

# Uno sguardo all'aria

2016





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

Anno 2016

**Testi ed elaborazioni a cura di:**

**Città metropolitana di Torino – Area Risorse Idriche e Qualità dell’Aria - Servizio Qualità dell’Aria e Risorse Energetiche:**

P. Molina, A. Bertello, A. Falzone, F. Fracassi, A. Audino.

**ARPA Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest**

C. Bussi, F. Lollobrigida, A. Bruno, D. Marangon, L. Milizia , F. Romeo, M. Sacco.

**ARPA Dipartimento Sistemi Previsionali:**

M. Nicolella, G. Paesano, S. Bande.

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

**ARPA Dipartimento territoriale Piemonte Nord-Ovest**

F. Pitasi, E. Calderaro, G. Gallina, P. Rosina, M. Fenoglietto, I. Coretti, M. Carrera, L. Corino, A. D’Agostino, P. Giansanti, M. Leogrande, C. Montalcino, M. Maringo, M. Nurra, G. Prano, V. Sciortino, R. Sergi, D. Simondi, C. Strumia, E. Vicenzino, V. Zulian, S. Cerrato, C. Duretti.

**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, “Sekhmet in arrivo a Torino” 2016

# INDICE

SOMMARIO .....	6
LA RETE DI MONITORAGGIO OPERANTE SUL TERRITORIO DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO.....	7
MONOSSIDO DI CARBONIO.....	10
DESCRIZIONE .....	10
ESAME DEI DATI .....	10
BIOSSIDO D'AZOTO.....	12
DESCRIZIONE .....	12
ESAME DEI DATI .....	12
LA SITUAZIONE IN ALTRE CITTA' EUROPEE.....	16
BIOSSIDO DI ZOLFO .....	23
DESCRIZIONE .....	23
ESAME DEI DATI .....	23
OZONO .....	26
DESCRIZIONE .....	26
ESAME DEI DATI .....	27
BENZENE .....	33
DESCRIZIONE .....	33
ESAME DEI DATI .....	33
PARTICOLATO SOSPESO .....	35
DESCRIZIONE .....	35
ESAME DEI DATI .....	35
L'ANDAMENTO ORARIO DEL PARTICOLATO IN DUE SITI URBANI DI TRAFFICO E DI BACKGROUND. ....	40
PARTICELLE SOSPENSE TOTALI.....	45
MUTAGENICITÀ DEL PM2,5 .....	47
DESCRIZIONE .....	47
ESAME DEI DATI .....	47
CONSIDERAZIONI FINALI.....	50
STUDIO DELLA CONCENTRAZIONE NUMERICA DI PARTICELLE ULTRAFINI NELL'AREA METROPOLITANA TORINESE – RISULTATI ANNO 2016 ED ANALISI DELLA SERIE STORICA.....	51
INTRODUZIONE .....	51
ESAME DEI DATI RELATIVI ALL'ANNO 2016.....	51
ANALISI DELLA SERIE STORICA .....	57
CONCLUSIONI.....	59
METALLI .....	60
DESCRIZIONE .....	60
ESAME DEI DATI .....	61
IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI.....	65
DESCRIZIONE .....	65
ESAME DEI DATI .....	65
CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'ANNO 2016 .....	69
IL CLIMA DEL 2016 .....	69
I DATI METEO MISURATI NEL 2016.....	81
L'INDICE "NUMERO DI GIORNI FAVOREVOLI ALL'ACCUMULO DI PM10" .....	86
DEFINIZIONE DELL'INDICE.....	86
APPLICAZIONE ALL'ANNO 2016.....	89
EMISSIONI INQUINANTI DEI VEICOLI A MOTORE .....	91
I LIMITI DI EMISSIONE DEI VEICOLI A MOTORE .....	91
IL PARCO VEICOLARE NELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO .....	92

## SOMMARIO

I dati rilevati dalle stazioni di rilevamento operanti nella città metropolitana di Torino e gestite da ARPA Piemonte evidenziano, al netto della variabilità meteorologica annuale, la nota criticità del territorio, in particolare dell'area urbana torinese, a rispettare i valori limite e obiettivo per la protezione della salute umana.

Nel 2016, dei 12 inquinanti per i quali sono stabiliti valori di riferimento, 7 - monossido di carbonio (CO), biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), benzene e metalli (Pb, As, Cd, Ni) - rispettano ampiamente i rispettivi valori limite e obiettivo su tutto il territorio metropolitano.

Il PM10 ha superato il valore limite annuale in una sola stazione di misura (To-Grassi). Il limite giornaliero è invece superato nel 65% dei siti di misura, solo nelle zone rurali e nei contesti vallivi si osserva il rispetto di tale valore. Il valore limite annuale di 25 µg/m<sup>3</sup> stabilito per il PM2,5 è rispettato ovunque con l'eccezione della stazione di To-Rebaudengo e Settimo T.se. La situazione delle polveri rispetto al 2015 è migliorata e si conferma, anche sulle serie storiche di lungo periodo, la progressiva diminuzione di questo inquinante.

Il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) supera il valore limite annuale nel 21% delle stazioni in cui è misurato, in particolare in quelle operanti nell'area urbana torinese; il limite orario è rispettato ovunque tranne che nella stazione da traffico di To-Rebaudengo.

Il benzo(a)pirene presenta superamenti del valore obiettivo nel 14% dei siti di misura. I valori più elevati si rilevano nei siti da traffico dell'area urbana torinese.

L'ozono (O<sub>3</sub>) conferma la sua criticità nei mesi estivi su tutto il territorio metropolitano. Il valore obiettivo per la protezione della salute è stato superato in tutti punti di misura tranne che a Susa.

I dati rilevati nel 2016 continuano a mostrare la difficoltà del nostro territorio a rispettare i valori limite e valori obiettivo per 5 degli 11 inquinanti normati. Se per le polveri PM10 e PM2,5 si è osservata una discreta riduzione, sicuramente sostenuta dalle condizioni meteorologiche particolarmente favorevoli alla dispersione nei primi mesi del 2016, per il biossido d'azoto la riduzione è meno marcata e per l'ozono i livelli di concentrazione restano di fatto immutati.

Analogamente alle polveri, i dati di Benzo(a)Pirene raccolti nel corso del 2016 mostrano, nella maggior parte dei casi, un decremento rispetto al 2015. Le stazioni di Settimo T.se e To-Rebaudengo sono quelle caratterizzate dai valori di B(a)P più elevati con superamento del valore obiettivo (1 ng/m<sup>3</sup>). Susa e Ivrea si confermano le stazioni con percentuali maggiori di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) nelle polveri, probabilmente a causa dell'utilizzo sistematico di biomasse legnose come combustibile in tali aree.

## LA RETE DI MONITORAGGIO OPERANTE SUL TERRITORIO DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO

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

*F. Romeo, F.Lollobrigida (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 dei parametri chimici di qualità dell'aria. Tutte le postazioni fisse sono collegate attraverso linee telefoniche al centro di acquisizione dati e trasmettono con cadenza oraria i risultati delle misure effettuate, permettendo 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 ( $\beta$ )" in relazione al metodo di misura utilizzato.

Ciò sta a indicare che la misura è effettuata tramite un analizzatore automatico, per cui il dato di concentrazione media di PM10 o PM2,5 riferita a un determinato giorno dell'anno è disponibile nella giornata immediatamente successiva; con questo tipo di analizzatori non è però possibile determinare quei componenti del particolato, in particolare idrocarburi policiclici aromatici e 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 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 1) è un fattore fondamentale per effettuare un efficace monitoraggio della qualità dell'aria. I luoghi prescelti devono essere rappresentativi della tipologia di sito individuato. Una corretta collocazione dei punti di misura permette così di ottenere indicazioni estremamente rappresentative sulla qualità dell'aria. Un aumento dei punti di monitoraggio porterebbe quasi sicuramente all'effettuazione di misure ridondanti e, visti gli elevatissimi costi di acquisto e di gestione delle reti di monitoraggio, comporterebbe una spesa difficilmente sostenibile dalle amministrazioni pubbliche e sicuramente non giustificata in relazione ai risultati ottenuti.

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

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

- <http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/ambiente/qualita-aria/rete-monitoraggio/relazioni-campagne-rilevamento>
- <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/territorio/torino/aria/relazioni-mezzo-mobile/elenco-relazioni-qualita-aria>



STAZIONE	INDIRIZZO	PARAMETRI	TIPOLOGIA
Baldissero (GDF)(1)	Str. Pino Torinese, 1 – Baldissero	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , CO, PM10 <sub>β</sub> , Deposimetro IPA	Fondo-rurale
Beinasco (TRM) (1)	Via San Giacomo c/o giardino pubblico Aldo Mei - Beinasco	NO <sub>x</sub> , PM10, PM10 <sub>β</sub> , PM2,5 <sub>β</sub> , BTX, Campionatore PCDD/DF, Deposimetro Metalli/IPA, Deposimetro Hg, Deposimetro PCDD/DF, Misuratore mercurio gassoso	Fondo-suburbano
Borgaro	Via Italia, sn – Borgaro	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10, PM2,5, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX	Fondo-suburbano
Carmagnola	P.zza I Maggio sn – Carmagnola	NO <sub>x</sub> , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Traffico-urbano
Ceresole Reale	c/o cent. Idroelettrica - Ceresole	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10 <sub>β</sub> , PM2,5 <sub>β</sub> , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Fondo-rurale
Chieri	Via Bersezio sn – Chieri	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM2,5	Fondo-suburbano
Collegno	C.so Francia, 137 - Collegno	NO <sub>x</sub> , PM10	Traffico-urbano
Druento	Cascina Peppinella – Druento	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Fondo rurale
Ivrea	Viale della Liberazione, 1 – Ivrea	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10, PM2,5, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Fondo-suburbano
Leini (GDF) (1)	Via vittime di Bologna, 12 - Leini	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , CO, PM10 <sub>β</sub> , PM2,5 <sub>β</sub>	Fondo-suburbano
Mezzo Mobile		NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , PM10, PM2,5, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX	
Orbassano	Via Gozzano sn – Orbassano	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub>	Fondo-suburbano
Oulx	Via Roma sn – Oulx	NO <sub>x</sub> , CO, PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Traffico-suburbano
Pinerolo	P.zza III Alpini, 1 – Pinerolo	PM10 <sub>β</sub>	Fondo-urbano
Settimo T.se	Via Milano, 31 – Settimo	NO <sub>x</sub> , PM10, PM2,5, BTX, B(a)P	Traffico-urbano
Susa	P.zza della Repubblica – Susa	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Fondo-suburbano
To-Consolata	Via Consolata, 10 – Torino	NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, PTS	Traffico-urbano
To-Grassi	Via P. Veronese, 305 – Torino	PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P	Traffico-urbano
To-Lingotto	Via A. Monti, 21 – Torino	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10-PM10 <sub>β</sub> , PM2,5, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX	Fondo-urbano
To-Rebaudengo	P.zza Rebaudengo, 23 - Torino	NO <sub>x</sub> , CO, SO <sub>2</sub> , (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, PM10 <sub>β</sub> , PM2,5 <sub>β</sub>	Traffico-urbano
To-Rubino	Via Rubino sn - Torino	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , PM10, (As-Cd-Ni-Pb), B(a)P, BTX, PM10 <sub>β</sub> orario, PM2,5 <sub>β</sub> orario	Fondo-urbano
Vinovo	Via Garibaldi, 3 – Vinovo	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub> , 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
BTX	Benzene, toluene, xilene
CO	Monossido di carbonio
NO <sub>x</sub>	Ossidi di azoto
O <sub>3</sub>	Ozono
PM10	Particolato sospeso < 10 µm
PM10 <sub>β</sub>	Particolato sospeso < 10 µm metodo automatico a radiazione β
PM2,5	Particolato sospeso < 2,5 µm
PM2,5 <sub>β</sub>	Particolato sospeso < 2,5 µm metodo automatico a radiazione β
PTS	Polveri totali sospese
SO <sub>2</sub>	Biossido di zolfo

TABELLA 2: descrizione dei codici dei parametri.



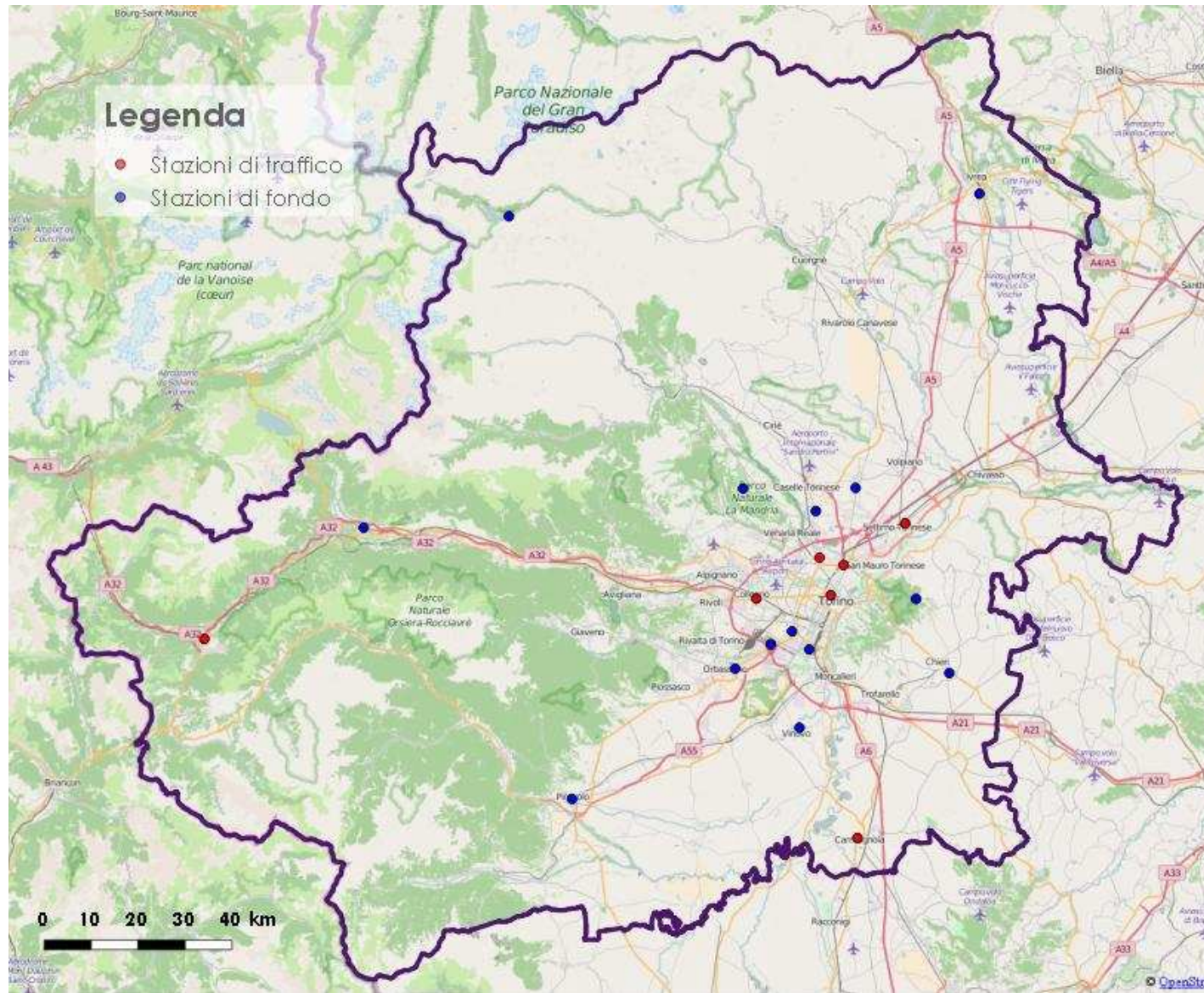


FIGURA 1: disposizione delle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria.

## MONOSSIDO DI CARBONIO

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

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

### DESCRIZIONE

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

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

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

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

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

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

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

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

VALORE LIMITE <sup>1</sup>		
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 <sup>3</sup>	1 gennaio 2005

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

### ESAME DEI DATI

I dati relativi al 2016 evidenziano concentrazioni medie annuali comprese fra 0,5 e 1,5 mg/m<sup>3</sup>.

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

A partire dai primi anni '80 fino al 2006 le misurazioni di CO riportano concentrazioni medie nella stazione di To-Rebaudengo, che rappresenta un hot spot di traffico, in nettissimo calo (FIGURA 2). 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 di monitoraggio (TABELLA 4) le concentrazioni medie annuali misurate nella stazione di To-Rebaudengo sono sostanzialmente stabili e oscillano fra valori compresi tra 1,1 e 1,6 mg/m<sup>3</sup>. Non si sono registrati negli ultimi 10 anni superamenti del valore limite per la protezione della salute umana.

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

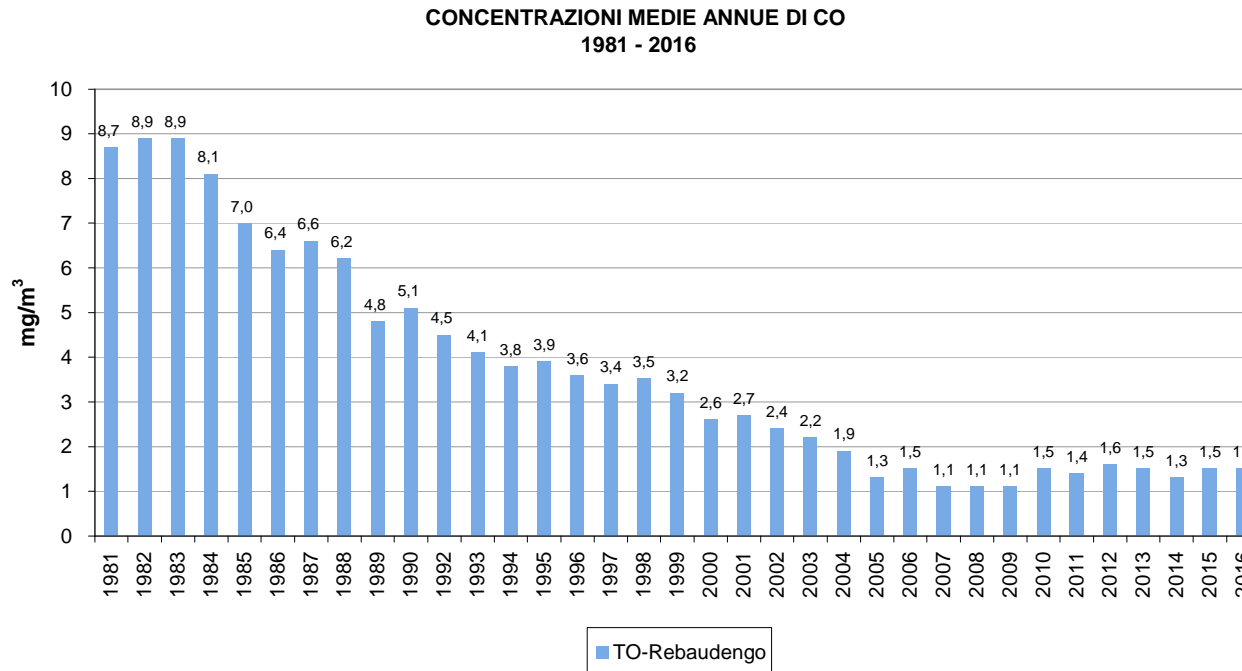


FIGURA 2: parametro CO, concentrazioni medie annuali rilevate presso la stazione di To-Rebaudengo dal 1981 al 2016.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2016 (% dati validi)	Media Annuale mg/m <sup>3</sup>										Valore limite Numero di giorni con la media massima calcolata su 8 ore superiore a 10 mg/m <sup>3</sup>								Valore massimo delle medie calcolate su 8 ore mg/m <sup>3</sup>											
		'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16
Baldissero	<b>97%</b>	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	<b>0,4</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	1,2	1,2	1,1	1,3	1,4	1,3	1,1	1	1,2	<b>1,1</b>
Leini	<b>97%</b>	0,5*	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	<b>0,5</b>	0*	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	2,7*	2,6	3	2,3	2,4	2,5	2,3	2,1	2	<b>1,9</b>	
Oulx	<b>98%</b>	0,4	0,4*	0,4	0,5*	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	<b>0,4</b>	0	0*	0	0*	0	0	0	0	0	<b>0</b>	1,2	1,1*	1,2	1,5*	1,7	1,7	1,9	1,8	1,8	<b>1,5</b>
To-Consolata	<b>95%</b>	1,2	1,1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,5	<b>1,2</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	5,9	4	4,6	3,6	5,1	4,4	3	3,4	3,8	<b>3,3</b>
To-Rebaudengo	<b>96%</b>	1,1	1,1	1,1	1,5	1,4	1,6	1,5	1,3	1,5	<b>1,5</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	4,5	4,1	3,9	4,6	4,8	4,4	4	3,2	3,1	<b>3,6</b>

\*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, A. Audino, A. Falzone, Città metropolitana di Torino.

### DESCRIZIONE

Gli ossidi di azoto ( $N_2O$ ,  $NO$ ,  $NO_2$  ed altri) sono generati in tutti i processi di combustione (veicoli, centrali termiche, riscaldamento domestico) quando viene utilizzata aria come comburente (in relazione alla reazione tra ossigeno e azoto ad alta temperatura) e quando i combustibili contengono azoto come nel caso delle biomasse.

Il biossido di azoto ( $NO_2$ ) è da ritenersi fra gli inquinanti atmosferici maggiormente pericolosi, sia perché è per sua natura irritante, sia perché dà inizio, in presenza di forte irraggiamento solare, ad una serie di reazioni fotochimiche che portano alla formazione di sostanze inquinanti (ad esempio l'ozono), complessivamente indicate con il termine di "smog fotochimico".

Un contributo fondamentale all'inquinamento da biossido di azoto e derivati fotochimici è dovuto, nelle città, ai fumi di scarico degli autoveicoli.

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

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

I valori limite, il livello critico e la soglia di allarme definiti dalla normativa vigente per  $NO_2$  e  $NO_x$  sono riportati nella TABELLA 5.

VALORE LIMITE		
Periodo di mediazione	Valore limite (293°K e 101,3 kPa)	Data alla quale il valore limite deve essere rispettato
1 ora	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $NO_2$ da non superare più di 18 volte per anno civile	1 gennaio 2010
Anno civile	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $NO_2$	1 gennaio 2010
LIVELLO CRITICO <sup>2</sup>		
Periodo di mediazione	Valore limite (293°K e 101,3 kPa)	Data alla quale il valore limite deve essere rispettato
Anno civile	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $NO_x$	
SOGLIA DI ALLARME <sup>3</sup>		
400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293°K e 101,3 kPa) misurati su tre ore consecutive in località rappresentative della qualità dell'aria su almeno 100 $\text{km}^2$ 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 2016 mostrano che il valore limite annuale per la protezione della salute è stato superato in 4 stazioni su 19. Le 4 stazioni che non rispettano il limite sono collocate nell'area urbana torinese. Relativamente alla verifica del rispetto del valore limite orario, i risultati dei monitoraggi evidenziano che tale limite è stato superato nella sola stazione di To-Rebaudengo, stazione caratterizzata da un traffico intenso e che storicamente rappresenta il punto di misura con i valori più elevati di tutto il territorio metropolitano. Da un'analisi più approfondita dei dati misurati nel 2016, riportati in TABELLA 6, non si osserva una tendenza netta né all'aumento né alla riduzione delle medie annue rilevate nel 2016 rispetto ai due anni precedenti.

La FIGURA 3 fotografa la situazione dell'area metropolitana di Torino negli anni dal 1991 al 2016. Vengono riportate le concentrazioni medie annue di due stazioni del capoluogo, To-Lingotto, stazione di fondo urbano, e To-Rebaudengo, caratterizzata da intenso traffico veicolare. Si rileva una generale tendenza alla diminuzione della concentrazione di  $NO_2$ . La stazione di fondo di To-Lingotto presenta oramai concentrazioni prossime al valore limite mentre, per il sito di traffico di To-Rebaudengo, le medie annuali sono ancora ben lontane dal rispetto del limite normativo.

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

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

In generale il decremento del NO<sub>2</sub> 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 sembra essere in grado di rispettare nelle condizioni di guida reali gli standard di omologazione, sono sicuramente le cause principali del perdurare della situazione di criticità di questo inquinante.

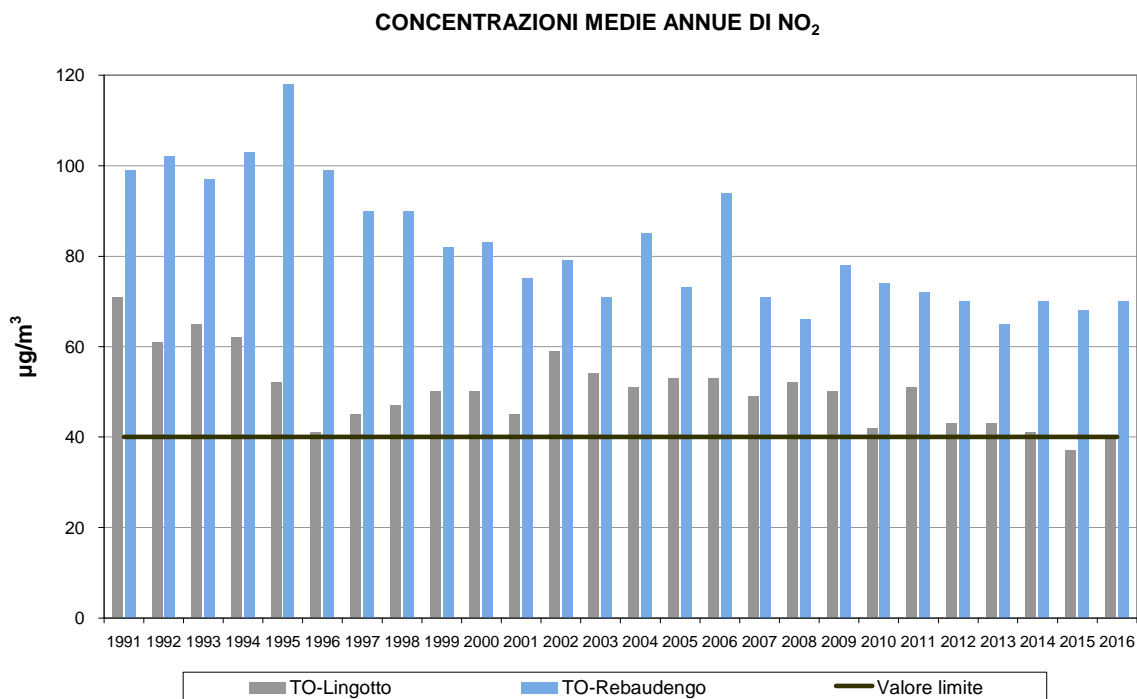


FIGURA 3: parametro NO<sub>2</sub>, media delle medie annuali di tutte le stazioni operanti nel comune di Torino e dettaglio relativo alle stazioni di To-Lingotto e To-Rebaudengo.

La FIGURA 4 mostra il numero di superamenti del valore orario di 200 µg/m<sup>3</sup> registrati in ogni stazione della città metropolitana di Torino. Nel corso del 2016 si sono registrati superamenti presso le stazioni di Carmagnola, Collegno, To-Lingotto e To-Rebaudengo. In quest'ultima stazione viene anche superato il valore limite di 18 ore aventi concentrazione superiore a 200 µg/m<sup>3</sup>. I superamenti della soglia di 200 µg/m<sup>3</sup> sono stati quasi tutti misurati nei mesi di gennaio e dicembre che sono i più critici dell'anno dal punto di vista dispersivo e, durante i quali in particolare nel mese di dicembre, ci sono state alcune giornate con condizioni di inversione termica particolarmente severa e persistente. Anche in relazione a questo limite normativo, rispetto agli ultimi anni, la situazione è sostanzialmente immutata e l'unica evidente criticità è rappresentata dalla stazione di To-Rebaudengo.

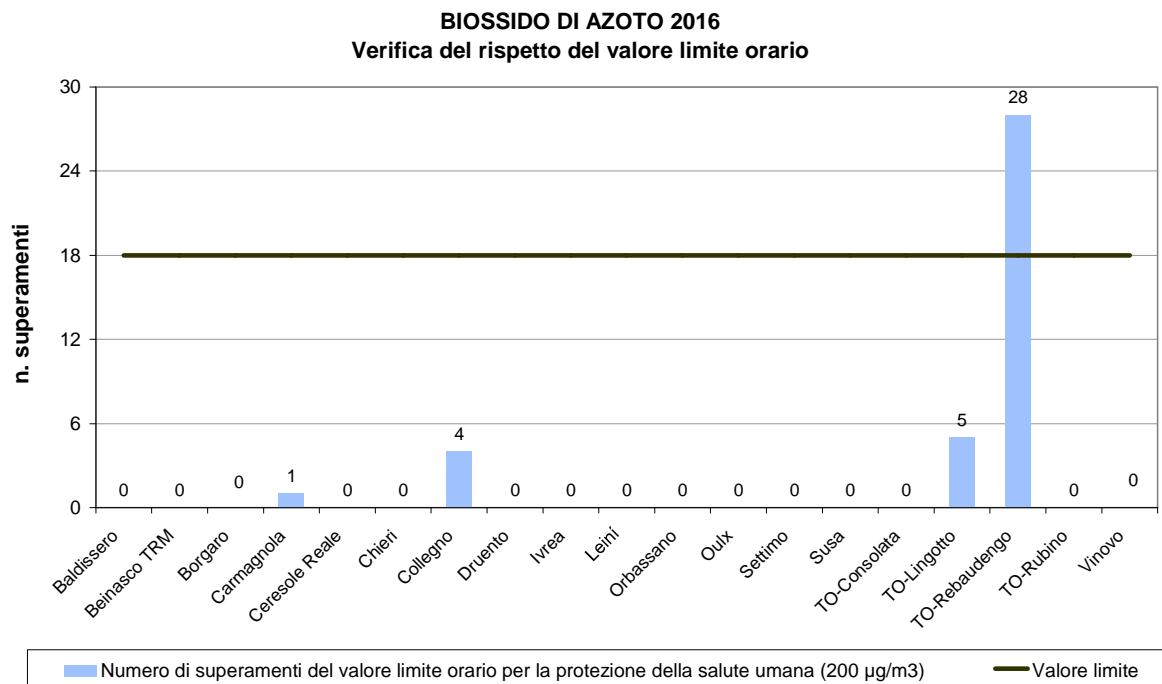


FIGURA 4: parametro NO<sub>2</sub>, distribuzione spaziale del numero di superamenti del limite orario di 200µg/m<sup>3</sup>, nell'anno 2013.



STAZIONE	Rendimento strumentale 2016 (% 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										
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
		Baldissero	97%	22*	19	19	20	20	16	12	14	14	12	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Beinasco TRM(6)	95%							41	38	47	41							0	0	0	0	0
Borgaro	97%	42	35	36	31	34	32	31	26	29	30	1	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0
Carmagnola	100%						79		36	38	39					7		0	0	0	1	0
Ceresole reale	98%			8*	6	7	7	6	4	5	4			0*	0	0*	0	0	0	0	0	0
Chieri(1)	99%	42	34	42	39	39	33	28	23	25	19	0	1	7	0	0	0	0	0	1	0	0
Collegno	100%						40*	44	47	36	46					0*	5	0	0	0	0	4
Druento	99%	19	15	18*	16	18	18	12	14	16	11	0	0	0*	0	0	0	0	0	0	0	0
Ivrea	98%	32	27	28	26	29	25	25	24	26	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Leini	99%	38	31	32	32	30	28	33	31	31	24	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0
Orbassano	93%	43	37	39	37	39	35	32	32	35	32	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Oulx	99%	22	22	20	21	20	21	21	21	20	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Settimo	92%	52	44	59	46	49	49*	43	35	41	36	27	4	125	2	3*	12*	0	0	0	0	0
Susa	98%	24	21	22	24	23	22	19	20	22	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
To-Consolata	99%		69*	68	65	65	59	60	59	53	50		19	13	5	5	3	5	1	1	0	0
To-Lingotto	95%	49	52	50	42	51	43*	43	41	37	40	4	2	18	0	4	0*	0	0	0	0	5
To-Rebaudengo	100%	71	66	78	74	72	70	65	70*	68	70	85	16	76	15	10	13	31	0*	21	28	0
To-Rubino	97%	51*	48	50	44	50	49	42	39	44	35	10	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0
Vinovo	93%	38	36	36	35	40	34	31	30	43	33	0	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.



## LA SITUAZIONE IN ALTRE CITTA' EUROPEE

### Valutazione annuale

Risulta interessante confrontare lo stato della qualità dell'aria della città di Torino con altre città europee, scelte in base alle dimensioni e alla popolazione residente nella "functional urban area" (FUA). Per "functional urban area" si intende, secondo la definizione dell'Organizzazione per la Cooperazione Economica e lo Sviluppo (OECD), l'insieme della città più la "commuting zone"; quest'ultima rappresenta la parte del territorio che contiene le aree circostanti in cui si svolgono gli spostamenti per andare a lavoro e in cui almeno il 15% degli occupati residenti lavora nella città.

Il criterio utilizzato è stato quello di selezionare 15 aree metropolitane con popolazione complessiva compresa fra circa 1 milione e 2,5 milioni di abitanti appartenenti ai principali paesi europei. Per ognuna di queste aree metropolitane sono state individuate, sull'ultima versione di Air Base (v8) rilasciata dall'Agenzia Europea per l'Ambiente e sul nuovo database dell'agenzia stessa contenente i dati del triennio 2013-2015, le stazioni di fondo urbano e di traffico urbano che presentassero dati per i parametri sopra menzionati con una percentuale di dati validi superiore al 70%<sup>4</sup>. Per la raccolta dei dati sulla popolazione è stato utilizzato il database con i dati pubblicati da Eurostat.

Le città selezionate, le relative popolazioni e le stazioni scelte sono riportate nella TABELLA 7.

Città	Stato	Popolazione	Cod stazione NO <sub>2</sub> fondo urbano	Cod stazione NO <sub>2</sub> traffico urbano
Amsterdam	NL	2542550	NL00019	NL00002
Bruxelles	BE	2607961	BETR012	BETR001
Copenhagen	DK	1928612	DK0045A	DK0030A
Dublin	IE	1793902	IE0028A	IE0098A
Düsseldorf	DE	1515921	DENW071	DENW082
Glasgow	GB	1793200	GB1028A	GB0657A
Helsinki	FI	1402394	FI00425	FI00206
Krakow	PL	1395838	PL0039A	PL0012A
Lyon	FR	1978928	FR20017	FR20069
Praha	CZ	2204730	CZ0ARIE	CZ0ASMI
Sofia	BG	1543377	BG0050A	BG0054A
Stockholm	SE	2091473	SE0022A	SE0003A
Torino	IT	1801729	IT2168A	IT0470A
Valencia	ES	1619196	ES1619A	ES1239A
Zurich	CH	1232634	CH0010A	CH0013A

TABELLA 7: elenco città, con relativa popolazione e stazioni selezionate nei vari paesi europei.

In FIGURA 5 sono raffigurate le concentrazioni medie annue, per ogni città europea selezionata, nell'anno 2015. Le caselle vuote appartengono a quelle stazioni per le quali non sono ancora disponibili i dati dell'anno 2015. In FIGURA 6 è rappresentato il numero di superamenti del valore limite orario nelle diverse città europee.

Nelle stazioni di fondo urbano il valore limite annuale del biossido di azoto viene sempre rispettato, mentre nelle stazioni di traffico urbano la situazione è più critica. La variabilità delle concentrazioni registrate nelle singole stazioni di traffico è fortemente condizionata dalle sorgenti presenti in prossimità delle stesse (in questo caso la variabilità è dovuta all'intensità dei flussi di traffico e alla conformazione del tessuto urbano – canyon urbano). Nelle stazioni di fondo il ruolo delle condizioni atmosferiche è invece più determinante per la formazione di fenomeni di accumulo.

Il numero di superamenti del valore limite orario per la protezione della salute umana è un limite meno severo, infatti viene rispettato in tutte le stazioni, a parte Lyon e Torino in cui si registrano lievi superamenti del numero limite (rispettivamente 24 e 21 superamenti all'anno).

<sup>4</sup> Non è stata scelta la soglia del 90% prevista dalla direttiva 2008/50/CE per consentire la costruzione di serie storiche possibilmente continue.

### CONCENTRAZIONI MEDIE ANNUE DI NO<sub>2</sub> NELLE CITTA' EUROPEE NEL 2015

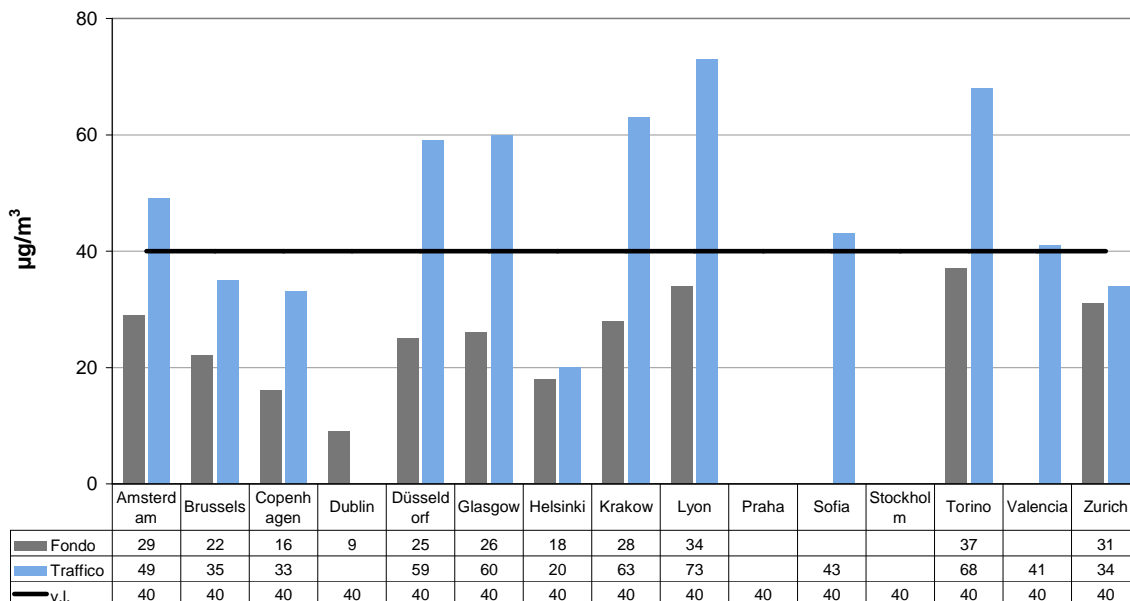


FIGURA 5: Concentrazioni medie annue di NO<sub>2</sub> nelle città europee nel 2015.

### SUPERAMENTI DEL VALORE LIMITE ORARIO NELLE CITTA' EUROPEE NEL 2015

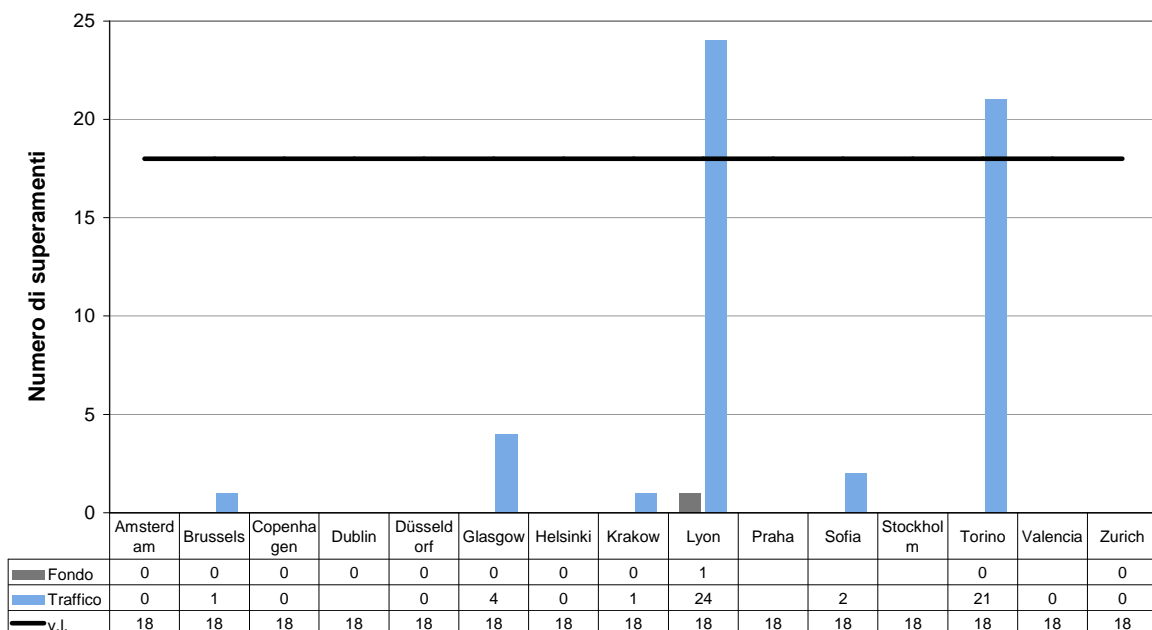


FIGURA 6: numero dei superamenti del valore limite orario nelle città europee nel 2015.

In FIGURA 7 e in FIGURA 8 è rappresentato l'andamento della media annuale per le stazioni di fondo e di traffico dal 1997 al 2015 di 10 città europee fra quelle selezionate in TABELLA 7. Dal grafico si evidenzia che Torino è la città che mostra un andamento del background urbano con valori superiori a tutti gli altri mentre nelle stazioni di traffico le concentrazioni di Torino sono dello stesso ordine di grandezza di quelle misurate a Lyon, Glasgow e Krakow.

**MEDIA ANNUALE DI NO<sub>2</sub> - STAZIONI DI FONDO URBANO**

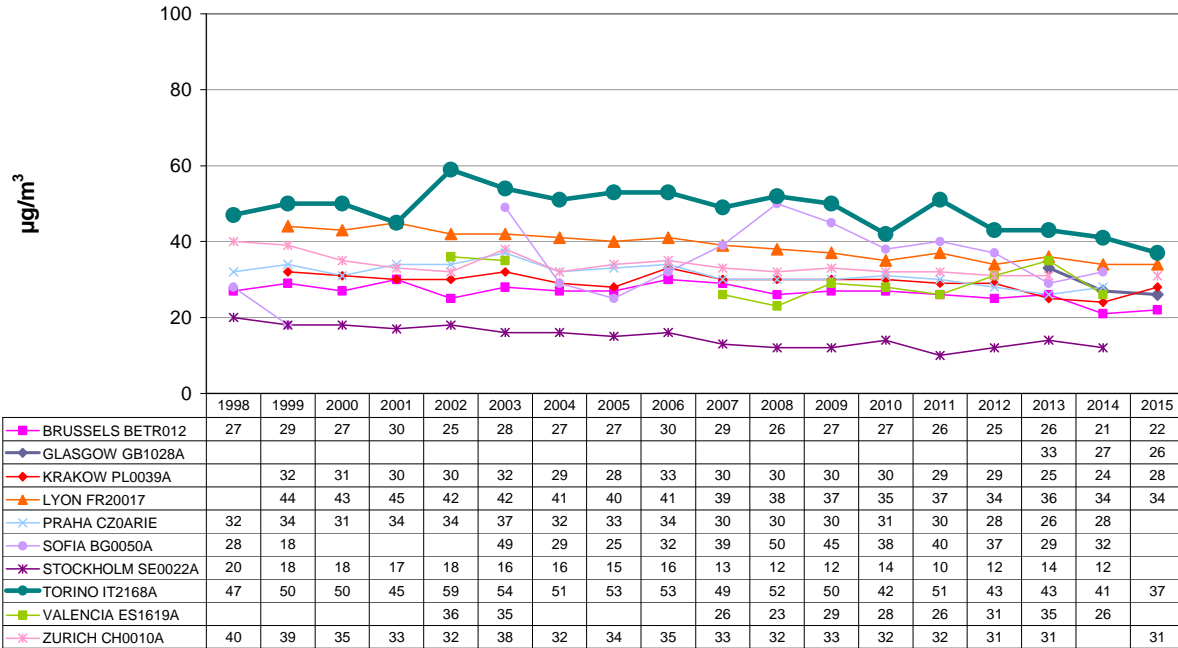


FIGURA 7: andamento delle concentrazioni medie annuali rilevate dal 1998 al 2015 nelle stazioni di fondo urbano delle città europee selezionate.

**MEDIA ANNUALE DI NO<sub>2</sub> - STAZIONI TRAFFICO URBANO**

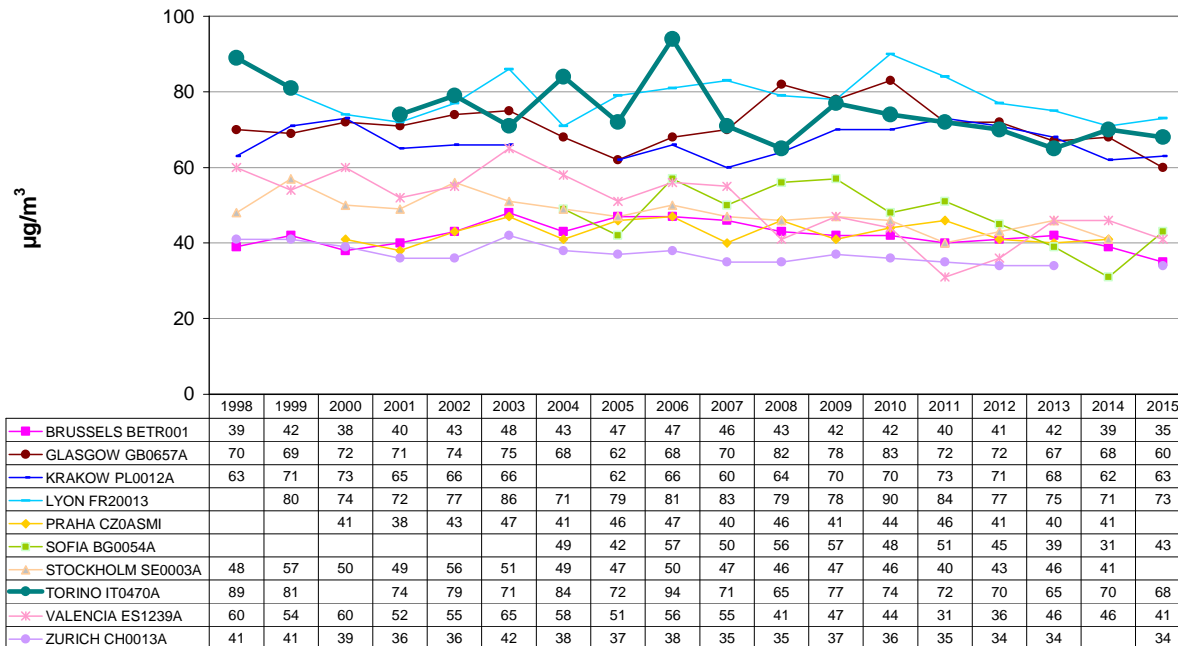


FIGURA 8: andamento delle concentrazioni medie annuali rilevate dal 1998 al 2015 nelle stazioni di traffico urbano delle città europee selezionate.

Complessivamente si osserva che le riduzioni misurate nelle stazioni di traffico negli ultimi 15 anni sono molto simili a quelle registrate nelle stazioni di fondo (circa 10 µg/m<sup>3</sup>). Tale osservazione conferma il parziale fallimento delle politiche che hanno fissato gli standard emissivi dei veicoli (Standard EURO) che non hanno realizzato le riduzioni attese. Gli standard emissivi euro definiscono di fatto un dimezzamento delle emissioni per ogni standard introdotto, tale riduzione non si è però osservata nelle misure in immissione.

## Valutazione mensile

Per comprendere meglio l'andamento delle concentrazioni osservate è utile effettuare una valutazione su base mensile e analizzare i dati relativi alla media delle concentrazioni di biossido d'azoto di 5 città europee, calcolata per ogni mese dell'anno 2015. Le medie sono state calcolate come media delle concentrazioni orarie, pubblicate sul database dell'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA), per una stazione di traffico e una di fondo urbano di ogni città scelta.

Nelle FIGURA 9 - FIGURA 13 sono rappresentate, per ogni città, le concentrazioni medie mensili rilevate dalle stazioni di traffico, raffigurate in blu, e da quelle di fondo, raffigurate in grigio.

