



PROVINCIA
DI TORINO

PIEMONTE
Arpa
Agenzia Regionale
per la Protezione Ambientale

Uno sguardo all'aria

10 anni dopo

2007



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

Anno 2007

In occasione di questa decima pubblicazione di "Uno sguardo all'aria" un particolare ringraziamento va ad Alessandro Bertello, attualmente distaccato dalla Provincia di Torino alla Direzione Generale Ambiente della Commissione Europea, per il contributo che ha dato in tutti questi anni all'elaborazione dei testi e al coordinamento dei collaboratori e delle strutture che hanno partecipato alla redazione di questa relazione.

Testi ed elaborazioni a cura di:

Provincia di Torino – Area Risorse Idriche e Qualità dell'Aria - Servizio Qualità dell'Aria e Risorse Energetiche:

F. Pavone, A. Bertello, E. Bracco, L. Pallavidino, D. Maria, R. Prandi.

ARPA Dipartimento di Torino:

C. Bussi, F. Lollobrigida, M. Pace, F. Romeo, M. Sacco,

ARPA Area Previsione e Monitoraggio Ambientale

M. Nicoella, G. Paesano.

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

ARPA Dipartimento di Torino:

G. Castrogiovanni, V. Sciortino.

**ARPA Area Attività Regionali per l'indirizzo e il coordinamento in materia ambientale-
Attività strumentali di laboratorio del Quadrante Nord-Ovest**

A. De Filippi, M. Pereno, E. Vincenzino, V. Zullian, G. Prano, C. Duretti, S. Dignani, S. Bertero, G. Gallina, M. Radeschi

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

INDICE

| | |
|---|-----------|
| PRESENTAZIONE | 5 |
| PREFAZIONE | 6 |
| CONSIDERAZIONI SULLE CARATTERISTICHE METEOROLOGICHE DELL'ANNO 2007 | 7 |
| GENNAIO, FEBBRAIO 2007 | 7 |
| MARZO 2007 | 9 |
| APRILE 2007 | 10 |
| MAGGIO 2007 | 10 |
| GIUGNO 2007 | 11 |
| LUGLIO 2007 | 12 |
| AGOSTO 2007 | 12 |
| SETTEMBRE, OTTOBRE e NOVEMBRE 2007 | 13 |
| DICEMBRE 2007 | 14 |
| LA NORMATIVA IN MATERIA DI QUALITÀ DELL'ARIA | 21 |
| PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI | 29 |
| LA RETE DI MONITORAGGIO OPERANTE SUL TERRITORIO DELLA PROVINCIA DI TORINO | 30 |
| MONOSSIDO DI CARBONIO (CO) | 37 |
| DESCRIZIONE | 37 |
| DANNI CAUSATI | 37 |
| METODO DI MISURA | 37 |
| ESAME DEI DATI | 37 |
| BIOSSIDO D'AZOTO (NO₂) | 40 |
| DESCRIZIONE | 40 |
| DANNI CAUSATI | 40 |
| METODO DI MISURA | 40 |
| ESAME DEI DATI | 40 |
| BIOSSIDO DI ZOLFO (SO₂) | 46 |
| DESCRIZIONE | 46 |
| DANNI CAUSATI | 46 |
| METODI DI MISURA | 46 |
| ESAME DEI DATI | 47 |
| OZONO (O₃) | 49 |
| DESCRIZIONE | 49 |
| DANNI CAUSATI | 49 |
| METODO DI MISURA | 49 |
| ESAME DEI DATI | 49 |
| BENZENE (C₆H₆) | 57 |
| DESCRIZIONE | 57 |
| DANNI CAUSATI | 57 |
| METODO DI MISURA | 57 |
| ESAME DEI DATI | 57 |
| METALLI | 59 |
| DESCRIZIONE | 59 |
| DANNI CAUSATI | 59 |
| METODO DI MISURA | 60 |
| ESAME DEI DATI | 60 |

| | |
|---|------------|
| PARTICOLATO SOSPESO | 69 |
| DESCRIZIONE | 69 |
| DANNI CAUSATI | 69 |
| METODO DI MISURA | 69 |
| ESAME DEI DATI | 70 |
| Frazione PM10 e PM2,5 | 70 |
| Particelle sospese totali | 77 |
| CONCENTRAZIONE NUMERICA DEL PARTICOLATO | 79 |
| INTRODUZIONE | 79 |
| METODO DI MISURA | 80 |
| ESAME DEI DATI | 81 |
| IL PARTICOLATO SECONDARIO | 86 |
| INTRODUZIONE | 86 |
| ESAME DEI DATI | 89 |
| BENZO(A)PIRENE | 91 |
| DESCRIZIONE | 91 |
| DANNI CAUSATI | 92 |
| METODO DI MISURA | 92 |
| ESAME DEI DATI | 93 |
| LA STAZIONE MOBILE DI RILEVAMENTO DELLA QUALITÀ DELL'ARIA | 100 |
| ANALISI DEI DATI METEOROLOGICI | 107 |
| PREMESSA | 107 |
| ELABORAZIONI DEI DATI RILEVATI | 108 |
| Elaborazione dei dati di velocità e direzione del vento | 108 |
| Elaborazione dei dati di pressione atmosferica, temperatura, umidità relativa e precipitazioni | 114 |
| EMISSIONI INQUINANTI DEI VEICOLI A MOTORE | 122 |
| I LIMITI DI EMISSIONE DEI VEICOLI A MOTORE | 122 |
| IL PARCO VEICOLARE IN PROVINCIA DI TORINO | 124 |
| DEFINIZIONE E APPLICAZIONE DI UN INDICE DI QUALITÀ DELL'ARIA PREVISIONALE SUL TERRITORIO DELLA PROVINCIA DI TORINO | 131 |
| L'INDICE DI QUALITÀ DELL'ARIA NELL'AREA METROPOLITANA TORINESE | 131 |
| IL SISTEMA MODELLISTICO DI PREVISIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA | 134 |
| L'ALGORITMO DI CALCOLO DELL'IQA DA DATI SIMULATI | 137 |
| L'IQA NELL'AREA METROPOLITANA TORINESE: RISULTATI PER L'ANNO 2007 | 138 |
| Primo trimestre | 138 |
| Secondo trimestre | 143 |
| Terzo trimestre | 147 |
| Quarto trimestre | 150 |
| Considerazioni complessive sull'anno 2007 e riassunto dei risultati della sperimentazione condotta durante il 2006 | 154 |
| CONCLUSIONI | 157 |

La relazione "Uno sguardo all'aria" viene pubblicata quest'anno per il decimo anno consecutivo e, a tale proposito, riteniamo doveroso ringraziare coloro che, in tutti questi anni, hanno collaborato con la Provincia non solo nella predisposizione della relazione ma anche e soprattutto nella produzione di dati affidabili ed accurati.

L'analisi dei dati rilevati in questi ultimi dieci anni sul territorio della provincia di Torino ci consegna una situazione con luci e ombre. A fronte di numerosi inquinanti le cui concentrazioni sono ampiamente al di sotto dei limiti stabiliti dalla normativa osserviamo, in particolare per il particolato PM10, il biossido di azoto e l'ozono, concentrazioni di molto superiori ai valori di legge.

Tali inquinanti presentano inoltre un aspetto particolarmente complesso che è rappresentato dall'estensione del territorio interessato dai superamenti e dalla moltitudine di fonti che li generano.

Questa situazione richiede al nostro Ente di sviluppare politiche integrate sul territorio che coinvolgano, le realtà amministrative locali in un piano coordinato di riduzione delle emissioni di tutte le sorgenti di inquinamento atmosferico.

La Provincia di Torino, oramai da alcuni anni ha assunto un ruolo determinante nella definizione degli interventi di riduzione delle emissioni sul territorio, in particolare garantendo una rapida e corretta applicazione della normativa europea IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control), concedendo contributi per lo sviluppo e la diffusione di impianti di riscaldamento e climatizzazione a basse emissioni e alto rendimento energetico e coordinando gli interventi di limitazione della circolazione dei veicoli più inquinanti sul territorio. Consapevoli del fatto che il sistema di mobilità delle merci e delle persone rappresenta il principale responsabile delle emissioni inquinanti si è dato impulso alle azioni di mobility management fra le quali ricordiamo la nomina del Mobility Manager dell'area della zona di piano, la promozione dell'utilizzo del mezzo pubblico da parte dei dipendenti pubblici e privati attraverso il progetto Mobilityamoci, la realizzazione dei piani di spostamento casa lavoro dei principali presidi ospedalieri torinesi e di alcune amministrazioni locali della provincia.

Tali azioni, riteniamo, rappresentino il punto di partenza delle politiche future di risanamento ambientale, in quanto perseguono una riduzione delle emissioni attraverso una razionalizzazione degli spostamenti ed una conseguente diminuzione dei consumi di risorse. Tale approccio, siamo certi, rappresenta la forma migliore di politica che si possa realizzare a favore del cittadino.

Ringraziandovi per l'attenzione che vorrete porre al tema del miglioramento della qualità dell'aria vi invitiamo alla lettura della presente relazione che riteniamo possa fornire oltre a utili informazioni una chiara rappresentazione delle dinamiche responsabili dei fenomeni di inquinamento atmosferico.

**L'Assessore alle Risorse
Idriche e Atmosferiche**
Dorino Piras

**Il Presidente
della Provincia di Torino**
Antonio Saitta

È il decimo anno che la Provincia di Torino e l'Arpa Piemonte redigono "Uno sguardo all'aria" raccogliendo in questa pubblicazione i dati di qualità dell'aria, le ricerche e gli studi effettuati. Riteniamo che la continuità con cui questo volume è stato prodotto e pubblicato sia in assoluto l'elemento di maggiore rilevanza. Per tale motivo quest'anno si è deciso di riportare, almeno relativamente agli indicatori definiti dalla normativa, i valori relativi agli ultimi dieci anni di misure.

La valutazione delle politiche di riduzione dell'inquinamento atmosferico deve essere possibilmente condotta analizzando gli andamenti delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera sul lungo periodo. L'analisi storicizzata a 10 anni riportata nel presente volume, unitamente alle serie storiche che per alcuni inquinanti risalgono agli inizi degli anni '70, consentono di valutare gli andamenti delle concentrazioni degli inquinanti al netto delle variazioni causate dalle differenti condizioni meteorologiche e conseguentemente di giudicare correttamente l'efficacia delle politiche ambientali di riduzione delle emissioni inquinanti.

Analizzando i dati, purtroppo, appare evidente come le diminuzioni ottenute per i parametri PM10, biossido di azoto ed ozono sono troppo lievi, in alcuni casi non del tutto consolidate, e soprattutto non sufficienti a garantire il rispetto dei valori limite di qualità dell'aria neanche in prospettiva futura. Inoltre è importante sottolineare che, in condizioni di forte stabilità atmosferica, le concentrazioni di questi inquinanti raggiungono livelli particolarmente elevati e, in alcuni casi, notevolmente superiori ai valori limite.

Un altro fattore particolarmente critico che occorre analizzare è la distribuzione territoriale di questi inquinanti.

Il parametro PM10 supera il valore limite di $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media giornaliera per più delle 35 volte consentite in quasi tutte le postazioni di monitoraggio, compresa quella situata nel Parco Regionale della Mandria a Druento, rappresentativa di una zona prossima all'area urbana di Torino ma non direttamente interessata da fonti primarie di emissione. Susa e Oulx sono le uniche stazioni le cui misure sono inferiori a 35 superamenti del limite giornaliero. Il valore limite annuale per la protezione della salute umana per il PM10 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale) è stato invece rispettato in alcune stazioni della rete collocate all'esterno dell'area metropolitana torinese (Buttigliera, La Mandria, Ivrea, Oulx, Pinerolo, Susa)

Per il parametro NO₂ nel 2007 sono stati confermati i rilievi degli anni precedenti. Le concentrazioni di questo inquinante sono state leggermente inferiori rispetto al 2006 ma assolutamente allineate ai valori del 2005 e degli anni precedenti. Il numero di superamenti del valore limite orario ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da non superare per più di 18 volte all'anno) è stato elevato per la città di Torino e per i comuni limitrofi e il valore limite annuale per la protezione della salute umana ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale) è stato superato oltre che nel capoluogo anche in tutti i centri urbani della prima cintura.

A fronte di tali risultati l'Area Risorse Idriche e Qualità dell'Aria, oltre alle sue competenze amministrative di autorizzazione e controllo delle emissioni di origine industriale, ha predisposto una serie di attività progettuali finalizzate al miglioramento delle performance emissive degli impianti di riscaldamento civile e ha avviato numerose iniziative del campo della mobilità sostenibile.

Si ritiene infatti che la mobilità sia un elemento fondamentale su cui agire perché rappresenta la principale fonte di inquinamento e soprattutto perché obbliga, per le sue caratteristiche intrinseche, le amministrazioni e il tessuto sociale a lavorare in modo diffuso e coordinato sul territorio. Si ritiene che questo modo di operare, alla luce della tipologia di inquinamento che stiamo affrontando, sia assolutamente imprescindibile.

**Il Direttore Generale
dell'ARPA Piemonte**
Ing. Silvano Ravera

**Il Direttore dell'Area Risorse Idriche e
Qualità dell'Aria della Provincia di Torino**
Dott. Francesco Pavone

La relazione "Uno sguardo all'aria" costituisce un utile documento per la conoscenza e la comprensione dei fenomeni di inquinamento atmosferico. A tale fine, oltre alla consueta analisi dei dati chimici e meteorologici rilevati nel corso del 2007, è stata effettuata una breve caratterizzazione meteorologica dell'anno in esame, suddiviso nei periodi: Gennaio – Febbraio, Marzo, Aprile, Maggio, Giugno, Luglio, Agosto, Settembre – Ottobre – Novembre e Dicembre, riuscendo a raccogliere insieme quei pochi mesi che hanno avuto configurazioni meteorologiche simili tra loro.

Nella caratterizzazione dei vari periodi temporali del 2007 vengono descritti sommariamente i seguenti parametri meteorologici: andamento delle temperature, delle precipitazioni e dell'altezza del geopotenziale in relazione ai valori climatologici. L'altezza del geopotenziale è un parametro meteorologico fondamentale per caratterizzare sinteticamente la configurazione meteorologica.

I valori climatologici presi in esame, per quanto riguarda i dati puntuali misurati a terra, sono relativi al periodo 1997–2007; per quanto riguarda i campi in quota (altezza del geopotenziale a 500 hPa e temperatura a 850 hPa) sono state considerate come riferimento le re-analisi del Centro Meteorologico Europeo di Reading (ECMWF) dal 1957 al 2002 (noto come "archivio ERA40"). Anche se i periodi di riferimento sono diversi, l'analisi delle anomalie dei campi in quota permette di interpretare la fenomenologia dell'anno 2007.

Il testo è associato ad alcune mappe meteorologiche di sintesi: per meglio comprendere le informazioni contenute nelle mappe viene qui riportata una breve definizione dell'altezza del geopotenziale, parametro molto usato nelle caratterizzazioni meteorologiche.

L'altezza del geopotenziale (espressa in decimetri) indica a quale altezza si trova un determinato valore di pressione atmosferica, che nelle mappe seguenti è la pressione di 500 hPa o millibar. Le linee che uniscono punti di uguale valore di geopotenziale, dette isoipse, possono assumere la forma di "promontori" (simili a montagne) o di "saccature" (simili a valli): in sintesi, all'altezza definita dalle isoipse, i "promontori" sono aree di alta pressione, mentre le "saccature" sono aree di bassa pressione. Queste mappe sono simili alle carte della pressione al suolo, ma si riferiscono ad una superficie in quota (a circa 5500 metri).

Le mappe di pressione in quota sono importanti, perché il flusso dominante a grande scala è fondamentalmente governato dalla configurazione meteorologica in quota (sinottica), in quanto segue proprio le isolinee di geopotenziale (le "isoipse"), muovendosi da ovest verso est.

GENNAIO e FEBBRAIO 2007

Una caratteristica evidente dei primi mesi dell'anno 2007 è stata un'anomalia termica positiva (mappa destra di FIGURA 1) prolungata, iniziata fin dall'Autunno precedente, da Settembre 2006, ed estesasi anche alla Primavera, fino al mese di Maggio 2007. Tale anomalia ha dato luogo ad una stagione invernale 2006-2007, che è stata l'inverno più caldo della storia delle misure, sul Piemonte, sull'Italia e su gran parte d'Europa, totalmente al contrario dell'anno precedente, che invece aveva visto uno degli inverni (stagione 2005-2006) più lunghi e più freddi degli ultimi 30 anni su gran parte d'Europa.

Le prime mappe meteorologiche presentate in FIGURA 1 e in FIGURA 2 si riferiscono ad una media calcolata su entrambi i mesi di Gennaio e Febbraio e rappresentano l'anomalia di pressione in quota e di temperatura, rispetto alla climatologia. Il fatto che sia presente un segnale così chiaro, anche su una media temporale relativa a due mesi, è significativo della forza e della persistenza della configurazione meteorologica presente per tutto il lungo periodo.

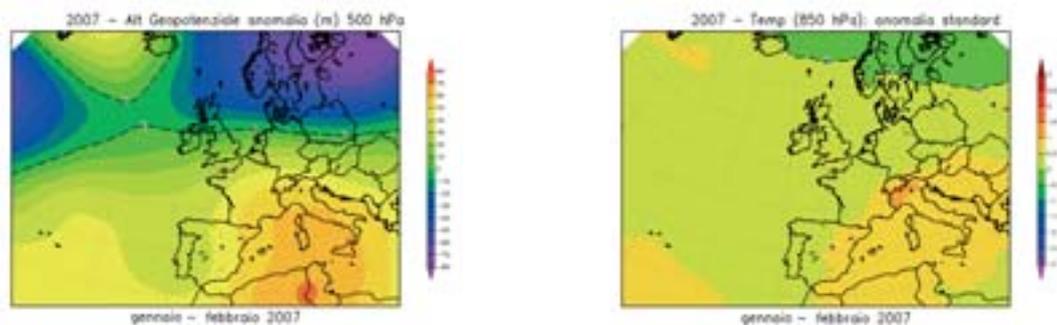


FIGURA 1: anomalia del geopotenziale a 500 hPa (a sinistra) e anomalia standardizzata della temperatura a 850 hPa, circa 1500 m di quota (a destra), del bimestre Gennaio e Febbraio 2007 rispetto alla climatologia 1957-2002.

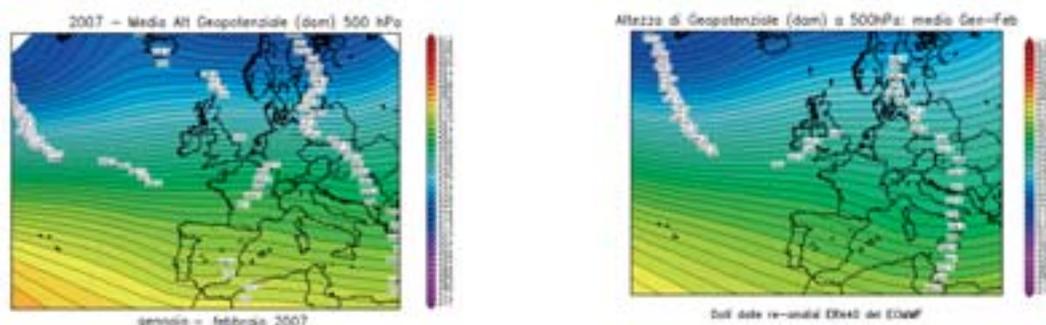


FIGURA 2: geopotenziale a 500 hPa del bimestre Gennaio e Febbraio 2007 (a sinistra) e del bimestre Gennaio-Febbraio nel periodo climatico 1957-2002 (a destra).

Come si osserva dal confronto tra le due mappe di FIGURA 2 e, più chiaramente, dalla mappa sinistra di FIGURA 1 che disegna la loro differenza, nei mesi di Gennaio e Febbraio la pressione in quota è stata più alta della media sull'Europa meridionale e più bassa della media su quella settentrionale. Così, da un lato, l'alta pressione sull'Italia, in realtà estesa dalle Azzorre al bacino del Mediterraneo, ha determinato una perdurante situazione di stabilità atmosferica sul Piemonte, esercitando un'azione di blocco alle perturbazioni atlantiche dirette verso l'Italia, con una quasi totale assenza di giornate piovose sulla regione, in particolare a Febbraio.

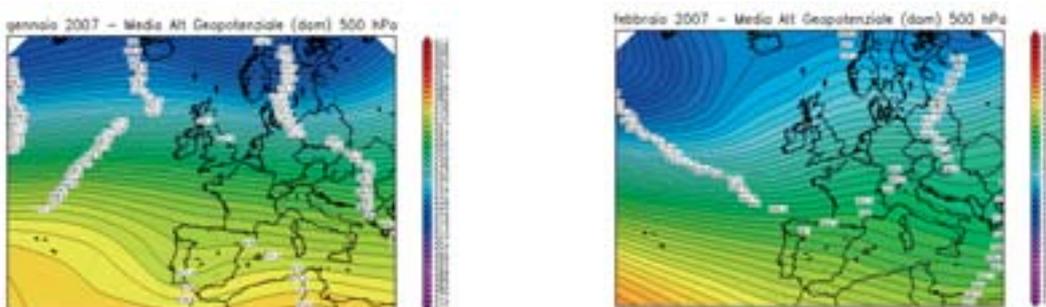


FIGURA 3: geopotenziale a 500 hPa del mese di Gennaio 2007 (a sinistra) e del mese di Febbraio 2007 (a destra).

Infatti, come si evince dal confronto tra le due mappe di FIGURA 3, se a Gennaio (mappa sinistra) la presenza di una debole inflessione del geopotenziale in corrispondenza della Penisola Iberica ha talvolta permesso alle perturbazioni atlantiche di penetrare parzialmente nel bacino del Mediterraneo, a Febbraio invece (mappa destra) il promontorio anticiclonico, esteso dall'ovest-Mediterraneo all'Europa centrale, ha dirottato quasi sempre le perturbazioni atlantiche al di sopra dell'arco alpino, scavalcando il nordovest italiano.

D'altro canto, il contrasto, ben evidenziato in FIGURA 2 e nella mappa sinistra di FIGURA 1, di una pressione più alta a sud e più bassa a nord, è indice di un flusso atlantico che è stato particolarmente intenso sull'Europa. Le isolinee di pressione sull'Europa (mappa sinistra di FIGURA 2) appaiono molto più dense della rispettiva mappa climatologica (mappa destra di FIGURA 2) e questo segnala la presenza di un vento più forte. L'accentuato scontro tra l'alta pressione, che spinge di più da sud, e la bassa, che scende di più da nord, aumenta il gradiente barico e quindi rinforza le correnti occidentali dall'Atlantico verso il continente europeo. Così sotto un intenso flusso occidentale-nordoccidentale, il Piemonte oltre a trovarsi protetto, sottovento alle Alpi occidentali, da perturbazioni che potrebbero interessare la regione (bloccando le nubi e le precipitazioni sui versanti di confine straniero delle Alpi), ha visto favorito l'innescarsi di venti di foehn, caldi e asciutti, che hanno amplificato l'anomalia termica positiva (mappa destra di FIGURA 1), già associata all'espansione dell'alta pressione nordafricana verso il Mediterraneo (mappa sinistra di FIGURA 1). Eclatante è stata la giornata del 19 Gennaio, che, in concomitanza di un episodio di vento di foehn, ha battuto ogni record storico mai registrato prima, superando a Torino i 27 °C, valore più "adatto" ad un mese di Agosto che non di Gennaio.

MARZO 2007

Il mese di Marzo ha visto il cedimento del campo di alta pressione sul bacino del Mediterraneo (FIGURA 4) e, di conseguenza, le perturbazioni provenienti sia dal nord Atlantico che dalle regioni polari hanno quindi potuto interessare il nostro territorio.

L'Anticiclone delle Azzorre è rimasto forte, come nei mesi precedenti, al largo delle coste atlantiche sud-europee (come si vede dalla FIGURA 4), ma in questo mese non si è spinto in maniera decisa verso est ed ha quindi lasciato libero spazio all'ingresso di un flusso perturbato sul Mediterraneo centrale. Infatti il disegno (mappa sinistra di FIGURA 4) di una saccatura in allungamento dal Mare del Nord verso l'Italia lascia intendere che ci sono state anche intrusioni di aria fredda direttamente dalle latitudini polari verso il sud del Mediterraneo, come confermato dall'anomalia negativa di pressione (mappa destra di FIGURA 4) su quest'area.

Invece, oltre che sulle Azzorre, l'alta pressione ha resistito di più alle latitudini settentrionali delle repubbliche baltiche (meglio visibile nella mappa destra di FIGURA 4), favorendo sia l'intrusione di aria fredda nord-orientale (in moto orario, anticiclonico) verso l'Italia, sia la stazionarietà delle depressioni alle latitudini meridionali del Mediterraneo centro-occidentale.

Questa situazione ha portato una parziale instabilità sulla regione, che era stata del tutto assente nei due mesi precedenti.

Rispetto sia a Gennaio sia a Febbraio, si è avuto un numero maggiore, seppur ancora abbastanza scarso, di giorni caratterizzati da precipitazioni sul territorio regionale (soprattutto sul settore occidentale). Nell'ultima parte del mese di Marzo, ormai alla fine dell'Inverno, è arrivata l'unica irruzione fredda della stagione invernale 2006-2007: la discesa di una depressione polare, tra il Mar Ligure e l'alto Tirreno, ha potuto instaurare un intenso flusso sud-orientale e ha portato le nevicate più significative della stagione invernale 2006-2007 sulle località montane piemontesi.

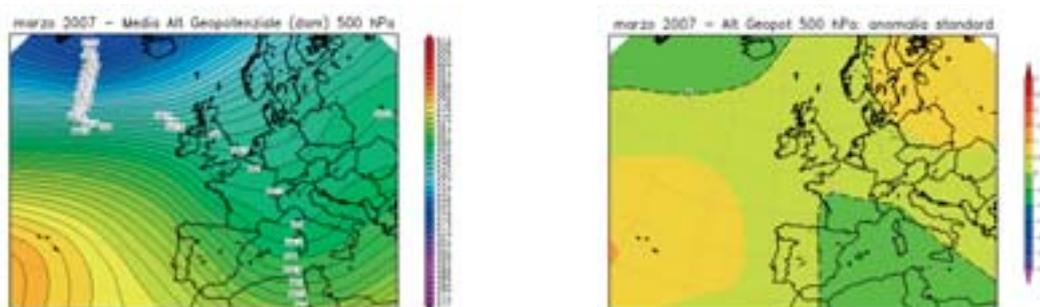


FIGURA 4: geopotenziale a 500 hPa del mese di Marzo nell'anno 2007 (a sinistra) e sua anomalia standardizzata rispetto alla climatologia 1957-2002 (a destra).



APRILE 2007

Ad Aprile si è formata un'anomala area di alta pressione, isolata sull'Europa nord-occidentale, che si è mantenuta per un lungo periodo. La mappa sinistra della pressione in quota di FIGURA 5 disegna l'anticiclone centrato sul Canale della Manica, circondato da valori di pressione più bassi tutt'intorno. In corrispondenza della Penisola Iberica, invece, si è formata una bassa pressione chiusa, a somiglianza quasi speculare rispetto all'alta pressione di cui sopra. Questa configurazione ha creato una situazione di blocco (detta "blocco bipolare"), che, come tale, è riuscita a rimanere stabile per lungo tempo, per gran parte del mese, tanto da rimanere, infatti, ben evidente nella mappa in FIGURA 5, mediata su tutto Aprile.

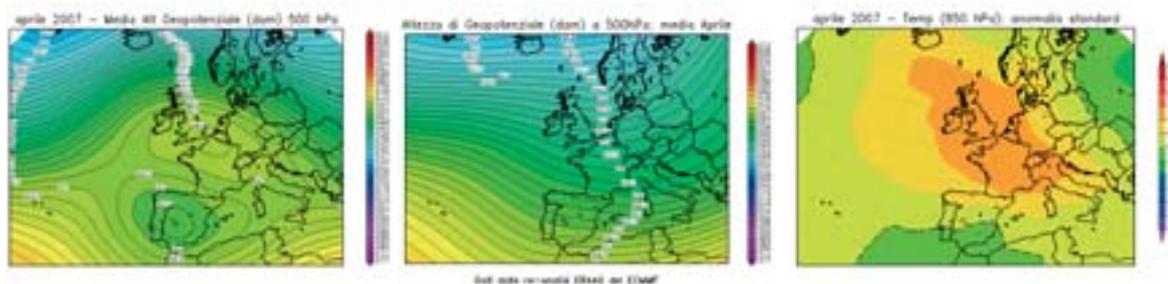


FIGURA 5: geopotenziale a 500 hPa del mese di Aprile nell'anno 2007 (a sinistra), a confronto con il periodo climatico 1957-2002 (al centro), ed anomalia standardizzata della temperatura a 850 hPa, circa 1500 m di quota, rispetto alla climatologia 1957-2002 (a destra).

Come è anche evidenziato dall'anomalia di temperatura calcolata rispetto alla norma climatologica (mappa destra di FIGURA 5), la pressione più alta sull'Europa centro-settentrionale e più bassa nei pressi della Penisola Iberica (mappa sinistra di FIGURA 5) ha fatto sì che le perturbazioni provenienti dall'Atlantico o venissero deviate a latitudini molto settentrionali, al di sopra dell'anticiclone "europeo", scavalcando la parte centrale del continente e riscendendo poi solo sul settore orientale, oppure si infiltrassero nell'area depressionaria iberica, riuscendo ad interessare il Mediterraneo sud-occidentale più della nostra regione, che rimaneva facilmente protetta dal campo di alta pressione in estensione dalla Francia.

Così, a differenza della climatologia attesa (mappa centrale di FIGURA 5) dove un'ampia saccatura lascia libero ingresso al flusso atlantico verso tutto il Mediterraneo centrale, e dove il Piemonte rimane interessato sia dai valori di bassa pressione nord-atlantica sia dalla componente meridionale delle correnti sud-occidentali, pronte ad apportare l'umidità dal mare sul nord Italia, nel mese di Aprile 2007 sono mancate tutte queste condizioni valevoli per un mese primaverile normalmente fresco e piovoso.

Infatti si sono registrate precipitazioni al di sotto della media e temperature ben al di sopra della climatologia del periodo (mappa destra di FIGURA 5), con scarti rispetto alla norma fino a +6 °C e con valori che hanno spesso superato i record assoluti delle serie storiche di misure.

MAGGIO 2007

Maggio non si è discostato molto dalla climatologia del periodo, come si vede dal confronto delle due mappe di FIGURA 6 che mostrano una forma molto simile tra loro, con un flusso sud-occidentale sull'Italia, associato ad una vasta saccatura nord-atlantica che apporta le piogge tipiche della stagione primaverile sul Mediterraneo.

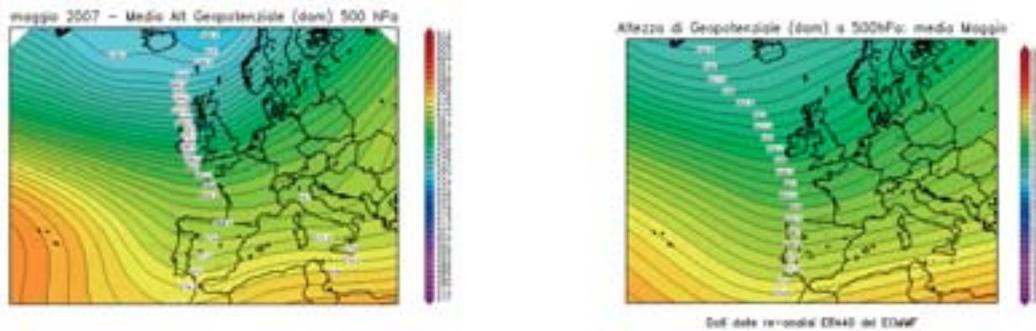


FIGURA 6: geopotenziale a 500 hPa del mese di Maggio nell'anno 2007 (a sinistra) e del mese di Maggio nel periodo climatico 1957-2002 (a destra).

Tra una continua alternanza di depressioni nord-atlantiche e rimonte anticicloniche, il mese globalmente è rimasto abbastanza allineato alla media stagionale.

La variabilità nell'arco del mese è stata piuttosto elevata, con periodi freschi e piovosi (in particolare all'inizio ed intorno alla fine del mese) intervallati da momenti più stabili e caldi, come l'ondata di caldo africano dal 18 al 24 di maggio.

Così, dopo la scarsità di precipitazioni dei mesi precedenti, le piogge sono tornate più vicine alla norma della stagione primaverile. Anzi, alla fine sono risultate particolarmente abbondanti e anche superiori alla norma sulle zone alpine settentrionali, perché meglio influenzate dal flusso meridionale e sud-occidentale, associato alle saccature nord-atlantiche che dalla Spagna e dall'Inghilterra in tre occasioni hanno attraversato il Piemonte (oltre all'ultimo evento del 31 maggio, in estensione fino all'inizio di giugno).

GIUGNO 2007

Il mese di Giugno è stato particolarmente fresco e piovoso per la stagione estiva. Mentre l'anticiclone africano ha fatto sentire la sua influenza sull'Europa orientale e sul sud Italia, anche con ondate di caldo anomale e temperature elevate fino a valori record; sul lato atlantico dell'Europa una profonda saccatura ha mantenuto maggiore instabilità.

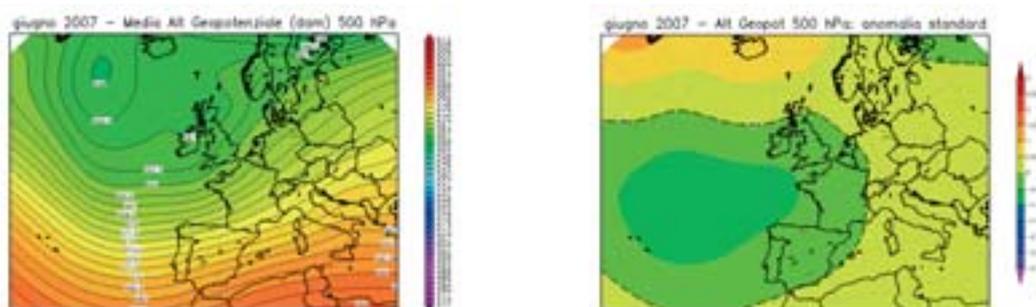


FIGURA 7: geopotenziale a 500 hPa del mese di Giugno nell'anno 2007 (a sinistra) e sua anomalia standardizzata rispetto alla climatologia 1957-2002 (a destra).

L'anomalia negativa del geopotenziale a 500 hPa (FIGURA 7 a destra) sull'Europa sud-occidentale è rappresentativa dell'area depressionaria nord-atlantica che si è spinta molto a sud lungo le coste europee e ha mantenuto molto attivo il flusso oceanico fin verso il Mediterraneo, l'Europa centrale e la nostra regione (FIGURA 7 a sinistra). Sul Piemonte le correnti prevalenti a scala sinottica sono state orientate da sudovest (FIGURA 7 a sinistra) e così hanno favorito l'apporto di aria calda e umida. Allo stesso tempo, il continuo ingresso in quota di aria fresca oceanica verso il continente europeo, legato a valori di pressione più bassi sull'Europa sud-occidentale, ha provocato frequenti fenomeni d'instabilità durante

tutto il mese. Così le precipitazioni sono state abbondanti e superiori alla media del mese (in virtù del carattere temporalesco delle stesse), mentre le temperature medie mensili nel complesso sono rimaste abbastanza allineate alla media del periodo, con giornate piuttosto fresche proprio grazie alle ripetute occasioni di pioggia, come quelle che pur si sono inserite all'interno dell'ondata di calore africana (tra il 18 e il 25 Giugno): particolarmente violenta la tempesta che ha colpito Torino nella giornata del 20 Giugno.

LUGLIO 2007

Il mese di Luglio è stato il mese più caldo e più asciutto dell'estate 2007, per il Piemonte.

