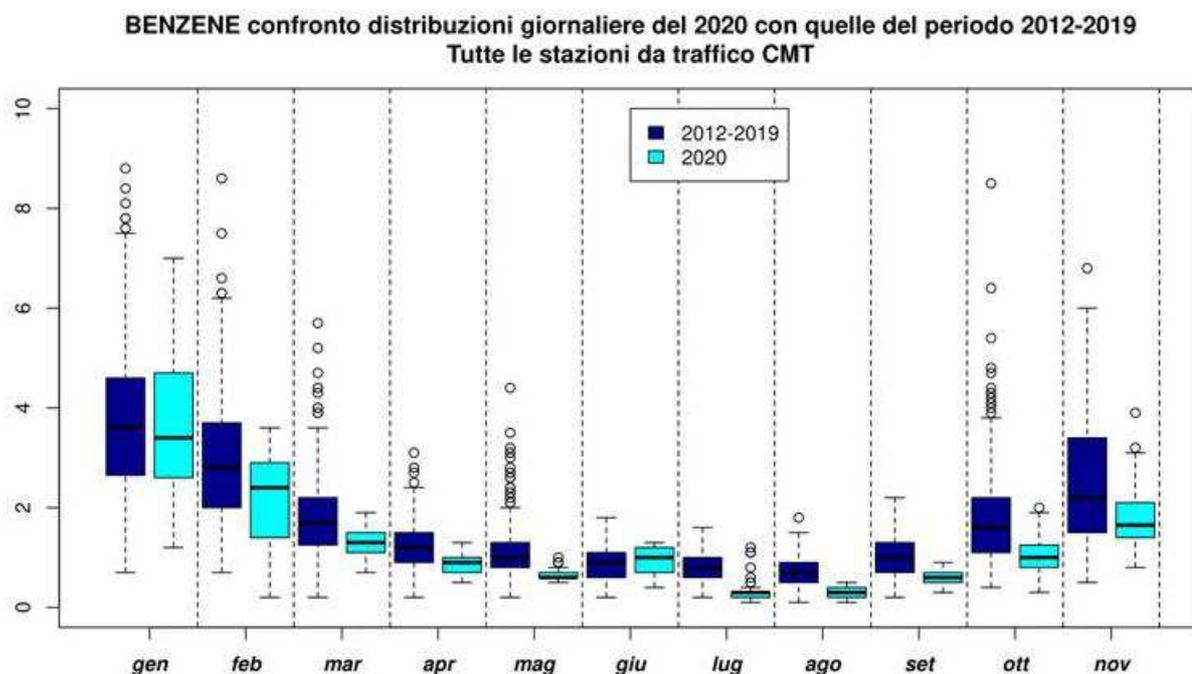


FIGURA 83: boxplot delle distribuzioni dei valori medi giornalieri di benzene su base mensile per il 2020 (azzurro) e per il periodo di riferimento (in blu) misurati sull'insieme delle stazioni da traffico della Città Metropolitana di Torino.

Particolato PM10 e PM2,5.

Nella successiva figura è riportato il confronto tra le distribuzioni mensili del 2020 (box azzurri) e quelle del periodo di riferimento (box in blu) dei valori medi giornalieri di particolato PM10 (in alto) e PM2,5 (in basso) per tutte le stazioni della Città Metropolitana di Torino equipaggiate con misuratori automatici. Dall'analisi del grafico innanzitutto è evidente la diminuzione dei livelli di concentrazione da gennaio ad aprile: questo comportamento è da attribuire innanzitutto al mutamento delle condizioni meteorologiche che, con l'avvicinarsi della primavera, diventano man mano sempre più favorevoli alla dispersione degli inquinanti. I valori mediani mensili del 2020 non hanno, né nel periodo antecedente al lockdown, né nel periodo di lockdown e nei mesi successivi, variazioni marcate rispetto al periodo di riferimento: i livelli mediani sono superiori nel 2020 nei mesi di gennaio, febbraio e novembre, leggermente inferiori tra marzo e giugno, inferiori a settembre. Tuttavia, a partire dal periodo di lockdown si nota, rispetto al riferimento, un calo dei valori con concentrazioni più elevate; i box diventano più stretti, con una diminuzione del valore del 75° percentile della distribuzione in tutti i mesi, tranne a novembre, dove comunque i valori più alti della distribuzione si mantengono in linea con i massimi del periodo di riferimento. A livello meteorologico, l'indice dei giorni favorevoli all'accumulo di PM10 sull'agglomerato torinese assume i valori più alti rispetto al periodo di riferimento a gennaio, novembre e marzo.

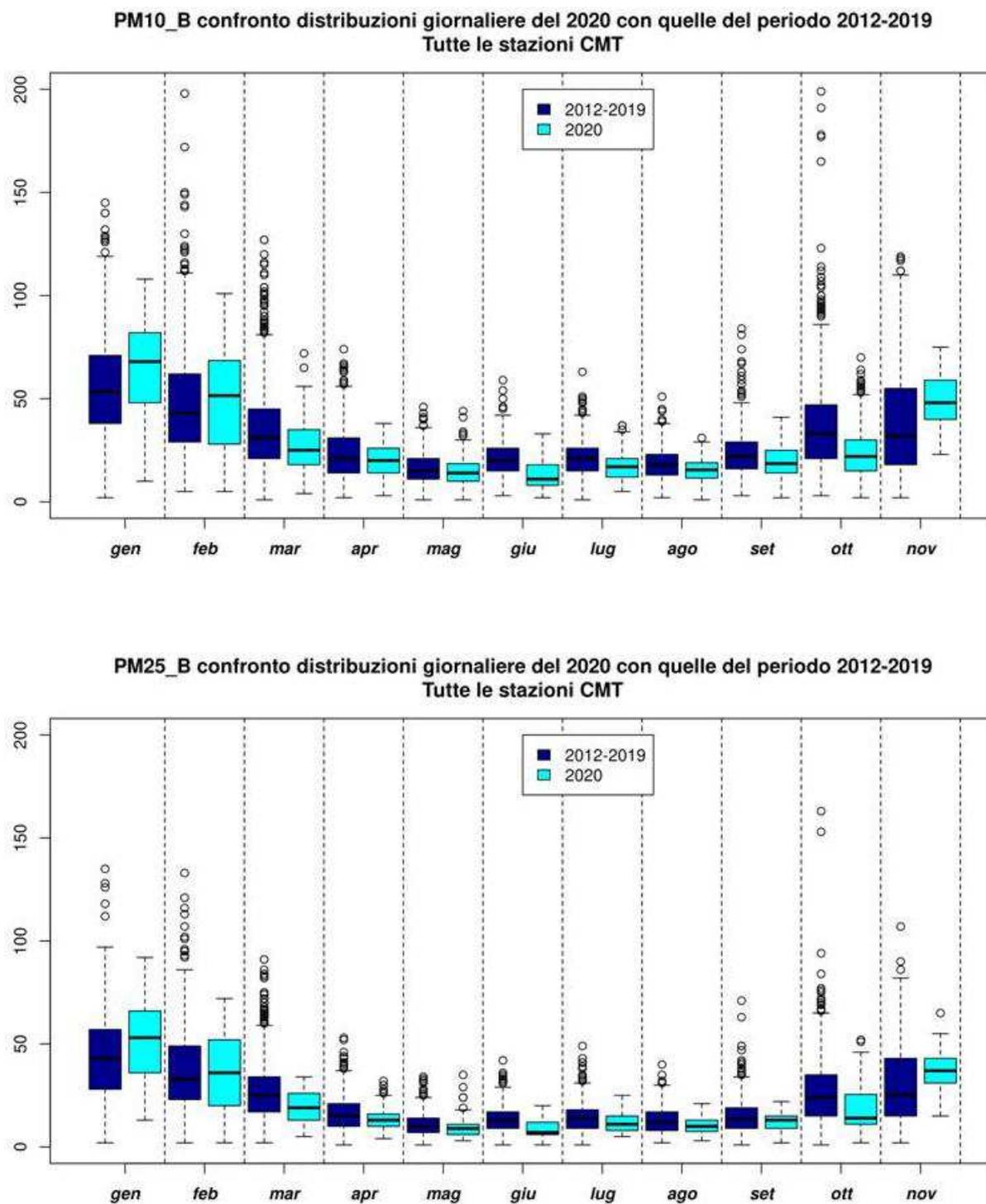


FIGURA 84: boxplot delle distribuzioni dei valori medi giornalieri di PM10 (in alto) e PM2,5 (in basso) su base mensile per il 2020 (azzurro) e per il periodo di riferimento (in blu) misurati sull'insieme delle stazioni della Città Metropolitana di Torino.

I grafici successivi mostrano, rispettivamente per PM10 e PM2,5, gli andamenti giornalieri dell'anno in corso (linea rossa) rispetto ai valori giornalieri massimi, minimi (banda azzurra nel grafico) e medi (linea blu) del periodo di confronto per alcune delle stazioni considerate nell'analisi: Torino Lingotto (campionatore gravimetrico) e Torino Rebaudengo (analizzatore automatico).

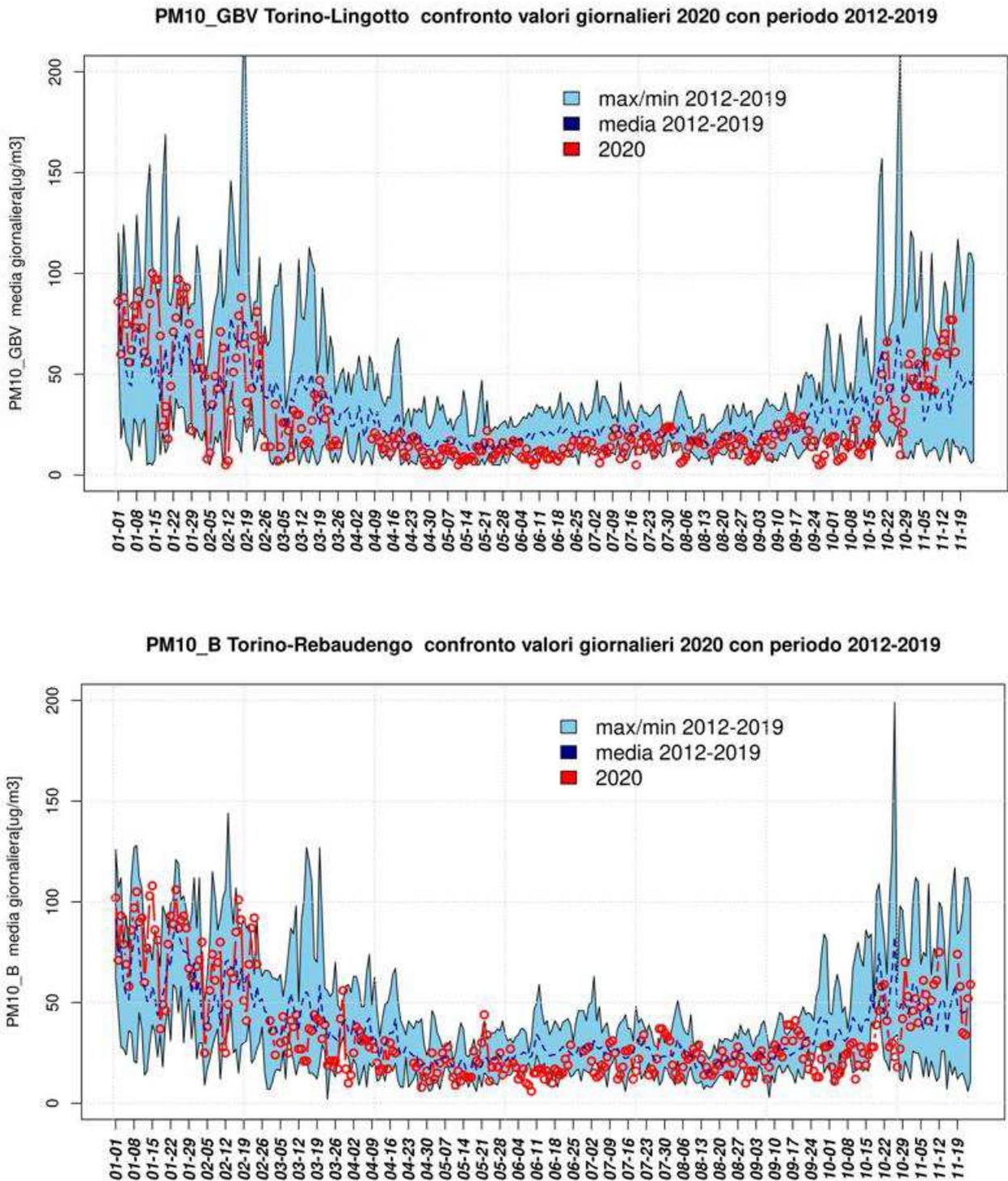


FIGURA 85: andamento della serie temporale di PM10 dal 01 gennaio al 30 novembre 2020 (in rosso) e confronto con i dati del periodo di riferimento nella stazione di Torino Lingotto (in alto) e Torino Rebaudengo (in basso).

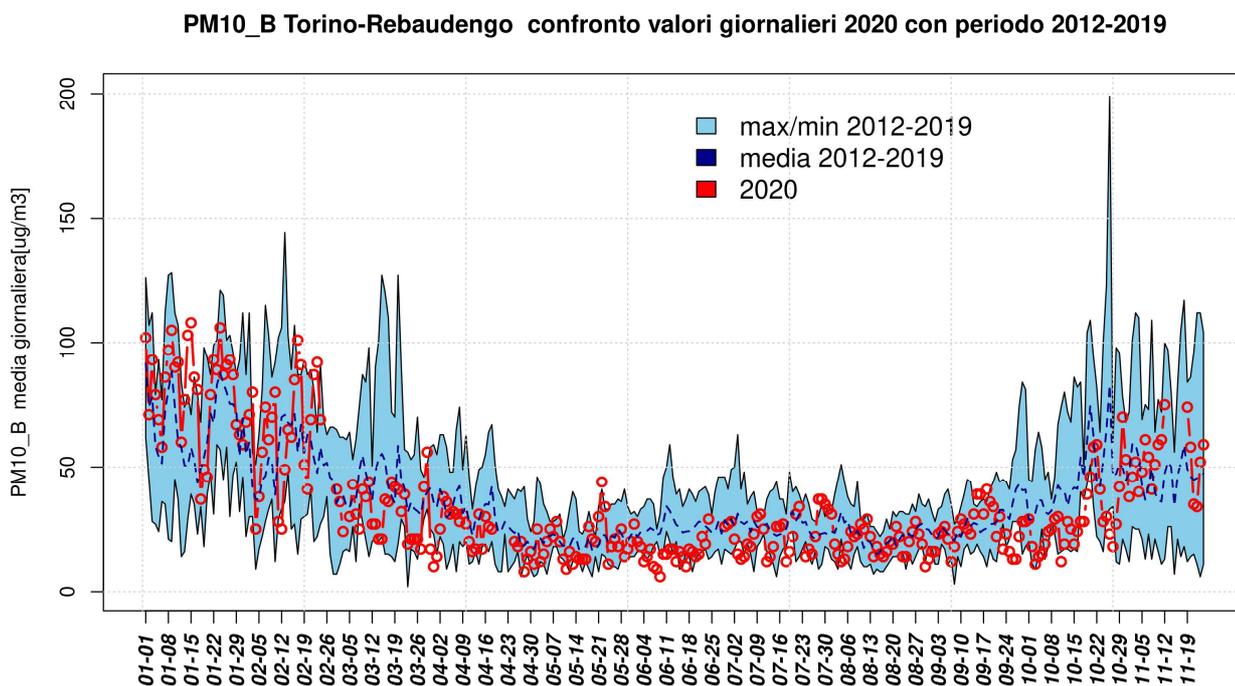
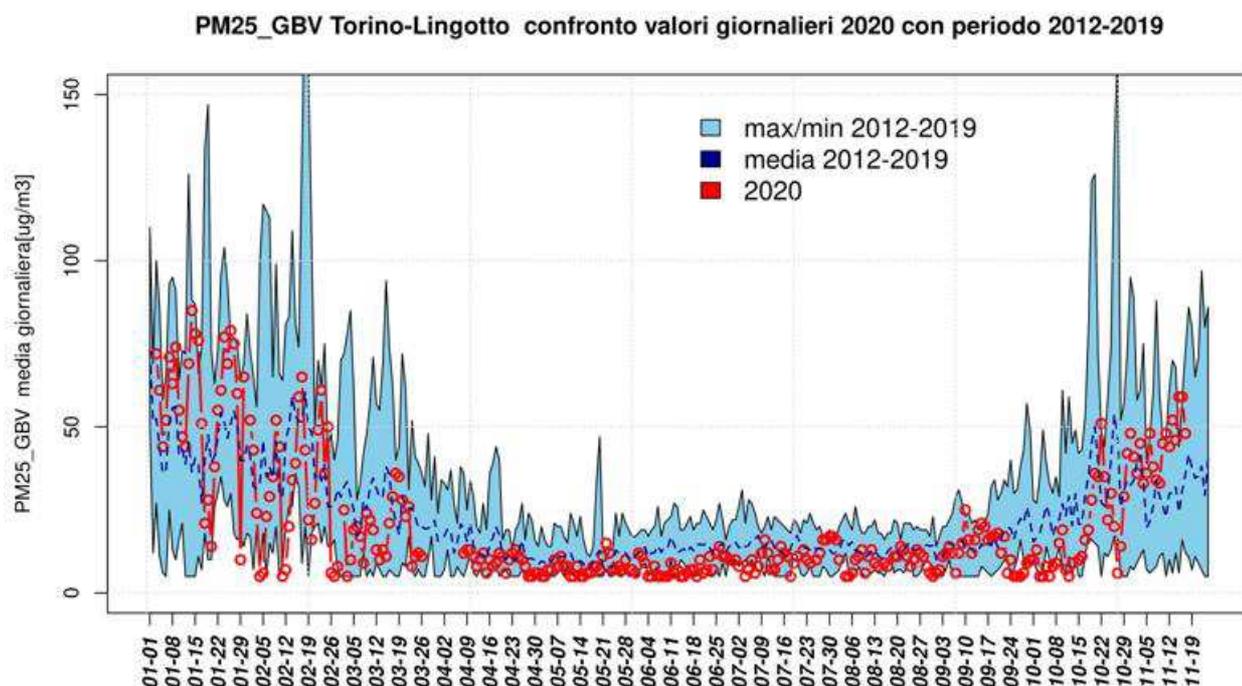


FIGURA 86: andamento della serie temporale di PM_{2,5} dal 01 gennaio al 30 novembre 2020 (in rosso) e confronto con i dati del periodo di riferimento nella stazione di Torino Lingotto (in alto) e Torino Rebaudengo (in basso)..

Gli andamenti mostrano chiaramente la variabilità stagionale e la variabilità dovuta alle differenti condizioni meteorologiche nei differenti anni. In tutte le stazioni nei mesi di gennaio e febbraio le concentrazioni di PM₁₀ e PM_{2,5} si mantengono su valori leggermente superiori alla media del periodo, attestandosi in alcuni momenti (metà gennaio e metà febbraio) sui valori massimi del periodo, in concomitanza con perduranti condizioni di alta pressione sul Piemonte.

Nel mese di marzo e nel mese di aprile le concentrazioni giornaliere si mantengono generalmente all'interno della variabilità del periodo di riferimento, pur osservando una lieve tendenza alla diminuzione dei valori rispetto alla media di riferimento. Il medesimo comportamento si osserva nei mesi successivi e fino al mese di novembre, quando le concentrazioni di particolato risalgono sopra la media del periodo di riferimento.

LA COMPOSIZIONE CHIMICA DEL PARTICOLATO PM10.

Nell'ambito del progetto LIFE Prepair, oltre alla valutazioni sulle emissioni e concentrazioni in atmosfera, è stato effettuato uno studio⁷⁹ sugli effetti delle misure COVID-19 sulla qualità dell'aria nel bacino padano (Piemonte, Lombardia, Emilia Romagna e Valle d'Aosta), focalizzandosi sull'analisi della composizione chimica del particolato PM10.

I siti scelti per il progetto sono Torino-Lingotto, Milano-Pascal, Schivenoglia (MN) e Bologna-via Gobetti, successivamente si è aggiunta Aosta-piazza Plouves. Per tutti i siti è stata analizzata la composizione chimica confrontando un periodo prelockdown (2 gennaio – 9 marzo) e uno lockdown (10 marzo – 18 maggio) per gli anni 2019 e 2020; quest'ultimo periodo è stato identificato dai due DPCM che a livello nazionale hanno portato da un lato al lockdown totale (DPCM 9 marzo e successivamente DPCM 11 marzo) dall'altro a una ripresa di diverse attività e soprattutto alla cessazione delle misure limitative della circolazione all'interno del territorio regionale.

La composizione del particolato risente della complessa dinamica e delle relazioni tra le emissioni dei precursori e il loro trasporto, la diffusione e i processi fisico-chimici che determinano la formazione del particolato secondario in atmosfera, che in Pianura Padana costituisce un'alta percentuale del particolato totale. L'analisi della composizione chimica del particolato permette di fare delle ipotesi sull'origine, in particolare quella del particolato secondario, e, attraverso successive elaborazioni statistiche, di individuare il contributo delle diverse fonti emissive (trasporti, combustione delle biomasse, agricoltura, industria).

I parametri analizzati sono stati:

Elementi: Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb e Pb

Cationi: Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺

Anioni: Cl⁻, NO₂⁻, Br⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻

Zucchero: Levoglucosano

Componenti carboniose: OC (carbonio organico) e EC (carbonio elementare)

Per i diversi siti è stata calcolata la chiusura di massa del PM10, in parte con i dati analitici non rielaborati e in parte calcolando alcune componenti. Assieme alla frazione carboniosa (OC e EC) e ai principali ioni del secondario inorganico (nitrato e solfato d'ammonio, NH₄NO₃ e (NH₄)₂SO₄), sono state calcolate la componente cristallina, gli "altri elementi" e infine gli "altri ioni". La materia cristallina, importante per valutare il contributo della risospensione del particolato, è costruita calcolando la forma ossidata dei principali elementi che la compongono (Si, Al, Mg, Fe, ecc.). Per quelli che possono derivare anche da altre sorgenti viene calcolato il fattore di arricchimento (EF) per stimare che percentuale attribuire alla sorgente cristallina. I calcoli sono stati fatti seguendo Marcazzan et al. (2002)⁸⁰, usando i valori di riferimento della crosta terrestre di Mason (Nature, 1966)⁸¹. La componente denominata "altri elementi" è composta dagli elementi che non formano la componente cristallina (es. rame), più la percentuale non terrigena degli elementi che possono avere origine mista (es. ferro). Anche "altri ioni" sono la somma degli ioni non cristallini (cloruro, bromuro, ecc.), e della parte non terrigena di quelli cristallini (potassio, calcio, ecc.), meno i principali ioni secondari considerati separatamente (ammonio, nitrato e solfato). È stato infine indicato con "ND" la frazione di massa di PM10 non determinata, in quanto non coperta da tutte le analisi condotte e quindi non quantificabile, composta principalmente da materia organica e acqua.

La determinazione degli ioni (cationi e anioni) è fondamentale per stimare la quantità di composti secondari inorganici: il nitrato è legato a fonti di combustione quali il traffico e il

⁷⁹ ARPAE Emilia-Romagna, ARPA Lombardia, ARPA Valle d'Aosta, ARPA Piemonte, REPORT 3 COVID-19 STUDIO DEGLI EFFETTI DELLE MISURE COVID-19 SULLA COMPOSIZIONE CHIMICA DEL PARTICOLATO NEL BACINO PADANO GENNAIO 2021, Progetto Life PREPAIR - Po Regions Engaged to Policies of AIR, https://www.lifeprepare.eu/wp-content/uploads/2021/02/Prepair_covidQA_Report3_def2.pdf

⁸⁰ Marcazzan G.M., Valli G., Vecchi R., 2002, "Factors influencing mass concentration and chemical composition of fine aerosols during a PM high pollution episode", The Science of the Total Environment, 298, 65-79;

⁸¹ Mason B., 1966, "Composition of the Earth", Nature, 211, 616-618

riscaldamento, l'ammonio deriva prevalentemente da agricoltura e zootecnia, mentre il solfato si origina dalle combustioni, soprattutto quelle legate all'industria, al riscaldamento e al traffico.

Il levoglucosano è uno zucchero anidro formatosi a seguito della decomposizione termica della cellulosa durante la sua combustione e viene quindi emesso come particolato; rappresenta uno specifico tracciante della combustione della biomassa nel PM.

La frazione carboniosa (OC e EC) è una componente importante del PM10. L'EC si definisce come una sostanza contenente solo carbonio non associato ad altri elementi, ma che può essere presente in una o più forme allotropiche, ed è generato dalla combustione incompleta di materiale organico, dal traffico, dal riscaldamento residenziale, dalle attività industriali e dalla produzione di energia con fonti fossili o biocarburanti. L'OC comprende un vasto insieme di composti nei quali il carbonio tetravalente è chimicamente legato con altri atomi di C, con idrogeno e con altri elementi (ossigeno zolfo, azoto, fosforo, cloro, ecc.) La somma di OC e EC è nota come carbonio totale (TC). EC ha un'origine primaria, mentre l'OC ha origine primaria ed anche secondaria, poiché può formarsi in atmosfera attraverso la condensazione di composti a bassa pressione di vapore, emessi come inquinanti primari o formati nell'atmosfera. Di conseguenza, il rapporto tra particolato OC e EC varia molto, sia nello spazio che stagionalmente, essendo influenzato dalle fonti di emissione primaria, dai diversi tassi di rimozione di OC ed EC per deposizione, trasferimento dell' OC da particolato a fase gas e formazione e/o reattività di aerosol organico secondario (SOA).

Bilancio di massa nel sito di Torino-Lingotto

Nella FIGURA 87 sono messe a confronto le componenti percentuali del bilancio di massa nei due periodi considerati, ovvero pre-lockdown (2 gennaio – 9 marzo) e lockdown (10 marzo – 18 maggio).

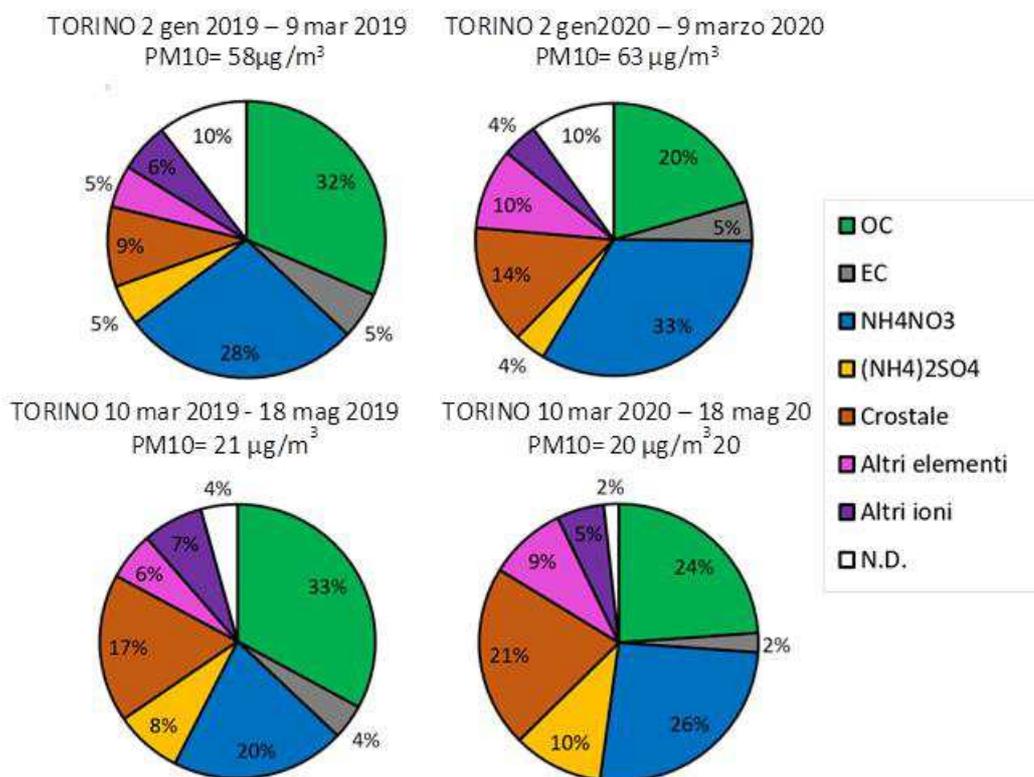


FIGURA 87: confronto della chiusura del bilancio di massa nel 2019 e nel 2020 nel sito di Torino-Lingotto.