Considerando le stazioni di fondo, si può notare la variazione stagionale delle concentrazioni, maggiori nei mesi freddi rispetto a quelli caldi, più o meno marcata in tutte le città. Tale variazione, oltre che alle differenti condizioni meteorologiche, è in parte dovuta alla riduzione delle sorgenti emissive nel periodo estivo. In questo periodo infatti si riduce in particolare la quantità di inquinanti emessi dalle fonti di riscaldamento degli edifici.

A Torino, la variazione stagionale è molto più marcata rispetto alle altre città, questo andamento è dovuto principalmente alle particolari condizioni meteorologiche presenti in pianura padana. In tale area geografica sono infatti presenti situazioni di forte stabilità atmosferica durante il periodo invernale che favoriscono l'accumulo di inquinanti.

L'influenza della meteorologia è confermata dagli andamenti misurati nelle stazioni di traffico, dove il traffico è appunto la fonte prioritaria con emissioni sostanzialmente costanti durante l'anno. Le stazioni di traffico a Lyon, Krakow e Düsseldorf mostrano una sostanziale stabilità durante tutti i mesi dell'anno, con concentrazioni sempre superiori al valore limite annuale comprese fra i 50 e gli 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Tali valori sono assolutamente confrontabili con quanto misurato a Torino nel periodo compreso fra marzo e ottobre.

Bruxelles mostra invece concentrazioni molto inferiori. In riferimento alle condizioni meteorologiche e territoriali, la città di si trova collocata in una posizione più favorevole alla dispersione degli inquinanti atmosferici, per cui risulta poco paragonabile con le altre realtà continentali europee.

Inoltre si osserva che i dati relativi alla stazione di traffico scelta per Bruxelles sono molto bassi e molto simili a quelli di fondo. Ciò è dovuto probabilmente oltre che alle buone capacità dispersive del sito, anche alla microlocalizzazione della stazione.

**TORINO NO<sub>2</sub> MEDIE MENSILI 2015**

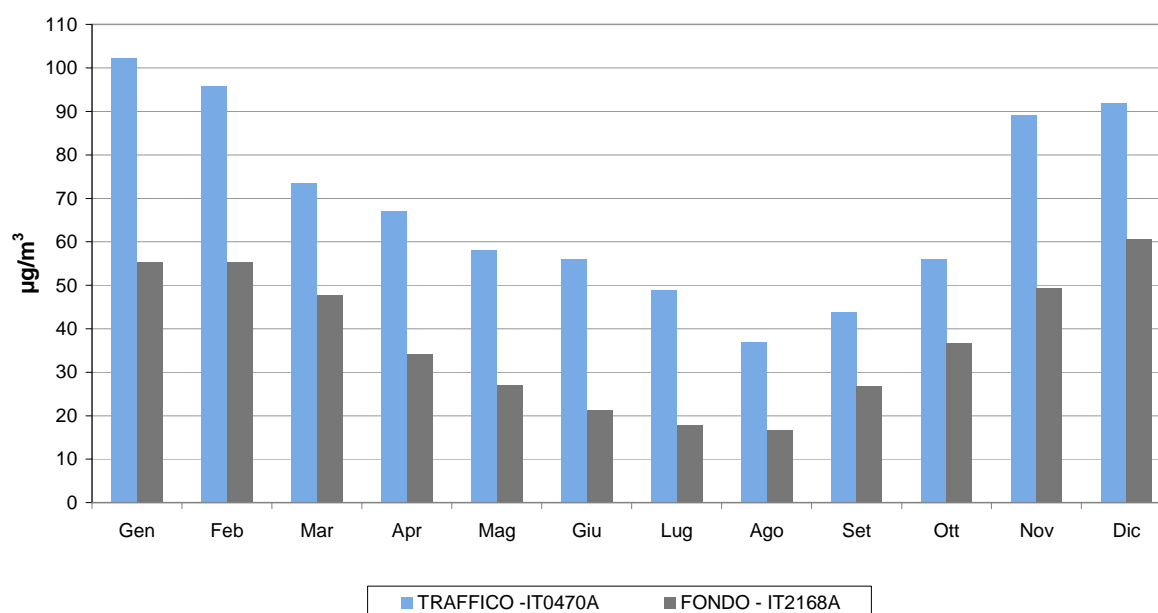


FIGURA 9: concentrazione media mensile di traffico e di fondo di NO<sub>2</sub> a Torino nel 2015.

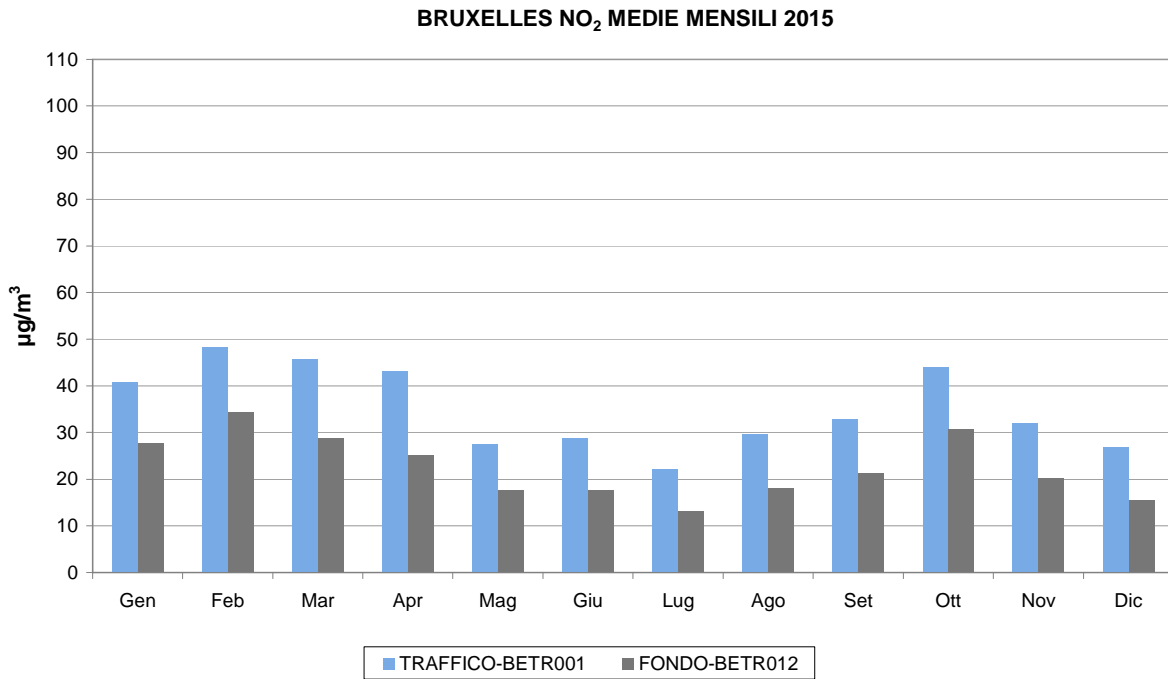


FIGURA 10: concentrazione media mensile di traffico e di fondo di NO<sub>2</sub> a Bruxelles nel 2015.

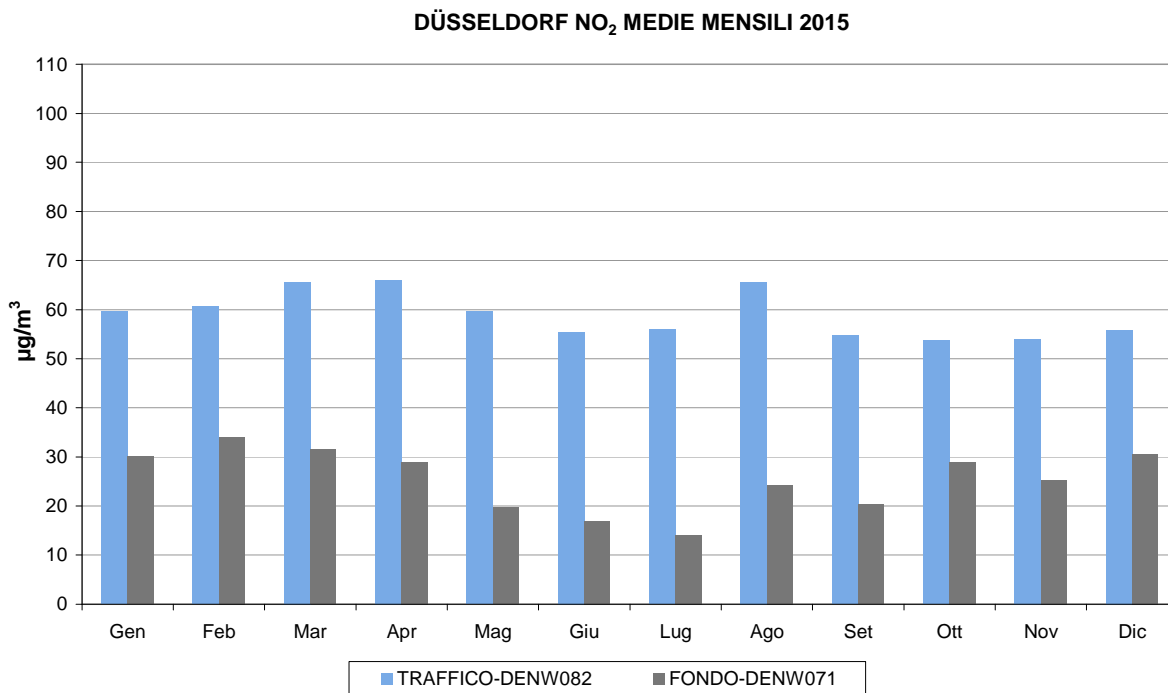
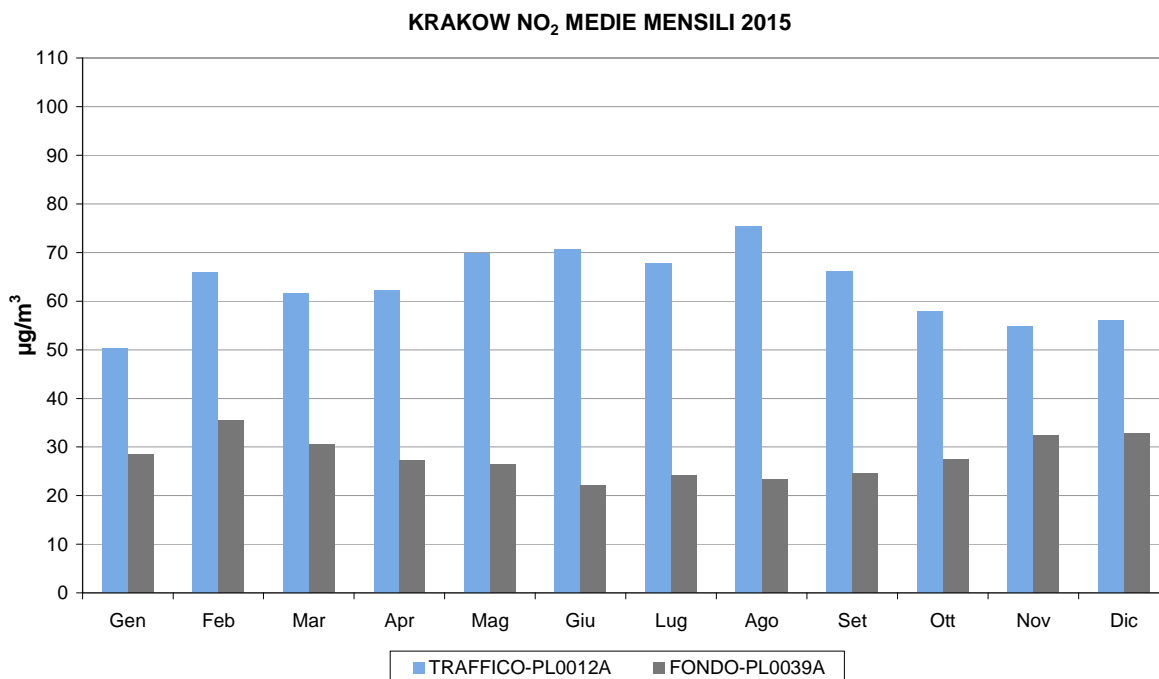
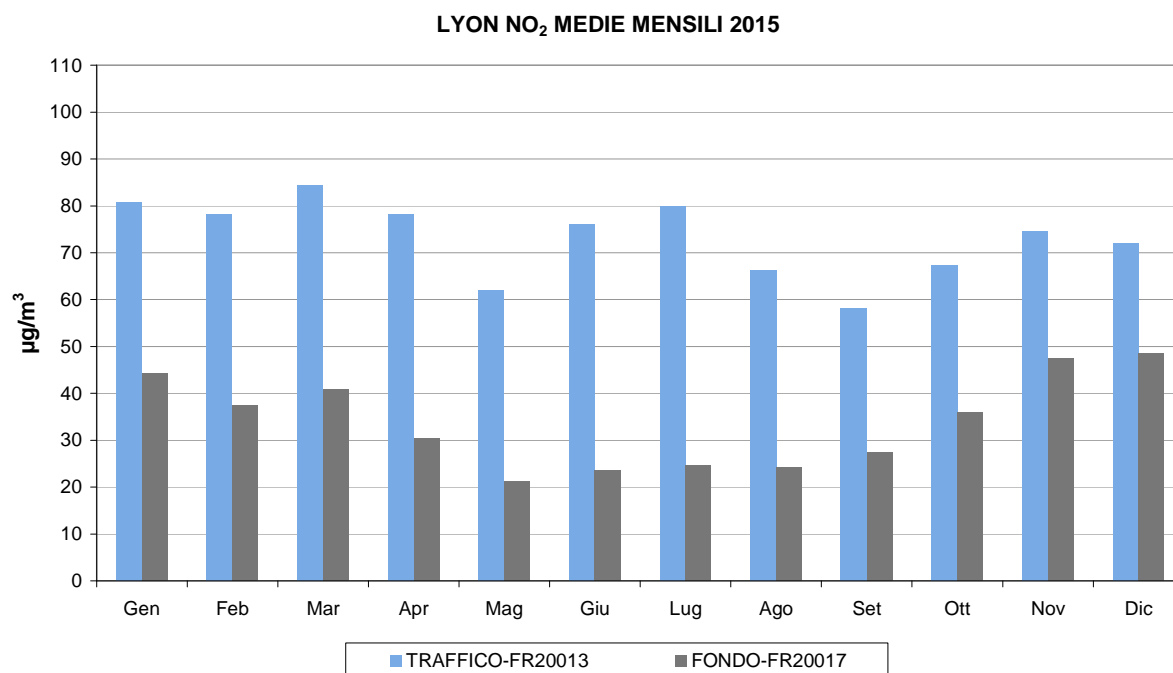


FIGURA 11: concentrazione media mensile di traffico e di fondo di NO<sub>2</sub> a Düsseldorf nel 2015.

FIGURA 12: concentrazione media mensile di traffico e di fondo di NO<sub>2</sub> a Krakow nel 2015.FIGURA 13: concentrazione media mensile di traffico e di fondo di NO<sub>2</sub> a Lyon nel 2015.

Per facilità di interpretazione in FIGURA 14 e in FIGURA 15 sono messe a confronto le concentrazioni medie mensili delle 5 città europee scelte. Si rileva nuovamente la stagionalità delle concentrazioni medie registrate dalle stazioni di fondo, che mostra valori più alti in inverno e valori più contenuti in estate. Come espresso precedentemente, per le stazioni di traffico l'andamento è più lineare e non mostra una stagionalità marcata, in alcuni siti le concentrazioni sono molto elevate durante tutti i mesi dell'anno.

**MEDIE MENSILI NEL 2015 DELLE CITTA' EUROPEE - STAZIONI DI FONDO URBANO**

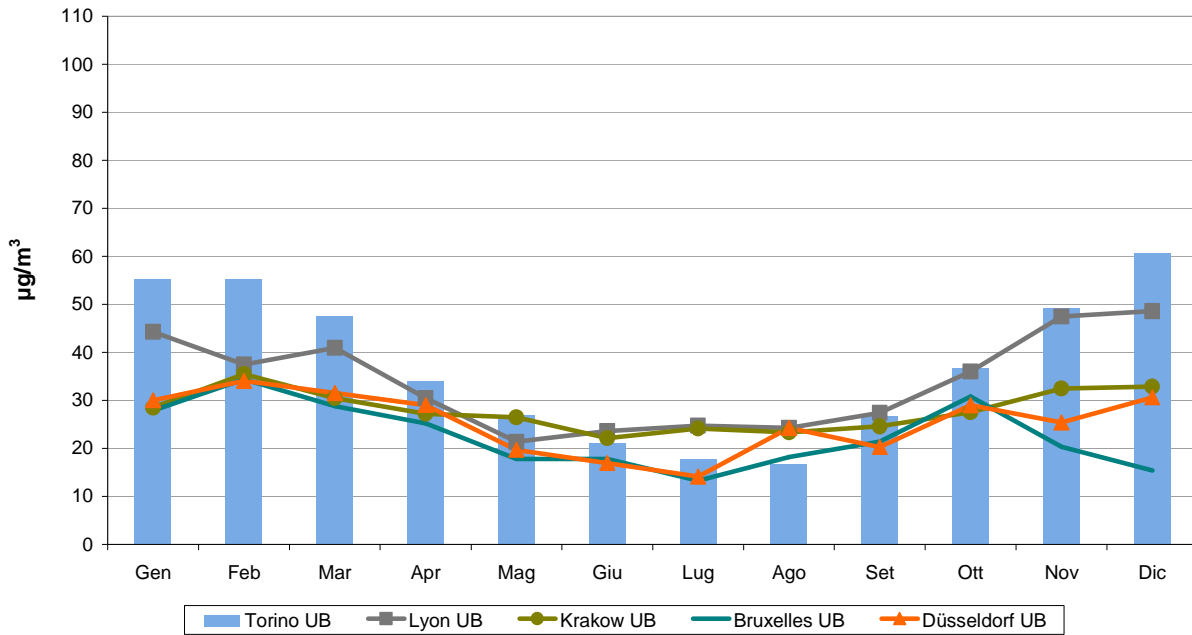


FIGURA 14: concentrazione media mensile di fondo urbano di NO<sub>2</sub> delle 5 città europee selezionate a confronto.

**MEDIE MENSILI DEL 2015 NELLE CITTA' EUROPEE - STAZIONI DI TRAFFICO**

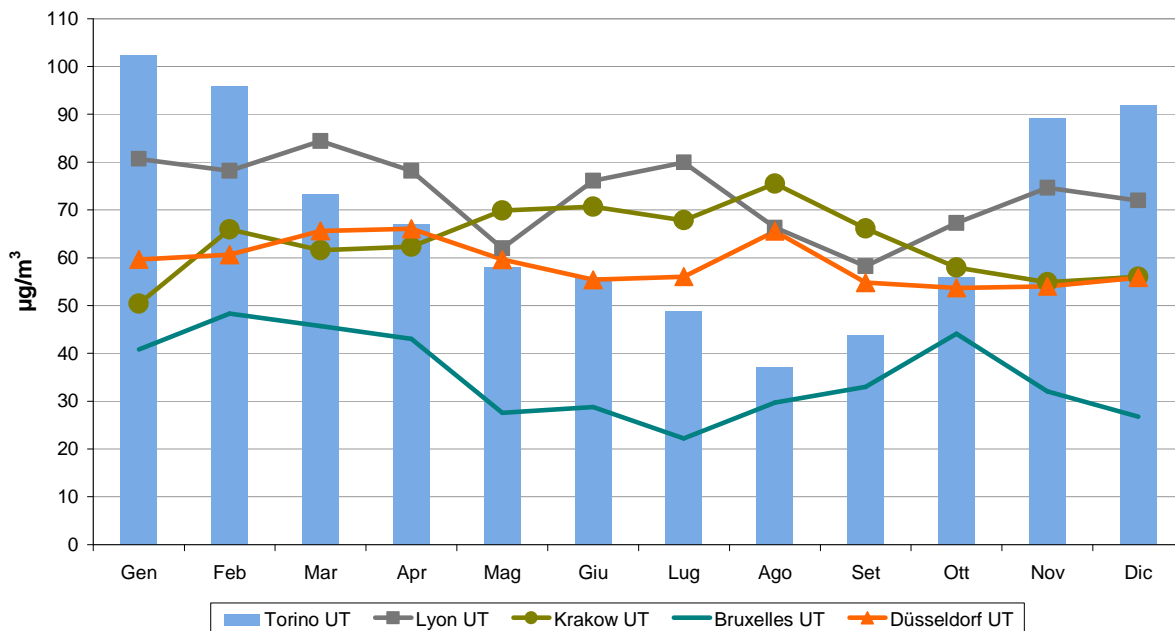


FIGURA 15: concentrazione media mensile di traffico urbano di NO<sub>2</sub> delle 5 città europee selezionate a confronto.

**Conclusioni**

I dati mostrano che per le concentrazioni di NO<sub>2</sub> ci sono ancora degli obiettivi ambiziosi da raggiungere soprattutto nelle aree urbane ed in prossimità di strade con forte traffico.

Torino, rispetto alle altre città europee esaminate, è un'area urbana situata in un territorio che, per le sue condizioni meteo-climatiche e orografiche, è interessato da lunghi periodi di stabilità atmosferica. Le concentrazioni di NO<sub>2</sub> sono molto alte nel periodo invernale sia nella stazioni di traffico sia in quelle di fondo. Il notevole incremento delle concentrazioni nel semestre freddo contribuisce sensibilmente al valore della media annuale che non rispetta il valore limite.



## BIOSSIDO DI ZOLFO

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

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

### DESCRIZIONE

Il biossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ ) è il naturale prodotto di ossidazione dello zolfo e dei composti che lo contengono allo stato ridotto. È un gas incolore, di odore pungente ed è molto irritante per gli occhi, la gola e le vie respiratorie; per inalazione può causare edema polmonare ed una prolungata esposizione può portare alla morte.

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

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

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

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

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

VALORE LIMITE		
Periodo di mediazione	Valore limite (293°K e 101,3 kPa)	Data alla quale il valore limite deve essere rispettato
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	Valore limite (293°K e 101,3 kPa)	Data alla quale il valore limite deve essere rispettato
anno civile e inverno (1° ottobre – 31 marzo)	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	19 luglio 2001
SOGLIA DI ALLARME		
500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (293°K e 101,3 kPa) misurati su tre ore consecutive in località rappresentative della qualità dell'aria su almeno 100 $\text{km}^2$ oppure una zona o un agglomerato completi, se tale zona o agglomerati sono meno estesi		

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

### ESAME DEI DATI

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

Infatti 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 di traffico urbano.

Anche se nel corso dei prossimi anni è consigliabile mantenere attivo il monitoraggio per controllare il conseguimento dei risultati raggiunti, si può affermare che il parametro  $\text{SO}_2$  non rappresenti più una criticità per il territorio della città metropolitana di Torino.

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, i quali sul territorio metropolitano costituiscono in media tra il 5 e il 10% della massa totale di  $\text{PM}_{10}$ . Per tale ragione occorre continuare a garantire un adeguato monitoraggio delle concentrazioni di  $\text{SO}_2$  e mantenere in vigore le misure che ne hanno ridotto la sua presenza in atmosfera.

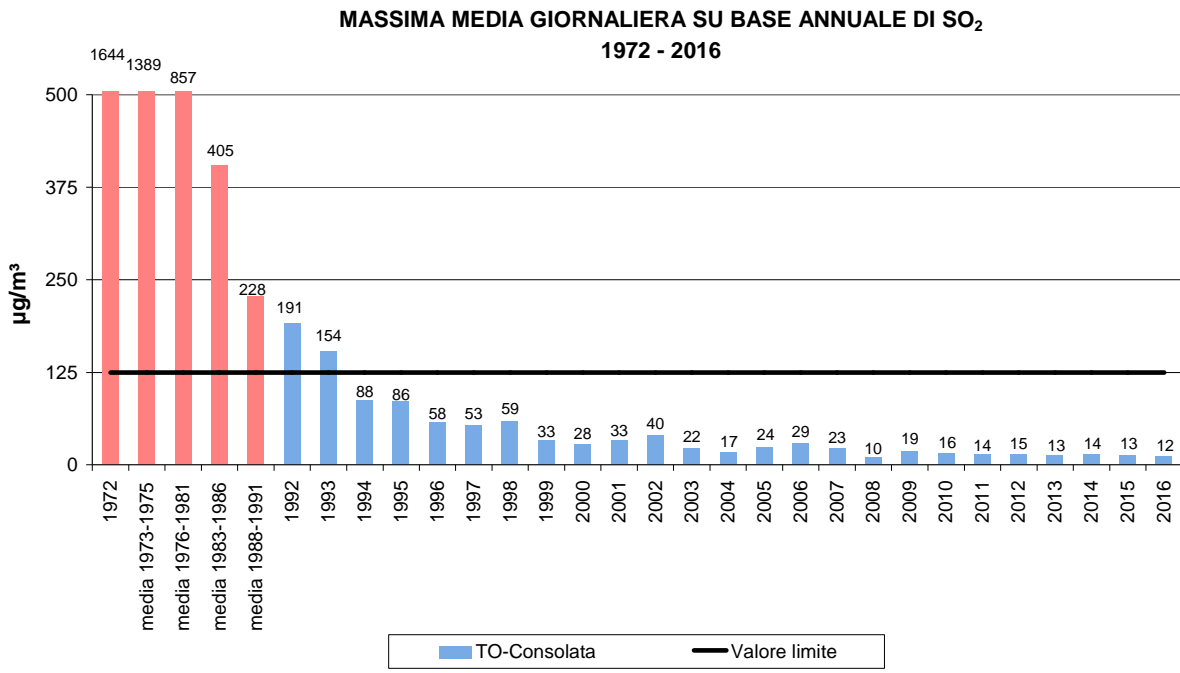


FIGURA 16: parametro SO<sub>2</sub>, massima media giornaliera su base annuale rilevata nell'ultimo trentennio nella stazione di To-Consolata.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2016 (% dati validi)	Media Annuale $\mu\text{g}/\text{m}^3$										Valore limite orario per la protezione della salute umana 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 24 volte nell'anno civile Numero di superamenti										Valore limite giornaliero per la protezione della salute umana 125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare più di 3 volte nell'anno civile Numero di superamenti									
		'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16
		To-Consolata	<b>91%</b>	6	4*	6*	6	6	6	6	7	7	<b>6</b>	0	0*	0*	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0	0*	0*	0	0	0	0	0
To-Rebaudengo	<b>95%</b>	7	5	9	8*	7	7	6	7	6	<b>7</b>	0	0	0	0*	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0	0	0	0*	0	0	0	0	0	<b>0</b>

STAZIONE	Rendimento Strumentale 2016 (% dati validi)	Valore limite per la protezione degli ecosistemi 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Media calcolata sul periodo di riferimento 1 gen - 31 mar e 1 ott - 31 dic										Soglia di allarme 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Numero di superamenti										Massimo orario $\mu\text{g}/\text{m}^3$									
		'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16
		To-Consolata	<b>91%</b>	9	6*	7*	7	10	7	7	9	7	<b>7</b>	0	0*	0*	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	49	33*	23*	23	19	23	15	19
To-Rebaudengo	<b>95%</b>	11	7	11	10*	14	9	7	9	5	<b>8</b>	0	0	0	0*	0	0	0	0	0	<b>0</b>	66	44	62	48*	34	33	26	24	17	<b>25</b>

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

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

## OZONO

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

*Annalisa Bruno, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.*

### DESCRIZIONE

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

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

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

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

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

- per il valore obiettivo per la protezione della salute umana: dati validi relativi ad un anno
- per il valore obiettivo per la protezione della vegetazione: dati relativi a tre anni

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

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

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

L'ozono 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 10.

Le soglie di informazione e di allarme indicano il livello oltre il quale sussiste un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata da parte dei gruppi più sensibili della popolazione (informazione) e di tutta la popolazione (allarme). I valori obiettivo, invece, indicano i livelli di concentrazione 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, al fine di assicurare un'efficace protezione della salute umana e dell'ambiente.

Si ricorda infine che l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nell'ultimo aggiornamento delle linee guida sulla qualità dell'aria<sup>5</sup> ha ridotto il valore guida per l'ozono da 120 a 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , come media massima su 8 ore. 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.

## ESAME DEI DATI

L'ozono, insieme al PM10 e al biossido di azoto, è uno degli inquinanti di maggiore rilevanza in Europa, ma 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 e soprattutto in quelle di traffico<sup>6</sup>. Ciò dipende principalmente dalle modalità di formazione dell'ozono, influenzata positivamente da alcune variabili meteorologiche, quali l'elevata radiazione solare e le alte temperature, e dalla concentrazione dei suoi precursori di origine antropica (es. benzene e toluene) o naturale (terpeni, alcani, alcheni etc.). Nelle stazioni di traffico il processo dominante è invece rappresentato dall'interazione tra ozono e ossidi di azoto; in particolare la reazione tra NO e ozono con formazione di NO<sub>2</sub> – la cosiddetta “NO<sub>x</sub> titration” – contribuisce a diminuire la concentrazione di questo inquinante nei siti urbani maggiormente influenzati dal traffico veicolare.

Il rapporto dell'EEA evidenzia inoltre che la riduzione nelle emissioni di gas precursori dell'ozono, ad esempio benzene e toluene, non ha portato ad un'equivalente diminuzione delle concentrazioni di ozono in Europa, perché la relazione non è lineare, anche la meteorologia e le concentrazioni di background del nostro emisfero giocano un ruolo importante nella chimica dell'ozono. Solamente per le stazioni di tipo rurale è possibile vedere in Europa un leggero trend in diminuzione delle concentrazioni di ozono.

In riferimento alla Città metropolitana di Torino in TABELLA 11 sono riportati i superamenti della soglia di informazione - concentrazione oraria di 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  - degli ultimi 10 anni. Delle 12 stazioni di fondo in cui si misura l'ozono, solo la stazione di Ivrea non presenta alcun superamento del valore di 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2016. Come l'anno passato, il numero maggior di superamenti è stato registrato nelle stazioni di fondo di Druento e Orbassano con rispettivamente 36 e 39 superamenti annui, numeri quasi dimezzati rispetto al 2015. La stazione di Borgaro ha fatto registrare 15 superamenti nel 2016, la metà di quelli del 2015, tuttavia bisogna sottolineare che per ben 6 mesi - tra cui aprile, maggio, giugno e settembre - la percentuale dei valori validi è stata inferiore al 90%. Tutte le altre stazioni di misura della rete di qualità dell'aria presentano superamenti della soglia di informazione di poche unità (da 1 a 12).

Complessivamente sul territorio della Città metropolitana nel 2016 ci sono stati 133 superamenti della soglia di informazione, concentrati nei mesi di giugno, luglio, agosto e settembre in 11 stazioni

<sup>5</sup> WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide - Global update 2005

<sup>6</sup> EEA Air quality in Europe – 2016 report, 34-39

di misura. Si tratta del 40% in meno dei superamenti rispetto al 2015, dove i superamenti totali sul territorio erano stati 214. Come è stato già scritto, è dimostrato che la temperatura dell'aria ha una notevole influenza sulle concentrazioni di ozono: un innalzamento della temperatura, infatti, favorisce sia la reazione di decomposizione degli ossidi di azoto sia l'aumento dell'emissione di composti biogenici volatili, tra i principali precursori dell'ozono troposferico. La riduzione del numero complessivo di superamenti può quindi essere imputata alle differenti condizioni climatiche dei due anni: il 2015 è stato un anno eccezionalmente caldo, addirittura l'anno più caldo dell'intera serie storica del periodo 1958-2015, mentre il 2016 è stato un anno più fresco, la temperatura media di Torino del periodo aprile-settembre è stata di 21,0 °C, valore perfettamente in linea con quello della media degli ultimi dieci anni di misurazioni e di 0,6 °C inferiore rispetto allo stesso periodo dell'anno precedente. Nel 2016 il mese più caldo è stato luglio – con una temperatura media di 25,5 °C – dove infatti si è concentrato ben il 70% dei superamenti del livello di informazione registrati sul territorio della Città Metropolitana. L'episodio di ozono principale si è verificato dal 18 al 20 luglio, quando la temperatura media in Torino è stata di 28 °C, con minimi mai al di sotto dei 20 °C e massimi fino a 35 °C. Nei tre giorni dell'ondata di calore di luglio si sono concentrati 59 dei 79 superamenti del mese di luglio, poco meno della metà di quelli di tutto il 2016.

Come già nel 2014 e nel 2015, anche nel 2016 la soglia di allarme di 240 µg/m<sup>3</sup> come media oraria su tre ore consecutive non è stata superata in nessuna stazione di rilevamento, nemmeno durante l'episodio di ozono di luglio. Viene confermato quindi il trend positivo in atto dal 2008.

I 36 superamenti della stazione di Druento situata nel centro del parco della Mandria, a 20 minuti in auto dall'ingresso del parco, sono invece una chiara dimostrazione del carattere ubiquitario dell'ozono, rilevabile anche in zone a più basso impatto antropico, ma contraddistinte da forte irraggiamento solare e presenza di precursori e/o ozono trasportati dai venti.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2016 (% dati validi)	Soglia di informazione 180 µg/m <sup>3</sup> come media oraria									
		Numero di superamenti									
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Baldissero	90	43	4	26	4	4	12	16	14	26	<b>1</b>
Borgaro	85	63	0	0	0	0	2	0	2	32	<b>15*</b>
Ceresole	94	-	-	-	8(1)	4	5	6	0	0	<b>1</b>
Chieri	96	1	0	0	0	-	0(3)*	0	9*	0	<b>1</b>
Druento	94	69	11*	45*	22	19	63	42	26	69	<b>36</b>
Ivrea	94	-	-	-	0(2)	1	0	0*	1	4	<b>0</b>
Leini	95	14	7	1	1	4	0	0	2	3	<b>4</b>
Orbassano	90	54	0	2	0	6	14	4	7	68	<b>39</b>
Susa	91	11	9	1	0	0	0	0	0	0	<b>12</b>
To-Lingotto	92	43	26	2	0	1	3	0*	18	8	<b>8</b>
To-Rubino	97	-	-	-	-	-	-	-	6(4)	3	<b>12</b>
Vinovo	88	16	0	5	0	5	0	0	4	1	<b>4*</b>

(1) serie storica disponibile a partire dal 2010 (2) strumento operativo dal 25/01/10  
(3) strumento operativo dal 17/02/12 (4) strumento operativo dal 23/05/2013  
\* la percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal DLgs 155/2010 (90%)

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

In TABELLA 12 e in TABELLA 13 sono riportate rispettivamente le elaborazioni necessarie per la verifica del conseguimento del valore obiettivo per la protezione della salute umana e del valore obiettivo per la protezione della vegetazione. Entrambi gli obiettivi non sono in genere rispettati.

In tutte le stazioni di monitoraggio - fatta eccezione per la stazione di Susa e quella di Vinovo, in quest'ultima però il rendimento strumentale è stato inferiore al 90% - 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. Non è possibile individuare un trend comune per tutto il territorio: rispetto agli anni passati, per alcune stazioni il valore medio su tre anni aumenta come già per i dati del 2015 – Borgaro e Chieri in particolare – per altre stazioni diminuisce, ad esempio a Ceresole e a Druento. Le variazioni in ogni caso sono sempre di poche unità. Sembra inoltre che nelle stazioni di fondo remote, a minore impatto antropico diretto – Ceresole, Druento e Baldissero – si possa individuare un leggero trend in diminuzione del valore mediato sui tre anni. Il dato conferma il trend in diminuzione rilevato sul territorio europeo nei siti rurali, conseguenza diretta della diminuzione delle emissioni di precursori.

STAZIONE	Valore bersaglio per la protezione della salute umana Numero di giorni con la media massima, calcolata su 8 ore, superiore a 120 µg/m <sup>3</sup>										
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	MEDIA 2014-2016
Baldissero	95	72	116	97	94	74	88	51	62	60	<b>58</b>
Borgaro	93	31	35	52	46	41	27	10	71	51*	<b>41*</b>
Ceresole	-	-	-	82(1)	70	77	58	26	57	40	<b>41</b>
Chieri	37	14	27	0	-	53*(3)	36	41	73	52	<b>55</b>
Druento	95	29	52	59	93	87	72	21	59	59	<b>46</b>
Ivrea	-	-	-	53(2)	39	42	31*	19	61	24	<b>35</b>
Leini	63	56	61	62	70	37	34	8	39	45	<b>31</b>
Orbassano	89	30	68	36	60	65	66	34	74	78	<b>62</b>
Susa	66	53	42	31	36	45	38	5	20	46	<b>24</b>
To-Lingotto	70	74	36	34	30	45	39*	43	57	44	<b>48</b>
To-Rubino	-	-	-	-	-	-	-	18 (4)	53	52	<b>53</b>
Vinovo	74	44	86	37	71	64	47	13	31	42*	<b>22*</b>

(1) serie storica disponibile a partire dal 2010 (2) strumento operativo dal 25/01/10  
(3) strumento operativo dal 17/02/12 (4) strumento operativo dal 23/05/2013  
\* la percentuale di dati validi è inferiore all'indice fissato dal DLgs 155/2010 (90%)

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

STAZIONE	DECRETO LEGISLATIVO n. 155/ del 13/08/2010 Valore bersaglio per la protezione della vegetazione AOT 40 (18000 µg/m <sup>3</sup> *h)										
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	MEDIA 2011-2016
Baldissero	33360	31118	44921	40260	30317	30256	38576	28525	36285	<b>23327</b>	<b>31394</b>
Druento	38407	18936	25433	32365	31022	38098	32780	23341	36839	<b>27031</b>	<b>31618</b>
Ceresole	-	-	-	43125	27976	35311	30089	23159	32688	<b>23285</b>	<b>28906</b>

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

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

Il numero di giorni di superamento del livello di protezione della salute di 120 µg/m<sup>3</sup> del solo 2016 diminuisce per molte stazioni di misura rispetto al 2015; fanno eccezione le stazioni di Leini, Orbassano, Susa e Vinovo, dove tale numero aumenta, benché solo per la stazione di Susa l'aumento si può considerare consistente (da 20 a 46 superamenti). Tuttavia se si prendesse in considerazione con scopo puramente descrittivo il parametro "soglia del valore obiettivo" e cioè che il numero di superamenti del limite di 120 µg/m<sup>3</sup> non debba essere superato più di 25 giorni nel corso di un unico anno solare, anche nel 2016 come già nel 2015 quasi nessuna stazione di misura lo rispetterebbe (l'unica eccezione è rappresentata dalla stazione di Leini). D'altronde in alcune stazioni di misura più della metà dei superamenti consentiti in un anno si è concentrata nell'episodio di ozono di luglio, a dimostrazione del fatto che a volte bastano pochi giorni di condizioni meteorologiche particolarmente sfavorevoli per compromettere il rispetto dei 25 superamenti annui massimi consentiti. 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.

La media degli ultimi cinque anni dell'AOT40 (valore obiettivo per la protezione della vegetazione), diminuisce rispetto al quinquennio 2011-2015 in tutte le stazioni di misura considerate: Baldissero, Ceresole e Druento. Di fatto però le concentrazioni rimangono piuttosto stabili negli anni e i valori sono sempre notevolmente superiori al limite stabilito dalla normativa - 18000 µg/m<sup>3</sup>\*h.

Si ricorda 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 precedenti relative alle stazioni di Baldissero, Ceresole e Druento hanno quindi un puro valore indicativo.

In FIGURA 17 è riportata, per l'anno 2016, la distribuzione mensile dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per tre stazioni: To-Lingotto, rappresentativa del fondo urbano, Baldissero Torinese e Ceresole, poste più in quota e rappresentative del fondo rurale. Il numero di giorni di superamenti del limite dei 120 µg/m<sup>3</sup> segue l'andamento della



temperatura media mensile registrata nella stazione di Torino-Consolata: i superamenti cominciano nella stazione di Ceresole a marzo, aumentano nella stagione primaverile-estiva fino a raggiungere il valore massimo a luglio, per Baldissero e Ceresole e ad agosto per Torino-Lingotto; quindi il numero di superamenti diminuisce a settembre e scompare ad ottobre. Il mese di aprile del 2016 ha rappresentato un'anomalia dal punto di vista climatico, con scarse precipitazioni e una temperatura media superiore di circa 2 °C rispetto al periodo 1971-2000. Tale condizione favorevole alla formazione di ozono troposferico ha portato ad un elevato numero di superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana nella stazione rurale di Baldissero, situata a circa 450 metri di altitudine; non altrettanto si è verificato nella stazione rurale di Ceresole, dove, data l'elevata altitudine, non sono state raggiunte le stesse temperature elevate della collina torinese.

In generale dal punto di vista meteorologico si può dire che il 2016 sia stato un anno medio (FIGURA 18); la temperatura del periodo aprile-settembre è di 21 °C, dato identico al valore mediato nei dieci anni precedenti. Le precipitazioni del semestre caldo sono leggermente inferiori - di circa 70 mm - rispetto al decennio 2006-2015.

La FIGURA 19 mostra infine l'andamento delle concentrazioni di ozono nelle stazioni di To-Lingotto e Baldissero Torinese durante i sei mesi estivi - da aprile a settembre - dal 2006 al 2016. Per la stazione di Baldissero la concentrazione media del semestre estivo è di 94 µg/m<sup>3</sup>, valore invariato rispetto allo stesso periodo del 2015. Per la stazione di To-Lingotto la concentrazione estiva di ozono diminuisce leggermente rispetto all'anno precedente e raggiunge i 67 µg/m<sup>3</sup>. Così valgono le stesse considerazioni fatte per il 2015: osservando le misurazioni medie degli ultimi 10 anni è possibile individuare un leggero trend in diminuzione per la stazione di Baldissero, dove la concentrazione media di ozono nei sei mesi caldi è da alcuni anni inferiore a 100 µg/m<sup>3</sup>, il valore medio della serie storica 2006-2016. Viceversa non è possibile fare la stessa valutazione per la stazione di To-Lingotto, dove le concentrazioni del periodo estivo oscillano ormai da 10 anni intorno ai 67 µg/m<sup>3</sup>. Ciò è in linea con quanto osservato sul territorio Comunitario, dove è possibile scorgere un trend in diminuzione per le stazioni di misura in zone remote, con minore impatto antropico, non altrettanto evidente nelle stazioni di tipo urbano<sup>7</sup>.

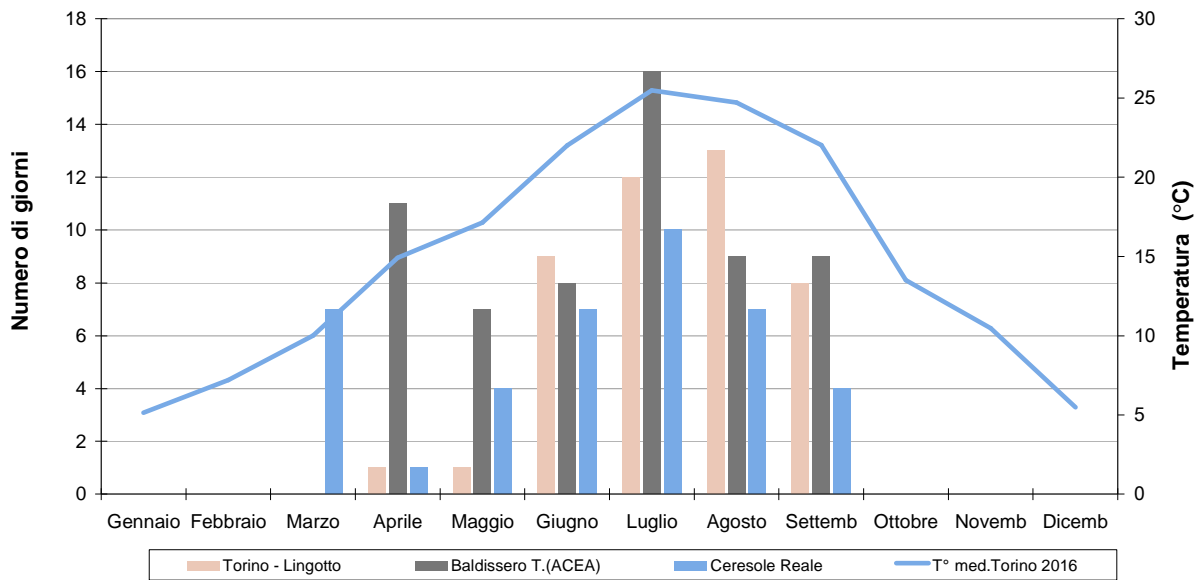
In generale l'analisi delle serie storiche delle concentrazioni di ozono rilevate in più di 10 anni di misurazioni (FIGURA 19) mostra una sostanziale stabilità dei valori di questo inquinante, in special modo nelle aree urbane dove maggiore è la produzione di precursori. La variabilità dei valori annuali pare piuttosto legata alla situazione meteorologica del singolo anno. Si conferma quindi il ruolo fondamentale delle condizioni meteoroclimatiche nell'influenzare le concentrazioni di ozono a livello della troposfera, sia per il verificarsi di condizioni che favoriscono episodi di accumulo e che portano ai cosiddetti "episodi di ozono" (elevata insolazione, alte temperature, condizioni di alta pressione), sia per il ruolo che la radiazione solare ha nei meccanismi di reazione di formazione dell'O<sub>3</sub> in presenza di COV (composti organici volatili) e NO<sub>x</sub> (ossidi di azoto).

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 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.

---

<sup>7</sup> EEA Air quality in Europe – 2016 report, 37-38

**O<sub>3</sub> - Confronto temperatura\* e distribuzione temporale dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana (numero di giorni con la media massima, calcolata su 8 ore, superiore a 120 µg/m<sup>3</sup>) - anno 2016**



\*Temperatura misurata nella stazione di Torino sita in via della Consolata.

FIGURA 17: ozono - distribuzione temporale dei superamenti del valore obiettivo per la protezione della salute umana per le stazioni di To-Lingotto, Baldissero Torinese e Ceresole, anno 2016.

**TEMPERATURA MEDIA E SOMMA DELLE PRECIPITAZIONI ATMOSFERICHE (periodo aprile-settembre) ANNI 2006-2016**

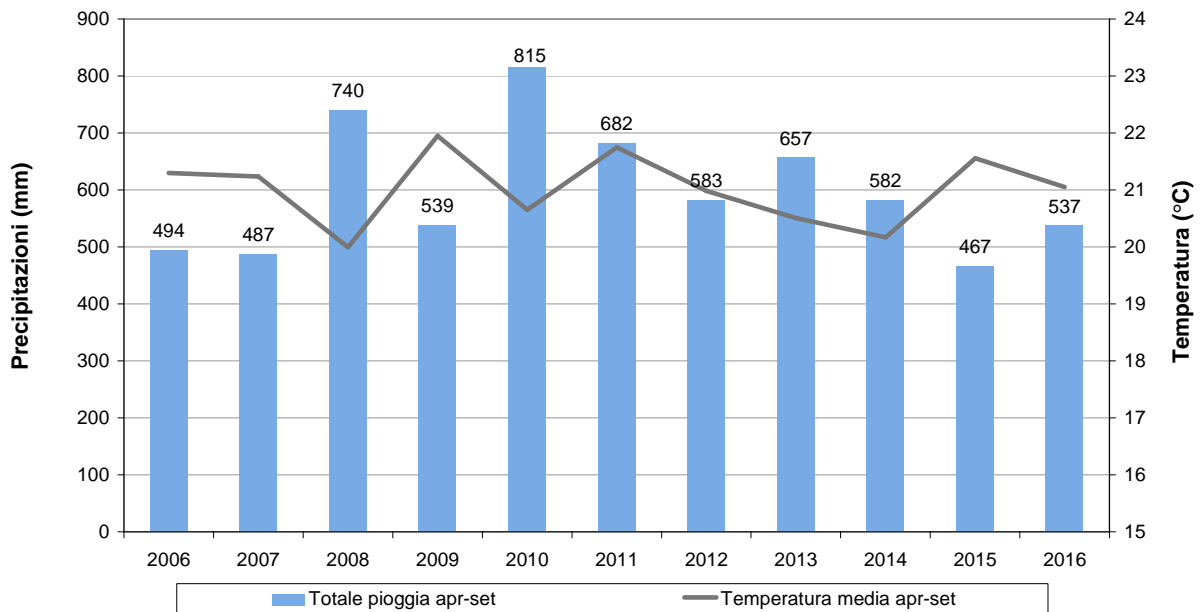


FIGURA 18: temperatura media e somma delle precipitazioni atmosferiche, nel periodo aprile-settembre, anni 2006-2016, stazione di To-Consolata.