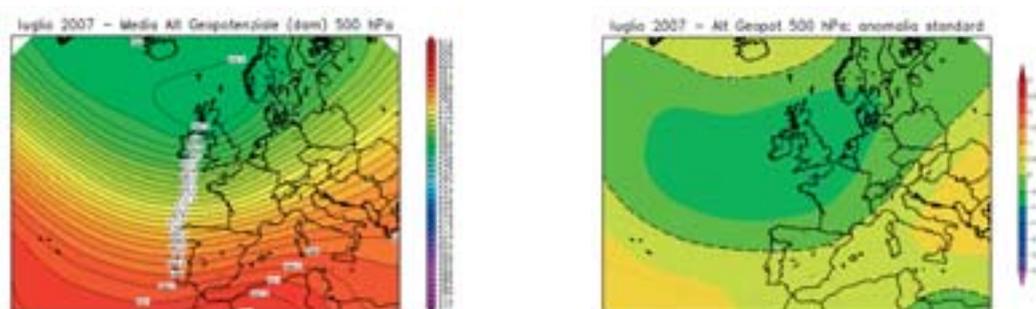


FIGURA 8: geopotenziale a 500 hPa del mese di Luglio nell'anno 2007 (a sinistra) e sua anomalia standardizzata rispetto alla climatologia 1957-2002 (a destra).

Il flusso predominante in quota sulla regione è stato ancora orientato dai quadranti sud-occidentali (FIGURA 8 a sinistra), in quanto l'anticiclone africano si è spinto più marcatamente verso l'Europa orientale (come confermato dal segnale di anomalia positiva su quell'area, nella FIGURA 8 a destra) ed allo stesso tempo la saccatura nord-atlantica è stata molto pronunciata sulla parte nord-occidentale dell'Europa. Tale configurazione sinottica ha creato una componente spiccatamente meridionale dei venti in quota sul nord Italia, che ha favorito l'apporto di aria calda e umida (con le usuali condizioni di afa estiva). A differenza del mese precedente, però, i valori di alta pressione, legati all'anticiclone nordafricano persistente su tutto il bacino del Mediterraneo (FIGURA 8), hanno mantenuto condizioni di stabilità prolungata sul Piemonte, mentre l'anomalia negativa del geopotenziale è rimasta più a nord (nord-ovest Europa - FIGURA 8 a destra, invece del sud-ovest Europa - FIGURA 7 a destra), così le abbondanti precipitazioni hanno interessato pesantemente i paesi nord-occidentali d'Europa (Gran Bretagna in primis).

Le depressioni nord-atlantiche, che giungevano sull'Europa nord-occidentale e non riuscivano ad entrare sull'Italia, bloccate dalla catena alpina, hanno spesso instaurato condizioni di foehn, venti caldi e asciutti di caduta dalle montagne verso la pianura piemontese. Le isolinee molto fitte e ravvicinate tra loro (FIGURA 8 a sinistra) indicano che le correnti in quota erano molto sostenute a quelle latitudini medie dell'Europa e lasciano intuire come si siano avuti frequenti episodi di foehn nel mese.

AGOSTO 2007

Il mese di Agosto è stato alquanto variabile, con un alternarsi di veloci ondate di calore nordafricano e ripetuti transiti di depressioni nord-atlantiche che hanno determinato periodi freddi e piovosi.



FIGURA 9: geopotenziale a 500 hPa del mese di Agosto nell'anno 2007 (a sinistra), anomalia standardizzata, rispetto alla climatologia 1957-2002, del geopotenziale a 500 hPa (al centro) e della temperatura a 850 hPa, circa 1500 m di quota (a destra).

Come si osserva dalla mappa in FIGURA 9 (a sinistra), una saccatura in allungamento dal nord Europa è riuscita ad estendere la sua influenza fin sulla Penisola Iberica, grazie a valori di bassa pressione già presenti al largo delle coste del Portogallo. In questo modo essa ha coinvolto anche il Piemonte, come si vede dalla FIGURA 9 (al centro) che mostra l'anomalia di geopotenziale negativa estesa dall'Europa sud-occidentale al nord Italia. L'alta pressione nordafricana, invece, ha continuato a mantenere la sua influenza sull'Europa orientale e sul sud Italia. La posizione, ai margini, delle due zone di alta pressione molto forti, dal nord Africa ai Balcani a est e dalle Azzorre all'Atlantico a ovest, ha verosimilmente favorito la persistenza della depressione alle longitudini occidentali d'Europa.

Così sul Piemonte il flusso in quota orientato dai quadranti sud-occidentali ha sì apportato aria calda, con alcuni momenti di caldo intenso nell'arco del mese, quando l'anticiclone nordafricano ha allargato la sua influenza anche al nord Italia, ma, allo stesso tempo, in più occasioni l'intrusione della depressione dall'Europa occidentale ha provocato giornate perturbate e fresche, con precipitazioni anche abbondanti.

Infatti le frequenti occasioni di pioggia, per i ripetuti passaggi di fronti atlantici, e la caratteristica temporalesca, tipica dei rovesci estivi, hanno determinato quantitativi di precipitazione superiori alla media del periodo; mentre le temperature medie mensili, registrate alla fine del mese, sono state prevalentemente inferiori (seppur di poco) ai valori climatologici (mappa destra di FIGURA 9).

SETTEMBRE, OTTOBRE e NOVEMBRE 2007

Tutta la stagione autunnale, Settembre-Ottobre e Novembre 2007, ha avuto una configurazione meteorologica abbastanza costante, che ha determinato un Autunno mediamente freddo (mappa destra di FIGURA 10) e poco piovoso, rispetto alla norma del periodo.

Data la similarità delle strutture meteorologiche che hanno caratterizzato i tre mesi, la mappa mostrata in FIGURA 10 è disegnata con una media temporale sull'intero trimestre.

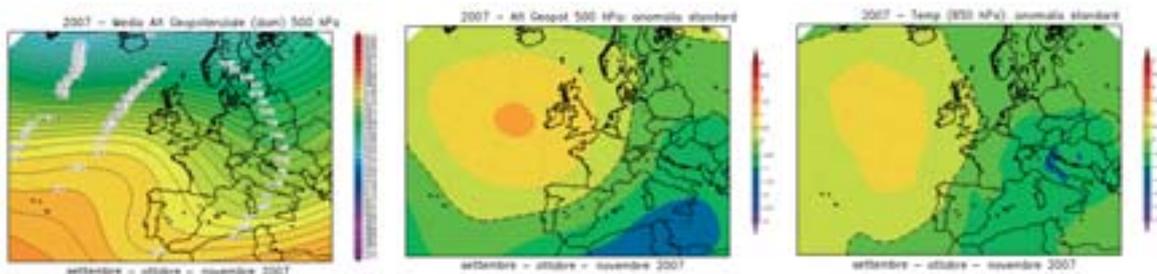


FIGURA 10: geopotenziale a 500 hPa (a sinistra), anomalia standardizzata, rispetto alla climatologia 1957-2002, del geopotenziale a 500 hPa (al centro) e della temperatura a 850 hPa, circa 1500 m di quota (a destra), per il trimestre Settembre-Ottobre-Novembre 2007.

Come si vede dalla mappa sinistra di FIGURA 10, l'estensione e la persistenza dell'Anticiclone delle Azzorre verso le Isole Britanniche ha determinato un campo di pressione mediamente più alto della media sull'Europa nord-occidentale (mappa centrale di FIGURA 10), mentre la pressione è stata inferiore alla media dalle coste del Portogallo all'Europa orientale, attraverso tutto il bacino più meridionale del Mediterraneo (mappa centrale di FIGURA 10).

In questo modo, il flusso in quota prevalente sul Piemonte è stato decisamente settentrionale (da nordovest nella prima mappa di FIGURA 10), ed ha così apportato aria più asciutta e più fresca. Infatti, mediamente nel trimestre, come le precipitazioni, perlopiù inferiori alla media, anche le temperature sono state prevalentemente inferiori alla norma (mappa destra di FIGURA 10).

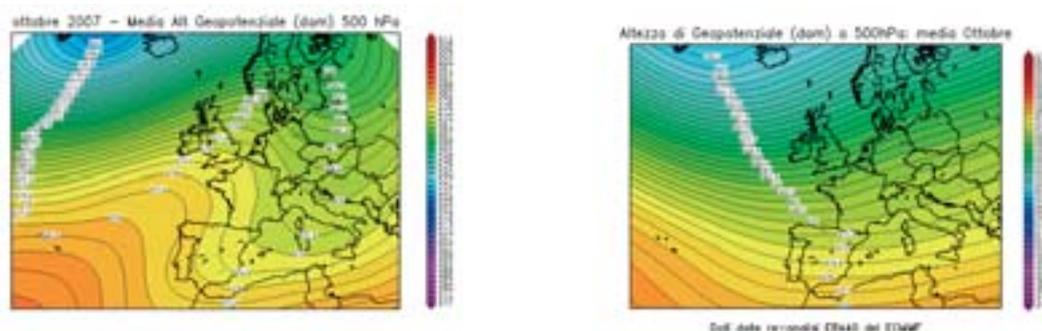


FIGURA 11: geopotenziale a 500 hPa del mese di Ottobre nell'anno 2007 (a sinistra) e del mese di Ottobre nel periodo climatico 1957-2002 (a destra).

La FIGURA 11, relativa al singolo mese di Ottobre, preso ad esempio per il trimestre, mostra la differenza tra la situazione osservata nel 2007 e la climatologia del periodo. Il contrasto del flusso settentrionale (mappa sinistra di FIGURA 11) con il flusso sud-occidentale atteso dalla climatologia (mappa destra di FIGURA 11) è evidente. Sono le correnti sud-occidentali della climatologia che solitamente apportano aria mite e umida da sud e causano le piogge tipiche dell'Autunno mediterraneo su tutta l'Italia, con una vasta depressione nord-atlantica che lascia libero ingresso alle perturbazioni oceaniche verso l'Europa, il Mediterraneo e il Piemonte. Invece nel 2007, l'alta pressione, estesa in maniera anomala dalle Azzorre all'Europa nord-occidentale, ha bloccato questo flusso oceanico, mite e umido.

Le piogge non sono mancate del tutto, perché comunque la depressione presente dal sud Mediterraneo ai Balcani è stata responsabile di eventi di pioggia anche sul Piemonte in alcune occasioni nel corso del trimestre. Tuttavia le precipitazioni sono rimaste inferiori al valore climatologico atteso per un mese della stagione autunnale, che tipicamente è la seconda stagione (dopo la Primavera) più piovosa dell'anno per la nostra regione.

Infatti, solo in rare occasioni (a Settembre e a Novembre) la depressione nord-atlantica, discesa verso sud e il Mediterraneo occidentale (Penisola Iberica), ha transitato sul Piemonte apportando le precipitazioni sulla regione. Le altre occasioni di pioggia sono sempre state associate prevalentemente ad un flusso orientale, legato alla depressione presente dal sud Mediterraneo ai Balcani (anomalia negativa nella seconda mappa di FIGURA 10), responsabile anche dell'arrivo di aria fredda da est che ha determinato precipitazioni a carattere nevoso fino a quote relativamente basse per la stagione (una volta a Ottobre ed un'altra a Novembre).

Anche per questa ragione, le precipitazioni (e le temperature) sono risultate inferiori alla media: l'aria da est è sicuramente meno umida (oltre che più fredda) di quella oceanica da ovest.

DICEMBRE 2007

Anche Dicembre è stato nel complesso un mese abbastanza freddo e poco piovoso.

Infatti buona parte del mese è stata caratterizzata dalla predominanza dell'alta pressione che, in estensione o dall'Atlantico o dall'Europa centro-settentrionale, ha garantito condizioni di stabilità atmosferica e scarsità di precipitazioni sul Piemonte.

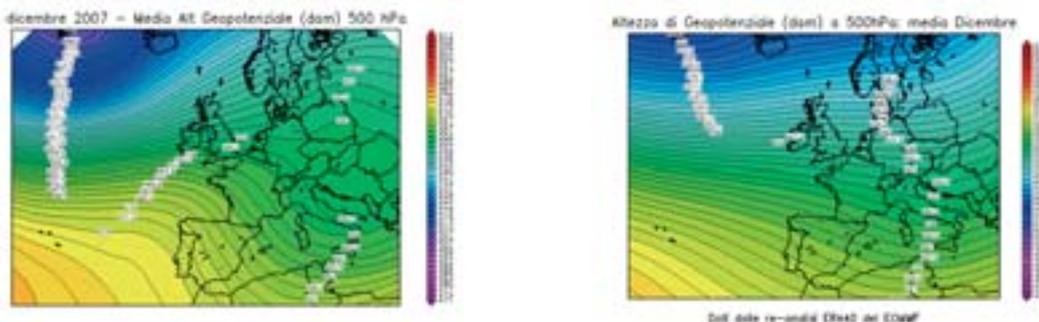


FIGURA 12: geopotenziale a 500 hPa del mese di Dicembre nell'anno 2007 (a sinistra) e del mese di Dicembre nel periodo climatico 1957-2002 (a destra).

Dal confronto delle due mappe di FIGURA 12 si può vedere che l'Anticiclone delle Azzorre si è proteso dall'Atlantico verso l'Europa occidentale (mappa sinistra) in maniera più marcata della corrispondente climatologia (mappa destra).

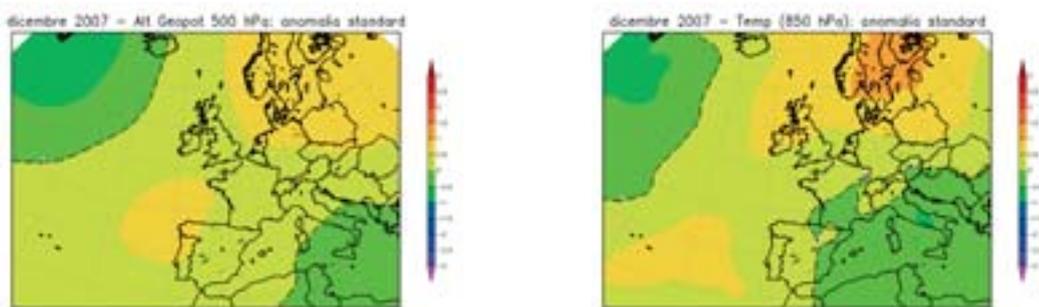


FIGURA 13: anomalia standardizzata del geopotenziale a 500 hPa (a sinistra) e della temperatura a 850 hPa, circa 1500 m di quota (a destra), del mese di Dicembre 2007 rispetto alla climatologia 1957-2002.

La pressione in realtà è stata più alta della norma praticamente su tutta l'Europa, come confermato dall'anomalia positiva della mappa sinistra di FIGURA 13, prova del fatto che una forte area di alta pressione ha dominato anche la parte centro-settentrionale del continente. Infatti le isolinee della prima mappa di FIGURA 12 disegnano un promontorio di alta pressione che sale verso le latitudini settentrionali del nord ed est Europa.

Dall'altra parte, quelle isolinee disegnano anche una saccatura (bassa pressione) che scende sull'Adriatico e sul sud Italia. Corrispondentemente l'area del Mediterraneo sud-orientale è l'unica, della mappa europea, ad avere un'anomalia negativa (FIGURA 13 a sinistra). Così le uniche strutture depressionarie significative sono giunte sul Piemonte soprattutto da est (dai Balcani), come quella, più marcata, che a metà mese ha portato nevicate fino in pianura. I valori di precipitazione sono stati bassi, perché, naturalmente, le correnti da est sono fredde ma non tanto umide per la nostra regione.

Come si vede anche dalla seconda mappa della FIGURA 13, se l'anomalia negativa di temperatura (rispetto al trimestre autunnale precedente) ha solo lambito il Piemonte, mentre è stata estesa sull'Europa meridionale (Mediterraneo) e tutto il resto d'Italia, il motivo sta anche negli episodi abbastanza frequenti di venti di foehn occorsi nel mese. L'intenso flusso nord-occidentale ha più volte provocato venti di caduta, sottovento alle Alpi, caldi e asciutti, mantenendo le temperature più miti (su tutto il versante italiano della

catena alpina) e le precipitazioni perlopiù limitate alle zone di bordo del Piemonte, senza interessamento delle pianure.

Al termine della caratterizzazione meteorologica, si è ritenuto interessante effettuare l'analisi dei dati meteorologici misurati dalle stazioni a terra nell'anno 2007, limitata all'andamento delle variabili meteorologiche maggiormente significative in rapporto al decennio precedente 1997-2006.

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 2007 per la stazione Torino-Giardini Reali risulta pari a 14,3 °C, quindi superiore sia alla media dei dati rilevati negli ultimi dieci anni nella stessa stazione (13,5 °C), sia alla media 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 1997-2006 (FIGURA 14). Le differenze maggiormente significative rispetto all'anno medio si riscontrano nei mesi di Gennaio e Febbraio, con variazioni termiche rispettivamente di 3,3 °C e 2,8 °C rispetto alle relative medie del periodo decennale. In generale il periodo compreso tra Agosto e Dicembre mostra temperature medie mensili inferiori alla media.

Il valore più basso delle temperature medie mensili è stato registrato nel mese di Dicembre nel 2007 mentre nel decennio di riferimento nel mese di Gennaio (3,6 °C nel Dicembre 2007 e 2,5°C nel mese di Gennaio del decennio di riferimento). Il valore massimo è stato registrato nel mese di Luglio nel 2007 (24,8°C), così come avvenuto nel decennio climatologico 1997-2006 in cui il valore massimo della media mensile è di 24,6°C.

Dal confronto grafico fra l'andamento dei dati orari acquisiti nel corso del 2007 e l'intervallo di valori medi studiato a partire dai minimi e dai massimi assoluti registrati mensilmente nel decennio precedente (FIGURA 15), si osserva che nel complesso tutto il periodo si presenta più spostato verso l'andamento dei massimi assoluti (linea rossa) registrati mensilmente nel decennio 1997-2006, risultando quindi un periodo complessivamente caldo. Si osservano picchi di temperature massime a Gennaio, Febbraio, Aprile, Maggio e Luglio, che superano i valori medi dei massimi assoluti registrati mensilmente nel decennio di riferimento (linea rossa). All'opposto, superamenti dei minimi assoluti registrati mensilmente nel decennio di riferimento (linea blu) si sono verificati a Luglio, Settembre, Ottobre e Novembre.

Per quanto riguarda le precipitazioni atmosferiche, l'analisi dei dati statistici evidenzia per l'anno 2007 (FIGURA 16) un totale di precipitazioni di 672 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 56. Quindi, il 2007 risulta meno piovoso della media 1997-2006, sia in termini di precipitazioni totali (672 mm contro 767 mm di media), sia in termini di giorni piovosi (56 giorni contro 65 giorni di media).

Il 2007 è stato meno piovoso del 2006: 672 mm di pioggia nel 2007 rispetto ai 712 mm di pioggia nel 2006. Il 1997, il 2001 ed il 2005 rappresentano gli anni meno piovosi del decennio. Utilizzando come parametro di confronto l'intensità delle precipitazioni atmosferiche, calcolata come il rapporto fra la quantità totale di pioggia ed il numero di giorni piovosi, si osserva che i valori più alti sono stati registrati nel 2000 (16,3 mm pioggia/giorno) e nel 2002 (14,1 mm pioggia/giorno); mentre i valori più bassi nel 1997 (9,9 mm pioggia/giorno), nel 2001 (7,8 mm pioggia/giorno) e nel 2005 (9,1 mm pioggia/giorno). Nel 2007 l'intensità giornaliera media è stata pari a 12,0 mm pioggia/giorno, contro una media del decennio pari a 11,8 mm pioggia/giorno.

L'analisi della distribuzione annuale delle precipitazioni nell'ambito dei vari mesi può inoltre essere utilizzata per definire il *regime pluviometrico* di un'area geografica. Nello studio climatologico della Regione Piemonte¹, l'andamento di tale distribuzione per il Piemonte

¹ 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.

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)².

Nel grafico illustrato in FIGURA 17 è riportato il confronto tra l'andamento delle precipitazioni totali mensili per il 2007 con le precipitazioni medie mensili (media delle sommatorie mensili) del decennio 1997-2006. Il profilo del 2007 si discosta dal regime pluviometrico "continentale alpino" in quanto il massimo principale è stato registrato a Giugno (215 mm), il massimo secondario ad Agosto (95,6 mm) ed il minimo principale in inverno a Dicembre (0,4 mm). Anche il decennio di riferimento si discosta dal regime pluviometrico "continentale alpino": il massimo principale è stato registrato a Maggio (127,1 mm), il massimo secondario ad Agosto (87,4 mm), mentre il minimo principale si registra a Marzo (28,6 mm).

Un'ulteriore elaborazione è stata effettuata aggregando gli stessi dati di precipitazione su base trimestrale. Nella FIGURA 18 sono riportati, per ogni trimestre, gli istogrammi relativi alla quantità di pioggia misurata nei diversi anni e per ogni grafico viene segnalato il valore medio di precipitazione per il decennio. Dall'esame dei grafici spicca che nel secondo trimestre le precipitazioni sono superiori alla media climatologica (317 mm rispetto ai 271 mm della climatologia); mentre sono inferiori alla media nel primo (-52,2%), nel terzo (-7,3%) e nel quarto trimestre 2007 (-38%).

Va comunque sottolineato che le osservazioni sopra riportate sulle caratteristiche di piovosità relative all'anno 2007 devono essere valutate alla luce delle seguenti considerazioni:

- l'arco temporale (decennio 1997-2006) utilizzato per il confronto risulta comunque ridotto;
- la rappresentatività spaziale è limitata all'area metropolitana.

² "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.

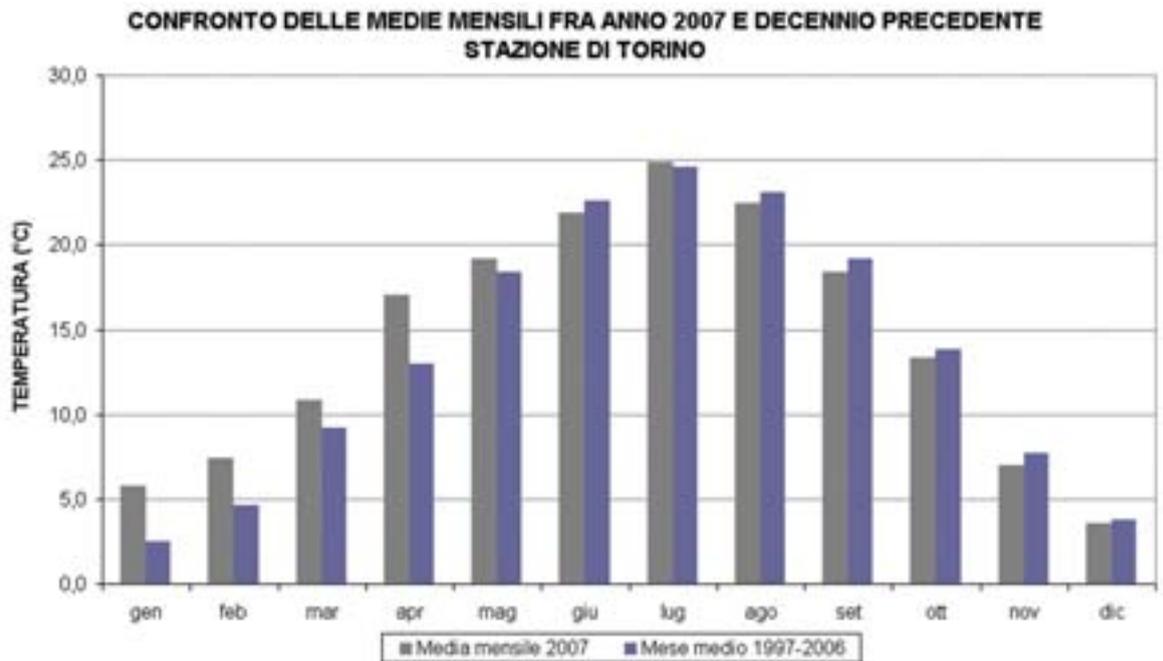


FIGURA 14: temperatura: valori medi mensili per l'anno 2007 e per il decennio 1997-2006 per la stazione di Torino.

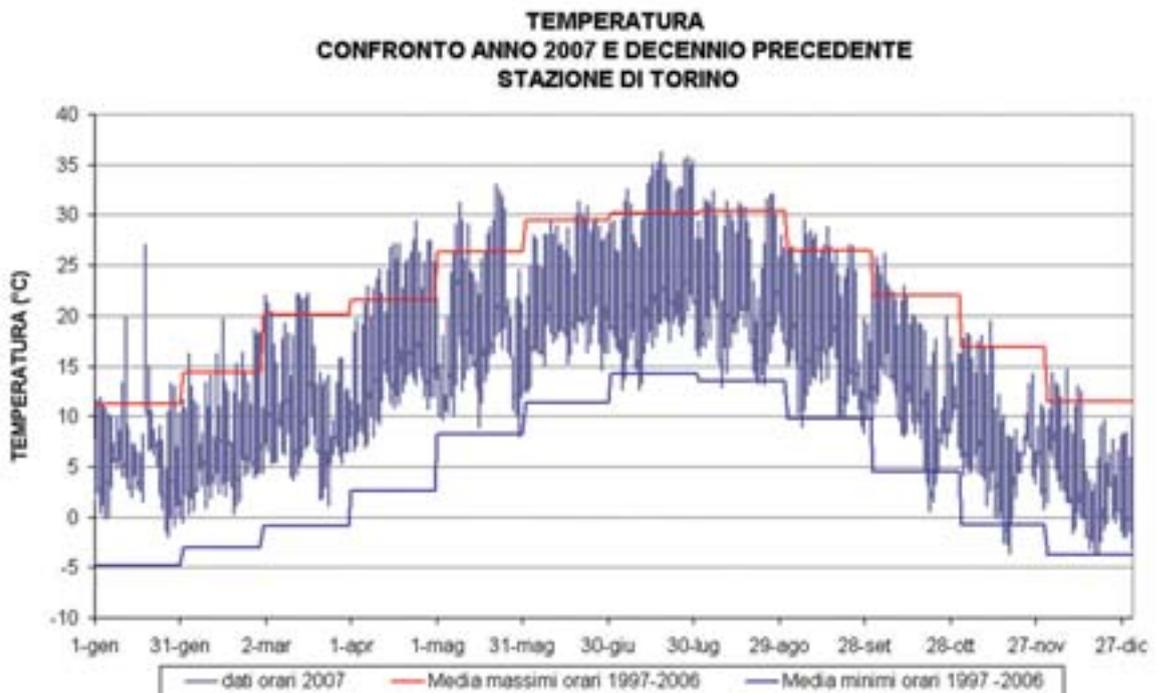


FIGURA 15: temperatura: valori orari per l'anno 2007 e medie dei minimi e dei massimi assoluti registrati nel decennio 1997-2006 presso la stazione di Torino.

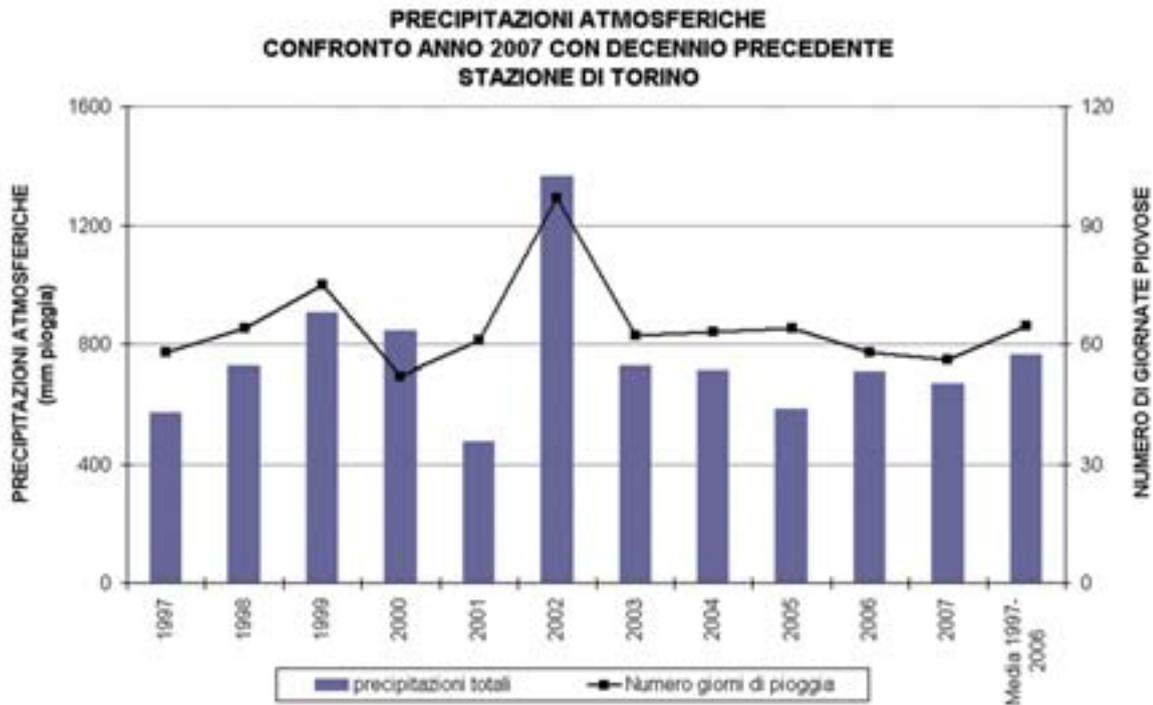


FIGURA 16: precipitazioni atmosferiche: sommatorie annuali e media del decennio in termini di quantità di precipitazioni e di numero di giornate piovose per la stazione di Torino.

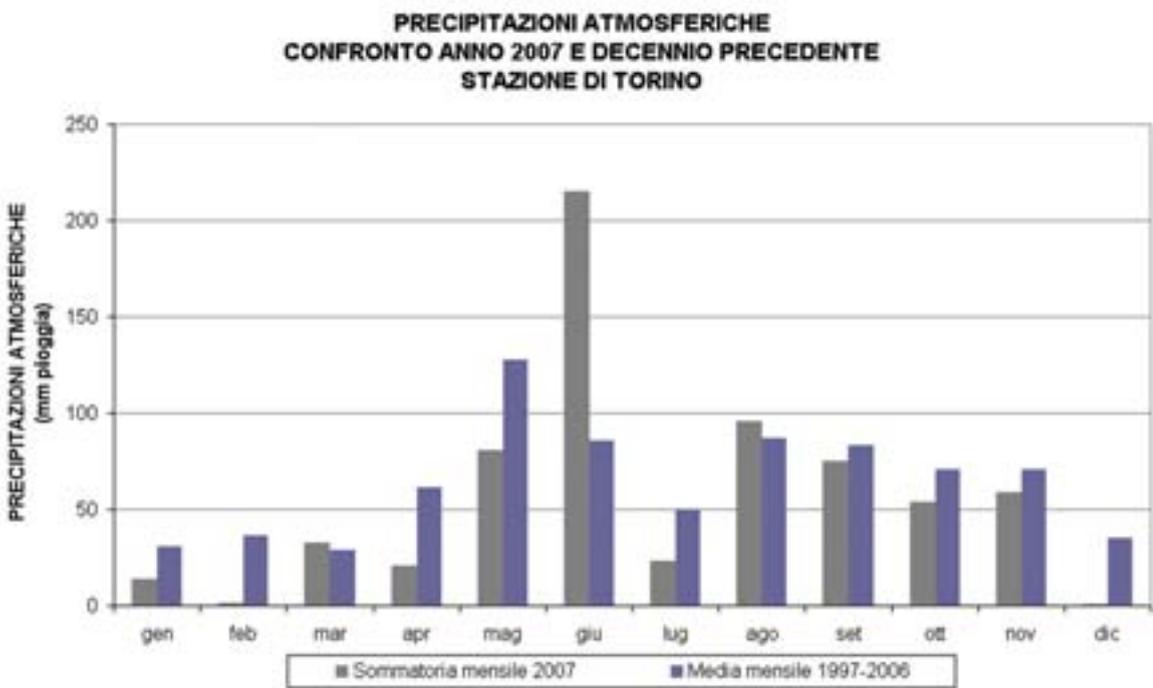


FIGURA 17: precipitazioni atmosferiche: sommatorie mensili per l'anno 2007 e medie mensili relative al decennio 1997-2006 per la stazione di Torino.

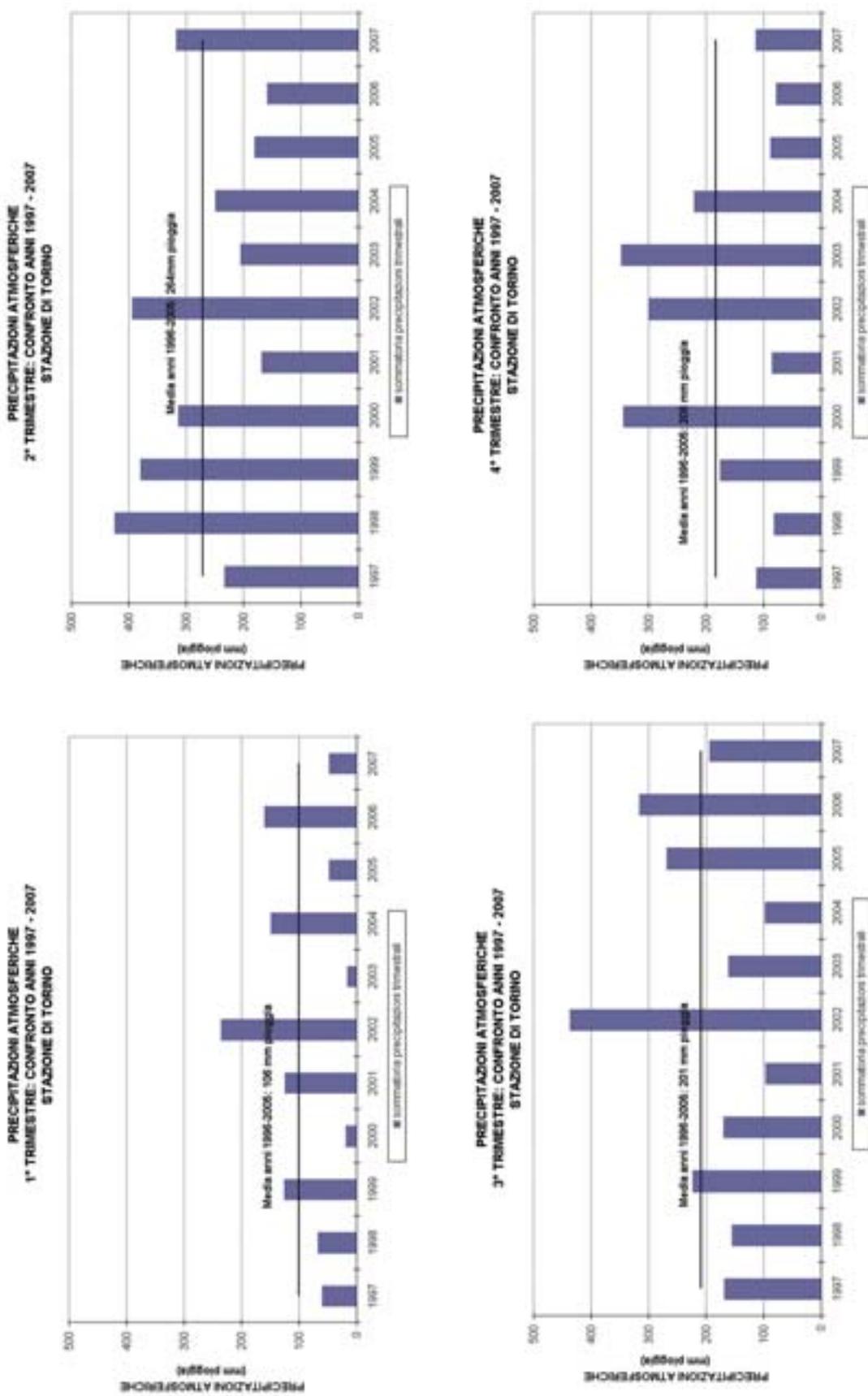


FIGURA 18: precipitazioni atmosferiche: sommatorie trimestrali relative al periodo 1997-2007 per la stazione di Torino.

La tutela e la gestione della qualità dell'aria sono oggetto di una specifica normativa nazionale, frutto del recepimento delle direttive della Comunità Europea, finalizzata ad impedire il costante riprodursi di situazioni di criticità ambientale.