Si può in generale evidenziare che la componente secondaria inorganica (nitrato di ammonio più solfato di ammonio) costituisce la quota prevalente del particolato; tale quota nel 2020 risulta aumentata rispetto all'anno precedente, sia nel periodo pre-lockdown (33% nel 2019, contro 37% nel 2020) che nel periodo di lockdown (28% nel 2019, 36% nel 2020, con una differenza percentualmente superiore rispetto al primo periodo).

Aumenta quindi nel lockdown 2020 la componente inorganica secondaria derivante dai precursori gassosi (ossidi di azoto, ammoniaca e ossidi di zolfo), nonostante la diminuzione rilevata nelle concentrazioni urbane di ossidi di azoto dovuta al minor traffico veicolare. Il minor apporto del traffico veicolare è visibile anche nella diminuzione del carbonio elementare che dimezza il suo contributo percentuale (dal 4% del 2019 al 2% del 2020) nel periodo di lockdown.

Più difficilmente interpretabile in quanto non attribuibile al solo decremento delle sorgenti (combustioni), la diminuzione percentuale del carbonio organico nel periodo lockdown, visto che questo decremento avviene anche nel periodo non soggetto a limitazioni; potrebbe essere attribuito alla variazione della componente secondaria del carbonio organico, la cui formazione potrebbe essere stata sfavorita da condizioni meteorologiche differenti.

Questo aspetto sarà da valutare nel prosieguo delle attività, si può in parte attribuire alla particolarità del mese di febbraio, mese che in Piemonte detiene il primato degli episodi di phoen con temperature medie giornaliere anche al di sopra dei 15 °C (dal 3 al 5 febbraio, e l'11-12 febbraio). Si consideri che in Piemonte febbraio 2020 ha avuto una temperatura media di circa 5,5 °C con un'anomalia termica positiva di 3,9 °C rispetto alla media del periodo 1971-2000: è stato il mese di febbraio più caldo nella distribuzione storica degli ultimi 63 anni. Questo ha sicuramente sfavorito la condensazione dei composti organici semivolatili, che dà origine al carbonio organico secondario.

La componente crostale invece aumenta nel 2020 sia nel pre-lockdown che nel lockdown: tale componente di origine naturale è legata sia al trasporto su lunga distanza delle polveri, sia al risollevarimento delle polveri indotto dal passaggio veicolare.

Un leggero aumento nell'anno 2020 si nota anche per la componente denominata "altri elementi".

Andamento temporale del bilancio di massa

L'analisi degli andamenti giornalieri del bilancio di massa – espresso in valori assoluti - conferma le considerazioni riportate nel paragrafo precedente per il bilancio di massa relativo ai due periodi (pre-lockdown e lockdown) del 2019 e 2020 (FIGURA 88- FIGURA 89).

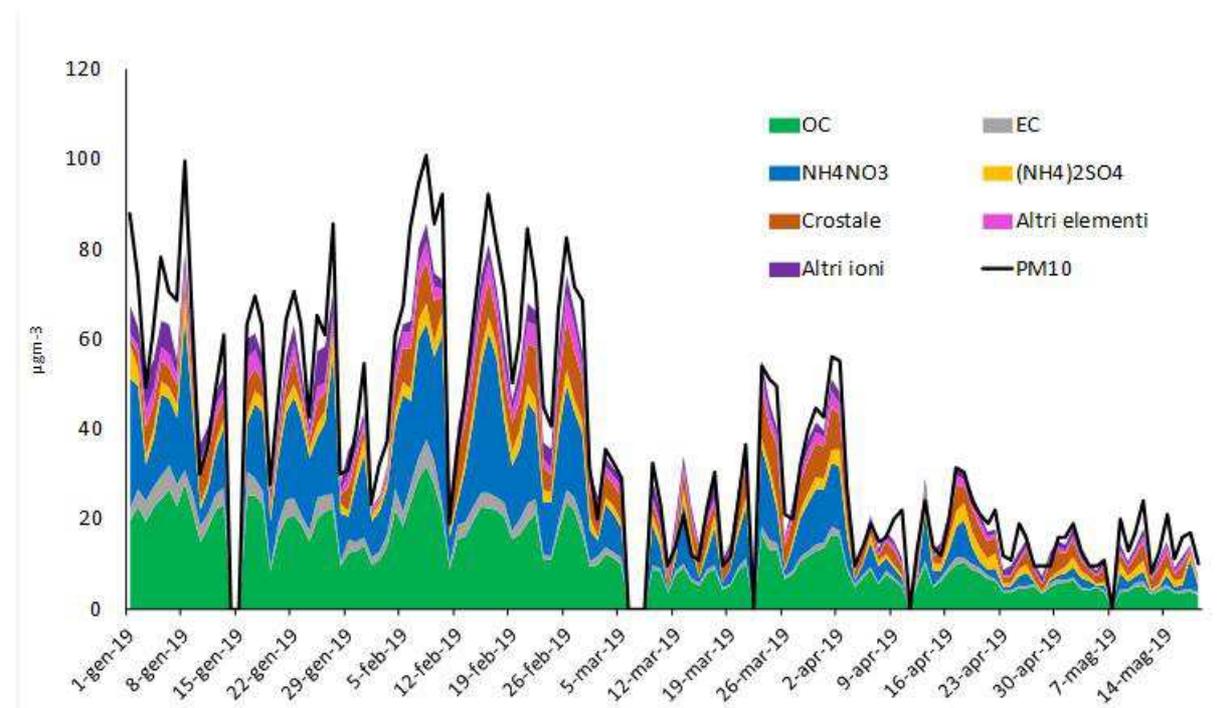


FIGURA 88: andamento temporale giornaliero delle componenti del particolato nei primi 5 mesi del 2019 nel sito di Torino-Lingotto.

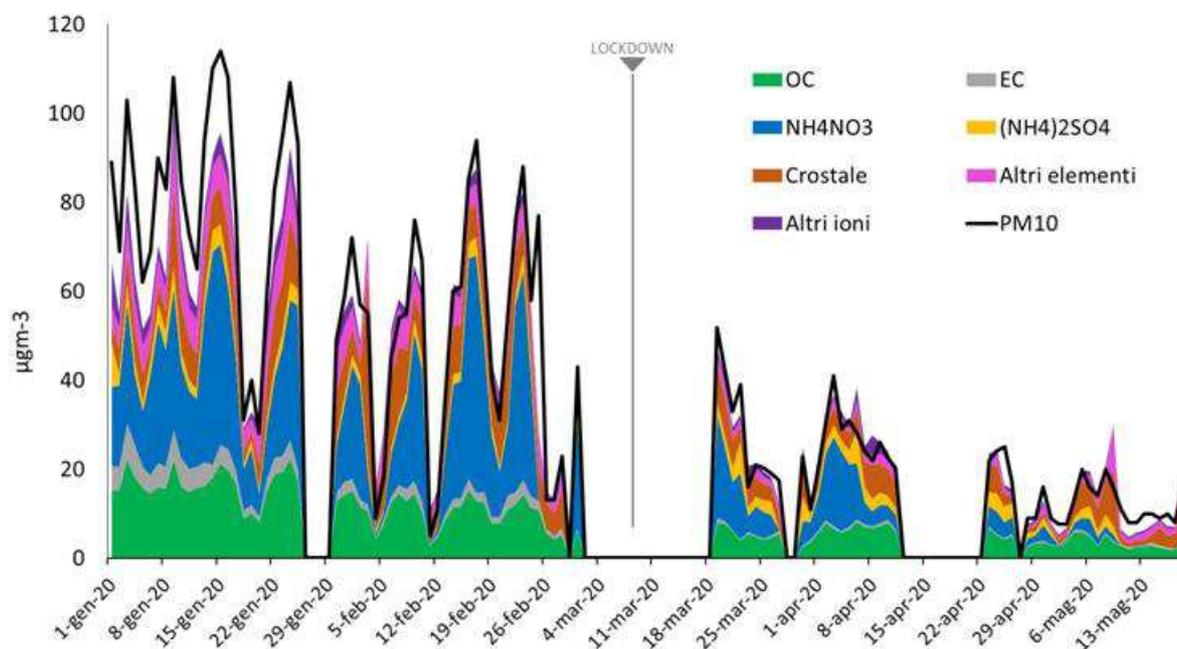


FIGURA 89: andamento temporale giornaliero delle componenti del particolato nei primi 5 mesi del 2019 nel sito di Torino-Lingotto.

In particolare, nel 2020 risulta evidente, a partire già dai primi mesi dell'anno, l'aumento della componente secondaria inorganica, soprattutto per quanto riguarda il nitrato d'ammonio. La formazione del nitrato d'ammonio sembrerebbe essere stata particolarmente favorita dalle condizioni meteorologiche che si sono verificate in gennaio. Fino al 28 gennaio, infatti, l'atmosfera è stata particolarmente stabile, completamente priva di precipitazioni, ma con persistenza di alta umidità durante tutto il corso delle giornate (mediamente nel periodo 1-28/1 è stata del 72%) e temperature medie intorno a 5 °C. In tali condizioni sono favorite le reazioni di conversione in fase eterogenea gas-liquido di precursori gassosi in particolato. In questo periodo particolarmente critico sono stati numerosi i giorni con concentrazioni di PM10 superiori ai 100 µg/m³. Purtroppo, la mancanza di dati nelle prime settimane di lockdown, legata a inconvenienti di natura tecnica, non permette di osservare in modo dettagliato la transizione dal periodo pre-lockdown al periodo lockdown nel corso dell'anno 2020.

Boxplot – Rapporti

Le concentrazioni di particolato nel periodo lockdown - rappresentate nel grafico a boxplot di FIGURA 90 - appaiono sostanzialmente invariate nel 2019 e nel 2020, sia per i valori medi che per i percentili. Mostrano invece una maggiore variabilità i dati nei due periodi pre-lockdown, soprattutto nel caso del 2020.

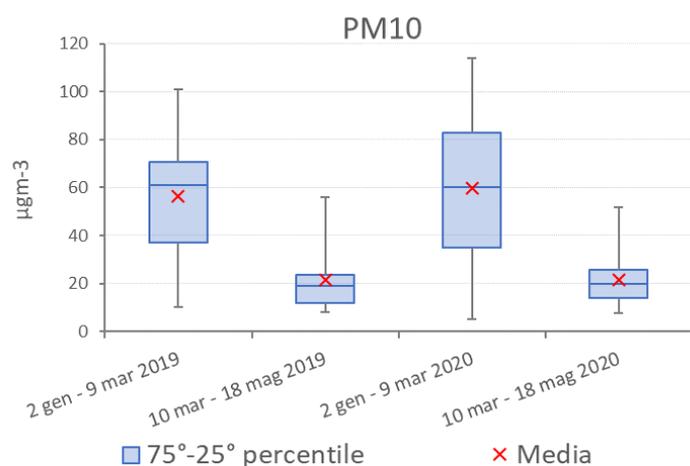


FIGURA 90: boxplot relativi alle concentrazioni di particolato PM10 nei due periodi in esame degli anni 2019-2020 nel sito di Torino-Lingotto.

Per quanto riguarda la componente inorganica secondaria (nitrato e solfato d'ammonio), i grafici rappresentati in FIGURA 91 confermano come il contributo di tale componente rimanga mediamente invariato nel periodo primaverile dei due anni.

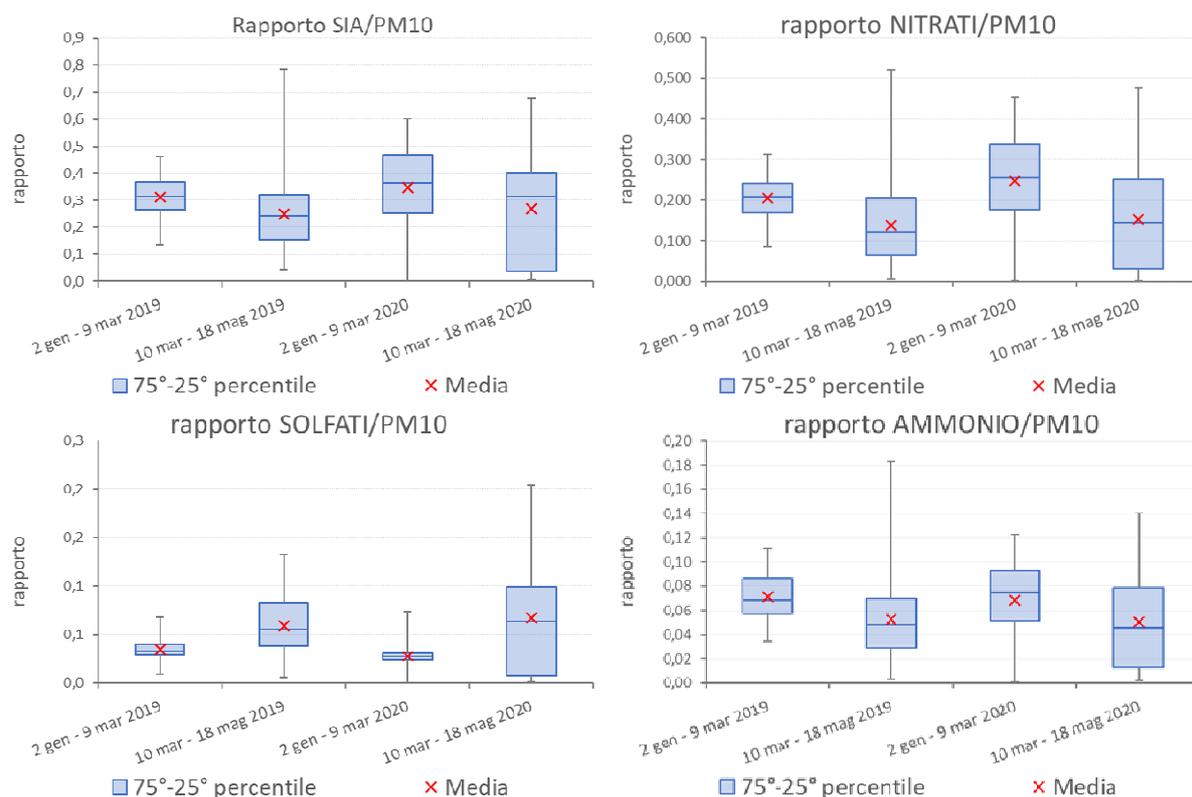


FIGURA 91: boxplot relativi ai rapporti tra aerosol secondario inorganico (SIA) nel suo insieme e particolato PM10 (in alto, a sinistra), nitrati e PM10 (in alto, a destra), solfati e PM10 (in basso, a sinistra), ammonio e PM10 (in basso, a destra) nei due periodi in esame degli anni 2019-2020 nel sito di Torino-Lingotto.

L'osservazione dei grafici relativi al carbonio elementare (EC) - sia in termini assoluti che relativi al contributo sul particolato (FIGURA 92) - mostrano una diminuzione nel 2020 rispetto al 2019, particolarmente accentuata nel periodo di lockdown, a causa della significativa riduzione del traffico veicolare. Tale considerazione risulta ancora più evidente dal grafico lineare con gli andamenti giornalieri del contributo dell'EC sul PM10 nei due anni 2019 e 2020 (FIGURA 93), ad eccezione della prima metà del mese di gennaio, a causa della notevole stabilità atmosferica,

con giornate prive di precipitazioni e ventilazione assente, e temperature fredde, mediamente intorno ai 5 °C, anche se non particolarmente rigide.

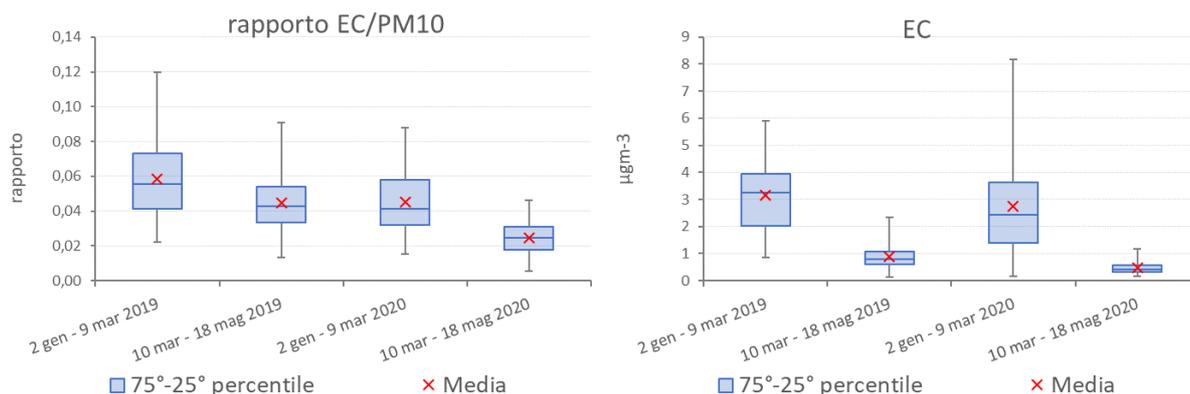


FIGURA 92: boxplot relativi al carbonio elementare (EC) e al rapporto tra carbonio elementare e particolato PM10 nei due periodi in esame degli anni 2019-2020 nel sito di fondo urbano di Torino.

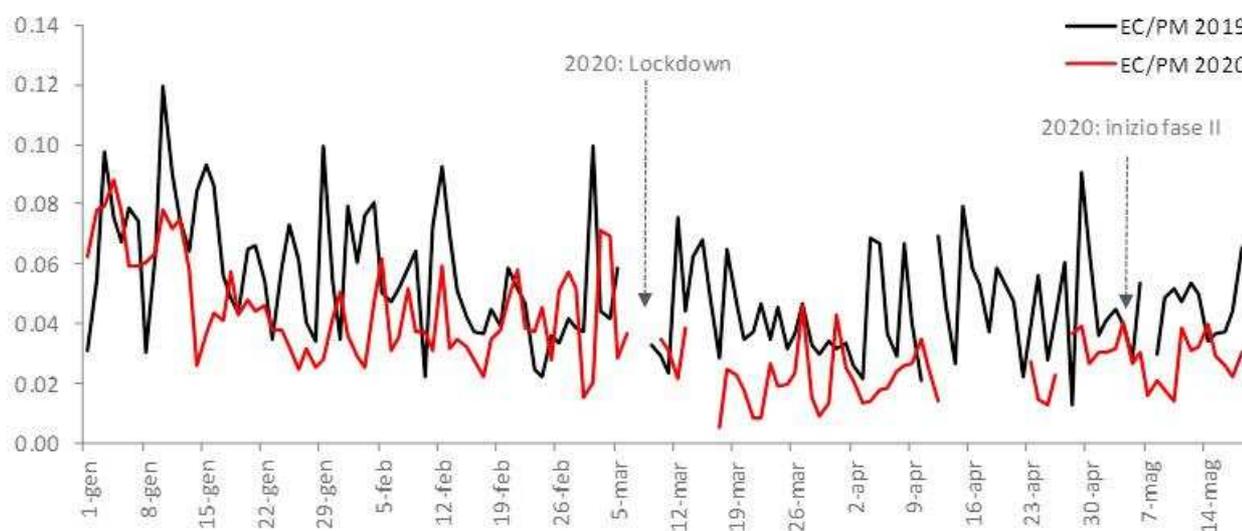


FIGURA 93: andamento temporale giornaliero del rapporto tra carbonio elementare (EC) e particolato PM10 nei primi 5 mesi del 2019 nel sito di fondo urbano di Torino.

La riduzione marcata del carbonio elementare durante il lockdown 2020 spiega anche l'aumento del rapporto carbonio organico/carbonio elementare (OC/EC), per diminuzione del denominatore (FIGURA 94).

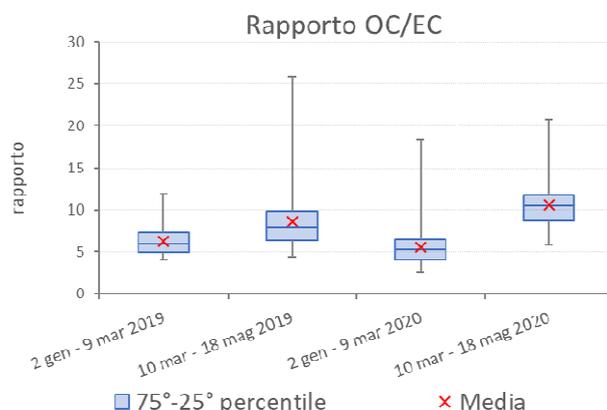


FIGURA 94: boxplot relativo al rapporto tra carbonio organico (OC) e carbonio elementare (EC) nei due periodi in esame degli anni 2019-2020 nel sito di fondo urbano di Torino.

Per quanto riguarda il levoglucosano, il 2020 è caratterizzato da valori mediamente più elevati rispetto al 2019 - sia come valori assoluti che come contributo al PM10 - non imputabili a temperature invernali e primaverili più rigide. In particolare, il rapporto tra i valori primaverili e quelli invernali è più alto rispetto a quello del 2019 (FIGURA 95).

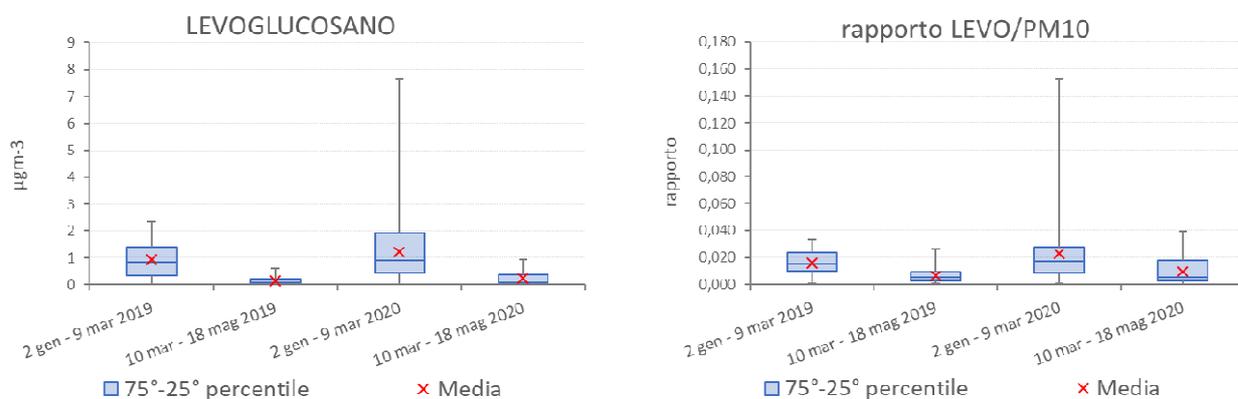


FIGURA 95: boxplot relativi al levoglucosano e al rapporto tra levoglucosano e particolato PM10 nei due periodi in esame degli anni 2019-2020 nel sito di fondo urbano di Torino.

Un caso da approfondire è quello emerso dall'analisi dei valori di concentrazione del rame (Cu) e del loro contributo al PM10: come si può rilevare osservando i grafici a boxplot (FIGURA 96), tutto il periodo invernale del 2020 presenta valori particolarmente elevati rispetto all'anno precedente, che non si osservano nel periodo primaverile.

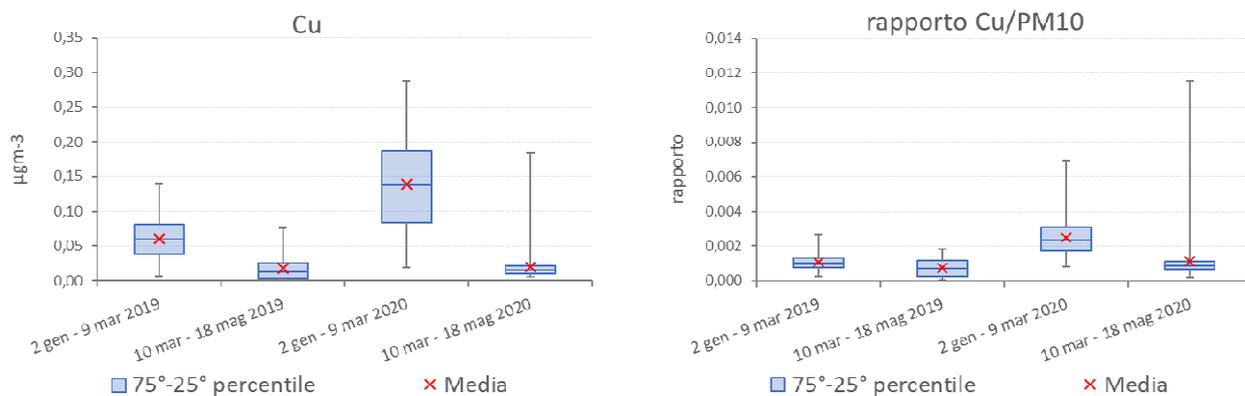


FIGURA 96: boxplot relativi al rame (Cu) e al rapporto tra rame e particolato PM10 nei due periodi in esame degli anni 2019-2020 nel sito di fondo urbano di Torino.

Approfondendo l'analisi con il confronto di FIGURA 97 (grafico lineare degli andamenti giornalieri 2019 e 2020), la tendenza risulta ancora più marcata, con valori superiori nel primo trimestre del 2020 rispetto al 2019 e valori inferiori nel secondo trimestre, probabilmente legati alla riduzione della sorgente traffico che inizia a farsi evidente nel periodo di lockdown 2020.