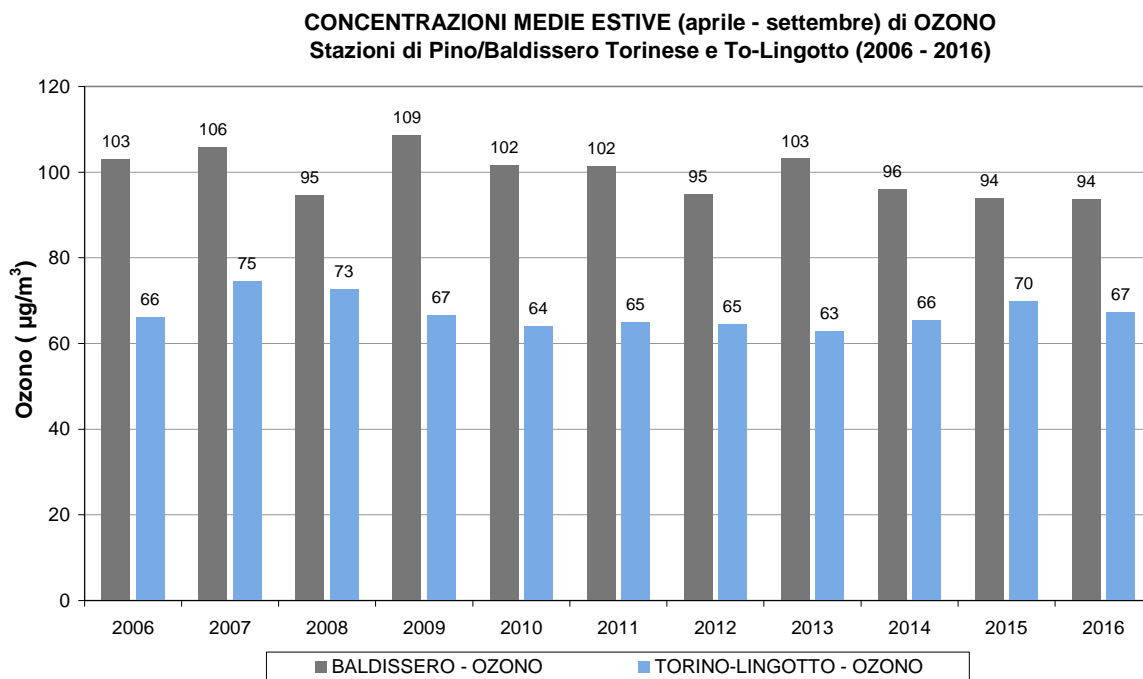


FIGURA 19: ozono, medie del periodo aprile-settembre dal 2006 al 2016 (negli anni 2006 e 2007 i valori considerati sono quelli registrati presso la stazione di Pino Torinese).

## BENZENE

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

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

### DESCRIZIONE

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

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

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

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

Il benzene è una sostanza classificata:

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

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

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

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

VALORE LIMITE		
Periodo medio	Valore limite (293°K e 101,3 kPa)	Data alla quale il valore limite deve essere rispettato
Anno civile	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	1 gennaio 2010

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

### ESAME DEI DATI

La FIGURA 20 mostra, a partire dal 1996, i valori medi annui di Benzene misurati dalle stazioni di To-Consolata e To-Rebaudengo, le due stazioni di traffico presenti nella città di Torino.

Dal 2004 il valore limite (pari a  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  come media annuale) è rispettato anche grazie all'introduzione, da luglio 1998, del limite dell'1% del tenore di benzene nelle benzine ed al progressivo aumento del numero di auto catalizzate sul totale degli autoveicoli circolanti.

La TABELLA 15 evidenzia che le medie annuali del 2016 misurate in tutte le centraline della rete di monitoraggio sono ampiamente sotto il limite di legge, i valori misurati negli ultimi 5 anni sono sostanzialmente stabili e si attestano su concentrazioni inferiori alla metà del valore limite.

**CONCENTRAZIONI MEDIE ANNUE DI BENZENE  
1996 - 2016**

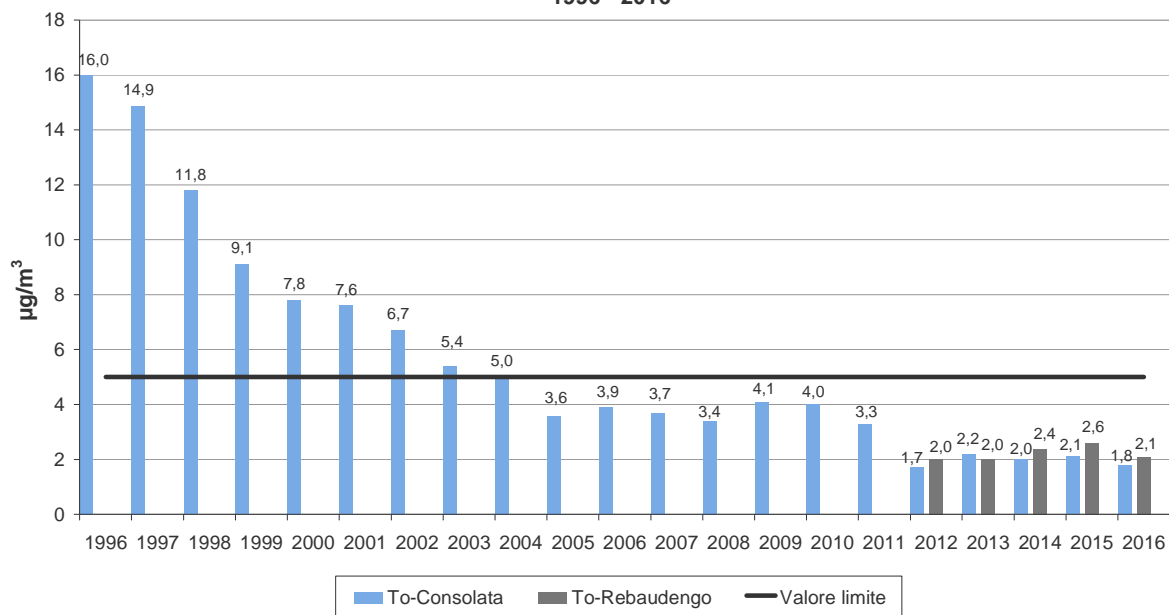


FIGURA 20: concentrazioni medie annue di benzene rilevate negli anni 1996-2016.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2016 (% dati validi)	VALORE MEDIO ANNUO Valore limite annuale: 5 µg/m³									
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Beinasco (TRM)	<b>90%</b>							2,2*	2,1*	1,3	<b>1,3</b>
Borgaro T.se	<b>93%</b>							1,5	1,4	1,3	<b>1,2</b>
Settimo T.se	<b>89%</b>							2,0	2,1	2,3	<b>2,1*</b>
To-Consolata	<b>96%</b>	3,7	3,4	4,1	4	3,3	1,7	2,2	2,0	2,1	<b>1,8</b>
To-Lingotto	<b>85%</b>						1,3	1,2*	1,0	1,1*	<b>1,1*</b>
To-Rebaudengo	<b>95%</b>						2,0	2,0	2,4*	2,6	<b>2,1</b>
To-Rubino	<b>97%</b>				3,3	2,7	2,6	2,5	2,2	2,1*	<b>1,6</b>
Vinovo	<b>95%</b>						1,2	1,7*	1,2*	1,6	<b>1,4</b>

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

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

## PARTICOLATO SOSPESO

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

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

### DESCRIZIONE

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

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

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

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

I valori limite sono riportati nella TABELLA 16

PM10 VALORE LIMITE		
Periodo di mediazione	Valore limite (condizioni di campionamento)	Data entro la quale il valore limite deve essere raggiunto
24 ore	50 µg/m <sup>3</sup> PM10 non superare più di 35 volte per anno civile	1 gennaio 2005
Anno civile	40 µg/m <sup>3</sup> PM10	1 gennaio 2005
PM2,5 FASE 1 <sup>8</sup> - VALORE LIMITE		
Periodo di mediazione	Valore limite (condizioni di campionamento)	Data entro la quale il valore limite deve essere raggiunto
Anno civile	25 µg/m <sup>3</sup> PM2,5	1 gennaio 2015

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

### ESAME DEI DATI

#### Frazione PM10 e PM2,5

Nel 2016 i valori medi annuali diminuiscono rispetto al 2015, così anche il numero di superamenti del valore limite di 24 ore. L'anno 2016 in Piemonte è stato il quinto più caldo dell'intera serie storica di misure dal 1958 ad oggi, con un'anomalia di circa +1,9°C rispetto alla climatologia del periodo 1971-2000.

Nel 2016 sono caduti circa 1118 mm di precipitazione in Piemonte, con un surplus pluviometrico di 69 mm (pari al 7%)<sup>9</sup>. Il numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 è stato il più basso dal 2006 (pari a quelli stimati per il 2008, FIGURA 77); inoltre, analizzando l'andamento mensile dell'indice si osserva, rispetto al periodo 2006-2015, che quasi tutti i mesi dell'anno ricadono tra i minimi (o addirittura al di sotto, come settembre) del periodo esaminato. L'unico mese in cui si rileva una criticità nel numero di giorni favorevoli all'accumulo è dicembre.

<sup>8</sup> Il Decreto Legislativo 155/2010, che ha sostituito il DM 60/2002, ha poi previsto una fase 2 per il PM2,5, da raggiungere entro il 2020, con un valore limite più restrittivo che sarà stabilito con successivo decreto, tenuto conto del valore indicativo di 20 µg/m<sup>3</sup> e delle verifiche effettuate dalla Commissione Europea alla luce di ulteriori informazioni circa le conseguenze sulla salute e sull'ambiente, la fattibilità tecnica e l'esperienza circa il perseguimento del valore obbiettivo negli Stati membri.

<sup>9</sup> Arpa Piemonte Sistemi Previsionali, Il clima in Piemonte - Anno 2016

I dati di PM10 sul lungo periodo (dal 2000, FIGURA 21) presentano un andamento decrescente, con un decremento medio annuale di circa due  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; attualmente i valori medi annuali oscillano intorno ai 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nelle stazioni di Torino e ai 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nelle stazioni esterne alla città di Torino.

In FIGURA 22 si osserva che il valore limite annuale di 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  non viene rispettato esclusivamente nella stazione di Torino–Grassi, come avvenuto nel 2014. Considerando l'insieme delle stazioni metropolitane esistenti e valide in entrambi gli anni 2015-2016, si osserva un decremento delle concentrazioni medie del 10% rispetto al 2015.

In FIGURA 23 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 2016 i mesi più critici sono stati gennaio e dicembre. Nei mesi da aprile a settembre prevalgono condizioni di instabilità atmosferica favorevoli alla dispersione degli inquinanti, per cui anche nelle stazioni più critiche i valori medi mensili risultano al di sotto dei 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

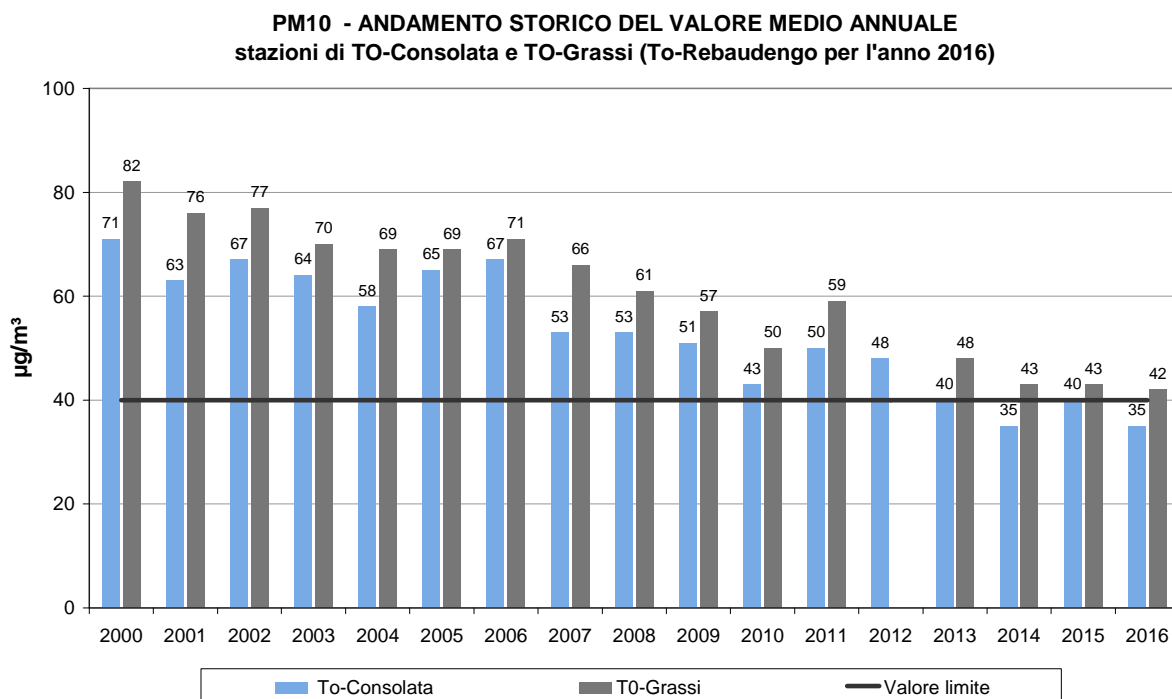


FIGURA 21: parametro PM10, concentrazioni medie annue rilevate nella città di Torino nel periodo 2000-2016 (per l'anno 2016 il dato è relativo a Torino-Rebaudengo).



**PM10 2016**  
**Verifica del rispetto del valore limite annuale per la protezione della salute**

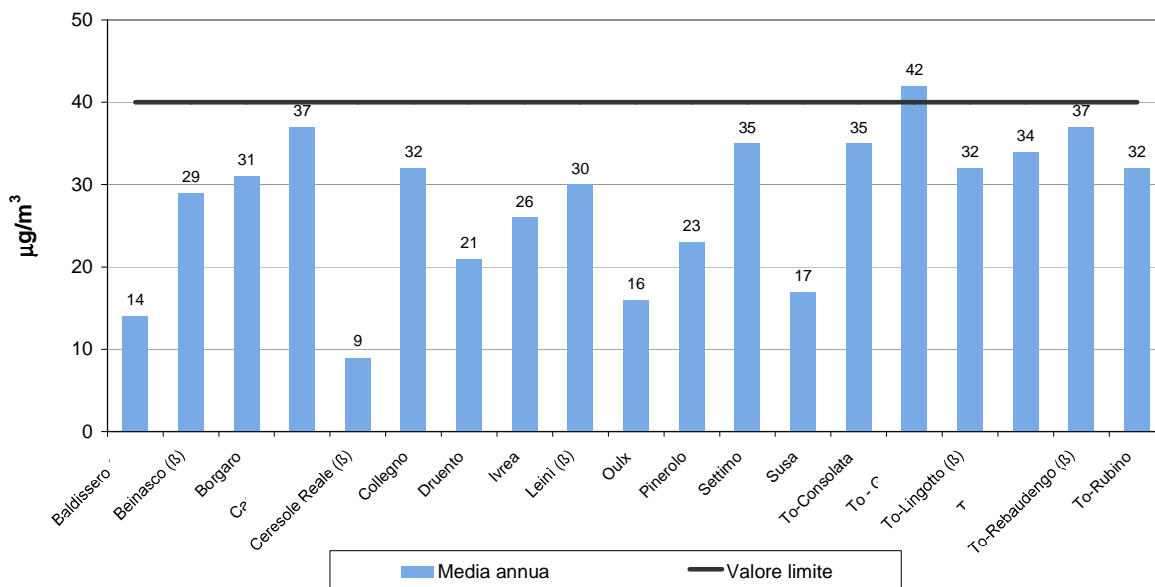


FIGURA 22: valore medio annuale misurato presso le stazioni di monitoraggio metropolitane.

**PM10 2016**  
**Confronto fra le medie mensili e le precipitazioni**

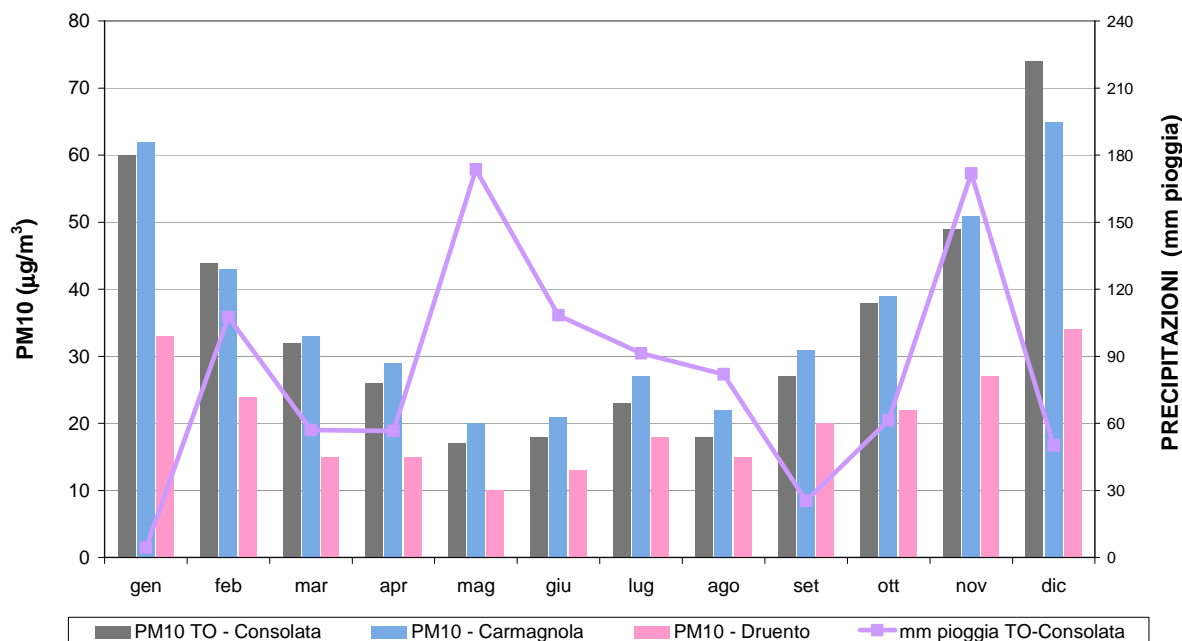


FIGURA 23: andamento delle precipitazioni atmosferiche e delle concentrazioni di PM10 in alcune stazioni della città metropolitana di Torino nell'anno 2016.

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 annuale<sup>10</sup> e pertanto nella maggior parte delle stazioni non è rispettato (FIGURA 24). Il numero maggiore di superamenti del limite giornaliero si è verificato a Torino-Grassi ed è stato pari a 89, seguita da Torino-Consolata con 75 superamenti, entrambe stazioni di traffico, ma anche nelle stazioni di fondo urbano di Torino-Lingotto e Torino-Rubino la situazione si mostra critica con 62

<sup>10</sup> Si veda il capitolo ANALISI DEL RAPPORTO DI CORRELAZIONE FRA MEDIA ANNUALE E NUMERO DI SUPERAMENTI DEL VALORE LIMITE PER IL PARTICOLATO PM10 – LA SITUAZIONE NELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO NEL QUADRO EUROPEO, Uno sguardo all'aria 2014

e 65 superamenti rispettivamente. Al di fuori di Torino le stazioni più critiche sono quelle di Carmagnola (73 superamenti) e Settimo Torinese (70). La stazione di monitoraggio di Carmagnola si trova in un sito influenzato dall'intenso traffico veicolare di due arterie stradali importanti, la SR 20 e SP129, nel quale è rilevante la circolazione di veicoli pesanti. I veicoli pesanti sono alimentati quasi esclusivamente dal carburante diesel, la cui combustione è la principale sorgente di PM10 primario derivante da traffico veicolare, pertanto questo ha determinato concentrazioni di particolato molto elevate. Un contributo rilevante può derivare inoltre dal particolato secondario originato da ammoniaca e composti organici volatili non metanici, le emissioni dei quali a Carmagnola sono tra le maggiori nel territorio provinciale<sup>11</sup>.

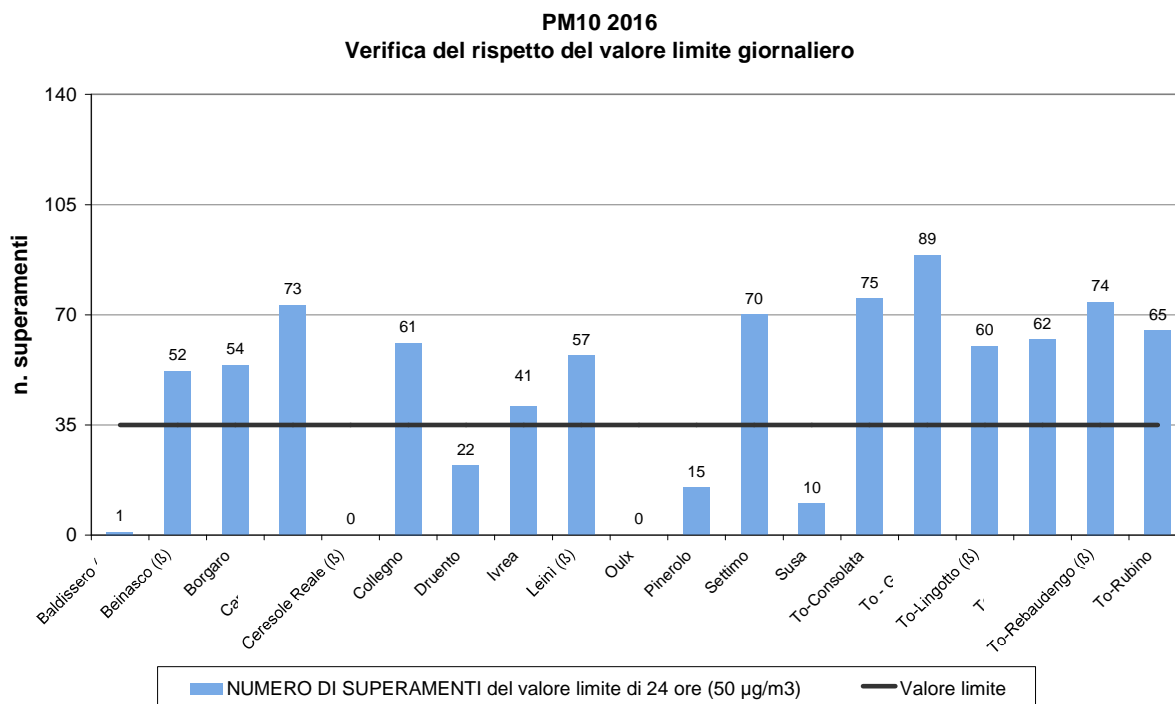


FIGURA 24: parametro PM10, numero di superamenti del limite di 24 ore per la protezione della salute (50 µg/m<sup>3</sup> come media giornaliera).

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/m<sup>3</sup> come media annua da raggiungere entro il 1 gennaio 2015. La direttiva europea sulla qualità dell'aria ambiente ha inoltre stabilito un obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione umana per il PM2,5 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 Torino -Lingotto per valutare se l'obiettivo nazionale di riduzione dell'esposizione è stato raggiunto. L'IEM serve anche per stabilire se l'obbligo di concentrazione dell'esposizione, stabilito a 20 µg/m<sup>3</sup> da raggiungere entro l'anno 2015, sia stato rispettato. La rete della città metropolitana di Torino nel corso degli anni è stata arricchita di numerosi campionatori, infatti oltre a quelli "storici" delle stazioni di To-Lingotto e Leini, attivi da undici anni, attualmente il monitoraggio del PM2,5 avviene in ulteriori sette siti, scelti per rappresentare varie situazioni emissive (TABELLA 17). Da settembre 2012 inoltre Arpa Piemonte gestisce la stazione di Beinasco-Aldo Mei, di proprietà TRM, installata per monitorare la zona di massima ricaduta dell'inceneritore. Dal 2014 si è aggiunta la stazione di To-Rebaudengo.

Rispetto al 2015 la concentrazione media di PM2,5 su base annuale è diminuita ed al di sotto del valore limite in tutte le stazioni, tranne quella di Settimo Torinese, l'unica che ha sempre superato il limite da quando è attiva. La stazione di Torino-Rebaudengo non ha fornito un numero di dati

<sup>11</sup> IREA - Inventario Regionale delle Emissioni in Atmosfera (<http://www.sistemapiemonte.it/cms/privati/ambiente-e-energia/servizi/474-irea-inventario-regionale-delle-emissioni-in-atmosfera>)

sufficiente per la statistica annuale. 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. 2016 (% giorni validi)	PM2,5 - VALORE MEDIO ANNUO									
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Beinasco – TRM (B)	97%	-	-	-	-	-	38*	25	23	26	<b>23</b>
Borgaro	96%	-	-	-	25*	33	31	27	23	26	<b>23</b>
Ceresole Reale (B)	96%	-	-	-	-	-	5*	5*	4	6*	<b>7</b>
Chieri	100%	-	-	-	-	-	43*	28	22	24	<b>22</b>
Ivrea	97%	-	-	-	-	28*	27	24*	19*	24	<b>20</b>
Leinì (B)	91%	40*	35*	34*	29*	29*	29*	26	22	30	<b>24</b>
Settimo	97%	-	-	-	-	-	37	33	26	31	<b>26</b>
To-Lingotto	95%	36*	35	33	29	35	33	29	24	27*	<b>23</b>
To-Rebaudengo	80%	-	-	-	-	-	-	-	25*	27*	<b>29*</b>

(\*) Rendimento strumentale inferiore al 90%

TABELLA 17: parametro PM2,5, valutazione statistica anni 2007-2016.

In FIGURA 25 sono riportati i valori mensili di PM2,5 a confronto con quelli di PM10 a To-Lingotto, prendendo in considerazione solo i giorni in cui entrambi gli strumenti erano funzionanti.

In questa stazione, ed in generale in quelle di fondo urbano, la frazione più fine incide mediamente in maniera maggiore nei mesi freddi, mentre nei mesi estivi è percentualmente meno alta rispetto al PM10. Nel 2016 nella stazione di Torino Lingotto il PM2,5 costituisce in media circa il 71% del PM10 nel semestre freddo e il 60% nel semestre caldo.

**PM10 E PM2,5 CONFRONTO DELLE MEDIE MENSILI**  
Stazione di Torino Lingotto - anno 2016

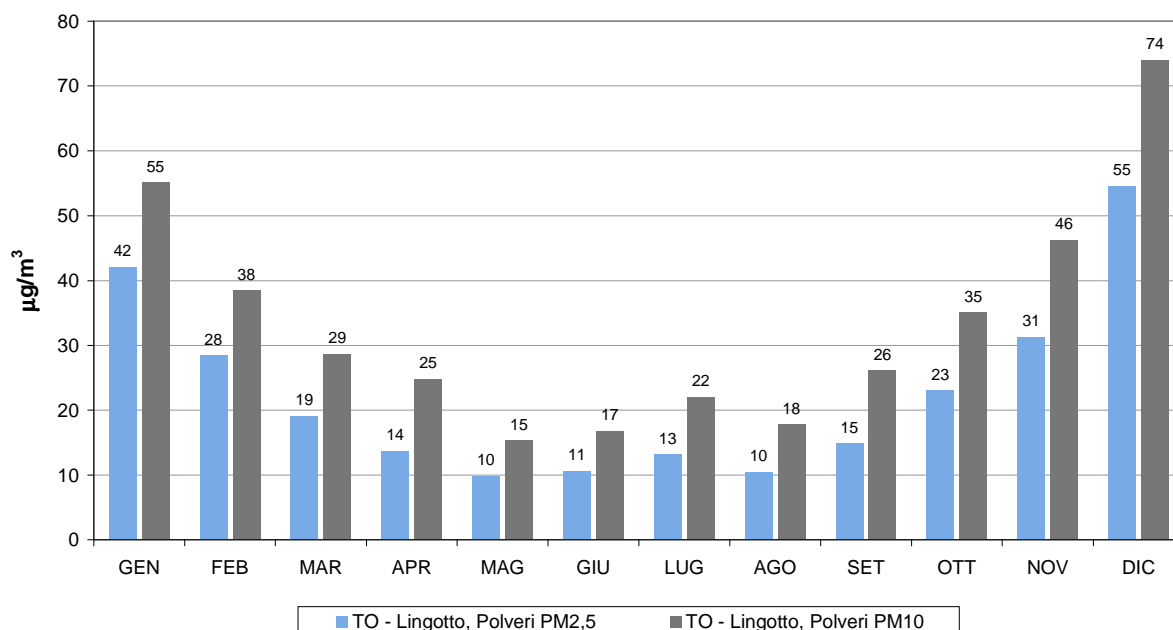


FIGURA 25: confronto tra PM2,5 e PM10 presso la stazione di Torino – Lingotto.

Tale fenomeno, confermato dalle analisi sulla serie storica, è attribuibile al fatto che la componente secondaria del particolato si concentra maggiormente nella frazione PM2,5 ed è maggiore in periodo invernale rispetto a quello estivo. Da analisi eseguite in un sito urbano nell'area metropolitana torinese è risultato che nel periodo freddo la componente secondaria rappresenta il 61 % del PM2,5, mentre nel periodo caldo cala al 49.5%<sup>12</sup>.

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

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  $1,5 \mu\text{m}$  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 particolato<sup>13</sup>. Nei mesi freddi aumenta inoltre l'emissione di ossidi di azoto a causa dell'accensione degli impianti di riscaldamento e sono meno intensi i processi di fotolisi dell'acido nitrico aerodisperso, la cui presenza è necessaria alla formazione dei nitrati in fase particellare.

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

Il ruolo dell'irraggiamento solare quale fattore influenzante la formazione del particolato più fine è più evidente nella stazione di Ceresole Reale, lontana da fonti di emissione e posta a una quota più elevata dell'altezza dello strato rimescolato invernale, da cui hanno origine le elevate concentrazioni del particolato misurate in pianura durante i mesi freddi. In questa stazione si osserva che l'andamento delle medie mensili è opposto a quello delle stazioni collocate in ambiti urbani di pianura: mentre in queste ultime i valori massimi di PM<sub>2,5</sub> si registrano in inverno, a Ceresole i valori mensili massimi si verificano nella stagione estiva, in corrispondenza della massima insolazione, come si può osservare in FIGURA 26.

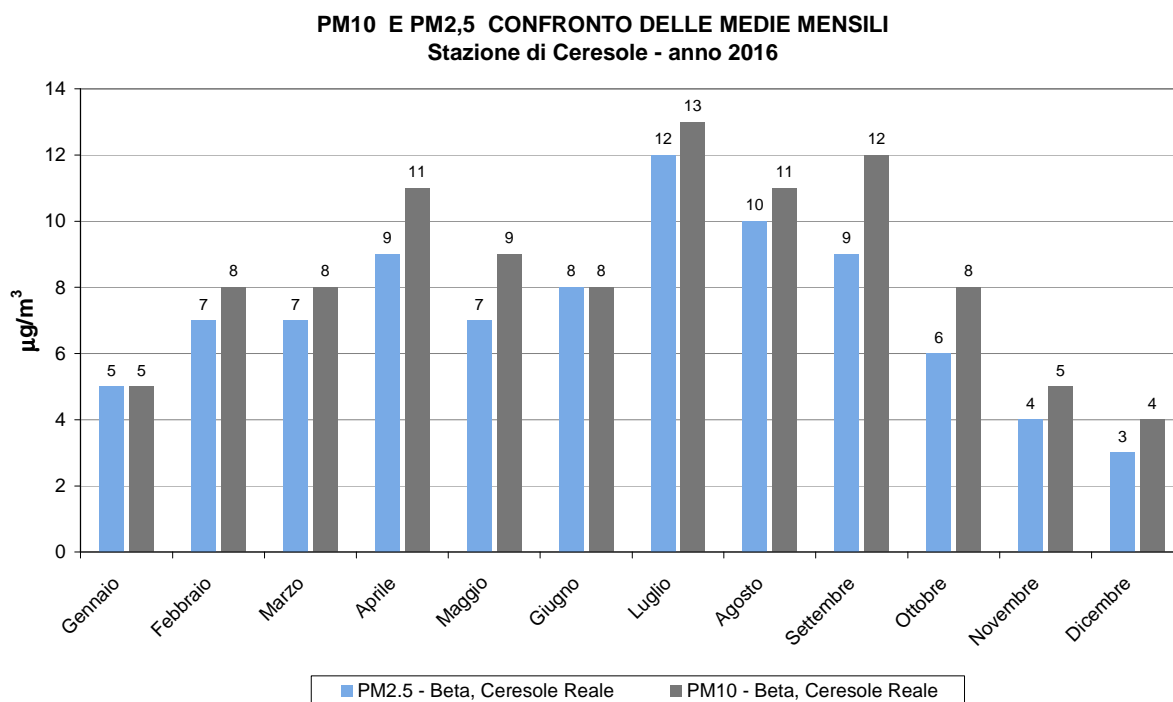


FIGURA 26: confronto tra PM<sub>2,5</sub> e PM<sub>10</sub> presso la stazione di Ceresole Reale.

#### 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

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

scopo nel maggio 2013 è stato installato nella stazione di To-Rubino uno strumento che fornisce la misura del PM10 e PM2,5 orario 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 2016, come nei due anni precedenti, indicano un'ottima correlazione dei dati giornalieri e confermano la validità del dato acquisito dall'analizzatore automatico (FIGURA 27), seppure a fronte di una sottostima delle concentrazioni dell'ordine del 10%<sup>14</sup>.

In FIGURA 28 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 10 del mattino e alle 22 con valori intorno ai 45 µg/m<sup>3</sup>. I minimi si hanno intorno alle 5-6 del mattino, quando le emissioni sono meno intense, e tra le 15 e le 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 andamento analogo con picchi alle 10 e alle 21, rispettivamente di 39 e 35 µg/m<sup>3</sup>. L'andamento del biossido di azoto, anch'esso inquinante di natura prevalentemente secondaria, presenta i massimi anticipati di un'ora rispetto al particolato (FIGURA 29). 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 leggermente superiore a quello serale, a differenza dell'anno precedente, quando i due picchi mattutino e serale presentavano una concentrazione praticamente identica. Questo fenomeno nel 2015 era imputabile alla particolare criticità del periodo ottobre-dicembre del 2015, in cui il picco serale è stato molto più pronunciato di quello mattutino, a causa delle persistenti condizioni di stabilità atmosferica, con inversioni termiche notturne ed anche in molte ore del giorno verificatesi da fine ottobre a tutto dicembre. Nel 2016 l'ultimo trimestre dell'anno ha presentato condizioni di stabilità atmosferica, ma non della stessa persistenza rispetto al 2015, ed il picco serale registra gli stessi valori di quello mattutino (FIGURA 30).

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 massimi di PM10 e PM2,5 dalle 20 alle 22 ed un altro picco di minore entità alle 9 del mattino. Si può notare, inoltre, nel profilo del PM10, che i valori dall'una alle 7 del mattino sono praticamente identici 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 (25 e 19 µg/m<sup>3</sup> rispettivamente) si verificano nel pomeriggio alle 15-16 in corrispondenza alle ore di maggiore rimescolamento atmosferico e rappresentano concentrazioni di fondo urbano che è molto difficile ridurre, se non con interventi drastici per il contenimento delle emissioni di particolato primario e dei precursori gassosi del particolato.

---

<sup>14</sup> Nelle condizioni di misura tipiche della Pianura Padana, in cui gli episodi di picco di particolato aerodisperso sono caratterizzati da una elevata componente secondaria, gli analizzatori a radiazione beta possono presentare sottostime del valore di PM10 a causa della perdita di composti semivolatili (in particolare nitrato d'ammonio) dovuta al riscaldamento dello strumento. Poiché di norma tali composti sono tanto più presenti quanto maggiore è il valore di concentrazione, la sottostima risulta percentualmente maggiore in presenza di concentrazioni più elevate.

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 2.6 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 (dalle 19 alle 3 di notte) sono più alti della media, in conseguenza della maggiore stabilità atmosferica notturna. Il fenomeno è visibile in particolar modo nel trimestre ottobre-dicembre, come accaduto nel 2015 (FIGURA 31).

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 2016**

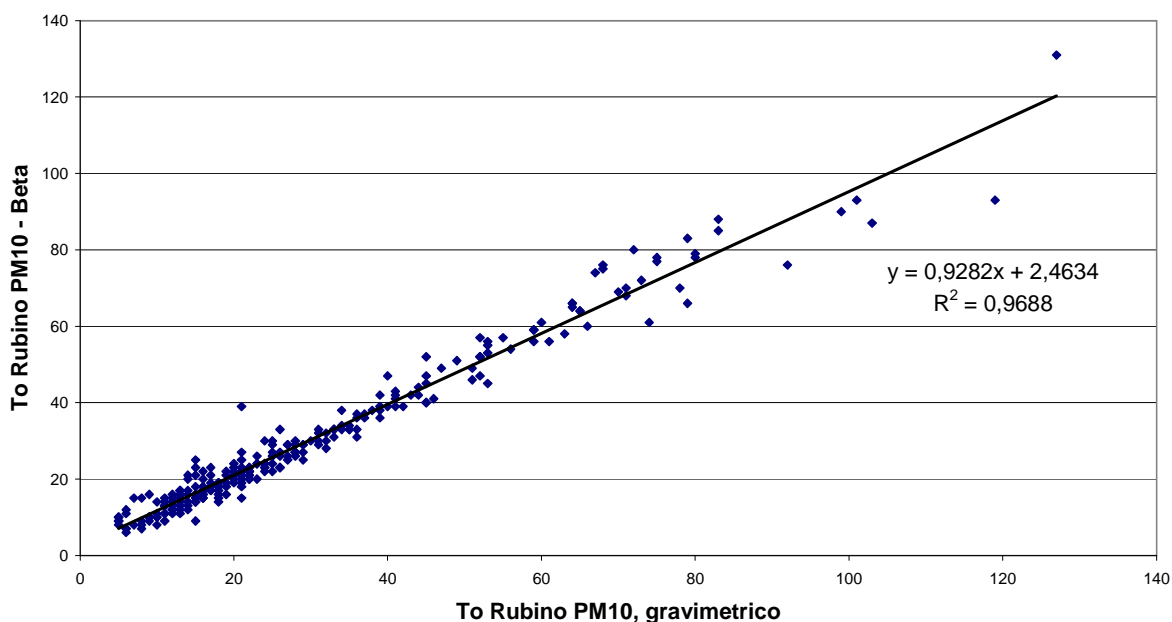


FIGURA 27: Correlazione tra i dati giornalieri del PM10 di Torino – Rubino misurati con tecnica gravimetrica e analizzatore a raggi beta.

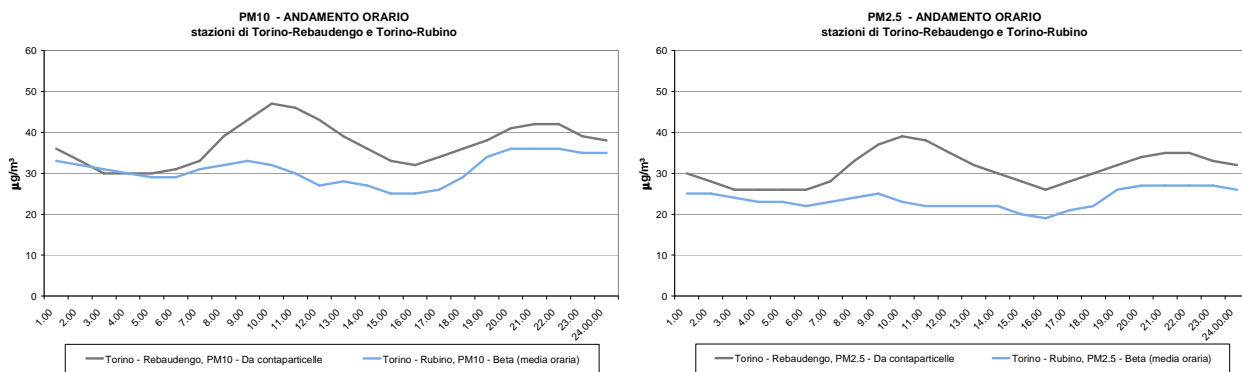


FIGURA 28: giorno tipo annuale di PM10 e PM2,5 a Torino - Rebaudengo e Torino - Rubino, anno 2016.

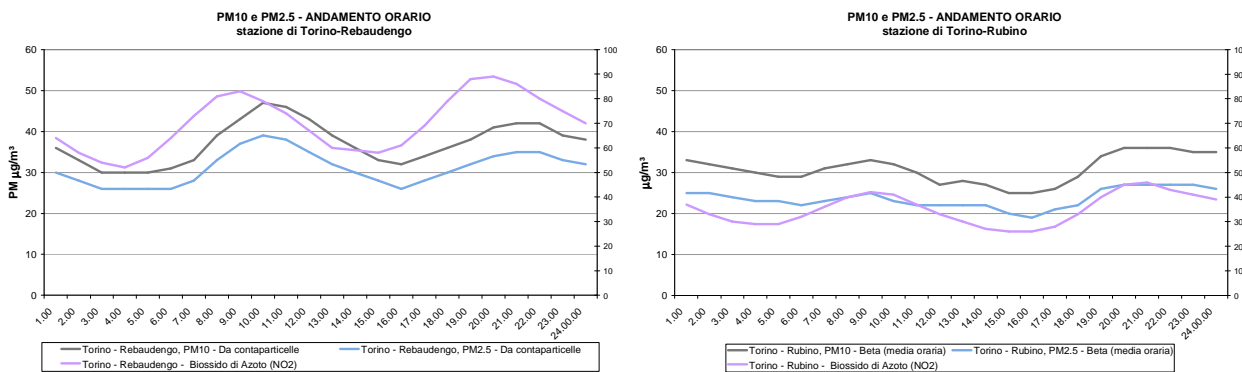


FIGURA 29: giorno tipo annuale di PM10 e PM2,5 a Torino - Rebaudengo e Torino - Rubino, confronto con le medie di NO<sub>2</sub>, anno 2016.

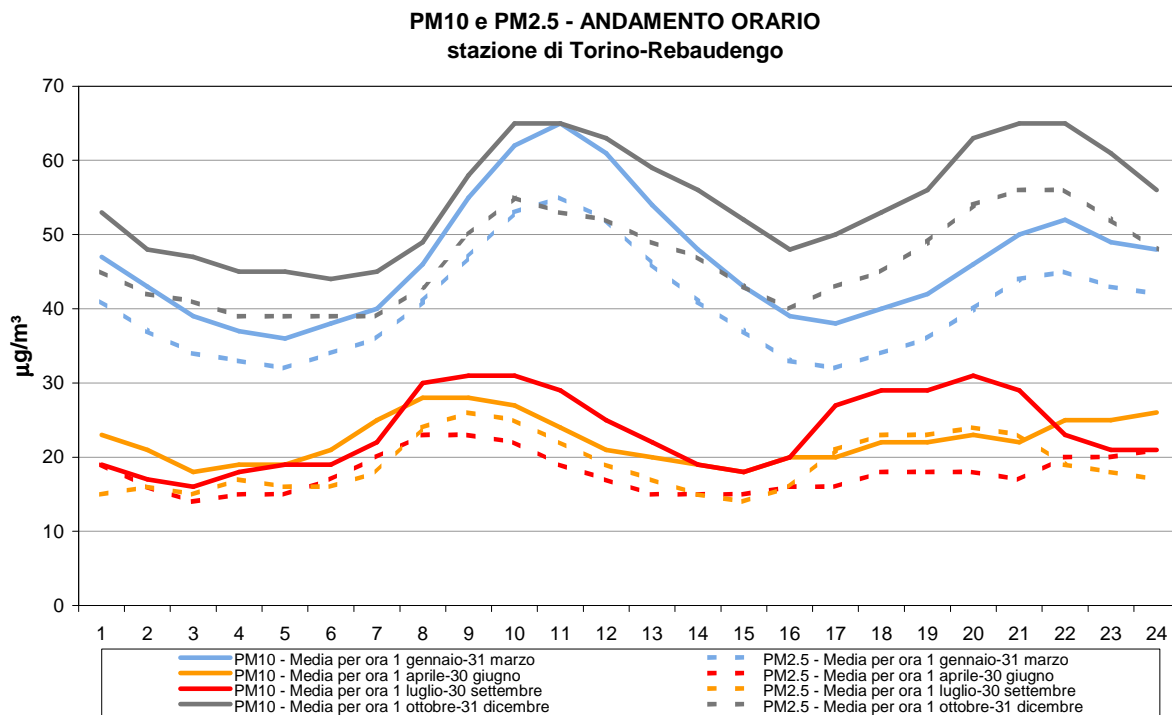


FIGURA 30: giorno tipo per trimestri di PM10 e PM2,5 a Torino - Rebaudengo, anno 2016.

**PM10 e PM2.5 - ANDAMENTO ORARIO**  
**stazione di Torino-Rubino**

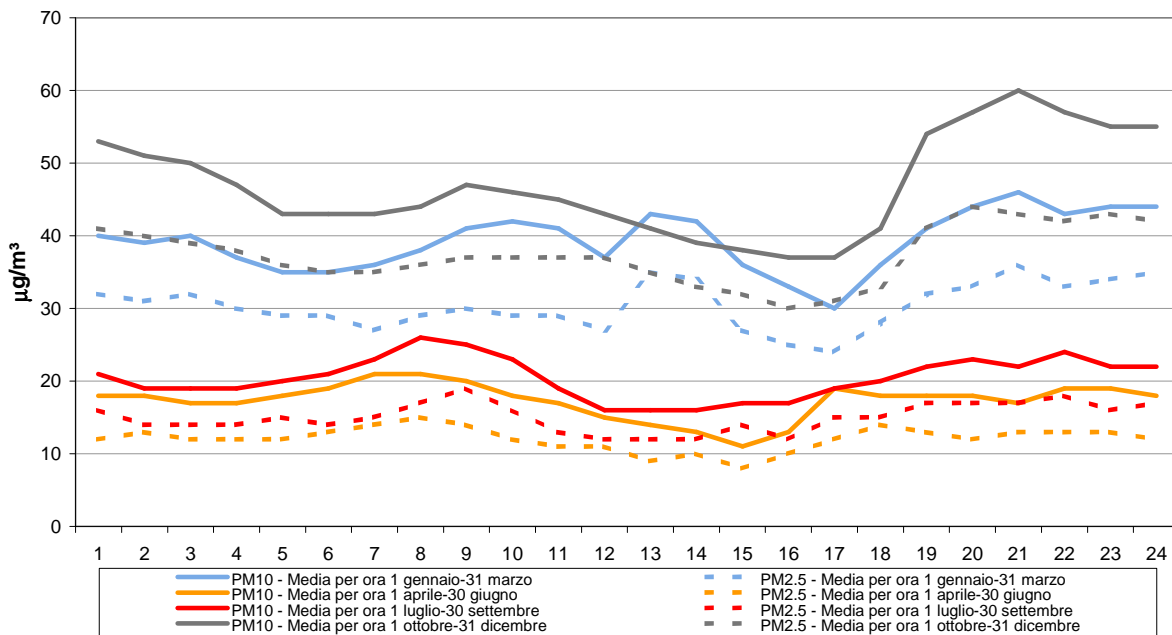


FIGURA 31: giorno tipo per trimestri di PM10 e PM2,5 a Torino - Rubino, anno 2016.

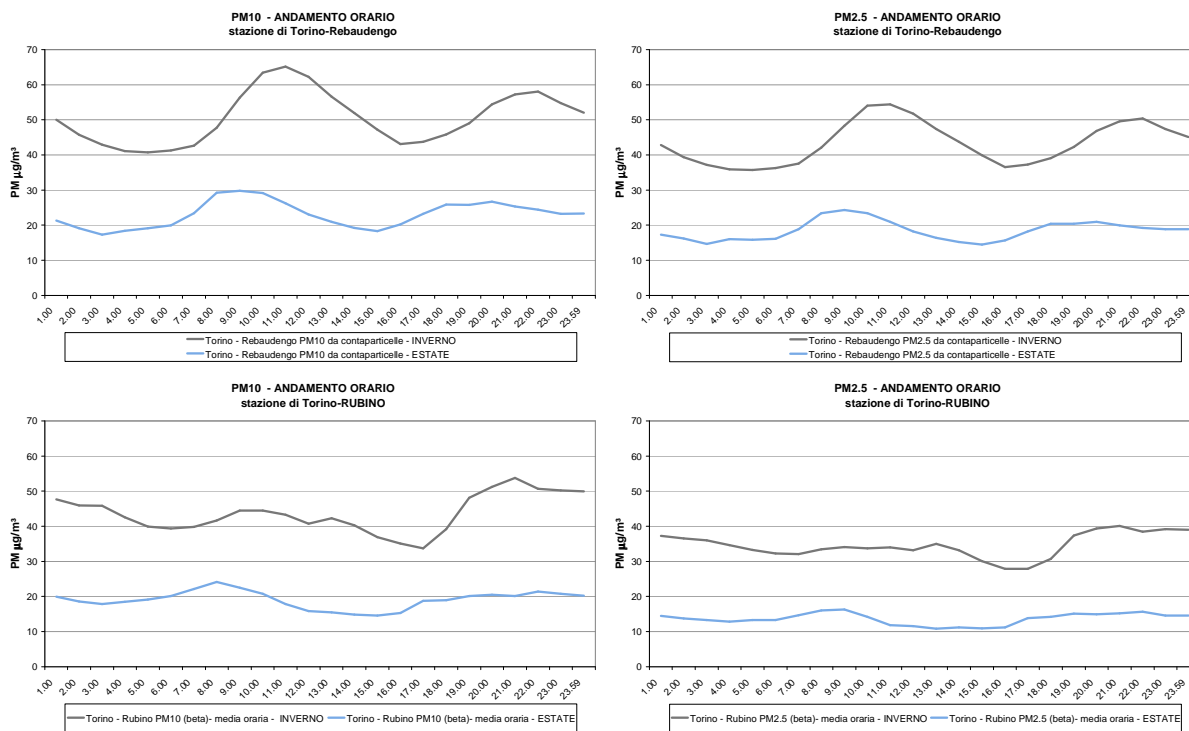


FIGURA 32: PM10 e PM2,5 orari confronto tra il giorno medio invernale ed estivo - anno 2016.