In particolare, il D.Lgs. 04/08/1999, n. 351 (attuativo della direttiva quadro 1996/62/CE) definisce i principi fondamentali per la diminuzione dell'inquinamento atmosferico prevedendo la fissazione di valori limite e di soglie di allarme per alcune sostanze inquinanti nonché del valore obiettivo per l'ozono al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi per la salute umana e per l'ambiente nel suo complesso. Il decreto prevede inoltre l'individuazione di metodi e criteri di valutazione comuni che permettano di distinguere nell'ambito del territorio nazionale le zone in cui è opportuno conservare la qualità dell'aria, perché buona, da quelle in cui è necessario migliorarla.

Il nostro legislatore, con il D.M. 2/4/2002 n. 60 (attuativo delle direttive figlie 1999/30/CE e 2000/69/CE), ha fissato per una serie di agenti inquinanti (biossido di zolfo, biossido di azoto e ossidi di azoto, materiale particolato, piombo, benzene e monossido di carbonio) i predetti valori limite e le soglie di allarme. Tale intervento è l'espressione legislativa di una politica di ampio raggio che si prefigge da un lato di porre rimedio ai fenomeni cronici di inquinamento atmosferico e dall'altro prevede, in occasione di episodi acuti, l'adozione di azioni radicali.

Il decreto stabilisce dei valori limite annuali per la protezione della salute umana e degli ecosistemi per biossido di zolfo, ossidi di azoto, materiale particolato PM10, piombo e benzene. L'introduzione di questa classe di limiti è finalizzata all'adozione di interventi che siano volti ad una reale diminuzione dell'emissione di questi inquinanti piuttosto che alla sola introduzione di misure di contenimento dei picchi di concentrazione che si verificano in determinati periodi dell'anno. Inoltre, per il raggiungimento dei limiti, viene scandito il percorso da compiere nel corso dei prossimi anni, attraverso la definizione di margini di tolleranza, che si riducono progressivamente nel tempo, per portare al graduale raggiungimento del rispetto del limite.

Per il biossido di zolfo, gli ossidi di azoto, il PM10 e il monossido di carbonio sono anche definiti dei valori limite giornalieri o orari.

La configurazione proposta per i limiti *short-term* è volta al contenimento degli episodi acuti di inquinamento e anche in questo caso assume connotazioni che spingono le autorità competenti alla definizione di strategie efficaci e di interventi strutturali per garantire il rispetto di tali limiti. Al valore limite viene infatti associato sia un numero massimo di superamenti da registrare nel corso dell'anno sia un margine di tolleranza che, anche in questo caso, decresce gradualmente fino al raggiungimento del valore fissato.

Inoltre per il biossido di zolfo ed il biossido di azoto il decreto ha fissato delle soglie di allarme, a cui corrispondono dei livelli di concentrazione di inquinanti in atmosfera il cui superamento determina il sorgere di seri rischi per la salute umana anche in caso di esposizioni di breve durata. In caso si verifici siffatta situazione di pericolo le autorità competenti sono ovviamente tenute all'adozione immediata di misure capaci di portare ad una riduzione delle concentrazioni di inquinante al di sotto del valore di allarme.

Con il D. Lgs. 21/05/2004 n.183 è stata recepita dal legislatore italiano la direttiva 2002/3/CE relativa all'ozono nell'aria.

Per il parametro ozono si individuano, come riferimento a lungo termine, i valori bersaglio e gli obiettivi a lungo termine per la protezione della salute umana e della vegetazione. Il valore bersaglio rappresenta il livello fissato al fine di evitare effetti nocivi sulla salute umana e/o sull'ambiente nel suo complesso, da conseguirsi per quanto possibile entro un dato periodo di tempo (2010). L'obiettivo a lungo termine rappresenta la concentrazione di ozono nell'aria al di sotto della quale si ritengono improbabili, in base alle conoscenze scientifiche attuali, effetti nocivi diretti sulla salute umana e/o sull'ambiente nel suo complesso. Tale obiettivo deve essere conseguito, salvo quando ciò non sia realizzabile, tramite misure progressive nel lungo periodo, al fine di fornire un'efficace protezione della salute umana e dell'ambiente. Per l'ozono sono definite inoltre la soglia di allarme e la soglia di informazione alla popolazione.

Il legislatore ha recepito con il D.Lgs 03/08/2007, n. 152 la normativa europea (direttiva 2004/107/CE) che ha definito i valori obiettivo per il benzo(a)pirene, l'arsenico, il cadmio e

il nichel. I valori obiettivo sono calcolati come media su un anno di calendario e sono riferiti al tenore totale della frazione PM10. Il rispetto dei valori indicati è da ottenersi entro il 31/12/2012.

Per una migliore comprensione dei dati, riportati nelle tabelle sottostanti, è necessario premettere le definizioni normative dei seguenti concetti:

- VALORE LIMITE, livello fissato in base alle conoscenze scientifiche al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi sulla salute umana e/o sull'ambiente nel suo complesso, che dovrà essere raggiunto entro un dato termine e che non dovrà essere superato.
- SOGLIA DI ALLARME, livello oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata e raggiunto il quale gli stati membri devono immediatamente intervenire secondo quanto disposto dalla direttiva 96/62/CE.
- VALORE BERSAGLIO, livello fissato al fine di evitare a lungo termine effetti nocivi sulla salute umana e/o sull'ambiente nel suo complesso, da conseguirsi per quanto possibile entro un dato periodo di tempo.
- OBIETTIVO A LUNGO TERMINE, concentrazione di ozono nell'aria al di sotto della quale si ritengono improbabili, in base alle conoscenze scientifiche attuali, effetti nocivi diretti sulla salute umana e/o sull'ambiente nel suo complesso. Tale obiettivo deve essere conseguito, salvo quando ciò non sia realizzabile tramite misure proporzionate, nel lungo periodo al fine di fornire un'efficace protezione della salute umana e dell'ambiente.
- MARGINE DI SUPERAMENTO, la percentuale del valore limite nella cui misura tale valore può essere superato alle condizioni stabilite dalla direttiva 96/62/CE.
- SOGLIA DI INFORMAZIONE, livello oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata della popolazione in generale, e raggiunto il quale gli stati membri devono immediatamente intervenire.
- VALORE OBIETTIVO, concentrazione nell'aria ambiente stabilita al fine di evitare, prevenire o ridurre effetti nocivi per la salute umana e per l'ambiente, il cui raggiungimento, entro un dato termine, deve essere perseguito mediante tutte le misure a tale fine necessarie che non comportano costi sproporzionati.

| BIOSSIDO DI ZOLFO (SO₂) | | | |
|--|---|--|---|
| VALORE LIMITE ORARIO PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA | | | |
| Periodo di mediazione | Valore limite (293°K e 101,3 kPa) | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore limite deve essere rispettato |
| 1 ora | 350 µg/m ³ da non superare più di 24 volte per anno civile | 150 µg/m ³ (43%) all'entrata in vigore della Direttiva 99/30/CE(19/7/99). Tale margine si ridurrà, a partire dal 1° gennaio 2001 di una percentuale costante ogni 12 mesi fino a raggiungere il valore 0 il 1° gennaio 2005 | 1 gennaio 2005 |
| VALORE LIMITE DI 24 ORE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA | | | |
| Periodo di mediazione | Valore limite (293°K e 101,3 kPa) | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore limite deve essere rispettato |
| 24 ore | 125 µg/m ³ da non superare più di 3 volte per anno civile | nessuno | 1 gennaio 2005 |
| VALORE LIMITE PER LA PROTEZIONE DEGLI ECOSISTEMI | | | |
| Periodo di mediazione | Valore limite (293°K e 101,3 kPa) | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore limite deve essere rispettato |
| anno civile e inverno (1° ottobre - 31 marzo) | 20 µg/m ³ | nessuno | 19 luglio 2001 |
| SOGLIA DI ALLARME PER IL BIOSSIDO DI ZOLFO | | | |
| 500 µg/m ³ (293°K e 101,3 kPa) misurati su tre ore consecutive in località rappresentative della qualità dell'aria su almeno 100 km ² oppure una zona o un agglomerato completi, se tale zona o agglomerati sono meno estesi | | | |

TABELLA 1: D.M. 2/4/2002 n. 60, valori limite per il biossido di zolfo.

| MONOSSIDO DI CARBONIO (CO) | | | |
|---|-----------------------------------|---|---|
| VALORE LIMITE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA | | | |
| Periodo medio | Valore limite (293°K e 101,3 kPa) | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore limite deve essere rispettato |
| Media massima giornaliera su 8 ore | 10 mg/m ³ | 60% del valore limite all'entrata in vigore della Direttiva 2000/69/CE (13/12/2000). Tale margine si ridurrà, a partire dal 1° gennaio 2003 di una percentuale costante ogni 12 mesi fino a raggiungere il valore di 0 il 1° gennaio 2005 | 1 gennaio 2005 |

TABELLA 2: D.M. 2/4/2002 n. 60, valori limite per il monossido di carbonio.

OSSIDI DI AZOTO (NO_x, NO₂)**VALORE LIMITE ORARIO PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA**

| Periodo di mediazione | Valore limite (293°K e 101,3 kPa) | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore limite deve essere rispettato |
|-----------------------|--|---|---|
| 1 ora | 200 µg/m ³ NO ₂ da non superare più di 18 volte per anno civile | 50% del valore limite all'entrata in vigore della Direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale margine si ridurrà, a partire dal 1° gennaio 2001 di una percentuale costante ogni 12 mesi fino a raggiungere il valore di 0 il 1° gennaio 2010 | 1 gennaio 2010 |

Dettaglio dei limiti in vigore nei prossimi anni con i progressivi adeguamenti:

| | |
|-------------------------|-----------------------|
| ←←← 31/12/2000 | 300 µg/m ³ |
| 01/01/2001 - 31/12/2001 | 290 µg/m ³ |
| 01/01/2002 - 31/12/2002 | 280 µg/m ³ |
| 01/01/2003 - 31/12/2003 | 270 µg/m ³ |
| 01/01/2004 - 31/12/2004 | 260 µg/m ³ |
| 01/01/2005 - 31/12/2005 | 250 µg/m ³ |
| 01/01/2006 - 31/12/2006 | 240 µg/m ³ |
| 01/01/2007 - 31/12/2007 | 230 µg/m ³ |
| 01/01/2008 - 31/12/2008 | 220 µg/m ³ |
| 01/01/2009 - 31/12/2009 | 210 µg/m ³ |
| 01/01/2010 ⇒⇒⇒ | 200 µg/m ³ |

VALORE LIMITE ANNUALE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA

| Periodo di mediazione | Valore limite (293°K e 101,3 kPa) | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore limite deve essere rispettato |
|-----------------------|--------------------------------------|---|---|
| Anno civile | 40 µg/m ³ NO ₂ | 50% del valore limite all'entrata in vigore della direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale margine si ridurrà, a partire dal 1° gennaio 2001 di una percentuale costante ogni 12 mesi fino a raggiungere il valore di 0 il 1° gennaio 2010 | 1 gennaio 2010 |

Dettaglio dei limiti in vigore nei prossimi anni con i progressivi adeguamenti:

| | |
|-------------------------|----------------------|
| ←←← 31/12/2000 | 60 µg/m ³ |
| 01/01/2001 - 31/12/2001 | 58 µg/m ³ |
| 01/01/2002 - 31/12/2002 | 56 µg/m ³ |
| 01/01/2003 - 31/12/2003 | 54 µg/m ³ |
| 01/01/2004 - 31/12/2004 | 52 µg/m ³ |
| 01/01/2005 - 31/12/2005 | 50 µg/m ³ |
| 01/01/2006 - 31/12/2006 | 48 µg/m ³ |
| 01/01/2007 - 31/12/2007 | 46 µg/m ³ |
| 01/01/2008 - 31/12/2008 | 44 µg/m ³ |
| 01/01/2009 - 31/12/2009 | 42 µg/m ³ |
| 01/01/2010 ⇒⇒⇒ | 40 µg/m ³ |

VALORE LIMITE ANNUALE PER LA PROTEZIONE DELLA VEGETAZIONE

| Periodo di mediazione | Valore limite (293°K e 101,3 kPa) | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore limite deve essere rispettato |
|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------|---|
| Anno civile | 30 µg/m ³ NO _x | nessuno | 19 luglio 2001 |

SOGLIA DI ALLARME PER IL BISSIDO DI AZOTO

400 µg/m³ (293°K e 101,3 kPa) misurati su tre ore consecutive in località rappresentative della qualità dell'aria su almeno 100 km² oppure una zona o un agglomerato completi, se tale zona o agglomerati sono meno estesi.

TABELLA 3: D.M. 2/4/2002 n. 60, valori limite per gli ossidi di azoto.

PARTICOLATO PM10 (FASE 1)

VALORE LIMITE DI 24 ORE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA

| Periodo di mediazione | Valore limite (condizioni di campion.) | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore limite deve essere rispettato |
|-----------------------|--|--|---|
| 24 ore | 50 µg/m ³ PM10 non superare più di 35 volte per anno civile | 50% del valore limite all'entrata in vigore della Direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale margine si ridurrà, a partire dal 1° gennaio 2001 di una percentuale costante ogni 12 mesi fino a raggiungere il valore di 0 il 1° gennaio 2005 | 1 gennaio 2005 |

VALORE LIMITE ANNUALE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA

| Periodo di mediazione | Valore limite (condizioni di campion.) | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore limite deve essere rispettato |
|-----------------------|--|--|---|
| Anno civile | 40 µg/m ³ PM10 | 20% del valore limite all'entrata in vigore della Direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale margine si ridurrà, a partire dal 1° gennaio 2001 di una percentuale costante ogni 12 mesi fino a raggiungere il valore di 0 il 1° gennaio 2005 | 1 gennaio 2005 |

(FASE 2)

Valori indicativi da rivedere con successivo decreto sulla base della futura normativa comunitaria

VALORE LIMITE DI 24 ORE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA

| Periodo di mediazione | Valore limite (condizioni di campion.) | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore limite deve essere rispettato |
|-----------------------|---|--|---|
| 24 ore | 50 µg/m ³ PM10 non superare più di 7 volte per anno civile | Da stabilire in base ai dati, in modo che sia equivalente al valore limite della fase 1. | 1 gennaio 2010 |

VALORE LIMITE ANNUALE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA

| Periodo di mediazione | Valore limite (condizioni di campion.) | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore limite deve essere rispettato |
|-----------------------|--|--|---|
| Anno civile | 20 µg/m ³ PM10 | 10 µg/m ³ al 1° gennaio 2005 con riduzione ogni 12 mesi successivi, secondo una percentuale annua costante, per raggiungerelo 0% il 1° gennaio 2010 | 1° gennaio 2010 |

TABELLA 4: D.M. 2/4/2002 n. 60, valori limite per il PM10.

| PIOMBO (Pb) | | | |
|---|--|--|---|
| VALORE LIMITE ANNUALE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA | | | |
| Periodo di mediazione | Valore limite (condizioni di campion.) | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore limite deve essere rispettato |
| Anno civile | 0,5 µg/m ³ | 100% del valore limite all'entrata in vigore della Direttiva 99/30/CE (19/7/99). Tale margine si ridurrà, a partire dal 1° gennaio 2001, di una percentuale costante ogni 12 mesi fino a raggiungere il valore di 0 il 1° gennaio 2005 | 1 gennaio 2005 |

TABELLA 5: D.M. 2/4/2002 n. 60, valori limite per il piombo.

| ARSENICO (As) | | | |
|---|---------------------|-----------------------|--|
| VALORE OBIETTIVO DELLA MEDIA ANNUALE | | | |
| Periodo di mediazione | Valore Obiettivo | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore obiettivo deve essere rispettato |
| Anno civile | 6 ng/m ³ | Nessuno | 31 dicembre 2012 |

TABELLA 6: D.Lgs 03/08/2007, n. 152, valore obiettivo per l'arsenico.

| CADMIO (Cd) | | | |
|---|---------------------|-----------------------|--|
| VALORE OBIETTIVO DELLA MEDIA ANNUALE | | | |
| Periodo di mediazione | Valore Obiettivo | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore obiettivo deve essere rispettato |
| Anno civile | 6 ng/m ³ | Nessuno | 31 dicembre 2012 |

TABELLA 7: D.Lgs 03/08/2007, n. 152, valore obiettivo per il cadmio.

| NICHEL (Ni) | | | |
|---|----------------------|-----------------------|--|
| VALORE OBIETTIVO DELLA MEDIA ANNUALE | | | |
| Periodo di mediazione | Valore Obiettivo | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore obiettivo deve essere rispettato |
| Anno civile | 20 ng/m ³ | Nessuno | 31 dicembre 2012 |

TABELLA 8: D.Lgs 03/08/2007, n. 152, valore obiettivo per il nichel.

OZONO (O₃)**VALORI BERSAGLIO**

| | Parametro | Valore bersaglio per il 2010 (a) |
|---|---|---|
| Valore bersaglio per la protezione della salute umana | Media massima giornaliera su 8 ore (b) | 120 µg/m ³ da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni (c) |
| Valore bersaglio per la protezione della vegetazione | AOT 40, calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio | 18000 µg/m ³ *h come media su 5 anni (c) |

(a) Data a partire dalla quale si verifica la rispondenza ai valori bersaglio. Ciò significa che i valori del 2010 saranno utilizzati per verificare la concordanza con gli obiettivi nei successivi 3 o 5 anni.

(b) 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.

(c) Se non è possibile calcolare la media di 3 o 5 anni poiché non si ha un insieme completo di dati relativi a più anni consecutivi, i dati annuali minimi per la verifica della rispondenza con i valori bersaglio sono i seguenti:

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

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

Per AOT40 (espresso in µg/m³*h) s'intende la somma della differenza fra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m³ (= 40 ppb) e 80 µg/m³ in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari medi rilevati ogni giorno tra le 08:00 e 20:00, ora dell'europa centrale.

| OBIETTIVI A LUNGO TERMINE | | |
|--|--|------------------------|
| | Parametro | Obiettivo a lungo (a) |
| Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana | Massima media giornaliera su 8 ore nell'arco di un anno civile | 120 µg/m ³ |
| Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione | AOT40, calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio | 6000 µg/m ³ |

(a) I progressi realizzati dalla Comunità nel conseguimento dell'obiettivo a lungo termine, prendendo come riferimento l'anno 2020, sono riesaminati nell'ambito del processo di cui all'art. 11 della presente direttiva.

Per AOT40 (espresso in µg/m³*h) s'intende la somma della differenza fra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m³ (= 40 ppb) e 80 µg/m³ in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari medi rilevati ogni giorno tra le 08:00 e 20:00, ora dell'europa centrale.

SOGLIE DI INFORMAZIONE E DI ALLARME

| | Parametro | Soglia |
|------------------------|----------------|-----------------------|
| Soglia di informazione | Media di 1 ora | 180 µg/m ³ |
| Soglia di allarme (a) | Media di 1 ora | 240 µg/m ³ |

(a) Per l'attuazione dei piani di azione a breve termine, previsti all'art. 5 comma 3 del D. Lgs. 21/05/2004 n.183, il superamento della soglia deve essere misurato o previsto per tre ore consecutive.

TABELLA 9: D. Lgs. 21/05/2004 n.183, valori bersaglio, obiettivo e soglie di informazione e allarme per l'ozono.

| BENZENE (C₆H₆) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|--|---|---|----------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|--|---------------------|
| VALORE LIMITE ANNUALE PER LA PROTEZIONE DELLA SALUTE UMANA | | | | | | | | | | | | | | | |
| Periodo di mediazione | Valore limite (293°K e 101,3 kPa) | Margine di Tolleranza | Data alla quale il valore limite deve essere rispettato | | | | | | | | | | | | |
| Anno civile | 5 µg/m ³ | 100% del valore limite all'entrata in vigore della Direttiva 2000/69/CE (13/12/2000). Tale margine si ridurrà, a partire dal 1° gennaio 2006 di una percentuale costante ogni 12 mesi fino a raggiungere il valore di 0 il 1° gennaio 2010 | 1 gennaio 2010 | | | | | | | | | | | | |
| Dettaglio dei limiti in vigore nei prossimi anni con i progressivi adeguamenti: <table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 70%;">$\leftarrow\leftarrow\leftarrow$ 31/12/2005</td> <td style="text-align: right;">10 µg/m³</td> </tr> <tr> <td>01/01/2006 - 31/12/2006</td> <td style="text-align: right;">9 µg/m³</td> </tr> <tr> <td>01/01/2007 - 31/12/2007</td> <td style="text-align: right;">8 µg/m³</td> </tr> <tr> <td>01/01/2008 - 31/12/2008</td> <td style="text-align: right;">7 µg/m³</td> </tr> <tr> <td>01/01/2009 - 31/12/2009</td> <td style="text-align: right;">6 µg/m³</td> </tr> <tr> <td>01/01/2010$\Rightarrow\Rightarrow\Rightarrow$</td> <td style="text-align: right;">5 µg/m³</td> </tr> </table> | | | | $\leftarrow\leftarrow\leftarrow$ 31/12/2005 | 10 µg/m ³ | 01/01/2006 - 31/12/2006 | 9 µg/m ³ | 01/01/2007 - 31/12/2007 | 8 µg/m ³ | 01/01/2008 - 31/12/2008 | 7 µg/m ³ | 01/01/2009 - 31/12/2009 | 6 µg/m ³ | 01/01/2010 $\Rightarrow\Rightarrow\Rightarrow$ | 5 µg/m ³ |
| $\leftarrow\leftarrow\leftarrow$ 31/12/2005 | 10 µg/m ³ | | | | | | | | | | | | | | |
| 01/01/2006 - 31/12/2006 | 9 µg/m ³ | | | | | | | | | | | | | | |
| 01/01/2007 - 31/12/2007 | 8 µg/m ³ | | | | | | | | | | | | | | |
| 01/01/2008 - 31/12/2008 | 7 µg/m ³ | | | | | | | | | | | | | | |
| 01/01/2009 - 31/12/2009 | 6 µg/m ³ | | | | | | | | | | | | | | |
| 01/01/2010 $\Rightarrow\Rightarrow\Rightarrow$ | 5 µg/m ³ | | | | | | | | | | | | | | |

TABELLA 10: D.M. 2/4/2002 n. 60, valori limite per il benzene.

| BENZO(A)PIRENE | | |
|---|------------------------|-----------------------|
| Riferimento normativo | Parametro di controllo | Valore di riferimento |
| VALORE OBIETTIVO (D.Lgs. 152/07) | Media annuale | 1 ng/m ³ |
| (a): La frequenza di campionamento è pari a 1 prelievo ogni z giorni, ove $z=3\div 6$; z può essere maggiore di 7 in ambienti rurali; in nessun caso z deve essere pari a 7. | | |

TABELLA 11: D.Lgs. 152/07 valori di riferimento previsti per il benzo(a)pirene.

PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI

Si riporta un breve elenco della principale normativa che governa la gestione della qualità dell'aria e il controllo delle principali fonti emissive.

- D.P.R. 26/8/1993 n. 412** Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia.
- D.M. 27/3/1998** Mobilità sostenibile nelle aree urbane.
- D.M. 21/4/1999 n. 163** Regolamento recante norme per l'individuazione dei criteri ambientali e sanitari in base ai quali i sindaci adottano le misure di limitazione della circolazione.
- D. Lgs. 4/8/1999 n. 351** Attuazione della direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente.
- Regione Piemonte
L.R. 7/4/2000 n. 43** Disposizioni per la tutela dell'ambiente in materia di inquinamento atmosferico. Prima attuazione del piano regionale per il risanamento e la tutela della qualità dell'aria.
- DPCM 08/3/2002** Disciplina delle caratteristiche merceologiche dei combustibili aventi rilevanza ai fini dell'inquinamento atmosferico, nonché delle caratteristiche tecnologiche degli impianti di combustione.
- D.M. 2/4/2002 n. 60** Recepimento della direttiva 1999/30/CE del consiglio 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio. I dati del 2001, pubblicati in questa relazione, non sono ancora sottoposti a questa normativa.
- D.M. 20/9/2002** Modalità per la garanzia della qualità del sistema delle misure di inquinamento atmosferico, ai sensi del decreto legislativo n. 351/1999.
- D.M. 01/10/2002 n. 261** Regolamento recante le direttive tecniche per la valutazione preliminare della qualità dell'aria ambiente, i criteri per l'elaborazione del piano e dei programmi di cui agli articoli 8 e 9 del D.Lgs. 4 agosto 1999, n. 351.
- D.M. 16/1/2004, n. 44** Recepimento della direttiva 1999/13/CEE relativa alla limitazione delle emissioni di composti organici volatili di talune attività industriali, ai sensi dell'articolo 3, comma 2, del decreto del Presidente della Repubblica 24 maggio 1988, n. 203.
- Dlgs 21/5/2004, n. 171** Attuazione della direttiva 2001/81/Ce relativa ai limiti nazionali di emissione di alcuni inquinanti atmosferici.
- D. Lgs 21/5/2004 n.183** Attuazione della direttiva 2002/3/CE relativa all'ozono nell'aria.
- D.Lgs 18/2/2005, n. 59** Attuazione integrale della direttiva 96/61/CEE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento.
- D.Lgs 03/04/2006, n. 152** Norme in materia ambientale.
- D.Lgs 03/08/2007, n. 152** Attuazione della direttiva 2004/107/CE concernente l'arsenico, il cadmio, il mercurio, il nichel e gli idrocarburi policiclici aromatici nell'aria ambiente.

La rete di monitoraggio della qualità dell'aria, operante sul territorio della Provincia di Torino, è composta da 28 postazioni fisse di proprietà pubblica, 11 postazioni fisse di proprietà di enti privati e da un mezzo mobile per il monitoraggio in continuo di parametri chimici e meteorologici. 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. Solo le 3 stazioni in cui viene campionato esclusivamente il particolato atmosferico non sono collegate attraverso linee telefoniche, in quanto il tipo di misurazione con sistema gravimetrico dei parametri PM10 e polveri totali non necessita di tale collegamento. L'elenco delle stazioni di misura, la loro ubicazione, e i parametri misurati sono riportati in TABELLA 12. L'ubicazione delle stazioni e la zonizzazione del territorio provinciale, effettuata ai sensi della L.R. 7 aprile 2000 n. 43 dalla D.G.R. 11 novembre 2002 n. 14-7632, sono rappresentati in FIGURA 19.

La collocazione sul territorio delle postazioni di misura 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, inoltre, 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.

Nella TABELLA 14 si riporta una breve descrizione dei siti di misura, realizzata secondo le indicazioni contenute nel DM 2 aprile 2002 n. 60 e nella normativa che regola lo scambio di informazioni a livello europeo (Guidance on the annexes to decision 97/101/EC on exchange of information as revised by decision 2001/752/EC).

Il laboratorio mobile rappresenta inoltre un versatile strumento in dotazione alla rete di monitoraggio della qualità dell'aria. La sua peculiarità risiede nella possibilità di poter essere collocato 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.

| NOME | INDIRIZZO | PARAMETRI |
|--|--|--|
| Alpignano | Via F. Baracca, 12 – Alpignano | O ₃ , NO _x |
| Beinasco | Via S. Pellico, 5 – Beinasco | SO ₂ , NO _x |
| Borgaro | Via Italia – Borgaro | O ₃ , NO _x , PM10 gravimetrico, PM10 beta |
| Buttigliera | Via dei Comuni, 5 – Buttigliera | PM10 gravimetrico |
| Carmagnola | P.zzetta Di Vittorio, 1 – Carmagnola | PM10 gravimetrico |
| Chieri | C.so Buozi, 1 – Chieri | NO _x , CO, O ₃ |
| Ciriè | Via Teneschie, 2 – Ciriè | SO ₂ , NO _x |
| Druento | Cascina Peppinella – Druento | O ₃ , SO ₂ , NO _x , VV-DV, RDN, RDG, UMID, TEMP, PV, P, PM10 gravimetrico |
| Grugliasco | Via Roma, 15 – Grugliasco | SO ₂ , NO _x |
| Ivrea | P.zza Freguglia – Ivrea | SO ₂ , NO _x , CO, PM10 gravimetrico |
| Nichelino | Via XXV Aprile, 111 – Nichelino | CO, NO _x |
| Orbassano | Via Gozzano – Orbassano | O ₃ , NO _x , VV-DV, RDN, RDG |
| Oulx | Via Roma angolo via Des Moines | CO, O ₃ , NO _x , PM10 beta |
| Pinerolo | P.zza III Alpini, 1 – Pinerolo | CO, NO _x , O ₃ , PM10 gravimetrico |
| Pino Torinese | Oss. Astronomico – Pino T.se | O ₃ |
| Rivoli | P.zza Togliatti, 1 – Rivoli | CO, NO _x , BTX |
| Settimo | Via Milano, 31 – Settimo | CO, NO _x |
| Susa | P.zza della Repubblica – Susa | CO, NO _x , O ₃ , PM10 gravimetrico |
| TO – I.T.I.S. Grassi | Via P. Veronese – Torino | PM10 gravimetrico |
| TO – Lingotto | Via A. Monti, 21 – Torino | O ₃ , CO, CO ₂ , NO _x , PM10 beta, PM2,5 gravimetrico |
| TO – Mezzo Mobile | | O ₃ , SO ₂ , CO, NO _x , PM10 gravimetrico, BTX, VV-DV, RDG, UMID, TEMP, P |
| TO – Piazza Rebaudengo | P.zza Rebaudengo, 23 - Torino | CO, SO ₂ , NO _x |
| TO – Piazza Rivoli | P.zza Rivoli, 4 – Torino | CO, NO _x , PM10 gravimetrico |
| TO – Via Consolata | Via Consolata, 10 – Torino | SO ₂ , CO, NO _x , PM10 gravimetrico, PM10 alto volume, PM10 teom, PTS, BTX |
| TO – Via Gaidano | Via Gaidano – Torino | CO, NO _x , PM10 gravimetrico |
| TO – Via Madama Cristina | Via M. Cristina, 129 – Torino | CO, NO _x |
| TO – Via Rubino | Via Rubino, giardini Rubino – Torino | CO, NO _x , PM10 gravimetrico |
| Venaria | C.so Garibaldi – Venaria | CO |
| Vinovo | Via Garibaldi, 3 – Vinovo | O ₃ , NO _x |
| Chivasso – Edipower ⁽¹⁾ | Via Montanaro – Chivasso | SO ₂ , NO _x , CO, O ₃ , PM10 beta, PM2,5 beta, Idrocarburi non metanici |
| Castagneto Po – Edipower ⁽¹⁾ | Via Monpilotto – Castagneto Po | SO ₂ , NO _x , CO, O ₃ , PM10 beta, PM2,5 beta, Idrocarburi non metanici, VV-DV, UMID, TEMP, P |
| Baldissero – Aceaelectrabel ⁽²⁾ | Str. Pino Torinese, 1 – Bandissero | CO, O ₃ , NO _x , PM10 beta |
| Leinì – Aceaelectrabel ⁽²⁾ | Via vittime di Bologna, 12 – Leinì | CO, O ₃ , NO _x , PM10 beta, PM2,5 beta |
| Barauda – IRIDE ⁽¹⁾ | Strada Barauda, 24 – Moncalieri | SO ₂ , NO _x |
| Sangone – IRIDE ⁽¹⁾ | V.le Stazione Sangone, 15 – Moncalieri | SO ₂ , NO _x |
| Nichelino - IRIDE ⁽¹⁾ | Via Turati, 4/8 – Nichelino | SO ₂ , NO _x |
| Collegno – Barricalla A ⁽¹⁾ | Str.da della Viassa, 35 – Collegno | Idrocarburi non metanici, CH ₄ , PM10 teom |
| Collegno – Barricalla B ⁽¹⁾ | Str.da della Viassa, 35 – Collegno | Idrocarburi non metanici, CH ₄ , PM10 teom |
| Collegno – Barricalla D ⁽¹⁾ | | CO, O ₃ , NO _x , PM10 nefelometro |
| Pont C.se – LIRI ⁽¹⁾ | Via Roma, 36bis – Pont C.se | NO _x |

(1) Stazione gestita da ente privato.

(2) Stazione di ente privato gestita da ARPA Piemonte.

TABELLA 12: elenco delle stazioni di monitoraggio, ubicazione e parametri misurati.

| CODICE PARAMETRO | DESCRIZIONE |
|------------------|--------------------------------|
| BTX | Benzene, toluene, xilene |
| CO | Monossido di carbonio |
| NO _x | Ossidi di azoto |
| O ₃ | Ozono |
| P | Pressione atmosferica |
| PV | Quantità di pioggia |
| RDN | Radiazione solare netta |
| RDG | Radiazione solare globale |
| SO ₂ | Biossido di zolfo |
| CH ₄ | Metano |
| TEMP | Temperatura |
| PM10 | Particolato sospeso < 10 µm |
| PM2,5 | Particolato sospeso < 2,5 µm |
| PTS | Polveri totali sospese |
| UMID | Umidità |
| VV-DV | Velocità e direzione del vento |

TABELLA 13: descrizione dei codici dei parametri.

| STAZIONE | TIPOLOGIA ZONA | CARATTERISTICHE ZONA | TIPOLOGIA STAZIONE | DESCRIZIONE |
|--------------|----------------|--------------------------------------|--------------------|--|
| Alpignano | urbana | residenziale | fondo | Stazione collocata in area suburbana di carattere residenziale non direttamente soggetta a fonti primarie di emissione. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |
| Beinasco | urbana | industriale residenziale | fondo | Stazione collocata in area suburbana di carattere residenziale-industriale non direttamente soggetta a fonti primarie di emissione. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |
| Borgaro | suburbana | residenziale | fondo | Stazione collocata in area suburbana di carattere residenziale non direttamente soggetta a fonti primarie di emissione. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |
| Buttiglieria | suburbana | residenziale | fondo | Stazione collocata in area suburbana di carattere residenziale in una zona non direttamente soggetta a fonti primarie di emissione. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |
| Carmagnola | suburbana | residenziale industriale commerciale | traffico | Stazione collocata in area urbana esterna in una zona soggetta a fonti primarie di emissione di origine principalmente veicolare. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |
| Chieri | suburbana | residenziale commerciale | traffico | Stazione collocata in area suburbana di carattere residenziale soggetta a fonti primarie di emissione di origine principalmente veicolare. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |

| STAZIONE | TIPOLOGIA ZONA | CARATTERISTICHE ZONA | TIPOLOGIA STAZIONE | DESCRIZIONE |
|---------------|----------------|--|--------------------|--|
| Ciriè | urbana | residenziale | fondo | Stazione collocata in area urbana esterna di carattere residenziale in una zona non soggetta a fonti primarie di emissione. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |
| Druento | rurale | naturale | fondo | Stazione collocata in area remota in una zona non direttamente soggetta a fonti primarie di emissione. Rappresentativa della qualità dell'aria per la protezione degli ecosistemi. |
| Grugliasco | urbana | residenziale industriale commerciale | fondo | Stazione collocata in area suburbana di carattere residenziale in una zona non soggetta a fonti primarie di emissione. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |
| Ivrea | urbana | residenziale industriale commerciale | traffico | Stazione collocata in area urbana esterna in una zona soggetta a fonti primarie di emissione di origine principalmente veicolare. Rappresentativa dei livelli più elevati di inquinanti a cui è probabile che la popolazione sia esposta. |
| Nichelino | urbana | residenziale industriale commerciale | traffico | Stazione collocata in area suburbana in una zona soggetta a fonti primarie di emissione di origine principalmente veicolare. Rappresentativa dei livelli più elevati di inquinanti a cui è probabile che la popolazione sia esposta. |
| Orbassano | suburbana | residenziale | fondo | Stazione collocata in area suburbana di carattere residenziale non direttamente soggetta a fonti primarie di emissione. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |
| Oulx | suburbana | residenziale | traffico | Stazione di recente installazione collocata in prossimità della strada e quindi soggetta a fonti primarie di emissione di origine veicolare. Rappresentativa dei livelli più elevati di inquinanti a cui è probabile che la popolazione sia esposta. |
| Pinerolo | urbana | residenziale commerciale | traffico | Stazione collocata in area urbana esterna in una zona soggetta a fonti primarie di emissione di origine principalmente veicolare. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |
| Pino Torinese | rurale | naturale | fondo | Stazione collocata in area remota in una zona non direttamente soggetta a fonti primarie di emissione. Rappresentativa della qualità dell'aria per la protezione degli ecosistemi. |
| Rivoli | urbana | residenziale industriale commerciale | traffico | Stazione collocata in area suburbana in una zona soggetta a fonti primarie di emissione di origine principalmente veicolare. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |

| STAZIONE | TIPOLOGIA ZONA | CARATTERISTICHE ZONA | TIPOLOGIA STAZIONE | DESCRIZIONE |
|--------------------------|----------------|--|--------------------|--|
| Settimo | urbana | residenziale industriale commerciale | traffico | Stazione collocata in area suburbana in una zona soggetta a fonti primarie di emissione di origine veicolare e industriale. Rappresentativa dei livelli di inquinanti più elevati a cui è probabile che la popolazione sia esposta. |
| Susa | suburbana | commerciale | traffico | Stazione collocata in area urbana esterna in una zona soggetta a fonti primarie di emissione. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |
| TO - I.T.I.S. Grassi | urbana | residenziale industriale commerciale | traffico | Stazione collocata in area urbana a in una zona soggetta a fonti primarie di emissione di origine principalmente veicolare ed industriale. Rappresentativa dei livelli più elevati di inquinanti a cui è probabile che la popolazione sia esposta. |
| TO - Lingotto | urbana | industriale residenziale | fondo | Stazione collocata in una zona di fondo urbano non direttamente soggetta a fonti primarie di emissione. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |
| TO - Piazza Rebaudengo | urbana | industriale residenziale | traffico | Stazione collocata in area urbana a in una zona direttamente soggetta a fonti primarie di emissione di origine principalmente veicolare. Rappresentativa dei livelli più elevati di inquinanti a cui è probabile che la popolazione sia esposta. |
| TO - Piazza Rivoli | urbana | residenziale commerciale | traffico | Stazione collocata in area urbana a in una zona soggetta a fonti primarie di emissione di origine principalmente veicolare. Rappresentativa dei livelli più elevati di inquinanti a cui è probabile che la popolazione sia esposta. |
| TO - Via Consolata | urbana | residenziale commerciale | traffico | Stazione collocata in area urbana a in una zona soggetta a fonti primarie di emissione di origine principalmente veicolare. Rappresentativa dei livelli più elevati di inquinanti a cui è probabile che la popolazione sia esposta. |
| TO - Via Gaidano | urbana | residenziale industriale | traffico | Stazione collocata in area urbana a in una zona soggetta a fonti primarie di emissione di origine principalmente veicolare ed industriale. Rappresentativa dei livelli più elevati di inquinanti a cui è probabile che la popolazione sia esposta. |
| TO - Via Madama Cristina | urbana | residenziale commerciale | traffico | Stazione collocata in area urbana a in una zona soggetta a fonti primarie di emissione di origine principalmente veicolare. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |
| TO - Rubino | suburbana | residenziale | fondo | Stazione collocata in area suburbana in una zona soggetta a fonti primarie di emissione di origine principalmente veicolare. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |

| STAZIONE | TIPOLOGIA ZONA | CARATTERISTICHE ZONA | TIPOLOGIA STAZIONE | DESCRIZIONE |
|----------|----------------|--|--------------------|--|
| Venaria | urbana | residenziale industriale commerciale | traffico | Stazione collocata in area suburbana in una zona soggetta a fonti primarie di emissione di origine principalmente veicolare. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |
| Vinovo | suburbana | residenziale | fondo | Stazione collocata in area suburbana di carattere residenziale non direttamente soggetta a fonti primarie di emissione. Rappresentativa dell'esposizione della popolazione in generale. |

TABELLA 14: descrizione del posizionamento delle stazioni di misura della rete di monitoraggio gestita da ARPA Piemonte.