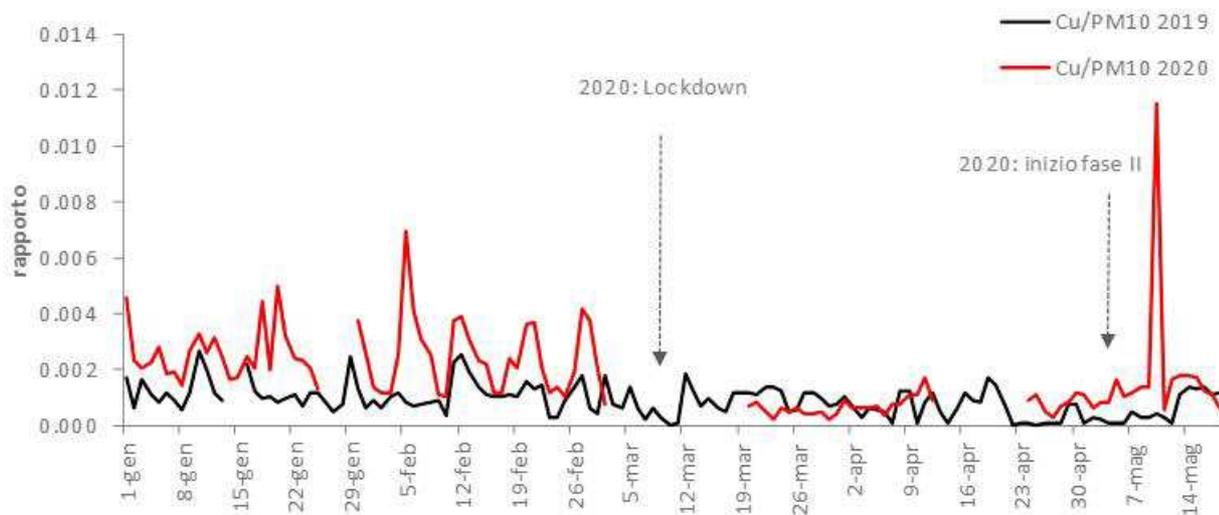


FIGURA 97: andamento temporale giornaliero del rapporto tra rame (Cu) e particolato PM10 nei primi 5 mesi del 2019 nel sito di fondo urbano di Torino.

Conclusioni

L'analisi dell'andamento temporale delle emissioni in atmosfera nel periodo marzo-aprile 2020 evidenzia una significativa differenza tra i dati emissivi degli inquinanti PM10 primario e ossidi di azoto. Nel primo caso (PM10 primario) le quantità totali emesse fino alla prima metà di aprile sono rimaste sostanzialmente invariate rispetto a quelle che si sarebbero avute nello stesso periodo in assenza di lockdown, in quanto la riduzione del contributo da parte dell'industria e del trasporto stradale è stata compensata dall'aumento complessivo delle emissioni da riscaldamento domestico, che in Piemonte sono quelle percentualmente prevalenti per questo inquinante anche in condizioni standard; solo a partire dalla seconda metà di aprile, venendo a mancare il contributo del riscaldamento, si osserva una riduzione delle emissioni legata principalmente alla diminuzione del traffico stradale.

Nel caso degli ossidi di azoto, invece, si osserva una netta riduzione delle emissioni - che arriva sino al 30% - rispetto alla situazione di assenza di lockdown, in quanto per questa tipologia di inquinante il contributo di gran lunga prevalente è quello del traffico veicolare.

Coerentemente con il quadro delle emissioni, le concentrazioni dei gas (ossidi di azoto, benzene) nel periodo marzo-maggio 2020 hanno subito decrementi importanti se paragonati al periodo medio 2012-2019. La concentrazione di PM10 e PM2,5, invece, mostra una riduzione nel periodo in esame ma meno marcata. La concentrazione di PM, pur ridotta, si mantiene all'interno della variabilità degli anni precedenti (2012-2019), con un andamento temporale che non segue l'andamento dei gas. Questi dati evidenziano ancora una volta la complessa dinamica del PM e delle relazioni tra emissioni di precursori e trasporto, diffusione e processi fisico-chimici che determinano la formazione del PM secondario, che costituisce una parte rilevante del PM10 nel bacino padano.

Dall'approfondimento dell'analisi sulla composizione del particolato, si evidenzia:

- nessuna riduzione della componente secondaria del PM10 (fenomeno peraltro avvenuto in tutte le stazioni aderenti al progetto Prepair);
- la diminuzione di carbonio elementare e rame, elementi legati in buona parte alle emissioni da traffico la cui diminuzione è coerente con i limiti imposti alla mobilità;
- l'aumento del levoglucosano, tracciante della combustione della biomassa legnosa.

Il particolato secondario inorganico rappresenta una delle componenti maggioritarie nel bilancio di massa del PM10 nella stazione di Torino-Lingotto, e risulta omogeneo nelle stazioni della Pianura Padana. I precursori del particolato secondario inorganico (ammoniaca, ossidi di azoto e biossido di zolfo) in alcuni casi hanno subito delle diminuzioni, ma sono stati comunque presenti in quantità sufficiente a sostenere la formazione di questa parte del particolato. L'ammoniaca non ha subito variazioni in quanto i provvedimenti legati alla pandemia non riguardavano l'ambito del settore

agricolo-zootecnico; il biossido di azoto, nonostante il suo calo considerevole per le limitazioni del traffico veicolare, è rimasto comunque disponibile.

Inoltre, il levoglucosano, tracciante principale della combustione di biomassa legnosa, ha mostrato un aumento durante il periodo di lockdown totale, probabilmente a causa dei provvedimenti di limitazione della circolazione e del conseguente confinamento domiciliare delle persone.

I risultati dello studio mostrano come ridurre solo parzialmente le emissioni o agire solo su di una singola fonte di inquinanti non sia sufficiente a determinare una variazione apprezzabile nella formazione del particolato secondario. Le azioni di miglioramento della qualità dell'aria dovranno continuare in maniera coordinata almeno a livello di bacino padano, in modo che siano coinvolte tutte le attività che concorrono alle emissioni di PM10 primario e alla produzione di precursori (l'agricoltura/zootecnia e tutte le combustioni, quali traffico, biomassa legnosa, comparto industriale e servizi).

CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'ANNO 2020

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

M. Nicolella, 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 2020, 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 2020 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 geopotenziale⁴⁷ 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 2010-2020; 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 2020.

Nel complesso si osserva come l'anno 2020 in Piemonte è stato il 6° più caldo degli ultimi 63 anni, con una temperatura media di circa 10,6°C ed un'anomalia termica positiva di circa +1,5 °C rispetto alla climatologia del periodo 1971-2000.

L'esame dell'andamento nei vari mesi dell'anno evidenzia come solo il mese di ottobre ha avuto una lieve anomalia termica negativa mentre dicembre è stato esattamente nella norma del periodo 1971-2000; tutti gli altri sono stati più caldi della norma e 5 su 10 sono risultati entro i primi 10 posti della rispettiva classifica mensile. Febbraio con +3,9°C ha avuto il maggiore scostamento positivo ed è risultato il più caldo nella rispettiva serie storica; da segnalare anche gennaio, aprile e novembre che hanno avuto un'anomalia compresa tra +2,5°C e +2,8°C.

Il mese più caldo è stato agosto con 19,9°C medi, mentre dicembre è risultato il mese più freddo dell'anno, con 1,3°C.

L'apporto delle precipitazioni totali annue è stato pari a 936,2 mm, con un deficit di 114,3 mm (pari al 11%) portando il 2020 ad essere il 24° anno meno piovoso a partire dal 1958. Tuttavia, in tale anno si è verificato l'evento alluvionale dei giorni 2-3 ottobre 2020, in cui il 2 ottobre è risultato il giorno più piovoso dell'intera serie storica dal 1958 ad oggi con 110,5 mm medi sul territorio piemontese.

L'analisi dell'andamento nei singoli mesi conferma il ruolo importante esercitato da ottobre, mese più piovoso dell'anno 2020 con 202,3 mm mentre dicembre con 97,2 mm ha avuto la maggiore anomalia positiva del 79% rispetto alla climatologia del periodo 1971-2000. Novembre con soli 6 mm medi ed un deficit del 92% è risultato il mese più secco dell'annata.

Nel 2020 si sono avuti, complessivamente sulla regione, 62 giorni di foehn che risultano inferiori alla media annuale del periodo 2000-2015 che è pari a 66.

Nell'anno 2020 si sono verificati 113 giorni di nebbia ordinaria (visibilità inferiore ad 1 km), inferiori del 9% rispetto ai 124 attesi dalla climatologia recente del periodo 2004-2019; invece i 24 episodi annuali di nebbia fitta (visibilità inferiore a 100 m) sono risultati leggermente superiori ai 21 attesi dalla norma climatica. Per quanto riguarda le nebbie fitte occorre tornare indietro fino al 2011 per trovare un valore annuale più elevato; i due terzi degli episodi si sono verificati a gennaio e

⁴⁷ 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 al suolo, ma si riferiscono ad una superficie in quota, a circa 5'500 metri. Le linee che uniscono punti di uguale valore di geopotenziale, dette isopse, possono assumere la forma di "promontori" (simili a montagne) e di "saccature" (simili a valli): i "promontori" sono aree di alta pressione, mentre le "saccature" sono aree di bassa pressione. Il flusso dominante a grande scala è fondamentalmente governato da tale configurazione meteorologica in quota (sinottica), in quanto segue proprio le isolinee di geopotenziale (le "isopse"), muovendosi da ovest verso est alle nostre latitudini.

novembre, mesi che sono stati caratterizzati da stabilità anticiclonica con condizioni di inversione termica.

IL CLIMA DEL 2020

Gennaio

In questo mese il fenomeno meteorologico più rilevante è stato il numero di eventi di nebbia superiore alla norma; tale fatto non si verificava da dicembre 2018 per le nebbie ordinarie (visibilità inferiore ad 1 km) e addirittura da febbraio 2017 per le nebbie fitte (visibilità inferiore a 100 m).

Tra gli episodi nebbiosi citiamo quello dei giorni 6-9 gennaio 2020, quando il Piemonte è stato interessato da una fase di stabilità atmosferica caratterizzata dall'espansione di un promontorio dell'anticiclone delle Azzorre verso l'Europa centrale (FIGURA 98). L'influenza della struttura anticiclonica è stata temporaneamente attenuata nel giorno 7 gennaio quando una debole onda depressionaria è scesa velocemente dalla Germania verso il Nordest italiano e si è portata sul mar Tirreno nel giorno successivo (FIGURA 98) ma i suoi effetti sul Piemonte sono stati limitati a passaggi di velature. Nei giorni esaminati il territorio piemontese è stato interessato da condizioni di nebbia sulle pianure, localmente fitta e persistente soprattutto tra il 6 e l'8 gennaio 2020.

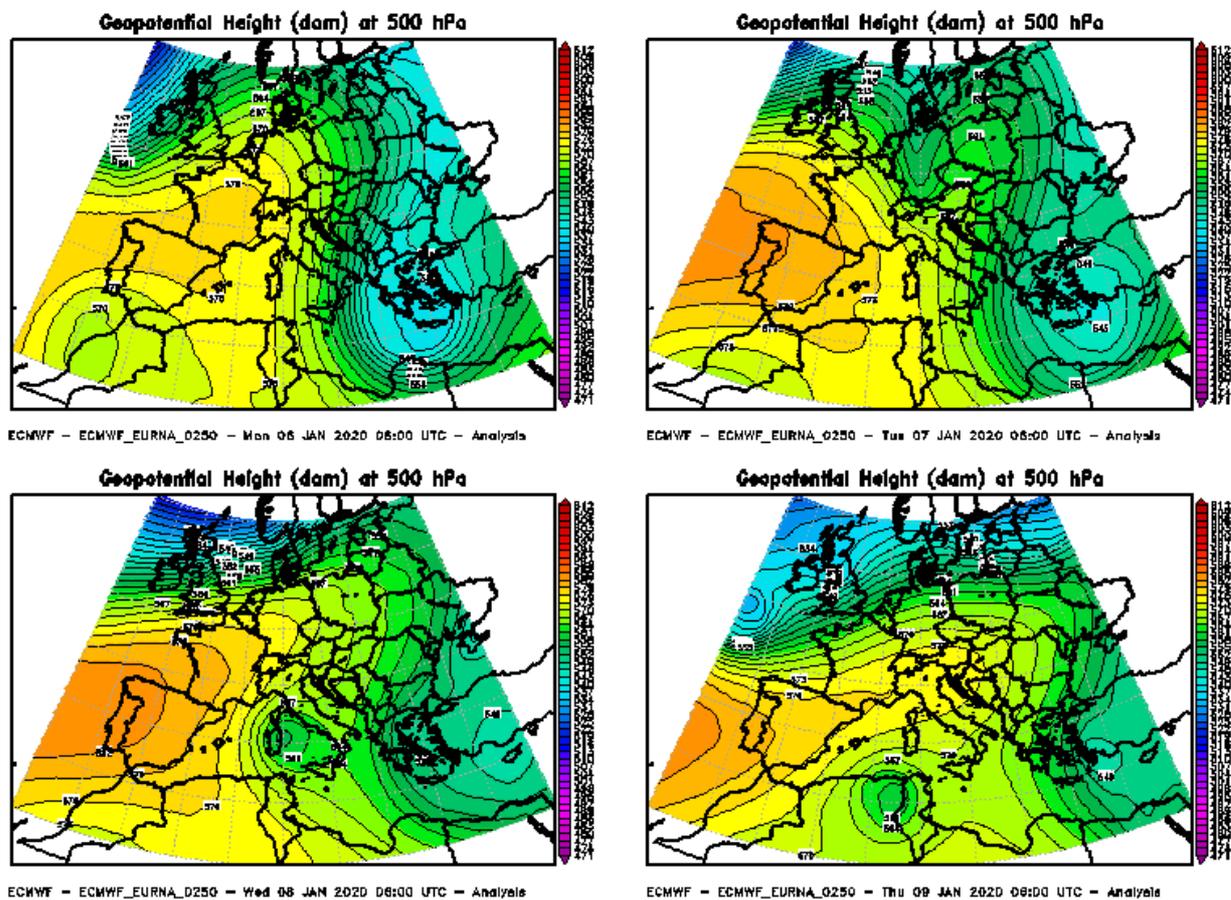


FIGURA 98: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 6 e del 9 gennaio 2020, intervallata ogni 24 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Febbraio

Febbraio 2020 è risultato il più caldo nella rispettiva serie storica con uno scostamento positivo di +3,9°C rispetto alla climatologia del periodo 1971-2000.

Il picco termico si è verificato nel giorno 3 febbraio 2020 in cui la situazione meteorologica sull'area europea è stata caratterizzata da una vasta area depressionaria sull'Europa centro-settentrionale mentre un'ampia area di alta pressione, avente il massimo ad est dello stretto di Gibilterra, ha interessato la Penisola Iberica e il Mediterraneo centro-occidentale (FIGURA 99).

In tali condizioni alle latitudini in cui si trova il Piemonte era presente un marcato gradiente di pressione con una forte circolazione da ovest, nordovest in quota che ha causato intensa

ventilazione sull'Arco Alpino con condizioni di foehn estese anche alle zone pianeggianti. Sono state registrate raffiche fino a 160 km/h in alta quota al Rifugio Gastaldi in provincia di Torino e sul Lago Paione nel Verbano, mentre in bassa Val Susa a Borgone ed Avigliana sono stati raggiunti i 95 km/h circa.

La struttura anticiclonica ha mantenuto lo zero termico su valori superiori ai 3000 m sul territorio piemontese, con valori di poco inferiori ai 4000 m in prossimità delle Alpi Marittime.

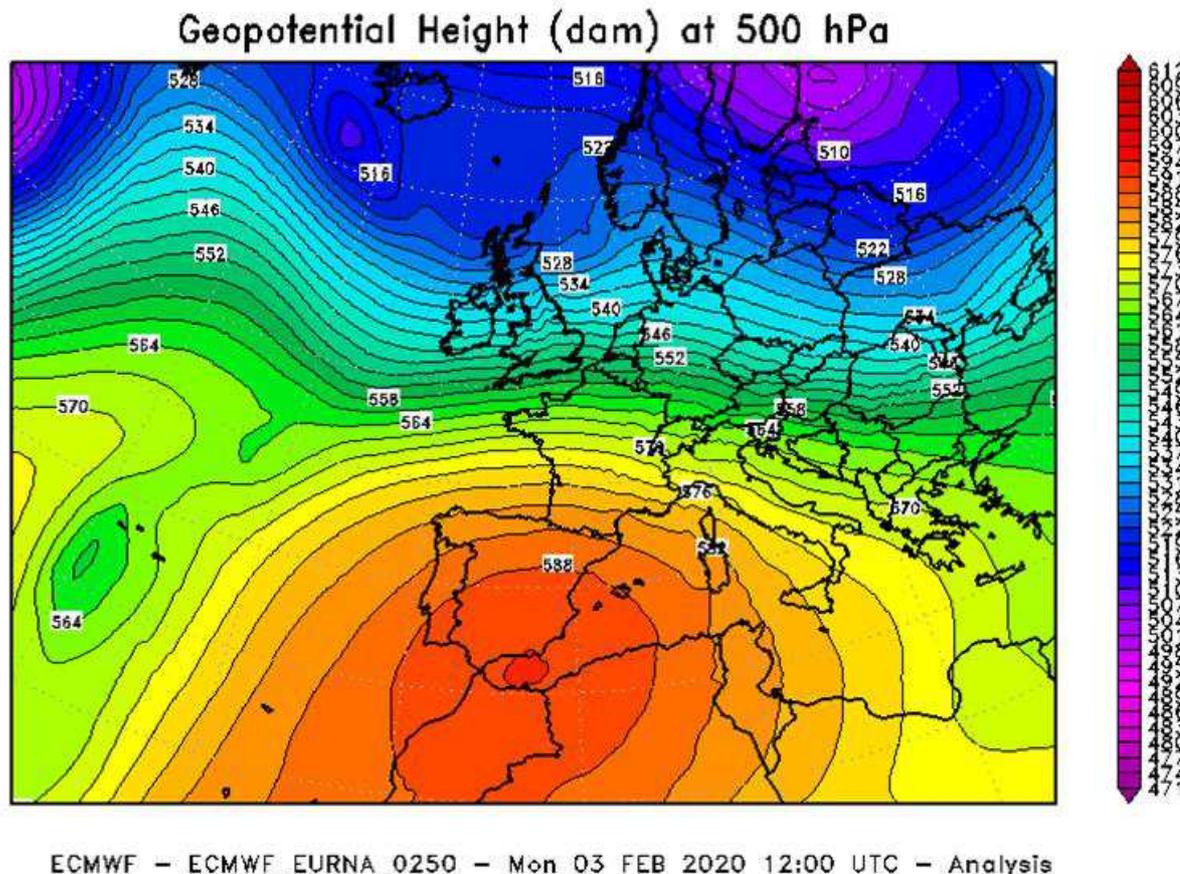


FIGURA 99: altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa alle ore 12 UTC del 3 febbraio 2020. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Grazie a tali fattori il 3 febbraio 2020 è risultato il giorno mediamente più caldo del mese di febbraio dal 1958 ad oggi, superando il precedente primato detenuto dal 27 febbraio 2019 che risulta ancora al primo posto per le temperature massime.

Invece per quanto riguarda il trimestre invernale il primato di caldo è ancora detenuto dal 19 gennaio 2007.

Nel giorno 3 febbraio 2020 una trentina di termometri della rete Arpa Piemonte (pari all'11% del totale) hanno stabilito il primato di temperatura massima per il trimestre invernale.

Marzo

Tra il 24 ed il 27 marzo 2020 una circolazione depressionaria proveniente dall'Europa orientale ha proseguito il suo moto retrogrado verso ovest, portandosi dalla penisola balcanica verso l'Italia centrale (FIGURA 100 in alto); in seguito il suo asse è ruotato in senso antiorario ed il giorno 26 la depressione si è situata tra la Francia e la Tunisia (FIGURA 100 in basso a sinistra). Infine, il giorno 27 ha proseguito la sua rotazione e si sono strutturati due minimi barici distinti, uno sulla Spagna e l'altro tra la Sardegna e la Sicilia (FIGURA 100 in basso a destra).

L'effetto più rilevante della depressione citata sul territorio piemontese è stato sui valori termici; nel giorno 26 marzo 2020 la regione piemontese ha avuto una temperatura media di $-1,1^{\circ}\text{C}$ ed una temperatura minima di $-4,5^{\circ}\text{C}$. Tali valori sono risultati i più bassi non solo della stagione primaverile ma anche dell'intero trimestre precedente che comprende dicembre 2019, gennaio 2020 e

febbraio 2020. Pertanto, il giorno più freddo dell'inverno 2019-2020 si è verificato a primavera inoltrata. Non si è trattato comunque di valori da primato mensile per il mese di marzo.

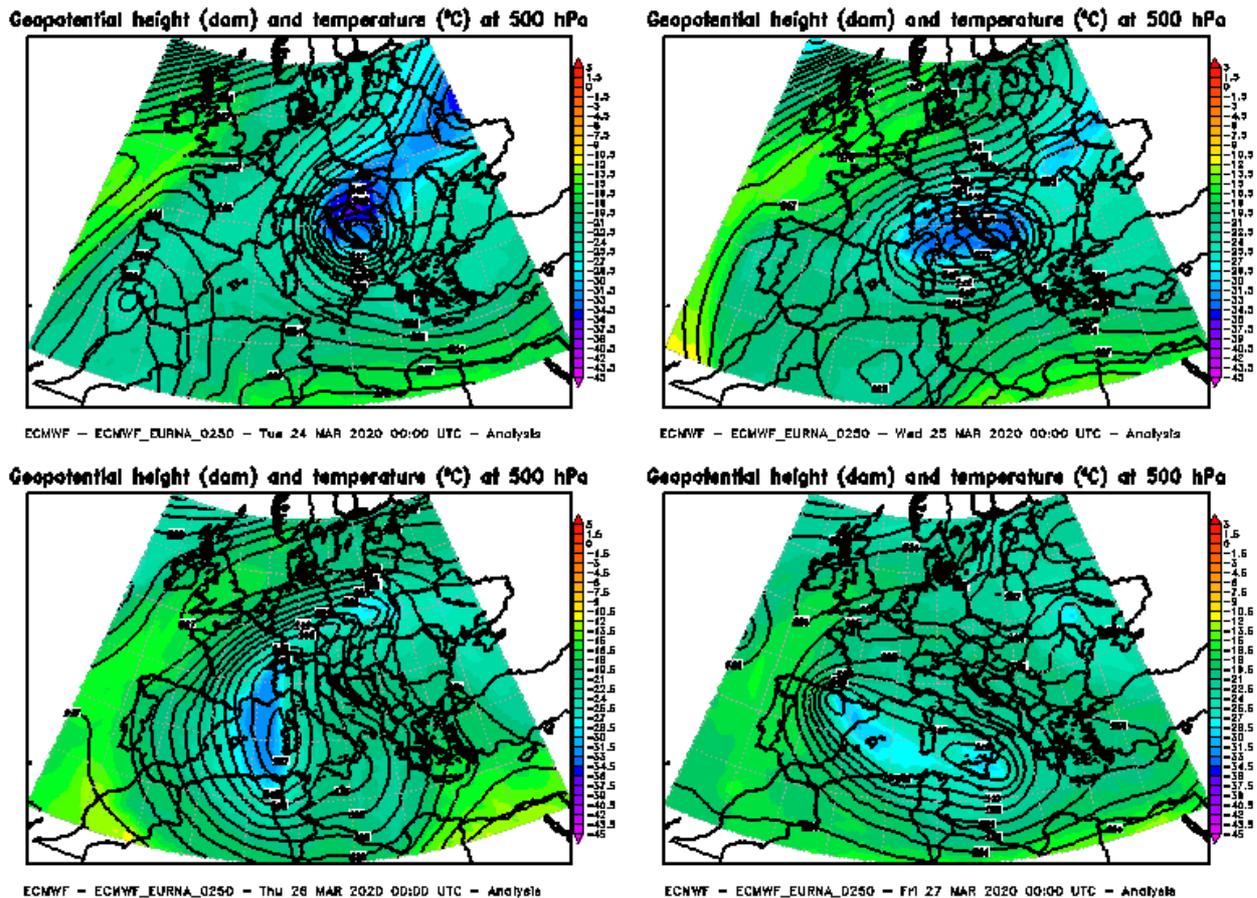


FIGURA 100: evoluzione di temperatura (colori, °C) e altezza di geopotenziale (dam, isolinee) a 500 hPa alle ore 06 UTC dal 24 al 27 marzo 2020, intervallate ogni 24 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Aprile

In Piemonte aprile 2020 ha avuto una temperatura media di circa 10°C, con un'anomalia termica positiva di 2,5°C rispetto alla media del periodo 1971-2000, e si pone al 6° posto tra i mesi di aprile più caldi degli ultimi 63 anni.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1971-2000, con 75,1 mm medi ed un deficit di 42,5 mm (pari al 36%); aprile 2020 si pone al 24° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi a partire dal 1958.

Merita una citazione l'evento precipitativo dei giorni 20-21 aprile 2020.

Nella serata del 19 aprile 2020 una saccatura di matrice atlantica si estendeva tra la Penisola Iberica e l'Africa nordoccidentale (FIGURA 101 in alto a sinistra). È successivamente evoluta in una circolazione depressionaria, con minimo al confine tra l'Algeria e la Tunisia, all'alba del 20 aprile 2020 (FIGURA 101 in alto a destra). In seguito, è risalita verso nord (FIGURA 101 in basso a sinistra), localizzandosi sulla Sardegna sudorientale nelle prime ore del 21 aprile 2020 (FIGURA 101 in basso a destra).

Il territorio piemontese è stato direttamente interessato da tale struttura depressionaria, con condizioni d'instabilità. I fenomeni precipitativi sono iniziati nel pomeriggio del 19 aprile sulla regione in maniera diffusa, sono proseguiti per tutta la giornata del 20 aprile, raggiungendo la massima intensità in serata sul Cuneese. Si sono ancora verificate precipitazioni diffuse, ma in forma attenuata, nella mattinata del 21 aprile, mentre nel pomeriggio successivo si sono esaurite sul settore centro-settentrionale della regione, persistendo, in maniera ulteriormente meno intensa, sul basso Piemonte. Infine, il 22 aprile il colmamento dell'area depressionaria ha determinato la cessazione dei fenomeni precipitativi su tutta la regione.

Le precipitazioni hanno determinato l'incremento dei livelli idrometrici del reticolo idrografico secondario, in particolare nel Cuneese: il Pesio a Carrù (CN) e il Ghiandone a Staffarda (CN) hanno registrato valori prossimi ai livelli di guardia, mentre l'Ellero a Mondovì (CN) ha superato tale soglia.