## PARTICELLE SOSPESSE TOTALI

L'attenzione normativa si è incentrata negli ultimi anni sulla frazione di particolato PM10 e PM2,5, in quanto gli studi tossicologici ed epidemiologici hanno evidenziato che le particelle di minori dimensioni sono quelle più dannose per la salute umana. Le particelle sospese totali, che precedentemente al recepimento delle Direttive Europee costituivano il parametro di riferimento di legge, sono ancora misurate presso la stazione in via Consolata a Torino. L'esame dell'andamento della concentrazione delle polveri totali, vista la lunga serie storica di dati, è utile per avere un'indicazione del trend relativo al PM10 anche in periodi nei quali questo parametro non veniva misurato. Infatti, come si osserva in FIGURA 33 nella quale per la stazione di Torino - Consolata sono riportate le medie annuali di PTS e PM10, il PM10 costituisce circa il 70% delle polveri totali.

In FIGURA 33 per il PTS sono riportate le concentrazioni medie annue rilevate in quasi 40 anni di monitoraggio. I valori che si misurano oggi sono molto minori rispetto agli anni '80; 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, si è toccato il minimo storico proprio nel 2016 in cui la media annuale è stata di 43  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , confermando il trend in miglioramento su lungo periodo.

La diminuzione registrata rispetto ai primi anni di rilevamento è stata ottenuta grazie al trasferimento all'esterno dell'area metropolitana e alla chiusura di alcuni impianti industriali di notevole impatto ambientale, alla progressiva sostituzione con il metano di combustibili altamente inquinanti, quali l'olio combustibile e il carbone, alla diminuzione del biossido di zolfo, precursore del particolato e ai miglioramenti tecnologici nelle emissioni degli autoveicoli.

**CONCENTRAZIONI MEDIE ANNUE DI PARTICOLATO TOTALE SOSPESO**  
Stazioni di Torino (1980-2016)

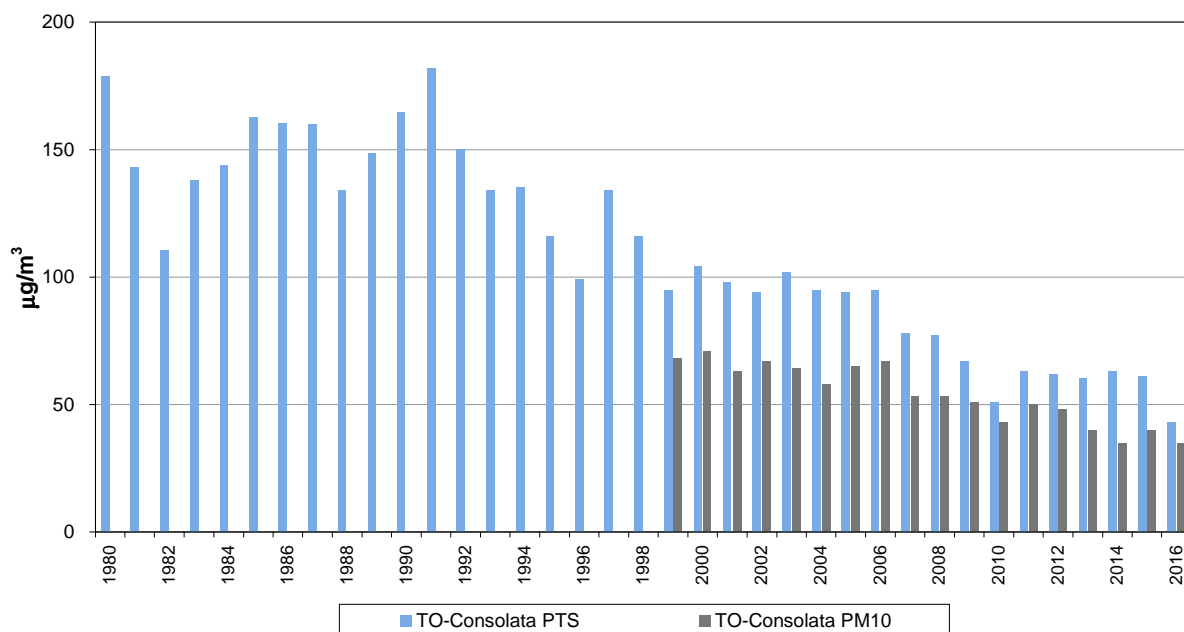


FIGURA 33: parametro PTS, medie annuali misurate nelle stazioni di Torino dal 1980 al 2016.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2016 (% 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)									
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Baldissero (B)	98%	22	22	19	20	23	21	17	14*	17	14	16	31	16		33	17	9	6*		1
Beinasco-TRM (B)	97%						48*	33	30	33	29					37*	70	47	68		52
Borgaro	96%	46	43	41	37	43	42*	35*	31*	35*	31	118	93	101	83	107	90*	75*	44*	71*	54
Carmagnola	98%	50*	48	50	44	49	50	42	36	41	37	130*	124	131	118	130	137	109	82	107	73
Ceresole Reale (B)	96%				6*	7*	7	6*	5	7	9				0*	0*	0	0*	0	0	0
Collegno	98%						33*	36	32	36	32					50*	83	61	81		61
Druento	99%	32	32	32*	27	31	28	24	19	23	21	63	56	52*	38	63	45	29	11	23	22
Ivrea	92%	39*	34	33	28	35	34	27	23	28	26	89*	73	71	53	82	71	52	30	55	41
Leinì (B)	96%	46*	44*	39*	35*	36*	33	29	25	36	30	97*	94*	81*	61*	74*	66	59	35	84	57
Oulx	97%	20	20*	18	19	20	17	18	17*	18*	16	6	18*	3	13	11	3	6	5*	7*	0
Pinerolo	94%	37	36	32*	28*	32	29	26		21	23	74	66	61*	29*	57	54	33		11	15
Settimo	91%						44	39	34	39	35					111	88	81	98		70
Susa	97%	22	25	21	22	23	21	18	16	18	17	27	39	16	21	24	15	10	1	11	10
To-Consolata	98%	53	53	51	43	50	48	40	35	40	35	146	124	123	102	134	118	100	75	93	75
To-Grassi	94%	66	61	57	50	59	60*	48	43*	52*	42	190	150	151	131	158	103*	126	77*	75*	89
To-Lingotto (B)	91%	61*	43	41	34	48*	41*	34	31	36	32	147*	90	92	72	95*	90*	69	56	85	60
To-Lingotto	90%				36	44	42	38	32	38	34				80	106	94	89	59	86	62
To-Rebaudengo	93%							37*	40	43	37							53*	94	101	74
To-Rubino	98%	47*	43	44*	39	47	40*	35	31	36	32	95*	90	96*	83	111	83*	87	58	84	65

(\*) Rendimento strumentale inferiore al 90%

TABELLA 18: parametro PM10, valutazione statistica anni 2007-2016.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2016 (% giorni validi)	PTS – VALORE MEDIO ANNUO									
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
To-Consolata,	96	78*	77*	67*	51	63	62*	60*	63*	61*	43

(\*) Rendimento strumentale inferiore al 90%

TABELLA 19: parametro polveri totali (PTS), valutazione statistica anni 2007-2016.

## MUTAGENICITÀ DEL PM<sub>2,5</sub>

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

**D. Marangon - Laboratorio Specialistico Nord-Ovest.**

### DESCRIZIONE

Il particolato atmosferico, in particolare nella sua frazione più fine, è una complessa miscela di composti chimici di differente tossicità per l'uomo sia considerati singolarmente, sia soprattutto 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 a dei test 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.

Nell'anno 2016 è stata condotta una campagna di monitoraggio della mutagenicità del PM<sub>2,5</sub> a livello regionale. La frazione del particolato atmosferico con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm rappresenta, infatti, la componente più pericolosa per la salute essendo in grado di superare le prime vie respiratorie e raggiungere i distretti polmonari più profondi. 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 e alla precedente esperienza maturata nella valutazione della mutagenicità del PM<sub>10</sub>, 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 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.

Lo studio è stato eseguito complessivamente su nove stazioni fisse appartenenti alla rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria. I campionamenti relativi alla provincia di Torino sono stati effettuati presso le Stazioni Torino Lingotto (fondo urbano) e Settimo Vivaldi (Traffico).

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

Il risultato è stato espresso come rapporto di mutagenicità (MR) riferito a 20 m<sup>3</sup> di aria (quantità media respirata quotidianamente da un adulto). Il rapporto di mutagenicità confronta la risposta del campione con quella ottenuta su un controllo negativo. I campioni sono considerati positivi quando la risposta del campione è doppia rispetto al controllo, ciò si osserva con un rapporto di mutagenicità pari a 1.

Inoltre all'aumentare della dose testata si deve osservare un proporzionale aumento della risposta del microorganismo indicatore. 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 a costituire il Fattore di Genotossicità (FG).

### ESAME DEI DATI

I risultati evidenziano la costante presenza di sostanze mutagene, mostrando un tipico andamento stagionale, con picchi di massima attività mutagena nel periodo invernale per raggiungere valori minimi nel periodo estivo (FIGURA 34 e FIGURA 35).

I diversi ceppi utilizzati, in presenza o assenza di attivatore metabolico, hanno risposto positivamente fornendo un quadro articolato. In particolare, il ceppo TA98 ha fornito risultati di mutagenicità più elevati durante l'intero periodo di monitoraggio e in tutte le stazioni analizzate.

La risposta ottenuta con il ceppo TA98 in assenza di attivatore metabolico è complessivamente maggiore di quella ottenuta in presenza di attivatore metabolico S9, indicando una prevalenza di mutageni che agiscono sul DNA con un meccanismo d'azione diretto (ad esempio i nitro-IPA). Il ceppo TA100 ha fornito una risposta complessiva più bassa, anche se il trend è sovrapponibile a quello riscontrato con il ceppo TA98.

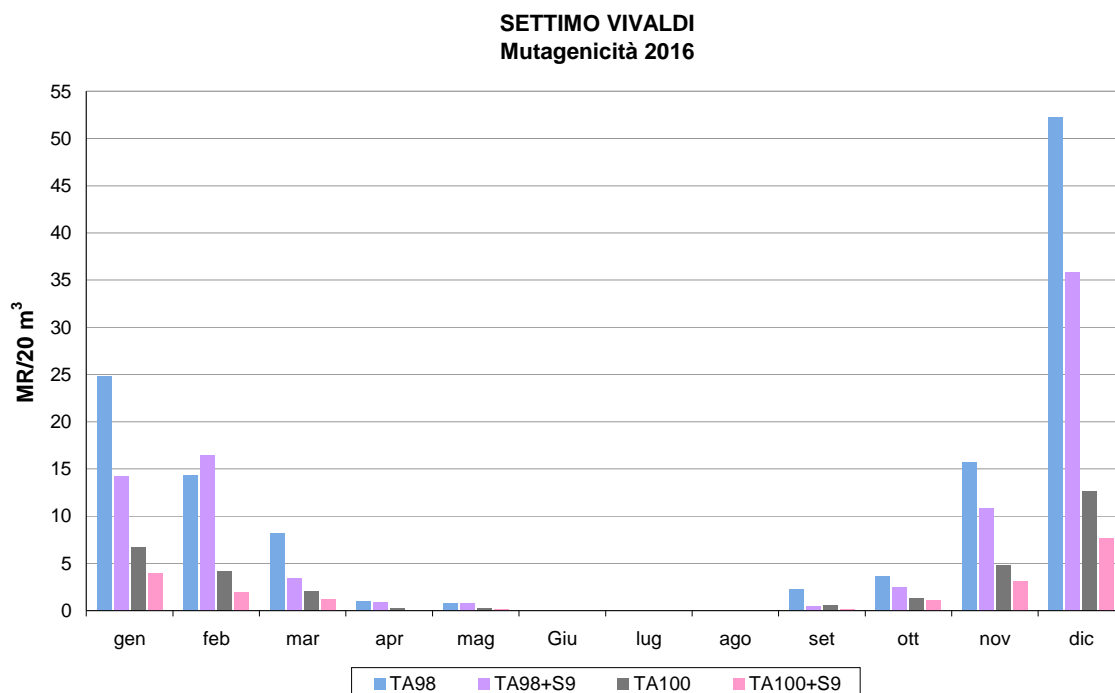


FIGURA 34: mutagenicità rilevata nella stazione di Settimo Vivaldi.

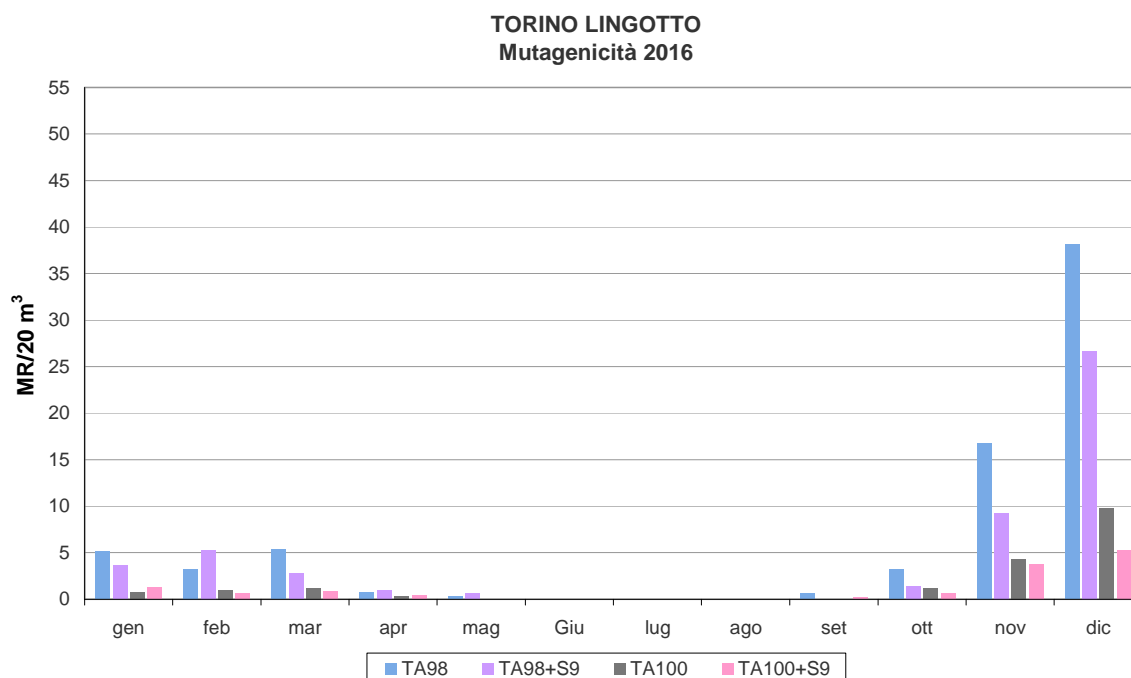


FIGURA 35: mutagenicità rilevata nella stazione di Torino Lingotto.

La mutagenicità complessiva riscontrata nella stazione di Settimo Vivaldi (traffico) è significativamente maggiore di quella della stazione Torino Lingotto (fondo urbano). In particolare nei mesi di gennaio e febbraio la differenza tra i due siti è particolarmente elevata (FIGURA 36). Il mese di dicembre mostra i valori di mutagenicità più elevati di tutto il periodo in esame.

**MUTAGENICITA' COMPLESSIVA 2016**

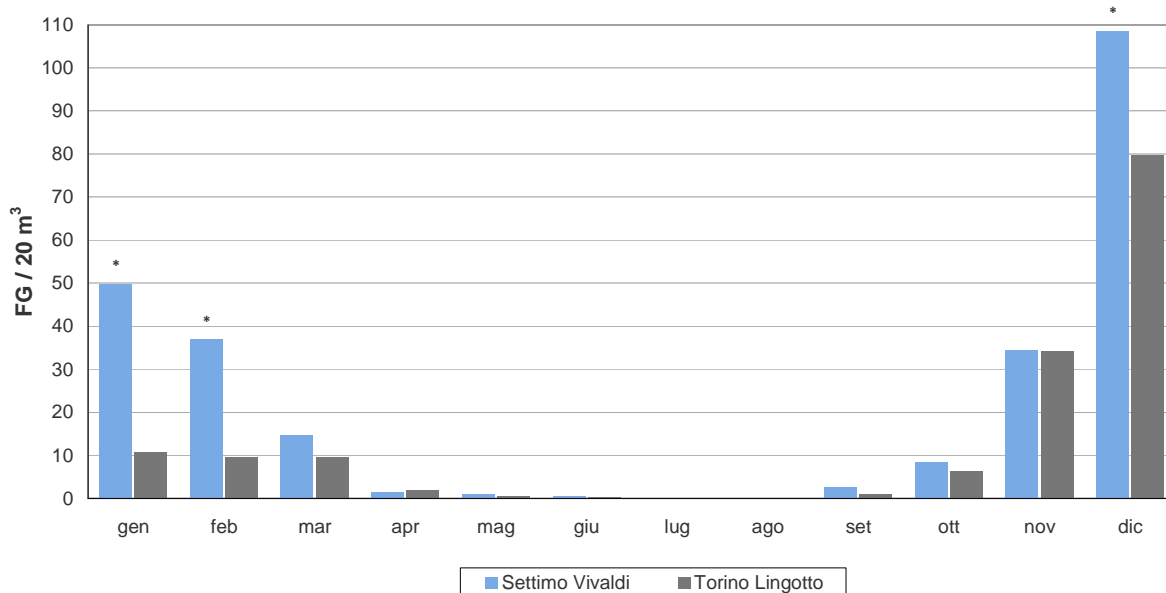


FIGURA 36: mutagenicità complessiva - confronto tra le stazioni di Settimo Vivaldi e Torino Lingotto.

Le attività di controllo della mutagenicità del PM10 eseguite in passato dal laboratorio di Grugliasco sulla stazione di via della Consolata a Torino rendono possibili confronti con i valori ottenuti sul PM2,5 nel 2016.

Considerando che il PM10 'contiene' anche la frazione <2,5 µm e che quest'ultima è quasi interamente responsabile della mutagenicità del PM si ritiene possibile tale confronto. Il grafico seguente (FIGURA 37) mostra i risultati ottenuti dal 2005 al 2007 sul PM10 della stazione di Torino-via della Consolata e i valori ottenuti sulle stazioni di Settimo e Torino-Lingotto nel 2016.

**CONFRONTO STAZIONI NEL TEMPO (media annuale)**

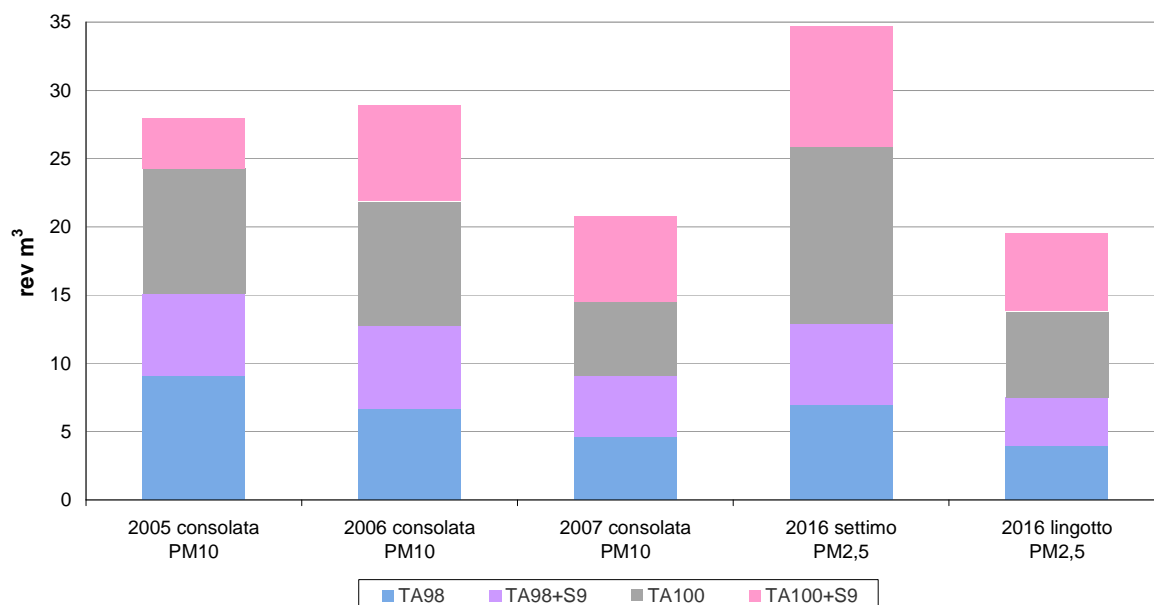


FIGURA 37: confronto dei dati ottenuti nei campioni di PM2,5 con quelli ottenuti in passato (PM10) a Torino.

La stazione di Torino Lingotto (fondo urbano) mostra valori di mutagenicità comparabili con quelli della stazione di via della Consolata (traffico urbano) del 2007. I valori riscontrati a Settimo (traffico urbano) sono superiori ai valori riscontrati negli anni precedenti.

I dati in nostro possesso, infine, sono stati aggregati per costruire Indici di Qualità Ambientali (IQA). Ci siamo serviti di curve di qualità ambientale che sono descritte da equazioni, che permettono di passare rapidamente dai valori dei parametri ambientali rilevati (MR, FG) a valori di qualità espressi tramite 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 20 mostra la situazione complessiva ottenuta adottando tali indici.

	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
<b>Torino</b>	0,42	0,44	0,44	0,72	0,92	1,00	1,00	1,00	0,86	0,52	0,23	0,08
<b>Settimo</b>	0,16	0,21	0,37	0,76	0,82	0,95	1,00	1,00	0,66	0,46	0,22	0,03

TABELLA 20: IQA stazioni di Torino Lingotto e Settimo Vivaldi.

### CONSIDERAZIONI FINALI

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 si sommano alle quelle prodotte dal traffico veicolare incrementando la concentrazione di sostanze mutagene nell'ambiente.

La risposta positiva ottenuta in tutte le condizioni analitiche e con entrambi i ceppi evidenzia che la matrice analizzata è effettivamente complessa e caratterizzata dalla presenza di molteplici classi di sostanze chimiche. Gli estratti organici del PM<sub>2,5</sub> possono contenere centinaia di sostanze chimiche. Tali miscele complesse vanno incontro a reazioni che possono causare un incremento o una riduzione della loro attività mutagena. Questo mostra che non è possibile monitorare una sola classe di contaminanti o un parametro fisico per caratterizzare l'attività mutagena delle polveri e sottolinea, ancora una volta, l'importanza di affiancare, nelle valutazioni dell'inquinamento ambientale, il monitoraggio dei tradizionali parametri chimico-fisici a quello degli effetti biologici delle complesse miscele ambientali in toto.

Le comparazioni con i valori di mutagenicità ottenuti in passato evidenziano, a fronte di una diminuzione nel tempo di diversi parametri chimici, valori di mutagenicità poco differenti da quelli riscontrati nei dieci anni precedenti (FIGURA 37).

Fra i numerosi test di mutagenesi ambientale disponibili, quello di Ames (test di reversione genica in *Salmonella typhimurium*) è sicuramente il più utilizzato anche grazie alla sua relativa semplicità di esecuzione, rapidità, economicità, e soprattutto dal buon valore predittivo nei confronti della potenziale cancerogenicità di miscele complesse come le matrici ambientali. Infatti, l'interesse rivolto ai test di mutagenesi a breve termine si basa sul presupposto che vi sia una correlazione tra evento mutagenetico e cancerogenetico per le sostanze genotossiche.

In considerazione del fatto che le polveri sottili sono state recentemente incluse nel gruppo I IARC (sostanze cancerogene per l'uomo), il monitoraggio della qualità dell'aria con i test di mutagenesi rappresenta dunque un valido strumento per la valutazione della qualità dell'aria.

# STUDIO DELLA CONCENTRAZIONE NUMERICA DI PARTICELLE ULTRAFINI NELL'AREA METROPOLITANA TORINESE – RISULTATI ANNO 2016 ED ANALISI DELLA SERIE STORICA

*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 ha determinato e continua 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 indagini 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 Torino-Lingotto;
- confrontare la base dati con analoghe misure effettuate in altre aree urbane italiane e europee;
- analizzare la correlazione dei dati di concentrazione numerica rilevati con gli inquinanti atmosferici tradizionali e con i principali parametri meteorologici.

Una sintesi dei primi dati raccolti è stata oggetto di uno specifico capitolo all'interno delle edizioni dal 2009 al 2015 (escluso il 2012) della relazione "Uno sguardo all'aria"

## ESAME DEI DATI RELATIVI ALL'ANNO 2016

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 21 sono riportati i valori medi dell'anno 2016, calcolati come media delle medie orarie (il campionatore ha avuto un fermo per manutenzione dal 21 aprile al 16 giugno 2016).

Il valore medio del periodo è  $8100 \cdot 10^6$  particelle/m<sup>3</sup> con massimi giornalieri di  $23100 \cdot 10^6$  particelle/m<sup>3</sup>. Come si può osservare in FIGURA 38 la frazione più rilevante di particelle è quella con diametro compreso tra i 100 e i 200 nm (circa il 23%), mentre la classe numericamente inferiore è quella più grossolana (200-1000 nm), che rappresenta circa il 8% del totale. Complessivamente le particelle ultrafini (al di sotto dei 100 nm) rappresentano il 69 % del totale.

	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	200-1000 nm	Totale
Minima media giornaliera	340*10 <sup>6</sup>	370*10 <sup>6</sup>	160*10 <sup>6</sup>	150 *10 <sup>6</sup>	170*10 <sup>6</sup>	27*10 <sup>6</sup>	1200*10 <sup>6</sup>
Massima media giornaliera	2900*10 <sup>6</sup>	3400*10 <sup>6</sup>	3000*10 <sup>6</sup>	3600*10 <sup>6</sup>	5700*10 <sup>6</sup>	4400*10 <sup>6</sup>	23100*10 <sup>6</sup>
Media delle medie giornaliere	1300*10 <sup>6</sup>	1600*10 <sup>6</sup>	1300*10 <sup>6</sup>	1400*10 <sup>6</sup>	1900*10 <sup>6</sup>	620*10 <sup>6</sup>	8100*10 <sup>6</sup>
Giorni validi	282	282	282	281	282	282	
Percentuale giorni validi	77%	77%	77%	77%	77%	77%	
Media dei valori orari	1300*10 <sup>6</sup>	1600*10 <sup>6</sup>	1300*10 <sup>6</sup>	1400*10 <sup>6</sup>	1900*10 <sup>6</sup>	620*10 <sup>6</sup>	8100*10 <sup>6</sup>
Massima media oraria	7300*10 <sup>6</sup>	8800*10 <sup>6</sup>	6000*10 <sup>6</sup>	6500*10 <sup>6</sup>	10000*10 <sup>6</sup>	5300*10 <sup>6</sup>	44000*10 <sup>6</sup>
Ore valide	6947	6947	6947	6923	6947	6947	
Percentuale ore valide	79%	79%	79%	79%	79%	79%	
Distribuzione percentuale rispetto al totale	16%	20%	16%	17%	23%	8%	

TABELLA 21: elaborazioni statistiche anno 2016.

## DISTRIBUZIONE DIMENSIONALE - anno 2016

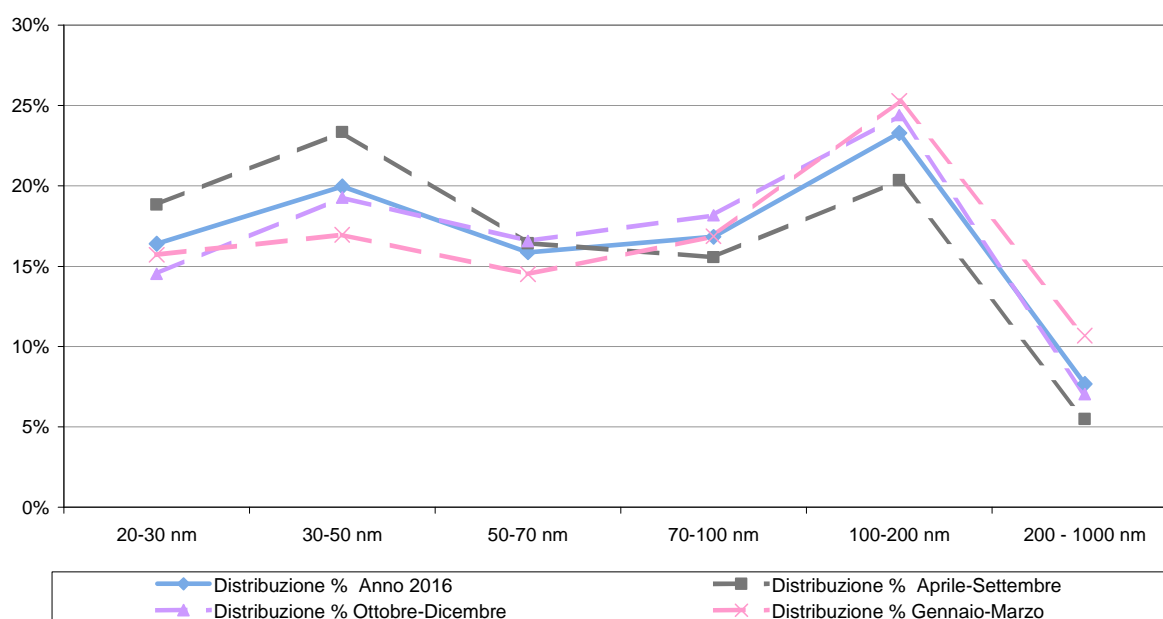


FIGURA 38: distribuzione dimensionale delle particelle – Anno 2016.

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):

- Barcellona<sup>15</sup> (5-1000 nm): 17000 \* 10<sup>6</sup> particelle/m<sup>3</sup>
- Lugano<sup>16</sup> (7-1000 nm): 15000 \* 10<sup>6</sup> particelle/m<sup>3</sup>
- Nord Kensington UK<sup>2</sup> (7-1000 nm): 12000 \* 10<sup>6</sup> particelle/m<sup>3</sup>
- Roma<sup>17</sup> (7-1000 nm): 25000 \* 10<sup>6</sup> particelle/m<sup>3</sup> (Marconi et al 2007)
- Bologna<sup>18</sup> (5,6 - 560 nm): 9000 \* 10<sup>6</sup> particelle/m<sup>3</sup>
- Piacenza<sup>19</sup> (7nm – 10 µm, strumento identico a quello in esame): 5000-11000 \* 10<sup>6</sup> particelle/m<sup>3</sup>

<sup>15</sup> 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

<sup>16</sup> 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

<sup>17</sup> Marconi et al, Two Years of fine and ultrafine particles measurements in Rome, Italy, J Toxicol Environ Health, 70, 213-21, 2007

<sup>18</sup> Poluzzi Vanes, Ricciardelli Isabella, Ferrari Silvia, Aerosol size distribution: aspetti teorici e primi risultati di monitoraggi effettuati da Arpa Emilia-Romagna, in Qualità dell'Ambiente Urbano VII Rapporto Annuale -Focus su La Qualità dell'Aria, 2011, ISPRA



- Leicester<sup>20</sup> (strumento identico a quello in esame):  $8000 \cdot 10^6$  particelle/m<sup>3</sup>
- Londra<sup>6</sup> (strumento identico a quello in esame):  $8000 \cdot 10^6$  particelle/m<sup>3</sup>
- Anversa<sup>21</sup> (strumento identico a quello in esame):  $8000 \cdot 10^6$  particelle/m<sup>3</sup> (stazione suburbana),  $11000 \cdot 10^6$  particelle/m<sup>3</sup> (stazione in parco pubblico)
- Dresda<sup>22</sup> (10-100 nm):  $4700 \cdot 10^6$  particelle/m<sup>3</sup>
- Praga<sup>7</sup> (10-100 nm):  $8200 \cdot 10^6$  particelle/m<sup>3</sup>

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 Roma<sup>23</sup> 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/m<sup>3</sup> e quindi circa sette volte maggiore nel sito di viale Augusto Monti.

Analizzando le medie per classe dimensionale per i tre periodi "estivo" (aprile-settembre) ed "invernale" (trimestri da gennaio a marzo e da ottobre a dicembre), osservabili in FIGURA 39, si evidenzia come le particelle di dimensione al di sotto dei 50 nm abbiano mediamente valori molto simili, pur se le medie invernali sono leggermente superiori, mentre a partire dalle dimensioni di 50 nm i valori invernali ed estivi si allontanano sempre più tra di loro finché i valori del trimestre gennaio-marzo arrivano ad essere 2,7 volte quelli estivi per le particelle tra i 200 e i 1000 nm. Sembra pertanto che in periodo invernale sia favorita l'agglomerazione delle particelle in particelle più grandi (soprattutto nell'intervallo 100-200 nm e 200-1000 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.

Il fenomeno nel 2016 non è stato così eclatante come nel 2015, in cui nel trimestre ottobre-dicembre le condizioni di stabilità termica persistente determinarono una maggiore facilità di agglomerazione delle particelle, ma nel 2016 episodi si sono verificati nella seconda decade di gennaio e a dicembre.

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 letteratura<sup>24</sup>.

In estate si evidenzia un andamento con un massimo assoluto alle 8 del mattino ed un picco serale meno pronunciato intorno alle 22-23 (FIGURA 41), che permane fino alle prime ore notturne per tutte le classi (in quota invece per la classe superiore ai 200 nm l'andamento temporale non presenta variazioni significative). La concentrazione diminuisce nell'arco delle ore più calde della giornata, in corrispondenza dell'innalzamento dello strato rimescolato. Si verifica un lieve incremento intorno alle ore 15 in periodo estivo per le particelle dai 20 a 30 nm, massimo relativo 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 Lazio<sup>25</sup>. La forte radiazione solare rende disponibile il radicale ossidrilico OH che ossida l'SO<sub>2</sub> disponibile ad acido solforico, che porta poi alla formazione di particolato. Tale incremento si ha in corrispondenza del minimo della umidità relativa dell'aria, mentre rispetto al picco della radiazione solare ci sono 2-3 ore di ritardo (FIGURA 40).

<sup>19</sup> Ozgen S., Lonati G., Progetto UPUPA: i rilevamenti ambientali, Convegno Progetto UPUPA, Piacenza, 22/1/2014

<sup>20</sup> Progetto INTERREG North-West Europe Joaquin, Ultrafine particles in Joaquin cities, www.joaquin.eu

<sup>21</sup> Progetto INTERREG North-West Europe Joaquin, Intra-urban variability of ultrafine particles in Antwerp (February and October 2013), VMM (2014)

<sup>22</sup> Handbook UFIREG Project, www.ufireg-central.eu

<sup>23</sup> Marconi et al. – Livelli di materiale particellare 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

<sup>24</sup> 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.

<sup>25</sup> Buonanno, Fuoco, Stabile, Viola, La misura dell'esposizione alle polveri aerodisperse: dal PM10 alle nano particelle, 2011, Libellula Edizioni

La variabilità delle concentrazioni è molto più ampia nel periodo invernale piuttosto che quello estivo e aumenta in generale con la diminuzione della dimensione delle particelle. Mentre in estate i rapporti massimo/minimo hanno valori compresi tra 1,5 e 1,9, in inverno variano da 1,3 per le particelle maggiori di 200 nm a 3,4 per le particelle di dimensione 20-30 nm. In inverno il picco serale si presenta 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 41).

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'ammonio<sup>26</sup>.

In generale per tutte le classi dimensionali il picco serale nel periodo più freddo si verifica alle ore 20-21 rispetto alle ore 22-23 dell'estate, presumibilmente a causa del posticipo delle condizioni di stabilità notturna nel periodo caldo rispetto a quello freddo; mediamente infatti dall'analisi dei profili di temperatura con l'altezza risulta che l'ora di inizio dell'inversione termica in inverno si registra alle 19.30, mentre in aprile-settembre alle 21.00.

#### MEDIA PER CLASSE DIMENSIONALE

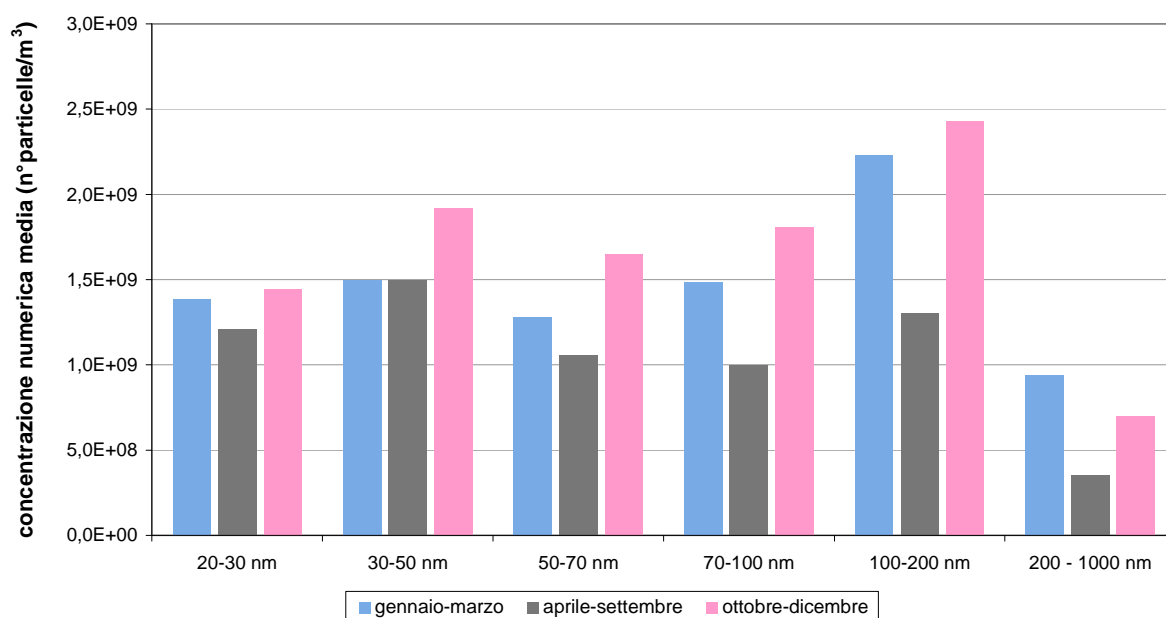


FIGURA 39: media per classe dimensionale.

<sup>26</sup> 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

UMIDITA' - RADIAZIONE SOLARE GLOBALE Aprile-Settembre 2016

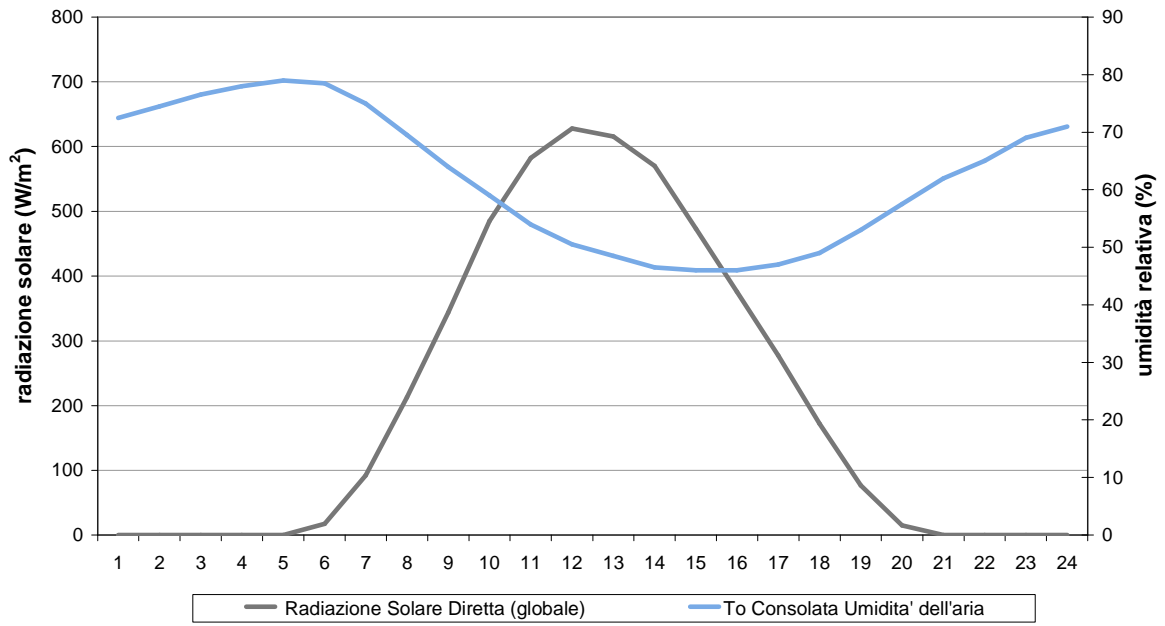


FIGURA 40: giorno medio Umidità relativa e radiazione solare – Aprile-Settembre 2016.

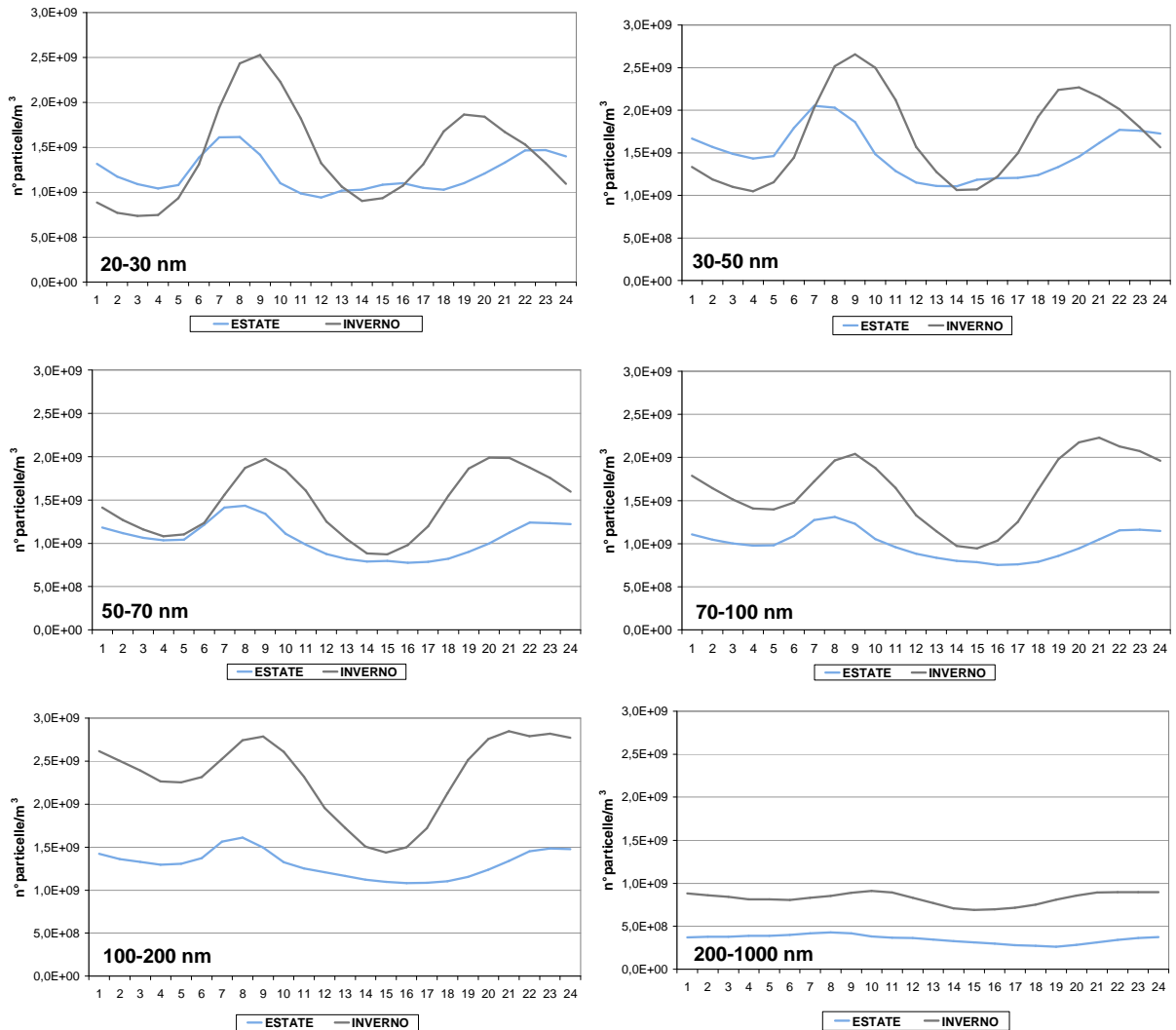


FIGURA 41: andamento giorno medio, confronto per classe dimensionale.

Per quanto riguarda gli andamenti di lungo periodo, in FIGURA 42 è rappresentato l'andamento delle concentrazioni medie mensili totali di particelle relative all'anno 2016.

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 minima, 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 il periodo aprile-settembre (periodo detto "estivo") e gennaio-marzo più ottobre-dicembre (periodo "invernale").

In estate (TABELLA 22) 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.

#### ANDAMENTO MEDIE MENSILI - Anno 2016

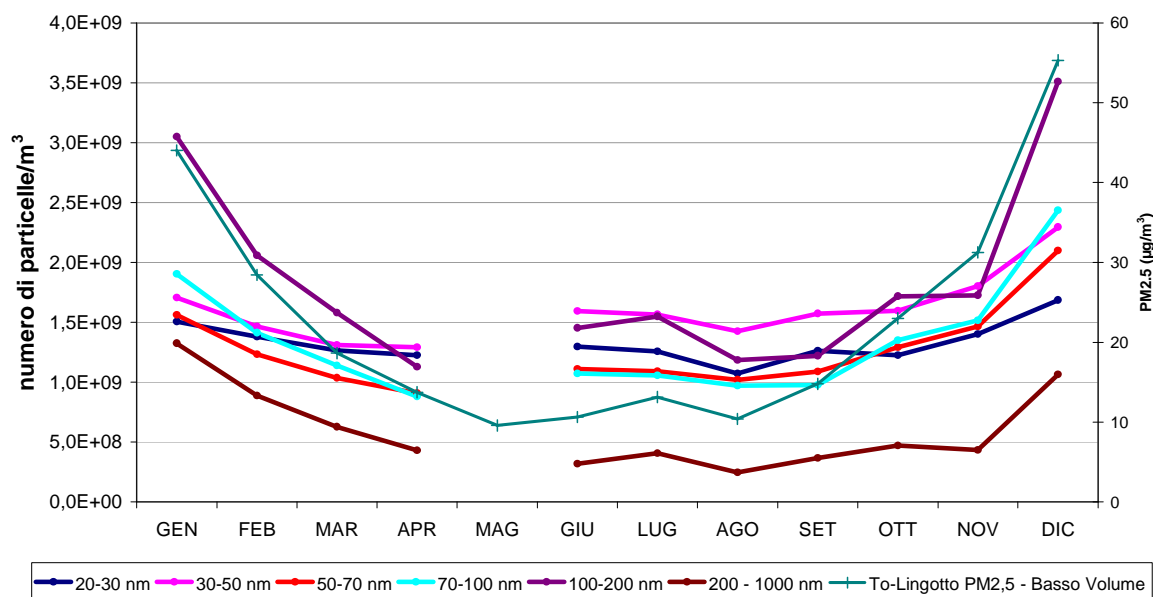


FIGURA 42: medie mensili del numero di particelle.