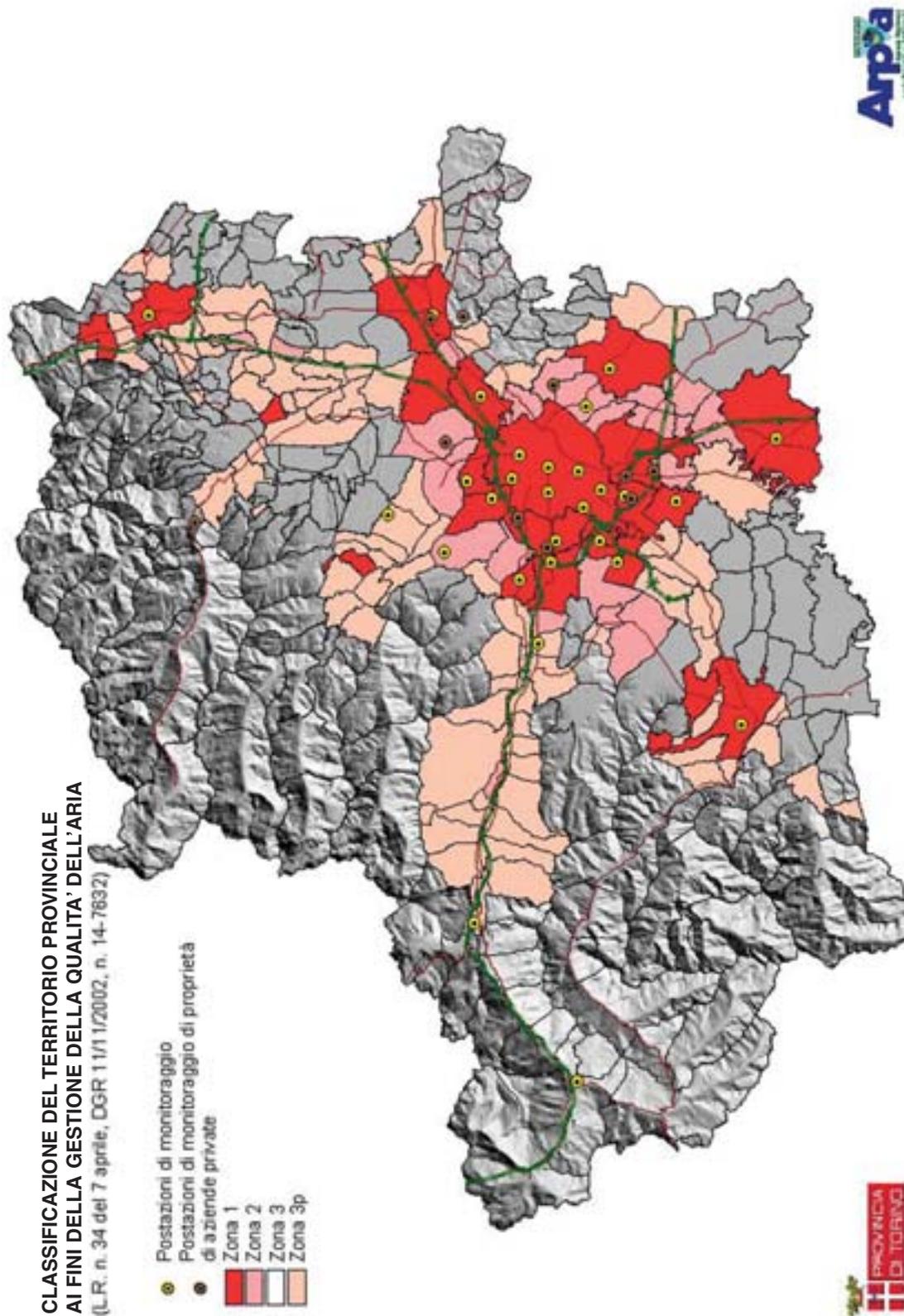


FIGURA 19: zonizzazione del territorio della provincia di Torino e disposizione dei punti di misura.

DESCRIZIONE

Il carbonio, che costituisce lo 0,08% della crosta terrestre, si trova in natura sia allo stato elementare sia allo stato combinato negli idrocarburi, nel calcare, nella dolomite, nei carboni fossili, ecc.

Il carbonio è in grado di legarsi chimicamente con l'ossigeno formando due composti (ossidi): il monossido di carbonio (CO) ed il biossido di carbonio (CO₂).

Il monossido di carbonio (CO) è l'inquinante gassoso più abbondante in atmosfera, l'unico per il quale l'unità di misura con la quale si esprimono le concentrazioni è il milligrammo al metro cubo (mg/m³). È un gas inodore ed incolore e viene generato durante la combustione di materiali organici quando la quantità di ossigeno a disposizione è insufficiente.

La principale sorgente di CO è rappresentata dal traffico veicolare (circa l'80% delle emissioni a livello mondiale), in particolare dai gas di scarico dei veicoli a benzina.

La concentrazione di CO emessa dagli scarichi dei veicoli è strettamente connessa alle condizioni di funzionamento del motore; si registrano concentrazioni più elevate con motore al minimo ed in fase di decelerazione, condizioni tipiche di traffico urbano intenso e rallentato.

DANNI CAUSATI

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

Alle concentrazioni abitualmente rilevabili nell'atmosfera urbana gli effetti sulla salute sono reversibili e sicuramente meno acuti.

METODO DI MISURA

L'ossido di carbonio è analizzato mediante assorbimento di radiazioni infrarosse (IR). La tecnica di misura si basa sull'assorbimento, da parte delle molecole di CO, di radiazioni IR con conseguente variazione della loro intensità, proporzionale alla concentrazione dell'ossido di carbonio. Un sensore misura la variazione della radiazione luminosa e converte questo valore fornendo la concentrazione di CO presente nell'aria. L'unità di misura con la quale si esprimono le concentrazioni di monossido di carbonio è il milligrammo al metro cubo (mg/m³).

ESAME DEI DATI

Le rilevazioni effettuate nel corso dell'anno 2007, riportate in TABELLA 15 hanno evidenziato concentrazioni medie annuali comprese fra 0,5 e 1,3 mg/m³. Se si confrontano i valori medi annuali con quelli registrati negli anni precedenti si nota quasi ovunque una diminuzione, confermata anche quest'anno dalla mancanza assoluta di superamenti del limite di protezione della salute umana di 10 mg/m³, calcolato come media mobile trascinata su otto ore (D.M. 60 del 2 aprile 2002).

L'evoluzione delle concentrazioni del monossido di carbonio avvenuta nel corso degli ultimi anni è evidenziata nel grafico in FIGURA 20, il quale riporta le concentrazioni medie annue misurate dal 1980 al 2007 nella stazione urbana di Torino – Rebaudengo. È evidente un nettissimo calo delle concentrazioni di CO dovuto al costante sviluppo della tecnologia dei motori per autotrazione ad accensione comandata e, a partire dai primi anni 90, dall'introduzione del trattamento dei gas esausti tramite i convertitori catalitici a tre vie. Solo il 2006 è in controtendenza rispetto all'andamento decrescente delle concentrazioni in alcune stazioni urbane. Questo comportamento è simile a quanto registrato per il Benzene

e per l'SO₂, i quali analogamente mostravano negli anni passati un calo costante. Ulteriori miglioramenti saranno possibili con il progressivo ammodernamento del parco veicolare circolante.

In relazione a quanto appena detto, si può ragionevolmente sostenere che il CO in atmosfera non rappresenta più una criticità ambientale per il nostro territorio.

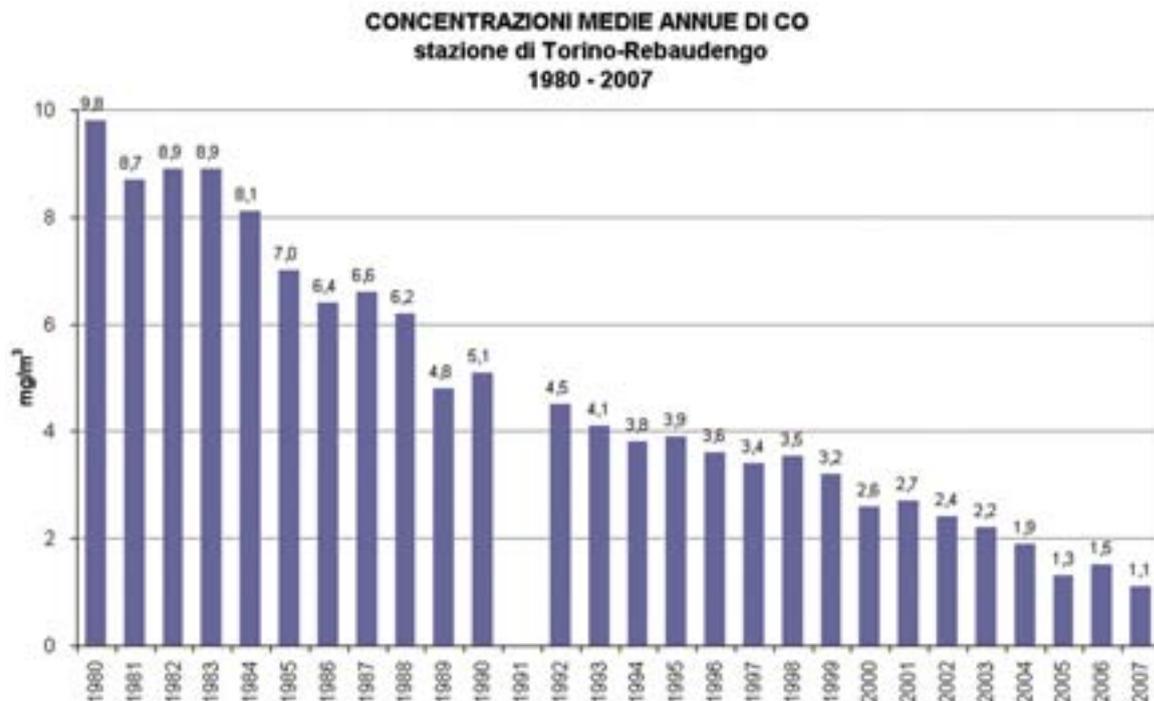


FIGURA 20: parametro CO, concentrazioni medie annuali rilevate presso la stazione di Torino-Rebaudengo dal 1980 al 2007.

DESCRIZIONE

Gli ossidi di azoto (N₂O, NO, NO₂ ed altri) sono generati in tutti i processi di combustione, qualsiasi sia il tipo di combustibile utilizzato, quando viene usata aria come comburente. Il biossido di azoto (NO₂) si presenta sotto forma di un gas di colore rossastro, di odore forte e pungente. Esso 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. L'entità delle emissioni può, in questo caso, variare anche in funzione delle caratteristiche e dello stato del motore nonché delle modalità di utilizzo dello stesso (valore della velocità, accelerazione, ecc.). In generale l'emissione di ossidi di azoto, in modo particolare nel caso del biossido di azoto, è maggiore quando il motore funziona ad elevato numero di giri (arterie urbane a scorrimento veloce, autostrade, ecc.).

DANNI CAUSATI

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).

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.

METODO DI MISURA

Per la determinazione degli ossidi di azoto si utilizza un metodo che sfrutta il fenomeno della chemiluminescenza. Esso si basa sulla reazione chimica tra il monossido di azoto (NO) e l'ozono, generato all'interno dello strumento, capace di produrre una luminescenza caratteristica, di intensità proporzionale alla concentrazione di NO. Un apposito rivelatore permette di misurare l'intensità della radiazione luminosa prodotta.

La reazione è specifica per il monossido di azoto; per misurare il biossido bisogna ridurlo a monossido, attraverso un convertitore al molibdeno. Gli analizzatori sono automaticamente predisposti per quantificare sia il monossido di azoto che il biossido di azoto.

L'unità di misura con la quale vengono espresse le concentrazioni di biossido di azoto in atmosfera è il microgrammo al metro cubo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

ESAME DEI DATI

I dati riportati in TABELLA 16 indicano che nel corso del 2007, sia in termini di valori medi annuali che di numero di superamenti del valore limite orario per la protezione della salute ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), vi è stato un miglioramento rispetto all'anno precedente nella quasi totalità delle stazioni, in alcuni casi anche piuttosto significativo. Bisogna tuttavia notare che quella del 2006 ha rappresentato per il biossido di azoto, come per altri inquinanti atmosferici, una situazione particolarmente negativa; infatti lo scenario messo in luce dai dati relativi al 2007 è del tutto confrontabile con quello di altre annate del decennio precedente.

I dati raccolti evidenziano che, nel corso del 2007, in tutte le stazioni di Torino è stato superato il limite annuale per la protezione della salute umana di $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da raggiungere entro il 2010 (il valore relativo alla stazione di TO-Consolata non è riportato a causa dell'insufficiente rendimento strumentale). Nel caso di stazioni urbane ubicata in corrispondenza di siti caratterizzati da elevato traffico veicolare si sono superati i $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la stazione urbana di fondo di TO-Lingotto ha registrato un valore di circa $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$; la media di tutte le stazioni del comune di Torino è di $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (FIGURA 21). Anche in tutte le stazioni collocate nella

prima cintura (Beinasco, Borgaro, Grugliasco, Nichelino, Orbassano, Rivoli, Settimo) è stato superato il limite annuale di 40 µg/m³, tuttavia in tre di queste la media annuale è inferiore a 50 µg/m³ e in nessuna eccede i 65 µg/m³. Invece tutte le stazioni ubicate fuori cintura, ad eccezione di quella di Chieri, rispettano il limite annuale, con valori inferiori a 25 µg/m³ per quattro di queste (Baldissero, Druento, Susa e Oulx), quelle collocate in zone remote o montane. Si noti per la stazione posta nel comune di Ivrea un valore significativamente inferiore rispetto a quello degli anni precedenti, come conseguenza del suo spostamento da una zona con attività commerciali e di servizio ad una di tipo residenziale.³

Complessivamente, nel corso del 2007, nel 60% delle stazioni in cui viene misurato il biossido di azoto è stato superato il limite annuale per la protezione della salute umana.

Se si considera il numero di superamenti del limite orario per la protezione della salute, pari a 200 µg/m³, risulta che nelle stazioni fuori cintura non è stato registrato alcun superamento, mentre per le stazioni del comune di Torino e della prima cintura la media pesata del numero di superamenti, se si esclude l'annata 2006, è la più elevata a partire dal 2001; l'incremento è sostanziale soprattutto per le stazioni della prima cintura (FIGURA 22). Esaminando più nel dettaglio i dati si può notare come sia in Torino che nella prima cintura vi sia un numero limitato di stazioni che presentano numerosi superamenti, mentre la maggior parte di esse rientrano nel limite di 18 superamenti consentito dal D.M. 60/2002 per il 2010. Le situazioni di forte criticità sono relative a stazioni di Torino (TO-Rebaudengo e TO-Rivoli) e della prima cintura (Grugliasco, Nichelino e Settimo) tutte ubicate in zone caratterizzate da intenso traffico veicolare.

Per quanto riguarda la distribuzione temporale dei livelli di biossido di azoto, nei mesi invernali, gennaio-marzo e novembre-dicembre, si riscontrano i valori più elevati, in quanto il ristagno atmosferico causa un progressivo accumulo degli inquinanti emessi dal traffico veicolare e dagli impianti di riscaldamento, fonte aggiuntiva della stagione fredda. Tuttavia, essendo il biossido di azoto un inquinante prevalentemente secondario, la variazione stagionale è meno accentuata di quella osservata per gli inquinanti primari. A conferma di ciò, la FIGURA 23 mostra che nel corso del 2007 i superamenti del limite orario di 200 µg/m³ si sono verificati prevalentemente nel periodo invernale, con una particolare criticità per il mese di dicembre; un numero significativo di superamenti si sono registrati anche nel mese di marzo e tra settembre e ottobre, ovvero in periodi dell'anno caratterizzati da condizioni generali di maggiore dinamicità atmosferica. Se si considera la frequenza dei superamenti del limite orario, con riferimento alle stazioni con il numero più elevato di superamenti (FIGURA 24), emerge come questi siano distribuiti su un numero relativamente limitato di giorni, nei quali si sono verificati anche più di tre valori orari superiori ai 200 µg/m³. Molti dei superamenti registrati sono quindi dovuti ad un numero ridotto di episodi critici, associabili a condizioni di marcata stabilità atmosferica nel corso del periodo invernale.

L'andamento del giorno medio, riportato in FIGURA 24 per alcune stazioni di Torino e della prima cintura, individua chiaramente due massimi in corrispondenza delle ore di maggior traffico veicolare. In particolare si può notare come il massimo assoluto corrisponda al picco serale, in conseguenza di un effetto combinato del traffico, della minor dinamicità atmosferica e dell'assenza di irraggiamento solare che è alla base delle principali reazioni chimiche che determinano la rimozione di NO₂ dall'atmosfera (la fotolisi diretta e la reazione con i radicali ·OH, a loro volta generati nel corso di processi fotolitici).

Nel corso degli ultimi decenni, a differenza di inquinanti quali SO₂, CO, benzene e piombo, i livelli di biossido di azoto non mostrano una progressiva diminuzione e, come per il PM10, il fattore dominante che determina la variabilità negli anni di questo inquinante è la meteorologia. Tuttavia un'analisi più dettagliata delle serie storiche evidenzia una discontinuità tra la prima metà degli anni '90 e le annate successive caratterizzate da livelli medi annuali di NO₂ inferiori (FIGURA 21). Infatti fino al 1995 la media delle medie annue delle stazioni del comune di Torino si attestava tra 85 e 90 µg/m³, mentre negli anni successivi è sempre

³ Tale spostamento è avvenuto sulla base della programmazione regionale e in accordo con le Linee guida APAT in materia, che sottolineano esplicitamente la necessità di disporre di un numero congruo di stazioni collocate in aree residenziali o di verde pubblico in quanto maggiormente rappresentative dell'esposizione media della popolazione rispetto alle tradizionali stazioni da traffico.

rimasta al di sotto degli 80 µg/m³; tale andamento è riscontrabile sia nel caso di stazioni ubicate in zone caratterizzate da intenso traffico veicolare, quale TO-Rebaudengo (da valori prossimi o superiori a 100 µg/m³, a valori sempre inferiori a 95 µg/m³), sia in stazioni di fondo urbano, quale TO-Lingotto (da valori sempre superiori a 60 µg/m³ a valori generalmente compresi entro 55 µg/m³ e talvolta inferiori a 50 µg/m³). La diminuzione dei livelli di NO₂ evidenziabile attorno alla metà degli anni '90 è da attribuirsi all'introduzione delle marmitte catalitiche a tre vie per le auto a ciclo otto, che promuovono la trasformazione degli ossidi di azoto in azoto. La riduzione dei livelli non è stata particolarmente significativa per la presenza di altre sorgenti, quali gli impianti per la produzione di energia e i veicoli a ciclo Diesel, rappresentanti una proporzione sempre più consistente dei veicoli circolanti, e per la natura secondaria di questo inquinante.

Per quello che riguarda il periodo che va dalla seconda metà degli anni '90 al 2007 non si evidenziano significative variazioni dei livelli medi annuali e le differenze tra un anno e l'altro sono da attribuirsi essenzialmente alle condizioni meteorologiche intervenute. Se si considera la serie temporale relativa ai superamenti del limite orario di 200 µg/m³ (FIGURA 22), si osserva, al di là del massimo relativo all'anno 2006, un progressivo incremento del numero di superamenti tra il 2001 e il 2007.

Pertanto nel caso del biossido di azoto nel corso dell'ultimo decennio non si evidenzia un incremento dei livelli medi annuali, anzi rispetto al decennio precedente vi è stata una, seppur modesta, diminuzione; tuttavia tali livelli in Torino e nei comuni della prima cintura sono ancora superiori al limite annuale per la protezione della salute. Per contro i dati indicano un aumento negli ultimi anni del numero di superamenti del limite orario, i quali sono generalmente registrati nel corso di pochi episodi critici.

L'insieme dei dati indica che la diminuzione delle concentrazioni del biossido di azoto deve rappresentare uno dei principali obiettivi che le amministrazioni dovranno perseguire per la tutela della salute umana e dell'ambiente. In particolare, per rispettare sia il valore limite orario sia il valore limite giornaliero fissati per il 2010 sarà necessario adottare provvedimenti, per le aree urbane, che portino ad una riduzione delle concentrazioni di biossido di azoto in una percentuale variabile fra il 20% e il 50%, anche in considerazione del fatto che tale inquinante è un importante precursore del particolato secondario (si veda il capitolo relativo).

La stazione di Druento, collocata all'interno del Parco Regionale "La Mandria", sebbene non soddisfi completamente i criteri di ubicazione indicati nel D.M. 60/2002, può essere utilizzata per valutare il rispetto del valore limite annuale di NO_x (contenuto complessivo di NO e NO₂, espresso come µg/m³ equivalenti di NO₂) per la protezione della vegetazione da applicarsi ai dati misurati nelle stazioni poste in zone rurali. Il valore medio annuale registrato presso la stazione di Druento nel corso del 2007 è stato di 28 µg/m³, che si pone al di sotto del valore limite di 30 µg/m³.

| STAZIONE | Rendimento strumentale 2007 (% dati validi) | Valore limite annuale per la protezione della salute umana (40 µg/m ³) Media Annuale | | | | | | | | | | | Valore limite orario per la protezione della salute (200 µg/m ³) Numero di superamenti | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|--|--|
| | | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | | |
| ALPIGNANO | 98% | 36 | 38 | 44 | 62 | 37 | 36 | 39 | 36 | 39 | 35 | 8 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | | |
| BALDISSERO | 88% | | | | | | | | | | 22 | | | | | | | | | | 0 | | |
| BENASCO | 99% | 31 | 42 | 54 | 45 | 52 | 51 | 55 | 49 | 50 | 47 | 3 | 1 | 4 | 0 | 1 | 0 | 5 | 5 | 9 | 2 | | |
| BORGARO | 99% | 25 | 41 | 46 | 48 | 42 | 44 | 42 | 38 | 42 | 42 | 0 | 13 | 8 | 27 | 1 | 0 | 4 | 0 | 1 | 1 | | |
| CHIERI | 96% | 39 | 34 | 51 | 43 | 38 | 39 | 44 | 42 | 51 | 42 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | | |
| CIRIE' | 98% | 36 | 32 | 36 | 32 | 29 | 31 | 31 | 31 | 32 | 31 | 2 | 2 | 5 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| DRUENTO | 95% | 30 | 26 | 28 | 19 | 22 | 24 | 26 | 20 | 19 | 19 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| GRUGLIASCO | 98% | 53 | 52 | 59 | 52 | 53 | 52 | 49 | 53 | 54 | 59 | 17 | 2 | 16 | 0 | 1 | 2 | 11 | 9 | 64 | 39 | | |
| IVREA ⁽¹⁾ | 97% | 51 | 49 | 51 | 54 | 48 | 50 | 47 | 46 | 50 | 32 | 1 | 0 | 8 | 5 | 1 | 5 | 2 | 9 | 23 | 0 | | |
| LEINÍ | 92% | | | | | | | | | | 38 | | | | | | | | | | 0 | | |
| NICHELINO | 95% | 52 | 58 | 75 | 64 | 71 | 63 | 59 | 65 | 70 | 64 | 21 | 0 | 53 | 7 | 59 | 17 | 43 | 118 | 88 | 88 | | |
| ORBASSANO | 97% | 41 | 49 | 52 | 46 | 42 | 40 | 44 | 42 | 46 | 43 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| OULX | 94% | | | | | | | | | 22 | 22 | | | | | | | | | | 0 | | |
| PINEROLO | 96% | | | | | 46 | 29 | 31 | 30 | 35 | 35 | | | | | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | | |
| RIVOLI | 90% | | | | | 58 | 57 | 60 | 61 | 65 | 61 | | | | | 0 | 3 | 6 | 13 | 28 | 14 | | |
| SETTIMO | 97% | 66 | 52 | 53 | 58 | 72 | 65 | 57 | 67 | 65 | 52 | 71 | 9 | 6 | 20 | 73 | 14 | 35 | 68 | 27 | 27 | | |
| SUSA | 96% | | | | | 25 | 22 | 34 | 25 | 29 | 24 | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| TO-CONSOLATA | 15% | 77 | 77 | 69 | 59 | 72 | 73 | 72 | 67 | 68 | | 25 | 20 | 27 | 4 | 20 | 6 | 8 | 11 | 38 | | | |
| TO CRISTINA | 96% | 67 | 75 | 74 | 62 | 77 | 74 | 75 | 72 | 81 | 79 | 5 | 1 | 2 | 0 | 5 | 3 | 1 | 3 | 46 | 16 | | |
| TO-GAIDANO/ RUBINO ⁽²⁾ | 82% | 67 | 65 | 67 | 65 | 68 | 65 | 71 | 65 | 80 | 51 | 30 | 30 | 31 | 9 | 23 | 8 | 26 | 38 | 100 | 10 | | |
| TO-LINGOTTO | 96% | 47 | 50 | 50 | 45 | 59 | 54 | 51 | 53 | 53 | 49 | 23 | 4 | 2 | 2 | 0 | 3 | 0 | 2 | 39 | 4 | | |
| TO-REBAUDENGO | 97% | 90 | 82 | 83 | 75 | 79 | 71 | 85 | 73 | 94 | 71 | 121 | 45 | 47 | 30 | 45 | 4 | 68 | 60 | 188 | 85 | | |
| TO-RIVOLI | 98% | 82 | 78 | 87 | 78 | 73 | 71 | 81 | 84 | 92 | 77 | 50 | 41 | 150 | 36 | 26 | 12 | 42 | 34 | 112 | 35 | | |
| VINOVO | 95% | 37 | 36 | 42 | 42 | 43 | 41 | 38 | 40 | 47 | 38 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

(1) fino al 06/11/2006 la stazione era ubicata in Piazza Freguglia

(2) dal 29/03/2007 la stazione è stata trasferita in Via Rubino

TABELLA 16: dati relativi alle stazioni di monitoraggio che rilevano il biossido di azoto.

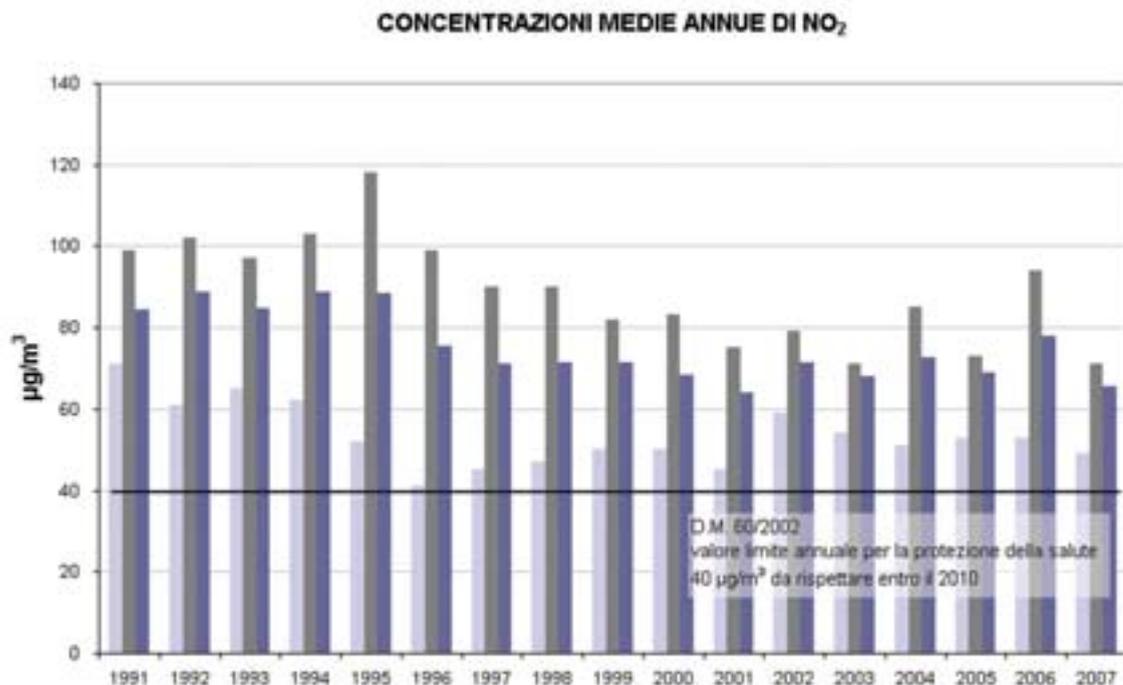


FIGURA 21: parametro NO₂, media delle medie annuali di tutte le stazioni operanti nel comune di Torino negli ultimi anni e dettaglio relativo alle stazioni di TO-Lingotto e TO-Rebaudengo.

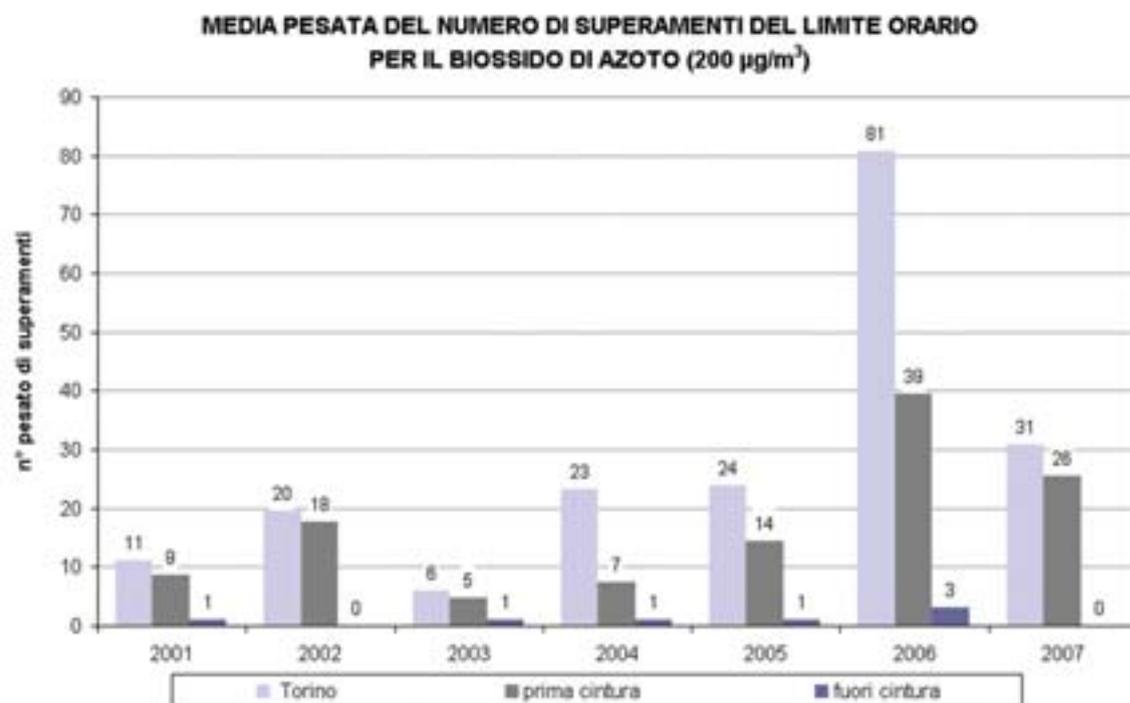


FIGURA 22: parametro NO₂, media pesata del numero di superamenti del limite orario.

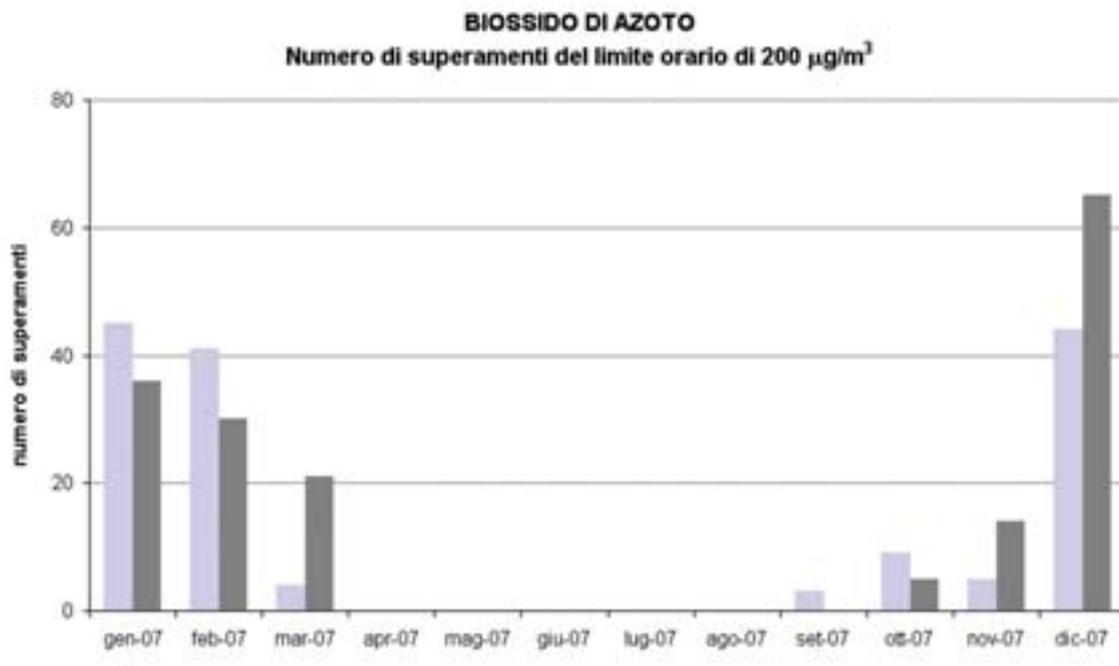


FIGURA 23: parametro NO₂, numero di superamenti del limite orario di 200 µg/m³, distribuzione per mese.