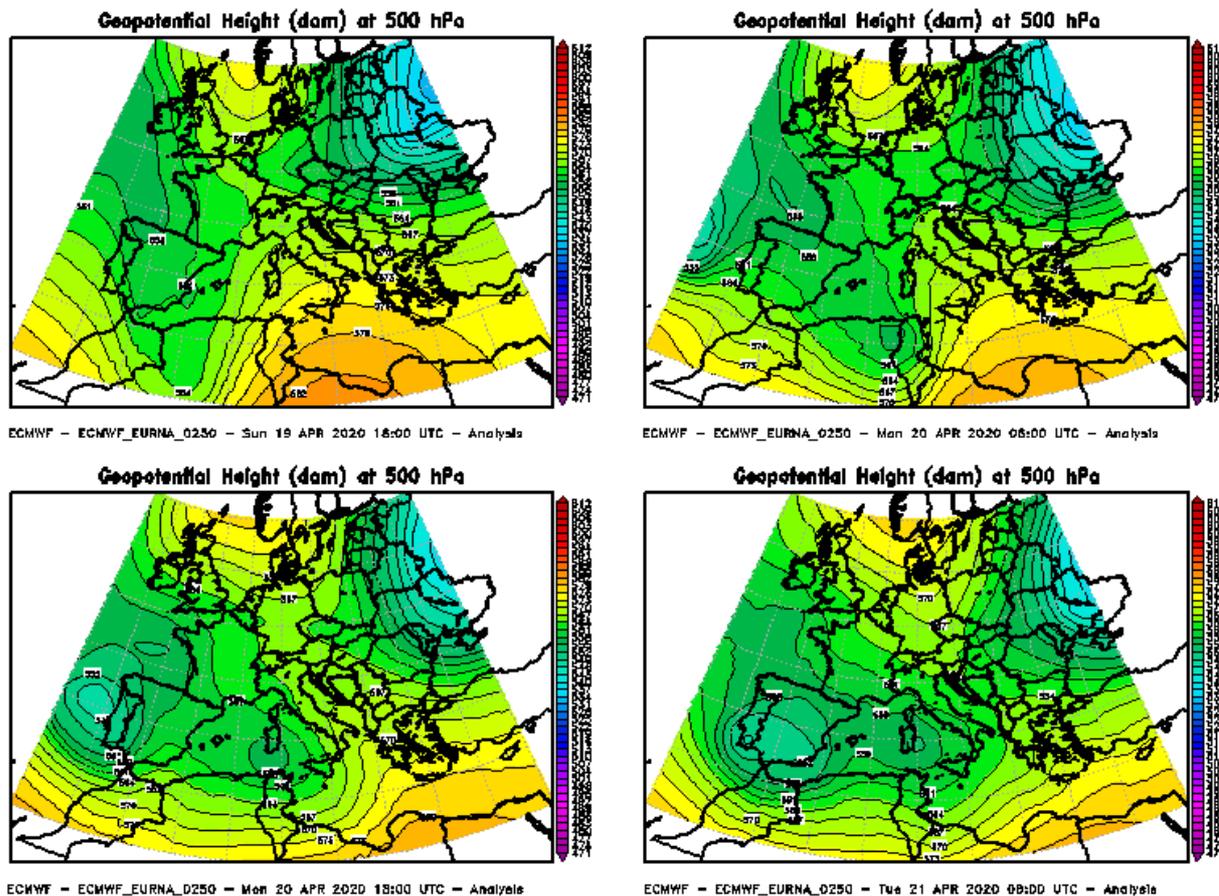


FIGURA 101: altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 18 UTC del 19 Aprile 2020 e 06 UTC del 21 aprile 2020, intervallata ogni 12 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Maggio

In Piemonte maggio 2020 ha avuto una temperatura media di circa 13,9°C, con un'anomalia termica positiva di 1,8°C rispetto alla media del periodo 1971-2000, e si pone al 12° posto tra i mesi di maggio più caldi degli ultimi 63 anni.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state leggermente superiori alla norma degli anni 1971-2000, con 143,2 mm medi ed un surplus di 12,2 mm (pari al 9%); maggio 2020 si pone al 20° posto tra i corrispondenti mesi più piovosi a partire dal 1958.

Nella seconda decade di questo mese si sono verificati tre eventi pluviometrici di rilievo; analizziamo l'episodio dell'11 maggio che è stato anche il giorno più piovoso della primavera 2020.

Tra il 10 e l'11 maggio 2020 una circolazione depressionaria di matrice atlantica si è portata dalle coste nordatlantiche iberiche (FIGURA 102 in alto a sinistra) alla catena pirenaica (FIGURA 102 in alto a destra), in seguito ha proseguito il suo moto verso nordest localizzandosi ad ovest dell'arco alpino (FIGURA 102 in basso a sinistra) ed infine è stata assorbita da una saccatura presente sul Mare del Nord (FIGURA 102 in basso a destra).

I fenomeni precipitativi connessi a tale struttura depressionaria hanno interessato il territorio piemontese soprattutto tra il pomeriggio del 10 maggio 2020 e la prima parte della giornata successiva, con picchi più elevati nelle ore prima dell'alba dell'11 maggio 2020. I valori puntualmente più alti sono stati registrati a Sambughetto (VB), con 92 mm/6h, 125,8 mm/12h e 140 mm/24h.

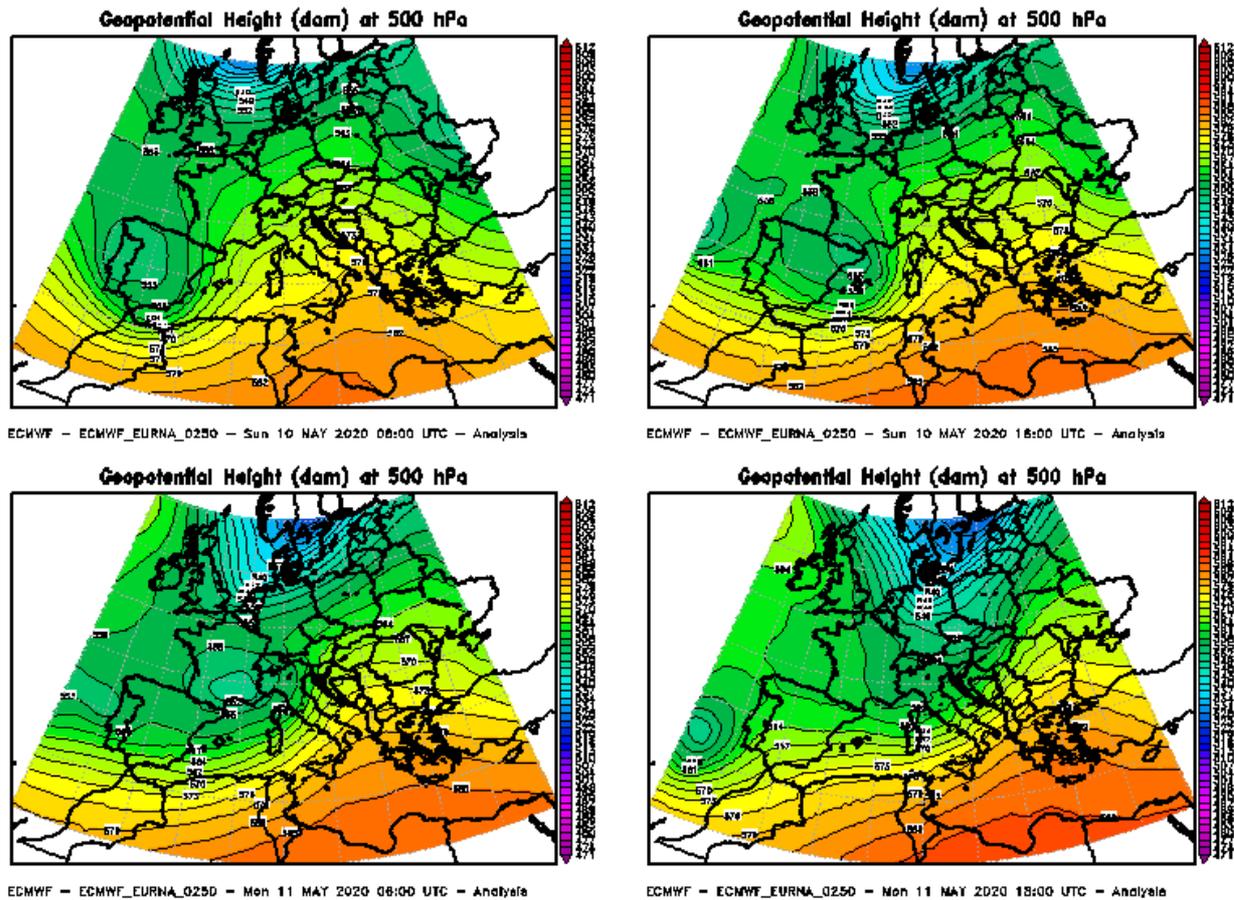


FIGURA 102: altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 10 maggio 2020 e 18 UTC dell'11 maggio 2020, intervallata ogni 12 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Le precipitazioni diffuse hanno determinato l'innalzamento generalizzato dei livelli dei corsi d'acqua, pur rimanendo al di sotto dei livelli di guardia. L'incremento maggiore è stato registrato sul fiume Sesia, che ha raggiunto l'ordinaria criticità.

Giugno

In Piemonte giugno 2020 ha avuto una temperatura media di circa 16,1°C, con una lieve anomalia termica positiva di 0,4°C rispetto alla media del periodo 1971-2000. È risultato comunque il mese di giugno più fresco del nuovo millennio.

Analizziamo ora i due giorni che sono risultati i più freddi dell'estate meteorologica 2020.

Una circolazione depressionaria di origine scandinava è rimasta quasi stazionaria sul territorio piemontese nella giornata del 9 giugno 2020 fino alla mattinata del giorno successivo (FIGURA 103).

In queste due giornate sul Piemonte si sono verificate condizioni di instabilità atmosferica con fenomeni temporaleschi localmente forti o molto forti ma con intensità e persistenza inferiori rispetto ad altri episodi della stagione estiva 2020.

L'effetto termico è stato più rilevante ed il 9 ed il 10 giugno 2020 sono risultati i giorni più freddi dell'estate 2020. Il 9 giugno ha avuto le temperature medie più basse (14,4°C in pianura) mentre il 10 ha registrato i valori inferiori di temperatura minima (10,3°C sui settori pianeggianti piemontesi).

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state superiori alla norma degli anni 1971-2000, con 130,9 mm medi ed un surplus di 34,8 mm (pari al 36%); giugno 2020 si pone all'8° posto tra i corrispondenti mesi più piovosi a partire dal 1958.

L'8° posto tra i mesi piovosi non è stato raggiunto da nessun altro mese dell'anno 2020 e giugno 2020 è l'unico mese che si è classificato tra i primi 10 della graduatoria.

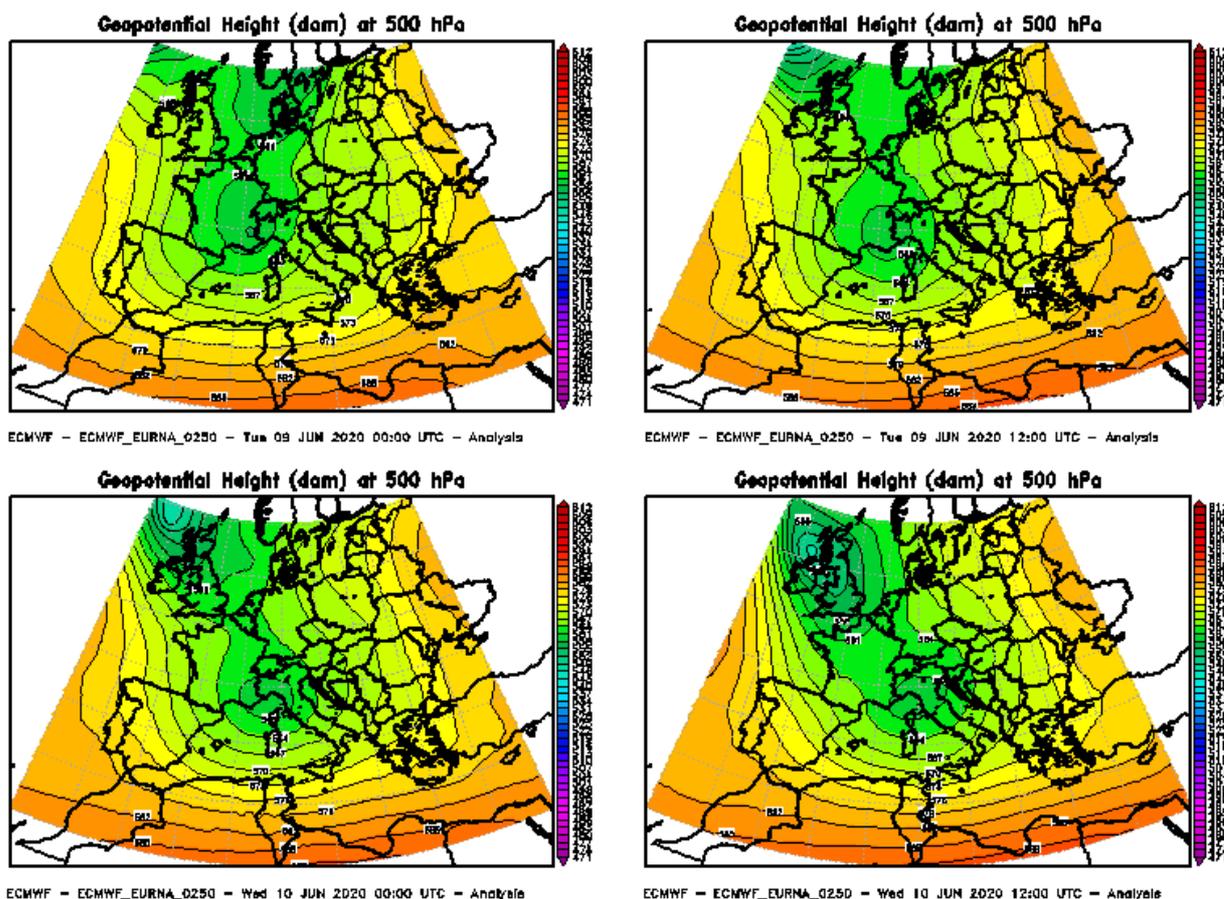


FIGURA 103: altezza di geopotenziale (dam) tra le ore 00 UTC del 9 giugno 2020 e 12 UTC del 10 giugno 2020, intervallata ogni 12 ore Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Luglio

In Piemonte luglio 2020 ha avuto una temperatura media di circa 19,6°C, con un'anomalia termica positiva di 0,9°C rispetto alla media del periodo 1971-2000, risultando il 20° mese di luglio più caldo degli ultimi 63 anni.

Tra il 31 luglio 2020 ed il 1° agosto 2020 si sono verificati i giorni più caldi dell'anno 2020: in quei due giorni un promontorio anticiclonico di matrice africana ha esteso la sua influenza sull'Europa centrale fino al mare del Nord (FIGURA 104).

Il 31 luglio ed il 1° agosto 2020 sono stati i due giorni più caldi dell'estate; il 1° agosto ha avuto le temperature più elevate con una media di 34,4 °C delle massime in pianura e valore puntualmente più alto a Sardiniano (AL) con 39,3 °C mentre il 31 luglio ha registrato la temperatura media più alta sui settori pianeggianti.

Dal punto di vista pluviometrico nel mese di luglio 2020 le precipitazioni sono state leggermente inferiori alla norma degli anni 1971-2000, con 54,2 mm medi ed un deficit di 6,6 mm (pari all'11 %); luglio 2020 si pone al 28° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi a partire dal 1958.

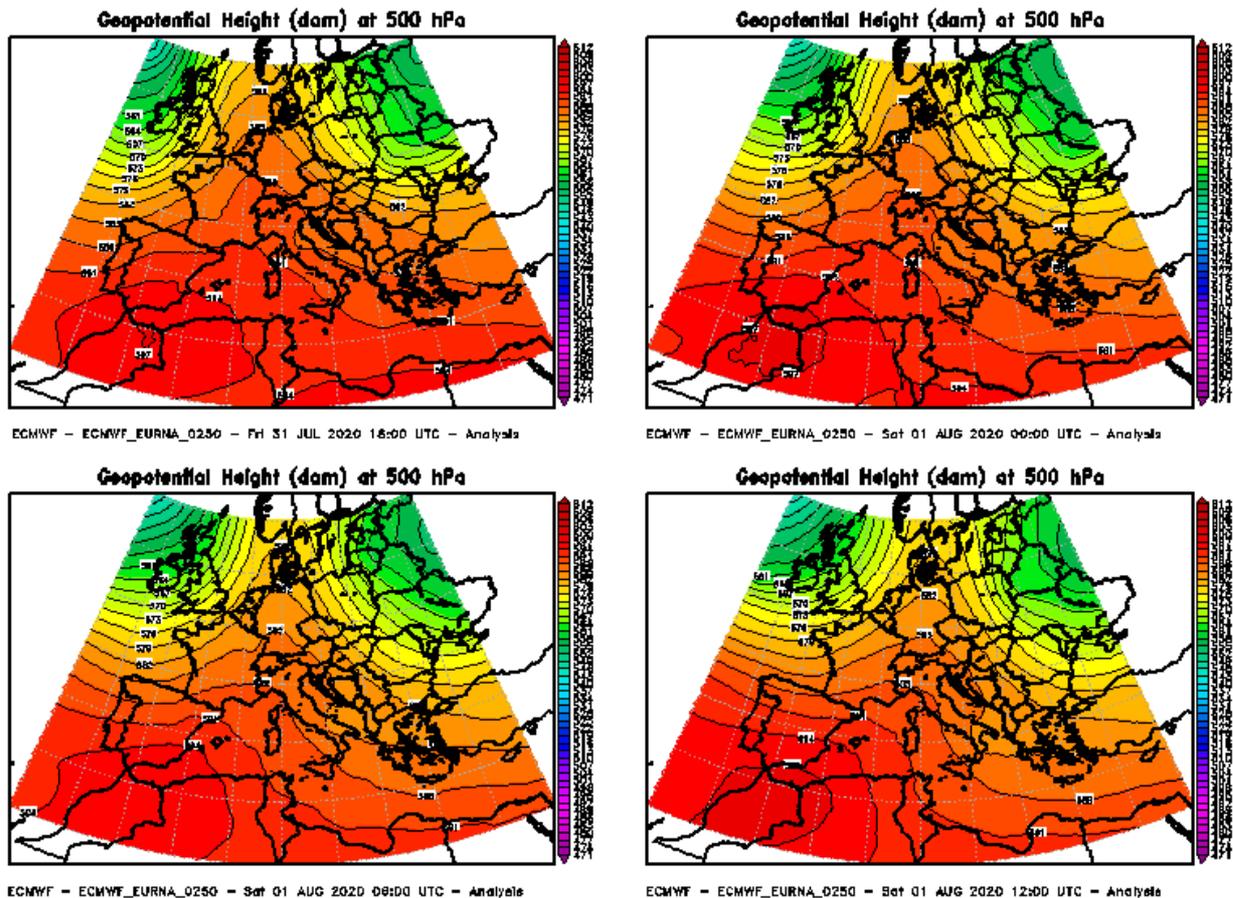


FIGURA 104: altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 18 UTC del 31 luglio 2020 e 12 UTC del 1° agosto 2020, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Agosto

In Piemonte agosto 2020 ha avuto una temperatura media di circa 19,9°C, con un'anomalia termica positiva di 1,7°C rispetto alla media del periodo 1971-2000, risultando il 10° mese di agosto più caldo degli ultimi 63 anni. È stato anche il mese più caldo dell'anno 2020.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state leggermente superiori alla norma degli anni 1971-2000, con 92,6 mm medi ed un surplus di 9,6 mm (pari al 12%); agosto 2020 si pone al 19° posto tra i corrispondenti mesi più piovosi considerati a partire dal 1958.

È stato quindi un mese estivo con temperature e precipitazioni superiori alla norma e si sono verificati intensi episodi temporaleschi.

I primi temporali rilevanti si sono manifestati tra la serata del 1° e la giornata del 2 agosto 2020 in corrispondenza al cedimento dell'area di alta pressione esaminata nel paragrafo precedente.

In questa occasione i danni maggiori sono stati provocati dal forte vento; le raffiche più intense si sono sviluppate nell'Alessandrino con raffiche giornaliere di oltre 100 km/h, registrate dalla stazione di Alessandria Lobbi (AL), 90 km/h a Crea (AL) e 85,7 km/h a Casale Monferrato (AL). Il valore di Alessandria Lobbi (AL) è il massimo registrato per l'intera serie storica dal 1988 durante il periodo primavera – estate.

Il 17 agosto 2020 i temporali hanno interessato soprattutto la città di Torino e l'Astigiano nel pomeriggio; il pluviometro situato in via della Consolata a Torino ha registrato un picco orario di 75,2 mm, valore inferiore solo agli 83,4 mm dell'11 agosto 2010. Rilevante anche la precipitazione caduta a Torino Giardini Reali con 65,4 mm/h.

Tuttavia, i fenomeni temporaleschi più intensi dell'anno si sono sviluppati verso la fine del mese.

I fenomeni precipitativi sono iniziati il giorno 28 agosto 2020 quando una circolazione depressionaria avente il minimo sulla Gran Bretagna si è estesa a sud verso la penisola iberica ed ha convogliato aria umida da sudovest sul territorio piemontese (FIGURA 105 in alto a sinistra)

I rovesci e temporali sono risultati intensi nella prima parte della giornata sul Verbano e poi, nel corso del pomeriggio ed in serata, in corrispondenza a deboli infiltrazioni di aria più fresca in quota, si sono estesi dalla fascia pedemontana occidentale alle pianure adiacenti per poi transitare verso est anche su Torinese, Vercellese, Novarese e Alessandrino. I picchi giornalieri più elevati sono stati registrati in provincia di Verbania a Cesara sugli intervalli di breve durata (50 mm/h e 79,2 mm/3h) e sul Monte Carza sulle ampiezze temporali maggiori: 89,4 mm/6h, 115,8 mm/12h e 123,6 mm/24h.

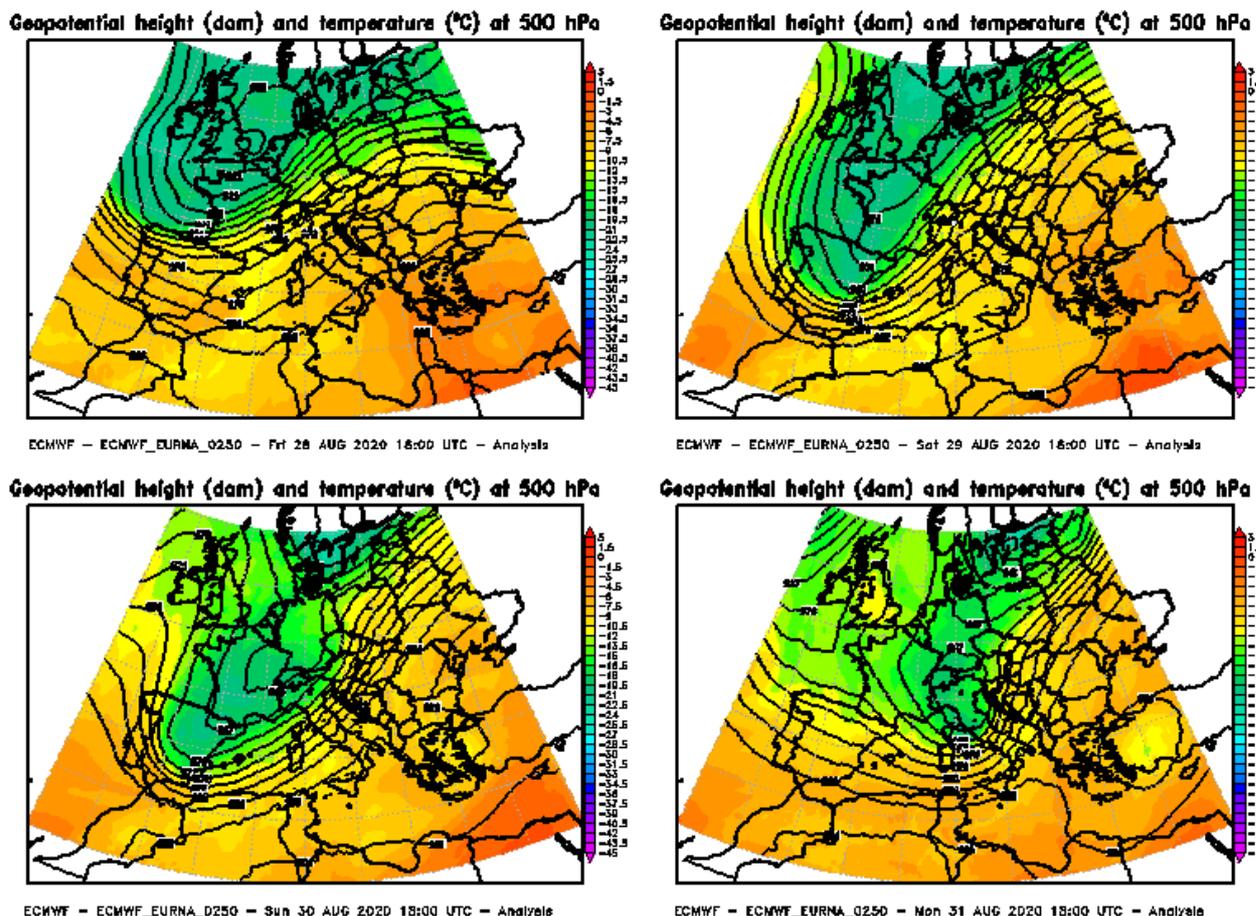


FIGURA 105: evoluzione di temperatura (colori, °C) e altezza di geopotenziale (dam, isolinee) a 500 hPa tra le ore 18 UTC del 28 e del 31 agosto 2020, intervallate ogni 24 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Il giorno 29 agosto 2020 l'area depressionaria ha proseguito la sua estensione verso sud ed è avanzata lentamente verso est, ostacolata nel suo moto verso oriente da un promontorio anticiclonico presente sull'Europa sudorientale, mentre in tarda serata si formava un minimo barico sulla Francia settentrionale (FIGURA 105 in alto a destra). In tale situazione si è intensificato il flusso di aria umida da sudovest in quota sul territorio piemontese e conseguentemente anche i fenomeni precipitativi.

L'episodio più rilevante della giornata è stato il temporale autorigenerante che si è sviluppato tra la tarda mattinata ed il primo pomeriggio sull'Appennino Ligure-piemontese, in Valle Scrivia, ove è rimasto stazionario per quasi 4 ore.

Un elemento decisivo nella genesi di tale temporale intenso e persistente è stata la convergenza delle masse d'aria nei bassi strati, che si è verificata tra il vento da sud, sudest proveniente dal mar Ligure e la ventilazione da nord, nordovest presente sulla pianura piemontese (FIGURA 106).

I picchi più elevati sono stati rilevati a Fraconalto in provincia di Alessandria con 108,8 mm/h e 218,6 mm/3h; si tratta di valori molto forti, rappresentano i picchi annuali su tali intervalli orari e sono tra i più alti registrati dai pluviometri piemontesi della rete Arpa Piemonte. Anche il Verbano e l'alto Vercellese sono stati interessati dal maltempo e in diverse località sono stati superati i 100 mm/12h.