Nel periodo più freddo invece, come riportato in TABELLA 23, la correlazione delle particelle dai 50 ai 100 nm è buona anche con gli inquinanti di origine sia primaria, come il monossido di azoto e il benzene, che mista come il biossido di azoto. 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 0,8. Le particelle con dimensione inferiore ai 30 nm invece risultano scarsamente o per nulla correlate con la concentrazione degli altri gas inquinanti, tranne che con il biossido di azoto, dove la correlazione è circa 0,6. Dal 25 maggio al 15 novembre 2016 nella stazione di Torino-Rubino si è misurata l'ammoniaca (NH<sub>3</sub>) e successivamente il monitoraggio è proseguito nella stazione del Lingotto. Per facilità in TABELLA 22 e TABELLA 23 la stazione è stata comunque indicata come Torino-Rubino, considerando i dati di entrambe le stazioni, analoghe per tipologia e fonti emissive circostanti.

L'ammoniaca è precursore del particolato, soprattutto in periodo invernale, contribuendo alla formazione di solfato e nitrato d'ammonio, come già indicato in precedenza, e di conseguenza la correlazione con il numero di particelle è già buona a partire dalle particelle di dimensione superiore ai 30 nm fino a diventare ottima per le particelle maggiori di 100 nm. Scarsa invece la correlazione nel periodo più caldo.

R di Pearson	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	200-1000 nm
Torino - Lingotto, PM10 - Basso Volume	-0.28	-0.26	0.00	0.33	0.60	0.83
Torino - Lingotto, PM2.5 - Basso Volume	-0.33	-0.33	-0.09	0.29	0.64	0.89
Torino Lingotto, O <sub>3</sub>	-0.23	-0.13	0.06	0.34	0.58	0.22
Torino Lingotto, NO	0.14	0.11	0.15	0.14	0.05	0.24
Torino Lingotto, NO <sub>2</sub>	0.22	0.25	0.39	0.39	0.22	0.36
Torino Lingotto, Benzene	0.12	0.02	0.11	0.15	0.02	0.34
Torino Rubino, NH <sub>3</sub>	-0.14	-0.12	0.02	0.20	0.39	0.42

TABELLA 22: correlazioni con i principali parametri chimici nel periodo aprile-settembre 2016.

R di Pearson	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	200-1000 nm
Torino - Lingotto, PM10 - Basso Volume	0.20	0.46	0.66	0.78	0.88	0.80
Torino - Lingotto, PM2.5 - Basso Volume	0.14	0.39	0.61	0.74	0.88	0.84
Torino Lingotto, O <sub>3</sub>	-0.27	-0.55	-0.66	-0.68	-0.66	-0.38
Torino Lingotto, NO	0.56	0.77	0.86	0.88	0.86	0.48
Torino Lingotto, NO <sub>2</sub>	0.61	0.78	0.85	0.87	0.83	0.51
Torino Lingotto, Benzene	0.43	0.63	0.76	0.81	0.84	0.54
Torino Rubino, NH <sub>3</sub>	0.52	0.61	0.72	0.75	0.80	0.80

TABELLA 23: correlazioni con i principali parametri chimici nel periodo gennaio-marzo più ottobre-dicembre 2016.

### ANALISI DELLA SERIE STORICA

Il monitoraggio è stato condotto in quota (a 50 m) da ottobre 2009 fino a luglio 2012. In FIGURA 43 si evidenzia l'andamento dal 2010 al 2016, 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. Si può osservare che gli anni nei quali si è misurato il numero di particelle più elevato sono in ordine decrescente il 2015-2014-2016 e il 2010. Il 2010 ed il 2014 sono stati caratterizzati da una meteorologia molto favorevole alla dispersione delle polveri PM10, 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 ha registrato il superamento del valore limite annuale del PM10 esclusivamente nella stazione di Torino-Grassi in tutto il territorio provinciale, fenomeno mai avvenuto in precedenza. Nel 2015 il numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10 è stato di poco superiore all'anno precedente, ma sono stati particolarmente critici i mesi di novembre e dicembre, mentre i primi dieci mesi dell'anno ricadono nella media (o addirittura al di sotto, come ottobre) del periodo 2006-2015. Il 2016 è stato l'anno che ha registrato il minor numero di giorni favorevoli all'accumulo da quando è iniziato il monitoraggio del numero di particelle, ma se il PM10 in Torino e provincia ha registrato i valori tra i più bassi mai misurati da sempre (come nel 2014 il superamento del valore limite annuale è avvenuto nella sola stazione di Torino-Grassi), il numero di particelle è stato il terzo più alto mai rilevato da quando ne è iniziata la misura. L'andamento complessivo del numero di particelle non rispecchia quindi quello della concentrazione in massa del particolato.

Scendendo nel dettaglio della distribuzione del numero di particelle per classe dimensionale (FIGURA 44), 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 triennio 2014-2015-2016 aumenta nuovamente la percentuale delle particelle sotto i 50 nm, che raggiungono il 35 % 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.

Molto probabilmente la maggiore presenza di particelle più fini negli anni 2010 e 2014 è dovuta 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 2016 è stato più piovoso rispetto all'anno precedente ed il mese con meno precipitazioni è risultato gennaio, con un solo giorno di pioggia.

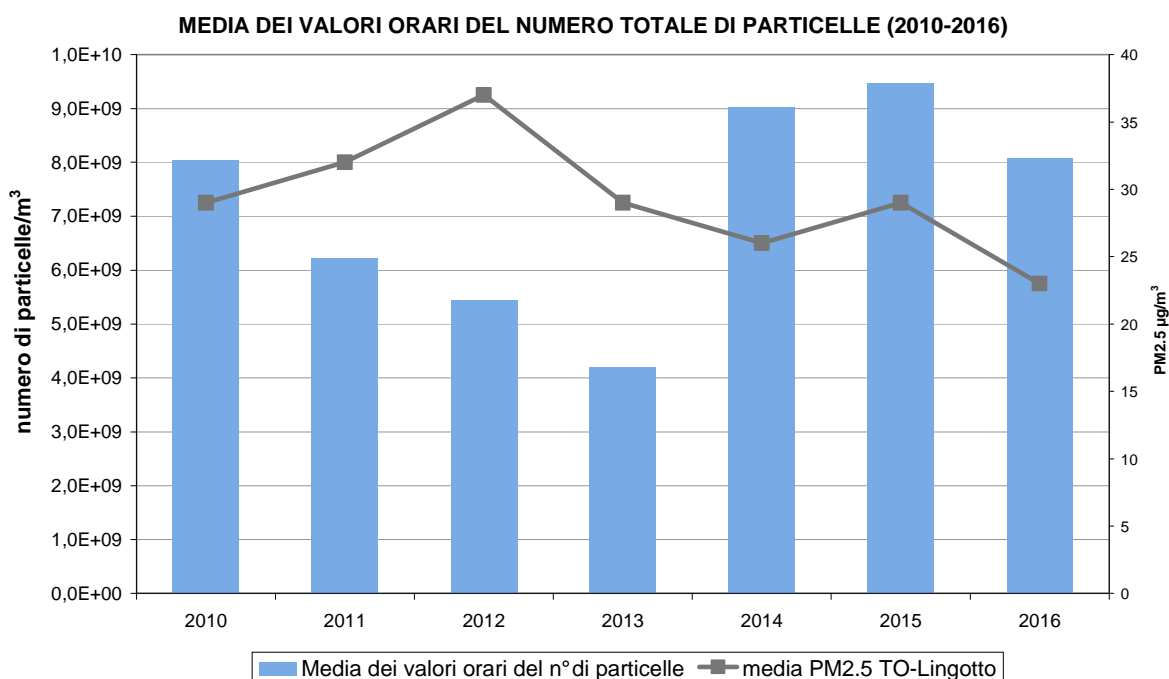


FIGURA 43: andamento dei valori medi annuali del numero di particelle e del PM2,5 dal 2010 al 2016.

**DISTRIBUZIONE PERCENTUALE RISPETTO AL TOTALE**

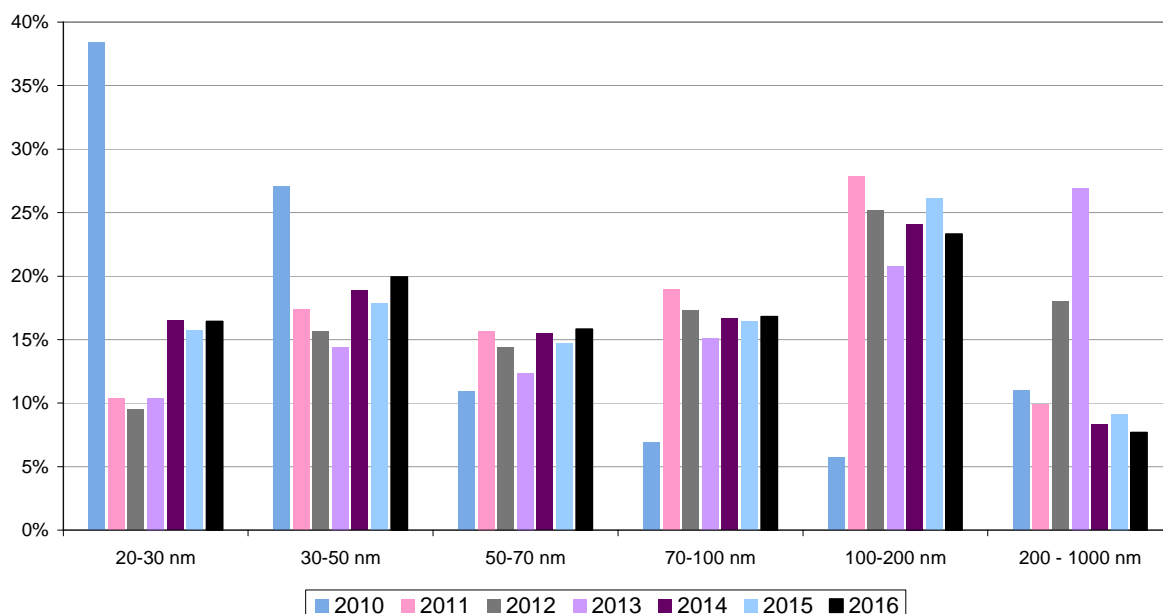


FIGURA 44: andamento della distribuzione percentuale nelle varie classi del numero di particelle.

## CONCLUSIONI

Vi è una buona correlazione di lungo periodo con le misure in massa di PM<sub>10</sub>-PM<sub>2,5</sub> 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 PM<sub>10</sub>-PM<sub>2,5</sub> 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.

## 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 arsenico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), manganese (Mn), nichel (Ni) e piombo (Pb), che sono veicolati dal particolato. 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 24 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 24: 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 si riferiscono alle concentrazioni medie annuali di arsenico, cadmio, nichel e piombo determinate nel materiale particolato aerodisperso PM10, campionato in 13 stazioni ubicate in nella città metropolitana di Torino. Nel 2016 la determinazione dei metalli è stata effettuata solo sulla frazione con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm.

In ottemperanza al piano regionale di revisione della rete di monitoraggio e alle prescrizioni relative all'autorizzazione dell'inceneritore di Torino vi sono state alcune variazioni, per cui a partire dal 2013 la determinazione di tali parametri è effettuata anche nella stazione di Oulx e nella stazione privata di Beinasco – TRM gestita da Arpa. Le concentrazioni di As, Cd e Ni sono espresse in ng/m<sup>3</sup>, quelle relative al piombo in µg/m<sup>3</sup>.

I limiti previsti dal D.Lgs. 155 del 13/8/2010 sono rispettati per tutti i parametri in tutti i siti monitorati, e mostrano un generale decremento nel corso del 2016 rispetto al 2015 in linea con la graduale diminuzione che ha caratterizzato gli ultimi tre anni di osservazione.

Per quanto riguarda l'arsenico la sua presenza 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.

Per il cadmio in tutti i siti la concentrazione è significativamente inferiore rispetto al valore obiettivo di 5 ng/m<sup>3</sup>, a differenza del 2015, nel corso del 2016 si evidenzia un nuovo decremento ad eccezione delle stazioni di Beinasco – TRM, Susa, Ceresole e Oulx che mostrano un livello costante. La stazione con la concentrazione più elevata risulta To-Rebaudengo con un valore pari a 0,26 ng/m<sup>3</sup> con un decremento del 68% rispetto all'anno precedente. In tale sito la determinazione dei metalli è iniziata solo nel 2012 (TABELLA 26). Come la stazione di To-Grassi (negli ultimi anni caratterizzata da una percentuale di dati inferiore al 90%) , si trova in una zona ad elevato traffico, per cui per i vari inquinanti si raggiungono i valori più elevati del territorio provinciale. I livelli di cadmio più bassi sono stati rilevati presso le stazioni di Susa, Ceresole e Druento, analogamente agli anni precedenti di osservazione. Nelle altre stazioni del territorio comunale e provinciale i livelli di cadmio risultano piuttosto uniformi con valori compresi tra 0,07 e 0,26 ng/m<sup>3</sup>, generalmente inferiori alle rilevazioni dell'anno precedente. A livello di composizione percentuale (TABELLA 29) si osserva un incremento della presenza di tale metallo nelle polveri campionate nei siti di Beinasco-TRM e Torino - Rubino, mentre nelle altre stazioni la composizione risulta piuttosto omogenea rispetto all'anno precedente o in diminuzione come nelle stazioni di Torino – Lingotto e Torino – Rebaudengo. Nel caso di Ceresole la presenza in percentuale di cadmio nelle polveri PM10 non è stata calcolata in quanto nel corso di tutto l'anno le concentrazioni sono risultate inferiori al limite di quantificazione del metodo.

Anche per il nichel (TABELLA 27) si osserva generale una diminuzione delle concentrazioni rispetto all'anno 2015 in linea, ad eccezione del 2015, con il generale trend in discesa che ha caratterizzato gli ultimi anni. I valori si confermano ampiamente al di sotto del valore obiettivo previsto dal D.Lgs. n. 155/2010 (20 ng/m<sup>3</sup>). I valori maggiori vengono registrati nelle stazioni di traffico dell'area metropolitana di To-Grassi, To-Consolata e To-Rebaudengo. Analogamente a tutti gli altri parametri la concentrazione più bassa di nichel è stata rilevata nel sito montano di Ceresole con un valore pari a 0,8 ng/m<sup>3</sup>, mentre nelle altre stazioni della provincia le concentrazioni sono al di sotto dei 3 ng/m<sup>3</sup>. A livello di presenza percentuale di nichel nelle polveri PM10 si osserva un generale decremento non solo rispetto al 2015 ma anche rispetto agli anni precedenti.

Per quanto riguarda il piombo in FIGURA 45 è riportata la serie storica a partire dagli anni '70. Attualmente i livelli di piombo sono due ordini di grandezza inferiori rispetto ai rilevamenti dei primi anni di monitoraggio. Già a partire dal 2001 le medie annuali sono di un ordine di grandezza inferiori al limite previsto dalla normativa (0,5 µg/m<sup>3</sup>). Anche per il piombo, si osservano gli andamenti descritti per gli altri metalli: rispetto al 2015 si registra una stabilità e in alcune stazioni una diminuzione della concentrazione. La stazione con il valore maggiore, registrato nel 2016, è quella di To-Rebaudengo dove si è rilevata una concentrazione di piombo pari a 0,013 µg/m<sup>3</sup> (nel 2015 era pari a 0,021 µg/m<sup>3</sup>) ed una presenza a livello di composizione percentuale superiore rispetto alle altre stazioni dell'area metropolitana. Tuttavia per tutti i siti i livelli risultano ampiamente al di sotto del valore limite e le concentrazioni risultano particolarmente basse nelle stazioni di Ceresole e Oulx.

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 provincia 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 2016 mostra una generale diminuzione dei livelli rispetto al 2015, allineandosi con il trend osservato negli anni precedenti. La situazione registrata nel 2015 è presumibilmente da imputare alla maggiore criticità del 2015 sotto il profilo delle condizioni di stabilità atmosferica, richiamata anche per altri inquinanti. Per la stazione di qualità dell'aria denominata Beinasco-TRM, prevista ed installata a seguito del progetto di costruzione e avvio dell'inceneritore di rifiuti urbani della città metropolitana di Torino (zona Gerbido), tipologia di attività che può essere fonte di metalli pesanti, si osserva per tutti i metalli previsti dalla normativa un livello stabile nel corso dei quattro anni di rilevamento disponibili, paragonabile a quelli rilevati in stazioni della rete di simile tipologia

**ANDAMENTO STORICO DEL PIOMBO**  
**stazione di Torino - Consolata**  
**1973 - 2016**

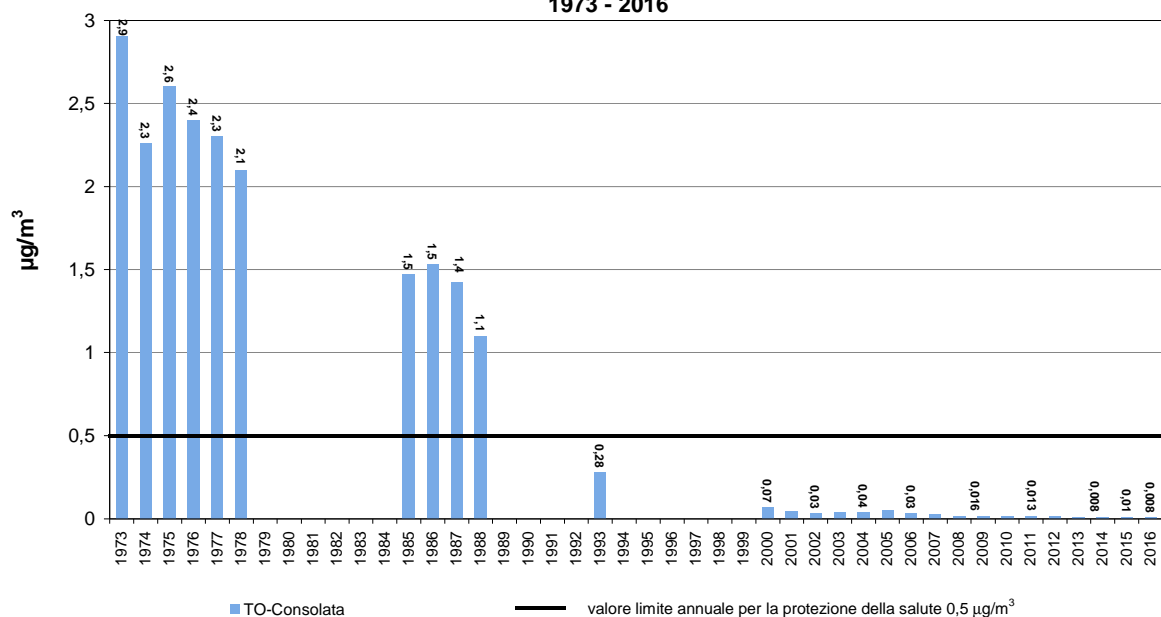


FIGURA 45: parametro piombo, medie annuali presso la stazione di To-Consolata nel periodo 1973 – 2016.

STAZIONE	Rendimento strumentale, 2016 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di ARSENICO nel materiale particolato aerodisperso (ng/m³)										
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Beinasco-TRM	90%								0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
Borgaro	96%	1,34	0,73	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72*	0,7*	0,7*	0,7*	<b>0,7</b>
Carmagnola	98%	1,21	0,74*	0,71	0,71	0,72	0,72	0,71	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
Ceresole Reale	96%				0,72*	0,73*	0,73*	0,72*	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
Druento	99%	0,85	0,73	0,71	0,72*	0,72	0,72	0,71	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
Ivrea	92%		0,73*	0,71	0,72	0,72	0,71	0,72	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
Oulx	97%								0,7	0,7*	0,7*	<b>0,7</b>
Susa	97%	0,87	0,73	0,71	0,72	0,72	0,72	0,72	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
To-Consolata	98%	1,27	0,81	0,71	0,72	0,71	0,72	0,72	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
To-Grassi	94%	1,27	0,86	0,71	0,71	0,72	0,78	0,73*	0,7*	0,7*	0,7*	<b>0,7</b>
To-Lingotto PM10	90%	2,11*	0,74*	0,72*	0,72	0,72	0,73	0,72	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
To-Lingotto PM2,5		0,84	0,77*	0,72	0,72	0,72	0,73	0,72	0,7	0,7	0,7*	
To-Rebaudengo	93%							0,71	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>
To-Rubino	98%		0,75*	0,86	0,72*	0,72	1,19	0,72	0,7	0,7	0,7	<b>0,7</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 25: concentrazioni medie annuali di arsenico determinate sul Particolato Atmosferico, 2006-2016.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2016 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di CADMIO nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )										
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Beinasco-TRM	90%								0,2	0,1	0,2	<b>0,20</b>
Borgaro	96%	0,57	0,40	0,25	0,19	0,17	0,3	0,21*	0,17*	0,12*	0,16*	<b>0,15</b>
Carmagnola	98%	0,54	0,49*	0,33	0,22	0,18	0,27	0,19	0,15	0,11	0,13	<b>0,12</b>
Ceresole Reale	96%				0,12*	0,07*	0,07*	0,07*	0,07	0,07	0,07	<b>0,07</b>
Druento	99%	0,35	0,28	0,21	0,14*	0,10	0,19	0,11	0,1	0,07	0,09	<b>0,08</b>
Ivrea	92%		0,36*	0,28	0,17	0,16	0,29	0,18	0,12	0,13	0,14	<b>0,12</b>
Oulx	97%								0,1	0,1*	0,1*	<b>0,10</b>
Susa	97%	0,29	0,25	0,11	0,10	0,07	0,12	0,1	0,07	0,07	0,07	<b>0,07</b>
To-Consolata	98%	0,60	0,53*	0,38	0,25	0,19	0,32	0,28	0,24	0,15	0,17	<b>0,14</b>
To-Grassi	94%	0,75	0,69	0,38	0,31	0,23	0,52	0,39*	0,28*	0,21*	0,36*	<b>0,22</b>
To-Lingotto PM10	90%	0,67*	0,36*	0,30*	0,25	0,19	0,31	0,26	0,19	0,14	0,17	<b>0,15</b>
To-Lingotto PM2,5		0,51	0,40*	0,25	0,24	0,16	0,27	0,21	0,2	0,1	0,17*	
To-Rebaudengo	93%							0,42	0,33	0,27	0,38	<b>0,26</b>
To-Rubino	98%		0,41*	0,29*	0,23*	0,17	0,27	0,23	0,19	0,13	0,16	<b>0,15</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 26: concentrazioni medie annuali di cadmio determinate sul Particolato Atmosferico, 2006-2016.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2016 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di NICHEL nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )										
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Beinasco-TRM	90%								2,9	2,7	3,0	<b>2,2</b>
Borgaro	96%	17,47	8,20	6,11	6,17	4,27	5,18	4,73*	3,4*	3,0*	4,3*	<b>2,4</b>
Carmagnola	98%	18,71	7,18*	4,21	4,98	3,98	5,10*	3,89	3,2	2,5	3,0	<b>1,9</b>
Ceresole Reale	96%				1,92*	1,25*	1,61*	1,02*	0,7	0,9	0,9	<b>0,8</b>
Druento	99%	15,09*	7,26	4,15	4,35*	3,54	3,97	3,16	1,6	1,5	3,8	<b>1,1</b>
Ivrea	92%		6,29*	4,48	5,07	3,65	4,39	3,17	2,4	2,2	3,0	<b>1,6</b>
Oulx	97%								1,4	1,8*	1,7*	<b>1,3</b>
Susa	97%	17,64	3,84	2,45	2,79	2,46	3,38	2,21	1,1	1,9	2,7	<b>1,4</b>
To-Consolata	98%	22,97*	12,20	8,19	9,33	8,34	8,28	7,31	4,9	4,8	5,3	<b>3,7</b>
To-Grassi	94%	21,18*	11,02	8,22	9,42	7,59	8,65	7,89*	5,8*	5,0*	5,5*	<b>3,9</b>
To-Lingotto PM10	90%	19,96*	11,47*	4,13*	5,72	5,08	5,6	4,78	3,5	3,2	3,3	<b>2,2</b>
To-Lingotto PM2,5		12,07	6,16*	3,43	2,77	2,43	3,28	2,56	1,4	1,3	1,7*	
To-Rebaudengo	93%							7,2	5,2	4,5	4,6	<b>3,0</b>
To-Rubino	98%		8,93*	5,56	6,09*	4,68	5,22	4,79	3,0	3,2	3,4	<b>2,0</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 27: concentrazioni medie annuali di nichel determinate sul Particolato Atmosferico, 2006-2016.

STAZIONE	Rendimento strumentale 2016 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di PIOMBO nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )										
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Beinasco-TRM	90%								0,009	0,008	0,008	<b>0,007</b>
Borgaro	96%	0,025	0,015	0,013	0,011	0,010	0,013	0,009*	0,009*	0,006*	0,009*	<b>0,007</b>
Carmagnola	98%	0,019	0,014*	0,011	0,010	0,009	0,011	0,008	0,007	0,005	0,005	<b>0,005</b>
Ceresole Reale	96%				0,002*	0,002*	0,002*	0,001*	0,001	0,001	0,001	<b>0,001</b>
Druento	99%	0,014	0,011	0,007	0,008*	0,007	0,008	0,006	0,004	0,004	0,004	<b>0,004</b>
Ivrea	92%		0,014*	0,010	0,010	0,010	0,010	0,006	0,006	0,004	0,005	<b>0,004</b>
Oulx	97%								0,002	0,002*	0,002*	<b>0,002</b>
Susa	97%	0,019	0,014	0,009	0,008	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003	<b>0,003</b>
To-Consolata	98%	0,030	0,025	0,016	0,016	0,013	0,015	0,013	0,01	0,008	0,01	<b>0,008</b>
To-Grassi	94%	0,042 *	0,028*	0,020	0,018	0,017	0,020	0,018*	0,012*	0,012*	0,02*	<b>0,011</b>
To-Lingotto PM10	90%	0,025 *	0,020*	0,010*	0,012	0,011	0,012	0,009	0,007	0,007	0,009	<b>0,007</b>
To-Lingotto PM2,5		0,019	0,017*	0,011	0,010	0,009	0,010	0,010	0,009	0,006	0,007*	
To-Rebaudengo	93%							0,020	0,019	0,015	0,021	<b>0,013</b>
To-Rubino	98%		0,017*	0,011	0,012*	0,011	0,011	0,010	0,009	0,007	0,008	<b>0,006</b>

percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 28: concentrazioni medie annuali di piombo determinate sul Particolato Atmosferico, 2006-2016.

STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato								
	%Cd								
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Beinasco TRM						0,0006	0,0003	0,0006	<b>0,0007</b>
Borgaro	0,0006	0,0005	0,0005	0,0007	0,0005*	0,0005	0,0004	0,0005*	<b>0,0005</b>
Carmagnola	0,0005	0,0004	0,0004	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	<b>0,0003</b>
Ceresole		0,0013*	0,001*	0,0009*	0,0008	n.c.	n.c.	n.c.	<b>n.c.</b>
Druento	0,0007	0,0004	0,0004	0,0006	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	<b>0,0004</b>
Ivrea	0,0008	0,0005*	0,0006	0,0008	0,0005	0,0004	0,0006	0,0005	<b>0,0005</b>
Oulx						0,0006	0,0006	0,0006*	<b>0,0006</b>
Susa	0,0004	0,0005	0,0003	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	<b>0,0004</b>
To-Consolata	0,0007	0,0005	0,0004	0,0006	0,0006	0,0006	0,0004	0,0004	<b>0,0004</b>
To-Grassi	0,0006	0,0005	0,0005	0,0009	0,0007	0,0006	0,0005	0,0007*	<b>0,0005</b>
To-Lingotto PM10	0,0007*	0,0006	0,0005	0,0007	0,0006	0,0005	0,0004	0,0005	<b>0,0004</b>
To-Lingotto PM2,5	0,0007	0,0007	0,0006	0,0008	0,0006	0,0007	0,0004	0,0007*	
To-Rebaudengo						0,0009	0,0007	0,0009	<b>0,0007</b>
To-Rubino	0,0007*	0,0005*	0,0004	0,0006	0,0006	0,0005	0,0004	0,0004	<b>0,0005</b>
STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato								
	%Ni								
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Beinasco TRM						0,009	0,009	0,009	<b>0,008</b>
Borgaro	0,014	0,015	0,012	0,012	0,011	0,010	0,010	0,012*	<b>0,008</b>
Carmagnola	0,015	0,010	0,009	0,010	0,008	0,008	0,007	0,007	<b>0,005</b>
Ceresole		0,021	0,018	0,020	0,011	0,012	0,018	0,013	<b>0,009</b>
Druento	0,013	0,014	0,013	0,013	0,011	0,007	0,008	0,017	<b>0,005</b>
Ivrea	0,013	0,015	0,013	0,013	0,009	0,009	0,010	0,011	<b>0,006</b>
Oulx						0,008	0,011	0,009*	<b>0,008</b>
Susa	0,010	0,013	0,011	0,015	0,011	0,006	0,012	0,015	<b>0,008</b>
To-Consolata	0,015	0,018	0,019	0,017	0,015	0,012	0,014	0,013	<b>0,011</b>
To-Grassi	0,013	0,017	0,015	0,015	0,013	0,012	0,012	0,011*	<b>0,009</b>
To-Lingotto PM10	0,010	0,014	0,014	0,013	0,011	0,009	0,010	0,009	<b>0,006</b>
To-Lingotto PM2,5	0,010	0,008	0,008	0,009	0,008	0,005	0,005	0,006*	
To-Rebaudengo						0,014	0,011	0,011	<b>0,008</b>
To-Rubino	0,013	0,014	0,012	0,011	0,012	0,009	0,010	0,009	<b>0,006</b>
STAZIONE	Percentuale in massa dei metalli nel particolato								
	%Pb								
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Beinasco TRM						0,027	0,027	0,024	<b>0,024</b>
Borgaro	0,030	0,027	0,027	0,030	0,021	0,026	0,019	0,026*	<b>0,023</b>
Carmagnola	0,033	0,020	0,020	0,020	0,016	0,017	0,014	0,012	<b>0,014</b>
Ceresole		0,022	0,029	0,025	0,011	0,017	0,020	0,014	<b>0,011</b>
Druento	0,022	0,025	0,026	0,026	0,021	0,017	0,021	0,017	<b>0,019</b>
Ivrea	0,029	0,030	0,036	0,029	0,018	0,022	0,017	0,018	<b>0,015</b>
Oulx						0,011	0,012	0,011*	<b>0,013</b>
Susa	0,036	0,038	0,032	0,026	0,024	0,022	0,025	0,017	<b>0,018</b>
To-Consolata	0,030	0,031	0,030	0,030	0,027	0,025	0,023	0,025	<b>0,023</b>
To-Grassi	0,033	0,032	0,034	0,034	0,030	0,026	0,028	0,038*	<b>0,026</b>
To-Lingotto PM10	0,023	0,029	0,031	0,027	0,021	0,018	0,022	0,025	<b>0,021</b>
To-Lingotto PM2,5	0,031	0,029	0,031	0,029	0,030	0,031	0,025	0,026*	
To-Rebaudengo						0,051	0,038	0,049	<b>0,035</b>
To-Rubino	0,026	0,027	0,028	0,023	0,025	0,026	0,023	0,022	<b>0,019</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 29: percentuale in massa di cadmio, nichel e piombo nel Particolato Atmosferico, confronto anni 2008-2016.

## IDROCARBURI POLICICLICI AROMATICI

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

*L.Milizia, ARPA Piemonte, Dipartimento di Torino.*

### DESCRIZIONE

Gli idrocarburi policiclici aromatici, noti come IPA, sono un importante gruppo di composti organici caratterizzati dalla presenza di due o più anelli aromatici condensati. Gli IPA presenti in aria ambiente si originano da tutti i processi che comportano la combustione incompleta e/o la pirolisi di materiali organici. Le principali fonti di emissione in ambito urbano sono costituite dagli autoveicoli alimentati a benzina o gasolio e dalle combustioni domestiche e industriali che utilizzano combustibili solidi o liquidi. Tuttavia negli autoveicoli alimentati a benzina l'utilizzo di marmitte catalitiche riduce l'emissione di IPA dell'80-90%<sup>27</sup>. A livello di ambienti confinati il fumo di sigaretta e le combustioni domestiche possono costituire un'ulteriore fonte di inquinamento da IPA.

In termini generali la parziale sostituzione del carbone e degli oli combustibili con il gas naturale ai fini della produzione di energia ha costituito un indubbio beneficio anche in termini di emissioni di IPA. La diffusione della combustione di 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 con combustibile liquido (kerosene, gasolio da riscaldamento, ecc.); l'aggiornamento del 2016 del "emep-eea-guidebook" stima un fattore di emissione di oltre 1000 volte superiore<sup>28</sup>.

In termini di massa gli IPA costituiscono una frazione molto piccola del particolato atmosferico rilevabile in aria ambiente (< 0,1%) ma rivestono un grande rilievo tossicologico, specialmente quelli con 5 o più anelli, e sono per la quasi totalità adsorbiti sulla frazione di particolato con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm.

I dati ricavati da test su animali di laboratorio indicano che molti IPA hanno effetti sanitari rilevanti che includono l'immunosoppressione, la genotossicità e la cancerogenicità. Va comunque sottolineato che, da un punto di vista generale, la maggiore fonte di esposizione a IPA, secondo l'Organizzazione Mondiale della Sanità, non è costituita dall'inalazione diretta ma dall'ingestione di alimenti contaminati a seguito della deposizione del particolato atmosferico al suolo. In particolare il benzo(a)pirene, produce tumori a livello di diversi tessuti sugli animali da laboratorio ed è inoltre l'unico idrocarburo policiclico aromatico per il quale sono disponibili studi approfonditi di tossicità per inalazione, dai quali risulta che questo composto induce il tumore polmonare in alcune specie.

L'International Agency for Research on Cancer (IARC)<sup>29</sup> classifica il benzo(a)pirene nel gruppo 1 come "cancerogeno per l'uomo", il dibenzo(a,h)antracene nel gruppo 2A come "probabile cancerogeno per l'uomo" mentre tutti gli altri IPA sono inseriti nel gruppo 2B come "possibili cancerogeni per l'uomo".

Il valore obiettivo per il benzo(a)pirene è riportato nella TABELLA 30.

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

TABELLA 30: benzo(a)pirene, valori di riferimento e normativa in vigore.

### ESAME DEI DATI

La TABELLA 31 riassume le concentrazioni medie annuali rilevate a partire dal 2006 sul territorio provinciale di Benzo(a)Pirene. Le medie annuali indicate in tabella per ogni stazione sono ottenute partendo dalle medie giornaliere, e possono presentare leggere differenze rispetto al valore ricavabile a partire dalle medie mensili a causa del diverso peso statistico dei diversi mesi. Tutti i dati sono confrontabili in quanto in tutti i siti sono state adottate frequenze di prelievo e metodiche analitiche omogenee. In ottemperanza al piano regionale di revisione della rete di monitoraggio e alle prescrizioni relative all'autorizzazione del termovalorizzatore di Torino, vi sono state alcune

<sup>27</sup> European Commission Ambient air pollution by PAH –Position Paper , pag 8

<sup>28</sup> EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook – 2016 Part. 1.A.4. Small Combustion Tab. 3-5 e Tab. 3-6

<sup>29</sup> International Agency for Research on Cancer (IARC) –Agents reviewed by the IARC monographs Volumes 1-100A last updated 2 april 2009

variazioni, per cui a partire dal 2013 la determinazione di tali parametri è effettuata nelle stazioni di Oulx e in quella privata di Beinasco TRM, gestita da Arpa.

Nel 2016 la determinazione degli IPA è stata effettuata solo sulla frazione con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm.

STAZIONE	Rendimento strumentale. 2016 (% giorni validi)	Concentrazione media annuale di Benzo(a)pirene nel materiale particolato aerodisperso (ng/m <sup>3</sup> )										
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Beinasco-TRM	97%								0,8	0,8	0,9	<b>0,8</b>
Borgaro	96%	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8*	0,7*	0,7*	0,9*	<b>0,8</b>
Carmagnola	98%	1,0	0,8*	0,7	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	<b>0,8</b>
Ceresole Reale	96%	-	-	-	0,2*	0,1*	0,1*	0,1*	0,0	0,1	0,1	<b>0,1</b>
Druento	99%	0,4	0,4	0,4	0,5*	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	<b>0,4</b>
Ivrea	92%	-	0,9*	0,7	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	0,7	1,1	<b>0,8</b>
Oulx	97%	-	-	-	-	-	-	-	0,5	0,5*	0,5*	<b>0,3</b>
Settimo	91%	-	-	-	-	-	-	1,0	1,2	1,3	1,4	<b>1,1</b>
Susa	97%	1,0	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	<b>0,5</b>
To-Consolata	98%	1,1	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	<b>0,8</b>
To-Grassi	94%	0,9*	0,9	0,8	0,8	0,8	0,9	1,1*	1,1*	1,0*	1,7*	<b>0,9</b>
To-Lingotto PM10	90%	0,6 *	0,7	0,6*	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,8	0,9	<b>0,7</b>
To-Lingotto PM2,5		0,8	0,6*	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9*	
To-Rebaudengo	93%	-	-	-	-	-	-	0,9	1,2	1,1	1,2	<b>1,1</b>
To-Rubino	98%	-	0,4	0,5	0,6*	0,5	0,8	0,7	0,8	0,7	0,9	<b>0,7</b>

\* percentuale di giorni validi inferiore al 90%

TABELLA 31: concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene rilevate sul Particolato Atmosferico- 2006-2016 (ng/m<sup>3</sup>).

I dati raccolti nel corso del 2016 mostrano valori in alcuni casi equivalenti a quelli dell'anno precedente, ma nella maggior parte dei casi si nota un decremento rispetto al 2015. Le stazioni di Settimo T.se e To-Rebaudengo sono quelle caratterizzate dai valori di B(a)P più elevati con superamento del valore obiettivo (1 ng/m<sup>3</sup>). Nel periodo tra il 2006 e 2012 non si era verificato sul territorio provinciale alcun superamento del valore obiettivo, tuttavia l'analisi della serie storica risulta complicata dal fatto che nelle stazioni di Settimo T.se e To-Rebaudengo prima del 2012 la determinazione degli IPA non era prevista e la stazione di To-Grassi, che risulta la più simile ad esse per tipologia, negli ultimi anni ha mostrato un rendimento strumentale non sufficiente per una corretta valutazione, ad eccezione dell'ultimo anno per cui la media annuale ritorna ad attestarsi intorno a quella registrata tra il 2007 e il 2011. Di fatto si osserva che le stazioni caratterizzate da fonti emissive significative a partire dal 2013 hanno registrato il superamento del valore obiettivo per il B(a)P, nel 2016 si osserva un lieve decremento. Anche la stazione di qualità dell'aria denominata Beinasco-TRM, prevista ed installata a seguito del progetto di costruzione e avvio dell'inceneritore di rifiuti urbani della provincia di Torino (zona Gerbido) si osserva il decremento rispetto al 2015 che ha caratterizzato tutto il territorio provinciale.

La stazione con i livelli più bassi di benzo(a)pirene si conferma quella di Ceresole, nella quale spesso i livelli mensili risultano dell'ordine del limite di quantificazione del metodo, in quanto si trova lontano da fonti di inquinamento antropogenico e a causa dell'elevata altitudine non risente del confinamento al suolo degli inquinanti legato alle condizioni di stabilità invernali tipiche della pianura.

In FIGURA 46 sono riportate le medie annuali degli IPA totali determinate a partire dal 2010. Le stazioni caratterizzate dal superamento del limite annuale - To-Rebaudengo e Settimo T.se - sono quelle che hanno mostrato anche i livelli più elevati di IPA totali.

Per la stazione di To-Grassi non si riportano le medie annuali registrate dal 2012 al 2015 per il basso numero di dati validi che ha caratterizzato questi anni.

Ad eccezione delle stazioni di Ceresole, Druento e Susa, in cui il valore di IPA totali risultano pressoché costanti, in tutti i siti della provincia torinese si registra un decremento rispetto a valore registrato nel 2015.

La diminuzione, rispetto all'anno precedente, è certamente in parte imputabile al fatto che il 2015 ha presentato condizioni di stabilità atmosferica più accentuate rispetto agli anni precedenti e al 2016. Va però sottolineato che il generale trend in aumento della concentrazione di IPA non è spiegabile solo dalle considerazioni di tipo meteorologico ma va attribuito a un aumento delle

emissioni di questi inquinanti. L'ipotesi già richiamata che una delle cause principali del fenomeno sia costituita dall'aumentata combustione di biomasse a fini di riscaldamento è suffragata da quattro considerazioni principali<sup>30</sup> :

- i superamenti del valore obiettivo annuale di Benzo(a)Pirene. sono causati da valori molto elevati nei mesi invernali;
- In base all'Inventario regionale delle emissioni la combustione di biomassa è diventata la principale fonte di PM10 primario;
- come già sottolineato la percentuale di IPA nel PM10 è più elevata nei siti suburbani (per esempio in Val di Susa) che nell'area urbana di Torino;
- composti marcatori della combustione di biomasse(ad esempio il levoglucosano) si ritrovano nel PM10 nei siti sia urbani che suburbani.

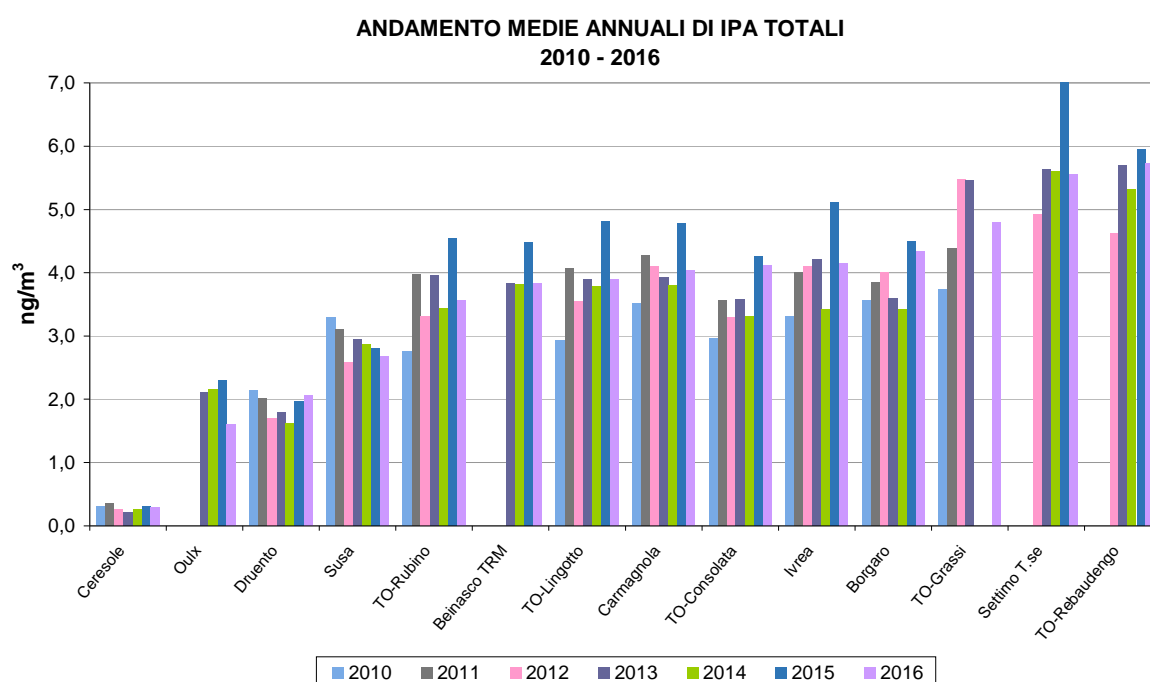


FIGURA 46: andamento medie annuali IPA totali periodo 2010-2016 – Benzo(a)Pirene + Benzo(a)Antracene + Benzo(b,j,k)Fluorantene + Indeno(1,2,3-cd)Pirene.

Oltre all'informazione relativa alla quantità totale di IPA rilevata nei vari siti, è interessante conoscere in quale percentuale essi sono presenti nelle polveri campionate<sup>31</sup>. Dalla FIGURA 47 si evidenzia la notevole differenza stagionale nella composizione delle polveri relativamente a questo parametro; da aprile a settembre, infatti, prevalgono condizioni di instabilità atmosferica favorevoli alla dispersione degli inquinanti ed inoltre la radiazione solare contribuisce notevolmente alla degradazione degli IPA per cui si osservano percentuali molto basse e uniformi nei vari siti. Nei mesi invernali le polveri risultano maggiormente arricchite di questi composti e, come osservato negli anni precedenti, questo fenomeno risulta particolarmente evidente in alcuni siti extraurbani, probabilmente a causa del maggiore utilizzo di biomasse legnose come combustibile. Susa e Ivrea si confermano le stazioni con percentuali maggiori di IPA nelle polveri.

Tra le stazioni torinesi il livello percentuale di IPA sul PM10 risulta piuttosto omogeneo con valori leggermente più elevati per To-Rebaudengo.

La stazione di Ceresole si conferma il sito con i livelli di IPA più bassi sia come valori assoluti sia come presenza percentuale sul PM10.

<sup>30</sup> Si ricorda che sin dal 2012 il Gruppo di lavoro per l'individuazione delle misure di riduzione dell'inquinamento atmosferico istituito dal MATT aveva individuato la combustione di biomasse come uno dei settori di intervento, evidenziandone la rilevanza anche in termini di emissione di sostanze tossicologicamente importanti, come il Benzopirene

<sup>31</sup> Le percentuali utilizzate nelle figure, in riferimento alla media dei mesi freddi e a quella dei mesi caldi, sono calcolate sulla base delle concentrazioni medie giornaliere di IPA e PM10 misurate, rispettivamente, nei mesi di gennaio, febbraio, marzo, ottobre, novembre, dicembre (semestre freddo) e in quelli aprile, maggio, giugno, luglio, agosto, settembre (semestre caldo).

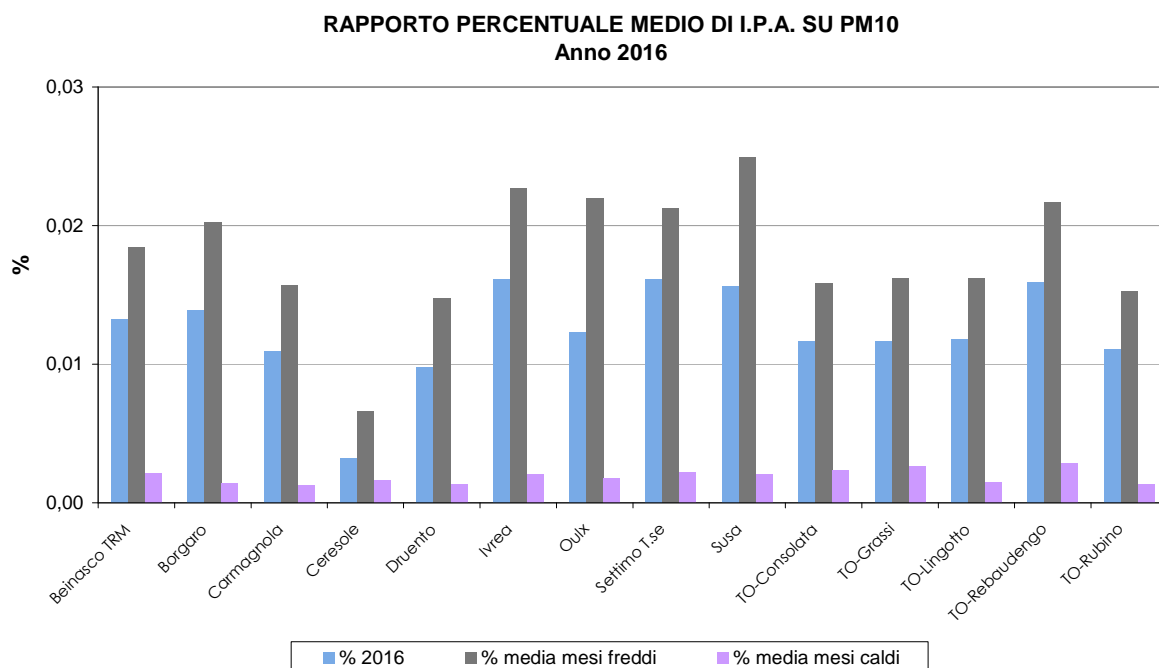


FIGURA 47: percentuale di IPA totali nel PM10, PM2,5 – anno 2016.