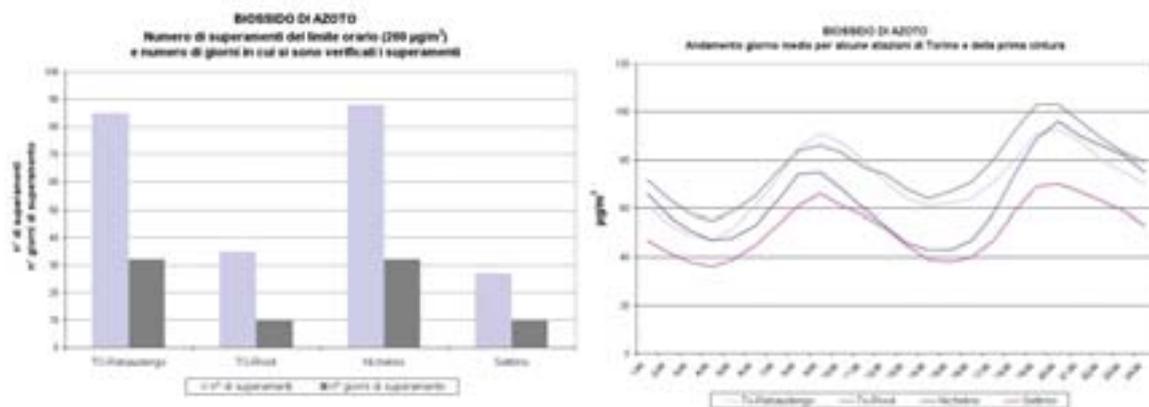
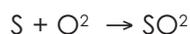


FIGURA 24: parametro NO₂, numero dei superamenti e numero dei giorni in cui si sono verificati (sinistra), andamento del giorno medio (destra), per alcune delle stazioni del comune di Torino e della prima cintura.

DESCRIZIONE

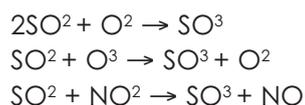
È il naturale prodotto di ossidazione dello zolfo e dei composti che lo contengono allo stato ridotto secondo la reazione:



È un gas incolore, di odore pungente. Le principali emissioni di biossido di zolfo derivano dai processi di combustione che utilizzano combustibili di tipo fossile (gasolio, olio combustibile, carbone), in cui lo zolfo è presente come impurità e dai processi metallurgici. Una percentuale molto bassa di biossido di zolfo nell'aria (6-7%) proviene dal traffico veicolare, in particolare dai veicoli con motore diesel.

La concentrazione di biossido di zolfo presenta una variazione stagionale molto evidente, con i valori massimi nella stagione invernale, laddove sono in funzione gli impianti di riscaldamento domestici.

Nell'atmosfera il biossido di zolfo (SO₂) è ossidato a triossido di zolfo (SO₃). L'ossidazione può avvenire direttamente in presenza di ossigeno atmosferico o di altri inquinanti per via chimica, secondo le reazioni:



Il triossido di zolfo successivamente, in presenza di umidità, è convertito in acido solforico secondo la reazione:



Il biossido di zolfo era ritenuto, fino agli anni '80, il principale inquinante dell'aria ed è certamente tra i più studiati, anche perché è stato uno dei primi composti a manifestare effetti sull'uomo e sull'ambiente. Tuttavia, oggi, il progressivo miglioramento della qualità dei combustibili (minor contenuto di zolfo nei prodotti di raffinazione, imposto dal D.P.C.M. del 14 novembre 1995 e dal D.Lgs. 66 del 21 marzo 2005) insieme al sempre più diffuso uso del gas metano, hanno diminuito sensibilmente la presenza di SO₂ nell'aria.

DANNI CAUSATI

Il biossido di zolfo è molto irritante per gli occhi, la gola e le vie respiratorie. In atmosfera, attraverso reazioni con l'ossigeno e le molecole d'acqua, contribuisce all'acidificazione delle precipitazioni, con effetti fitotossici sui vegetali e di acidificazione dei corpi idrici, in particolare a debole ricambio, con conseguente compromissione della vita acquatica. Le precipitazioni acide possono avere effetti corrosivi anche sui materiali da costruzione, manufatti lapidei, vernici e metalli.

METODI DI MISURA

Il biossido di zolfo è misurato con un metodo a fluorescenza. L'aria da analizzare è immessa in una apposita camera nella quale vengono inviate radiazioni UV a 230-190 nm. Queste radiazioni eccitano le molecole di SO₂ presenti che, stabilizzandosi, emettono delle radiazioni nello spettro del visibile misurate con apposito rilevatore. L'intensità luminosa misurata è funzione della concentrazione di SO₂ presente nell'aria.

L'unità di misura con la quale vengono misurate le concentrazioni di biossido di zolfo è il microgrammo al metro cubo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

ESAME DEI DATI

In tutti i siti oggetto di monitoraggio, come si può osservare nel riepilogo statistico riportato in TABELLA 17, i valori di riferimento previsti dalla normativa sono ampiamente rispettati. La situazione è del tutto analoga a quella rilevata nel corso degli ultimi anni e le differenze sono assolutamente minime e rientrano nella fluttuazione statistica del dato.

Da un'analisi comparata dei dati rilevati nei diversi siti di monitoraggio, non si osservano zone che presentino una particolare criticità o quantomeno una diversità sostanziale delle concentrazioni misurate.

I massimi valori orari, rilevati nel corso dell'anno 2007, sono notevolmente inferiori rispetto ai limiti stabiliti su questa base temporale e un'analoga considerazione è valida anche per il limite su base giornaliera.

Il valore limite per la protezione degli ecosistemi è rispettato in tutti i siti di monitoraggio, anche in quelli soggetti ad una forte pressione antropica che non sarebbero idonei per effettuare confronti con tale limite.

La diminuzione del tenore di zolfo nei combustibili liquidi o solidi e l'introduzione sul mercato energetico del metano hanno determinato la notevolissima riduzione delle concentrazioni del biossido di zolfo evidenziata nella FIGURA 25.

Il parametro SO₂ non rappresenta una criticità per il territorio della provincia di Torino, sarà comunque opportuno, nel corso dei prossimi anni, mantenere attivo il monitoraggio di tale inquinante per controllare il mantenimento dei risultati raggiunti.



FIGURA 25: parametro SO₂, massima media giornaliera su base annuale rilevata nell'ultimo trentennio nella stazione di Torino – Consolata.

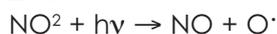
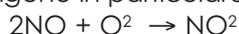
DESCRIZIONE

L'ozono (O₃) è un gas altamente reattivo, di odore pungente e ad elevate concentrazioni di colore blu, dotato di un elevato potere ossidante.

L'ozono si concentra nella stratosfera ad un'altezza compresa fra i 30 e i 50 chilometri dal suolo, la sua presenza protegge la troposfera dalle radiazioni ultraviolette emesse dal sole che sarebbero dannose per la vita degli esseri viventi. L'assenza di questo composto nella stratosfera è chiamata generalmente "buco dell'ozono".

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.

L'ozono non ha sorgenti dirette, ma si forma all'interno di un ciclo di reazioni fotochimiche che coinvolgono in particolare gli ossidi di azoto e che sono così riassumibili in forma semplificata:



Inoltre la presenza di composti organici volatili sposta gli equilibri delle reazioni precedenti producendo elevate quantità di ozono. Nel corso di queste reazioni i composti organici si trasformano in aldeidi, perossidi, chetoni, acidi organici, perossiacilnitrati, nitrati alchilici ecc.

Tutte le sostanze coinvolte in questa complessa serie di reazioni costituiscono nel loro insieme il citato smog fotochimico.

DANNI CAUSATI

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 (alcune specie vegetali, particolarmente sensibili alle concentrazioni di ozono in atmosfera, vengono oggi utilizzate come bioindicatori della presenza di ozono).

METODO DI MISURA

L'ozono è misurato con un metodo basato sull'assorbimento di radiazioni UV ad una lunghezza d'onda di 254 nm caratteristica delle molecole di O₃. La variazione dell'intensità luminosa è direttamente correlata alla concentrazione di ozono ed è misurata da un apposito rivelatore. L'unità di misura con la quale vengono misurate le concentrazioni di ozono è il microgrammo al metro cubo (µg/m³).

ESAME DEI DATI

L'ozono, insieme al PM10 e al biossido di azoto, è uno degli inquinanti di maggiore rilevanza in Europa. I suoi livelli sono particolarmente elevati nelle regioni dove è maggiore l'emissione dei suoi precursori, in particolare ossidi di azoto e composti organici volatili e laddove vi sia persistenza di periodi di alta insolazione, alta temperatura ed elevata pressione atmosferica. La norma di riferimento per l'ozono è il D.lgs. 183 del 21 maggio 2004, nel quale sono stabiliti la soglia di informazione e la soglia di allarme, i valori bersaglio e gli obiettivi a lungo termine per i livelli di ozono nell'aria ambiente. 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 di gruppi più sensibili della popolazione (informazione) e di tutta la popolazione (allarme). I valori bersaglio, invece, indicano i livelli di concentrazione da conseguirsi entro il 2010 al fine di evitare effetti nocivi sulla salute umana e sull'ambiente. Gli obiettivi a lungo termine stabiliscono quelle concentrazioni al di sotto delle quali sono improbabili, in

base alle conoscenze attuali, effetti nocivi diretti sulla salute umana e sull'ambiente. In TABELLA 18 e in TABELLA 19 sono riportati i superamenti della soglia di informazione e di allarme degli ultimi 10 anni. Da una prima osservazione si può notare come nel corso del 2007 si siano verificati due superamenti della soglia di allarme (240 µg/m³ come media oraria per tre ore consecutive), avvenuti nella stazione di Druento e di Borgaro nello stesso giorno, il 27 di luglio, che è stato il mese più caldo dell'anno con una temperatura media di 25°C, misurata presso la stazione di Torino-Consolata. La soglia di informazione (180 µg/m³) è stata superata in tutti i siti oggetto di rilevamento, con incrementi registrati presso le stazioni di fondo urbano e suburbano di Borgaro, Orbassano, Pinerolo, Torino-Lingotto e

| STAZIONE | SOGLIA DI INFORMAZIONE 180 µg/m ³ come media oraria numero di superamenti | | | | | | | | | |
|-------------|--|------|------|------|-------------------|------|------|------------------|------------------|------|
| | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
| ALPIGNANO | 85 | 98 | 32 | * | 47 | 144 | 22 | 21 | 70 | 44 |
| BALDISSERO | | | | | | | | | 8 ⁽⁵⁾ | 43 |
| BORGARO | 11 | 88 | 150 | 224 | 40 | 188 | 35 | 12 | 20 | 63 |
| CHIERI | | | | | 0 ⁽¹⁾ | 82 | 5 | 4 | 4 | 1 |
| DRUENTO | 62 | 18 | 156 | 121 | 64 | 176 | 71 | 72 | 143 | 69 |
| LEINI' | | | | | | | | | 1 ⁽⁶⁾ | 14 |
| ORBASSANO | 184 | 78 | 138 | * | 52 | 107 | 63 | 18 | 30 | 54 |
| OULX | | | | | | | | 0 ⁽⁴⁾ | 38 | 9 |
| PINEROLO | | | | | 0 ⁽²⁾ | 45 | 0 | 11 | 28 | 54 |
| PINO T.se | 167 | 102 | 130 | 91 | 74 | 340 | 57 | 16 | 64 | 33 |
| SUSA | | | | | 34 ⁽³⁾ | 85 | 62 | 14 | 52 | 11 |
| TO LINGOTTO | 44 | 20 | 46 | 72 | 80 | 255 | 32 | 56 | 20 | 43 |
| VINOVO | 95 | 10 | 104 | 147 | 34 | 245 | 58 | 16 | 13 | 16 |

(1) strumento operativo dal 1/8/02

(2) strumento operativo dal 9/10/02

(3) strumento operativo dal 22/07/02

(4) strumento operativo dal 29/11/05

(5) strumento operativo dal 28/07/06

(6) strumento operativo dal 27/07/06

* insufficiente rendimento strumentale

TABELLA 18: ozono, confronto con le soglie di informazione come da D.lgs. n. 183/04.

| STAZIONE | SOGLIA DI INFORMAZIONE 180 µg/m ³ come media oraria per 3 ore consecutive numero di giorni con superamento | | | | | | | | | |
|-------------|---|------|------|------|------------------|------|------|------------------|------------------|------|
| | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
| ALPIGNANO | 0 | 0 | 0 | * | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| BALDISSERO | | | | | | | | | 0 ⁽⁵⁾ | 0 |
| BORGARO | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| CHIERI | | | | | 0 ⁽¹⁾ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| DRUENTO | ** | 0 | 3 | 5 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| LEINI' | | | | | | | | | 0 ⁽⁶⁾ | 0 |
| ORBASSANO | 2 | 0 | 0 | * | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| OULX | | | | | | | | 0 ⁽⁴⁾ | 0 | 0 |
| PINEROLO | | | | | 0 ⁽²⁾ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| PINO T.se | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| SUSA | | | | | 0 ⁽³⁾ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TO LINGOTTO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| VINOVO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

(1) strumento operativo dal 1/8/02

(2) strumento operativo dal 9/10/02

(3) strumento operativo dal 22/07/02

(4) strumento operativo dal 29/11/05

(5) strumento operativo dal 28/07/06

(6) strumento operativo dal 27/07/06

* insufficiente rendimento strumentale

** dato non disponibile

TABELLA 19: ozono, confronto con le soglie di allarme come da D.lgs. n. 183/04.

Vinovo, mentre nelle stazioni poste maggiormente in quota come Pino Torinese, Oulx e Susa e nella stazione di fondo rurale di Druento si è rilevata una diminuzione rispetto all'anno precedente, che è stato uno dei più critici degli ultimi anni, insieme all'anno record 2003.

In TABELLA 20 e in TABELLA 21 sono riportati rispettivamente i risultati dei rilevamenti elaborati in modo da poter verificare il conseguimento del valore bersaglio per la protezione della salute umana e il valore bersaglio per la protezione della vegetazione. Entrambi non sono rispettati: la media degli ultimi tre anni dei giorni di superamento del valore bersaglio per la protezione della salute umana è superiore ai 25 giorni consentiti, e la media degli ultimi cinque anni dell'AOT40 è di gran lunga superiore ai 18000 µg/m³ h previsti.

| STAZIONE | DECRETO LEGISLATIVO n. 183 del 21/05/04 | | | | | | | | | | |
|-------------|---|------|------|------|-------------------|------|------|------------------|------|------|---------------------------|
| | Valore bersaglio per la protezione della salute umana numero di giorni con la media massima, calcolata su 8 ore, superiore a 120 µg/m ³ | | | | | | | | | | |
| | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | MEDIA degli ultimi 3 anni |
| ALPIGNANO | 57 | 70 | 24 | * | 78 | 94 | 41 | 51 | 64 | 89 | 68 |
| BALDISSERO | | | | | | | | | * | 95 | - |
| BORGARO | 24 | 85 | 96 | 99 | 66 | 100 | 52 | 47 | 44 | 93 | 61 |
| CHIERI | | | | | 3 ⁽¹⁾ | 101 | 37 | 43 | 28 | 37 | 36 |
| DRUENTO | | 21 | 96 | 68 | 81 | 78 | 84 | 71 | 78 | 95 | 81 |
| LEINI' | | | | | | | | | * | 63 | - |
| ORBASSANO | 80 | 74 | 104 | * | 55 | 85 | 54 | 79 | 55 | 89 | 74 |
| OULX | | | | | | | | 0 ⁽⁴⁾ | 70 | 73 | - |
| PINEROLO | | | | | 0 ⁽²⁾ | 33 | 33 | 54 | 68 | 100 | 74 |
| PINO T.se | 117 | 148 | 124 | 92 | 95 | 161 | 102 | 95 | 92 | 110 | 99 |
| SUSA | | | | | 41 ⁽³⁾ | 76 | 77 | 48 | 57 | 66 | 57 |
| TO LINGOTTO | 53 | 71 | 71 | 58 | 70 | 108 | 74 | 65 | 56 | 70 | 64 |
| VINOVO | 68 | 74 | 101 | 80 | 79 | 100 | 85 | 50 | 54 | 74 | 59 |

(1) strumento operativo dal 1/8/02

(2) strumento operativo dal 9/10/02

(3) strumento operativo dal 22/07/02

(4) strumento operativo dal 29/11/05

(5) strumento operativo dal 28/07/06

(6) strumento operativo dal 27/07/06

* insufficiente rendimento strumentale

TABELLA 20: ozono: confronto degli ultimi anni con i valori bersaglio per la protezione della salute umana.

| STAZIONE | DECRETO LEGISLATIVO n. 183 del 21/05/04 | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|
| | Valore bersaglio per la protezione della vegetazione (AOT 40 (18000 µg/m ³ *h)) | | | | | | | | | | |
| | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | MEDIA degli ultimi 5 anni |
| BALDISSERO T.se | | | | | | | | | * | 33360 | - |
| DRUENTO | ** | * | 37865 | 37699 | 49496 | 54719 | 41738 | 41430 | 48015 | 38407 | 44862 |
| PINO T.se | 47182 | 47240 | 43288 | 41242 | 36428 | 57345 | 39640 | 38725 | 45344 | 35747 | 43360 |

(*) insufficiente rendimento strumentale

(**) dato non disponibile

TABELLA 21: ozono, confronto degli ultimi cinque anni con i valori bersaglio per la protezione della vegetazione.

In FIGURA 26 è riportata la distribuzione temporale dei superamenti del valore bersaglio per la protezione della salute umana per le stazioni di Torino-Lingotto e di Pino Torinese, rispettivamente rappresentative di un sito di fondo urbano e di un sito di fondo rurale ad una quota più alta. L'ozono presenta un andamento stagionale con massimi di concentrazione nella stagione calda, tipicamente da maggio a settembre, ma nel corso del 2007 si sono verificati superamenti anche in marzo e soprattutto ad aprile, che è stato un mese parti-

colarmente caldo rispetto agli anni precedenti, con una media mensile di 18 °C rispetto agli usuali 12-13 °C. Il mese più caldo nel 2007 è stato quello di luglio, in cui si sono misurati i massimi di ozono, in concomitanza con le alte temperature registrate e le scarse precipitazioni atmosferiche, come si può vedere in FIGURA 27.

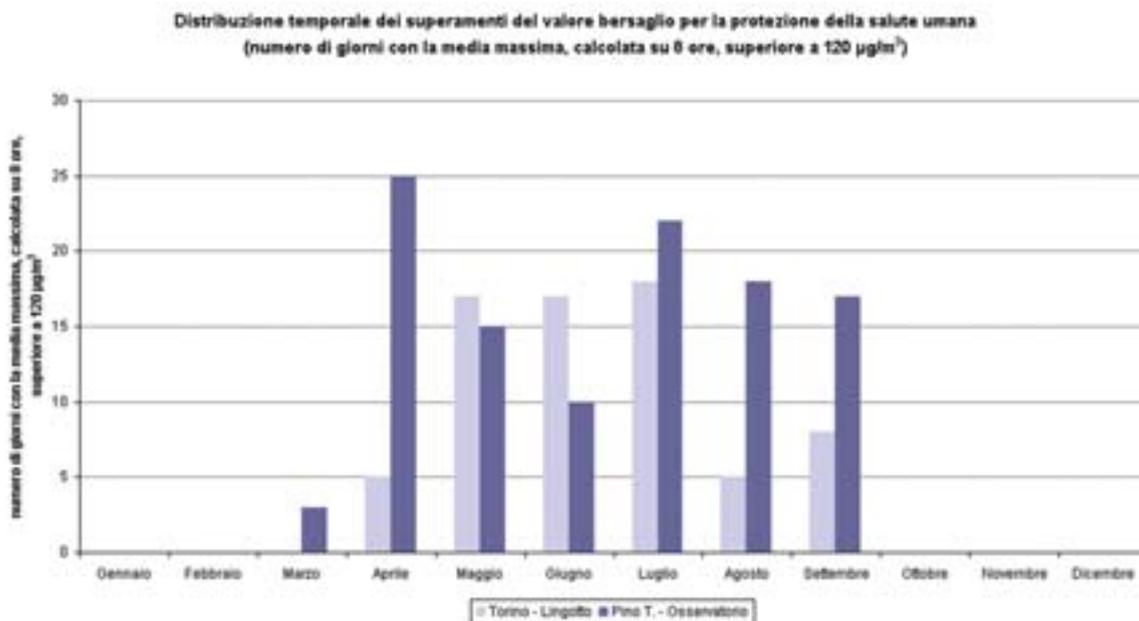


FIGURA 26: distribuzione temporale dei superamenti del valore bersaglio per la protezione della salute umana per le stazioni di Torino-Lingotto e Pino Torinese, anno 2007.

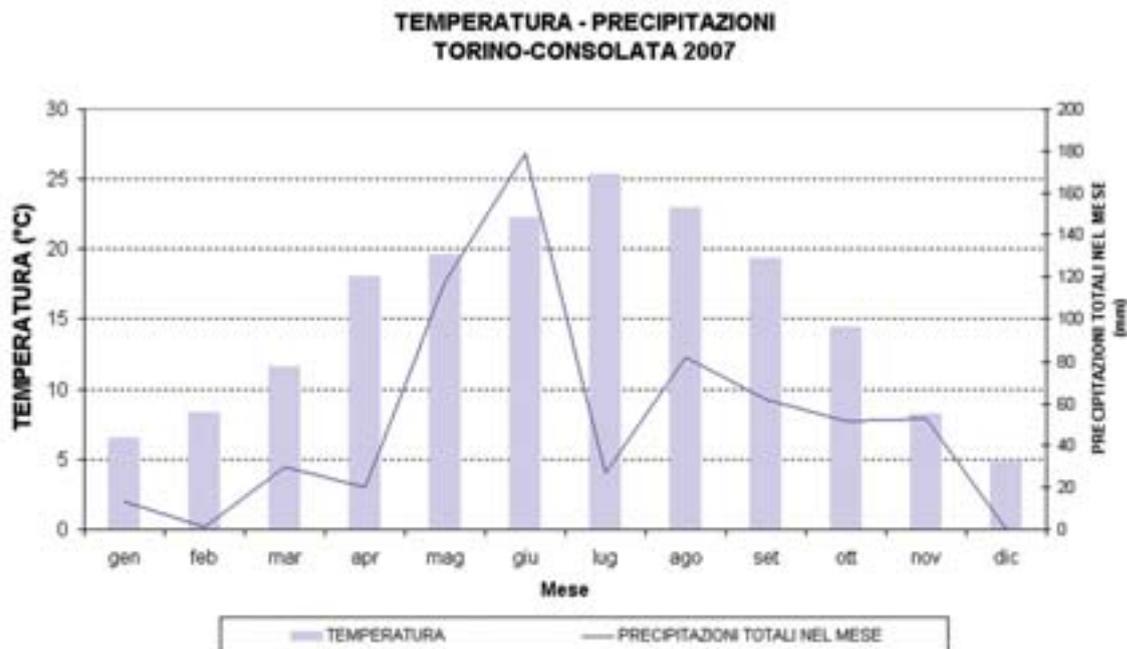


FIGURA 27: temperatura media mensile e precipitazioni totali mensili nella stazione di Torino-Consolata.

In TABELLA 22 sono riportati i valori medi annuali degli ultimi dieci anni. Analizzando tali dati si ha la conferma di quanto evidenziato in questi ultimi anni, ossia che l'ozono è un inquinante sostanzialmente ubiquitario e, a differenza di quanto avviene per gli inquinanti di tipo primario, situazioni critiche possono riscontrarsi in zone distanti dai grossi centri urbani o in zone in quota. Infatti la media annua più alta è quella della stazione di Pino Torinese (81 µg/m³) e a seguire quella di Baldissero Torinese (78 µg/m³), Oulx (71 µg/m³) e Pinerolo (66 µg/m³). Si può notare inoltre come in nessuno dei siti di misura è rispettato il limite di protezione dei beni materiali di 40 µg/m³.

Confrontando i valori medi delle stazioni di pianura attive da almeno 5 anni (Alpignano, Borgaro, Chieri, Orbassano, Torino-Lingotto e Vinovo) si nota che il 2007 è stato un anno molto critico, al pari dell'anno 2003, finora anno record, infatti la media delle medie annuali nel 2007, come nel 2003, è stata di 51 µg/m³. Invece per le stazioni "storiche" di Pinerolo, Pino T.se e Susa la media delle medie annuali nel 2007, pari a 70 µg/m³, è stata addirittura superiore a quella dell'anno 2003, pari a 67 µg/m³.

Le alte medie annuali misurate nel 2007 sono dovute anche all'anomalo periodo invernale, da gennaio a marzo, nel quale si sono registrate temperature medie mensili di 3-4 gradi superiori rispetto al decennio precedente.

| STAZIONE | % dati validi 2007 | Valori Medi Annuali (µg/m ³) | | | | | | | | | |
|-------------|--------------------|--|------|------|------|-------------------|------|------|-------------------|------|------|
| | | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
| ALPIGNANO | 95 | 50 | 53 | 47 | * | 50 | 55 | 46 | 46 | 47 | 58 |
| BALDISSERO | 94 | | | | | | | | | (5) | 78 |
| BORGARO | 98 | 44 | 55 | 52 | 52 | 45 | 52 | 46 | 44 | 43 | 53 |
| CHIERI | 100 | | | | | 39 ⁽¹⁾ | 52 | 45 | 45 | 42 | 45 |
| DRUENTO | 97 | 48 | 39 | 52 | 57 | 51 | 52 | 65 | 55 | 51 | 56 |
| LEINI' | 95 | | | | | | | | | (6) | 47 |
| ORBASSANO | 99 | 63 | 49 | 50 | * | 41 | 48 | 45 | 49 | 46 | 51 |
| OULX | 96 | | | | | | | | 47 ⁽⁴⁾ | 65 | 71 |
| PINEROLO | 99 | | | | | 16 ⁽²⁾ | 49 | 52 | 59 | 57 | 66 |
| PINO T.SE | 95 | 99 | 90 | 86 | 92 | 77 | 89 | 77 | 77 | 77 | 81 |
| SUSA | 99 | | | | | 56 ⁽³⁾ | 63 | 60 | 55 | 55 | 63 |
| TO LINGOTTO | 92 | 46 | 43 | 42 | 43 | 43 | 52 | 43 | 43 | 40 | 45 |
| VINOVO | 94 | 43 | 49 | 45 | 46 | 41 | 49 | 43 | 40 | 43 | 47 |

(1) strumento operativo dal 1/8/02

(3) strumento operativo dal 22/07/02

(5) strumento operativo dal 28/07/06

* insufficiente rendimento strumentale

(2) strumento operativo dal 9/10/02

(4) strumento operativo dal 29/11/05

(6) strumento operativo dal 27/07/06

TABELLA 22: ozono, valori medi annuali nelle stazioni di monitoraggio che rilevano l'ozono.

In TABELLA 23 sono riportati i valori massimi orari degli ultimi dieci anni. Quest'anno, come nell'anno scorso, i valori massimi orari si sono verificati a luglio, tra il 17 e il 20 del mese e nella giornata del 27 luglio, nella quale in tutte le stazioni tranne Oulx, dalle ore 11 alle 20, i valori registrati sono stati tutti superiori ai 120 µg/m³.

| STAZIONE | Valori Massimo Orario (µg/m ³) | | | | | | | | | |
|-------------|--|------|------|------|--------------------|------|------|-------------------|------|------------|
| | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
| ALPIGNANO | 258 | 246 | 245 | * | 259 | 247 | 249 | 218 | 267 | 219 |
| BALDISSERO | | | | | | | | | * | 209 |
| BORGARO | 227 | 235 | 251 | 271 | 251 | 266 | 238 | 195 | 246 | 262 |
| CHIERI | | | | | 170 ⁽¹⁾ | 225 | 186 | 195 | 195 | 187 |
| DRUENTO | 267 | 236 | 285 | 324 | 264 | 270 | 269 | 243 | 281 | 307 |
| LEINI' | | | | | | | | | * | 230 |
| ORBASSANO | 305 | 268 | 289 | * | 241 | 236 | 235 | 198 | 206 | 237 |
| OULX | | | | | | | | 95 ⁽⁴⁾ | 224 | 208 |
| PINEROLO | | | | | 86 ⁽²⁾ | 237 | 168 | 197 | 213 | 249 |
| PINO T.SE | 240 | 233 | 220 | 257 | 262 | 238 | 226 | 206 | 223 | 205 |
| SUSA | | | | | 215 ⁽³⁾ | 228 | 228 | 196 | 235 | 223 |
| TO LINGOTTO | 249 | 200 | 225 | 246 | 230 | 242 | 224 | 228 | 201 | 217 |
| VINOVO | 239 | 193 | 240 | 242 | 203 | 245 | 211 | 201 | 198 | 210 |

(1) strumento operativo dal 1/8/02

(3) strumento operativo dal 22/07/02

(5) strumento operativo dal 28/07/06

* insufficiente rendimento strumentale

(2) strumento operativo dal 9/10/02

(4) strumento operativo dal 29/11/05

(6) strumento operativo dal 27/07/06

TABELLA 23: ozono, valori massimi orari nelle stazioni di monitoraggio che rilevano l'ozono.

L'ozono presenta un andamento tipico giornaliero con massimi nel primo pomeriggio, direttamente correlati con i massimi di temperatura. È interessante confrontare l'involuppo medio orario di stazioni di monitoraggio differenti, rappresentato in FIGURA 28, per poter valutare l'andamento dell'ozono in siti con caratteristiche diverse. Ad esempio a Pino Torinese, dove si trova una stazione di fondo rurale sita a 612 m s.l.m., si rilevano concentrazioni di ozono con andamento giornaliero quasi costante con persistenza dell'inquinante anche nelle ore notturne, mentre nelle stazioni di pianura di Torino-Lingotto e Orbassano l'andamento è a campana, con minimi in corrispondenza dei massimi di monossido di azoto, il quale contribuisce alla distruzione dell'ozono. I minimi nelle stazioni di pianura di tipo urbano e suburbano sono molto inferiori rispetto a quelli di Pino T.se, e presentano valori orari mediamente inferiori rispetto a stazioni collocate fuori da centri urbani, come quella di Druento-La Madria. Nella stazione di Oulx, pur essendo in quota (1074 m s.l.m.), il comportamento dell'inquinante è intermedio tra quello di Pino e le stazioni di pianura, perché si trova in prossimità di una strada ed è soggetta a emissioni da traffico veicolare, in particolare il monossido di azoto; infatti, pur avendo una variabilità di concentrazioni più ridotta rispetto alle stazioni di pianura, mantiene l'andamento tipico a campana.

Risulta anche degna di attenzione l'analisi delle serie storiche delle concentrazioni di ozono rilevate nel corso degli ultimi 10 anni (FIGURA 29) che mostra una sostanziale stabilità dei valori di concentrazione, con una variabilità dovuta soprattutto alla situazione meteorologica del singolo anno. Le condizioni climatiche, infatti, esercitano un ruolo fondamentale nel determinare le concentrazioni dell'inquinante a livello della troposfera, sia per il verificarsi di condizioni che favoriscono episodi di accumulo (elevata insolazione, alte temperature, condizioni di alta pressione), sia per il ruolo che la radiazione solare ha nei meccanismi di reazioni di formazione dell'O₃ in presenza di COV (composti organici volatili) e NO_x (ossidi di azoto). Come si può vedere infatti in FIGURA 30, le massime temperature estive si sono registrate nel 2003 e in corrispondenza si sono verificati anche i massimi di ozono, mentre le concentrazioni medie minime si sono rilevate in anni nei quali le medie di temperatura sono state inferiori e le precipitazioni più significative. I dati relativi alle concentrazioni del 2007 e degli anni precedenti confermano che l'inquinamento da ozono è una criticità diffusa ampiamente sul territorio della Provincia

di Torino. A fronte di un fenomeno così esteso e così complesso è auspicabile che vengano intraprese ulteriori azioni sebbene potrebbe essere difficile verificarne l'efficacia con l'analisi delle concentrazioni di questo inquinante.

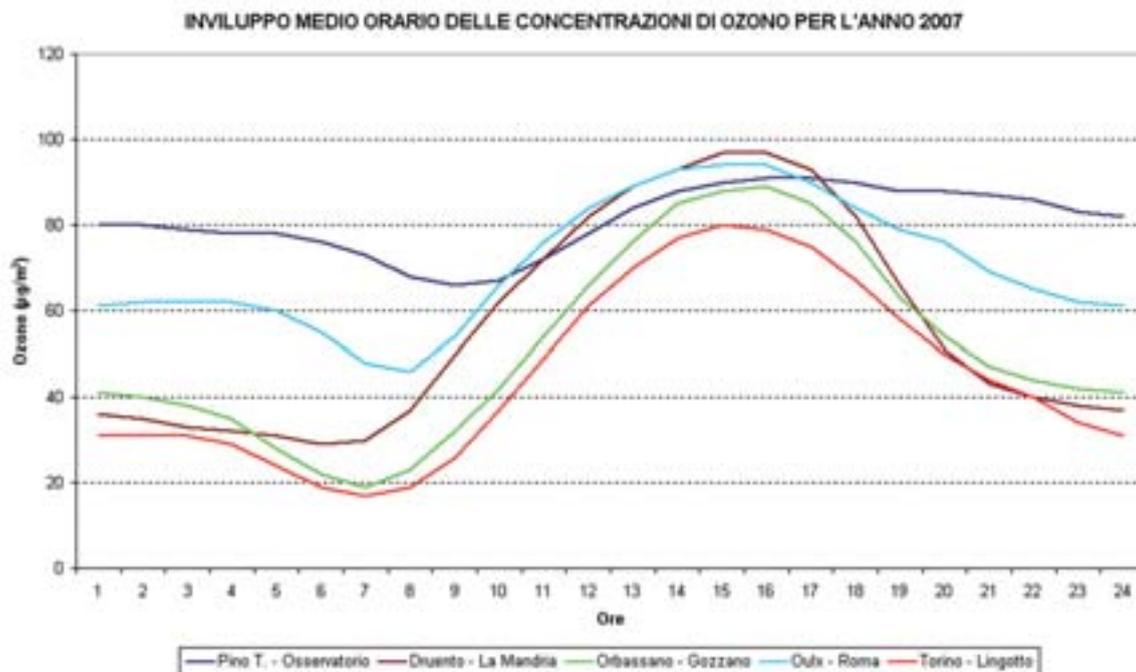


FIGURA 28: ozono, involucro medio orario di alcune stazioni di monitoraggio per l'intero anno 2007.