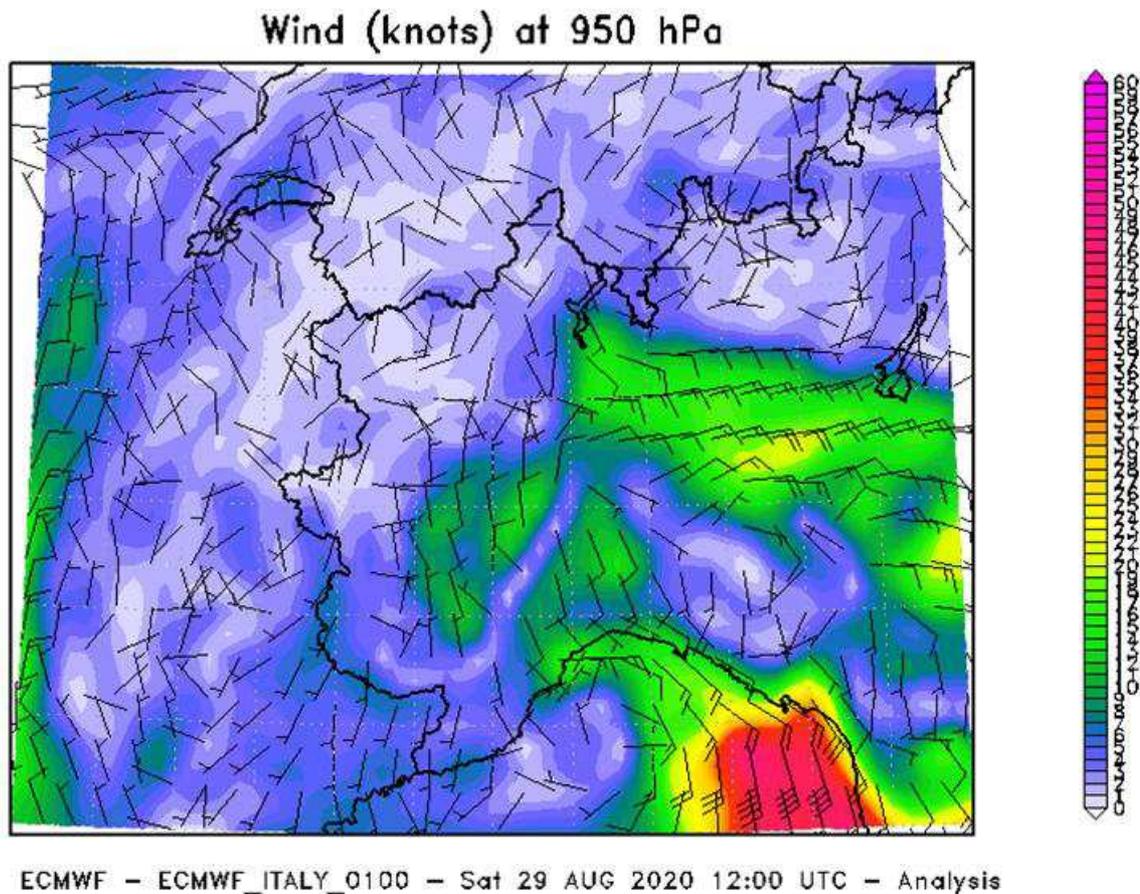


FIGURA 106: vento a 950 hPa alle ore 12 UTC del 29 agosto 2020. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

I livelli dei corsi d'acqua si sono mantenuti al di sotto delle soglie di guardia, gli incrementi più significativi si sono registrati sull'Orba a Basaluzzo e a Casalcermelli in provincia di Alessandria, a causa della piena del torrente Lemme affluente dell'Orba, e nel Verbano sul torrente San Bernardino.

Nella successiva giornata di domenica 30 agosto l'area depressionaria è tralata lentamente verso est-nord est nella prima parte della giornata; il minimo barico si è portato prima ad ovest e poi a nord dell'arco alpino occidentale, transitando sul Piemonte con il suo ramo freddo nel corso della mattinata mentre nel pomeriggio si è progressivamente colmato (FIGURA 105 in basso a sinistra).

In questo contesto si sono ancora sviluppati temporali intensi al mattino sui settori nordoccidentali e settentrionali, con un successivo temporaneo miglioramento a metà mattinata ma, poiché il territorio piemontese si è trovato sempre sotto l'influsso dell'area depressionaria e di aria relativamente più fresca ed instabile, nel corso del pomeriggio e poi in serata si sono riattivati nuovi rovesci e temporali, in particolare sulle pianure.

Nella prima parte della giornata i fenomeni temporaleschi più intensi hanno interessato le valli di Lanzo (la stazione di Lanzo ha registrato 84,6 mm/3h) ed ancora l'alto Vercellese (104,6 mm /12h a Sabbia) ed il Verbano (115,8mm/12h a Druogno).

Nonostante le abbondanti piogge i livelli dei corsi d'acqua, pur avendo registrato incrementi anche significativi, sono rimasti al di sotto delle soglie di guardia; Il calo delle temperature ha favorito la comparsa della neve sulle Alpi al di sopra dei 2500 metri di quota.

Il 31 agosto 2020 la struttura depressionaria responsabile del maltempo dei giorni precedenti ha proseguito il suo moto verso est, e nelle ore centrali della giornata si è formato un nuovo minimo barico secondario sull'Italia nordoccidentale (FIGURA 105 in basso a destra).

In questa giornata le precipitazioni hanno avuto carattere sparso, con intensità debole o moderata, in quanto i flussi di umidità sono stati inferiori e la struttura depressionaria era in ulteriore fase di colmamento.

Settembre

In Piemonte settembre 2020 ha avuto una temperatura media di circa 15,8°C, con un'anomalia termica positiva di 1,4°C rispetto alla norma climatica del periodo 1971-2000, risultando il 14° mese di settembre più caldo degli ultimi 63 anni.

Tuttavia, l'evento termico più rilevante è stato il freddo anomalo che si è verificato attorno al 27 settembre, quando quasi la metà delle stazioni termometriche della rete Arpa Piemonte ha stabilito il primato di temperatura minima per il mese di settembre.

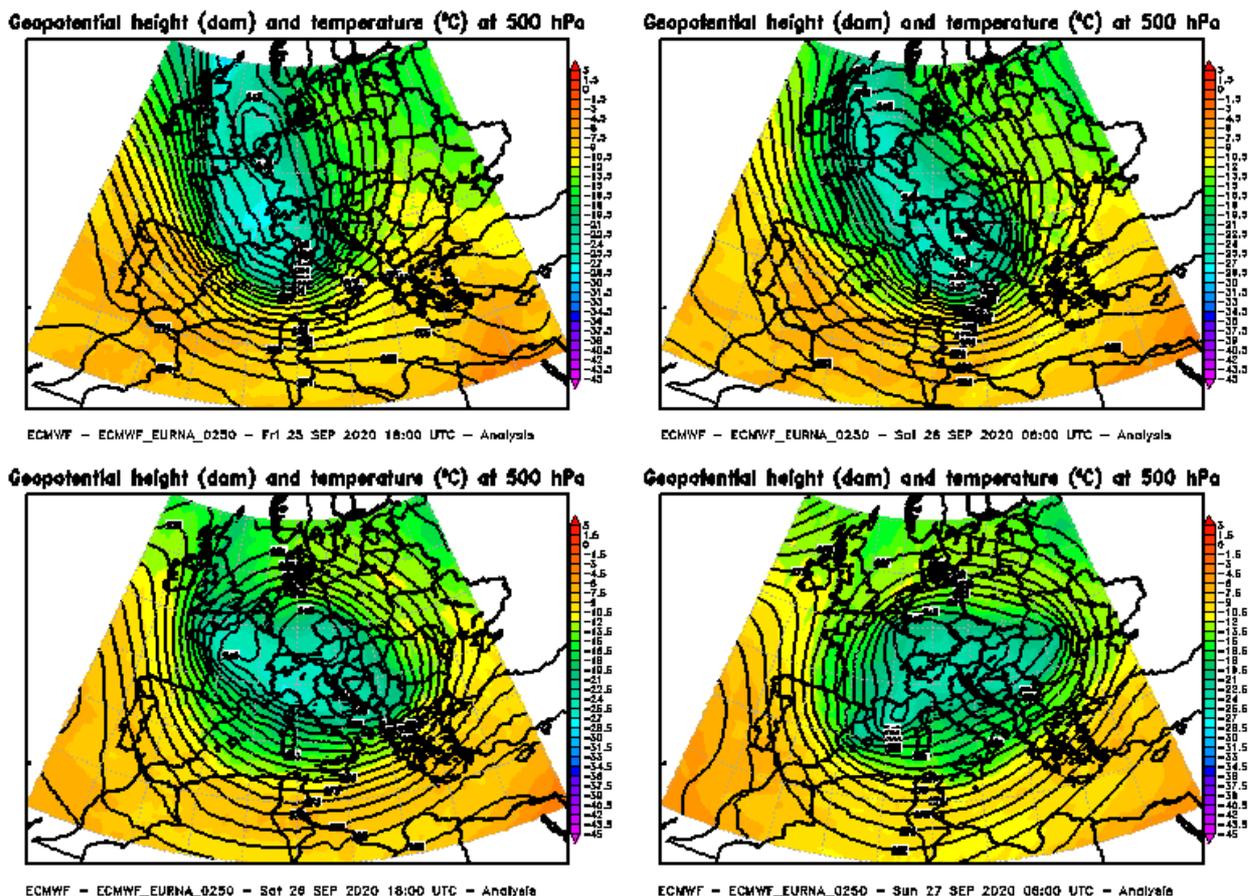


FIGURA 107: evoluzione di temperatura (colori, °C) e altezza di geopotenziale (dam, isolinee a 500 hPa tra le ore 18 UTC del 25 e 06 UTC del 27 settembre 2020, intervallate ogni 12 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

In quell'occasione una struttura depressionaria di matrice nordatlantica si è estesa verso sud strutturandosi come una vasta area di bassa pressione su buona parte dell'Europa centrale nelle giornate del 26 e 27 settembre 2020 (FIGURA 107).

Il Piemonte si è trovato all'interno del nucleo freddo connesso alla depressione e si è verificata una generale diminuzione delle temperature. Il calo termico è stato inizialmente attenuato dalle diffuse condizioni di foehn che si sono instaurate tra la tarda mattinata del 25 e buona parte della giornata del 26 settembre 2020.

Il 27 settembre 2020, grazie all'attenuazione della ventilazione, è stato il giorno più freddo del mese con una media di soli 4,4°C delle temperature minime in pianura e gli 0°C toccati a Bergalli (CN).

Sabato 26 settembre il record di temperatura minima mensile è stato raggiunto in 16 stazioni termometriche, lunedì 28 settembre in 10 e venerdì 25 settembre in 4; in totale 136 termometri pari a circa il 49% del totale.

Dal punto di vista pluviometrico le precipitazioni sono state inferiori alla norma degli anni 1971-2000, con 52,1 mm medi ed un deficit di 47,3 mm (pari al 48%); settembre 2020 si pone al 21° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi considerati a partire dal 1958.

Ottobre

In Piemonte ottobre 2020 ha avuto una precipitazione media di 202,3 mm, con un surplus pluviometrico di 69,3 mm (pari al 52%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000, e si pone al 14° posto tra i corrispondenti mesi più piovosi degli ultimi 63 anni.

In tale mese si è verificato l'evento alluvionale dei giorni 2-3 ottobre, in cui il 2 ottobre è risultato il giorno più piovoso dell'intera serie storica dal 1958 ad oggi con 110,5 mm medi sul territorio piemontese.

Una circolazione depressionaria avente il minimo sulla Bretagna è scesa lentamente verso sud nel corso della giornata del 2 ottobre 2020, estendendo la sua influenza al bacino centro-occidentale del Mediterraneo fino alle coste algerine (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

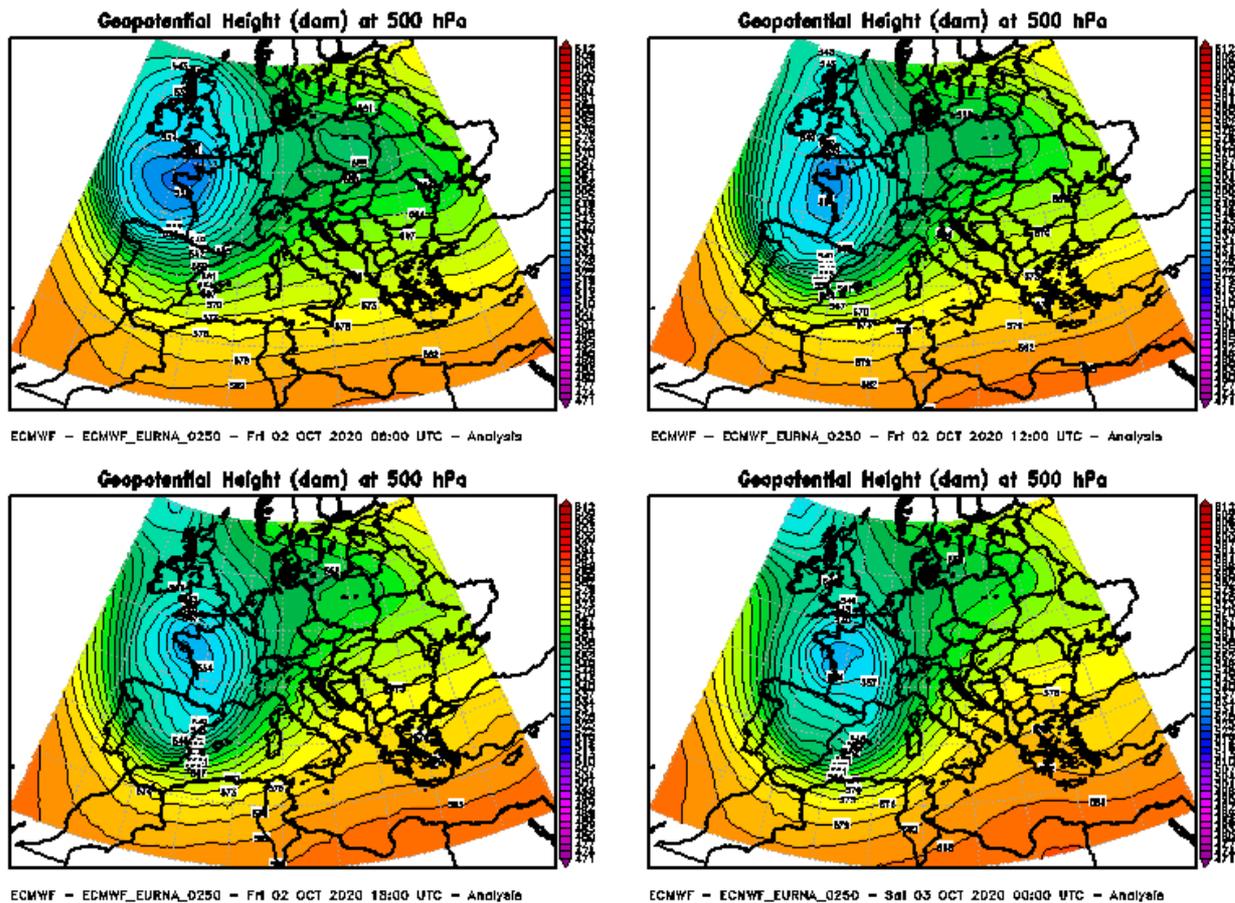


FIGURA 108: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 2 ottobre 2020 e 00 UTC del 3 ottobre 2020, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

In tale situazione si è intensificato il flusso di aria umida dal Mediterraneo verso il Piemonte, inizialmente con provenienza sudoccidentale per poi ruotare da sud in tarda serata, con linee di flusso ricche di umidità che andavano dalle isole Baleari al Nordovest italiano (FIGURA 108 in basso a destra).

Nei bassi strati atmosferici la pressione è scesa rapidamente sul territorio piemontese, con la formazione di un minimo barico secondario sul Piemonte sudoccidentale nel pomeriggio, in approfondimento fino a raggiungere i 987 hPa nella tarda serata (FIGURA 109), risultato il momento di maggiore intensità delle precipitazioni.

Il contrasto termico tra l'aria fresca di matrice atlantica e quella più calda e umida proveniente dal mare Mediterraneo (FIGURA 110 a sinistra) ha innescato ed alimentato una serie di temporali molto forti (FIGURA 110 a destra) che si sono sviluppati sulle Alpi Marittime e Liguri, anche grazie alla risalita orografica fornita dalla catena alpina, ed hanno avuto una persistenza rilevante a causa della sostanziale stazionarietà della configurazione barica.

L'elevata temperatura superficiale del Mar Mediterraneo è stata un altro elemento importante nella genesi dei fenomeni temporaleschi; a fine settembre nel settore occidentale mostrava un'anomalia positiva compresa tra i 2°C e i 3,5°C rispetto alla norma del periodo.

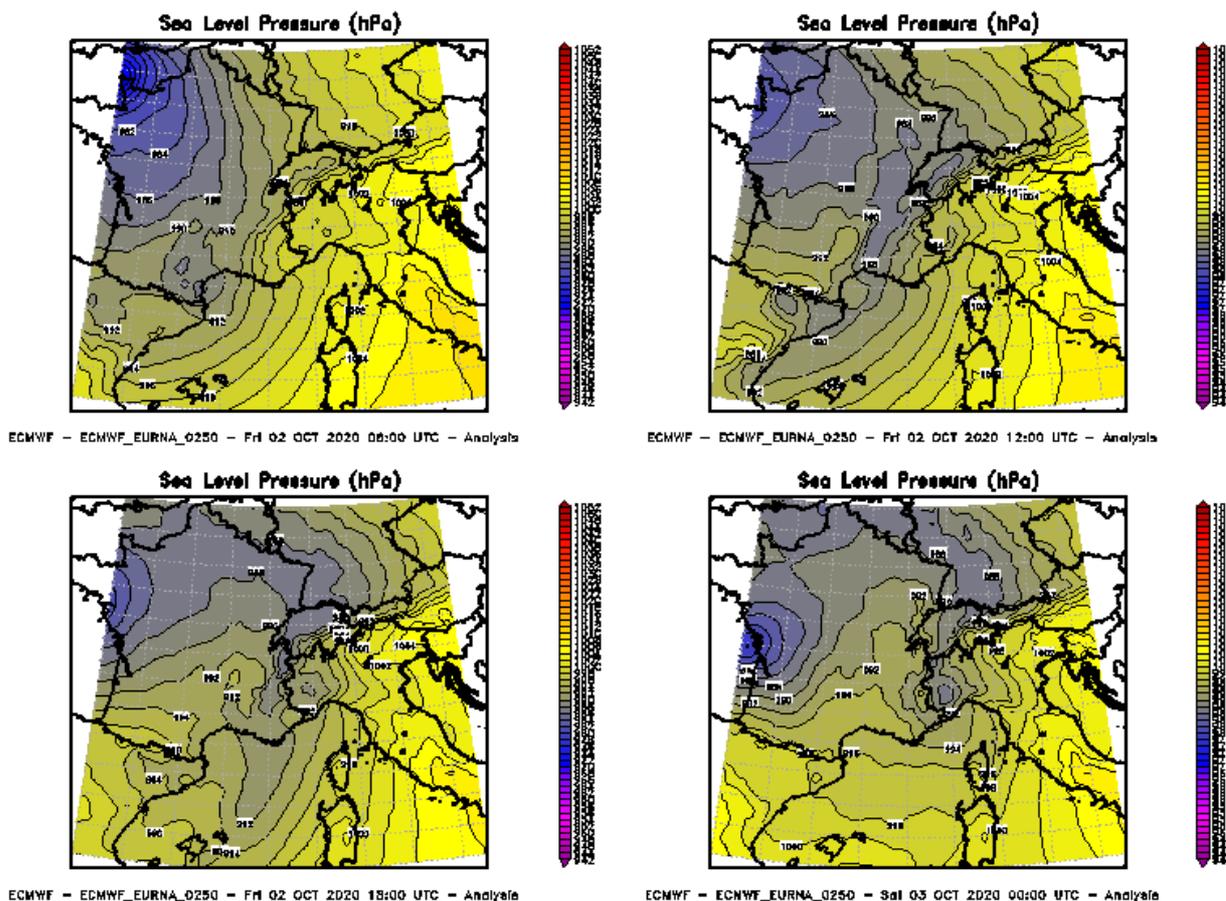


FIGURA 109: evoluzione della pressione ridotta al livello del mare (hPa) tra le ore 06 UTC del 2 ottobre 2020 e 00 UTC del 3 ottobre 2020, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

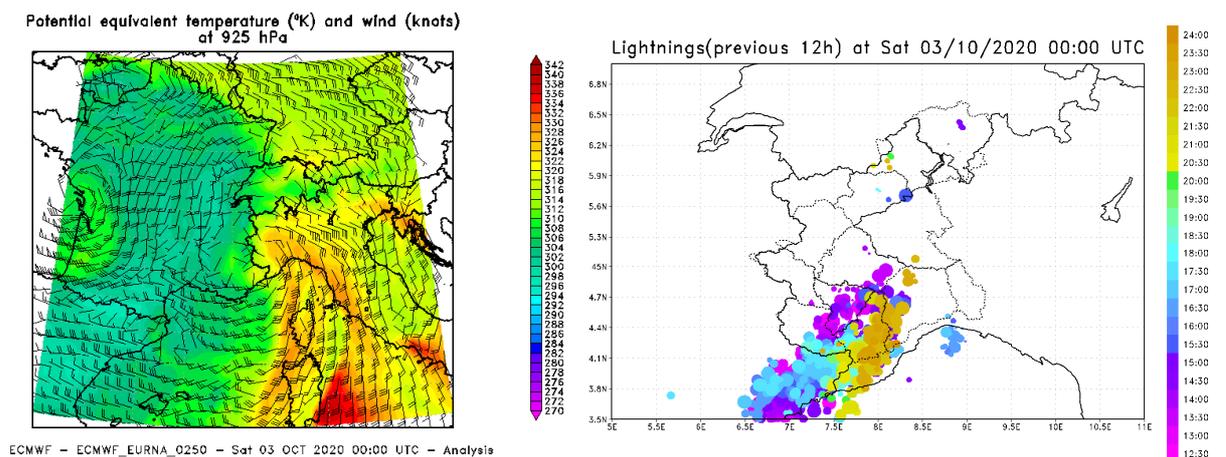


FIGURA 110: analisi di temperatura equivalente (°K) e vento a 950 hPa sul Piemonte alle 00 UTC del 3 ottobre 2020 (sinistra, elaborazione ARPA Piemonte su dati ECMWF); fulminazioni osservate sul Piemonte tra le ore 12 UTC del 2 ottobre 2020 e 00 UTC del 3 ottobre 2020 (destra).

L'evento inoltre è stato caratterizzato da uno zero termico alto, passato dai 2800 m di giovedì 1° ottobre ai 3300 m di venerdì 2 ottobre sul settore settentrionale e dai 3200 m ai 3600 m sul Piemonte meridionale. Il mancato ingresso dell'aria fredda nel corso della fase precipitativa ha limitato le nevicate solo alle quote più elevate.

Sul settore settentrionale del Piemonte ci sono state poche fulminazioni ma i fenomeni precipitativi sono stati ugualmente intensi e persistenti (cfr. FIGURA 111) grazie al marcato flusso meridionale con risalita orografica sulle Alpi Pennine e Lepontine. Il sistema depressionario infatti è stato accompagnato da venti molto forti, in particolare lungo lo spartiacque con la Liguria e la Francia, dove sono state registrate raffiche dell'ordine dei 120/150 km/h; ma anche nella zona attorno al Lago Maggiore i picchi anemometrici hanno raggiunto i 130 km/h.

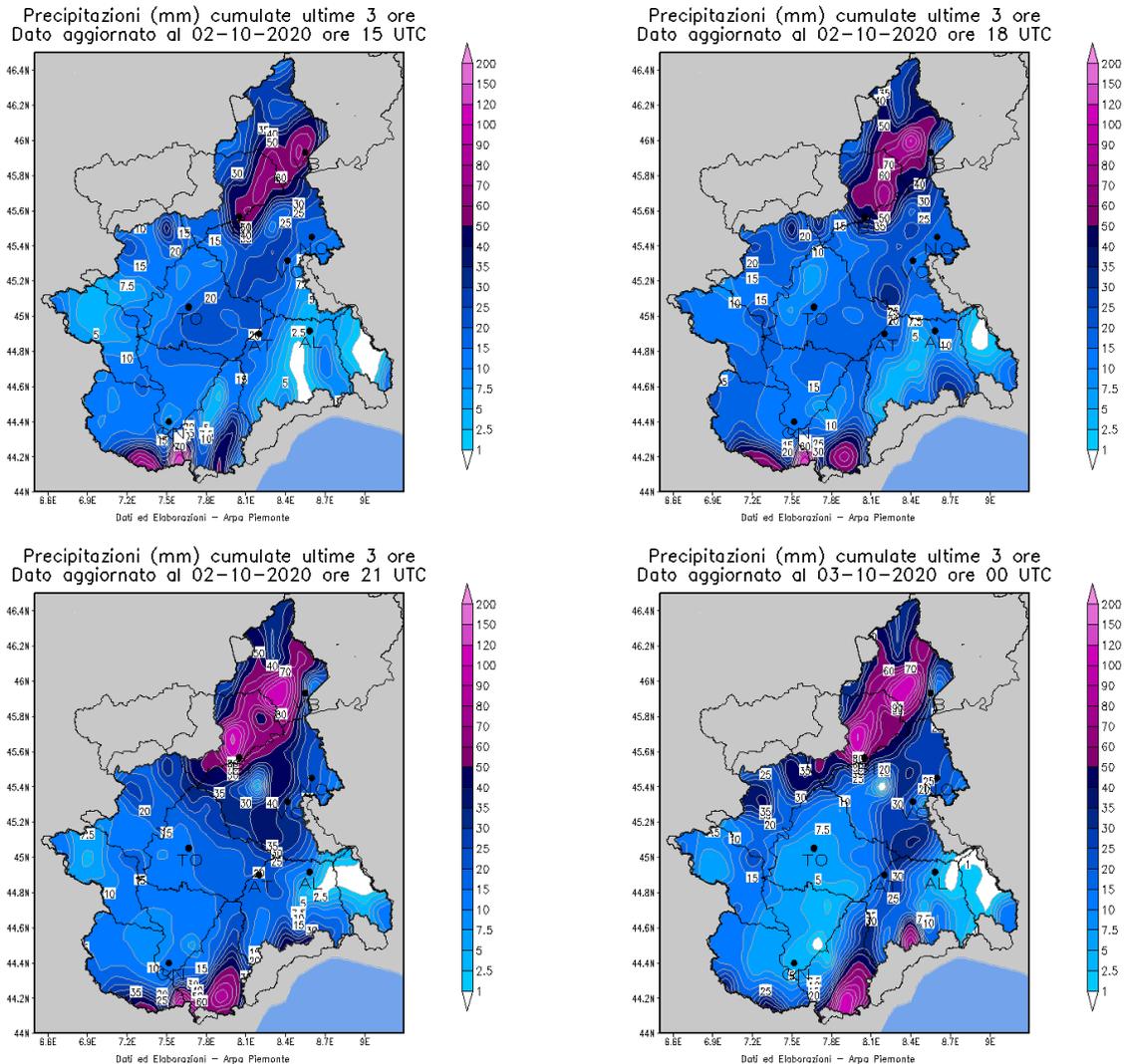


FIGURA 111: precipitazioni cumulate in 3 ore dalle ore 12 UTC del 2 ottobre alle 00 UTC del 3 ottobre 2020 (dall'alto in basso, da sinistra e destra). L'ora indicata (UTC) si riferisce alla fine dell'evento precipitativo

Le precipitazioni hanno avuto la loro massima intensità nella seconda parte della giornata; nella FIGURA 111 vediamo l'evoluzione delle piogge tri-orarie; su diversi settori i fenomeni precipitativi sono mediamente aumentati di intensità a ridosso delle ore 00 UTC del 3 ottobre, a causa del minimo di pressione sottovento formatosi sul Piemonte sudoccidentale, mentre sono diminuiti nella zona di Limone (CN), in testata alla Val Roja, poiché il flusso umido meridionale si è spostato leggermente verso est, cessando di alimentare il sollevamento orografico in quella zona.

Sabato 3 ottobre 2020 la circolazione depressionaria si è estesa verso est, facendo affluire sul territorio piemontese aria fredda che ha determinato un abbassamento dello zero termico, fino ai 2400-2500 m a sud e 2100-2200 m altrove.

Il flusso meridionale umido ha iniziato ad attenuarsi sul Piemonte nelle ore prima dell'alba, gradualmente sostituito da una circolazione occidentale che ha determinato un rasserenamento del cielo già nel corso della mattinata sul settore sudoccidentale ove le precipitazioni hanno iniziato ad esaurirsi, mentre sono ancora proseguite sul Piemonte settentrionale, sia pure con intensità sempre più ridotta, con gli ultimi fenomeni precipitativi nel primo pomeriggio su Biellese e Verbano.