Nella FIGURA 48 per le stazioni di Druento, Susa e To-Consolata che rappresentano diverse situazioni territoriali, sono riportati i contenuti percentuali di IPA differenziati per mese di campionamento. Si conferma il basso contenuto percentuale nei mesi caldi con valori equivalenti nelle varie aree territoriali, che invece si differenziano notevolmente nel periodo freddo, in cui a Susa si hanno percentuali circa doppie rispetto a Druento e To-Consolata; in particolare nei mesi di gennaio, febbraio e soprattutto dicembre 2016, a suffragio dell'ipotesi che tra le cause principali del fenomeno ci sia l'aumentata combustione di biomasse a fini di riscaldamento.

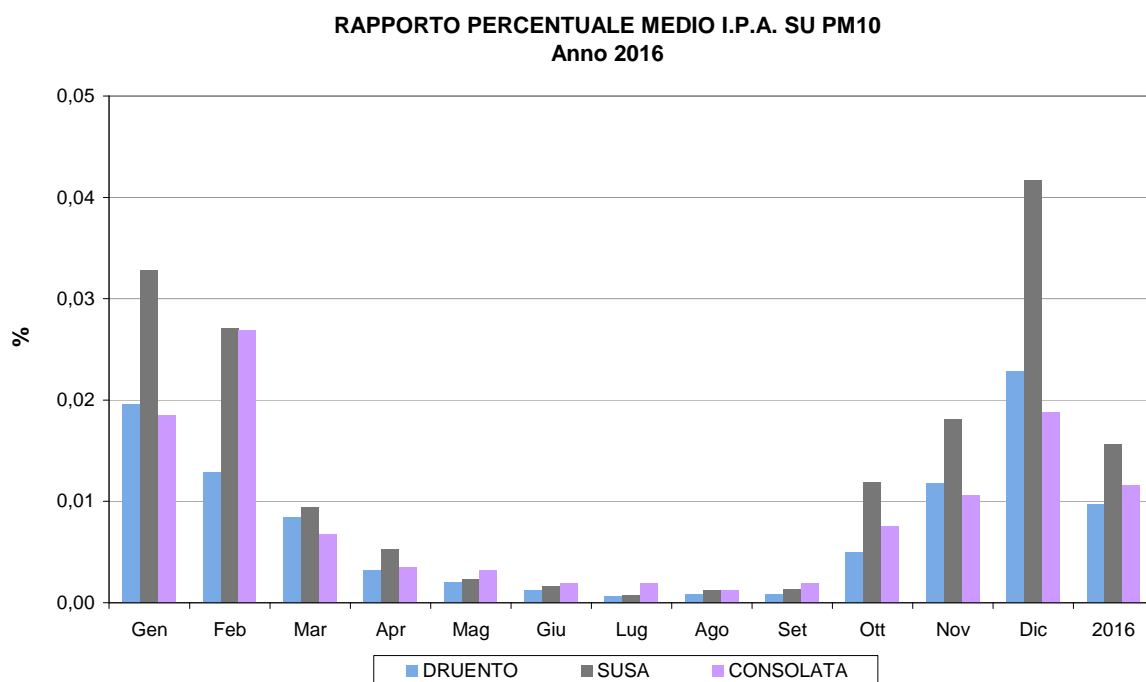


FIGURA 48: percentuale IPA totali nel PM10 – Andamento delle medie mensili – anno 2016.



## CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'ANNO 2016

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

**M. Nicoletta e G. Paesano, ARPA PIEMONTE, Sistemi Previsionali**

La relazione "Uno sguardo all'aria" costituisce un utile documento per la conoscenza e la comprensione dei fenomeni d'inquinamento atmosferico. A tal fine, oltre alla consueta analisi dei dati chimici rilevati nel corso del 2016, 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 2016 vengono descritti sommariamente i seguenti parametri meteorologici: andamento delle temperature, delle precipitazioni e dell'altezza del geopotenziale in relazione ai valori climatologici. L'altezza del geopotenziale<sup>32</sup> è un parametro meteorologico fondamentale per caratterizzare sinteticamente la configurazione meteorologica.

I valori climatologici presi come riferimento, per quanto riguarda i dati puntuali misurati a terra, sono relativi al periodo 2006-2015; invece per quanto riguarda i campi in quota, sono relativi al periodo 1971-2000 e derivano dalle ri-analisi (note come "archivio ERA40") del Centro Meteorologico Europeo di Reading (ECMWF). Questa climatologia di 30 anni viene utilizzata (spesso 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 2016.

Nel complesso si osserva come anche il 2016 (come molti degli ultimi anni) sia stato un anno sicuramente caldo: il quinto più caldo dell'intera serie storica di misure del Piemonte dal 1958 ad oggi, con un'anomalia media annua di circa +1.3°C rispetto al trentennio di riferimento 1971-2000. L'anomalia termica positiva è stata abbastanza distribuita lungo il corso di tutto l'anno, piuttosto prevalente, seppur con alcune fasi alterne, mantenendosi quindi mediamente positiva in quasi tutti i mesi dell'anno: il contributo maggiore all'anomalia positiva è stato dato dai mesi di settembre (risultato il terzo più caldo dell'anno dopo luglio ed agosto) e dicembre.

Occorre tener presente anche che, nei primi mesi del 2016, si è ancora sentito uno dei più intensi fenomeni de El Niño osservati negli ultimi 60 anni, che si era verificato già nel corso del 2015.

Dal punto di vista pluviometrico, le precipitazioni cumulate medie nell'anno 2016 in Piemonte sono state sostanzialmente nella media (1118 mm, solo con un lieve surplus di 69 mm, pari al 7%, rispetto alla norma 1971-2000), ma sono state distribuite in modo decisamente non uniforme durante l'anno, perché concentrate perlopiù in solo due mesi (febbraio e, soprattutto, novembre), lasciando molti altri mesi in condizioni di siccità, anche acuta e prolungata.

### IL CLIMA DEL 2016

#### Gennaio

L'anno 2016 si è già aperto con un mese di gennaio decisamente asciutto, con un deficit di precipitazioni del 57% rispetto alla media 1971-2000, che ha prolungato una situazione di siccità che coinvolgeva il Piemonte già dagli ultimi due mesi del 2015, con praticamente tutti i bacini idrografici piemontesi (ad eccezione del solo bacino della Dora Baltea) in condizioni di siccità estrema: a fine gennaio 2016, si sono registrati i valori più bassi, degli ultimi 60 anni, dell'indice di anomalia della precipitazione (indice SPI, *Standardized Precipitation Index*, calcolato sui 3 mesi, intorno a -4), paragonabili solamente ad aprile-maggio 1997 e febbraio 1981.

<sup>32</sup> L'altezza di geopotenziale (qui espressa in decimetri) indica a quale altezza si trova un determinato valore di pressione atmosferica, che nelle mappe mostrate 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.

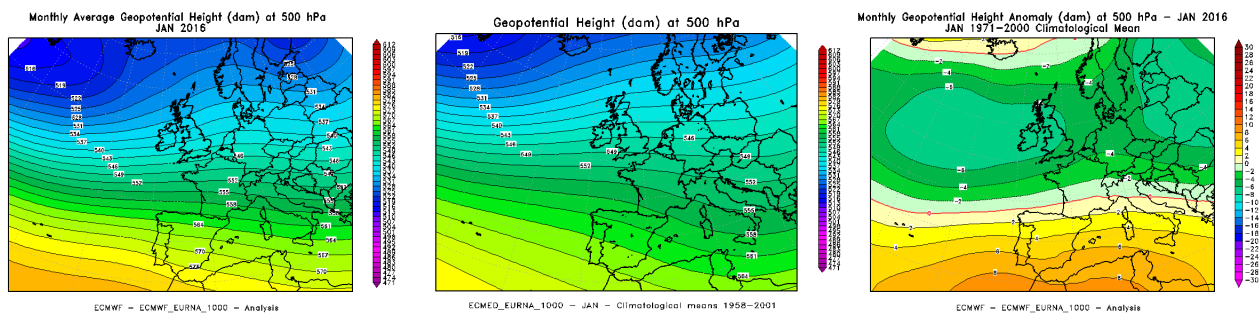


FIGURA 49: geopotenziale medio a 500 hPa del mese di gennaio 2016 (a sinistra), a confronto con il periodo climatico 1971-2000 (al centro) e loro differenza (a destra). [Nella mappa dell'anomalia (ultima figura a destra) la linea tratteggiata in rosso segna lo "0" e separa i valori di anomalia negativa (dal verde al blu-viola) da quelli positivi (dal giallo al rosso).].

La compresenza di un anticiclone molto forte sulle latitudini meridionali dell'Europa (in anomalia barica positiva nella mappa a destra di FIGURA 49) e, allo stesso tempo, di una bassa pressione profonda ed estesa sull'Europa centro-settentrionale (in anomalia barica negativa) ha generato un flusso occidentale atlantico molto sostenuto alle medie latitudini del nord-Italia (isolinee molto ravvicinate nella mappa sinistra di FIGURA 49 indicano un'intensità forte del flusso da ovest), che ha quindi lasciato il Piemonte in condizioni asciutte perché sottovento all'arco alpino.

Inoltre l'aria calda, portata dall'alta pressione da sud, ha mantenuto le temperature sopra la norma, in particolare in quota e nei valori massimi diurni. Infatti, in condizioni asciutte, le notti serene hanno favorito l'irraggiamento notturno, con una conseguentemente ridotta anomalia positiva delle temperature minime rispetto alle massime; mentre il clima della stagione invernale ha naturalmente favorito l'inversione termica, con l'aria calda in montagna (più calda rispetto alla Pianura Padana nella mappa sinistra di FIGURA 50) e le situazioni di stabilità atmosferica e degrado della qualità dell'aria in pianura.

Fortunatamente, a causa della circolazione in quota prevalentemente occidentale sul Piemonte e con intensità più alta della norma, si sono anche avuti frequenti episodi di foehn (9 giorni su 31, quasi il 30% del mese). Inoltre la stessa prevalenza delle correnti occidentali secche e l'anomalia positiva delle temperature massime hanno ostacolato la formazione della nebbia nel corso del mese (solo 12 episodi invece dei 21 attesi dalla climatologia recente 2004-2015: solo in un caso, a gennaio 2015, si era registrato un numero di eventi nebbiosi inferiore). Tuttavia, nel complesso, la prolungata scarsità di precipitazioni ha senz'altro avuto un netto impatto negativo sulla qualità dell'aria, perché (in particolare nell'ultima decade del mese) la presenza dell'alta pressione (FIGURA 49) ha spesso inibito la dispersione degli inquinanti.

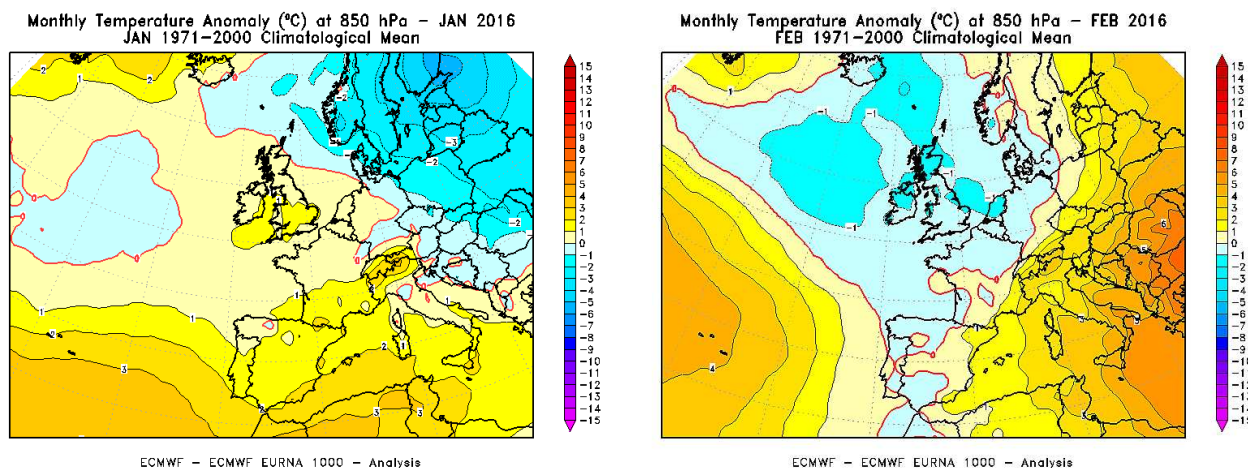


FIGURA 50: anomalia della temperatura a 850 hPa (circa 1500 m di quota), rispetto al periodo climatico 1971-2000, del mese di gennaio 2016 (a sinistra) e febbraio 2016 (a destra).

**Febbraio**

Anche febbraio 2016 è stato un mese certamente caldo, con un'anomalia termica positiva che ha interessato tutta l'area dal Mediterraneo centrale all'Europa dell'est (mappa destra di FIGURA 50), grazie ad un poderoso anticiclone africano, che dal nord-Africa si è alzato oltre la norma sul lato

orientale del continente europeo (in anomalia barica positiva nella mappa al centro di FIGURA 51), portando valori di temperatura ben al di sopra della media (mappa destra di FIGURA 50).

Con una marcata anomalia termica positiva di circa 2°C, il mese si è situato al 12° posto nella distribuzione storica dei mesi di febbraio più caldi degli ultimi 59 anni in Piemonte: la nostra regione, trovandosi sul lato ascensionale sinistro dell'anticlone orientale, poteva facilmente beneficiare del flusso meridionale, quindi con aria mite da sud (mappa sinistra e centrale di FIGURA 51).

Ad esempio l'altezza dello zero termico a circa 4200 m, misurata dal radiosondaggio di Cuneo Levaldigi il 1° febbraio 2016, è risultata la più elevata per il mese di febbraio dall'inizio dei lanci, avvenuto a marzo 2000.

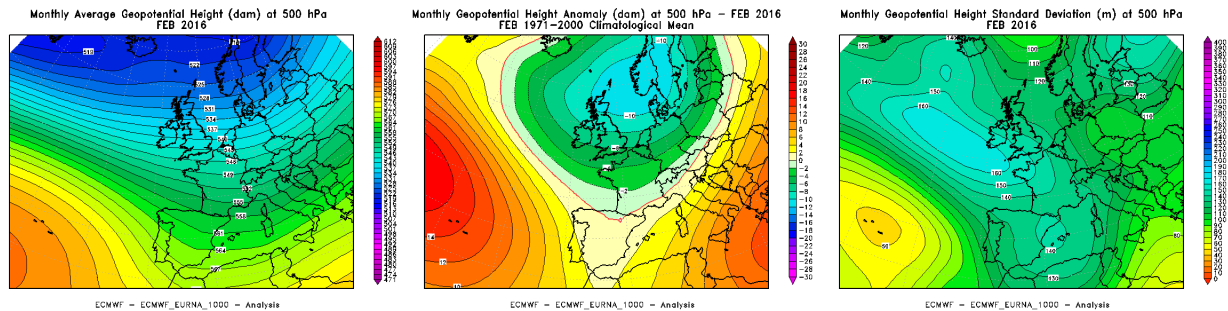


FIGURA 51: Geopotenziale medio a 500 hPa del mese di febbraio 2016 (a sinistra), sua differenza rispetto al periodo climatico 1971-2000 (al centro) e sua variazione media mensile, rappresentata dalla sua deviazione standard (a destra).

Febbraio è stato però un mese anche marcatamente piovoso, che ha così interrotto la lunga fase di siccità estrema che si prolungava da oltre tre mesi.

Infatti la configurazione meteorologica non è stata perennemente dominata dall'anticlone africano sul Piemonte, ma è stata molto movimentata sull'Europa occidentale, dove una saccatura, polare e/o nord-atlantica, più profonda della media (anomalia negativa nella mappa al centro di FIGURA 51) talvolta è scesa fino al Mediterraneo occidentale, portando saltuarie, seppur intense, condizioni d'instabilità anche sul nordovest italiano. La dinamicità della situazione meteorologica a grande scala è rappresentata nella mappa a destra di FIGURA 51, che indica bene, coi colori più scuri (verdi-blu), come profonde perturbazioni dal nord-Atlantico siano penetrate sull'ovest-Mediterraneo, posizione ottimale per portare precipitazioni sul Piemonte.

Allora, con un'alternanza tra anticlone africano (più persistente sull'Europa orientale) e affondi della saccatura polare-nordatlantica verso il Mediterraneo e l'Europa sudoccidentali, sul Piemonte sono tornate le precipitazioni, abbondanti seppur concentrate perlopiù in pochi ma intensi eventi, come in particolare quello di fine mese, quando una circolazione depressionaria di origine nordatlantica è scesa sul Mediterraneo, localizzandosi sulla Corsica, bloccata anche dall'anticlone africano a est, e provocando forte instabilità sul territorio piemontese.

Così la precipitazione media mensile sul Piemonte, con circa 133 mm (concentrati per il 60% nei soli tre giorni di fine mese: senza questo apporto finale, il mese di febbraio 2016 sarebbe rimasto esattamente in linea con la norma 1971-2000), è stata superiore alla norma climatica del 135%, posizionando il mese di febbraio 2016 al 4° posto dei mesi più ricchi di precipitazioni degli ultimi 59 anni.

Le temperature straordinariamente miti del mese hanno mantenuto la quota delle nevicate piuttosto alta e hanno quindi impedito il verificarsi di nevicate in pianura (a parte Cuneo), contrariamente a quanto atteso dal clima di riferimento.

### Marzo

Dopo mesi di indiscussa anomalia termica positiva (fin dal novembre 2015), il mese di marzo 2016 (con le prime due decadi di stampo prevalentemente invernale e l'ultima decade con passaggio a condizioni più primaverili) è stato il primo a rimanere sostanzialmente nella media climatologica degli anni 1971-2000 dal punto di vista termometrico, come anche quello pluviometrico. Anzi, si è addirittura avuta una lieve anomalia termica negativa per le temperature minime (-0,1°C).

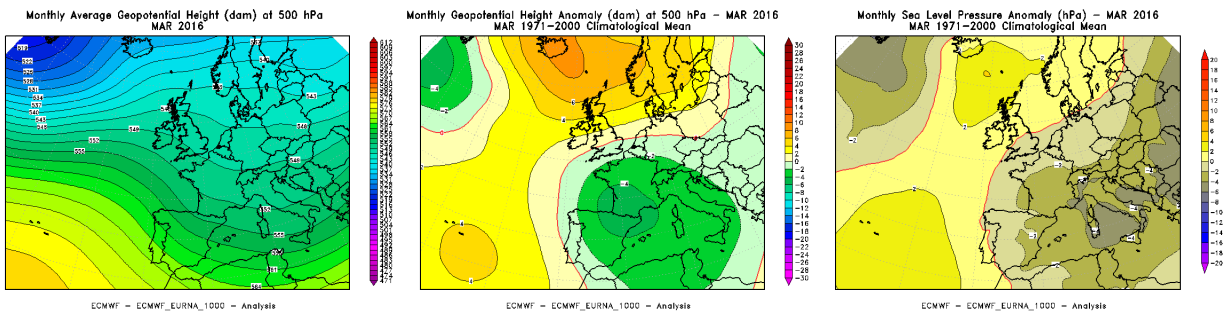


FIGURA 52; geopotenziale medio a 500 hPa del mese di marzo 2016 (a sinistra), sua differenza rispetto al periodo climatico 1971-2000 (al centro) e differenza della pressione a livello del mare rispetto al periodo climatico 1971-2000 (a destra).

La presenza di un'anomalia barica negativa, sia in quota (mappa al centro di FIGURA 52) sia al suolo (mappa destra di FIGURA 52), dall'Europa orientale alla area pirenaica, è l'"impronta" lasciata dalla discesa della saccatura nord-atlantica dalle Isole Britanniche al sud della Francia (mappa sinistra e al centro di FIGURA 52) e della bassa pressione polare in moto retrogrado dal nord-est del continente europeo fino alla parte sudoccidentale dell'Europa (mappa al centro e a destra di FIGURA 52), mentre l'alta pressione saliva fino alle latitudini polari di Islanda e Scandinavia.

Queste depressioni settentrionali hanno portato aria significativamente fredda per la stagione (come ben rappresentato nella mappa a sinistra di FIGURA 53); tant'è che solo a marzo infatti, su diverse località pianeggianti tra cui la città di Torino, si sono registrate le prime nevicate in pianura della stagione invernale 2015-2016. Nel nuovo millennio non si era mai verificato un "primo episodio nevoso" così tardivo.

Due nevicate tardive anche per la montagna hanno riportato lo spessore del manto nevoso sulle Alpi piemontesi al di sopra della norma del periodo.

La discesa delle correnti settentrionali (o nordoccidentali, nella mappa sinistra di FIGURA 52) talvolta ha interagito con l'arco alpino generando condizioni di foehn sul Piemonte (8 giorni, cioè circa il 26% del mese) e movimentando un po' l'aria sulla regione.

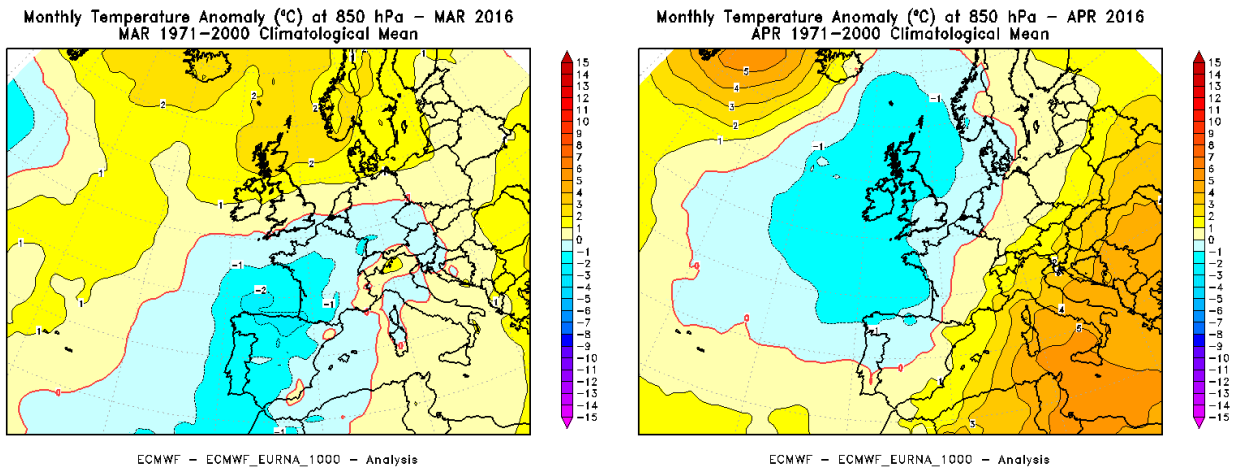


FIGURA 53: anomalia della temperatura a 850 hPa (circa 1500 m di quota), rispetto al periodo climatico 1971-2000, del mese di marzo 2016 (a sinistra) e aprile 2016 (a destra).

**Aprile**

Con aprile si è subito tornati nuovamente in anomalia termica nettamente positiva, in quanto il mese, col suo surplus termico di circa 2°C medi mensili, è risultato il 6° mese di aprile più caldo degli ultimi 59 anni: uno scarto positivo raggiunto grazie ad una costante anomalia termica positiva lungo tutte le prime due (e anche un po' oltre) decadi del mese.

Dal confronto della configurazione meteorologica a grande scala di aprile 2016 (mappa sinistra di FIGURA 54), rispetto alla sua climatologia (mappa al centro di FIGURA 54), si osserva come il flusso sul Piemonte sia stato molto più meridionale della norma, con l'orientazione da sudovest, diretta dalla discesa della saccatura nord-atlantica sull'Europa occidentale, dal Mare di Norvegia fino alla Penisola Iberica (in anomalia barica negativa nella mappa a destra di FIGURA 54).



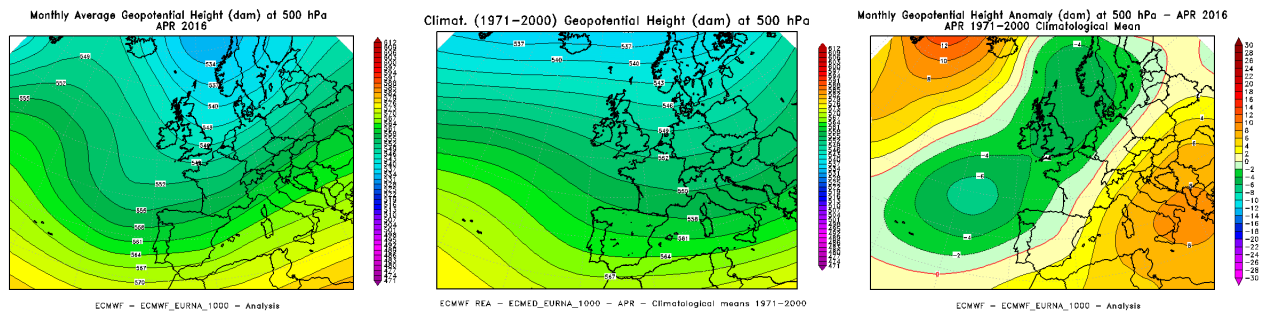


FIGURA 54: geopotenziale medio a 500 hPa del mese di aprile 2016 (a sinistra), a confronto con il periodo climatico 1971-2000 (al centro) e loro differenza (a destra).

Le correnti meridionali hanno portato aria calda da sud, con una notevole anomalia termica positiva su tutta l'Italia e l'Europa orientale (mappa a destra di FIGURA 53).

Tuttavia, allo stesso tempo, un anticiclone africano più forte della norma sulla parte orientale d'Europa (in anomalia barica positiva nella mappa a destra di FIGURA 54) ha bloccato l'avanzata della depressione atlantica verso il bacino del Mediterraneo, dove quindi quest'ultima non è riuscita a portare diffusamente i suoi effetti di instabilità e precipitazioni (a differenza di febbraio, quando la configurazione sinottica, delle mappe a sinistra e al centro di FIGURA 51, era simile ma lievemente spostata più verso est: quel tanto che basta per apportare effetti nettamente diversi sul territorio piemontese in termini di instabilità e precipitazioni).

Infatti, con un interessamento solo marginale del nordovest italiano da parte delle perturbazioni oceaniche, il Piemonte è rimasto in deficit pluviometrico di circa il 37%, rispetto alla piovosità primaverile tipica di aprile.

Le precipitazioni hanno interessato (quasi) solo il nord della regione, dove il flusso da sudovest riusciva a favorire maggiormente le precipitazioni con l'effetto orografico delle Alpi.

Nonostante la scarsità di precipitazioni, fortunatamente il passaggio marginale delle perturbazioni atlantiche sul nordovest italiano, sempre grazie all'interazione con l'arco alpino, è riuscito almeno a generare talvolta condizioni di foehn (8 giorni, cioè circa il 27%, del mese), smuovendo così l'aria anche ad aprile.

### Maggio

Il mese di maggio è stato il secondo (e penultimo!) mese del 2016, dopo marzo, a non avere un'anomalia termica chiaramente positiva, perché è tornato nella media climatologica delle temperature, e anche delle precipitazioni.

Per la precisione, la temperatura media mensile ha addirittura registrato una differenza lievemente negativa (mappa sinistra di FIGURA 56), di appena  $-0,4^{\circ}\text{C}$ , rispetto alla norma del periodo 1971-2000, associata in particolare alle temperature minime, che hanno segnato uno scarto di  $-0,5^{\circ}\text{C}$  rispetto al clima di riferimento.

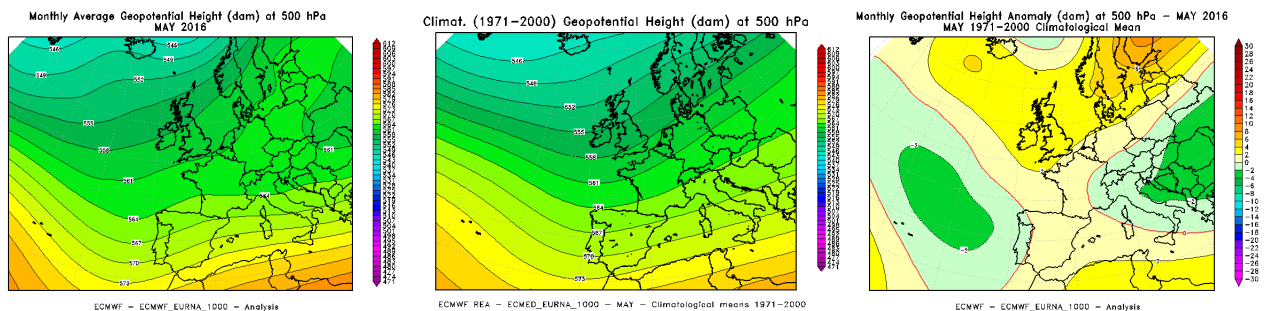


FIGURA 55: geopotenziale medio a 500 hPa del mese di maggio 2016 (a sinistra), a confronto con il periodo climatico 1971-2000 (al centro) e loro differenza (a destra).

La configurazione meteorologica media a grande scala (FIGURA 55) ha visto una pressione più alta della norma sull'Europa settentrionale, in anomalia barica positiva nella mappa destra di FIGURA 55, mentre alle latitudini sottostanti l'anomalia è risultata negativa, sia sull'Atlantico (davanti alle coste della Penisola Iberica) sia in area balcanica.

Infatti, al di sotto della struttura anticlonica salita sul nord-Europa, si sono avuti passaggi di depressioni sia dall'Atlantico, sia dall'Europa del nord-nord-est, talvolta anche con moto

retrogrado, foriero quindi dell'aria più fredda di origine russa (mappa sinistra di FIGURA 56). Inoltre, anche le basse pressioni atlantiche, nel loro moto occidentale, quando dalla Spagna transitavano nel bacino del Mediterraneo, spesso poi si fermavano a lungo sui Balcani (dove infatti è rimasta un'anomalia marcatamente negativa, sia nella mappa della pressione, FIGURA 55 destra, sia nella mappa della temperatura, FIGURA 56 sinistra), favorendo, con la circolazione ciclonica, un facile apporto di aria fresca nordorientale, sul Piemonte e sull'Italia in genere.

Così le occasioni di instabilità e precipitazioni non sono mancate nel corso del mese. Maggio, con un numero di giorni piovosi superiore alla media, ha avuto una precipitazione media mensile lievemente al disopra della norma (+13%), risultando il 18° mese di maggio più ricco di precipitazioni degli ultimi 59 anni, e ha così recuperato il 'gap' mancante sul cumulato annuo, rimasto alla fine di aprile.

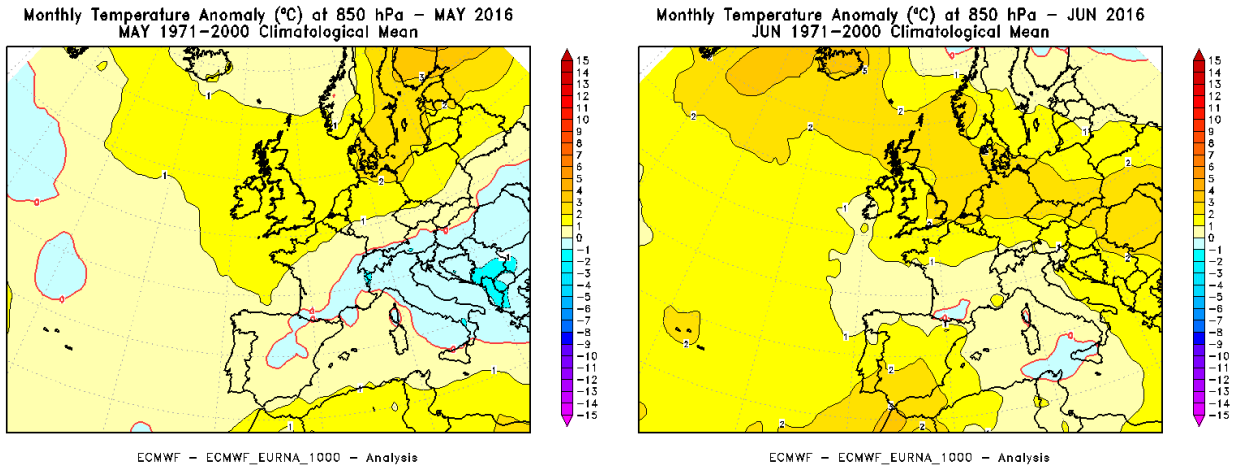


FIGURA 56: anomalia della temperatura a 850 hPa (circa 1500 m di quota), rispetto al periodo climatico 1971-2000, del mese di maggio 2016 (a sinistra) e giugno 2016 (a destra).

Inoltre, anche a maggio, il ripetuto passaggio di perturbazioni sull'arco alpino ha talvolta generato condizioni di foehn, con venti di caduta dalle Alpi in 7 giorni su 31, cioè circa il 23% del mese.

### Giugno

In giugno le temperature sono tornate a rialzarsi (moderatamente) al disopra della media climatologica (+1.1°C rispetto alla norma 1971-2000), anche se, in realtà, l'anomalia termica positiva è stata data perlopiù dalle temperature massime diurne, perché le minime notturne sono rimaste più fresche.

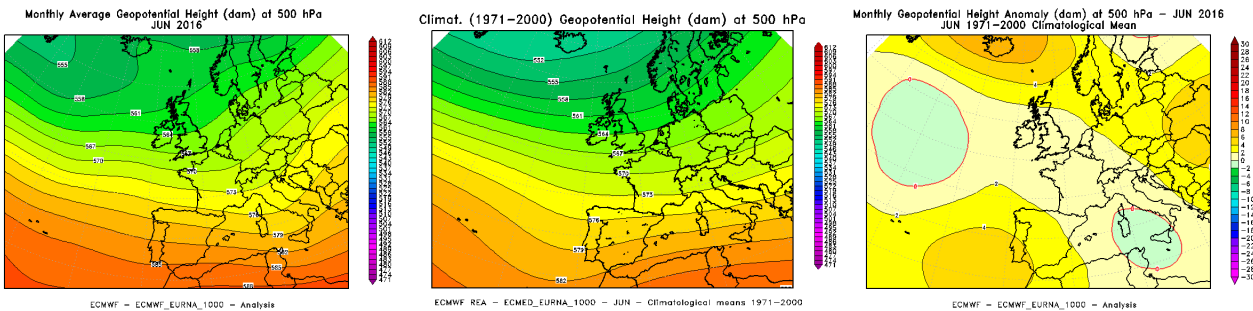


FIGURA 57: geopotenziale medio a 500 hPa del mese di giugno 2016 (a sinistra), a confronto con il periodo.

Infatti, dalla mappa a destra di FIGURA 57 si vede che, un po' come già a maggio, mentre la pressione è stata al disopra della media sull'alto nord-Europa, di riflesso un'anomalia negativa alle latitudini sottostanti, sul nord-Atlantico e, soprattutto, sul Mediterraneo centrale, ha consentito alle depressioni nord-atlantiche di arrivare sull'Italia, dove magari rimanevano anche temporaneamente bloccate dall'alta pressione (di nuovo sopra la media) sull'Europa orientale.

Così sul Piemonte sono giunte le fresche correnti nord-atlantiche, che hanno provocato condizioni d'instabilità in varie riprese, in particolare nelle prime due decadi del mese. L'influenza del flusso fresco da nord (mappa destra di FIGURA 56), che ha quindi contribuito a mantenere più basse soprattutto le temperature minime notturne, ad esempio, ha avuto riscontro nella nevicata del 16 giugno sulle Alpi, quando con una quota neve intorno ai 2000 m si è ancora registrato l'ultimo episodio di neve in montagna, a quote relativamente basse, della primavera astronomica 2016.

In particolare, col minimo barico localizzato proprio sull'Italia centrale (mappa destra di FIGURA 57), il territorio piemontese è stato interessato dalle fredde correnti nordorientali della circolazione ciclonica tirrenica (mappa destra di FIGURA 56): le quali sono state le maggiori responsabili dei valori bassi di temperatura nelle ore notturne.

L'instabilità nord-atlantica ha provocato precipitazioni a carattere perlopiù temporalesco, tipico della stagione estiva, che hanno chiuso il mese di giugno con un impercettibile surplus pluviometrico (+2%) rispetto alla media climatologica degli anni 1971-2000.

Nella terza decade del mese invece la rimonta più decisa dell'anticlone africano sul Mediterraneo ha portato la prima forte fase di caldo estivo del 2016, che alla fine ha determinato l'anomalia termica, media mensile, lievemente positiva.

**Luglio**

L'anticiclone africano ha poi interessato l'Italia, come buona parte d'Europa, nel mese di luglio, in maniera ben più marcata della climatologia, come si può dedurre dal confronto delle mappe di FIGURA 58. L'anomalia barica diffusamente positiva, in maniera continuativa dall'Europa sudoccidentale a quella orientale (nella mappa a destra di FIGURA 58), dimostra come l'alta pressione, protesa dal nord-Africa (mappa a sinistra di FIGURA 58), sia stata forte e fin dove si sia spinta col suo carico di aria calda (mappa sinistra di FIGURA 60), che ancora una volta ha determinato un'anomalia termica media mensile positiva sul Piemonte (di 1.4°C).

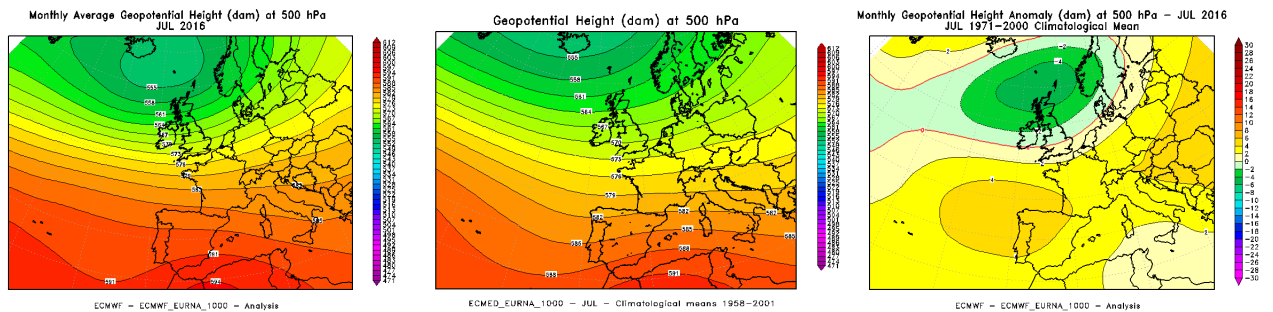


FIGURA 58: geopotenziale medio a 500 hPa del mese di luglio 2016 (a sinistra), a confronto con il periodo climatico 1971-2000 (al centro) e loro differenza (a destra).

Tuttavia anche a luglio (un po' come a giugno) la dominanza dell'anticiclone africano sull'Italia non è stata ininterrotta, ma saltuariamente intervallata dal passaggio di perturbazioni nord-atlantiche, che, associate alla saccatura molto profonda sul nordovest d'Europa (in anomalia negativa nella mappa destra di FIGURA 58), si sono talvolta infilate nel Mediterraneo centrale. Questo è mostrato dalla mappa a sinistra di FIGURA 59, che con i colori più scuri indica dove il geopotenziale medio sia stato maggiormente perturbato: allora la 'lingua' gialla, che dalle Isole Britanniche si infila proprio lungo l'Italia, indica chiaramente la strada percorsa dalle perturbazioni nord-atlantiche fino alla nostra penisola.

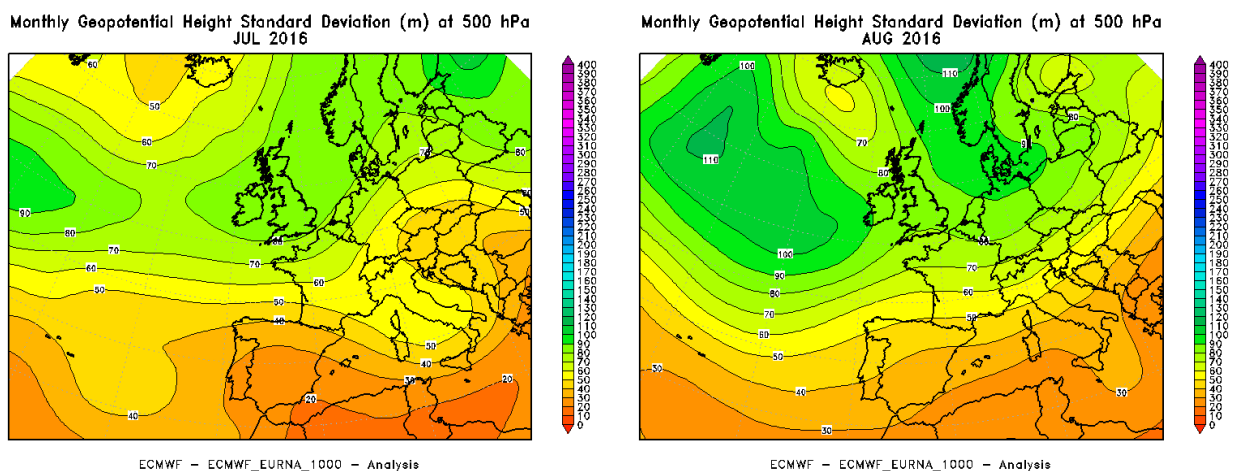


FIGURA 59: variazione media mensile del geopotenziale a 500 hPa (rappresentata dalla sua deviazione standard) nel mese di luglio 2016 (a sinistra) e agosto 2016 (a destra).

Così non sono affatto mancate le occasioni di instabilità e precipitazioni, tanto che, con anche un numero di giorni piovosi superiore alla media, il mese si è chiuso con un surplus precipitativo del 22%, risultando il 15° mese di luglio più piovoso nella distribuzione storica dal 1958 ad oggi.

Inoltre, anche a luglio (come a giugno), questi passaggi instabili e freschi da nord hanno contribuito a mantenere le temperature minime più fresche (appena +0,7°C sulla media 1971-2000), rispetto alla più marcata anomalia positiva delle massime diurne (+2,1°C sulla media 1971-2000), con un'altra nevicata intorno ai 2200 m sulle Alpi a metà mese (quando si sono addirittura registrati dei primati mensili per luglio, nei valori delle temperature minime, con record in una cinquantina di termometri della rete Arpa Piemonte, pari al 17% del totale).

Si è quindi mantenuta un'ampia alternanza di fasi calde e fresche, come il mese precedente.

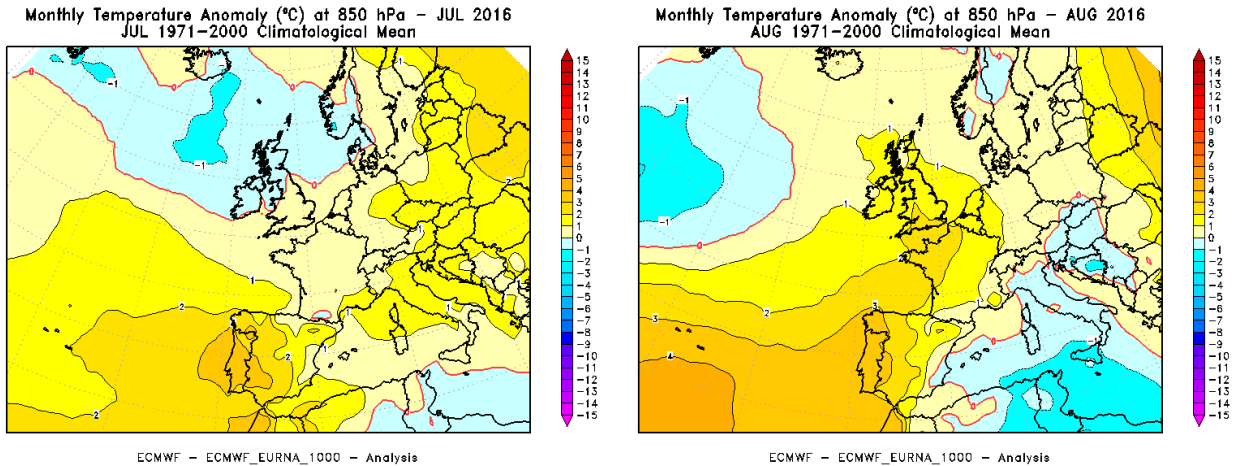


FIGURA 60: anomalia della temperatura a 850 hPa (circa 1500 m di quota), rispetto al periodo climatico 1971-2000, del mese di luglio 2016 (a sinistra) e agosto 2016 (a destra).

**Agosto**

Anche il mese di agosto ha visto un anticiclone africano forte oltre la media su buona parte dell'Europa, come si osserva dal confronto delle mappe di FIGURA 61, quasi simili al mese precedente.

Tuttavia si nota una differenza significativa dal raffronto sia della configurazione meteorologica media di agosto 2016 (mappa a sinistra di FIGURA 61) rispetto al clima di riferimento (mappa centrale di FIGURA 61), sia di agosto 2016 (mappa a sinistra di FIGURA 61) con luglio 2016 (mappa sinistra di FIGURA 58).

Ad agosto il flusso medio sul Piemonte è stato chiaramente più settentrionale (rispetto sia al suo clima di riferimento, sia a luglio), quindi tipicamente più asciutto per la nostra regione. Infatti il mese è risultato decisamente secco: con un deficit precipitativo del 41%, è stato il 9° mese di agosto più secco nella distribuzione storica dal 1958 ad oggi.

Così, con il mese di agosto, il piccolo surplus pluviometrico 2016 (intorno al +6%), che si era accumulato da inizio anno fino alla fine di luglio, si è annullato, riallineando (per il momento) il totale annuo al clima di riferimento.

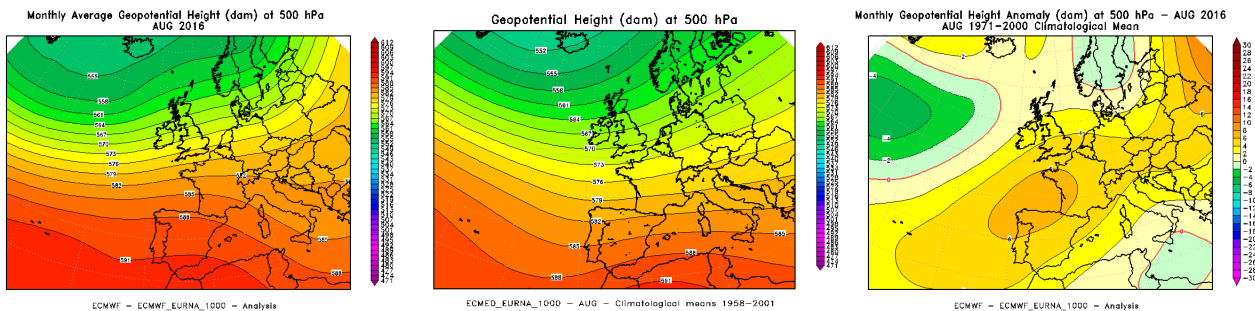


FIGURA 61: geopotenziale medio a 500 hPa del mese di agosto 2016 (a sinistra), a confronto con il periodo climatico 1971-2000 (al centro) e loro differenza (a destra).

Come si può dedurre dalle mappe a destra di FIGURA 59, FIGURA 60 e FIGURA 61, ad agosto le perturbazioni, che (come a luglio) hanno saltuariamente interrotto la dominanza dell'anticiclone africano sull'Europa, hanno avuto un'asse più settentrionale o nord-orientale, rispetto alla direzione



nordoccidentale del mese precedente (mappa sinistra di FIGURA 59). Rispetto a luglio, le perturbazioni che giungevano sull'Italia provenivano perlopiù dalla Scandinavia, lungo i Balcani e l'Adriatico (fino al basso sud-Italia), invece che dalle Isole Britanniche verso il Tirreno (mappa sinistra di FIGURA 59 di luglio), visto che l'anomalia barica in quota (mappa destra di FIGURA 61) è stata (più) positiva sul nordovest europeo e (più) negativa tra il Baltico e la penisola scandinava.

Così queste perturbazioni non hanno avuto un effetto destabilizzante sul Piemonte, foriere di aria fresca ma più asciutta del flusso oceanico e hanno quindi provocato soprattutto un 'clima' fresco per le temperature minime notturne. Infatti il flusso secco settentrionale ha determinato un numero elevato di giornate e notti perlopiù serene o con poche nubi, fattore che ha favorito un'ampia escursione termica diurna: così (ancora una volta, come negli altri due mesi estivi) è stata rilevante la differenza tra la marcata anomalia termica positiva delle temperature massime (+2.0°C) e le minime, rimaste praticamente nella norma del mese, con alcune zone del Piemonte anche in anomalia localmente negativa.

## Settembre

Dopo la scarsità di precipitazioni di agosto, anche settembre è stato un mese decisamente secco, rispetto alla piovosità autunnale attesa: ha avuto un deficit precipitativo del 38%, risultando il 24° mese di settembre più secco nella distribuzione storica degli ultimi quasi 60 anni (dal 1958 ad oggi).