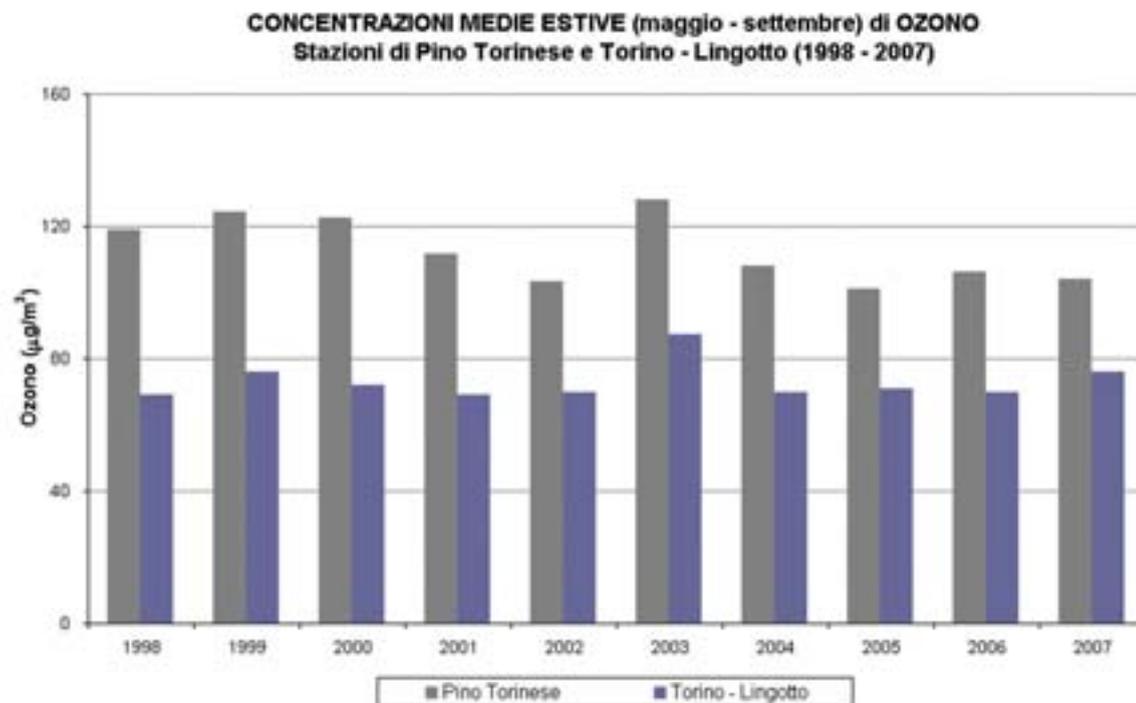


FIGURA 29: ozono, medie del periodo maggio-settembre degli ultimi 10 anni.

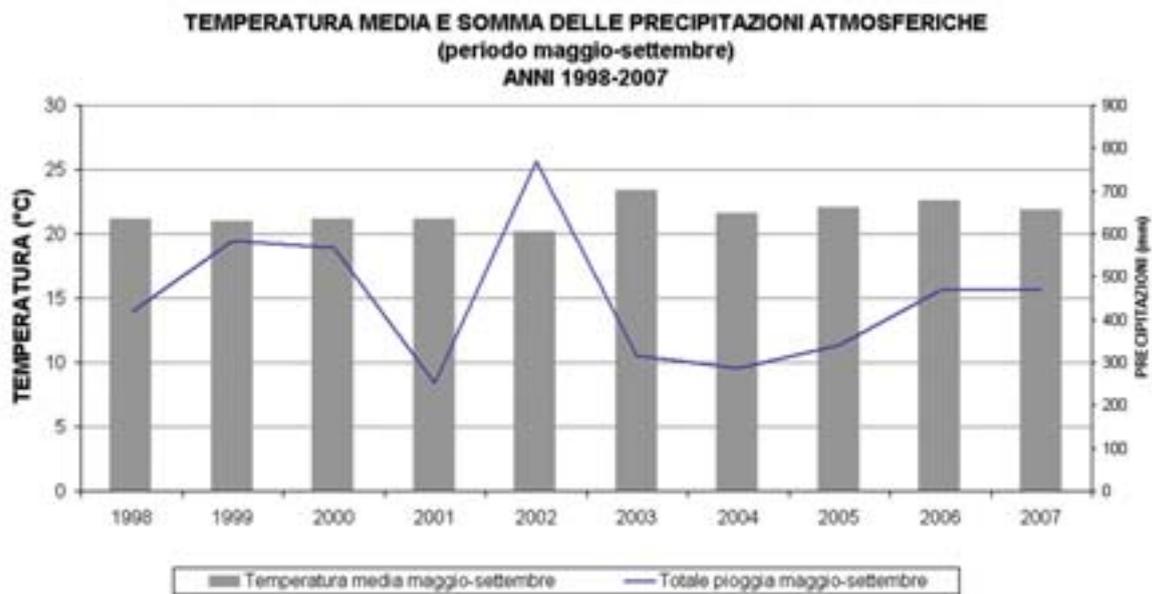


FIGURA 30: Temperatura media e somma delle precipitazioni atmosferiche, relativamente al periodo maggio-settembre 1998-2007, stazioni di Torino-Buon Pastore (fino al 2003) e Torino Consolata (dal 2004 in poi).

DESCRIZIONE

Il benzene presente in atmosfera viene prodotto dall'attività umana, in particolare dall'uso del petrolio, degli oli minerali e dei loro derivati.

La maggior fonte di esposizione per la popolazione deriva dai gas di scarico degli autoveicoli, in particolare dei veicoli alimentati a benzina; stime effettuate a livello di Unione Europea attribuiscono a questa categoria di veicoli più del 70% del totale delle emissioni di benzene.

Il benzene è presente nelle benzine come tale e si produce inoltre durante la combustione a partire soprattutto da altri idrocarburi aromatici. La normativa italiana in vigore fissa, a partire dal 1 luglio 1998, il tenore massimo di benzene nelle benzine all'uno per cento.

DANNI CAUSATI

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.

Una esposizione cronica può provocare la leucemia (casi di questo genere sono stati riscontrati in lavoratori dell'industria manifatturiera, dell'industria della gomma e dell'industria petrolifera). Stime dell'Organizzazione Mondiale della Sanità indicano che, a fronte di un'esposizione a 1 µg/m³ di benzene per l'intera vita, quattro persone ogni milione sono sottoposte al rischio di contrarre la leucemia.

METODO DI MISURA

Le misure nella stazione posta nella città di Torino sono state effettuate mediante un sistema gascromatografico in continuo dotato di rivelatore a fotoionizzazione. Dal 2 maggio 2005 è in funzione un analizzatore di benzene anche presso la stazione di rilevamento di Rivoli.

L'unità di misura con la quale vengono misurate le concentrazioni di benzene è il microgrammo al metro cubo (µg/m³) e il valore limite per la protezione della salute umana secondo il DM 2/4/2002 n. 60, è di 5 µg/m³ da rispettare entro il 1/1/2010.

ESAME DEI DATI

L'analisi del benzene è stata compiuta storicamente con prelievi discontinui tramite fiale di carbone attivo e, a partire dal 1995, anche con strumentazione in continuo.

Nella stazione di via Consolata nel 2007 è stato registrato un valore medio annuo di 3,7 µg/m³. Tale dato è allineato a quello dei due anni precedenti.

Negli anni 1996-2007 i livelli in atmosfera di questo inquinante sono notevolmente diminuiti a seguito dell'introduzione, dal luglio 1998, del limite dell'1% del tenore di benzene nelle benzine e grazie all'aumento nel tempo della percentuale di auto catalizzate sul totale del parco circolante. Negli ultimi tre anni le concentrazioni medie annue si sono stabilizzate attorno ad un valore ampiamente inferiore al limite di 5 µg/m³ su base annuale il cui rispetto deve essere garantito entro 1/1/2010.

Nel Comune di Rivoli la media dei valori rilevati è pari a 3,1 µg/m³.

In conclusione si evidenzia che, in entrambe le postazioni, è ampiamente rispettato il limite di 10 µg/m³ previsto per il 31/12/2005 e si consegue anche il rispetto del valore di 5 µg/m³ su base annuale da raggiungere entro il 1/1/2010.

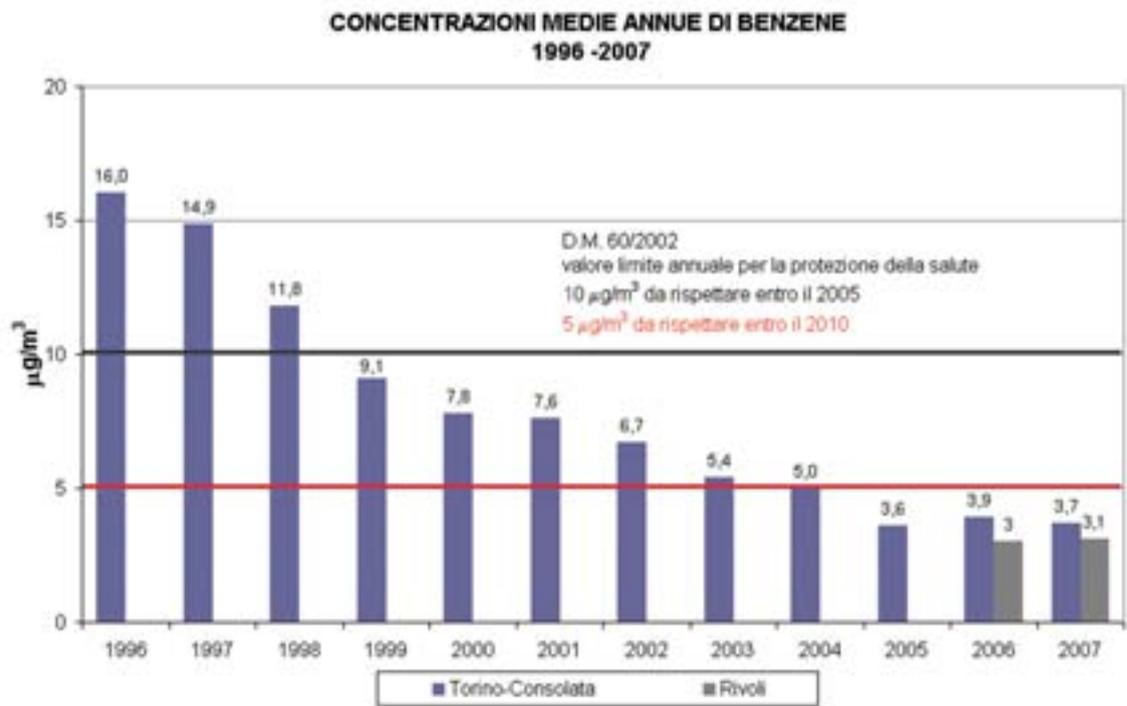


FIGURA 31: concentrazioni medie annue di benzene rilevate negli anni 1996-2007.

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 da tutte le attività antropiche.

Riguardo l'inquinamento atmosferico i metalli che maggiormente preoccupano sono generalmente As (arsenico), Cd (cadmio), Co (cobalto), Cr (cromo), Mn (manganese), Ni (nichel) e Pb (piombo) poiché veicolati dal particolato atmosferico.

La loro origine è varia, Cd, Cr e As provengono principalmente dalle industrie minerarie e siderurgiche, Cu e Ni da processi di combustione, Co e Zn da materiali cementizi ottenuti con il riciclaggio degli scarti delle industrie siderurgiche e degli inceneritori.

Di seguito si riportano informazioni sui metalli per i quali, sulla base delle indicazioni contenute nella normativa vigente, viene monitorata la concentrazione nel particolato aerodisperso.

L'ARSENICO è presente disperso nell'aria in forma sia organica, sia inorganica; quest'ultima è quella prevalente e in essa si ritrovano sia composti di arsenico trivalente che pentavalente. La fonte naturale principale è l'attività vulcanica, con contributi secondari dagli essudati della vegetazione e dagli incendi delle foreste. Come fonti emmissive antropiche si individuano i processi di fusione dei metalli (soprattutto rame e piombo), l'estrazione dai minerali dell'oro, la combustione della lignite di qualità inferiore e di carbone ricco di arsenico, la produzione dell'arsenuro di gallio nell'industria microelettronica, le attività di demolizione delle caldaie a petrolio, l'estrazione mineraria del metallo stesso, il fumo di sigaretta ed alcuni prodotti per il trattamento e la conservazione del legno.

Il CADMIO in natura è molto raro e si ritrova generalmente in associazione con lo zinco. Quasi il 90% delle emissioni di cadmio nell'aria deriva da fonti antropiche, principalmente dalla fusione e dal raffinamento dei metalli non ferrosi, dalla combustione di combustibile fossile e dall'incenerimento dei rifiuti urbani, mentre la principale fonte naturale sono le emissioni vulcaniche. Si noti in anni recenti un sempre maggior impiego di questo metallo nella fabbricazione di batterie ricaricabili (nichel-cadmio) e di accumulatori energetici, nonché nell'industria elettronica e in quella aerospaziale.

Il NICHEL è un metallo poco presente sulla crosta terrestre (0,008% in peso), contrariamente al nucleo dove è un componente principale. Per le sue caratteristiche di metallo è utilizzato molto nell'industria dell'acciaio e delle leghe, soprattutto per i componenti elettrici. Nelle nostre case è frequente la presenza sotto forma di lega, soprattutto nei vari elettrodomestici, ma anche tra i materiali da costruzione; è molto usato nell'industria della numismatica, in quella aerospaziale e in quella chimica. Più del 70% del nichel immesso in atmosfera deriva dai fumi sviluppatasi nei processi di fusione, di incenerimento dei rifiuti urbani e dal fumo di sigaretta (circa 0,04-0,58 µg di nichel sono liberati con il fumo di una sigaretta). Si è stimato che in media si inalano da 0,1-0,8 µg /giorno di nichel, essendovi una concentrazione di 5-40 ng/m³ in aria ambiente; fumare 40 sigarette al giorno può condurre ad un'inalazione di 2-23 µg di nichel.

Il PIOMBO è un metallo che si presenta in natura sia in forma inorganica che organica. Le concentrazioni di piombo nell'aria nelle zone industriali e nelle aree urbane con alta densità di traffico sono diminuite costantemente in questi ultimi 15 anni, grazie alla riduzione delle emissioni industriali, all'eliminazione del piombo nella benzina e all'adozione di sistemi di raccolta e riciclaggio delle batterie per auto. Tuttavia il piombo viene ancora utilizzato in medicina, nelle industrie siderurgiche ed in quelle delle vernici speciali.

DANNI CAUSATI

L'effetto dei metalli pesanti sull'organismo umano dipende dalle modalità di assunzione del metallo, nonché dalle quantità assorbite. Lo zinco, il rame, il cobalto, il nichel ed il cromo, ad esempio, sono oligoelementi necessari all'organismo (fabbisogno giornaliero: Zn= 15-20 mg, Cu= 2-6 mg, Cr= 5-200 mg, Co= 0,1 mg) 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. Il rischio di intossicazione da piombo è particolarmente grave nei bambini ed è determinato dal danno subclinico (piombemia < 25 mg/dl) con misconoscimento dello stato di intossicazione che può condurre a gravi alterazioni della crasi ematica e a grave ritardo mentale. 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.

METODO DI MISURA

Il particolato sospeso PM10 presente in un volume noto di aria viene raccolto su filtri in fibra di quarzo, con frequenza giornaliera. Da ogni singolo filtro è prelevata una porzione di superficie nota che viene successivamente aggregata con quelle relative ai filtri dello stesso mese per una data stazione in modo da costituire un campione mensile. Il campione così composto viene sottoposto ad un trattamento di mineralizzazione con acido nitrico e perossido di idrogeno in forno a microonde al fine di portare in soluzione gli ioni metallici. La concentrazione di Pb, Cd, As e Ni, nella soluzione così ottenuta, è determinata mediante spettrometria di massa ICP-MS (spettrometro di massa a quadrupolo con sorgente al plasma). Il metodo utilizzato è l'UNI EN 14902:2005 (Qualità dell'aria ambiente - Metodo normalizzato per la misurazione di Pb, Cd, As e Ni nella frazione PM10 del particolato in sospensione).

ESAME DEI DATI

Nelle tabelle poste a conclusione del capitolo si riportano le concentrazioni medie annuali di arsenico, cadmio, nichel e piombo nel materiale particolato aerodisperso (frazione PM10 e nel caso della stazione TO-Lingotto anche frazione PM2,5) campionato in 12 stazioni ubicate in provincia di Torino. I dati sono relativi all'ultimo decennio, 1998-2007, anche se, anteriormente al 2004, sono disponibili solo per un numero limitato di siti e non per tutti e quattro gli elementi. Le concentrazioni di As, Cd e Ni sono espresse in ng/m^3 , quelle relative al piombo in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Per una corretta lettura ed interpretazione dei dati riportati sono necessarie alcune precisazioni ed osservazioni:

- i dati della stazione di Ivrea fino a novembre 2006 sono riferiti al sito di P.zza Freguglia, caratterizzato da elevati flussi veicolari, mentre dal mese di dicembre 2006 sono relativi al sito di Viale della Liberazione, ubicato in una zona di tipo residenziale, più rappresentativa dell'esposizione media della popolazione in accordo con le Linee Guida nazionali in materia. Per le stesse ragioni a partire dal mese di aprile del 2007 la stazione di TO-Gaidano è stata trasferita in V. Rubino, in un sito a carattere ricreativo-residenziale caratterizzato da un minore flusso veicolare;
- nella stazione di TO-Lingotto, a partire dal 2006, il PM10 è determinato con uno strumento, certificato ai sensi del DM 60/2002, che determina la massa di particolato mediante la

misurazione dell'attenuazione di radiazioni beta prodotte da una sorgente radioattiva interna allo strumento stesso, mentre in tutte le altre stazioni e nel caso della frazione PM_{2,5} della stessa stazione la determinazione è di tipo gravimetrico. Inoltre per l'anno 2006 i dati sono disponibili solo per il periodo da maggio a dicembre;

le medie annuali indicate in tabella per ogni stazione sono ricavate a partire dalle medie giornaliere, e possono presentare leggere differenze rispetto al valore ricavabile a partire dalle medie mensili (a cui si fa riferimento nella valutazione dell'andamento stagionale) a causa del diverso peso statistico di ciascun mese;

– a seguito dei cambiamenti intervenuti sia a livello normativo che analitico, nel corso del decennio considerato (1998-2007) non vi sono state condizioni di omogeneità sia in merito alle modalità di campionamento (supporto filtrante, durata, frequenza e flusso) che relativamente alla tecnica analitica impiegata. In particolare nel corso del 1998 e del 1999 si sono impiegati filtri in membrana di cellulosa, tra il 2000 e il 2005 filtri in fibra di vetro e a partire dal 2006 filtri in quarzo; tra il 1998 e il 2003 le analisi sono state condotte mediante spettroscopia di assorbimento atomico, a partire dai filtri dell'annata 2004 si è impiegata la spettrometria di massa con sorgente al plasma; a partire dal 2004 si sono condotte analisi su aliquote di particolato relative a campionamenti con frequenza giornaliera, della durata di 24 ore e condotti con strumentazioni operanti con un flusso di 2,3 m³/h, in precedenza ci si riferiva a campionamenti settimanali o bisettimanali, di durata variabile (8,12 o 24 ore) e condotti con strumentazione operante a 1 m³/minuto;

– la valutazione del contenuto di As, Cd, Ni e Pb nei supporti filtranti impiegati è stata condotta in modo sistematico su tutti i lotti di filtri usati e con un numero significativo di prove solo a partire dal 2006. Pertanto, i dati relativi alle annate precedenti potrebbero risentire di contributi dovuti al supporto filtrante che non sono stati messi in luce dalle determinazioni effettuate del cosiddetto "valore di bianco". Con riferimento alle indicazioni presenti in letteratura⁴ i livelli di As, Cd, Ni e Pb risultano più elevati in filtri a base di cellulosa e di fibra di vetro, che sono proprio quelli impiegati anteriormente al 2006. Le analisi condotte sui filtri in quarzo impiegati nel corso del 2007 indicano livelli di arsenico e cadmio sempre inferiori al limite di rivelabilità strumentale, mentre nel caso del nichel e del piombo un numero limitato di campioni compositi di filtri bianchi presentano valori superiori ai rispettivi limiti di rivelabilità. Tali contaminazioni si evidenziano con variabilità anche all'interno di uno stesso lotto di filtri e non permettono quindi di definire un valore univoco di bianco dei supporti filtranti da utilizzare per il calcolo delle concentrazioni di metallo nel particolato; una situazione analoga era stata osservata nel caso del 2006, nel corso del quale però la frequenza delle contaminazioni era risultata maggiore;

– nel corso del 2007 le medie annuali relative all'arsenico sono risultate, in tutte le stazioni, inferiori al limite di quantificazione del metodo analitico (0,1 µg). I dati riportati in TABELLA 24 per il 2007 sono stati ottenuti assumendo una massa di As pari a metà del limite di quantificazione e calcolando le corrispondenti concentrazioni in ng/m³ sulla base dei volumi di aria campionata e della porzione di filtro sottoposta ad analisi (nelle condizioni medie di campionamento adottate, 0,05 µg di As quantificati nella porzione di filtro sottoposta ad analisi corrisponderebbero ad una concentrazione in aria ambiente di circa 0,7 ng/m³).

La discussione che segue farà riferimento principalmente ai dati dell'anno 2007 ed eventuali confronti saranno limitati essenzialmente all'anno 2006, rispetto al quale vi è omogeneità per quello che riguarda il metodo di analisi e le modalità di campionamento. Sulla base di quanto esposto sopra, i dati delle annate precedenti vanno utilizzati con cautela per elaborazioni e valutazioni degli andamenti dei livelli di metalli nel particolato durante l'ultimo decennio.

I dati relativi alla concentrazione di **arsenico** (TABELLA 24) indicano che nel 2007 la media annuale è in tutte le stazioni significativamente inferiore al valore obiettivo, previsto per il 2012, di 6 ng/m³, attestandosi al di sotto del limite di quantificazione del metodo (0,1 µg corrispondenti a circa 1,4 ng/m³ nelle condizioni medie di campionamento). Essa risulta anche inferiore alle soglie di valutazione superiore (3,6 ng/m³) e inferiore (2,4 ng/m³). Considerando l'insieme

⁴ metodo UNI EN 14902:2005 – appendice B;

"Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds" – Position Paper, pg. 249

dei dati disponibili sull'intero decennio 1998-2007 non si riscontra alcun superamento del valore obiettivo in nessuna delle stazioni; inoltre si può notare che la maggior parte dei dati si colloca anche al di sotto della soglia di valutazione superiore.

I dati relativi alla concentrazione di **cadmio** (TABELLA 25) indicano che nel 2007 la media annuale è in tutte le stazioni significativamente inferiore sia al valore obiettivo, previsto per il 2012 di 5 ng/m^3 , sia alle soglie di valutazione superiore ($2,4 \text{ ng/m}^3$) e inferiore ($2,0 \text{ ng/m}^3$). Ad eccezione di due stazioni ubicate nel comune di Torino (TO-Grassi e TO-Consolata) i valori sono al di sotto di $0,5 \text{ ng/m}^3$, quindi di un ordine di grandezza inferiori rispetto al valore obiettivo; le concentrazioni più elevate si osservano nelle stazioni poste nel comune di Torino unitamente a quelle di Borgaro e Carmagnola.

Rispetto all'anno precedente si evidenzia una diminuzione della media annua in tutte le stazioni, in alcuni casi anche significativa (Borgaro, Buttigliera, TO-Rivoli, TO-Gaidano/Rubino e TO-Lingotto; le variazioni osservate in queste due ultime stazioni possono essere almeno in parte ricondotte, rispettivamente, allo spostamento della stazione e alla non completezza dei dati per l'anno 2006, come ricordato in precedenza). Tale diminuzione dei livelli di cadmio intervenuta nel corso dell'ultimo anno, rispecchia quanto osservato per altri inquinanti, in primo luogo il PM10; comunque anche per il 2006 le medie annue erano risultate in tutte le stazioni al di sotto di 1 ng/m^3 e quindi non si era registrato nessun superamento del valore obiettivo e delle soglie di valutazione superiore e inferiore. Considerando l'insieme dei dati disponibili per il decennio 1998-2007 non si riscontra alcun superamento del valore obiettivo in nessuna delle stazioni; inoltre si può notare come la maggior parte dei dati si collochino anche al di sotto della soglia di valutazione superiore.

I dati relativi alla concentrazione di **nicel** (TABELLA 26) indicano che nel 2007 la media annuale è in tutte le stazioni inferiore sia al valore obiettivo previsto per il 2012 di 20 ng/m^3 , sia alla soglia di valutazione superiore (14 ng/m^3), mentre la soglia di valutazione inferiore (10 ng/m^3) è superata nella stazione di Buttigliera e in quelle del comune di Torino, ad eccezione di TO-Gaidano/Rubino.

Rispetto al 2006, anno in cui si erano registrati dei superamenti del valore obiettivo in alcune stazioni del comune di Torino, si osserva una diminuzione della media annua in tutte le stazioni, in alcuni casi anche significativa (Carmagnola, Susa, TO-Rivoli e TO-Gaidano/Rubino). Come sottolineato in precedenza i dati relativi al nichel possono essere influenzati dai contenuti del metallo nel supporto filtrante, problematica che è risultata meno significativa solo a partire dal 2007.

Per quanto riguarda il **piombo** (TABELLA 27) i valori sono più di un ordine di grandezza inferiori al limite previsto dal D.M. 60/2002 ($0,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), confermando la tendenza al netto miglioramento della qualità dell'aria relativamente a questo parametro, determinata dall'eliminazione dal commercio della benzina super, che conteneva composti di questo metallo come antidetonanti. Osservando la serie storica riportata in FIGURA 32, è evidente come attualmente i valori siano inferiori di due ordini di grandezza rispetto a quelli registrati all'inizio degli anni '70 e di un ordine di grandezza rispetto alla prima metà degli anni '90. In particolare le medie annuali relative al 2007 si attestano tutte al di sotto di $0,030 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, con il valore più elevato a TO-Grassi ($0,028 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) e con la maggior parte delle stazioni comprese entro i $0,020 \text{ } \mu\text{g/m}^3$. Rispetto al 2006, come già evidenziato per cadmio e nichel, si osserva una diminuzione delle medie annue in tutte le stazioni, particolarmente significativa a Borgaro e TO-Grassi.

Relativamente all'anno 2007 la media mensile delle concentrazioni di cadmio, nichel e piombo determinata nelle stazioni di To-Consolata e Druento è riportata, rispettivamente, in FIGURA 33, FIGURA 34 e FIGURA 35. Per tutti e tre i metalli emerge un andamento di tipo stagionale con i valori più elevati che si manifestano generalmente nel corso del semestre freddo dell'anno, tuttavia si può notare come la stagionalità non sia così marcata e come si registrino alcuni valori elevati anche in mesi estivi; tale situazione trova riscontro anche nei dati di altre stazioni non riportate in figura. Per l'arsenico non è possibile svolgere delle considerazioni sull'andamento mensile della concentrazione poiché essa è sempre risultata inferiore al limite di quantificazione in tutte le stazioni.

Poiché presso la stazione di TO-Lingotto sono campionati sia il PM10 che il PM2,5 è possibile confrontare il contenuto di metalli nelle due frazioni di particolato. Nel corso del 2007 a

fronte di un rapporto PM_{2,5}/PM₁₀ di 0,6, il rapporto tra i contenuti di metalli risulta essere di 1,1 per il cadmio, di 0,55 per il nichel e di 0,85 per il piombo (il rapporto superiore ad uno nel caso del cadmio è spiegabile con la diversa percentuale di dati validi per le due frazioni di particolato). Questi dati indicano come il cadmio e il piombo, per i quali il rapporto tra le concentrazioni nel PM_{2,5} e nel PM₁₀ è significativamente superiore al rapporto tra le concentrazioni medie annue delle due frazioni di particolato, siano prevalentemente ripartiti nella frazione fine di quest'ultimo; in altre parole nel sito in esame la massa di cadmio e piombo per unità di massa di particolato è in media maggiore nel PM_{2,5}, cioè nella frazione in grado di penetrare maggiormente in profondità nelle vie respiratorie. Invece il rapporto osservato nel caso del nichel indica che una porzione significativa di questo metallo è presente anche in particelle con diametro superiore a 2,5 µm. Tali dati sono in accordo con quanto riportato in letteratura per altre aree europee⁵.

In TABELLA 28 si riportano le percentuali in massa di cadmio, nichel e piombo nel PM₁₀ (e per quanto riguarda la stazione TO-Lingotto anche nel PM_{2,5}) relative alle medie annuali del 2007; questo tipo di elaborazione non è stata possibile per i dati di arsenico poiché risultano sempre al di sotto del limite di quantificazione del metodo. Nel valutare i dati della stazione TO-Lingotto PM₁₀ bisogna considerare che, come già riportato in precedenza, la determinazione della concentrazione di particolato è stata effettuata con un metodo diverso (attenuazione di una radiazione beta) rispetto a quello impiegato in tutte le altre stazioni (gravimetrico).

Come già emerge dai dati di concentrazione assoluta, che però sono espressi con differenti unità di misura per i diversi metalli, queste percentuali in massa ben evidenziano che i contenuti di cadmio sono almeno un ordine di grandezza inferiori a quelli di nichel e piombo, con quest'ultimi circa doppi rispetto a quelli di nichel. Inoltre i valori delle percentuali in massa relativi alle due frazioni di particolato campionato presso la stazione TO-Lingotto confermano un arricchimento in cadmio e piombo della frazione più fine.

Se si eccettuano i dati della stazione TO-Lingotto PM₁₀, le percentuali in massa del cadmio risultano piuttosto omogenee nei diversi siti; non emergono quindi sostanziali differenze tra le varie tipologie di stazioni. Una maggiore variabilità dei dati si riscontra nel caso del nichel e soprattutto del piombo; tuttavia non è possibile evidenziare differenze sistematiche tra le varie tipologie di stazioni o tra stazioni distribuite su aree diverse del territorio provinciale.

Nel complesso i dati di concentrazione dei metalli nel particolato aerodisperso mettono in luce una situazione esente da criticità: in tutte le stazioni della provincia di Torino nell'ultimo decennio non si sono avuti superamenti dei valori obiettivo/limite indicati dalle normative per quello che riguarda arsenico, cadmio e piombo e solo un numero limitato di superamenti per quello che concerne il nichel. Con riferimento ai dati degli anni 2006 e 2007 le medie annue determinate sono del tutto confrontabili, se non inferiori, rispetto a quelle riportate per altre aree europee, sia nel caso di siti rurali che urbani, in particolare per quello che riguarda arsenico, cadmio e piombo⁶. Tale situazione è dovuta all'assenza nell'area geografica di interesse della principale fonte naturale di questi metalli, i vulcani, e alla contemporanea ridotta presenza sul territorio della Provincia di Torino di significative attività estrattive e metallurgiche, nonché all'assenza di grandi centrali termoelettriche a carbone e ad olio combustibile, che sono le principali sorgenti antropiche di metalli pesanti quali arsenico, cadmio e piombo.

⁵ "Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds" – Position Paper, pgg. 25-29;

Salma et al., "Fine structure of mass size distributions in an urban environment", *Atmospheric Environment*, 39, (2005), 5363.

⁶ "Ambient air pollution by As, Cd and Ni compounds" – Position Paper, pgg. 47-56;

Rodríguez et al., "Sources and processes affecting levels and composition of atmospheric aerosol in the western Mediterranean", *Journal of Geophysical Research*, 107, (2002), AAC12/1;

Voutsas et al., "Elemental composition of airborne particulate matter in the multi-impacted urban area of Thessaloniki, Greece", *Atmospheric Environment*, 36, (2002), 4453;

Vecchi et al., "The role of atmospheric dispersion in the seasonal variation of PM₁ and PM_{2.5} concentration and composition in the urban area of Milan (Italy)", *Atmospheric Environment*, 38, (2004), 4437;

Perrino et al., "Inorganic constituents of urban air pollution in the Lazio region (Central Italy)", *Environmental Monitoring Assessment*, 136, (2008), 69.

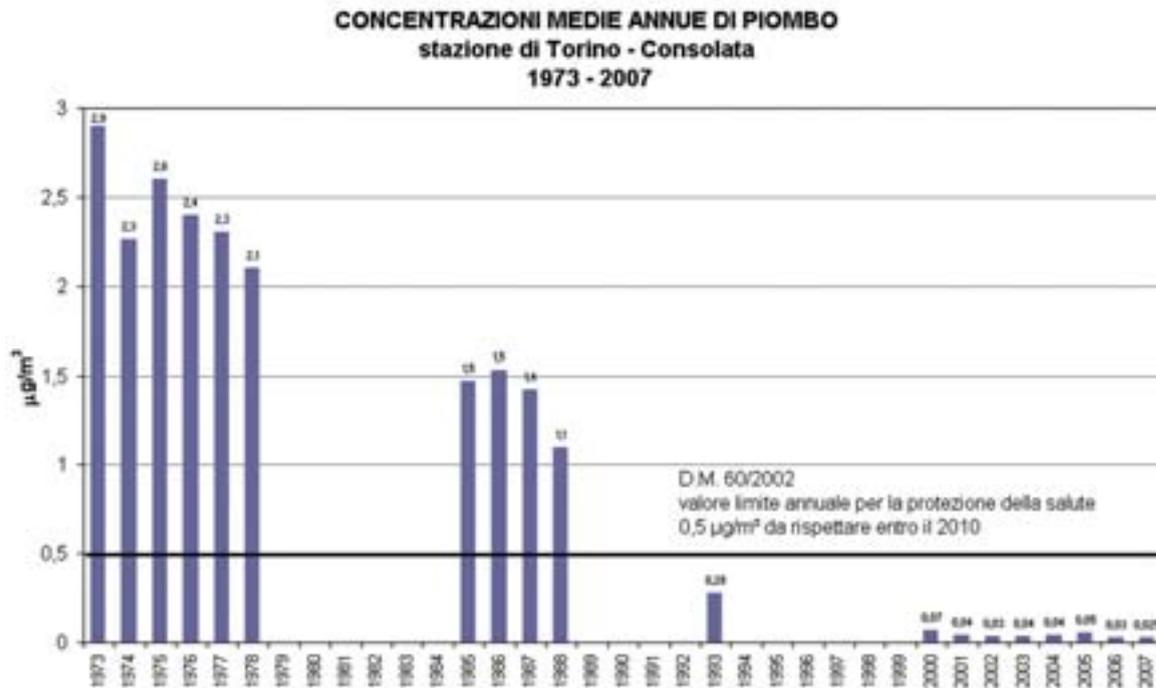


FIGURA 32: parametro piombo, medie annuali misurate presso la stazione di TO-Consolata nel periodo 1973 – 2007.

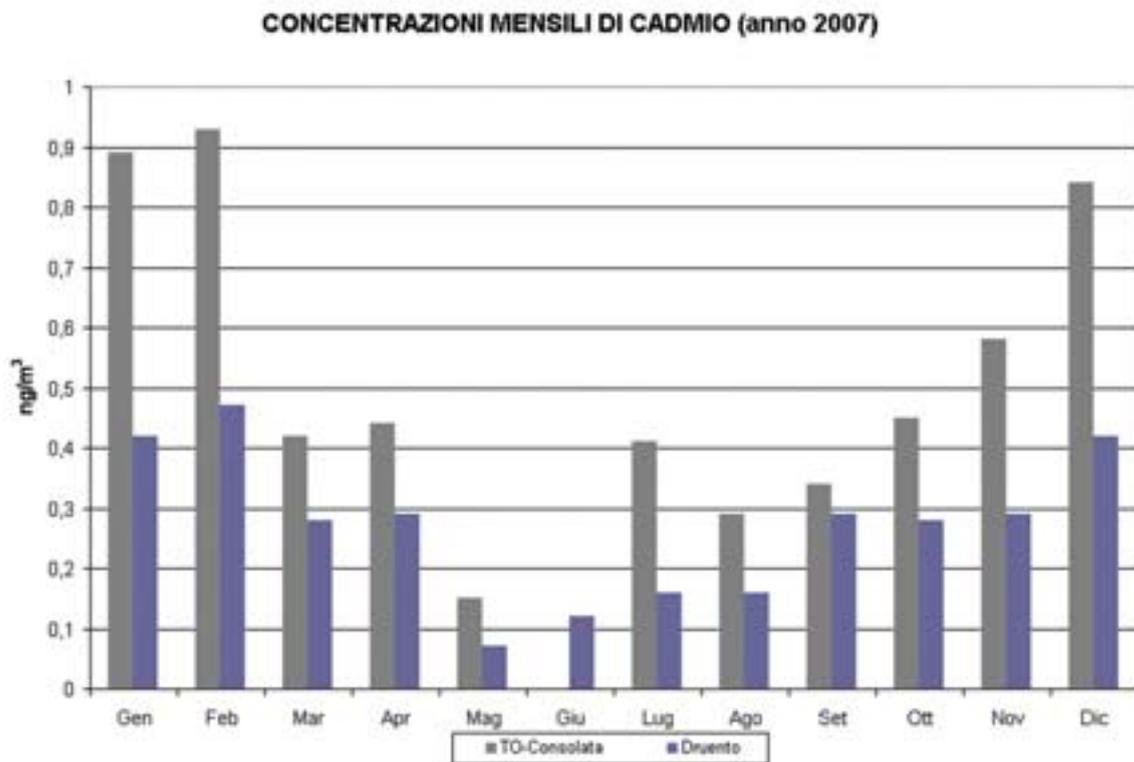


FIGURA 33: andamento stagionale del cadmio, stazioni TO-Consolata e Druento.