Si sono verificate ancora piogge molto forti sul settore settentrionale, con picchi tri-orari superiori ai 100 mm/3h a Sambughetto (VB) e Fobello (VC) ed attorno ai 75 mm /3h a Piedicavallo (BI) e Forzo (TO).

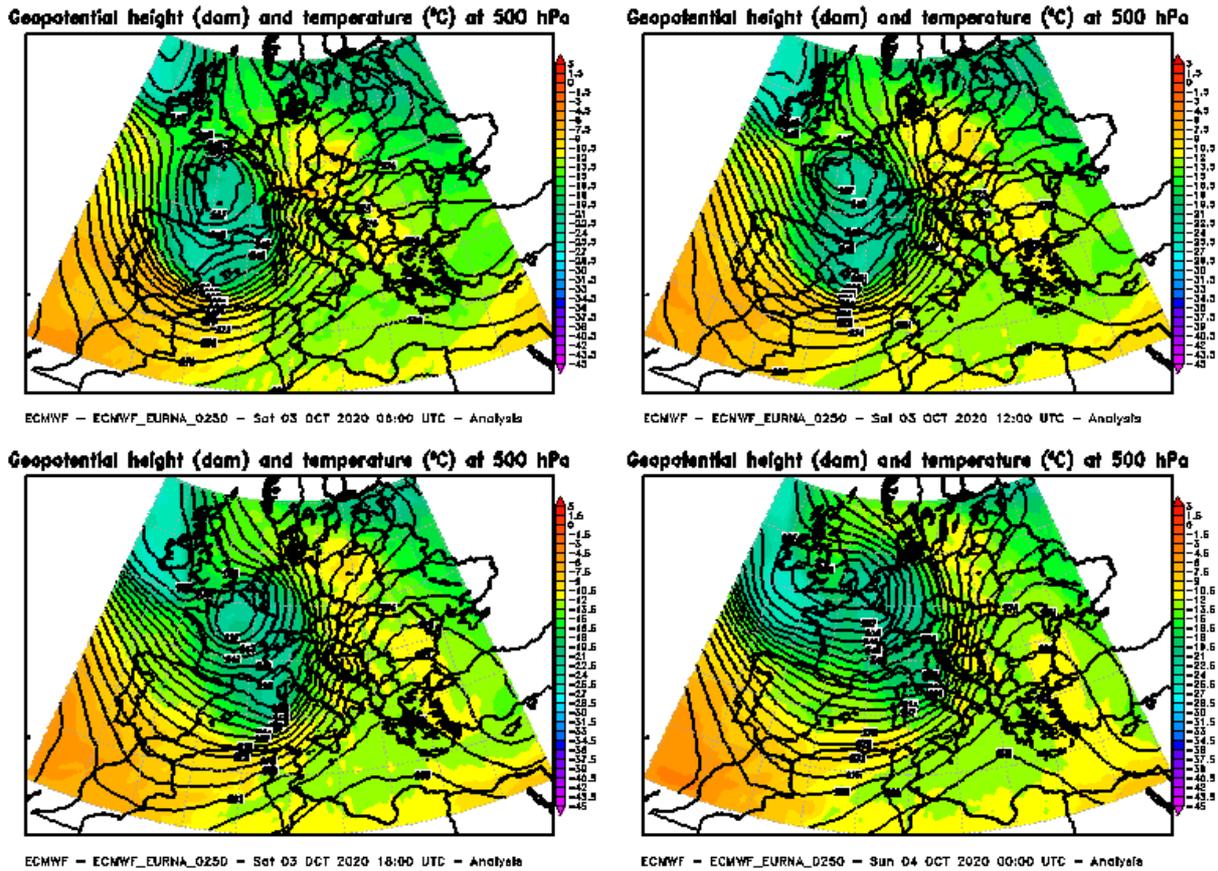


FIGURA 112 : evoluzione di altezza di geopotenziale (dam, isolinee) e temperatura (°C, colori) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 3 ottobre 2020 e 00 UTC del 4 ottobre 2020, intervallate ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

Novembre

In Piemonte novembre 2020 ha avuto una precipitazione media di 6 mm, con un marcato deficit pluviometrico di 72,6 mm (pari al 92%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000, e si pone al 2° posto tra i corrispondenti mesi meno piovosi degli ultimi 63 anni.

Distribuzione delle P cumulate medie in Piemonte mese di Novembre 2020

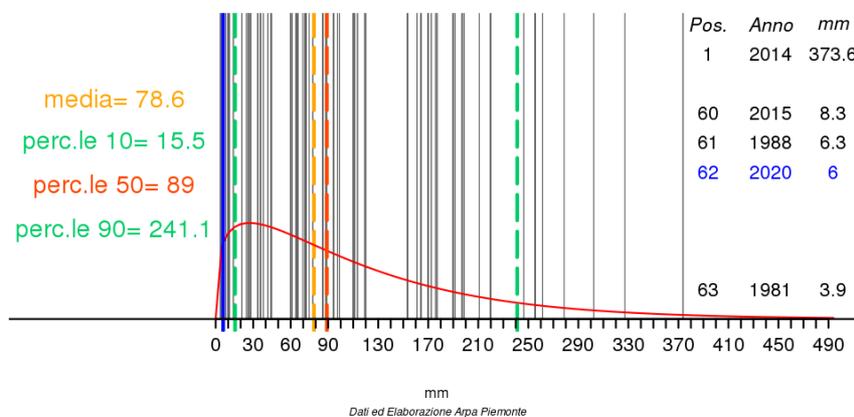


FIGURA 113: distribuzione storica della precipitazione media mensile si novembre dal 1958 al 2020 in Piemonte.

Novembre 2020 ha avuto una temperatura media di circa 7°C, con una forte anomalia termica positiva di 2,8°C rispetto alla norma climatica del periodo 1971-2000, risultando il 5° mese di novembre più caldo degli anni considerati a partire dal 1958.

Dicembre

In Piemonte dicembre 2020 ha avuto una precipitazione media di 97,2 mm, con un surplus pluviometrico di 42,9 mm (pari a +79%) rispetto alla norma degli anni 1971-2000, e si pone al 13° posto tra i corrispondenti mesi più ricchi di precipitazione degli ultimi 63 anni.

Dicembre 2020 ha inoltre registrato una temperatura media di 1,3°C, valore esattamente uguale alla norma climatica del periodo 1971-2000, risultando il 27° mese di dicembre più caldo degli ultimi 63 anni.

In tale mese si sono verificati 4 episodi di neve a bassa quota fino alle località pianeggianti. Analizziamo l'evento più rilevante, quello del 4 dicembre che è risultato il giorno con le precipitazioni più abbondanti del mese e quello con la nevicata più intensa e diffusa in pianura nell'anno 2020.

Per tutta la giornata del 4 dicembre 2020 una vasta area depressionaria di origine polare, con minimo sulle isole britanniche, è rimasta stazionaria sui settori centro-occidentali europei (FIGURA 114) ed ha causato condizioni di maltempo sul Piemonte, con precipitazioni deboli o moderate diffuse, a carattere nevoso anche in pianura, con picchi forti sull'Appennino alessandrino e sul Verbano.

A bassa quota sono stati registrati fino a 35-40 cm di neve sulla pianura alessandrina adiacente alla valle Scrivia, 20-25 cm nel Cuneese, 10-15 cm su Novarese e Vercellese e 5 cm nel Torinese. Le nevicatae hanno creato problemi alla viabilità autostradale sui tratti appenninici.

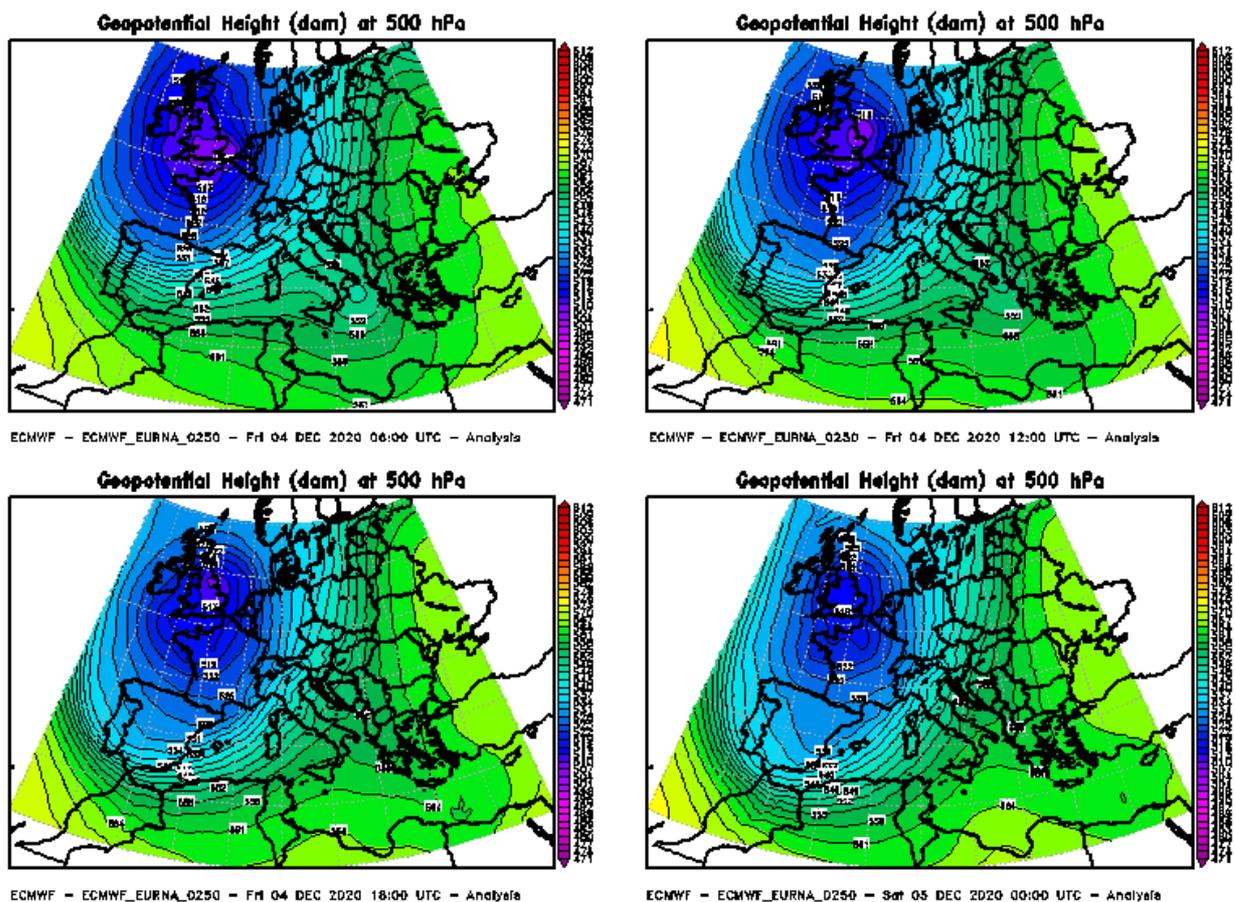


FIGURA 114: evoluzione dell'altezza di geopotenziale (dam) a 500 hPa tra le ore 06 UTC del 4 dicembre 2020 e 00 UTC del 5 dicembre 2020, intervallata ogni 6 ore. Elaborazione Arpa Piemonte su dati ECMWF.

I DATI METEO MISURATI NEL 2020

Al termine della caratterizzazione meteorologica, si è ritenuto interessante effettuare l'analisi dei dati meteorologici misurati dalle stazioni a terra nell'anno 2020, limitata all'andamento delle variabili meteorologiche maggiormente significative in rapporto al decennio precedente 2010-2019.

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 2020 per la stazione Torino-Giardini Reali risulta pari a 14 °C, quindi superiore sia alla media dei dati rilevati negli ultimi dieci anni nella stessa stazione (13,8 °C), sia a quella calcolata per il capoluogo piemontese sul periodo 1951-1986 (13,0 °C).

L'andamento delle temperature medie mensili è stato confrontato con l'andamento medio del decennio 2010-2019 (FIGURA 115). Si segnalano valori significativi di temperatura superiori alla media climatologica nei mesi di febbraio (+3,7°C), gennaio e maggio (+1,1°C), dicembre (+0,6°C). Le differenze negative rispetto alle relative medie del decennio precedente si riscontrano invece nei mesi di marzo (-0,5°C), giugno (-2,0°C), luglio (-0,6°C) e ottobre (-1,3°C).

Il valore più basso delle temperature medie mensili nel 2020 è stato registrato nel mese di dicembre ed è pari a 5,1 °C, mentre nel decennio di riferimento si riscontra nel mese di gennaio ed è pari a 3,2°C. Il valore massimo del 2020 è stato registrato nel mese di agosto ed è di 25°C, invece nel decennio climatologico 2010-2019 è di 24,8°C.

Dal confronto grafico fra l'andamento dei dati orari acquisiti nel corso del 2020 e l'intervallo di valori medi studiato a partire dai minimi e dai massimi assoluti registrati mensilmente nel decennio precedente (FIGURA 116), si osserva che soltanto nei mesi di giugno, nella terza decade di settembre (5,5°C il giorno 27), a metà ottobre, a fine novembre e dicembre si registrano picchi di temperature minime inferiori ai valori medi dei minimi assoluti registrati mensilmente nel decennio di riferimento (linea blu). Per quanto riguarda i superamenti dei massimi assoluti si notano valori di temperatura al di sopra dei valori massimi assoluti (oltre la linea rossa dell'andamento dei massimi assoluti registrati mensilmente nel decennio 2010-2019) a fine gennaio e nei mesi di febbraio e agosto.

Per quanto riguarda le precipitazioni atmosferiche, l'analisi dei dati statistici evidenzia per l'anno 2020 (FIGURA 117) un totale di precipitazioni di 838 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 69. Quindi il 2020 risulta meno piovoso rispetto alla media 2010-2019, sia in termini di precipitazioni totali (838 mm contro 1078 mm di media), sia per il numero di giorni piovosi che nel 2020 è pari a 69 giorni contro 85 giorni di media.

Il 2020 è il meno piovoso tra gli anni dell'ultimo decennio, preceduto soltanto 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 2020 l'intensità giornaliera media è risultata inferiore a quella del decennio (12,1 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 Piemonte⁴⁸, 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;

⁴⁸ "Precipitazioni e temperature" - Collana studi climatologici in Piemonte - Regione Piemonte: Direzione dei Servizi Tecnici di Prevenzione - Settore Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio; Università degli Studi di Torino: Dipartimento di Scienze della Terra.

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

Sempre secondo tale studio, il regime pluviometrico prealpino è il più diffuso in Piemonte, anche se quello attribuito all'area del capoluogo torinese risulta continentale alpino (Mennella, 1967; Biancotti, 1996) ⁴⁹.

Nel grafico illustrato in FIGURA 118 è riportato il confronto tra l'andamento delle precipitazioni totali mensili per il 2020 e le precipitazioni medie mensili (media delle sommatorie mensili) del decennio 2010-2019. Il decennio di riferimento rientra nel regime pluviometrico "subcontinentale" con il massimo principale a novembre (154,5 mm), il massimo secondario a giugno (120,3 mm) e il minimo principale a gennaio (39,8 mm). Il profilo del 2020 invece si discosta dal regime pluviometrico "subcontinentale" in quanto il massimo principale si registra a giugno (221,8 mm) e non in autunno.

Un'ulteriore elaborazione è stata effettuata aggregando gli stessi dati di precipitazione su base trimestrale. Nella FIGURA 119 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 (-84,1%), nel terzo (-4,1%) e nel quarto (-52,6%) trimestre le precipitazioni sono inferiori alla media climatologica, nel secondo trimestre del 2020 (+27,2%) le precipitazioni sono superiori alla media climatologica.

Va comunque sottolineato che le osservazioni sopra riportate sulle caratteristiche di piovosità relative all'anno 2020 devono essere valutate alla luce delle seguenti considerazioni:

- l'arco temporale (decennio 2010-2019) utilizzato per il confronto risulta comunque ridotto;
- la rappresentatività spaziale è limitata all'area metropolitana.

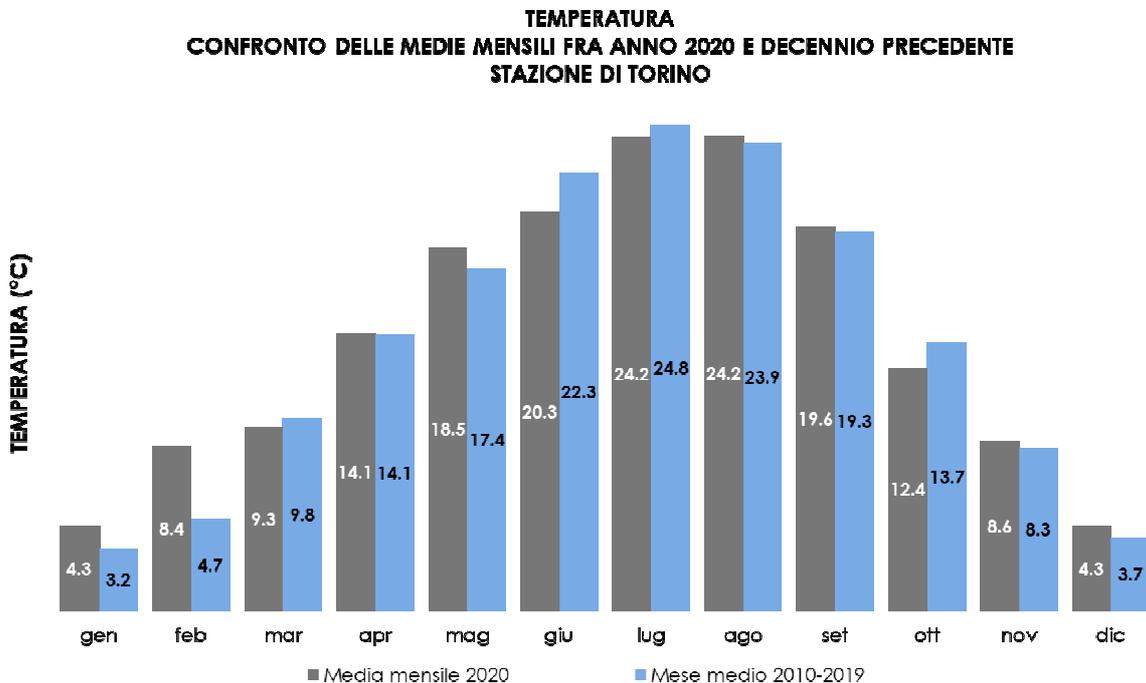


FIGURA 115: temperatura: valori medi mensili per l'anno 2020 e per il decennio 2010÷2019 per la stazione di Torino.

⁴⁹ 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.

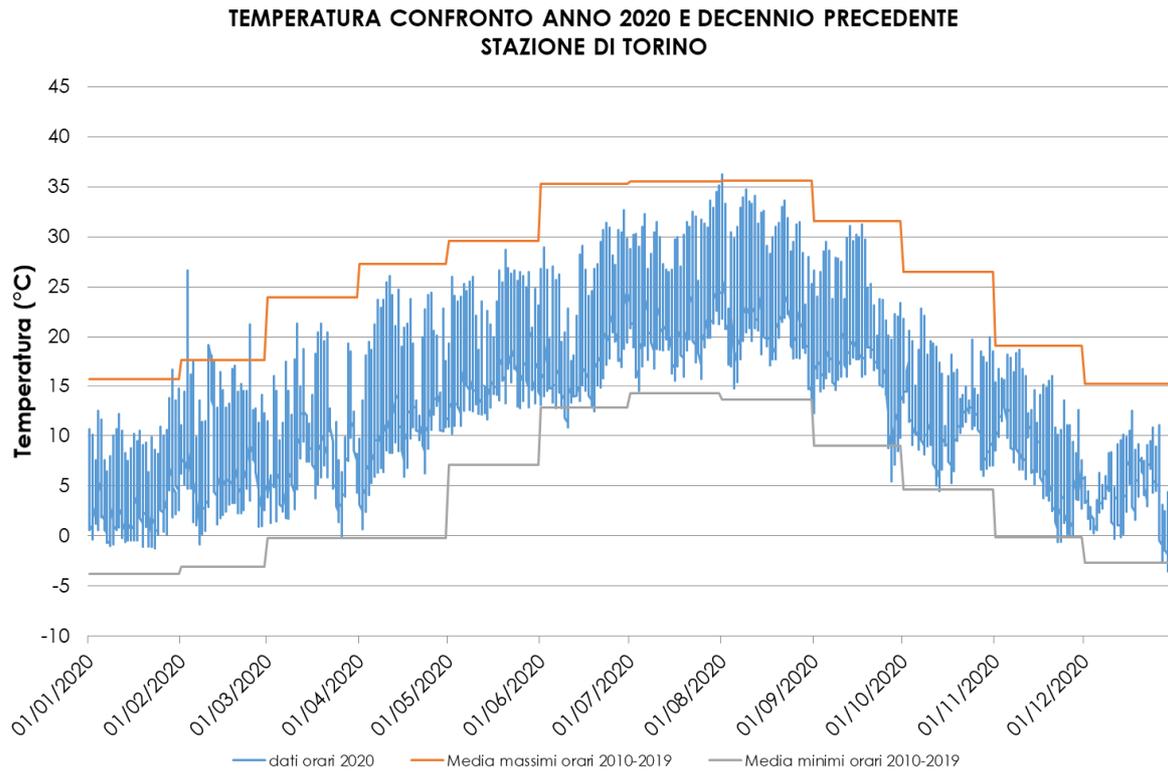


FIGURA 116: temperatura: valori orari per l'anno 2020 e medie dei minimi e dei massimi assoluti registrati nel decennio 2010-2019 presso la stazione di Torino.

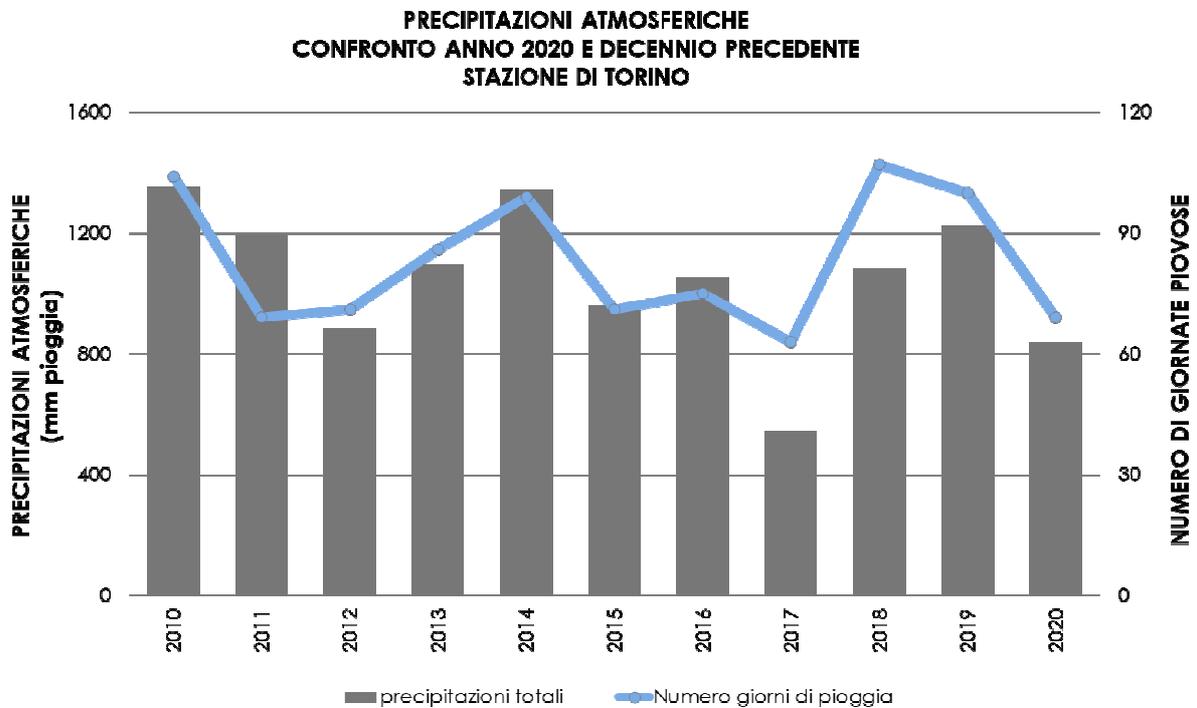


FIGURA 117: precipitazioni atmosferiche: sommatorie annuali e media del decennio in termini di quantità di precipitazioni e di numero di giornate piovose per la stazione di Torino.