Ma è stato soprattutto un mese assolutamente caldo, il 4° mese di settembre con la temperatura media più alta degli ultimi 59 anni (1958-2016) ed un'anomalia positiva di 2.7°C rispetto alla media del periodo 1971-2000. Dopo un'estate abbastanza altalenante con significative escursioni termiche, tra il giorno e la notte, ed ampie (seppur sporadiche) oscillazioni tra fasi calde e fasi più fresche, settembre ha avuto un lungo periodo caldo (soprattutto col tempo ancora prettamente estivo che ha interessato tutta la prima metà del mese), chiudendosi con un'anomalia termica positiva sia per le temperature massime sia per le minime.

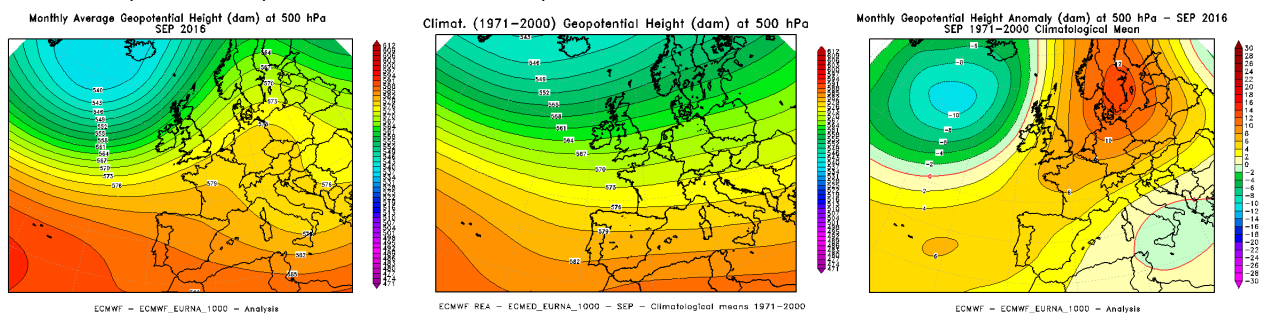


FIGURA 62: geopotenziale medio a 500 hPa del mese di settembre 2016 (a sinistra), a confronto con il periodo climatico 1971-2000 (al centro) e loro differenza (a destra).

Infatti il confronto delle mappe di FIGURA 62 mostra come l'alta pressione sia stata marcatamente più alta della media su buona parte del continente europeo, con massimo dell'anomalia positiva (nella mappa a destra di FIGURA 62) centrato sull'Europa settentrionale, a causa di una forte espansione dell'anticlone africano che (ancora una volta) dal Maghreb si è alzato fino all'alto nord-Europa, un po' anche per riflesso alla contemporanea maggiore discesa della saccatura d'Islanda sul nord-Atlantico (in anomalia negativa nella mappa a destra di FIGURA 62) e pure aggirando una bassa pressione chiusa, isolatasi sull'Italia meridionale (in anomalia negativa nella mappa a destra di FIGURA 62).

Il blocco anticiclonico esteso ininterrottamente dal sudovest d'Europa fino alla parte centro-settentrionale del continente (Scandinavia) ha ovviamente impedito l'arrivo delle perturbazioni atlantiche sul Piemonte, dove il flusso marcatamente più settentrionale (almeno nordoccidentale nella mappa a sinistra di FIGURA 62) della climatologia (mappa centrale di FIGURA 62) ha determinato tempo più asciutto (perché tipicamente più continentale e sottovento all'arco alpino per il Piemonte, rispetto ad un flusso occidentale-sudoccidentale, più marittimo, nella climatologia della mappa al centro di FIGURA 62).

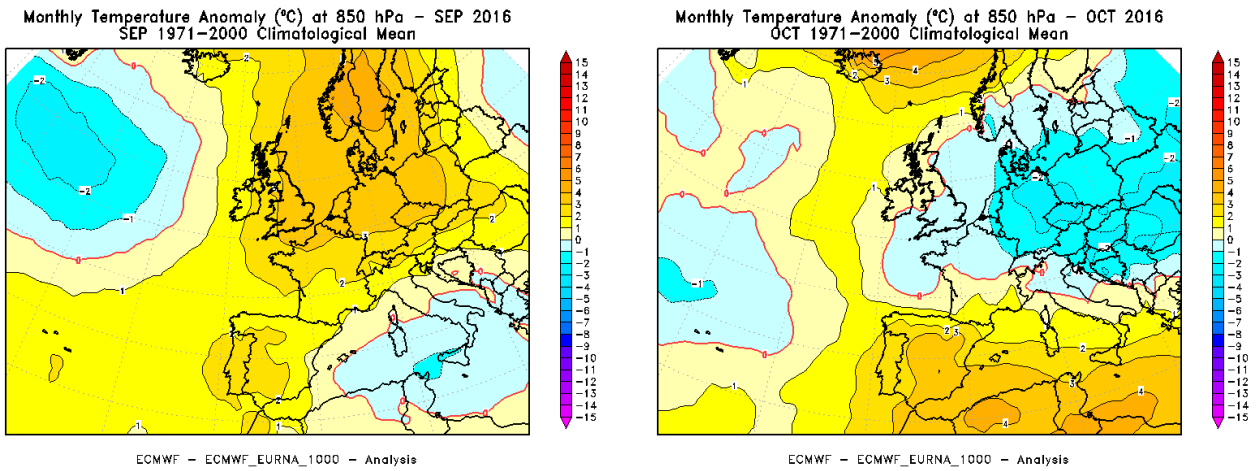


FIGURA 63: anomalia della temperatura a 850 hPa (circa 1500 m di quota), rispetto al periodo climatico 1971-2000, del mese di settembre 2016 (a sinistra) e ottobre 2016 (a destra).

Gli effetti dell'anomala risalita dell'anticlone africano sul nord-Europa si osservano distintamente anche nella mappa della temperatura di FIGURA 63 a sinistra, con un'anomalia termica ampiamente positiva su buona parte del continente; mentre l'anomalia negativa, localizzata sull'Italia meridionale e sul basso Mediterraneo centrale, era associata ad una bassa pressione chiusa (anomalia negativa nella mappa a destra di FIGURA 62) a sud dell'Italia, che insieme alla circolazione anticlonica, dell'alta pressione salita sulla Scandinavia, dirigeva sull'area correnti nordorientali fredde dai Balcani e dalla Russia.

La prova delle caratteristiche prevalentemente più estive che autunnali di settembre 2016 sta anche nel numero di giorni di nebbia osservati: solo 4 invece che 7, cioè quasi la metà del clima di riferimento, tutti nella seconda metà del mese, quando si è avuto il passaggio a condizioni meteorologiche più autunnali, dopo che invece fino al 15 del mese si erano ancora registrate massime di 30°C.

### Ottobre

La scarsità di precipitazioni è proseguita per tutto il mese di ottobre 2016, che, praticamente alla pari di settembre, con un deficit precipitativo del 36%, si è collocato al 25° posto dei mesi di ottobre più secchi nella distribuzione storica dal 1958 ad oggi. Alla fine del mese lo scarto pluviometrico mancante, rispetto al totale cumulato annuo del clima di riferimento, ammontava a circa l'11%.

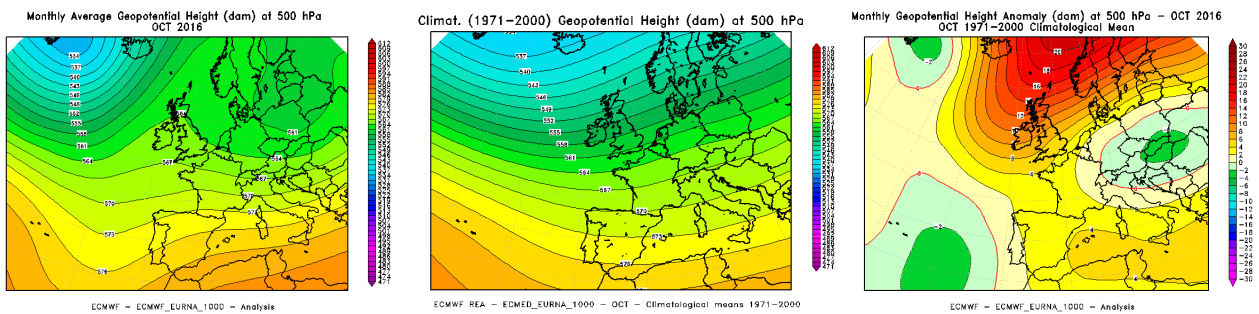


FIGURA 64: geopotenziale medio a 500 hPa del mese di ottobre 2016 (a sinistra), a confronto con il periodo climatico 1971-2000 (al centro) e loro differenza (a destra).

Come il mese precedente, il flusso sul Piemonte mediamente più settentrionale della climatologia, ad ottobre 2016 (nordoccidentale nella mappa a sinistra di FIGURA 64, rispetto all'inclinazione più sudoccidentale della mappa climatologica al centro di FIGURA 64), ha sfavorito l'arrivo di aria umida sulla regione, perché tipicamente più continentale invece che marittimo.

Tale orientazione del flusso era dovuta alla risalita dell'alta pressione (africana) sull'Europa occidentale fino alle latitudini polari del Mar di Norvegia, mentre ancora una volta (come a settembre) la depressione d'Islanda è rimasta profonda (fino anche alle meridionali Isole Azzorre) ma solo al largo dell'Atlantico.

Tuttavia l'anticlone, salito sull'alto nord-Europa, è stato più isolato, e staccato dall'alta pressione africana, rispetto a settembre, favorendo una circolazione anticlonica più chiusa (cioè, col moto orario, un flusso più orientale sul centro-Europa), mentre (allo stesso tempo) un'anomalia barica in

quota ora negativa, dall'Europa orientale fino al nord-est dell'Italia, ha potuto influenzare più direttamente anche l'Italia settentrionale, con le correnti nordorientali che hanno portato aria fredda su buona parte dell'Europa centrale (mappa destra di FIGURA 63).

Così, dopo tanti mesi significativamente più caldi della media, ottobre è stato il terzo (dopo marzo e maggio) ed ultimo mese dell'anno a rimanere con temperature medie nella norma: anzi, ha registrato addirittura un'anomalia lievemente negativa per le temperature minime.

### Novembre

Il mese di novembre 2016 è risultato molto umido e con temperature superiori alla norma, in particolare per i valori minimi notturni, a seguito di giornate perlopiù nuvolose.

Ciò che lo ha caratterizzato e che ha lasciato l'impronta più significativa nella mappa meteorologica media mensile (FIGURA 64), è stato l'evento alluvionale dell'ultima decade del mese, quando sono caduti quantitativi di pioggia così elevati che localmente hanno rappresentato più del 50% della precipitazione totale media annua.

Con un surplus pluviometrico mensile attorno ai 177 mm (per un totale di circa 255 mm), superiore del 225% rispetto alla media del periodo 1971-2000, novembre 2016 si pone al 5° posto tra i mesi di novembre più piovosi degli ultimi 59 anni. Ha così ribaltato, da negativo a positivo, lo scarto del cumulo precipitativo annuo, rispetto al clima di riferimento, tanto da lasciarlo poi positivo fino alla fine dell'anno.

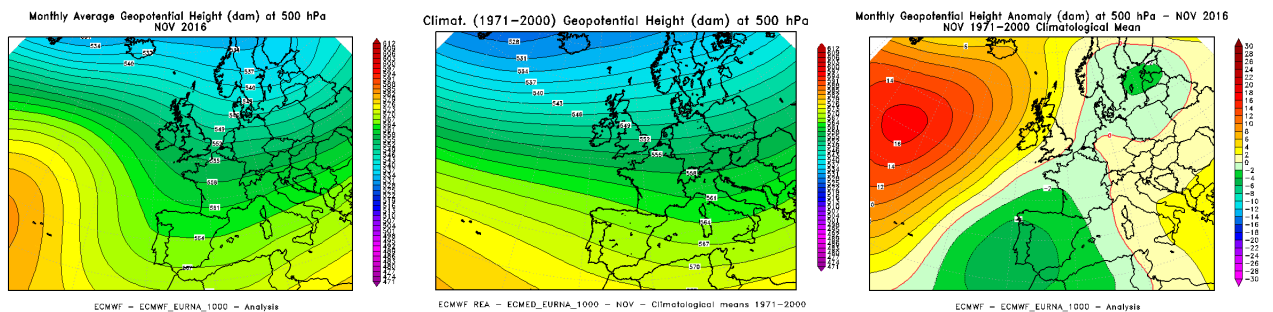


FIGURA 65: geopotenziale medio a 500 hPa del mese di novembre 2016 (a sinistra), a confronto con il periodo climatico 1971-2000 (al centro) e loro differenza (a destra).

La mappa a sinistra della FIGURA 65 rappresenta il flusso prevalente del mese, orientato da sudovest, portatore di aria mite e umida, a causa di una profonda saccatura nord-atlantica, scesa sulla Penisola Iberica, dove ha lasciato una marcata anomalia barica negativa (sia in quota nella mappa destra di FIGURA 65, sia al suolo nella mappa sinistra di FIGURA 66) provocando instabilità diffusa sul Piemonte, facilmente bloccata anche dall'alta pressione sull'Europa orientale (in anomalia barica positiva nella mappa destra di FIGURA 65 e nella mappa sinistra di FIGURA 66).

In tali condizioni instabili, e comunque grazie ad una buona dinamicità della configurazione meteorologica lungo tutto il mese (riscontrabile ad esempio nei notevoli sbalzi termici occorsi durante il mese), sono risultati assenti i periodi di lunga stabilità anticiclonica, che normalmente favoriscono la formazione delle nebbie autunnali, e quindi tali fenomeni di stabilità atmosferica e stagnazione dell'aria sono rimasti inferiori alla climatologia del periodo.

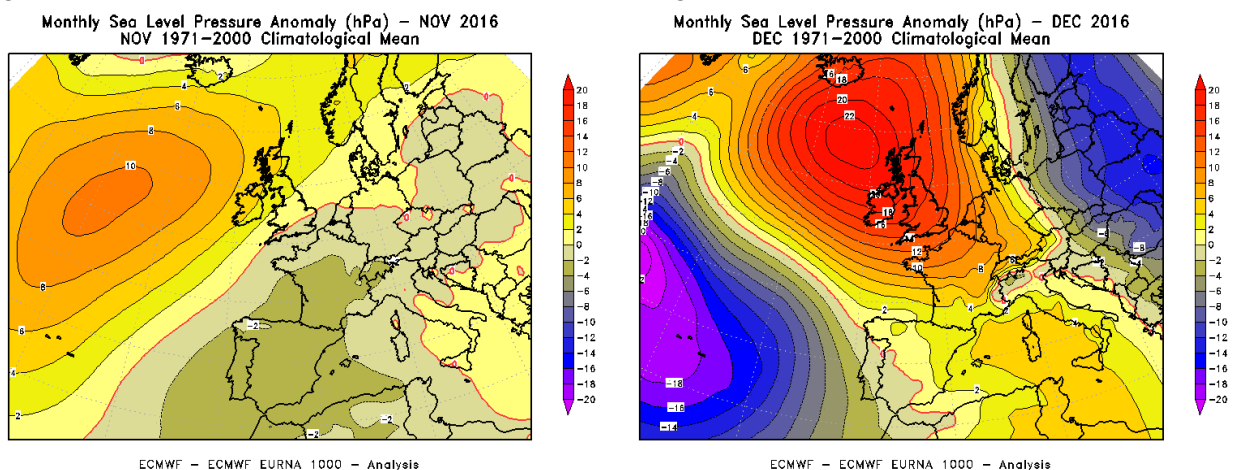


FIGURA 66: anomalia della pressione a livello del mare, rispetto al periodo climatico 1971-2000, di novembre 2016 (a sinistra) e dicembre 2016 (a destra).

**Dicembre**

A differenza di novembre, dicembre 2016 è tornato in condizioni di prevalente stabilità atmosferica, con scarsità di precipitazioni e risultando nel complesso mite e nebbioso.

La configurazione meteorologica media mensile disegna (nella mappa a sinistra di FIGURA 67) un marcato promontorio anticiclonico che si erge sull'Europa centro-occidentale fino al sud dell'Islanda, dove ha lasciato una forte anomalia barica positiva, in quota (mappa a destra di FIGURA 67) e al suolo (mappa a destra di FIGURA 66), portando aria stabile e mite.

Tale alta pressione ha orientato il flusso sinottico da nordovest sull'Italia e sul Piemonte (mappa a sinistra di FIGURA 67), continentale e asciutto. Inoltre la stretta vicinanza dell'alta pressione a ovest e della bassa pressione a est (dalle Repubbliche Baltiche ai Balcani) ha creato un forte gradiente barico in corrispondenza dell'arco alpino, con le tipiche caratteristiche del foehn anche nella configurazione al suolo della mappa a destra di FIGURA 66, che hanno ulteriormente incrementato l'apporto di aria mite e asciutta sul versante padano delle Alpi italiane.

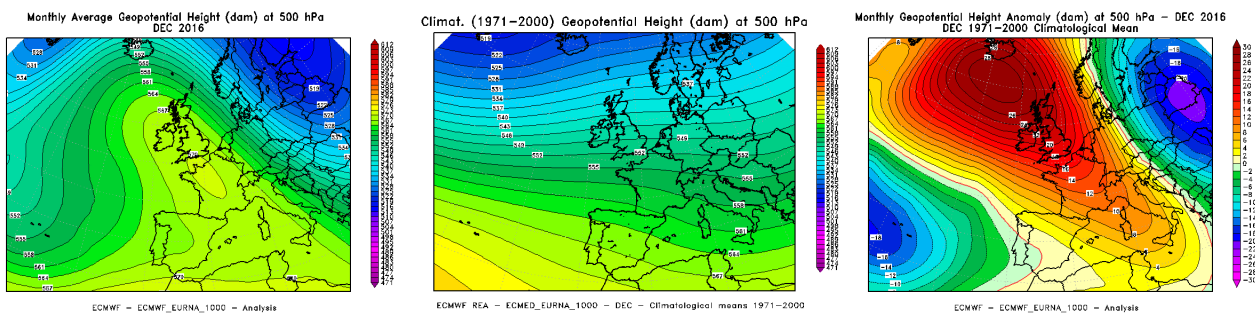


FIGURA 67: geopotenziale medio a 500 hPa del mese di dicembre 2016 (a sinistra), a confronto con il periodo climatico 1971-2000 (al centro) e loro differenza (a destra).

Infatti dicembre 2016 ha registrato una marcata anomalia termica positiva di circa 2.6°C rispetto alla climatologia del periodo 1971-2000, risultando il 2° mese di dicembre più caldo nella distribuzione storica dal 1958 ad oggi, con numerosi record in prevalenza intorno ai giorni delle feste natalizie (25 e 27 dicembre).

Il contributo più rilevante a tale anomalia termica è stato dato dai valori registrati sulle Alpi, come si vede dalla FIGURA 68, che mostra chiaramente le temperature particolarmente elevate proprio in corrispondenza del Piemonte, dove (per la locale interazione della catena alpina) il surplus termico è stato accentuato dalle condizioni di foehn.

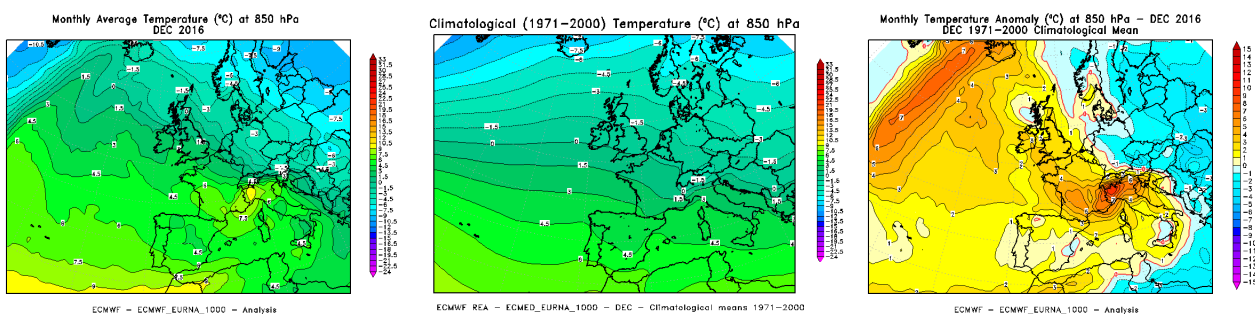


FIGURA 68: temperatura a 850 hPa (circa 1500 m di quota) del mese di dicembre 2016 (a sinistra), a confronto con il periodo climatico 1971-2000 (al centro) e loro differenza (a destra).

Naturalmente la stabilità atmosferica e l'aria calda soprattutto in quota hanno generato frequenti condizioni d'inversione termica in pianura, con numerosi fenomeni di nebbia e stagnazione dell'aria e conseguente pessima qualità dell'aria, a causa dell'incremento delle concentrazioni degli inquinanti. Con ben 27 giorni nebbiosi su 31 (di cui 10 giorni di nebbia fitta) dicembre 2016 si pone al secondo posto nella classificazione storica degli ultimi anni (dopo dicembre 2015, quando la nebbia si presentò per addirittura 30 giorni su 31).



Anche per questo motivo, l'anomalia termica positiva è stata più marcata per le zone montuose (con cielo sereno) rispetto a quelle pianeggianti (con cielo grigio nebbioso).

Analogamente, il deficit pluviometrico medio mensile del 27% (attorno ai 15 mm), rispetto alla media del periodo 1971-2000, non è stato uniformemente distribuito su tutto il territorio regionale, perché il flusso settentrionale (della mappa sinistra di FIGURA 67) ha potuto portare locali precipitazioni sul settore meridionale del Piemonte. Comunque, nel complesso, l'anno 2016 si è chiuso in attivo per il cumulato pluviometrico annuo, grazie al notevole surplus registrato a novembre.

### I DATI METEO MISURATI NEL 2016

Al termine della caratterizzazione meteorologica, si è ritenuto interessante effettuare l'analisi dei dati meteorologici misurati dalle stazioni a terra nell'anno 2016, limitata all'andamento delle variabili meteorologiche maggiormente significative in rapporto al decennio precedente 2006-2015.

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 2016 per la stazione Torino-Giardini Reali risulta pari a 14.0 °C, quindi superiore sia alla media dei dati rilevati negli ultimi dieci anni nella stessa stazione (13.6 °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 2006-2015 (FIGURA 69). Si segnalano valori significativi di temperatura superiori alla media climatologica nei mesi di febbraio e settembre (+2°C). Le differenze negative maggiormente significative, rispetto alle relative medie del decennio precedente, si riscontrano nei mesi di maggio (-1.1°C) e ottobre (-0,8°C).

Il valore più basso delle temperature medie mensili è stato registrato nel mese di gennaio ed è pari a 3.8 °C nel 2016 mentre è pari a 3°C nel decennio di riferimento. Il valore massimo è stato registrato nel mese di luglio e nel 2016 è di 25.1°C, invece è di 24.6°C nel decennio climatologico 2006-2015.

Dal confronto grafico fra l'andamento dei dati orari acquisiti nel corso del 2016 e l'intervallo di valori medi studiato a partire dai minimi e dai massimi assoluti registrati mensilmente nel decennio precedente (FIGURA 70), si osserva che gli ultimi giorni di gennaio e il periodo che va dall'ultima decade di giugno fino alla metà di settembre sono quelli più marcatamente spostati verso l'alto (oltre la linea rossa dell'andamento dei massimi assoluti registrati mensilmente nel decennio 2006-2015). Sostanzialmente in tutti i mesi dell'anno si osservano picchi di temperature minime che superano i valori medi dei minimi assoluti registrati mensilmente nel decennio di riferimento (linea blu).

Per quanto riguarda le precipitazioni atmosferiche, l'analisi dei dati statistici evidenzia per l'anno 2016 (FIGURA 71) un totale di precipitazioni di 1054 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 79. Quindi il 2016 risulta più piovoso della media 2006-2015, sia in termini di precipitazioni totali (1054 mm contro 1028 mm di media), che per il numero di giorni piovosi (79 giorni contro 76 giorni di media).

Il 2016 si colloca al sesto posto tra gli anni più piovosi dell'ultimo decennio, dopo il 2010 (1352 mm), il 2014 (1309 mm), il 2011 (1196 mm), il 2008 (1166 mm) e il 2013 (1096 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 (FIGURA 71) i valori più alti sono stati registrati nel 2011 (25,4 mm pioggia/giorno) e nel 2015 (16 mm pioggia/giorno), mentre il valore più basso è stato registrato nel 2008 (11,3 mm pioggia/giorno). Nel 2016 l'intensità giornaliera media è risultata lievemente inferiore a quella del decennio (13.3 mm pioggia/giorno contro una media di 14,1 mm pioggia/giorno).

L'analisi della distribuzione annuale delle precipitazioni nell'ambito dei vari mesi può inoltre essere utilizzata per definire il *regime pluviometrico* di un'area geografica. Nello studio climatologico della

Regione Piemonte<sup>33</sup>, l'andamento di tale distribuzione per il Piemonte risulta bimodale con i massimi localizzati in primavera ed in autunno. In base alla collocazione nell'anno del minimo principale, del massimo principale e del massimo secondario, si possono distinguere nella nostra regione cinque tipi di regime pluviometrico, dei quali quattro di tipo "continentale" (minimo principale in inverno) ed uno di tipo "mediterraneo" (minimo principale in estate):

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

Sempre secondo tale studio, il regime pluviometrico prealpino è il più diffuso in Piemonte, anche se quello attribuito all'area del capoluogo torinese risulta continentale alpino (Mennella, 1967; Biancotti, 1996)<sup>34</sup>.

Nel grafico illustrato in FIGURA 72 è riportato il confronto tra l'andamento delle precipitazioni totali mensili per il 2016 e le precipitazioni medie mensili (media delle sommatorie mensili) del decennio 2006-2015. Il profilo del 2016 si discosta dal regime pluviometrico "continentale alpino" rientrando nel regime pluviometrico "subalpino": il massimo principale è stato registrato a novembre (181 mm), mentre quello secondario a maggio (180 mm), e il minimo principale si registra a dicembre (8,6 mm).

Un'ulteriore elaborazione è stata effettuata aggregando gli stessi dati di precipitazione su base trimestrale. Nella FIGURA 73 sono riportati, per ogni trimestre, gli istogrammi relativi alla quantità di pioggia misurata nei diversi anni, e per ogni grafico viene segnalato il valore medio di precipitazione per il decennio. Dall'esame dei grafici spicca che in tutti i trimestri del 2016 le precipitazioni sono superiori alla media climatologica tranne che nel terzo trimestre (quando risultano inferiori del 24,6%).

Va comunque sottolineato che le osservazioni sopra riportate sulle caratteristiche di piovosità relative all'anno 2016 devono essere valutate alla luce delle seguenti considerazioni:

- l'arco temporale (decennio 2006-2015) utilizzato per il confronto risulta comunque ridotto;
- la rappresentatività spaziale è limitata all'area metropolitana.

---

<sup>33</sup> "Precipitazioni e temperature" - Collana studi climatologici in Piemonte - Regione Piemonte: Direzione dei Servizi Tecnici di Prevenzione - Settore Meteoidrografico e Reti di Monitoraggio; Università degli Studi di Torino: Dipartimento di Scienze della Terra.

<sup>34</sup> Mennella C. (1967) - Il clima d'Italia. Vol. I, ed. E.D.A.R.T., Napoli. 1, pp. 157-178.

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

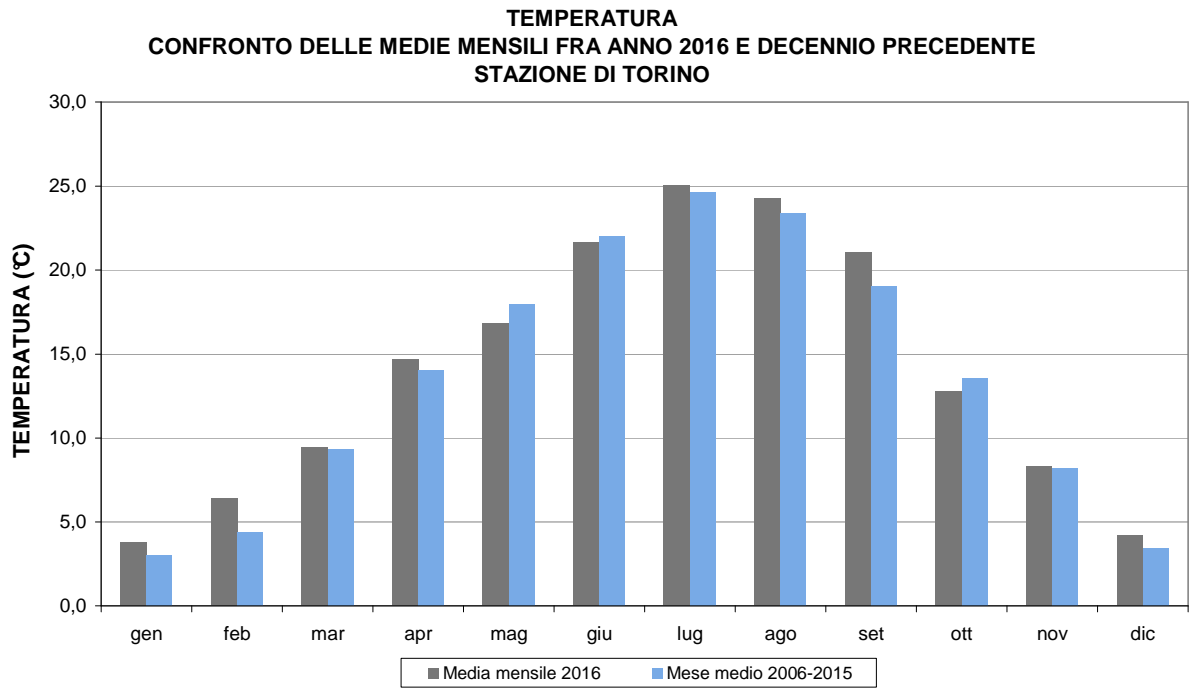


FIGURA 69: temperatura - valori medi mensili per l'anno 2016 e per il decennio 2006÷2015 per la stazione di Torino.

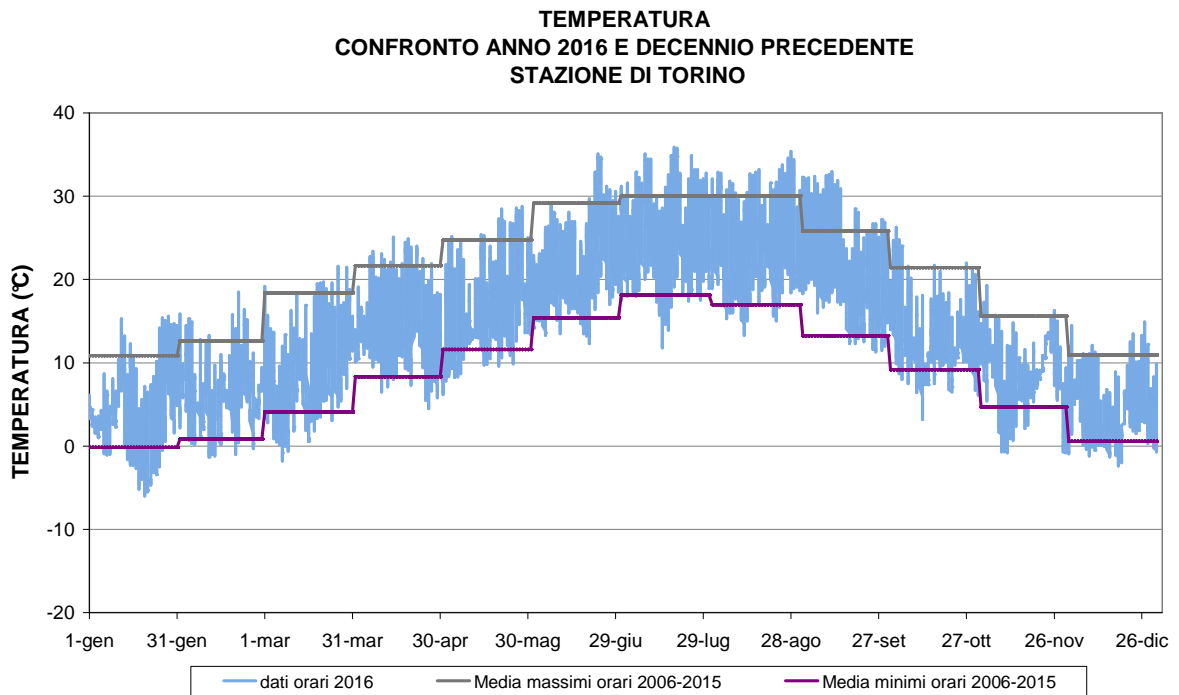


FIGURA 70: temperatura - valori orari per l'anno 2016 e medie dei minimi e dei massimi assoluti registrati nel decennio 2006÷2015 presso la stazione di Torino.

**PRECIPITAZIONI ATMOSFERICHE  
CONFRONTO ANNO 2016 E DECENNIO PRECEDENTE  
STAZIONE DI TORINO**

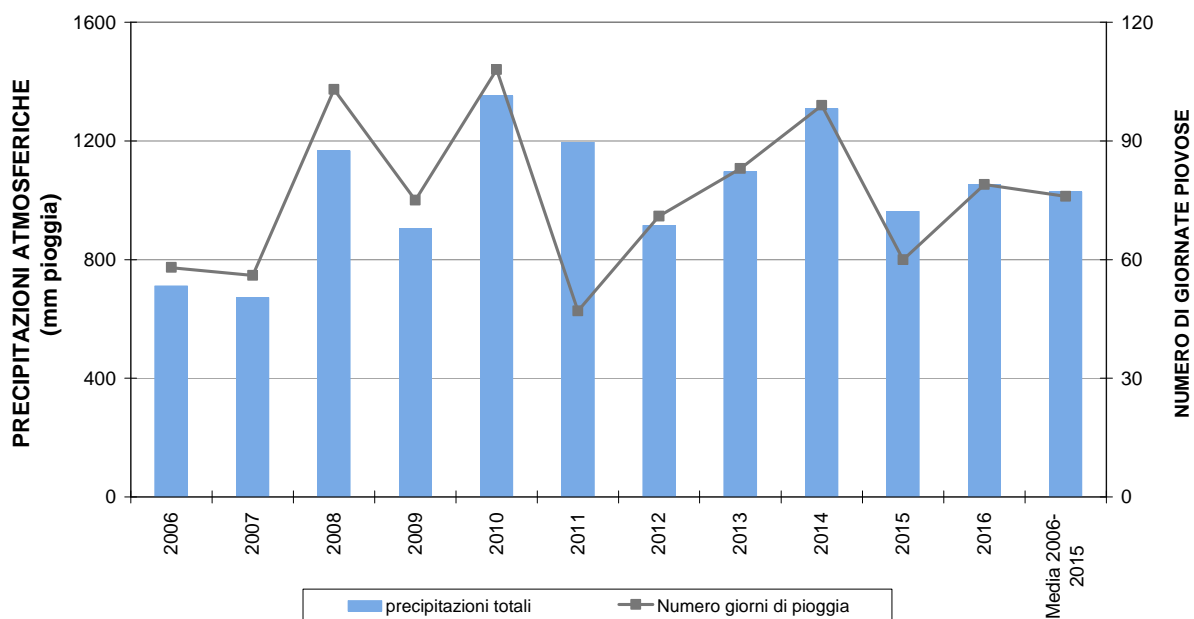


FIGURA 71: precipitazioni atmosferiche - sommatorie annuali e media del decennio in termini di quantità di precipitazioni e di numero di giornate piovose per la stazione di Torino.

**PRECIPITAZIONI ATMOSFERICHE  
CONFRONTO ANNO 2016 E DECENNIO PRECEDENTE  
STAZIONE DI TORINO**

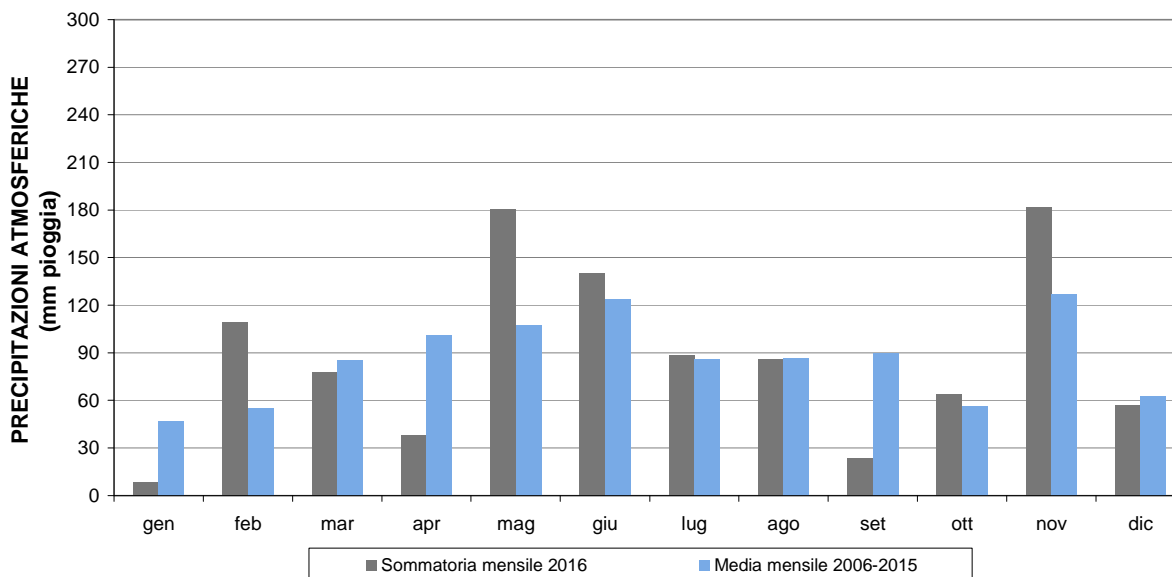


FIGURA 72: precipitazioni atmosferiche - sommatorie mensili per l'anno 2016 e medie mensili relative al decennio 2006÷2015 per la stazione di Torino.



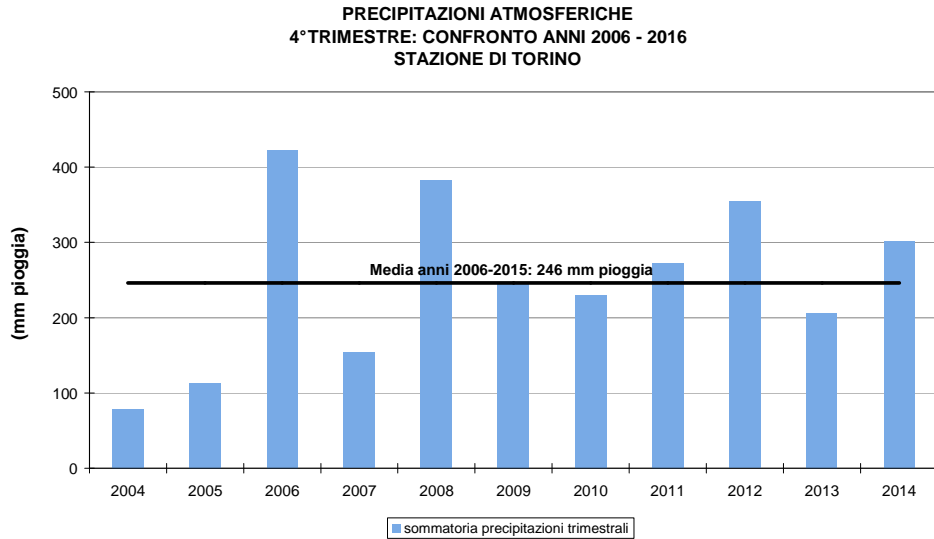
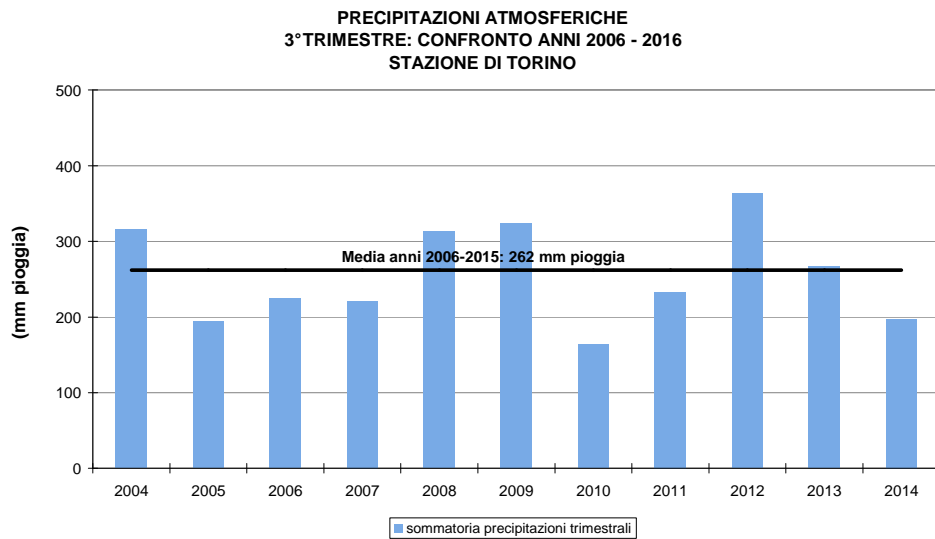
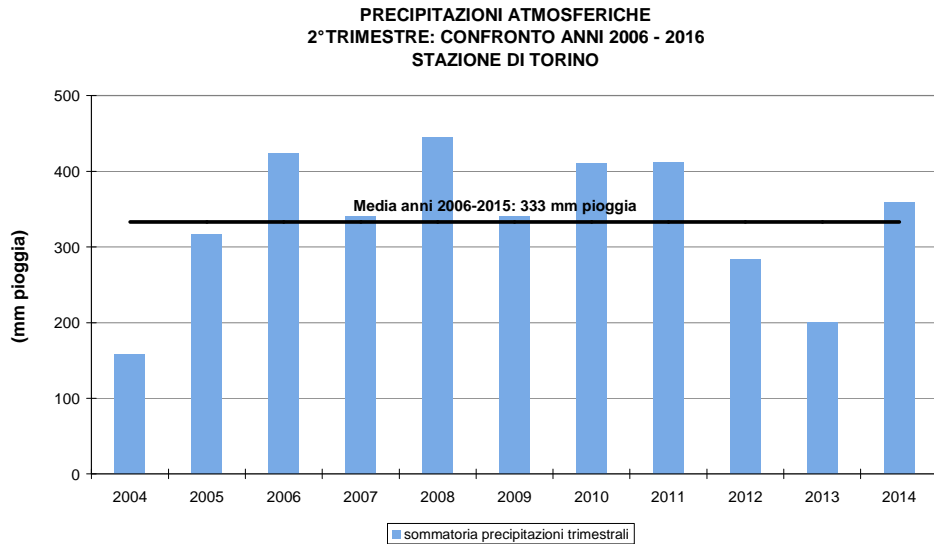
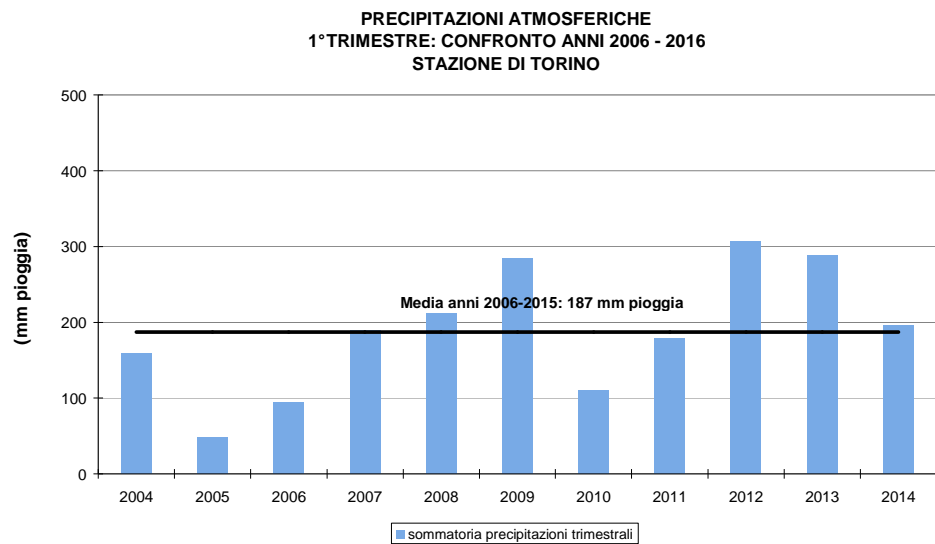


FIGURA 73: precipitazioni atmosferiche - sommatorie trimestrali relative al periodo 2006÷2016 per la stazione di Torino.

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

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

**S. Bande, ARPA Piemonte, Sistemi previsionali**

Le cause dell'inquinamento atmosferico, o meglio quelle che vengono prese in considerazione con l'obiettivo di poter agire effettivamente su di esse, sono le emissioni derivanti dalle attività umane. Il passaggio logico tra emissioni e concentrazioni di inquinanti in aria (ad esempio misurate da una stazione di monitoraggio di qualità dell'aria) non è immediato nè banale, in quanto coinvolge un sistema altamente complesso come l'atmosfera. Le sostanze inquinanti immesse in atmosfera in un dato istante ed in un determinato punto del territorio sono sottoposte a molteplici fenomeni chimico-fisici, quali il trasporto dovuto all'azione del vento, la dispersione per effetto dei moti turbolenti dei bassi strati dell'atmosfera, l'eventuale trasformazione chimica, passaggi di fase e deposizione della sostanza stessa, per effetto dei quali è possibile ritrovarla, dopo un tempo più o meno lungo, in altri punti del territorio e con diversi valori di concentrazione. Per tali ragioni la valutazione della tendenza dello stato di qualità dell'aria è quindi un problema complesso, nel quale bisogna essere in grado di separare gli effetti dovute alle politiche di riduzione delle emissioni da quelli legati ad una variazione della capacità dell'atmosfera di disperdere gli inquinanti.

A tal fine ARPA Piemonte ha messo a punto negli ultimi anni un indice, denominato «*numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10*» volto ad identificare le giornate potenzialmente critiche per la qualità dell'aria. L'indice non intende descrivere in maniera esaustiva la complessità dei fenomeni chimico-fisici coinvolti, ma piuttosto porsi come un utile strumento di indagine per interpretare qualitativamente la variabilità annuale delle concentrazioni degli inquinanti anche in funzione della meteorologia.

### DEFINIZIONE DELL'INDICE

L'indice analizza in modo sintetico le interazioni tra il trasporto, la trasformazione chimica e la dispersione degli inquinanti considerando tre parametri meteorologici di particolare rilevanza: l'altezza di rimescolamento, l'intensità del vento e la precipitazione.

Con altezza di rimescolamento si intende l'altezza dello strato adiacente alla superficie terrestre all'interno del quale un composto, introdotto a livello del suolo, viene disperso verticalmente per turbolenza meccanica e/o convettiva e diluito a concentrazione uniforme. Ad alti valori dell'altezza di rimescolamento corrispondono generalmente bassi valori di concentrazione, viceversa a bassi valori di altezza di rimescolamento corrispondono concentrazioni maggiori. L'altezza di rimescolamento è legata principalmente alla radiazione solare e presenta quindi sia un marcato ciclo diurno, passando da valori minimi notturni a valori massimi diurni, sia un marcato ciclo stagionale, con valori minimi invernali e valori massimi estivi. Il vento influisce in modo rilevante sulle dinamiche di dispersione in atmosfera, venti intensi favoriscono l'allontanamento delle sostanze emesse dalla sorgente, costituendo uno dei principali sistemi di abbattimento delle concentrazioni, mentre venti molto deboli, spesso associati a perduranti condizioni anticicloniche tipiche della pianura padana, favoriscono la stagnazione e quindi l'accumulo di inquinanti. Infine il dilavamento operato dalle precipitazioni è uno dei più importanti meccanismi di autodepurazione di cui dispone l'atmosfera.

Seguendo la metodologia adottata in ARPA Emilia Romagna<sup>35</sup>, l'indice è stato costruito come un indice giornaliero composto dall'aggregazione di due sottoindici, il primo relativo alla precipitazione cumulata giornaliera ed il secondo, definito indice di ventilazione giornaliero, ottenuto come prodotto tra l'altezza di rimescolamento e l'intensità del vento al suolo.

L'indice "numero di giorni favorevoli all'accumulo di PM10" è stato pensato come un indice di area vasta, definito ed applicato sull'area rappresentata in FIGURA 74, corrispondente all'agglomerato metropolitano torinese comprendente i comuni di Torino, San Mauro, Settimo T.se, Borgaro T.se, Venaria, Collegno, Grugliasco, Rivoli, Orbassano, Beinasco, Nichelino e Moncalieri, ovvero la stessa area su cui viene calcolato IPQA (Indice Previsionale della Qualità dell'aria<sup>36</sup>).