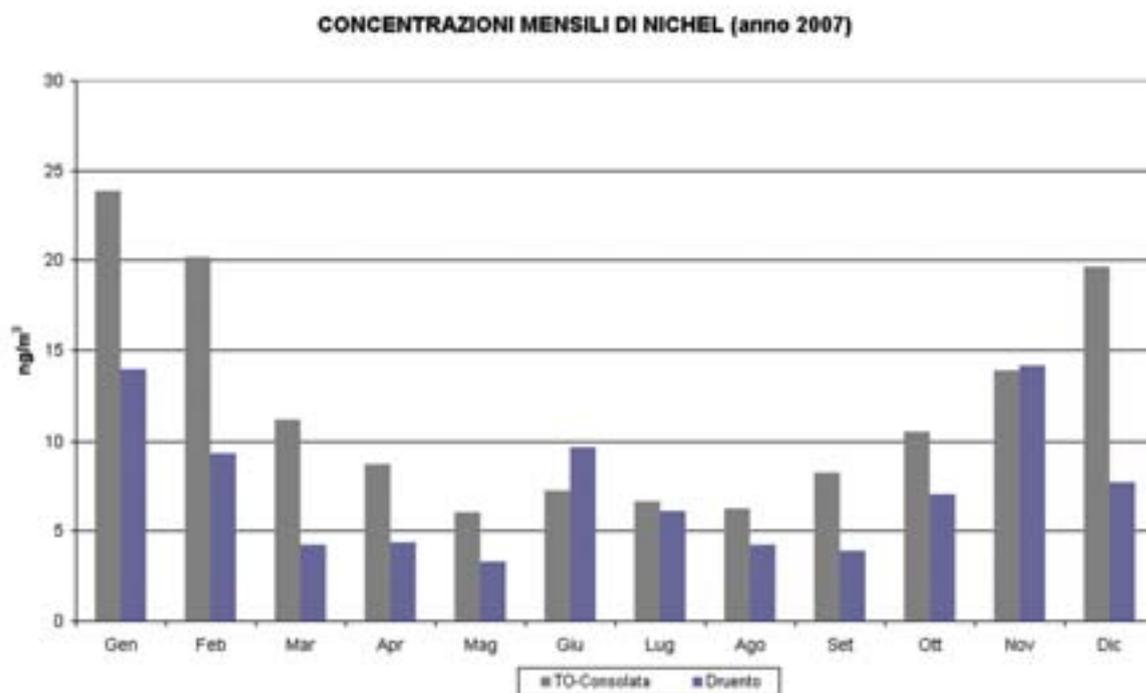


FIGURA 34: andamento stagionale del nichel, stazioni TO-Consolata e Druento.

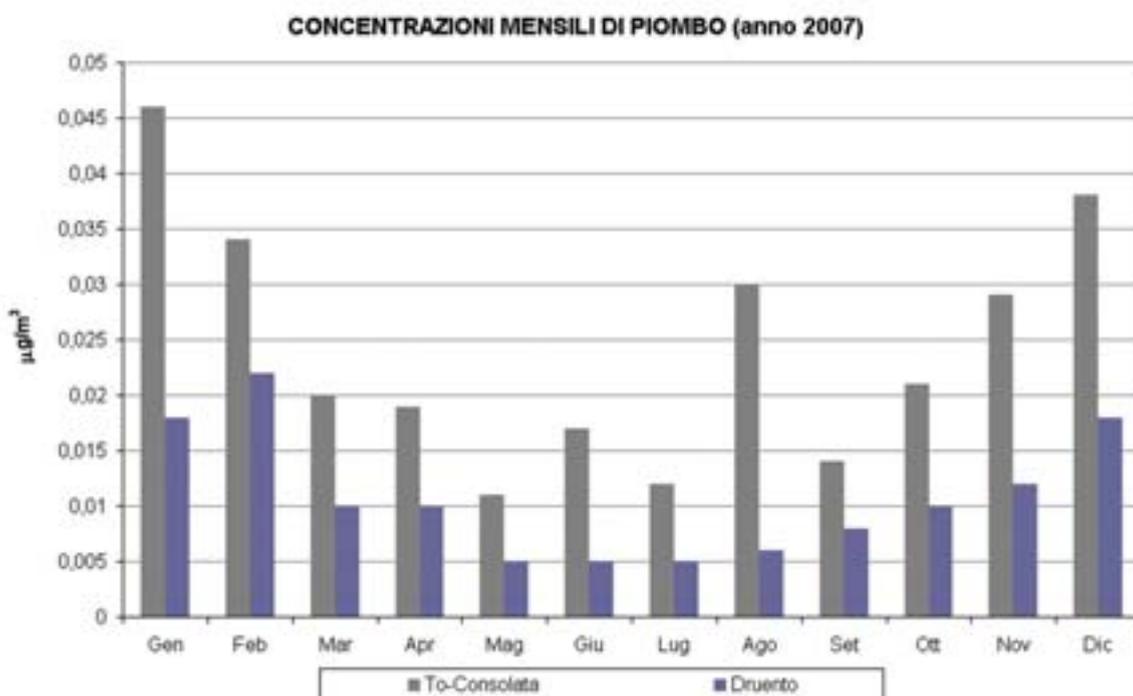


FIGURA 35: andamento stagionale del piombo, stazioni TO-Consolata e Druento.

| STAZIONE | Rendimento strumentale 2007 (% dati validi) | Concentrazione media annuale di arsenico nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³) | | | | | | | | | |
|---|---|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
| BORGARO | 90% | - | - | - | - | 1,4 | - | 2,67 | 3,54 | 1,34 | 0,73 |
| BUTTIGLIERA | 92% | - | - | - | - | 0,9 | - | 2,69 | 4,31 | 1,05 | 0,73 |
| CARMAGNOLA | 87% | - | - | - | - | 0,5 | - | 2,52 | 3,77 | 1,21 | 0,74 |
| DRUENTO | 91% | - | - | - | - | - | - | 2,04 | 4,13 | 0,85 | 0,73 |
| IVREA ⁽¹⁾ | 89% | - | - | - | - | - | - | 2,33 | 3,59 | 1,00 | 0,73 |
| PINEROLO | 90% | - | - | - | - | - | - | 2,29 | 3,23 | 0,83 | 0,73 |
| SUSA | 91% | - | - | - | - | - | - | 2,11 | 3,34 | 0,87 | 0,73 |
| TO-CONSOLATA | 92% | - | - | - | - | 0,5 | - | 2,27 | 2,7 | 1,27 | 0,81 |
| TO-GAIDANO/ TO-RUBINO ⁽²⁾ | 82% | - | - | - | - | - | - | 2,27 | 4,17 | 1,21 | 0,75 |
| TO-GRASSI | 94% | - | - | - | - | 1,6 | - | 2,6 | 4,73 | 1,27 | 0,86 |
| TO-LINGOTTO PM10 | 86% | - | - | - | - | - | - | - | - | 2,11 | 0,74 |
| TO-LINGOTTO PM2,5 | 73% | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,84 | 0,77 |
| TO-RIVOLI | 84% | - | - | - | - | - | - | 2,36 | 3,83 | 1,41 | 0,88 |

(1) fino al 06/11/2006 la stazione era ubicata in Piazza Freguglia

(2) dal 29/03/2007 la stazione è stata trasferita in Via Rubino

TABELLA 24: concentrazioni medie annuali di arsenico determinate su PM10 e PM2,5 – 1998-2007.

| STAZIONE | Rendimento strumentale 2007 (% dati validi) | Concentrazione media annuale di cadmio nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³) | | | | | | | | | |
|---|---|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
| BORGARO | 90% | - | - | - | - | 0,5 | - | 2,67 | 1,23 | 0,57 | 0,40 |
| BUTTIGLIERA | 92% | <1,25 | <1,4 | 0,6 | 0,6 | 0,4 | - | 2,66 | 1,13 | 0,51 | 0,30 |
| CARMAGNOLA | 87% | <1,25 | <1,0 | 0,4 | 0,5 | 0,4 | - | 2,46 | 1,09 | 0,54 | 0,49 |
| DRUENTO | 91% | - | - | - | - | - | - | 1,99 | 1,02 | 0,35 | 0,28 |
| IVREA ⁽¹⁾ | 89% | - | - | - | - | - | - | 2,31 | 1,09 | 0,42 | 0,36 |
| PINEROLO | 90% | - | - | - | - | - | - | 2,33 | 1,11 | 0,39 | 0,36 |
| SUSA | 91% | - | - | - | - | - | - | 2,26 | 1,18 | 0,29 | 0,25 |
| TO-CONSOLATA | 87% | - | - | 0,9 | 0,7 | 0,4 | - | 2,9 | 1,32 | 0,6 | 0,53 |
| TO-GAIDANO/ TO-RUBINO ⁽²⁾ | 82% | - | - | - | - | - | - | 2,64 | 1,38 | 0,67 | 0,41 |
| TO-GRASSI | 94% | - | - | 3,0 | 0,9 | 0,6 | - | 3,13 | 1,44 | 0,75 | 0,69 |
| TO-LINGOTTO PM10 | 86% | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,67 | 0,36 |
| TO-LINGOTTO PM2,5 | 73% | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,51 | 0,40 |
| TO-RIVOLI | 84% | - | - | - | - | - | - | 2,49 | 1,28 | 0,59 | 0,40 |

(1) fino al 06/11/2006 la stazione era ubicata in Piazza Freguglia

(2) dal 29/03/2007 la stazione è stata trasferita in Via Rubino

TABELLA 25: concentrazioni medie annuali di cadmio determinate su PM10 e PM2,5 – 1998-2007.

| STAZIONE | Rendimento strumentale 2007 (% dati validi) | Concentrazione media annuale di nichel nel materiale particolato aerodisperso (ng/m ³) | | | | | | | | | |
|---|---|--|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
| BORGARO | 90% | - | - | - | - | 35 | - | 25,1 | 36,29 | 17,47 | 8,20 |
| BUTTIGLIERA | 92% | 50 | 40 | 10 | 8 | 14,4 | - | 22,19 | 29,45 | 16,38 | 11,30 |
| CARMAGNOLA | 87% | 40 | 40 | 5 | 5 | 7,8 | - | 19,38 | 26,23 | 18,71 | 7,18 |
| DRUENTO | 91% | - | - | - | - | - | - | 18,5 | 27,67 | 15,09 | 7,26 |
| IVREA ⁽¹⁾ | 89% | - | - | - | - | - | - | 15,79 | 32,9 | 15,76 | 6,29 |
| PINEROLO | 90% | - | - | - | - | - | - | 22,18 | 29,29 | 16,76 | 6,73 |
| SUSA | 91% | - | - | - | - | - | - | 14,02 | 25,05 | 17,64 | 3,84 |
| TO-CONSOLATA | 92% | - | - | 20 | 14 | 13,0 | - | 24,58 | 30,59 | 22,97 | 12,20 |
| TO-GAIDANO/ TO-RUBINO ⁽²⁾ | 82% | - | - | - | - | - | - | 26,76 | 31,65 | 21,23 | 8,93 |
| TO-GRASSI | 94% | - | - | 30 | 22 | 31,4 | - | 29,93 | 34,54 | 21,18 | 11,02 |
| TO-LINGOTTO PM10 | 78% | - | - | - | - | - | - | - | - | 19,96 | 11,47 |
| TO-LINGOTTO PM2,5 | 73% | - | - | - | - | - | - | - | - | 12,07 | 6,16 |
| TO-RIVOLI | 84% | - | - | - | - | - | - | 24,08 | 31,55 | 25,01 | 11,41 |

(1) fino al 06/11/2006 la stazione era ubicata in Piazza Freguglia

(2) dal 29/03/2007 la stazione è stata trasferita in Via Rubino

TABELLA 26: concentrazioni medie annuali di nichel determinate su PM10 e PM2,5 – 1998-2007.

| STAZIONE | Rendimento strumentale 2007 (% dati validi) | Concentrazione media annuale di piombo nel materiale particolato aerodisperso (µg/m ³) | | | | | | | | | |
|---|---|--|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
| BORGARO | 90% | - | - | - | - | 0,018 | - | 0,042 | 0,055 | 0,025 | 0,015 |
| BUTTIGLIERA | 92% | 0,10 | 0,12 | 0,06 | 0,040 | 0,073 | - | 0,069 | 0,053 | 0,023 | 0,017 |
| CARMAGNOLA | 87% | 0,10 | 0,11 | 0,20 | 0,026 | 0,029 | - | 0,037 | 0,044 | 0,019 | 0,014 |
| DRUENTO | 91% | - | - | - | - | - | - | 0,031 | 0,043 | 0,014 | 0,011 |
| IVREA ⁽¹⁾ | 89% | - | - | - | - | - | - | 0,040 | 0,046 | 0,021 | 0,014 |
| PINEROLO | 90% | - | - | - | - | - | - | 0,042 | 0,051 | 0,026 | 0,021 |
| SUSA | 91% | - | - | - | - | - | - | 0,050 | 0,051 | 0,019 | 0,014 |
| TO-CONSOLATA | 92% | - | - | 0,07 | 0,043 | 0,033 | 0,036 | 0,040 | 0,051 | 0,030 | 0,025 |
| TO-GAIDANO/ TO-RUBINO ⁽²⁾ | 82% | - | - | - | - | - | - | 0,046 | 0,050 | 0,028 | 0,017 |
| TO-GRASSI | 86% | - | - | 0,10 | 0,038 | 0,046 | - | 0,062 | 0,073 | 0,042 | 0,028 |
| TO-LINGOTTO PM10 | 86% | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,025 | 0,020 |
| TO-LINGOTTO PM2,5 | 73% | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,019 | 0,017 |
| TO-RIVOLI | 84% | - | - | - | - | - | - | 0,049 | 0,057 | 0,028 | 0,021 |

(1) fino al 06/11/2006 la stazione era ubicata in Piazza Freguglia

(2) dal 29/03/2007 la stazione è stata trasferita in Via Rubino

TABELLA 27: concentrazioni medie annuali di piombo determinate su PM10 e PM2,5 – 1998-2007.

| STAZIONE | Percentuale in massa dei metalli nel particolato - media annua 2007 | | |
|----------------------|---|-------|-------|
| | % Cd | % Ni | % Pb |
| BORGARO | 0.0009 | 0.018 | 0.033 |
| BUTTIGLIERA | 0.0008 | 0.030 | 0.045 |
| CARMAGNOLA | 0.0010 | 0.014 | 0.028 |
| DRUENTO | 0.0009 | 0.023 | 0.034 |
| IVREA | 0.0009 | 0.016 | 0.036 |
| PINEROLO | 0.0010 | 0.018 | 0.057 |
| SUSA | 0.0011 | 0.017 | 0.064 |
| TO-CONSOLATA | 0.0010 | 0.023 | 0.047 |
| TO-GAIDANO/TO-RUBINO | 0.0009 | 0.019 | 0.036 |
| TO-GRASSI | 0.0010 | 0.017 | 0.042 |
| TO-LINGOTTO PM10 | 0.0006 | 0.019 | 0.033 |
| TO-LINGOTTO PM2,5 | 0.0011 | 0.017 | 0.047 |
| TO-RIVOLI | 0.0007 | 0.019 | 0.036 |

TABELLA 28: percentuale in massa di cadmio, nichel e piombo nel PM10 e nel PM2,5 – anno 2007.

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), ecc. Nelle aree urbane il materiale particolato può avere origine da lavorazioni industriali (cantieri edili, fonderie, cementifici), dall'usura dell'asfalto, dei pneumatici, dei freni, delle frizioni e dalle emissioni di scarico degli autoveicoli, in particolare quelli dotati di motore a ciclo diesel.

Il traffico veicolare urbano contribuisce in misura considerevole all'inquinamento da particolato sospeso con l'emissione in atmosfera di particelle carboniose, composti inorganici e particelle incombuste di varia natura. Tale particolato, inoltre, costituisce il principale veicolo di trasporto e diffusione di altre sostanze nocive.

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.

Per queste ragioni il Decreto Ministeriale 25/11/94 ha affiancato alla tradizionale misura del particolato totale sospeso quella del particolato PM10, cioè della frazione con diametro aerodinamico inferiore a 10 μm , definita anche inalabile. Il D.M. 2 aprile 2002 n. 60, che recepisce la direttiva europea 30/1999/CE, prevede invece dei limiti esclusivamente per la frazione PM10. Il D.M. 60/2002 ha inoltre indicato la necessità di misurare anche la concentrazione di polveri con diametro aerodinamico inferiore ai 2,5 μm (PM2,5), per il quale la nuova Direttiva Europea in corso di pubblicazione prevede specifici valori di riferimento.

DANNI CAUSATI

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 e 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. In particolare il programma CAFE (Clean Air for Europe) ha evidenziato che la perdita di attesa di vita stimata sulla base dei livelli di PM2,5 dell'anno 2000 è di 8,1 mesi in media in Europa con un range che va dai 13,2 del Belgio ai 2,6 della Finlandia. Il valore stimato per l'Italia è di 9 mesi.⁷

METODO DI MISURA

Il particolato totale e le frazioni PM10 e PM2,5 vengono misurati mediante raccolta su filtro per 24 ore in condizioni standardizzate e successiva determinazione gravimetrica (vale a dire per pesata) delle polveri filtrate. Nel caso della frazione PM10 e PM2,5 la testa della apparecchiatura di prelievo ha una particolare geometria definita in modo tale che sul filtro arrivino e siano trattenute rispettivamente solo le particelle con diametro aerodinamico inferiore ai 10 e ai 2,5 μm . Nel 2005 sono stati acquistati 3 misuratori di PM10 automatici cosiddetti "beta", nei quali la determinazione della massa di particolato avviene mediante la misurazione dell'attenuazione di radiazioni beta prodotte da una sorgente radioattiva interna allo strumento. I raggi beta attraversano il filtro "bianco" e alla fine del ciclo di 24 ore di campionamento la differenza nell'assorbimento dei raggi beta da parte del filtro è proporzionale alla concentrazione del PM10 campionato. Da fine 2006 l'Arpa gestisce altri 3 misuratori a raggi beta, due di PM10 e uno di PM2,5, di proprietà privata.

⁷ CAFE Scenario Analysis Report n. 7, 2005, tab 4.1

ESAME DEI DATI

Frazione PM10 e PM2,5

Nell'anno 2007 le concentrazioni di PM10 si confermano molto critiche; considerando infatti la media dei valori annuali delle stazioni per le quali si ha una serie storica a partire dal 2002, l'inquinante si conferma sostanzialmente stabile. Una nota positiva è il decremento delle concentrazioni medie di tutte le stazioni provinciali del 16 % rispetto all'anno scorso, che è stato però l'anno meno piovoso rispetto al decennio precedente, sia in termini di precipitazioni totali, sia in termini di giorni piovosi; nel 2006 si è inoltre verificato l'evento olimpico, che può aver aumentato il carico emissivo provinciale.

Come si può osservare in FIGURA 36, il valore limite annuale per la protezione della salute umana di 40 µg/m³ (D.M. 60/2002) è superato nelle stazioni ubicate in Torino, Carmagnola, Leinì e Borgaro T.se. Scende al di sotto del limite la stazione di Ivrea, che è stata trasferita in una zona più rappresentativa dell'esposizione media della popolazione, ma anche a Buttigliera e Pinerolo i valori sono inferiori al limite, dato positivo soprattutto per Buttigliera, dove negli anni passati le concentrazioni sono state più critiche. Le stazioni con i dati più favorevoli sono quelle di Druento-La Mandria (32 µg/m³), Susa (22 µg/m³), e Oulx (20 µg/m³), a cui si aggiunge quella di Baldissero Torinese (22 µg/m³), in zona collinare, installata dalla Aceaelectrabel a seguito della costruzione della centrale termoelettrica di Leinì e gestita da Arpa Piemonte.

Nella città di Torino la media delle medie annuali è 57 µg/m³, mentre la media dei dati annuali nelle stazioni fuori città è 38 µg/m³. I valori medi più alti si toccano nelle stazioni di Torino ITIS Grassi e Piazza Rivoli, con una media annua pari a 66 µg/m³ e 59 µg/m³ rispettivamente. Il valor medio di Torino-Lingotto è superiore a quello di Piazza Rivoli, ma l'analizzatore ha avuto un rendimento strumentale inferiore a quello di riferimento normativo (90%) e ha funzionato scorrettamente proprio nel periodo estivo, quando si registrano i valori di concentrazione più bassi, per cui la media annuale risulta alterata.

A Borgaro, per motivi di studio, è stato affiancato al campionario gravimetrico un analizzatore automatico a raggi beta, indicato con "Borgaro beta", ma i dati ufficiali da considerare sono quelli rilevati dal campionario gravimetrico.

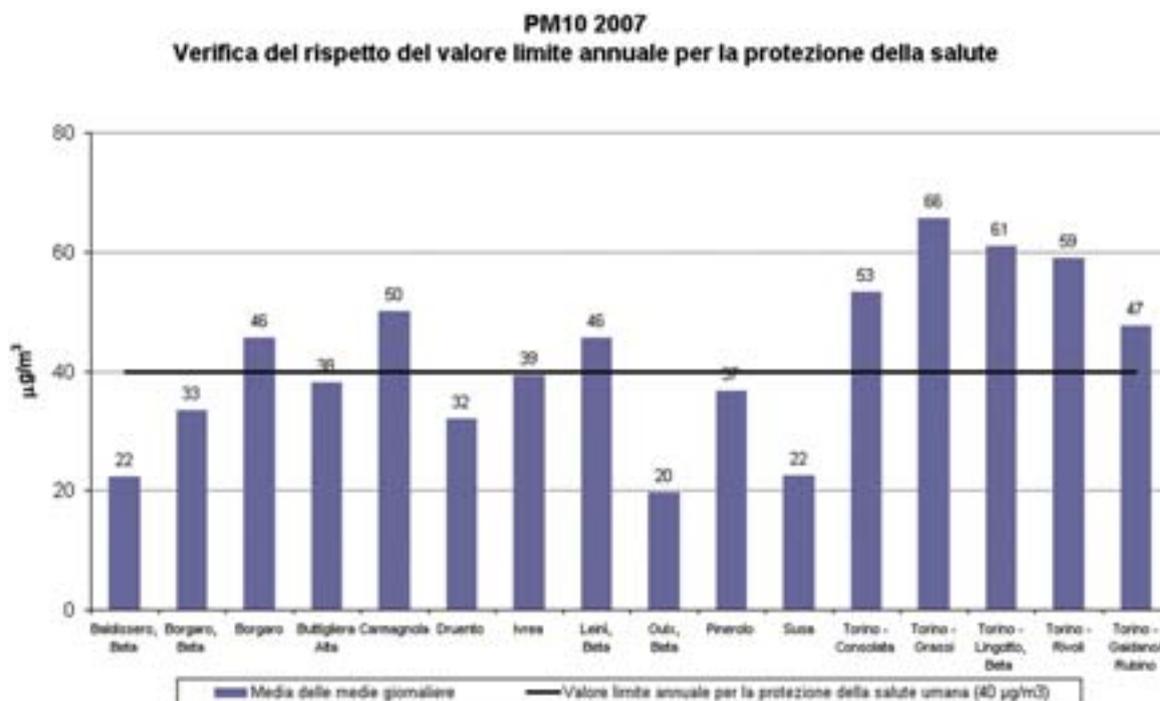


FIGURA 36: valore medio annuale misurato presso le stazioni di monitoraggio provinciali.

A fine marzo la stazione di via Gaidano, che si trovava in prossimità di un incrocio stradale e quindi monitorava concentrazioni legate strettamente al traffico, è stata trasferita nel parco adiacente in via Rubino, secondo la normativa europea che privilegia l'installazione di stazioni di "fondo", che danno valori rappresentativi di un'esposizione più generale e più ampia a livello spaziale. Le statistiche sono state calcolate considerando i valori come provenienti da un'unica stazione, denominata Torino Gaidano/Rubino.

La stazione torinese di traffico con il valor medio annuo più basso è Torino-Consolata, la cui media annua è scesa dai 67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dell'anno scorso ai 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ di quest'anno, con un decremento percentuale superiore (-21%) rispetto alla media torinese. La stazione si trova all'interno della zona a traffico limitato (ZTL) ambientale, dove il Comune di Torino ha limitato la circolazione dei veicoli più vetusti, pertanto il maggior decremento può essere imputabile al provvedimento, anche se il dato dovrà essere confermato dai rilevamenti degli anni futuri.

Per quanto riguarda le medie mensili, le concentrazioni maggiori si misurano da ottobre a marzo, periodo in cui si sommano i contributi delle emissioni da traffico veicolare, da impianti di riscaldamento ed industriali ed in concomitanza si verificano anche le condizioni meteorologiche più sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti. In primavera ed in estate non sono attive le emissioni da riscaldamento ed inoltre aumentano la piovosità, la ventosità e si hanno condizioni atmosferiche più instabili, pertanto il valore medio mensile di PM10, anche nelle stazioni più critiche, permane al di sotto dei 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A testimonianza della importante influenza dei fattori meteorologici si può osservare in FIGURA 37 l'andamento delle medie mensili di PM10 paragonato con quello delle precipitazioni atmosferiche per alcune stazioni di rilevamento. Ad esempio per la stazione di Torino-Consolata il valor medio di agosto è uguale a quello di maggio, perché a maggio la piovosità è stata superiore a quella di agosto, e questo ha compensato il minor traffico veicolare agostano.



FIGURA 37: andamento delle precipitazioni atmosferiche e delle concentrazioni di PM10 in alcune stazioni della Provincia di Torino nell'anno 2007.

Nel D.M. 60/2002 è stabilito anche un limite di 24 ore per la protezione della salute umana ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e un numero massimo di superamenti di tale valore nel corso dell'anno, pari a 35. In FIGURA 38 è rappresentato il numero di superamenti del limite di 24 ore avvenuti nell'anno 2007 per ogni stazione di rilevamento. In provincia di Torino questo limite è rispettato

nella stazione di Baldissero T.se, Oulx e Susa. Queste ultime due si trovano in posizione favorevole alla dispersione atmosferica in quanto interessate da brezze di monte e valle ed episodi di föhn, mentre la stazione di Baldissero è in posizione collinare e lontana da sorgenti emissive.

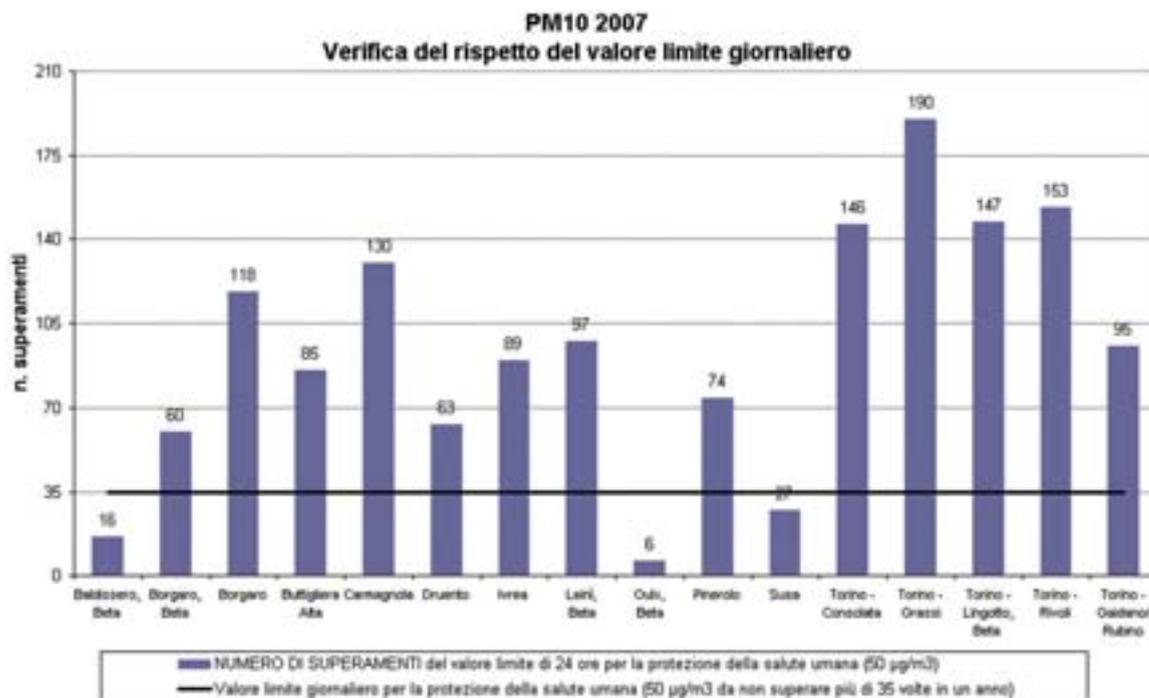


FIGURA 38: parametro PM10, numero di superamenti del limite di 24 ore per la protezione della salute ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media giornaliera).

La situazione più critica è rilevata nelle stazioni di Torino, dove la media del numero di superamenti è stata di 146, più di quattro volte il valore limite. Ad esempio per la stazione di Torino-Consolata la data del raggiungimento del trentacinquesimo superamento nel 2007 è stata il 9 febbraio e negli ultimi 7 anni è stata raggiunta sempre nei primi giorni di febbraio (nel 2002 addirittura il 4 febbraio, vale a dire nei primi 35 giorni di quell'anno il limite era stato superato tutti i giorni). La criticità del PM10 si presenta, però, su area più vasta, non solo provinciale, ma sull'intero bacino padano e in Europa in altre zone di vasta dimensione (ad esempio in Benelux, Polonia, Repubblica Ceca, Ungheria, sud della penisola iberica). Gli interventi di riduzione a livello locale sono stati di scarsa efficacia a causa dell'origine del PM10 che è un inquinante difficile da abbattere, perché non solo proviene direttamente dalle varie sorgenti di emissione (in generale tutte le combustioni: traffico veicolare, impianti di riscaldamento, impianti industriali, senza dimenticare quello generato dall'erosione dei pneumatici, dei freni e del manto stradale), ma si forma anche in atmosfera attraverso reazioni che coinvolgono altre sostanze, quali ossidi di azoto, ossidi di zolfo, ammoniaca, composti organici volatili. Il PM10 in quest'ultimo caso viene detto secondario e rappresenta un "fondo" su cui è molto complesso incidere per la sua riduzione. E' indicativo paragonare ad esempio l'andamento orario del PM10 con quello del monossido di azoto, inquinante di origine esclusivamente primaria (le combustioni), come si può osservare in FIGURA 39 dove è rappresentato il giorno "medio" degli anni dal 2002 al 2007. Il monossido di azoto, presenta dei picchi nelle ore di maggior traffico veicolare molto più ampi rispetto al PM10, che quindi sembra permanere per più tempo in atmosfera, anche nelle ore in cui il numero di sorgenti inquinanti è minore. Il PM10 in questo caso è misurato con una strumentazione automatica denominata Teom (Tapered Element Oscillating Microbalance), che fornisce valori orari di concentrazione.

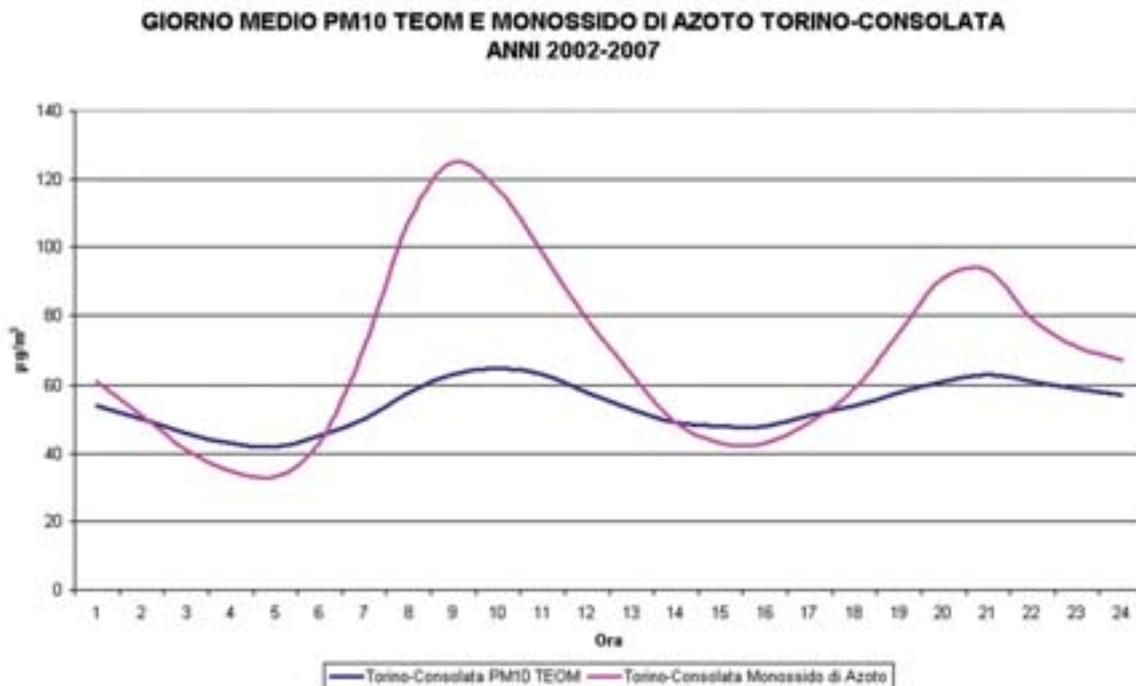


FIGURA 39: giorno medio di PM10 Teom e Monossido di Azoto misurati a Torino-Consolata.

La Regione Piemonte ha aggiornato l'inventario regionale delle emissioni in atmosfera al 2005 (<http://extranet.regione.piemonte.it/ambiente/aria/emissioni/inventario.htm>), stimando che il contributo dei trasporti al PM10 primario sia pari al 49% circa, di cui il 40,8% dovuto al trasporto su strada, mentre l'8,5% è dovuto ad altre sorgenti mobili e macchinari (trasporto ferroviario, traffico aereo, mezzi usati in agricoltura ed industria). Il trasporto su strada è anche la principale sorgente di ossidi di azoto (43,2%), precursori del PM10, mentre le emissioni di ammoniaca sono causate dall'agricoltura (94,6%) e l'SO₂ in prevalenza dai processi produttivi (57,8%). L'utilizzo dell'autovettura privata in Piemonte, continua ad essere predominante: nel 2007 il 76,2 % degli spostamenti è avvenuto con questa modalità, secondo le statistiche regionali sulla mobilità prodotte dall'Istituto Superiore di Formazione e Ricerca per i Trasporti.

Le sorgenti dei precursori del PM10 quindi sono molteplici e le azioni di riduzione dovranno essere coordinate su più fronti per essere efficaci.

Per poter valutare l'importanza del particolato secondario nel 2006 e 2007 è stato avviato uno studio per la caratterizzazione del particolato PM10 in alcune stazioni di rilevamento piemontesi, tra cui quella di Torino-Consolata. Sui campioni di particolato prelevati sono stati determinati ammonio, solfati, nitrati e cloruri; i risultati analitici possono essere approfonditi nel capitolo successivo relativo al particolato secondario.

In FIGURA 40 è rappresentato l'andamento storico del PM10 per le stazioni di Torino – via Consolata e Torino – Grassi, operative a partire dal 1999; come si può vedere le medie annuali sono stabili, con oscillazioni dovute molto probabilmente alle diverse caratteristiche meteorologiche degli anni.