**PRECIPITAZIONI ATMOSFERICHE
CONFRONTO ANNO 2020 E DECENNIO PRECEDENTE
STAZIONE DI TORINO**

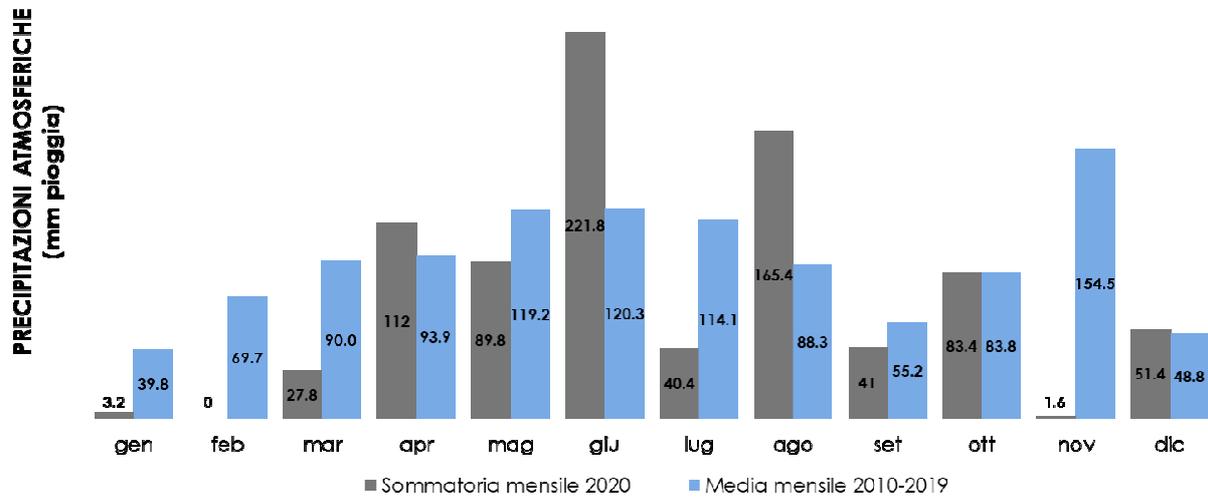


FIGURA 118: precipitazioni atmosferiche: sommatorie mensili per l'anno 2020 e medie mensili relative al decennio 2010÷2019 per la stazione di Torino

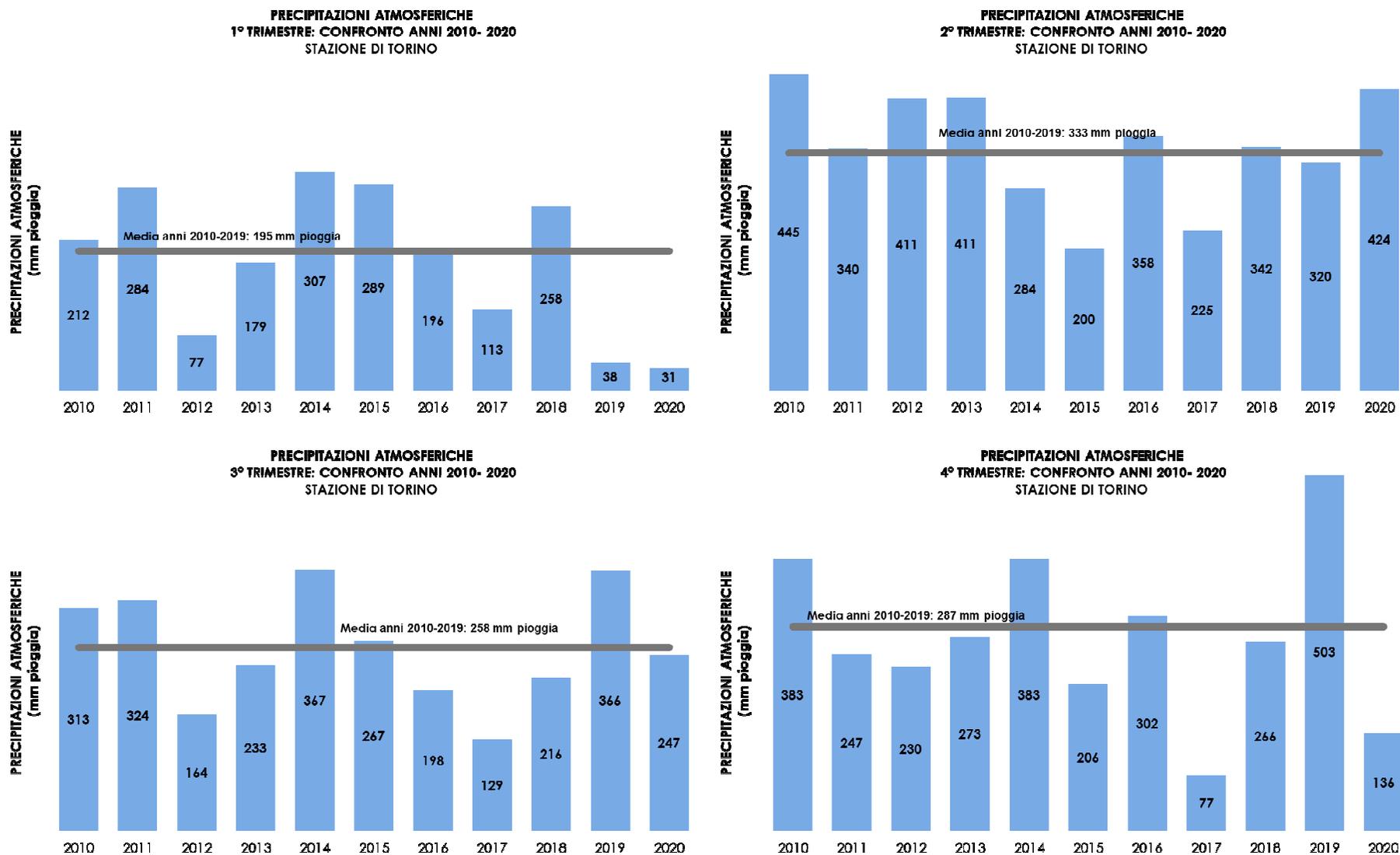


FIGURA 119: precipitazioni atmosferiche: sommatorie trimestrali relative al periodo 2010÷2020 per la stazione di Torino.

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

Il 2020 è stato caratterizzato dal punto di vista meteorologico con l'indice "numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10". Tale indice, la cui rappresentatività spaziale è limitata all'agglomerato torinese, analizza in forma semplificata le interazioni tra la meteorologia ed i fenomeni di trasporto, trasformazione chimica e dispersione degli inquinanti, con la finalità di identificare i giorni in cui si determinano condizioni di stagnazione favorevoli alla formazione di PM10. L'indicatore fornisce un utile strumento di indagine per interpretare la variabilità annuale della concentrazione degli inquinanti in funzione della meteorologia.

Il numero di occorrenze di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 nel 2020 è stato pari a 123 giorni (FIGURA 120), valore più elevato degli ultimi 5 anni. L'indice evidenzia la criticità dell'anno 2020 rispetto agli anni 2019 e al 2018, che hanno presentato condizioni sicuramente più favorevoli alla dispersione degli inquinanti, e individua il 2017 come anno più prossimo con condizioni meteo diffusive confrontabili.

L'andamento mensile dell'indice evidenzia che i mesi gennaio e novembre presentano una criticità accentuata, i mesi di febbraio marzo e ottobre si attestano su valori medi mentre il solo mese di dicembre si colloca sui valori inferiori della distribuzione del periodo 2006-2019. Il semestre caldo non presenta criticità (FIGURA 121).

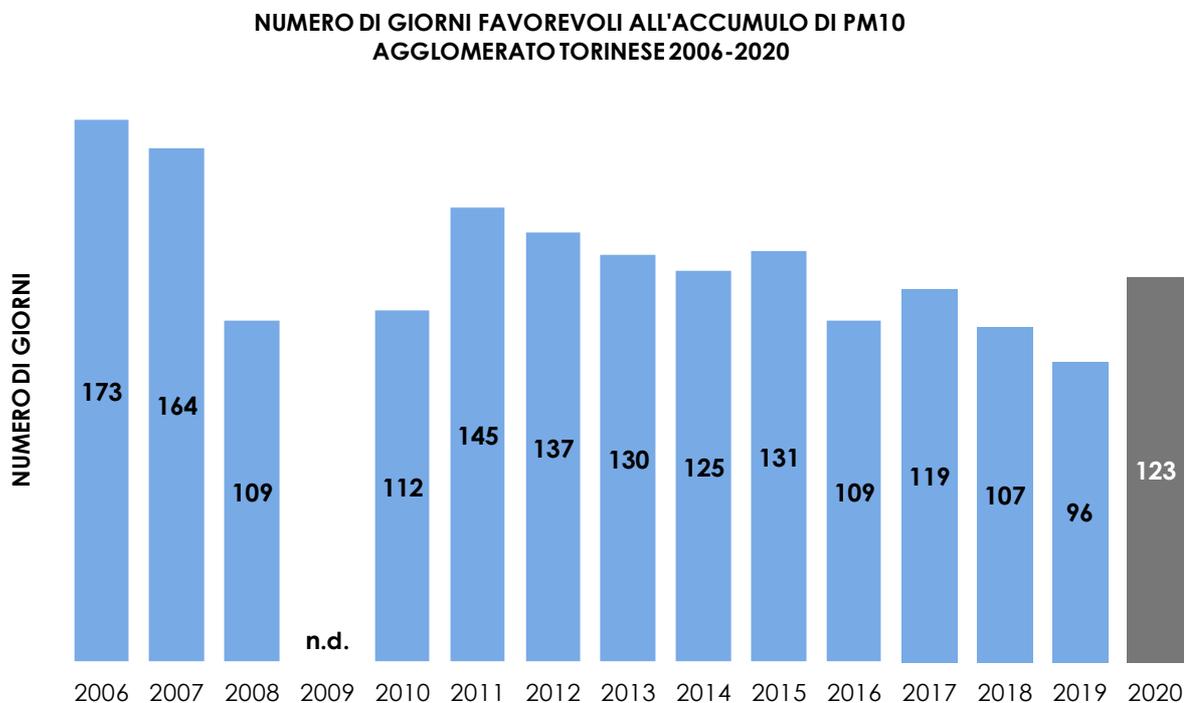


FIGURA 120: numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - confronto su base annuale tra gli anni 2006-2019 (in blu) e l'anno 2020 (in grigio).

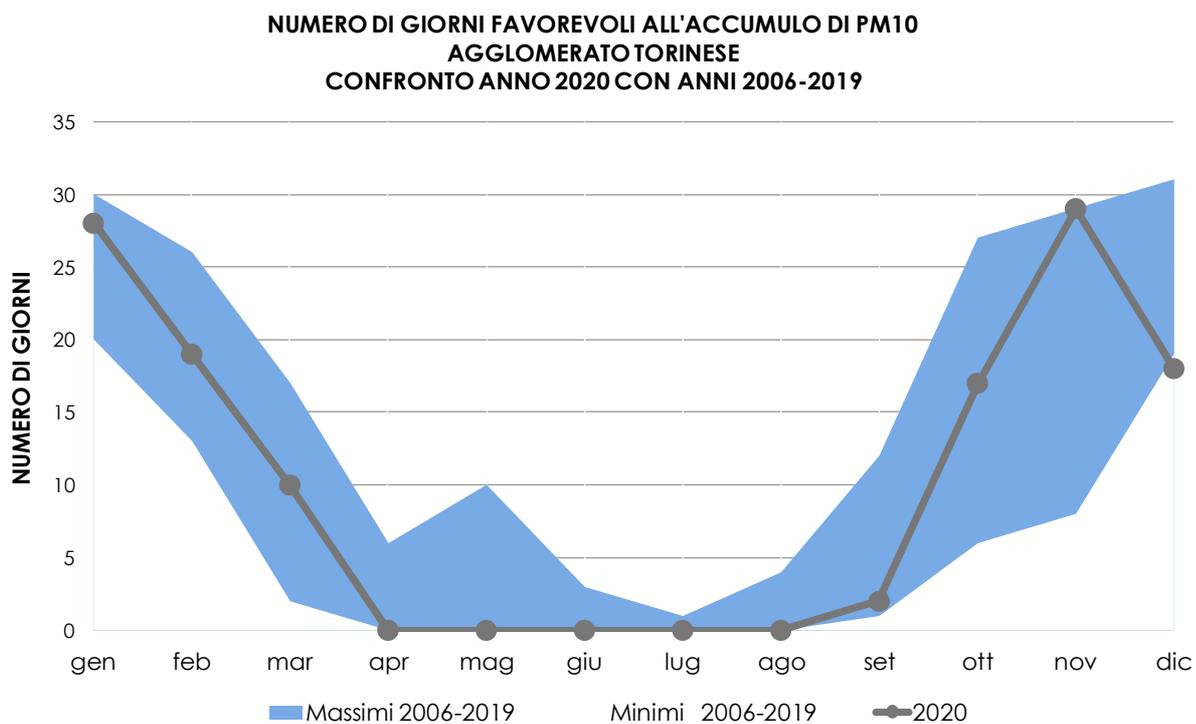


FIGURA 121: numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - confronto tra l'andamento mensile del 2019 (linea grigia) ed i valori massimi e minimi mensili del periodo 2006-2018 (banda blu).

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_x).

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

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

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

(*) Motori diesel a iniezione indiretta/iniezione diretta

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

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

La categoria Euro 6 è ulteriormente suddivisa in 4 fasce:

- Euro 6a – per veicoli immatricolati da gennaio 2016. Le emissioni di CO equivalgono a 0,5 g/km per i diesel e 1 g/km per i benzina, quelle di NO_x 0,080 g/km per i diesel e 0,060 per i benzina, quelle di particolato (PM) 0,005 g/km per entrambe.
- Euro 6b – si differenzia dalla Euro 6A solo per le emissioni di PM, ridotte a 0,0045 g/km per entrambe le motorizzazioni, diesel e benzina.
- Euro 6c – obbligatoria per le omologazioni da settembre 2017 prevede che le auto a benzina riducano il numero di particelle di PM emesse da 6×10^{12} particelle per km a 6×10^{11} particelle per km. La novità più importante, introdotta con questo standard, è l'adozione del nuovo ciclo di prova WLTP e della prova delle emissioni reali su strada (test RDE) solo con finalità di monitoraggio.
- Euro 6d-temp: per le omologazioni da settembre 2018, con la 6d-temp viene introdotta la misurazione reale delle emissioni su strada. In questa prova la differenza tra le emissioni misurate nel ciclo in laboratorio WLTP (limite per i NO_x 60 mg/km per i benzina e 80 mg/km per i diesel) e in quello su strada potrà arrivare massimo al 110% (limite per i NO_x 126 mg/km per i benzina e 168 mg/km per i diesel).
- Euro 6d: per le immatricolazioni da gennaio 2021, stabilisce che la differenza rilevata tra le emissioni WLTP e quelle misurate nella prova RDE non possa superare il 50% (limite per i NO_x 90 mg/km per i benzina e 120 mg/km per i diesel).

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

Ogni nuova Direttiva ha definito dei limiti inferiori mediamente di circa il 50% rispetto alla direttiva precedente e nell'arco di 22 anni – il tempo intercorso fa l'entrata in vigore della direttiva euro 1 (1993) e euro 6 (2015), - i limiti per le emissioni di particolato dai motori diesel sono diminuiti di 54 volte mentre quelli per il parametro HC+NO_x di 9 volte.

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

FIGURA 122 i limiti previsti per la somma di idrocarburi incombusti (HC) e ossidi di azoto (NO_x), che rappresentano una delle principali criticità in ambito urbano.

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

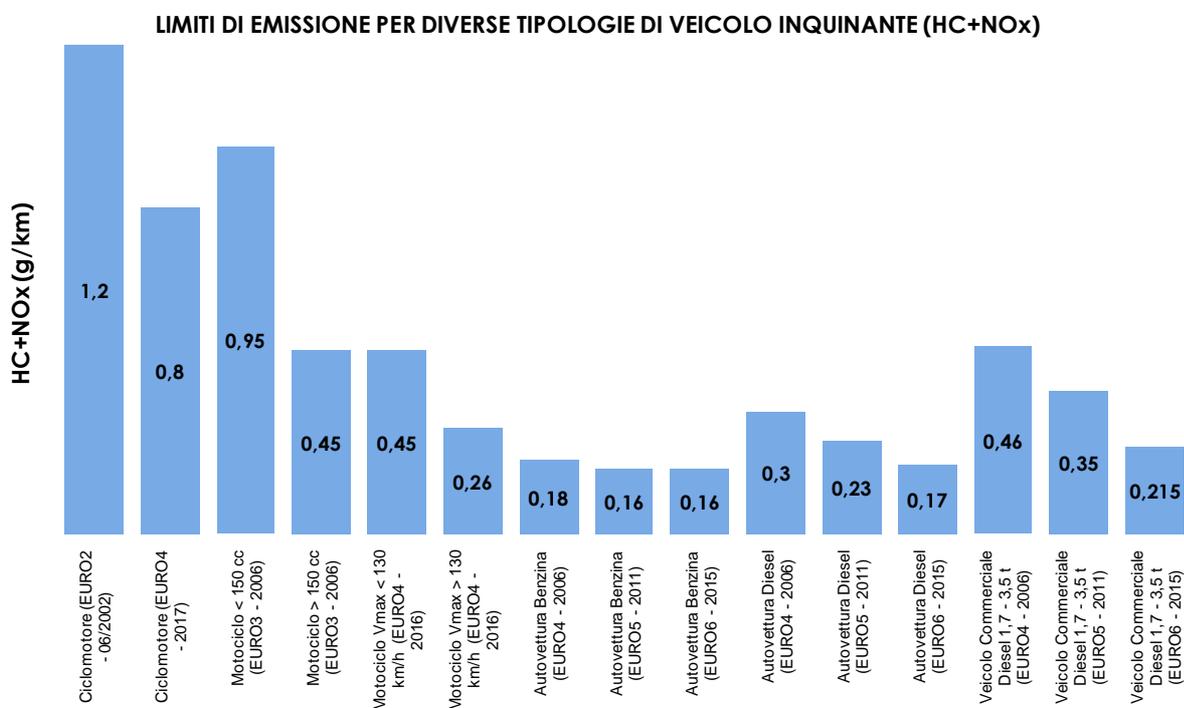


FIGURA 122: limiti di emissione definiti dalle normative più recenti per diverse tipologie di veicolo.

IL PARCO VEICOLARE NELLA CITTA' METROPOLITANA DI TORINO

Si riportano di seguito per il periodo 2016-2020 i dati forniti dal servizio tributi della Regione Piemonte, relativi alla composizione del parco veicolare immatricolato sul territorio della Città metropolitana di Torino. Dall'analisi dell'attuale composizione del parco veicolare e dalla sua evoluzione negli ultimi anni emergono alcune considerazioni:

- il numero di autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino è aumentato di 23.908 unità rispetto al 2019, quello dei veicoli commerciali leggeri è aumentato di 2.741 unità sempre rispetto al 2019;
- la somma degli autoveicoli Euro 5 ed Euro 6 rappresenta il 51,4% del totale, con un incremento del 4% 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), 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);
- i veicoli completamente elettrici immatricolati nella città metropolitana di Torino sono 2.970 nel 2020, erano 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 62.517 e rappresentano il 39,1% del totale di quelli immatricolati, erano 65.025 pari al 41,4% del totale nel 2019.

| | | 2016 | | | 2017 | | | 2018 | | | 2019 | | | 2020 | | |
|---------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Autoveicoli "pre-EURO" | numero | 71.675 | 55.622 | benzina | 70.320 | 54.811 | benzina | 69.161 | 54.115 | benzina | 67.858 | 53.434 | benzina | 67.000 | 52.870 | benzina |
| | | | 11.128 | gasolio | | 10.962 | gasolio | | 10.799 | gasolio | | 10.515 | gasolio | | 10.357 | gasolio |
| | | | 4.925 | GPL-CH4 | | 4.547 | GPL-CH4 | | 4.247 | GPL-CH4 | | 3.909 | GPL-CH4 | | 3.773 | GPL-CH4 |
| | % | 5,0 | 3,9 | benzina | 4,8 | 3,7 | benzina | 4,7 | 3,7 | benzina | 4,7 | 3,7 | benzina | 4,6 | 3,6 | benzina |
| | | | 0,8 | gasolio | | 0,7 | gasolio |
| | | | 0,3 | GPL-CH4 |
| Autoveicoli "EURO 1" | numero | 31.405 | 23.702 | benzina | 29.450 | 22.205 | benzina | 27.880 | 20.958 | benzina | 26.338 | 19.732 | benzina | 25.331 | 18.949 | benzina |
| | | | 4.992 | gasolio | | 4.846 | gasolio | | 4.718 | gasolio | | 4.596 | gasolio | | 4.516 | gasolio |
| | | | 2.711 | GPL-CH4 | | 2.399 | GPL-CH4 | | 2.204 | GPL-CH4 | | 2.010 | GPL-CH4 | | 1.866 | GPL-CH4 |
| | % | 2,2 | 1,7 | benzina | 2,0 | 1,5 | benzina | 1,9 | 1,4 | benzina | 1,8 | 1,4 | benzina | 1,7 | 1,3 | benzina |
| | | | 0,3 | gasolio |
| | | | 0,2 | GPL-CH4 | | 0,2 | GPL-CH4 | | 0,2 | GPL-CH4 | | 0,1 | GPL-CH4 | | 0,1 | GPL-CH4 |
| Autoveicoli "EURO 2" | numero | 146.482 | 107.854 | benzina | 132.554 | 97.578 | benzina | 120.351 | 88.749 | benzina | 109.501 | 80.712 | benzina | 101.386 | 74.523 | benzina |
| | | | 27.187 | gasolio | | 24.996 | gasolio | | 22.910 | gasolio | | 21.189 | gasolio | | 20.015 | gasolio |
| | | | 11.441 | GPL-CH4 | | 9.980 | GPL-CH4 | | 8.692 | GPL-CH4 | | 7.600 | GPL-CH4 | | 6.848 | GPL-CH4 |
| | % | 10,3 | 7,5 | benzina | 9,0 | 6,6 | benzina | 8,2 | 6,1 | benzina | 7,6 | 5,6 | benzina | 6,9 | 5,1 | benzina |
| | | | 1,9 | gasolio | | 1,7 | gasolio | | 1,6 | gasolio | | 1,5 | gasolio | | 1,4 | gasolio |
| | | | 0,8 | GPL-CH4 | | 0,7 | GPL-CH4 | | 0,6 | GPL-CH4 | | 0,5 | GPL-CH4 | | 0,5 | GPL-CH4 |
| Autoveicoli "EURO 3" | numero | 226.541 | 114.545 | benzina | 206.457 | 105.985 | benzina | 185.941 | 98.090 | benzina | 167.136 | 90.385 | benzina | 153.104 | 83.550 | benzina |
| | | | 101.557 | gasolio | | 90.872 | gasolio | | 78.983 | gasolio | | 68.681 | gasolio | | 62.214 | gasolio |
| | | | 10.439 | GPL-CH4 | | 9.600 | GPL-CH4 | | 8.868 | GPL-CH4 | | 8.070 | GPL-CH4 | | 7.340 | GPL-CH4 |
| | % | 15,9 | 8,0 | benzina | 14,1 | 7,2 | benzina | 12,7 | 6,7 | benzina | 11,6 | 6,3 | benzina | 10,5 | 5,7 | benzina |
| | | | 7,1 | gasolio | | 6,2 | gasolio | | 5,4 | gasolio | | 4,8 | gasolio | | 4,3 | gasolio |
| | | | 0,7 | GPL-CH4 | | 0,7 | GPL-CH4 | | 0,6 | GPL-CH4 | | 0,6 | GPL-CH4 | | 0,5 | GPL-CH4 |
| Autoveicoli "EURO 4" | numero | 465.412 | 196.552 | benzina | 441.797 | 188.634 | benzina | 415.358 | 181.586 | benzina | 386.644 | 174.051 | benzina | 364.769 | 167.512 | benzina |
| | | | 190.247 | gasolio | | 177.003 | gasolio | | 160.248 | gasolio | | 142.668 | gasolio | | 130.179 | gasolio |
| | | | 78.613 | GPL-CH4 | | 76.160 | GPL-CH4 | | 73.524 | GPL-CH4 | | 69.925 | GPL-CH4 | | 67.078 | GPL-CH4 |
| | % | 32,6 | 13,8 | benzina | 30,1 | 12,8 | benzina | 28,4 | 12,4 | benzina | 26,9 | 12,1 | benzina | 24,9 | 11,4 | benzina |
| | | | 13,3 | gasolio | | 12,1 | gasolio | | 11,0 | gasolio | | 9,9 | gasolio | | 8,9 | gasolio |
| | | | 5,5 | GPL-CH4 | | 5,2 | GPL-CH4 | | 5,0 | GPL-CH4 | | 4,9 | GPL-CH4 | | 4,6 | GPL-CH4 |
| Autoveicoli "EURO 5" | numero | 303.063 | 90.910 | benzina | 289.440 | 87.911 | benzina | 278.422 | 86.341 | benzina | 265.006 | 84.735 | benzina | 257.608 | 83.837 | benzina |
| | | | 165.410 | gasolio | | 155.670 | gasolio | | 146.861 | gasolio | | 136.017 | gasolio | | 130.057 | gasolio |
| | | | 46.743 | GPL-CH4 | | 45.859 | GPL-CH4 | | 45.220 | GPL-CH4 | | 44.254 | GPL-CH4 | | 43.714 | GPL-CH4 |
| | % | 21,2 | 6,4 | benzina | 19,7 | 6,0 | benzina | 19,0 | 5,9 | benzina | 18,4 | 5,9 | benzina | 17,6 | 5,7 | benzina |
| | | | 11,6 | gasolio | | 10,6 | gasolio | | 10,0 | gasolio | | 9,4 | gasolio | | 8,9 | gasolio |
| | | | 3,3 | GPL-CH4 | | 3,1 | GPL-CH4 | | 3,1 | GPL-CH4 | | 3,1 | GPL-CH4 | | 3,0 | GPL-CH4 |
| Autoveicoli "EURO 6" | numero | 183.992 | 80.309 | benzina | 298.929 | 116.529 | benzina | 364.660 | 137.784 | benzina | 417.240 | 180.571 | benzina | 494.433 | 226.233 | benzina |
| | | | 78.806 | gasolio | | 143.025 | gasolio | | 172.133 | gasolio | | 167.129 | gasolio | | 194.500 | gasolio |
| | | | 24.877 | GPL-CH4 | | 39.375 | GPL-CH4 | | 54.743 | GPL-CH4 | | 69.540 | GPL-CH4 | | 73.700 | GPL-CH4 |
| | % | 12,9 | 5,6 | benzina | 20,4 | 7,9 | benzina | 24,9 | 9,4 | benzina | 29,0 | 12,5 | benzina | 33,8 | 15,5 | benzina |
| | | | 5,5 | gasolio | | 9,7 | gasolio | | 11,8 | gasolio | | 11,6 | gasolio | | 13,3 | gasolio |
| | | | 1,7 | GPL-CH4 | | 2,7 | GPL-CH4 | | 3,7 | GPL-CH4 | | 4,8 | GPL-CH4 | | 5,0 | GPL-CH4 |

TABELLA 45: autoveicoli immatricolati nella città metropolitana di Torino dal 2016 al 2020, suddivisi per tipo di omologazione ambientale.