Il funzionamento dell'indice è semplice: vengono valutati giornalmente sull'area di applicazione i valori della precipitazione cumulata e dell'indice di ventilazione e, se i valori dei sottoindici risultano inferiori alle rispettive soglie (definite secondo le modalità nel seguito descritte) la giornata è

<sup>35</sup> Bonafé G. (2011), "Indicatori meteo per interpretare le tendenze della qualità dell'aria", [http://www.arpa.emr.it/dettaglio\\_documento.asp?id=3064&idlivello=134](http://www.arpa.emr.it/dettaglio_documento.asp?id=3064&idlivello=134)

<sup>36</sup> IPQA, <http://www.cittametropolitana.torino.it/cms/ambiente/qualita-aria/dati-qualita-aria/ipqa>

classificata come favorevole alla formazione ed accumulo di particolato PM10, mentre se risultano superiori alle soglie la giornata è classificata come non favorevole.

I dati meteorologici di base su cui è stato definito e successivamente calcolato l'indice provengono da due differenti tipologie informative:

- la rete di monitoraggio Meteoidrografica di ARPA Piemonte per quanto riguarda i dati di precipitazione;
- i campi su griglia dei modelli meteorologici diagnostici MINERVE/SURFPRO<sup>37</sup> prodotti su tutto il territorio regionale con una risoluzione orizzontale di 4 chilometri dal sistema modellistico di qualità dell'aria di ARPA Piemonte sia nell'ambito delle simulazioni annuali a supporto delle Valutazioni di Qualità dell'Aria, sia nelle simulazioni quotidiane in near real time<sup>38</sup>, per quanto riguarda i dati di vento e di altezza di rimescolamento.



FIGURA 74: area di definizione e di applicazione dell'indice « giorni favorevoli alla formazione di PM10 ». L'area comprende i territori comunali di Torino, San Mauro, Settimo T.se, Borgaro T.se, Venaria, Collegno, Grugliasco, Rivoli, Orbassano, Beinasco, Nichelino e Moncalieri.

In dettaglio sono stati utilizzati i dati di precipitazione misurati dalle stazioni di monitoraggio installate nell'area di studio (rappresentate geograficamente in FIGURA 75); i valori di precipitazione oraria sono stati dapprima cumulati a livello giornaliero e successivamente aggregati sull'area di studio mediante un' opportuno stimatore spaziale, individuato in sede di calibrazione come il 75° percentile delle cumulate giornaliere sulle singole stazioni.

L'indice di ventilazione è stato costruito a partire dai valori di altezza di rimescolamento e velocità del vento, disponibili come dati orari su celle quadrate di 4 chilometri di lato sull'intero territorio regionale; sono state dapprima identificate le celle che ricadono all'interno dell'area di studio (FIGURA 75), successivamente l'indice di ventilazione orario calcolato sulle celle così individuate è stato aggregato a livello giornaliero ed a livello spaziale utilizzando rispettivamente il 75° percentile della distribuzione giornaliera su ogni cella ed il 75° percentile della distribuzione spaziale su tutte le celle appartenenti all'area di studio.

Le basi dati relative agli anni 2006, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 sono state utilizzate per definire e calibrare l'indice che è stato successivamente applicato agli anni 2013, 2014, 2015 ed in ultimo 2016.

<sup>37</sup> Bande S., Clemente M., De Maria R., Muraro M., Piccolo M.E., Arduino G., Calori G., Finardi S., Radice P., Silibello C., Brusasca G., The modelling system supporting Piemonte region yearly air quality assessment. Proceedings of the 6th International conference on Urban Air Quality, Limassol, Cyprus, marzo 2007

<sup>38</sup> Giorelli M., Bande S., Muraro M., Influenza della modellistica meteorologica sulla predicibilità dell'inquinamento dell'aria a scala regionale e urbana. Relazione della Provincia di Torino Uno Sguardo all'aria 2008, pp141-159, 2008

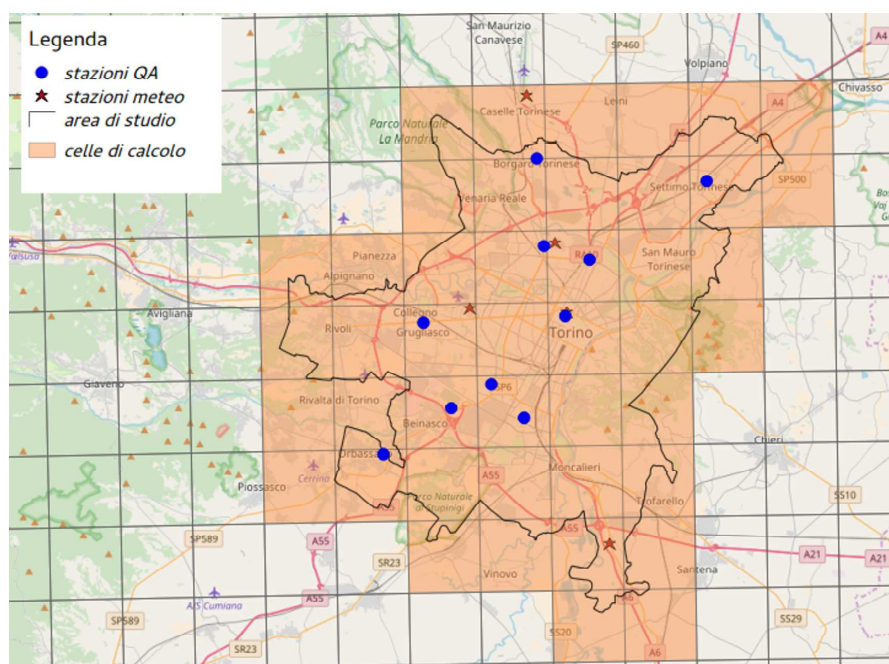


FIGURA 75: area di applicazione dell'indice con indicato: in blu (punti) le stazioni di PM10 utilizzate per la calibrazione, in rosso (stelle) le stazioni meteorologiche utilizzate per la precipitazione ed in rosa le celle di calcolo del modello meteorologico che ricadono all'interno dell'area di studio.

La calibrazione dell'indice, ovvero la definizione delle soglie critiche per precipitazione e per l'indice di ventilazione, è stata condotta utilizzando la tecnica di classificazione degli "alberi di partizione ricorsivi"<sup>39</sup> così come implementata nel package *rpart* dell'ambiente di sviluppo R<sup>40</sup>. Per la calibrazione sono stati utilizzati i dati giornalieri di particolato PM10 misurati per gli anni 2006, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 dalle stazioni con campionatore gravimetrico presenti nell'area di studio (rappresentate geograficamente in FIGURA 75).

Per l'identificazione delle soglie i dati di PM10 sono stati dapprima aggregati sull'area di studio utilizzando il 25° percentile della distribuzione spaziale e successivamente classificati in HIGH (ovvero superiori al valore limite giornaliero di 50 µg/m<sup>3</sup>) e LOW (ovvero inferiori al valore limite giornaliero di 50 µg/m<sup>3</sup>). La scelta di un percentile basso per l'aggregazione spaziale è stata motivata dal fatto di voler calibrare l'indice sulle condizioni di inquinamento diffuso.

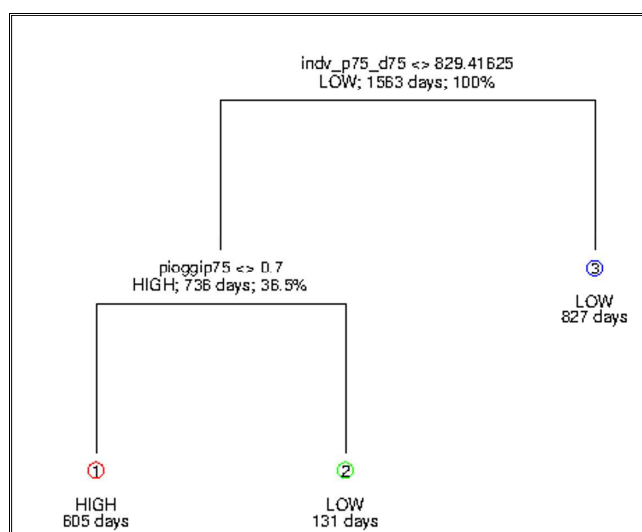


FIGURA 76: risultato del processo di classificazione mediante il package *rpart* di R.

39 Breiman, Friedman, Olshen, e Stone. (1984) "Classification and Regression Trees." Wadsworth

40 Package *rpart*, Recursive Partitioning and Regression Trees <https://CRAN.R-project.org/package=rpart>

**APPLICAZIONE ALL'ANNO 2016.**

Dopo essere stato identificato e calibrato, l'indice "numero di giorni favorevoli all'accumulo di particolato PM10" è stato calcolato operativamente con cadenza annuale sull'area metropolitana a partire dall'anno 2013 e fino all'anno 2016. I valori dell'indice sono stati raggruppati sia su base annuale che su base mensile. I risultati sono riportati, in forma tabellare nella successiva TABELLA 32 e TABELLA 33 ed in forma grafica in FIGURA 77 e in FIGURA 78. L'andamento su base mensile del numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 dell'ultimo anno è confrontato con minimo, mediana, massimo, 25° e 75° percentile degli anni precedenti.

Il valore annuale dell'indice per l'intero anno 2016, pari a 109 giorni, è il più basso di tutta la serie storica analizzata ed il secondo più basso per il solo semestre invernale (ovvero da gennaio a marzo e da ottobre a dicembre), ad indicare come il 2016 non sia stato, almeno fino al mese di ottobre, un anno particolarmente critico dal punto di vista meteorologico per i fenomeni di inquinamento (TABELLA 32). Analizzando in dettaglio, l'andamento mensile dell'indice (TABELLA 33) evidenzia come i primi dieci mesi dell'anno - in particolare i mesi di gennaio, febbraio e marzo - si collochino sui percentili inferiori della distribuzione del periodo 2006-2015; il mese di novembre si riporta nella mediana e, solo nel mese di dicembre, si osserva una criticità più accentuata con un numero di occorrenze confrontabili con i valori mensili più alti del periodo 2006-2015.

anno	periodo annuale	% periodo annuale	semestre invernale	semestre estivo
2006	173	47	145	28
2007	164	45	146	18
2008	109	30	99	10
2009	n.d	n.d	n.d	n.d
2010	112	31	106	6
2011	145	40	135	10
2012	137	37	130	7
2013	130	36	115	15
2014	125	34	110	15
2015	131	36	125	6
2016	109	30	105	4

TABELLA 32: numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - valori annuali e valori semestrali (semestre estivo, da aprile a settembre, e semestre invernale da gennaio a marzo e da ottobre a dicembre) dell'indice per gli anni 2006-2016.

mesi	2016	Massimi 2006-2015	Minimi 2006-2015	Mediana 2006-2015	1° quartile 2006-2015	3° quartile 2006-2015
gen	23	28	20	25	23	27
feb	16	26	14	21	18	24
mar	3	17	2	10	9	11
apr	3	6	0	1	1	3
mag	0	10	0	1	0	1
giu	0	3	0	0	0	1
lug	0	1	0	0	0	0
ago	0	4	0	0	0	1
set	1	12	5	7	5	9
ott	13	27	13	19	17	23
nov	22	29	13	22	17	25
dic	28	31	21	26	24	29

TABELLA 33: numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - andamento su base mensile dell'indice per l'anno 2016 e confronto con la distribuzione mensile del periodo 2006-2015.

**NUMERO DI GIORNI FAVOREVOLI ALL'ACCUMULO DI PM10  
AGGLOMERATO TORINESE 2006-2016**

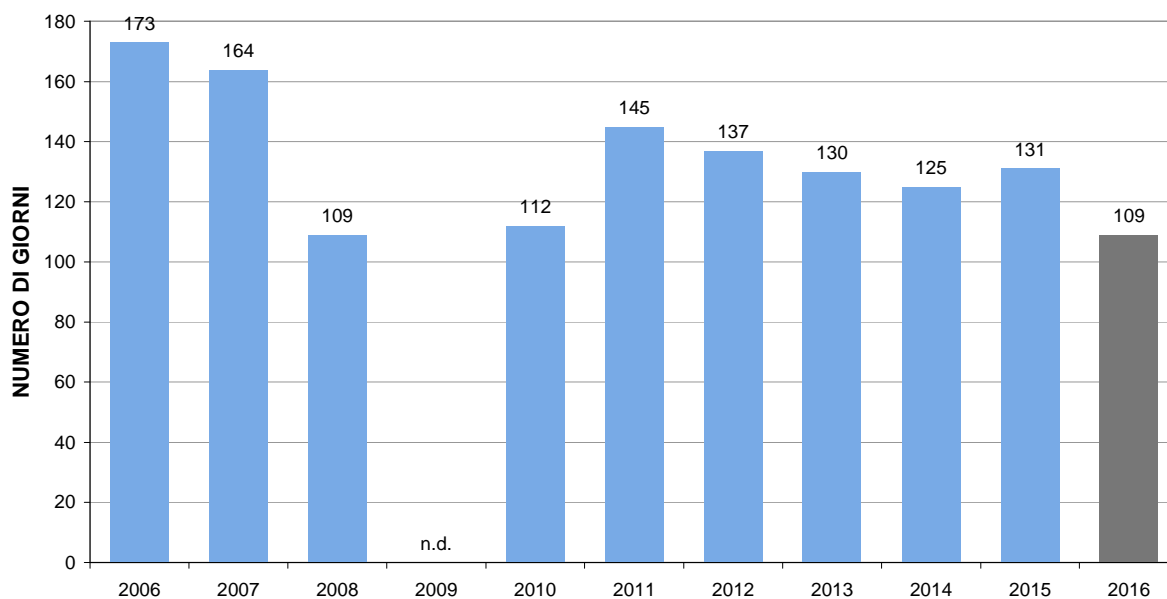


FIGURA 77: numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - confronto su base annuale tra gli anni 2006-2015 (in blu) e l'anno 2016 (in grigio).

**NUMERO DI GIORNI FAVOREVOLI ALL'ACCUMULO DI PM10  
AGGLOMERATO TORINESE  
CONFRONTO ANNO 2016 CON ANNI 2006-2015**

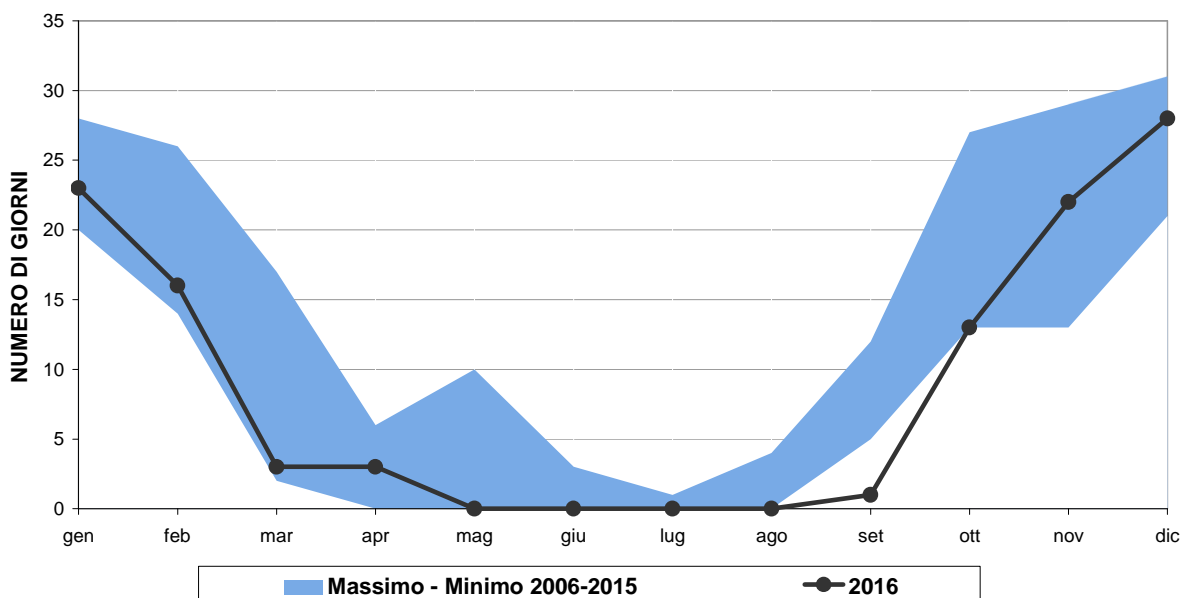


FIGURA 78: numero di giorni favorevoli alla formazione di particolato PM10 - confronto tra l'andamento mensile del 2016 (linea grigia) ed i valori massimi e minimi mensili del periodo 2006-2015 (banda blu).

## EMISSIONI INQUINANTI DEI VEICOLI A MOTORE

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

A. Bertello , F. Fracassi , Città metropolitana di Torino.

### I LIMITI DI EMISSIONE DEI VEICOLI A MOTORE

I veicoli a motore sono ritenuti tra i maggiori responsabili dell'inquinamento atmosferico presente nelle aree urbane. In particolare, il censimento delle emissioni relativo all'anno 2013 redatto dalla Regione Piemonte secondo la metodologia Corinair, stima che il traffico contribuisca nella città di Torino alle emissioni di particolato primario (PM10) per il 64% e alle emissioni di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) per il 49%.

Poiché il problema è comune a tutte le grandi aree urbane, le Direttive Europee hanno cercato di affrontare la questione sia imponendo dei limiti sempre più restrittivi alle emissioni degli autoveicoli nuovi che richiedendo la commercializzazione di combustibili sempre più ecologici.

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

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

(\*) Motori diesel a iniezione indiretta/iniezione diretta  
(\*\*) Il limite si applica anche a motori a benzina a iniezione diretta che operano sia in condizione magra che stechiometrica  
(\*\*\*) I limiti previsti per i veicoli a benzina dal reg. 715/2007 si applicano anche ai veicoli alimentati a GPL e Metano

TABELLA 34: limiti di emissione fissati dalle direttive europee per autovetture benzina e diesel.

Ogni nuova Direttiva ha fissato dei limiti inferiori di circa il 50% rispetto alla direttiva precedente e con la direttiva 98/69 sono stati introdotti contemporaneamente i due diversi standard, Euro 3 e Euro 4, obbligatori per le auto di nuova immatricolazione a partire rispettivamente dal 2001 e dal 2006, offrendo così l'opportunità ai costruttori di adeguare i loro modelli ai limiti individuati prima della loro obbligatorietà.

Contrariamente a quanto avvenuto in passato i limiti della "normativa Euro 5" non corrispondevano a un dimezzamento delle emissioni previste dalla norma Euro 4. In particolare l'emissione di PM dei veicoli Euro 5 è stata ridotta di 5 volte rispetto a quanto previsto per gli Euro 4 al fine di forzare l'adozione dei Filtri AntiParticolato (FAP) su tutti i veicoli di nuova immatricolazione; una decisione più blanda avrebbe infatti consentito il rispetto della norma con tecnologie meno efficaci. Le emissioni di ossidi di azoto previste dalla norma Euro 5 risultano, invece, pari a circa il 70% di quanto prescritto dalla Euro 4 poiché le case automobilistiche non sono riuscite a sviluppare una tecnologia abbastanza efficace per l'abbattimento di questi inquinanti. La norma Euro 6 agisce più efficacemente su questo inquinante e fissa un limite pari a circa un terzo rispetto a quanto previsto per i veicoli Euro 4.

Analizzando le emissioni dei veicoli Euro 6 con quelle dei veicoli "Pre-Euro" è evidente che l'evoluzione tecnologica delle marmitte catalitiche, dei filtri e dei sistemi di gestione elettronica della combustione hanno consentito una riduzione del carico inquinante dei veicoli compreso tra le 6 e le 50 volte, a seconda del parametro considerato.

Per comprendere l'impatto del traffico veicolare sulla qualità dell'aria è utile riportare anche un confronto tra i limiti delle emissioni di 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 79 i limiti previsti per la somma di idrocarburi incombusti (HC) e ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), che rappresentano una delle principali criticità in ambito urbano.

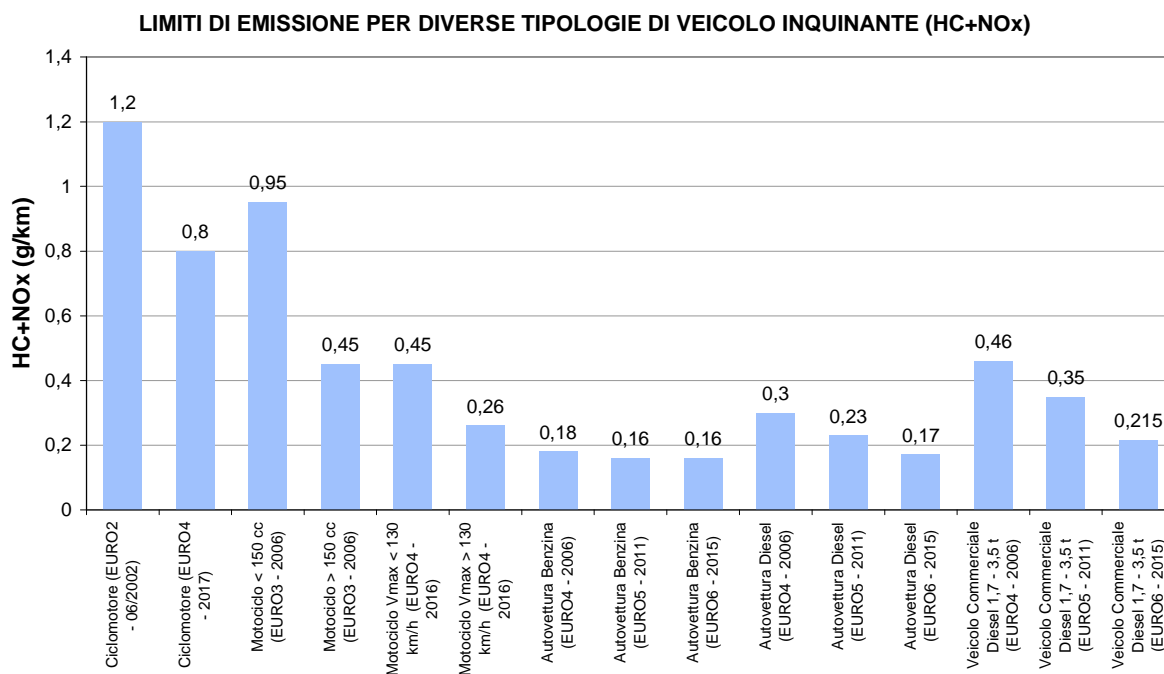


FIGURA 79: limiti di emissione definiti dalle normative più recenti per diverse tipologie di veicolo.

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.

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

Si riportano di seguito per il periodo 2012-2016 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 25.106 unità rispetto al 2015, quello dei veicoli commerciali leggeri è aumentato di 1.142 unità sempre rispetto al 2015; si osserva un nuovo incremento del numero dei veicoli immatricolati rispetto all'anno precedente anche se, dopo la contrazione avvenuta nel 2015, non si raggiungono ancora i livelli del 2014;
- la somma degli autoveicoli Euro 4, Euro 5 ed Euro 6 rappresenta il 66,67% del totale, con un incremento del 3% rispetto allo scorso anno;
- viene confermata la tendenza alla diminuzione degli autoveicoli non ecologici, così come individuati dal piano di risanamento della qualità dell'aria (pre-Euro, Euro 1 diesel e Euro 2 diesel), la cui percentuale passa da 7,67% a 7,27%;
- in leggero aumento rispetto al 2015 la percentuale degli autoveicoli a gasolio (da 39,5% a 40,55%), mentre per quelli a GPL e a metano rimane costante al 12,6%;
- i veicoli commerciali diesel ante Euro 4, sicuramente non dotati di filtro antiparticolato, sono ancora 73.903 e rappresentano il 45% del totale di quelli immatricolati.



		2012			2013			2014			2015			2016						
Autoveicoli "pre-EURO"	numero	83.980	63.395	benzina	81.418	61.602	benzina	79.450	60.309	benzina	73.200	56.648	benzina	71.675	55.622	benzina				
			13.358	gasolio			13.157		gasolio			13.016	gasolio			11.292	gasolio		11.128	gasolio
			7.227	GPL-CH <sub>4</sub>			6.659		GPL-CH <sub>4</sub>			6.125	GPL-CH <sub>4</sub>			5.260	GPL-CH <sub>4</sub>		4.925	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	5,8	4,4	benzina	5,5	4,2	benzina	5,4	4,1	benzina	5,2	4,0	benzina	5,0	3,9	benzina				
		0,9	gasolio		0,9	gasolio		0,9	gasolio		0,8	gasolio		0,8	gasolio					
		0,5	GPL-CH <sub>4</sub>		0,5	GPL-CH <sub>4</sub>		0,4	GPL-CH <sub>4</sub>		0,4	GPL-CH <sub>4</sub>		0,3	GPL-CH <sub>4</sub>					
Autoveicoli "EURO 1"	numero	47.452	36.090	benzina	43.379	32.788	benzina	40.351	30.343	benzina	33.567	25.422	benzina	31.405	23.702	benzina				
			6.857	gasolio			6.515		gasolio			6.295	gasolio			5.122	gasolio		4.992	gasolio
			4.505	GPL-CH <sub>4</sub>			4.076		GPL-CH <sub>4</sub>			3.713	GPL-CH <sub>4</sub>			3.023	GPL-CH <sub>4</sub>		2.711	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	3,3	2,5	benzina	2,9	2,2	benzina	2,7	2,0	benzina	2,4	1,8	benzina	2,2	1,7	benzina				
		0,5	gasolio		0,4	gasolio		0,4	gasolio		0,4	gasolio		0,3	gasolio					
		0,3	GPL-CH <sub>4</sub>		0,3	GPL-CH <sub>4</sub>		0,3	GPL-CH <sub>4</sub>		0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,2	GPL-CH <sub>4</sub>					
Autoveicoli "EURO 2"	numero	235.639	173.038	benzina	216.104	157.891	benzina	197.534	143.678	benzina	161.710	119.280	benzina	146.482	107.854	benzina				
			43.902	gasolio			40.500		gasolio			37.583	gasolio			29.301	gasolio		27.187	gasolio
			18.699	GPL-CH <sub>4</sub>			17.713		GPL-CH <sub>4</sub>			16.273	GPL-CH <sub>4</sub>			13.129	GPL-CH <sub>4</sub>		11.441	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	16,2	11,9	benzina	14,7	10,7	benzina	13,3	9,7	benzina	11,5	8,5	benzina	10,3	7,5	benzina				
		3,0	gasolio		2,7	gasolio		2,5	gasolio		2,1	gasolio		1,9	gasolio					
		1,3	GPL-CH <sub>4</sub>		1,2	GPL-CH <sub>4</sub>		1,1	GPL-CH <sub>4</sub>		0,9	GPL-CH <sub>4</sub>		0,8	GPL-CH <sub>4</sub>					
Autoveicoli "EURO 3"	numero	314.902	153.717	benzina	299.766	146.111	benzina	284.815	138.772	benzina	244.186	123.264	benzina	226.541	114.545	benzina				
			148.969	gasolio			141.026		gasolio			133.540	gasolio			109.774	gasolio		101.557	gasolio
			12.216	GPL-CH <sub>4</sub>			12.629		GPL-CH <sub>4</sub>			12.503	GPL-CH <sub>4</sub>			11.148	GPL-CH <sub>4</sub>		10.439	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	21,6	10,6	benzina	20,4	9,9	benzina	19,2	9,4	benzina	17,4	8,8	benzina	15,9	8,0	benzina				
		10,2	gasolio		9,6	gasolio		9,0	gasolio		7,8	gasolio		7,1	gasolio					
		0,8	GPL-CH <sub>4</sub>		0,9	GPL-CH <sub>4</sub>		0,8	GPL-CH <sub>4</sub>		0,8	GPL-CH <sub>4</sub>		0,7	GPL-CH <sub>4</sub>					
Autoveicoli "EURO 4"	numero	552.319	233.364	benzina	538.577	225.972	benzina	525.867	220.059	benzina	484.195	204.049	benzina	465.412	196.552	benzina				
			235.367	gasolio			227.904		gasolio			221.336	gasolio			199.457	gasolio		190.247	gasolio
			83.588	GPL-CH <sub>4</sub>			84.701		GPL-CH <sub>4</sub>			84.472	GPL-CH <sub>4</sub>			80.689	GPL-CH <sub>4</sub>		78.613	GPL-CH <sub>4</sub>
%	37,9	16,0	benzina	36,6	15,3	benzina	35,5	14,9	benzina	34,5	14,5	benzina	32,6	13,8	benzina					
		16,2	gasolio		15,5	gasolio		14,9	gasolio		14,2	gasolio		13,3	gasolio					
		5,7	GPL-CH <sub>4</sub>		5,8	GPL-CH <sub>4</sub>		5,7	GPL-CH <sub>4</sub>		5,7	GPL-CH <sub>4</sub>		5,5	GPL-CH <sub>4</sub>					
Autoveicoli "EURO 5"	numero	220.913	85.771	benzina	288.256	108.017	benzina	313.231	96.489	benzina	318.857	92.320	benzina	303.063	90.910	benzina				
			108.431	gasolio			139.889		gasolio			170.943	gasolio			179.055	gasolio		165.410	gasolio
			26.711	GPL-CH <sub>4</sub>			40.350		GPL-CH <sub>4</sub>			45.799	GPL-CH <sub>4</sub>			47.482	GPL-CH <sub>4</sub>		46.743	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	15,2	5,9	benzina	19,6	7,3	benzina	21,1	6,5	benzina	22,7	6,6	benzina	21,2	6,4	benzina				
		7,4	gasolio		9,5	gasolio		11,5	gasolio		12,8	gasolio		11,6	gasolio					
		1,8	GPL-CH <sub>4</sub>		2,7	GPL-CH <sub>4</sub>		3,1	GPL-CH <sub>4</sub>		3,4	GPL-CH <sub>4</sub>		3,3	GPL-CH <sub>4</sub>					
Autoveicoli "EURO 6"	numero	536	288	benzina	5.281	3.168	benzina	39.903	29.643	benzina	87.749	50.430	benzina	183.992	80.309	benzina				
			244	gasolio			1.556		gasolio			3.026	gasolio			21.403	gasolio		78.806	gasolio
			4	GPL-CH <sub>4</sub>			557		GPL-CH <sub>4</sub>			7.234	GPL-CH <sub>4</sub>			15.916	GPL-CH <sub>4</sub>		24.877	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	0,0	0,0	benzina	0,4	0,2	benzina	2,7	2,0	benzina	6,3	3,6	benzina	12,9	5,6	benzina				
		0,0	gasolio		0,1	gasolio		0,2	gasolio		1,5	gasolio		5,5	gasolio					
		0,0	GPL-CH <sub>4</sub>		0,0	GPL-CH <sub>4</sub>		0,5	GPL-CH <sub>4</sub>		1,1	GPL-CH <sub>4</sub>		1,7	GPL-CH <sub>4</sub>					

TABELLA 35: autoveicoli immatricolati nella città metropolitana di Torino dal 2012 al 2016, suddivisi per tipo di omologazione ambientale.

		2012			2013			2014			2015			2016		
Autocarri <3,5 t "pre-EURO"	numero	22.779	1.969	benzina	21.955	1.932	benzina	21.344	1.908	benzina	19.643	1.852	benzina	19.147	1.806	benzina
			20.503	gasolio		19.725	gasolio		19.146	gasolio		17.548	gasolio		17.129	gasolio
			307	GPL-CH <sub>4</sub>		298	GPL-CH <sub>4</sub>		290	GPL-CH <sub>4</sub>		243	GPL-CH <sub>4</sub>		212	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	13,6	1,2	benzina	13,1	1,2	benzina	12,6	1,1	benzina	12,0	1,1	benzina	11,6	1,1	benzina
12,3	gasolio		11,8	gasolio		11,3	gasolio		10,7	gasolio		10,4	gasolio			
0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,1	GPL-CH <sub>4</sub>		0,1	GPL-CH <sub>4</sub>			
Autocarri <3,5 t "EURO 1"	numero	10.290	1.435	benzina	9.811	1.370	benzina	9.435	1.312	benzina	8.479	1.237	benzina	8.185	1.216	benzina
			8.704	gasolio		8.292	gasolio		7.984	gasolio		7.120	gasolio		6.853	gasolio
			151	GPL-CH <sub>4</sub>		149	GPL-CH <sub>4</sub>		139	GPL-CH <sub>4</sub>		122	GPL-CH <sub>4</sub>		116	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	6,2	0,9	benzina	5,8	0,8	benzina	5,6	0,8	benzina	5,2	0,8	benzina	5	0,7	benzina
5,2	gasolio		4,9	gasolio		4,7	gasolio		4,4	gasolio		4,2	gasolio			
0,1	GPL-CH <sub>4</sub>		0,1	GPL-CH <sub>4</sub>		0,1	GPL-CH <sub>4</sub>		0,1	GPL-CH <sub>4</sub>		0,1	GPL-CH <sub>4</sub>			
Autocarri <3,5 t "EURO 2"	numero	25.853	2.425	benzina	24.600	2.201	benzina	23.437	2.007	benzina	20.570	1.808	benzina	19.660	1.686	benzina
			23.093	gasolio		22.084	gasolio		21.124	gasolio		18.470	gasolio		17.698	gasolio
			335	GPL-CH <sub>4</sub>		315	GPL-CH <sub>4</sub>		306	GPL-CH <sub>4</sub>		292	GPL-CH <sub>4</sub>		276	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	15,5	1,5	benzina	14,7	1,3	benzina	13,8	1,2	benzina	12,6	1,1	benzina	12	1	benzina
13,8	gasolio		13,2	gasolio		12,5	gasolio		11,3	gasolio		10,8	gasolio			
0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,2	GPL-CH <sub>4</sub>			
Autocarri <3,5 t "EURO 3"	numero	43.006	2.698	benzina	41.235	2.423	benzina	39.739	2.230	benzina	35.981	2.046	benzina	34.448	1.876	benzina
			39.878	gasolio		38.391	gasolio		37.101	gasolio		33.555	gasolio		32.223	gasolio
			430	GPL-CH <sub>4</sub>		421	GPL-CH <sub>4</sub>		408	GPL-CH <sub>4</sub>		380	GPL-CH <sub>4</sub>		349	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	25,7	1,6	benzina	24,6	1,4	benzina	23,4	1,3	benzina	22,0	1,3	benzina	20,9	1,1	benzina
23,8	gasolio		22,9	gasolio		21,9	gasolio		20,5	gasolio		19,6	gasolio			
0,3	GPL-CH <sub>4</sub>		0,3	GPL-CH <sub>4</sub>		0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,2	GPL-CH <sub>4</sub>		0,2	GPL-CH <sub>4</sub>			
Autocarri <3,5 t "EURO 4"	numero	52.380	1.450	benzina	47.869	1.366	benzina	45.483	1.325	benzina	42.297	1.261	benzina	40.142	1.204	benzina
			48.223	gasolio		43.985	gasolio		41.810	gasolio		38.907	gasolio		36.947	gasolio
			2.707	GPL-CH <sub>4</sub>		2.518	GPL-CH <sub>4</sub>		2.348	GPL-CH <sub>4</sub>		2.129	GPL-CH <sub>4</sub>		1.991	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	31,3	0,9	benzina	28,5	0,8	benzina	26,8	0,8	benzina	25,9	0,8	benzina	24,4	0,7	benzina
28,8	gasolio		26,2	gasolio		24,6	gasolio		23,8	gasolio		22,5	gasolio			
1,6	GPL-CH <sub>4</sub>		1,5	GPL-CH <sub>4</sub>		1,4	GPL-CH <sub>4</sub>		1,3	GPL-CH <sub>4</sub>		1,2	GPL-CH <sub>4</sub>			
Autocarri <3,5 t "EURO 5"	numero	12.915	213	benzina	22.330	270	benzina	29.151	297	benzina	34.200	331	benzina	35.378	390	benzina
			11.012	gasolio		19.051	gasolio		25.509	gasolio		30.614	gasolio		32.028	gasolio
			1.690	GPL-CH <sub>4</sub>		3.009	GPL-CH <sub>4</sub>		3.345	GPL-CH <sub>4</sub>		3.255	GPL-CH <sub>4</sub>		2.960	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	7,7	0,1	benzina	13,3	0,2	benzina	17,2	0,2	benzina	20,9	0,2	benzina	21,5	0,2	benzina
6,6	gasolio		11,4	gasolio		15,0	gasolio		18,7	gasolio		19,5	gasolio			
1,0	GPL-CH <sub>4</sub>		1,8	GPL-CH <sub>4</sub>		2,0	GPL-CH <sub>4</sub>		2,0	GPL-CH <sub>4</sub>		1,8	GPL-CH <sub>4</sub>			
Autocarri <3,5 t "EURO 6"	numero	3	0	benzina	207	2	benzina	1.053	39	benzina	2.168	95	benzina	7.520	211	benzina
			3	gasolio		203	gasolio		63	gasolio		360	gasolio		3.872	gasolio
			0	GPL-CH <sub>4</sub>		2	GPL-CH <sub>4</sub>		951	GPL-CH <sub>4</sub>		1.713	GPL-CH <sub>4</sub>		3.437	GPL-CH <sub>4</sub>
	%	0	0,0	benzina	0,1	0,0	benzina	0,6	0,0	benzina	1,3	0,1	benzina	4,6	0,1	benzina
0,0	gasolio		0,1	gasolio		0,0	gasolio		0,2	gasolio		2,4	gasolio			
0,0	GPL-CH <sub>4</sub>		0,0	GPL-CH <sub>4</sub>		0,6	GPL-CH <sub>4</sub>		1,0	GPL-CH <sub>4</sub>		2,1	GPL-CH <sub>4</sub>			

TABELLA 36: veicoli commerciali leggeri (&lt; 3,5 t) immatricolati nella città metropolitana di Torino dal 2012 al 2016, suddivisi per tipo di omologazione ambientale.

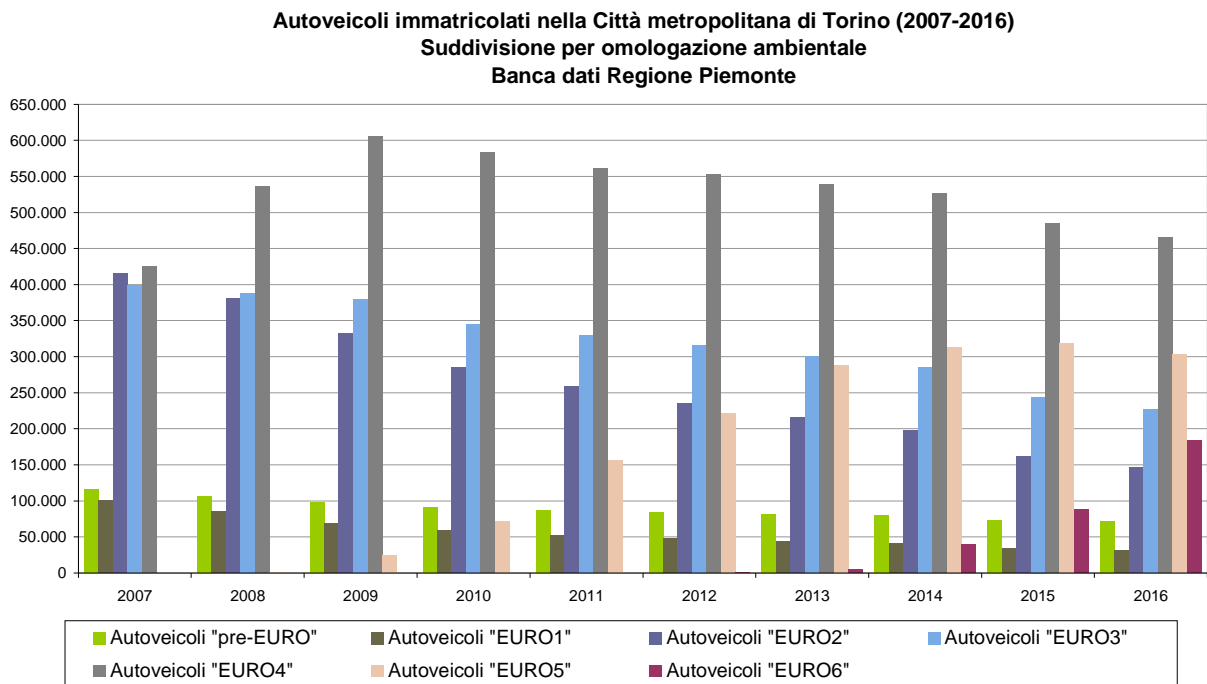


FIGURA 80: autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2016, suddivisi per tipo di omologazione ambientale (Banca Dati di Regione Piemonte).

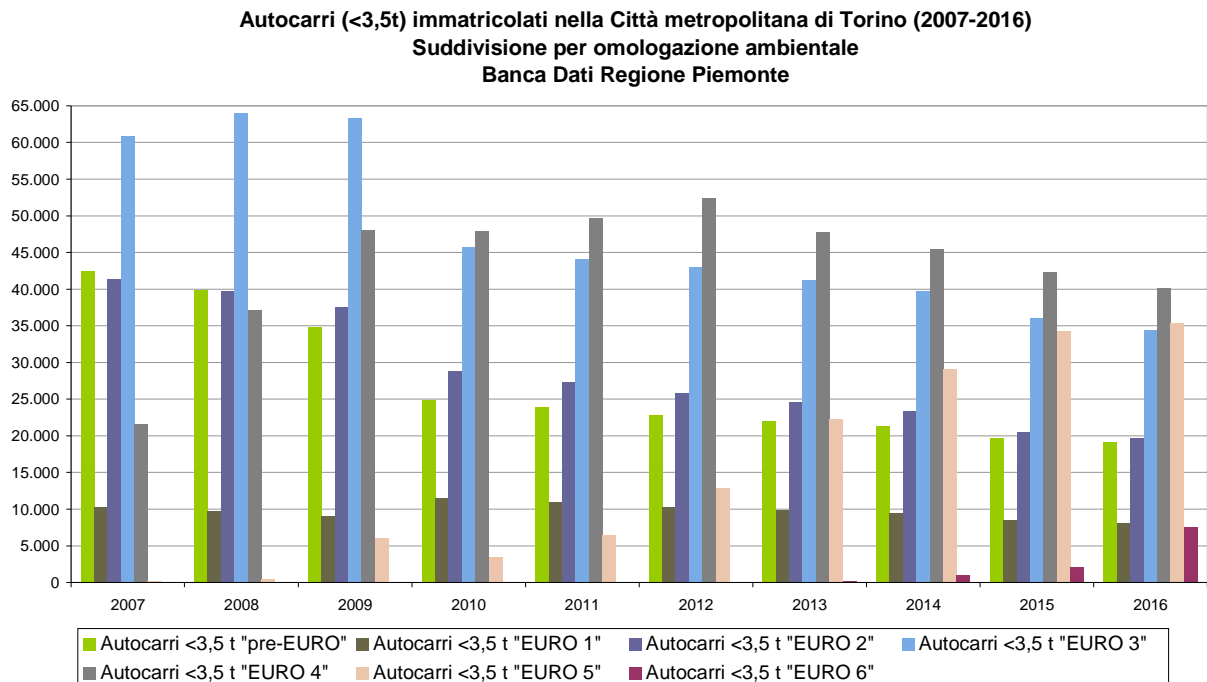


FIGURA 81: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2016, suddivisi per tipo di omologazione ambientale (Banca Dati di Regione Piemonte).

**Autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino (2007-2016)**  
**Suddivisione per alimentazione**  
**Banca Dati Regione Piemonte**

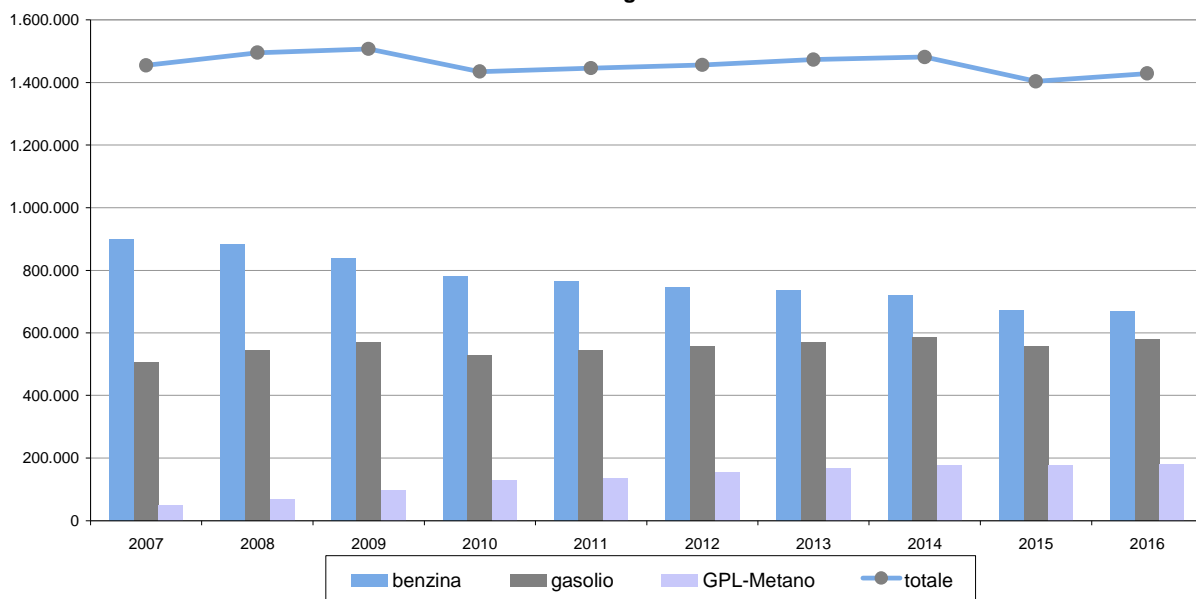


FIGURA 93: autoveicoli immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2016, suddivisi per tipo di alimentazione (Banca Dati di Regione Piemonte).

**Autocarri (<3,5t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino (2007-2016)**  
**Suddivisione per alimentazione**  
**Banca Dati Regione Piemonte**

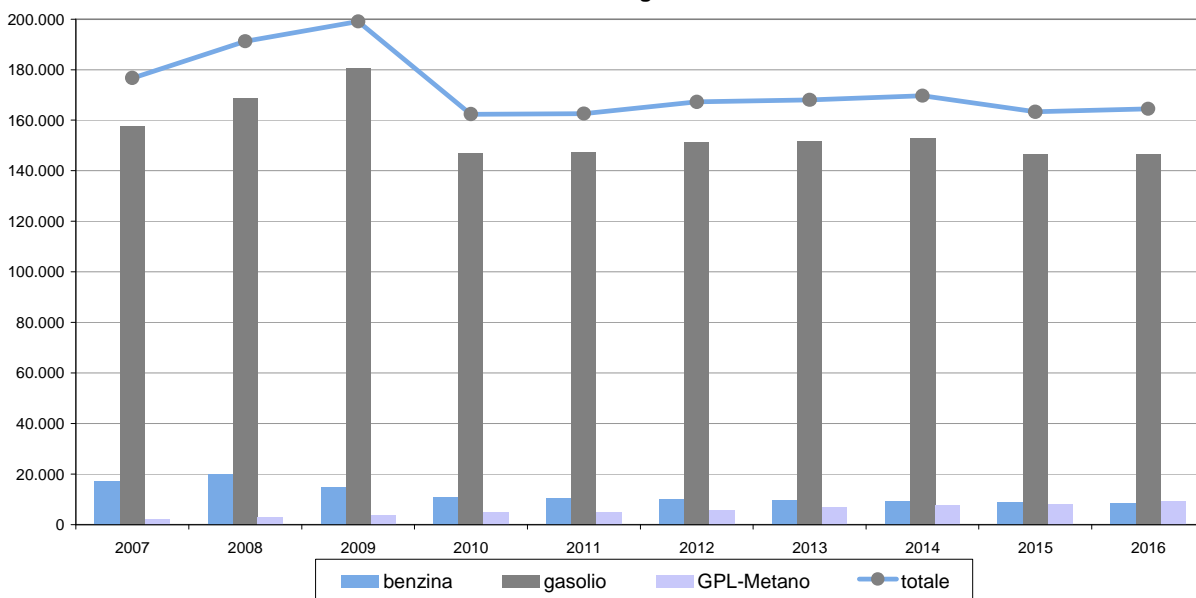


FIGURA 94: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati nella Città metropolitana di Torino dal 2007 al 2016, suddivisi per tipo di alimentazione (Banca Dati di Regione Piemonte).





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



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