| | | 2016 | | | 2017 | | | 2018 | | | 2019 | | | 2020 | | |
|--------------------------------|--------|--------|--------|---------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|---------------------|--------|--------|---------------------|
| Autocarri <3,5 t "pre-EURO" | numero | 19.643 | 1.852 | benzina | 18.845 | 1.791 | benzina | 18.528 | 1.801 | benzina | 17.907 | 1.763 | benzina | 17.494 | 1.745 | benzina |
| | | | 17.548 | gasolio | | 16.761 | gasolio | | 16.432 | gasolio | | 15.903 | gasolio | | 15.545 | gasolio |
| | % | 12,0 | 243 | GPL-CH ₄ | 11,5 | 293 | GPL-CH ₄ | 11,5 | 295 | GPL-CH ₄ | 11,4 | 241 | GPL-CH ₄ | 10,9 | 204 | GPL-CH ₄ |
| | | | 1,1 | benzina |
| | | | 10,7 | gasolio | | 10,2 | gasolio | | 10,2 | gasolio | | 10,1 | gasolio | | 9,7 | gasolio |
| | | | 0,1 | GPL-CH ₄ | | 0,2 | GPL-CH ₄ | | 0,2 | GPL-CH ₄ | | 0,2 | GPL-CH ₄ | | 0,1 | GPL-CH ₄ |
| Autocarri <3,5 t "EURO 1" | numero | 8.479 | 1.237 | benzina | 7.920 | 1.183 | benzina | 7.651 | 1.162 | benzina | 7.419 | 1.138 | benzina | 7.182 | 1.109 | benzina |
| | | | 7.120 | gasolio | | 6.629 | gasolio | | 6.384 | gasolio | | 6.177 | gasolio | | 5.974 | gasolio |
| | % | 5,2 | 122 | GPL-CH ₄ | 4,8 | 108 | GPL-CH ₄ | 4,7 | 105 | GPL-CH ₄ | 4,7 | 104 | GPL-CH ₄ | 4,5 | 99 | GPL-CH ₄ |
| | | | 0,8 | benzina | | 0,7 | benzina |
| | | | 4,4 | gasolio | | 4,0 | gasolio | | 4,0 | gasolio | | 3,9 | gasolio | | 3,7 | gasolio |
| | | | 0,1 | GPL-CH ₄ |
| Autocarri <3,5 t "EURO 2" | numero | 20.570 | 1.808 | benzina | 18.792 | 1.586 | benzina | 17.999 | 1.512 | benzina | 17.111 | 1.450 | benzina | 16.368 | 1.383 | benzina |
| | | | 18.470 | gasolio | | 16.950 | gasolio | | 16.243 | gasolio | | 15.429 | gasolio | | 14.760 | gasolio |
| | % | 12,6 | 292 | GPL-CH ₄ | 11,5 | 256 | GPL-CH ₄ | 11,2 | 244 | GPL-CH ₄ | 10,9 | 232 | GPL-CH ₄ | 10,2 | 225 | GPL-CH ₄ |
| | | | 1,1 | benzina | | 1,0 | benzina | | 0,9 | benzina | | 0,9 | benzina | | 0,9 | benzina |
| | | | 11,3 | gasolio | | 10,3 | gasolio | | 10,1 | gasolio | | 9,8 | gasolio | | 9,2 | gasolio |
| | | | 0,2 | GPL-CH ₄ | | 0,2 | GPL-CH ₄ | | 0,2 | GPL-CH ₄ | | 0,1 | GPL-CH ₄ | | 0,1 | GPL-CH ₄ |
| Autocarri <3,5 t "EURO 3" | numero | 35.981 | 2.046 | benzina | 32.734 | 1.737 | benzina | 31.097 | 1.637 | benzina | 29.348 | 1.551 | benzina | 27.960 | 1.454 | benzina |
| | | | 33.555 | gasolio | | 30.681 | gasolio | | 29.161 | gasolio | | 27.516 | gasolio | | 26.238 | gasolio |
| | % | 22,0 | 380 | GPL-CH ₄ | 19,9 | 316 | GPL-CH ₄ | 19,3 | 299 | GPL-CH ₄ | 18,7 | 281 | GPL-CH ₄ | 17,5 | 268 | GPL-CH ₄ |
| | | | 1,3 | benzina | | 1,1 | benzina | | 1,0 | benzina | | 1,0 | benzina | | 0,9 | benzina |
| | | | 20,5 | gasolio | | 18,7 | gasolio | | 18,1 | gasolio | | 17,5 | gasolio | | 16,4 | gasolio |
| | | | 0,2 | GPL-CH ₄ |
| Autocarri <3,5 t "EURO 4" | numero | 42.297 | 1.261 | benzina | 38.524 | 1.153 | benzina | 37.001 | 1.110 | benzina | 35.105 | 1.083 | benzina | 33.675 | 1.050 | benzina |
| | | | 38.907 | gasolio | | 35.480 | gasolio | | 34.057 | gasolio | | 32.324 | gasolio | | 31.015 | gasolio |
| | % | 25,9 | 2.129 | GPL-CH ₄ | 23,5 | 1.891 | GPL-CH ₄ | 22,9 | 1.834 | GPL-CH ₄ | 22,3 | 1.698 | GPL-CH ₄ | 21,1 | 1.610 | GPL-CH ₄ |
| | | | 0,8 | benzina | | 0,7 | benzina |
| | | | 23,8 | gasolio | | 21,6 | gasolio | | 21,1 | gasolio | | 20,6 | gasolio | | 19,4 | gasolio |
| | | | 1,3 | GPL-CH ₄ | | 1,2 | GPL-CH ₄ | | 1,1 | GPL-CH ₄ | | 1,1 | GPL-CH ₄ | | 1,0 | GPL-CH ₄ |
| Autocarri <3,5 t "EURO 5" | numero | 34.200 | 331 | benzina | 34.311 | 385 | benzina | 31.629 | 400 | benzina | 27.887 | 387 | benzina | 26.337 | 373 | benzina |
| | | | 30.614 | gasolio | | 31.494 | gasolio | | 29.164 | gasolio | | 25.824 | gasolio | | 24.312 | gasolio |
| | % | 20,9 | 3.255 | GPL-CH ₄ | 20,9 | 2.432 | GPL-CH ₄ | 19,6 | 2.065 | GPL-CH ₄ | 17,7 | 1.676 | GPL-CH ₄ | 16,5 | 1.652 | GPL-CH ₄ |
| | | | 0,2 | benzina |
| | | | 18,7 | gasolio | | 19,2 | gasolio | | 18,1 | gasolio | | 16,4 | gasolio | | 15,2 | gasolio |
| | | | 2,0 | GPL-CH ₄ | | 1,5 | GPL-CH ₄ | | 1,3 | GPL-CH ₄ | | 1,1 | GPL-CH ₄ | | 1,0 | GPL-CH ₄ |
| Autocarri <3,5 t "EURO 6" | numero | 2.168 | 95 | benzina | 12.965 | 341 | benzina | 17.414 | 516 | benzina | 22.405 | 806 | benzina | 30.907 | 1.137 | benzina |
| | | | 360 | gasolio | | 8.961 | gasolio | | 12.536 | gasolio | | 17.083 | gasolio | | 26.575 | gasolio |
| | % | 1,3 | 1.713 | GPL-CH ₄ | 7,9 | 3.663 | GPL-CH ₄ | 10,8 | 4.362 | GPL-CH ₄ | 14,3 | 4.516 | GPL-CH ₄ | 19,3 | 3.195 | GPL-CH ₄ |
| | | | 0,1 | benzina | | 0,2 | benzina | | 0,3 | benzina | | 0,5 | benzina | | 0,7 | benzina |
| | | | 0,2 | gasolio | | 5,5 | gasolio | | 7,8 | gasolio | | 10,9 | gasolio | | 16,6 | gasolio |
| | | | 1,0 | GPL-CH ₄ | | 2,2 | GPL-CH ₄ | | 2,7 | GPL-CH ₄ | | 2,9 | GPL-CH ₄ | | 2,0 | GPL-CH ₄ |

TABELLA 46: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati nella città metropolitana di Torino dal 2016 al 2020, suddivisi per tipo di omologazione ambientale.

**Autoveicoli immatricolati nella città metropolitana di Torino (2007-2020)
Suddivisione per omologazione ambientale
Banca dati Regione Piemonte**

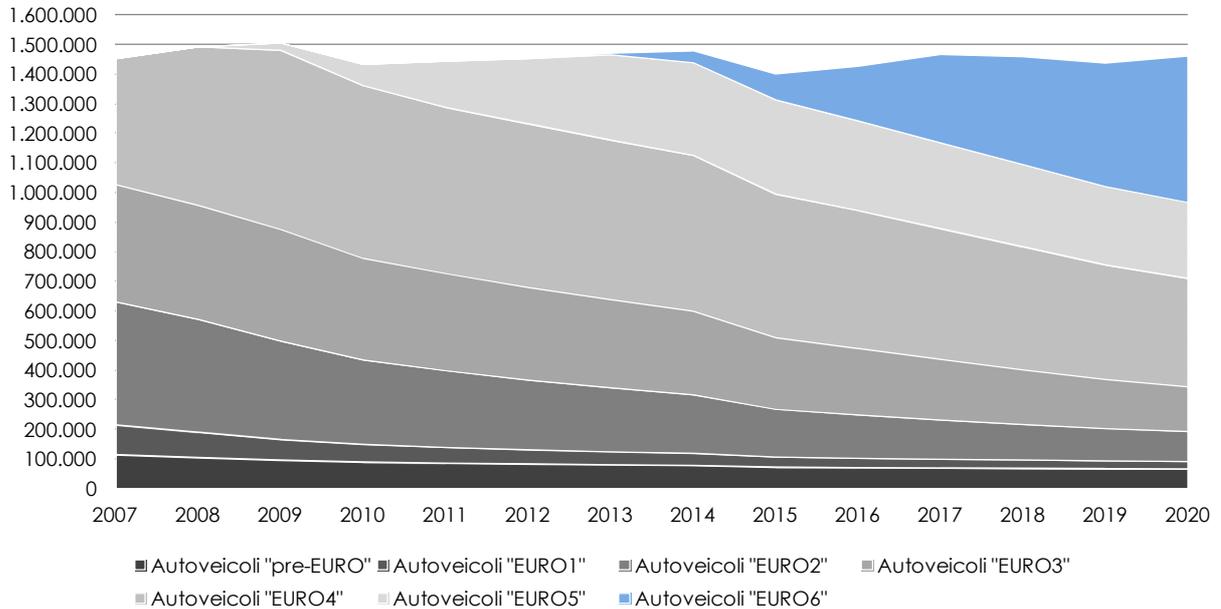


FIGURA 123: autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2020, suddivisi per tipo di omologazione ambientale (Banca Dati di Regione Piemonte).

**Autocarri (<3,5t) immatricolati nella Città Metropolitana di Torino (2007-2020)
Suddivisione per omologazione ambientale
Banca Dati Regione Piemonte**

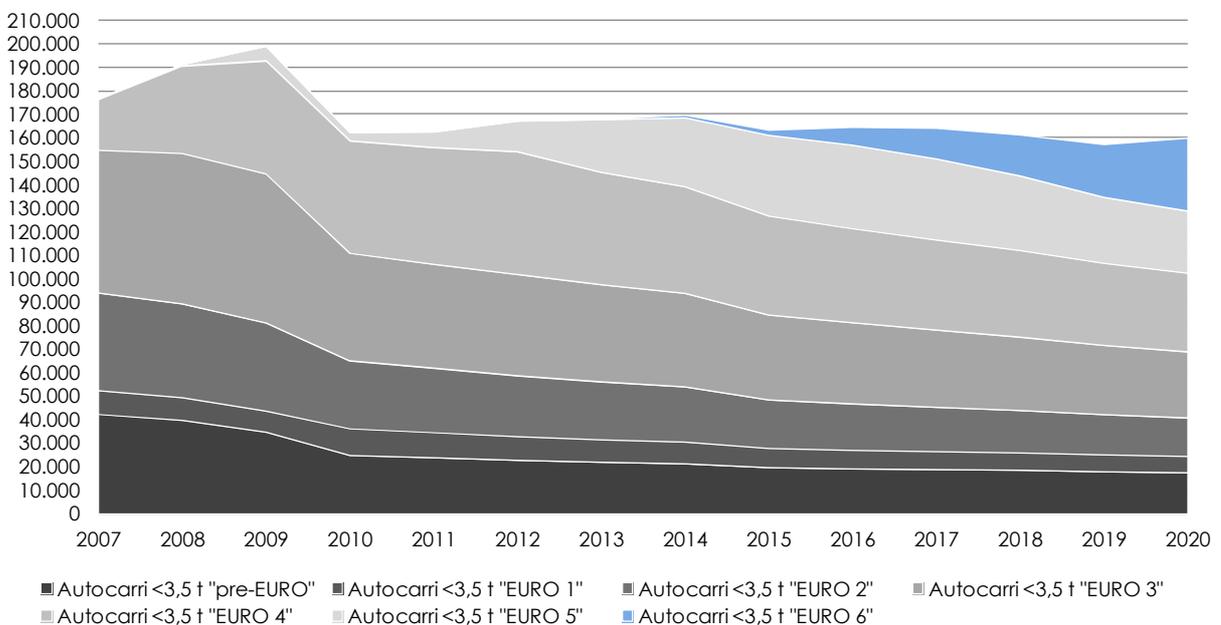


FIGURA 124: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2020, suddivisi per tipo di omologazione ambientale (Banca Dati di Regione Piemonte).

Autoveicoli immatricolati nella Città Metropolitana di Torino (2007-2020)
Suddivisione per alimentazione
Banca Dati Regione Piemonte

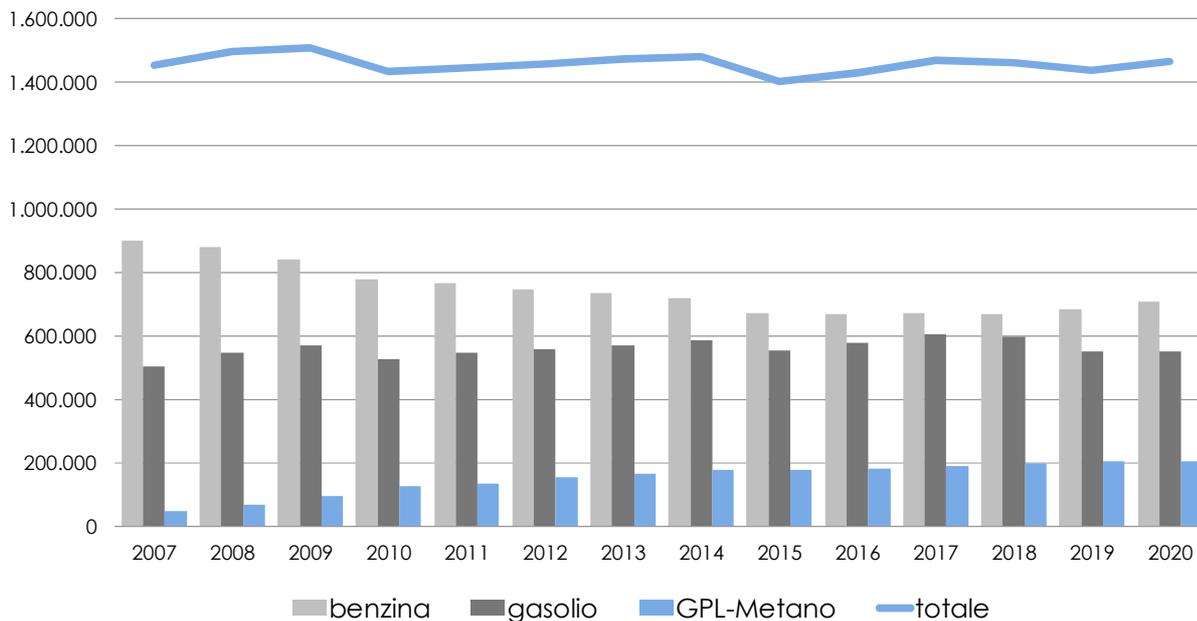


FIGURA 125: autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2019, suddivisi per tipo di alimentazione (Banca Dati di Regione Piemonte).

Autocarri (<3,5t) immatricolati nella Città Metropolitana di Torino (2007-2020)
Suddivisione per alimentazione
Banca Dati Regione Piemonte

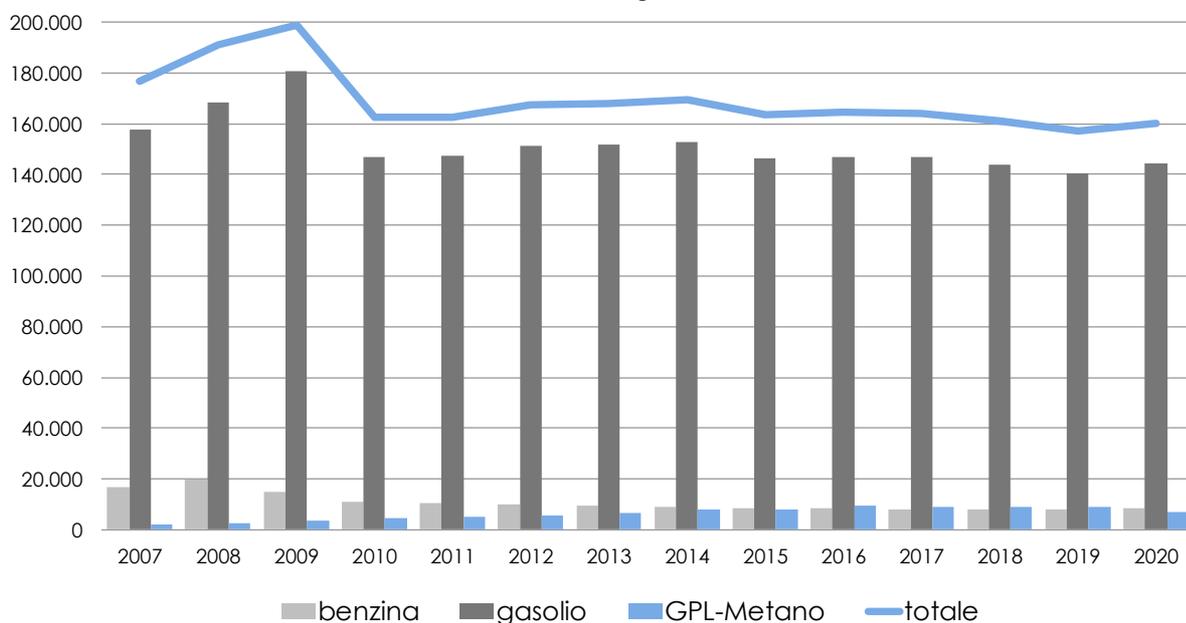


FIGURA 126: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2020, suddivisi per tipo di alimentazione (Banca Dati di Regione Piemonte).

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 2020-2021

Nell'inverno 2020-2021 la Regione Piemonte ha adottato un protocollo atto a mettere in campo una serie di misure, sia strutturali che temporanee/emergenziali, volte a contrastare le perduranti situazioni di inquinamento atmosferico che interessano la nostra regione.

Il protocollo antismog legato alle misure temporanee ed emergenziali è stato attivo dal 01/10/2020 al 15/04/2021, con due differenti criteri e meccanismi di applicazione.

Dal 01/10/2020 al 28/02/2021 è stato attivo il pacchetto di misure antismog previste dall'Accordo per la qualità dell'aria nel bacino padano secondo le modalità già in vigore negli ultimi inverni, adottato con Deliberazione della Giunta Regionale n. 14-1996 del 25 settembre 2020 e che nel territorio della città metropolitana di Torino ha interessato i comuni⁵⁰ di Beinasco, Borgaro Torinese, Cambiano, Carmagnola, Caselle Torinese, Chieri, Chivasso, Collegno, Grugliasco, Ivrea, La Loggia, Leinì, Mappano, Moncalieri, Nichelino, Orbassano, Pianezza, Rivalta di Torino, Rivoli, San Mauro Torinese, Santena, Settimo Torinese, Torino, Trofarello, Venaria Reale, Vinovo, Volpiano (FIGURA 127 a destra).

I livelli di allerta del semaforo antismog erano i seguenti:

- livello arancione, attivato dopo 4 giorni misurati di superamento consecutivi della soglia del limite giornaliero di 50 µg/m³ della concentrazione di PM10;
- livello rosso, attivato dopo 10 giorni misurati di superamento consecutivi della soglia del limite di 50 µg/m³ della concentrazione di PM10
- livello viola, attivato dopo 10 giorni misurati di superamento consecutivi della soglia del limite di 50 µg/m³ della concentrazione di PM10

Il rientro da una situazione di allerta avviene o dopo due giorni consecutivi misurati al di sotto dei 50 µg/m³, oppure dopo un giorno misurato al di sotto di 50 µg/m³ ma con previsioni meteorologiche e di qualità dell'aria favorevoli alla dispersione degli inquinanti.

Dal 01/03/2021 al 15/04/2021 è stato attivato un 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 127 a sinistra) 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): Agglomerato di Torino (codice zona IT0118), Pianura (codice zona IT0119) e Collina (codice zona IT0120). Per il settore trasporti le limitazioni si applicano in città metropolitana di Torino ai comuni⁵¹ di Alpignano, Avigliana, Baldissero Torinese, Beinasco, Borgaro Torinese, Cambiano, Candiolo, Carignano, Carmagnola, Caselle Torinese, Chieri, Chivasso, Ciriè, Collegno, Druento, Giaveno, Grugliasco, Ivrea, La Loggia, Leinì, 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.

⁵⁰ comuni facenti parti dell'Agglomerato Torinese (zona IT0118) e nelle aree urbane dei comuni con popolazione superiore a 20.000 abitanti nei quali è stato superato uno o più dei valori limite del PM10 o del biossido di azoto (NO₂) per almeno 3 anni anche non consecutivi, nell'arco degli ultimi cinque anni

⁵¹ comuni localizzati nella zona Agglomerato di Torino e ai comuni con popolazione superiore a 10.000 abitanti localizzati nelle zone Pianure e Collina

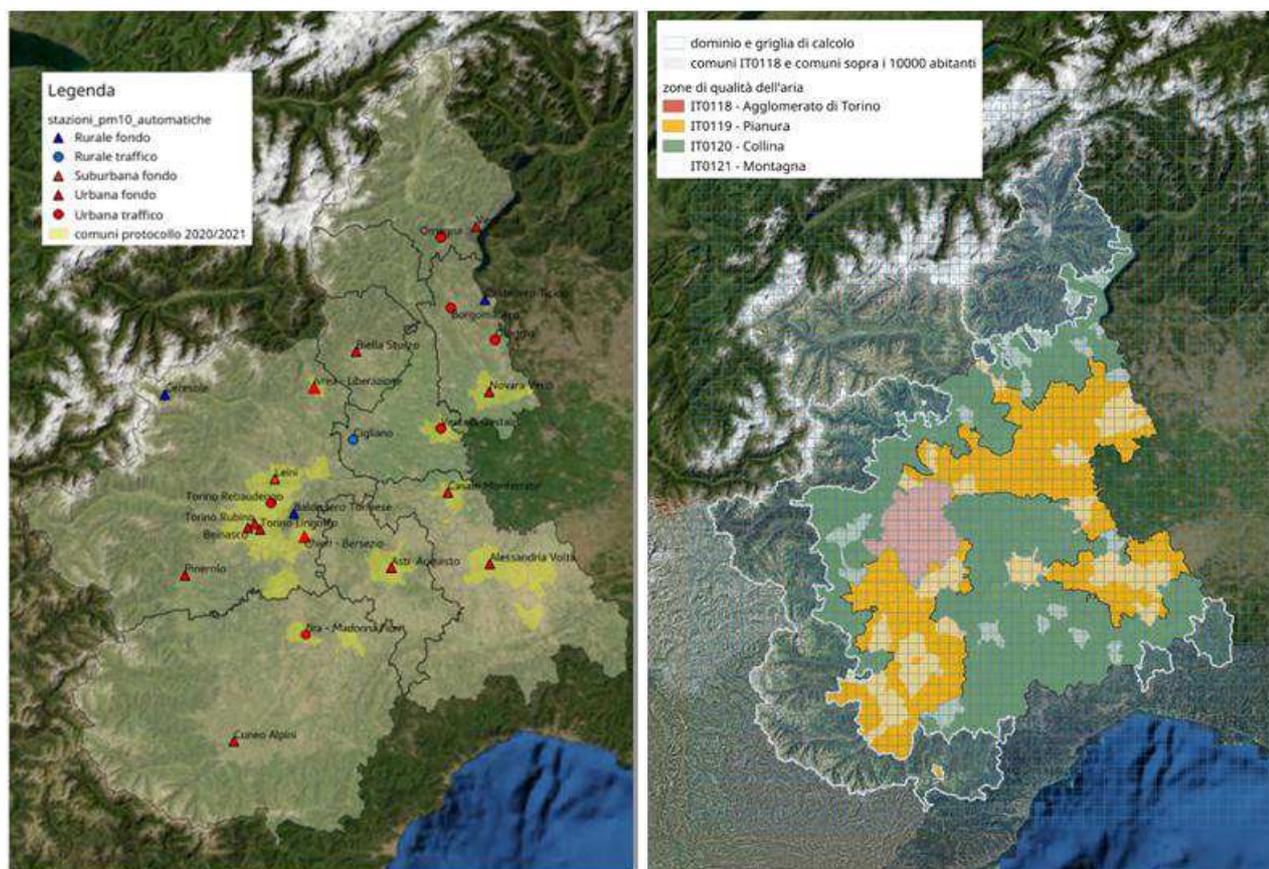


FIGURA 127: Comuni interessati dall'applicazione del semaforo antismog dal 01 ottobre 2020 al 28 febbraio 2021 ed indicazione delle stazioni di monitoraggio utilizzate (figura a sinistra) e zone interessate dall'applicazione del semaforo antismog dal 01 marzo al 15 aprile 2021, con indicazione dei comuni interessati dalle misure di limitazione sul settore trasporti (figura a destra).

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 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 1 ottobre 2020 – 15 aprile 2021, per un totale di complessivo di 197 giorni, di cui 151 con il protocollo di cui alla D.G.R n. 14-1996 del 25 settembre 2020 (nel seguito precedente protocollo) e 46 con il protocollo di cui alla D.G.R n. 9-2916 del 26 febbraio 2021 (nel seguito nuovo protocollo). La tabella sottostante riassume quello che è successo nell'inverno appena trascorso. Per i comuni interessati dal vecchio protocollo, la tabella tiene conto del totale complessivo, per i comuni delle zone Agglomerato di Torino, Pianura e Collina non inclusi nel vecchio protocollo la tabella fa riferimento al solo periodo 01 marzo-15 aprile 2021 (TABELLA 47).

| Comune/Area | LIVELLO 0 | | LIVELLO 1 | | LIVELLO 2 | |
|---|-----------|------|-----------|------|-----------|---|
| | n° giorni | % | n° giorni | % | n° giorni | % |
| Dal 01 ottobre al 15 aprile 2021 (197 giorni) | | | | | | |
| Torino, Beinasco, Borgaro T.se, Collegno, Grugliasco, Moncalieri, Nichelino, Orbassano, Rivoli, San Mauro T.Se, Settimo T.se, Venaria Reale | 172 | 87,3 | 25 | 12,7 | 0 | 0 |
| Caselle T.se, Druento, Leini, Mappano, Pianezza, Volpiano | 172 | 87,3 | 25 | 12,7 | 0 | 0 |
| Chivasso | 172 | 87,3 | 25 | 12,7 | 0 | 0 |
| Cambiano, La Loggia, Rivalta di Torino, Santena, Trofarello, Vinovo | 178 | 90,4 | 19 | 9,6 | 0 | 0 |
| Carmagnola | 178 | 90,4 | 19 | 9,6 | 0 | 0 |
| Chieri | 172 | 87,3 | 25 | 12,7 | 0 | 0 |
| Ivrea | 184 | 93,4 | 13 | 6,6 | 0 | 0 |
| Dal 01 marzo 2021 al 15 aprile 2021 (46 giorni) | | | | | | |
| IT0118 Agglomerato di Torino (esclusi i precedenti) | 41 | 89,1 | 5 | 10,9 | 0 | 0 |
| IT0119 Pianura (esclusi i precedenti) | 41 | 89,1 | 5 | 10,9 | 0 | 0 |
| IT0120 Collina (esclusi i precedenti) | 43 | 93,5 | 3 | 6,5 | 0 | 0 |

TABELLA 47: tabella riassuntiva sui risultati dell'applicazione del protocollo antismog per l'inverno 2020/2021, dal 01 ottobre 2020 al 15 aprile 2021.

Nel corso dell'inverno 2020/2021 non è mai stato attivato il livello rosso del protocollo in nessuna area interessata, neanche su Torino o sugli altri comuni dell'area metropolitana torinese. Questa situazione non si era mai verificata da quando è operativo il protocollo antismog (inverno 2016/2017, dal 2017/2018 con le modalità attuali); per la città di Torino, l'area a maggiore criticità, negli anni precedenti sono stati registrati 12 giorni in livello rosso nell'inverno 2019/2020 (di cui 4 in livello viola, specifico per la Città Metropolitana di Torino), 7 giorni nell'inverno 2018/2019, 11 giorni nell'inverno 2017/2018.

COSA CAMBIA DAL 15 SETTEMBRE 2021

Dal 15 settembre 2021 sono operative le nuove disposizioni regionali per il miglioramento della qualità dell'aria. Si tratta di misure di limitazione che intervengono sulle principali fonti responsabili delle emissioni di PM10 e ossidi di azoto: il traffico, l'agricoltura e il riscaldamento.

Alcune misure sono strutturali e sono sempre in vigore nel corso dell'anno o nel periodo invernale dal 15 settembre al 15 aprile. Altre hanno un carattere temporaneo e si attivano, sempre nel periodo invernale dal 15 settembre al 15 aprile, con l'accensione del semaforo antismog per prevenire e contenere i superamenti del valore limite giornaliero di PM10.

Lo schema riassuntivo dei provvedimenti attivi nell'inverno 2021-2022 è riportato in FIGURA 128

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. 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 dall'aperto e alle pratiche agricole.

La Città metropolitana di Torino ha attivato una pagina web informativa

<http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/ambiente/qualita-aria/blocchi-traffico>

dove sono disponibile 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;

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

FIGURA 128: schema riassuntivo delle limitazioni 2021-2022.



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



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