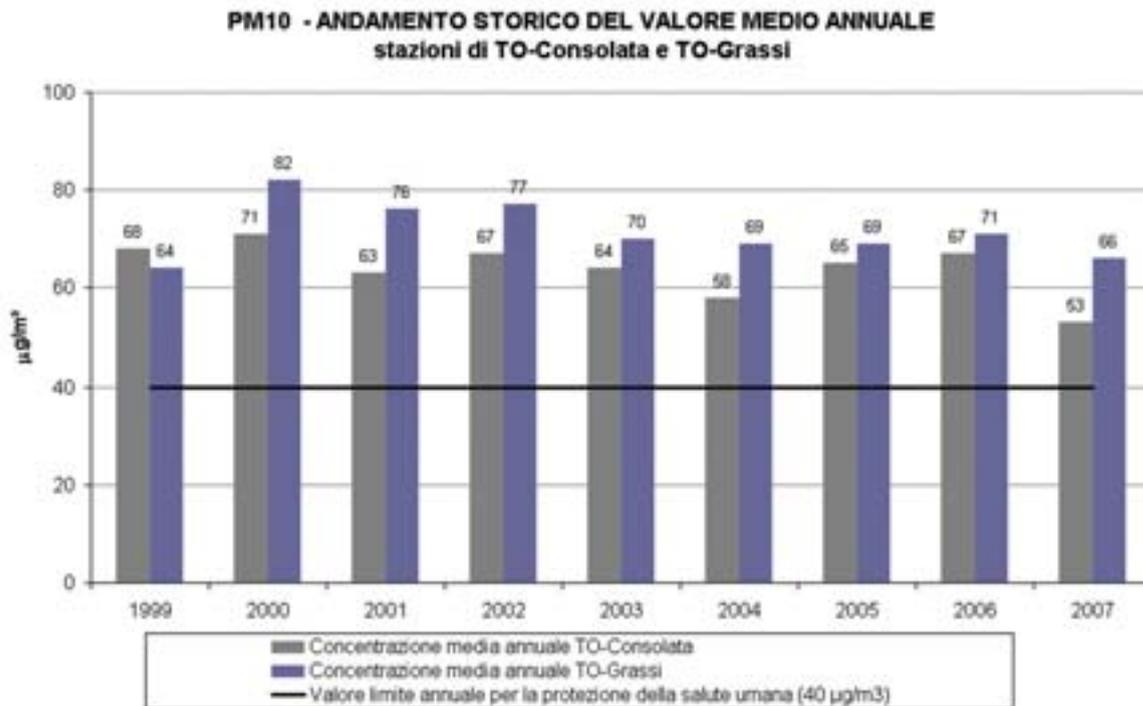


FIGURA 40: parametro PM10, concentrazioni medie annue rilevate nella città di Torino nel periodo 1999-2007.

L'11 giugno 2008 è stata pubblicata la nuova direttiva europea 2008/50/CE, che ha confermato i limiti stabiliti per il PM10 e ha introdotto un valore obiettivo per le particelle sottili PM2,5 pari a 25 µg/m³ da raggiungere entro il 1 gennaio 2010. In Provincia di Torino sono attivi un campionario gravimetrico di PM2,5 nella stazione di Torino – Lingotto e un campionario a raggi beta nella stazione di Leinì, di proprietà privata, ma gestito da Arpa Piemonte. Su base annuale la concentrazione media di PM2,5 nella stazione di Torino – Lingotto è di 36 µg/m³, quindi al di sopra del valore obiettivo europeo, mentre a Leinì è di 40 µg/m³, ma nel 2007 lo strumento ha avuto problemi tecnici, per cui la percentuale di dati validi è inferiore al 60 % e non adeguata a fornire una media annuale significativa dal punto di vista statistico.

In FIGURA 41 sono riportati i valori mensili di PM2,5 a confronto con quelli di PM10 a Torino – Lingotto.

Si osserva come la frazione più fine incida in maniera maggiore nei mesi invernali, in particolare nei mesi di gennaio e febbraio, mentre il contributo più basso di PM2,5 si rileva in estate tra giugno e settembre, nonostante in tale periodo le reazioni di formazione di particolato secondario siano favorite dalla maggiore intensità della radiazione solare.

I dati disponibili non permettono di fornire un'interpretazione esaustiva della variabilità temporale del rapporto PM2,5/PM10 ma si possono effettuare alcune considerazioni.

È presumibile che, durante i mesi invernali, le maggiori concentrazioni in prossimità del suolo di inquinanti gassosi precursori di particolato secondario (ossidi di azoto, idrocarburi ecc.) giochi un ruolo significativo, in quanto il particolato che si origina da tali precursori va a incidere quasi esclusivamente sulla frazione più fine. Durante i mesi caldi la diminuzione della concentrazione dei precursori di particolato secondario in prossimità del suolo è solo parzialmente compensata dall'aumento della velocità della trasformazione di gas in particolato.

Un ulteriore fattore da valutare è la distribuzione dell'incidenza percentuale delle fonti di particolato primario fine nei diversi periodi dell'anno.

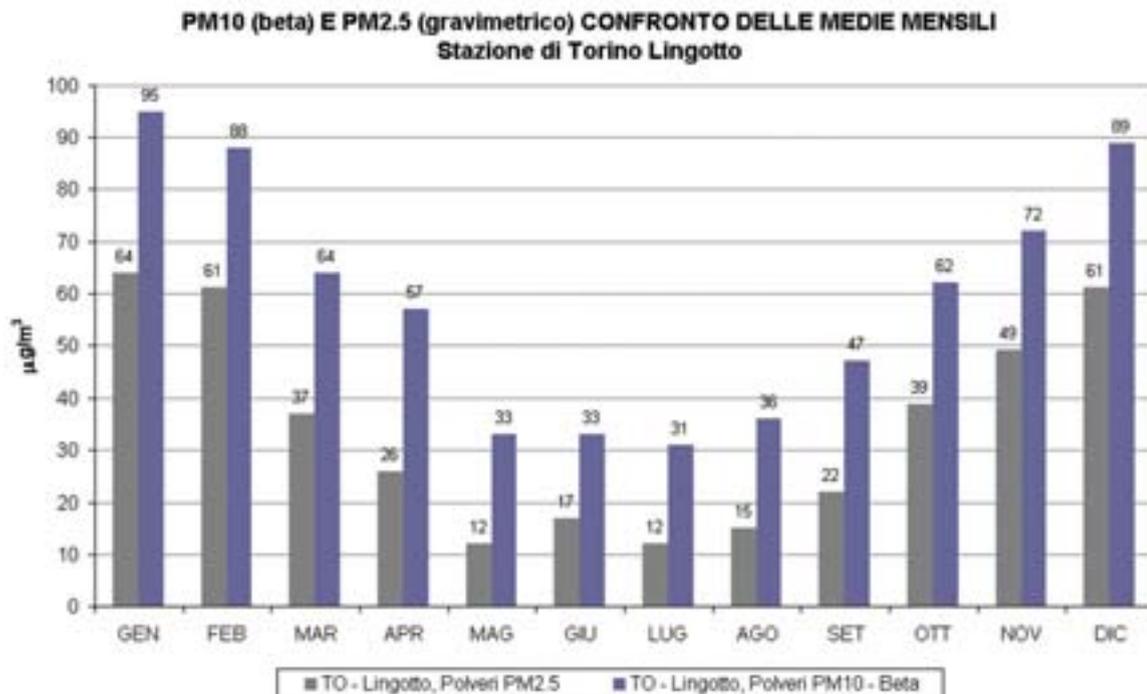


FIGURA 41: confronto tra PM2,5 e PM10 presso la stazione di Torino – Lingotto.

In FIGURA 42 e in FIGURA 43 è invece riportato l'andamento dei valori medi del PM2,5 e del PM10 di Torino-Lingotto e Leinì lungo l'arco della settimana. Come si può osservare i massimi sono raggiunti per entrambi i parametri nel giorno di venerdì, ma la variabilità del PM2,5 per entrambe le stazioni è molto più ridotta rispetto al PM10. Diversa è invece per i due siti l'incidenza percentuale del PM2,5 rispetto al PM10: nel caso di Torino – Lingotto il PM2,5 rappresenta mediamente il 59% del PM10, mentre a Leinì è l'89%. Tale differenza può essere spiegata considerando la diversa ubicazione delle due stazioni, entrambe di fondo. Quella di Lingotto è situata in zona urbana (presenti un maggior numero di fonti di emissione) mentre la stazione di Leinì è situata in zona suburbana (meno esposta a sorgenti dirette di particolato); pertanto si può ipotizzare che il particolato presente, più fine, sia prevalentemente di origine secondaria e rappresenti una componente di fondo del particolato totale, diffuso su più larga scala.

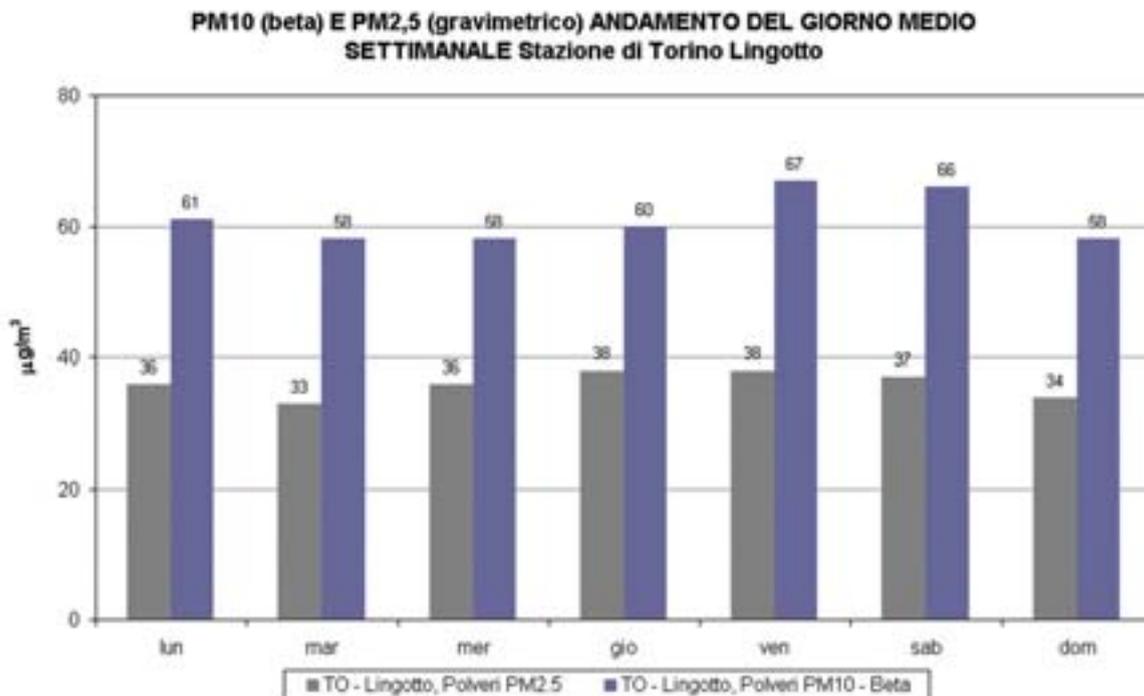


FIGURA 42: andamento del giorno medio settimanale del PM2,5 e PM10 presso la stazione di Torino-Lingotto.

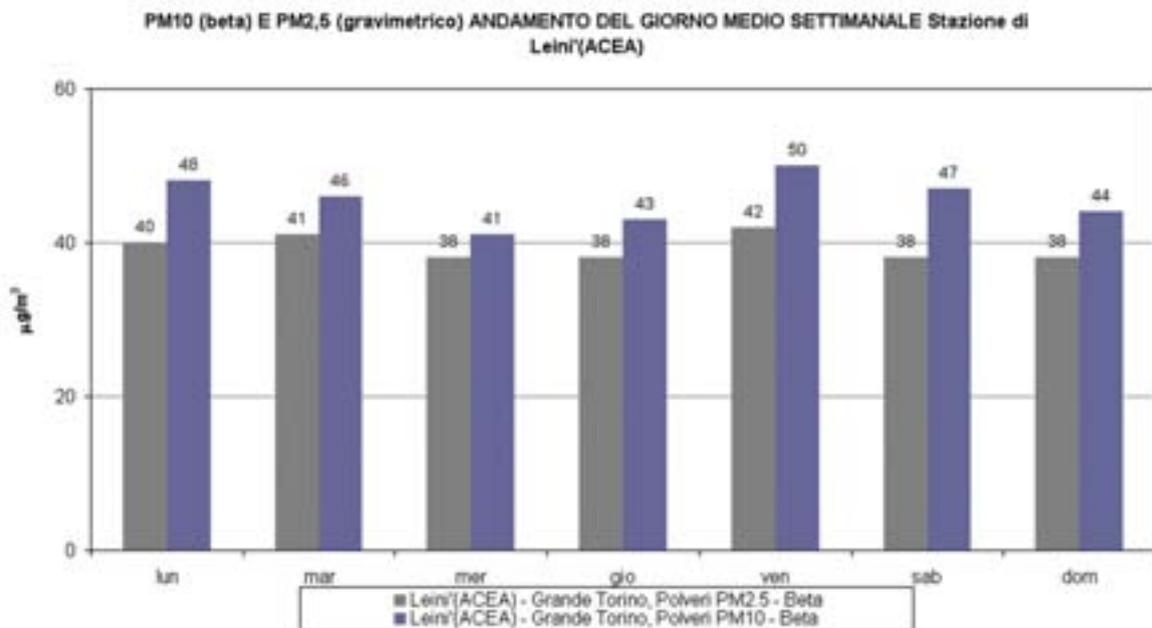


FIGURA 43: andamento del giorno medio settimanale del PM2,5 e PM10 presso la stazione di Leini (ACEA).

Particelle sospese totali

L'attenzione normativa si è incentrata sulla frazione di particolato PM10 e PM2,5 negli ultimi anni, in quanto gli studi epidemiologici hanno evidenziato che le particelle più fini 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 misurate dall'anno 2005 esclusivamente presso la stazione di Torino - via Consolata. 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, che ne costituisce circa il 60-70 %, anche in periodi nei quali questo parametro non veniva misurato.

In FIGURA 44 sono riportate le concentrazioni medie annue rilevate negli ultimi 27 anni. I valori che si misurano oggi sono molto minori rispetto agli anni '80, ma dal 1999 si può osservare che sono stabili e non hanno una decisa tendenza al decremento, come attestano anche le medie annuali del PM10. Il 2007 ha però il valore più basso mai misurato presso questa stazione, un segnale incoraggiante se confermato dalle rilevazioni dei prossimi anni. La diminuzione registrata rispetto ai primi anni di rilevamento si è 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, e alla diminuzione del biossido di zolfo, precursore del particolato. Tuttavia la stabilità degli ultimi 9 anni suggerisce la necessità di adottare strategie ancora più incisive per la riduzione ulteriore del particolato.

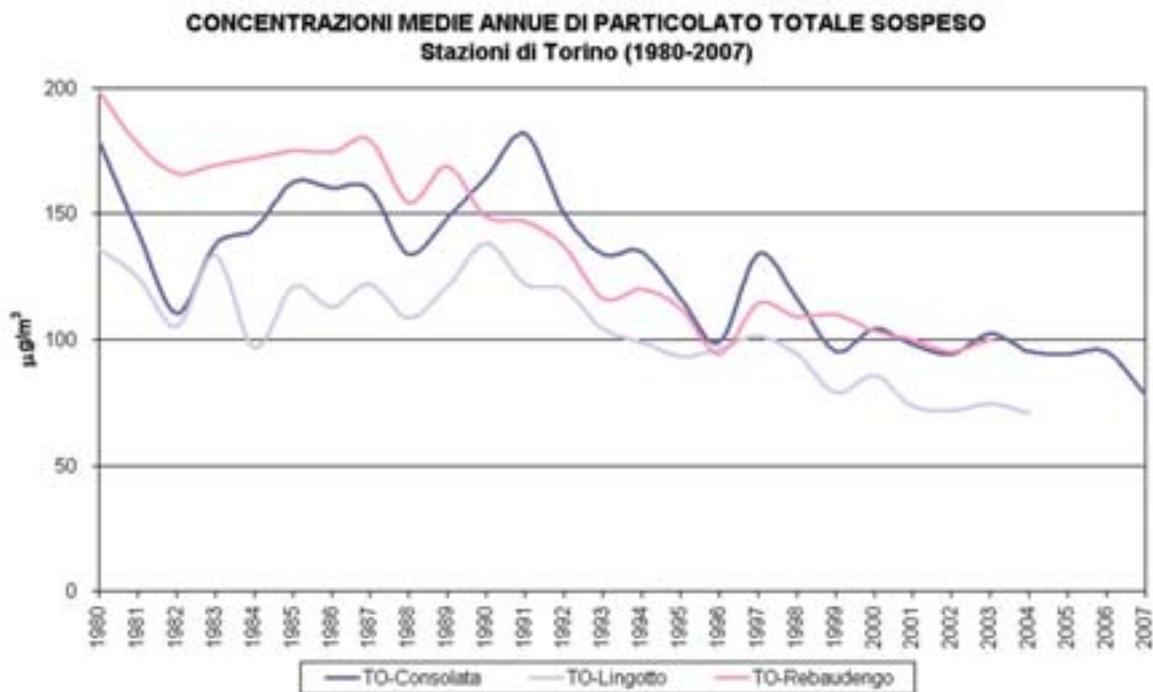


FIGURA 44: parametro PTS, medie annuali misurate nelle stazioni di Torino dal 1980 al 2007.

| STAZIONE | Rendim. Strument. 2007 (% dati validi) | VALORE MEDIO ANNUO Valore limite annuale per la protezione della salute umana: 40 µg/m ³ | | | | | | | | | | NUMERO DI SUPERAMENTI del valore limite di 24 ore per la protezione della salute umana (50 µg/m ³) | | | | | | | | | |
|--|--|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | |
| BALDISSERO (BETA) | 92% | - | - | - | - | - | - | - | 23 | 22 | - | - | - | - | - | - | - | 9 | 16 | | |
| BORGARO (BETA) | 84% | - | - | - | - | - | - | 44 | 33 | - | - | - | - | - | - | - | - | 110 | 60 | | |
| BORGARO T | 90% | - | - | 52 | 47 | 43 | 46 | 51 | 56 | 46 | - | 67 | 125 | 103 | 130 | 143 | 161 | 118 | 118 | | |
| BUTTIGLIERA ALTA | 92% | 60 | 53 | 44 | 43 | 42 | 43 | 46 | 46 | 38 | - | - | 19 | 108 | 105 | 132 | 109 | 85 | 85 | | |
| CARMAGNOLA | 87% | 91 | 71 | 46 | 51 | 50 | 58 | 47 | 61 | 50 | - | - | 25 | 170 | 107 | 125 | 171 | 130 | 130 | | |
| DRUENTO - LA MANDRIA | 91% | - | - | - | - | 30 | 33 | 31 | 36 | 38 | 32 | - | 7 | 59 | 46 | 83 | 77 | 63 | 63 | | |
| IVREA ⁽¹⁾ | 89% | - | - | - | - | 48 | 45 | 43 | 47 | 46 | 39 | - | 23 | 85 | 88 | 123 | 114 | 89 | 89 | | |
| LEINI ⁽¹⁾ (BETA) | 77% | - | - | - | - | - | - | - | - | 43 | 46 | - | - | - | - | - | - | 52 | 97 | | |
| OULX (BETA) | 95% | - | - | - | - | - | - | - | - | 27 | 20 | - | - | - | - | - | - | 31 | 6 | | |
| PINEROLO | 90% | - | - | - | - | 36 | 38 | 38 | 42 | 43 | 37 | - | 14 | 84 | 77 | 102 | 96 | 74 | 74 | | |
| SUSA | 91% | - | - | - | - | 31 | 34 | 30 | 29 | 30 | 22 | - | 5 | 59 | 42 | 43 | 40 | 27 | 27 | | |
| TORINO - CONSOLATA | 92% | 63 | 68 | 71 | 63 | 67 | 64 | 58 | 65 | 67 | 53 | 84 | 186 | 185 | 173 | 199 | 184 | 146 | 146 | | |
| TORINO - GRASSI | 94% | - | 64 | 82 | 76 | 77 | 70 | 69 | 70 | 71 | 66 | 98 | 264 | 254 | 200 | 213 | 197 | 194 | 190 | | |
| TORINO - LINGOTTO (BETA) | 79% | - | - | - | - | - | - | - | 43 | 64 | 61 | - | - | - | - | - | 98 | 172 | 147 | | |
| TORINO - RIVOLI | 84% | - | - | - | - | 44 | 49 | 39 | 54 | 71 | 59 | - | 73 | 129 | 65 | 142 | 186 | 153 | 153 | | |
| TORINO - GAIDANO/RUBINO ⁽²⁾ | 82% | - | - | - | - | 36 | 42 | 50 | 51 | 66 | 47 | - | 50 | 102 | 118 | 130 | 183 | 95 | 95 | | |

(1) fino al 06/11/2006 la stazione era ubicata in Piazza Freguglia

(2) dal 29/03/2007 la stazione è stata trasferita in Via Rubino

TABELLA 29: parametro PM10, valutazione statistica anni 1998-2007.

| STAZIONE | VALORE MEDIO ANNUO | | | | | | | | | | Rendim. Strument. 2007 (% dati validi) |
|-------------------------|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|
| | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | |
| TORINO - CONSOLATA, PTS | 116 | 95 | 104 | 98 | 94 | 102 | 95 | 95 | 95 | 78 | 77% |

TABELLA 31: parametro polveri totali (PTS), valutazione statistica anni 1998-2007.

| STAZIONE | VALORE MEDIO ANNUO | | Rendim. Strument. 2007 (% dati validi) |
|-------------------------------------|--------------------|------|--|
| | 2006 | 2007 | |
| LEINI ⁽¹⁾ , PM2.5 (BETA) | 33 | 40 | 57% |
| TORINO - LINGOTTO, PM2.5 | 40 | 36 | 86% |

TABELLA 30: parametro PM2.5, valutazione statistica anni 2006-2007.

INTRODUZIONE

Le misure di particolato in aria ambiente sono di norma riferite alla concentrazione in massa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) che è il parametro utilizzato per la definizione degli standard di qualità dell'aria. Negli ultimi anni è però cresciuto l'interesse anche per la misura della concentrazione numerica del particolato (n° di particelle/ m^3), poiché la ricerca scientifica ha evidenziato che anche tale parametro può avere rilevanza in termini di impatto sulla salute.

Come esposto sinteticamente nel seguito, la concentrazione numerica non è di norma correlata con quella in massa e richiede quindi uno studio ad hoc.

Va innanzitutto considerato che, sulla base dei meccanismi di formazione e rimozione, il particolato aerodisperso viene classificato in tre intervalli dimensionali:

- particolato ultrafine, con diametro inferiore a $0,1 \mu\text{m}$, di origine primaria (combustione) e secondaria (fenomeni di nucleazione);
- particolato fine, con diametro compreso tra $0,1$ e $2,5 \mu\text{m}$, con origine primaria (combustione) e secondaria (fenomeni di coagulazione e condensazione)⁸;
- particolato grossolano, con diametro compreso tra $2,5$ e $10 \mu\text{m}$, di origine primaria (erosione dei suoli, ceneri volatili da processi industriali, aerosol marino, emissioni biogeniche ecc.).

Una delle principali conseguenze dei complessi meccanismi di formazione e rimozione del particolato che danno origine alla classificazione riportata è che la distribuzione delle particelle aerodisperse rispetto al diametro aerodinamico varia significativamente al variare del parametro considerato, oltre che del sito di campionamento. Tali differenze sono ben illustrate in FIGURA 45 e in FIGURA 46 dove sono riportati due esempi di distribuzioni del numero, del volume e della massa del particolato aerodisperso in funzione del diametro aerodinamico. Nel primo caso si osserva che la distribuzione in numero ha un massimo assoluto nel campo delle particelle ultrafini, mentre la distribuzione in massa presenta il massimo assoluto nel campo delle particelle fini e due massimi relativi in quelli delle particelle ultrafini e delle particelle grossolane. Il secondo esempio, che considera particelle con diametro aerodinamico a partire da $0,1 \mu\text{m}$, evidenzia rispetto al precedente una distribuzione del tutto diversa per quello che riguarda la massa, con il massimo assoluto nel campo delle particelle grossolane.

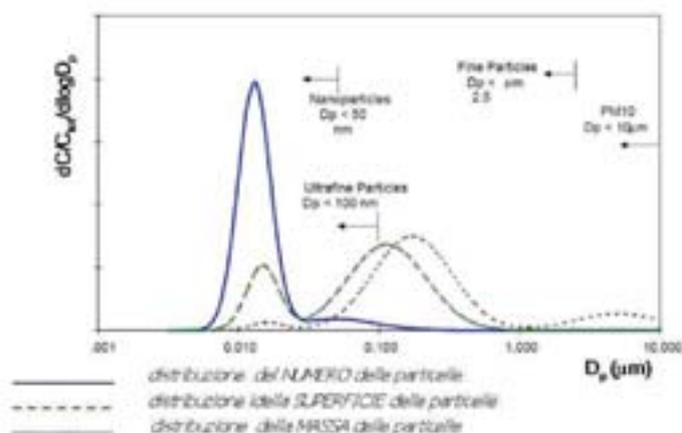


FIGURA 45: distribuzione del numero, della massa e del volume delle particelle aerodisperse rispetto al diametro aerodinamico⁽⁹⁾.

⁸ Per la descrizione di dettaglio dei meccanismi di nucleazione, coagulazione e condensazione si veda il capitolo sul particolato secondario.

⁹ Pastorello "Stima del contributo delle emissioni da traffico alla concentrazione di particolato in atmosfera", Tesi di Dottorato di Ricerca in Ingegneria Sanitaria-Ambientale - Politecnico di Milano, 2006.

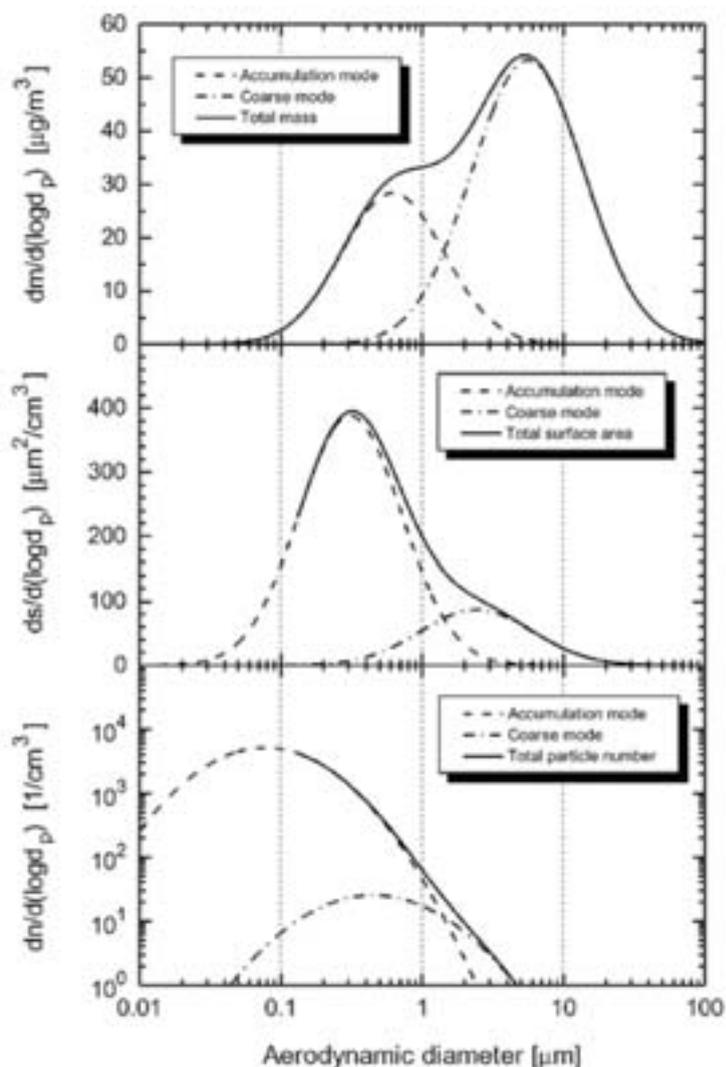


FIGURA 46: distribuzione del numero, della massa e del volume delle particelle aerodisperse rispetto al diametro aerodinamico relativa ad un sito di fondo urbano nella città di Budapest⁽¹⁰⁾.

METODO DI MISURA

Il campione d'aria da analizzare viene introdotto nello strumento attraverso una testa di prelievo priva di impattore. Nella camera di misura il campione è investito da una radiazione laser e attraverso un fotodiode ad alta velocità viene analizzata la radiazione diffusa dalle particelle ortogonalmente al raggio incidente; è così possibile determinare la concentrazione numerica di particelle per una serie di classi dimensionali. In particolare, lo strumento utilizzato per lo studio (Environmental Dust Monitor 107 - Grimm Aerosol Technik) misura la concentrazione numerica su 31 classi dimensionali nell'intervallo 0,25 - 32 μm . Il software di acquisizione dati è stato programmato per registrare la concentrazione media di particelle relativa ad un intervallo temporale di 15 minuti, a partire da questi dati si sono calcolate le medie orarie, quelle mensili e quella annuale.

10 Salma et al. "Modal characteristics of particulate matter in urban atmospheric aerosols", *Microchemical Journal*, 73, (2002), 19.

ESAME DEI DATI

La campagna di misura è stata condotta tra il mese di novembre del 2006 e il mese di settembre del 2007 con alcune interruzioni dovute a guasti ed anomalie strumentali; queste ultime sono state più frequenti nel semestre caldo (aprile-settembre), pertanto nell'interpretazione dei dati bisogna tener presente la minor percentuale di dati validi relativa a questo periodo. La strumentazione è stata ubicata presso la stazione di TO-Consolata su un ampio terrazzo posto ad un'altezza di circa 15 metri dal suolo.

A causa di problematiche legate al software strumentale i dati relativi alle classi dimensionali nell'intervallo 8,5 - 32 μm sono disponibili solo per un numero limitato di mesi e quindi non sono stati inseriti nelle elaborazioni che seguono. Si noti tuttavia che sulla base dei dati raccolti emerge come, in termini di numero di particelle, le classi con diametro superiore a 8,5 μm rappresentino una frazione inferiore allo 0,01% del totale, quindi trascurabile.

Nell'esame dei dati illustrato di seguito si fa comunemente riferimento a quattro classi dimensionali (0,25-0,5 μm ; 0,5-1,0 μm ; 1,0-2,5 μm ; 2,5-8,5 μm) ottenute accorpando i dati relativi a più classi. Tale ripartizione, che distingue tra particelle grossolane e fini e, all'interno di quest'ultime, individua tre frazioni, è del tutto convenzionale e, come indica l'insieme dei dati raccolti, la distribuzione del numero di particelle in funzione del diametro aerodinamico ha caratteristiche continue; tuttavia l'accorpamento dei dati in quattro gruppi permette di meglio evidenziare le diverse caratteristiche del materiale particellare al variare della sua dimensione.

La concentrazione numerica media relativa all'intero periodo di campionamento (11 mesi) risulta essere di $4,9 \cdot 10^8$ particelle/ m^3 (valore calcolato come media delle concentrazioni medie giornaliere). Per confronto si consideri che in un sito urbano da traffico ubicato nella città di Roma si è determinato un valore medio di $4,6 \cdot 10^{10}$ particelle/ m^3 , nel periodo aprile 2001 - marzo 2002, e di $3,1 \cdot 10^{10}$ particelle/ m^3 nel corso del 2006¹¹; come atteso tali dati sono quasi due ordini di grandezza superiori a quelli determinati a Torino, in quanto sono relativi a particelle con diametro aerodinamico superiore a 0,01 μm e quindi comprendono anche le particelle ultrafini che non sono state quantificate nella campagna di monitoraggio condotta nel sito di TO-Consolata. In TABELLA 32 si riporta il dettaglio delle concentrazioni medie mensili totali di particelle e quelle relative a ciascuna delle classi dimensionali accorpate.

Il diagramma di FIGURA 47 mostra la ripartizione percentuale del numero di particelle nelle 22 classi dimensionali monitorate (diametro aerodinamico compreso tra 0,25 e 8,5 μm); quasi il 95% delle particelle contate ha un diametro aerodinamico compreso tra 0,25 e 0,5 μm e più del 99% entro 1 μm . Un massimo assoluto si colloca in corrispondenza della classe dimensionale 0,25-0,28 μm , che rappresenta il limite inferiore dell'intervallo considerato; concentrazioni numeriche superiori si registrano sicuramente per valori inferiori del diametro aerodinamico, ma la strumentazione utilizzata non consente il conteggio di queste particelle. I dati a disposizione indicano anche un massimo relativo che si colloca tra 0,50 e 0,60 μm , la cui presenza andrà meglio definita con successive campagne di monitoraggio.

La FIGURA 48 riporta le concentrazioni medie mensili di particelle per il periodo novembre 2006 - settembre 2007; a titolo di confronto nello stesso diagramma è mostrato anche l'andamento delle concentrazioni medie mensili di PM₁₀ nello stesso intervallo temporale. La concentrazione numerica di particelle presenta un andamento di tipo stagionale con i massimi che si collocano nella stagione fredda e, come conseguenza nel corso di quest'ultima di una maggiore dinamicità atmosferica e del mancato contributo degli impianti di riscaldamento domestico, i minimi sono in quella calda. In particolare i valori più elevati si registrano nel quadrimestre novembre-febbraio e quelli più bassi nel periodo maggio-luglio, con questi ultimi che rappresentano circa un quarto dei valori massimi.

¹¹ Marconi et al. "Two-years of fine and ultrafine particles measurements in Rome, Italy", *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 70, (2007), 213;

Marconi et al., "Livelli di materiale particellare ultrafine nell'atmosfera e la loro relazione con il traffico veicolare", *Atti del seminario "Le emissioni industriali ed immisioni. I nuovi problemi posti dalle particelle ultrafini"*, ECOMONDO 2007 - Rimini, 9 novembre 2007.

L'andamento della concentrazione numerica di particelle è simile a quella del PM10, soprattutto per quello che concerne la stagione fredda. Infatti è possibile osservare una quasi completa sovrapposibilità per il periodo novembre-marzo, mentre nella stagione calda si osservano alcuni scostamenti, in particolare per quello che riguarda i mesi di aprile, di agosto e di settembre. Poiché, come evidenziato in precedenza, la concentrazione numerica riportata è determinata quasi esclusivamente dalle particelle con diametro inferiore a $0,5 \mu\text{m}$, e poiché il suo andamento nel periodo considerato è analogo a quello del PM10, ne consegue che il maggior contributo nel determinare i valori di quest'ultimo (espressi come $\mu\text{g}/\text{m}^3$) dovrà provenire dalle particelle di tipo fine. La maggiore sovrapposibilità dei due andamenti nella stagione fredda indicherebbe quindi per questo periodo un maggior contributo al valore di PM10 da parte delle particelle fini rispetto a quelle grossolane; una conferma in questo senso è data dal rapporto tra PM2,5 e PM10 registrato per la stazione di TO-Lingotto, che è di circa 0,7 nel periodo novembre 2006 – marzo 2007 e di circa 0,5 nel periodo aprile 2007 – settembre 2007. La diminuzione del rapporto PM2.5/PM10 è tipica dei mesi estivi, come evidenziato nel capitolo dedicato al particolato sospeso.

In FIGURA 49 è mostrato per ciascun giorno del periodo di misura il rapporto tra le concentrazioni numeriche medie della classe dimensionale $2,5\text{-}8,5 \mu\text{m}$, corrispondente alle particelle più grossolane, e di quella $0,25\text{-}0,5 \mu\text{m}$, comprendente le particelle più fini tra quelle conteggiate. Tale rapporto ($q_{c/f}$) presenta sempre valori inferiori a 0,01, a conferma che il numero di particelle grossolane è di almeno due ordini di grandezza inferiore rispetto al numero di particelle con diametro aerodinamico compreso tra $0,25$ e $0,50 \mu\text{m}$.

Considerando più nel dettaglio i valori del rapporto $q_{c/f}$ emerge come esso sia quasi sempre inferiore a 0,001 nel periodo novembre 2006 – marzo 2007, mentre tra il mese di aprile e quello di settembre del 2007 presenti valori mediamente più elevati, frequentemente maggiori di 0,001, con massimi che superano 0,003. Pertanto $q_{c/f}$ presenta un andamento di tipo stagionale del tutto confrontabile con quello della velocità media giornaliera del vento, riportato anch'esso in FIGURA 49. Una corrispondenza tra i due parametri considerati è presente sia per quello che riguarda i valori medi, più elevati nella stagione calda, sia per quello che riguarda i picchi, più numerosi nella stagione calda, ma presenti talvolta anche in quella fredda. Da quanto illustrato emerge come i valori più bassi del rapporto $q_{c/f}$ nella stagione fredda possano riflettere la maggior frequenza di fenomeni di coagulazione e condensazione, cause principali di formazione di particolato fine, a seguito di condizioni atmosferiche più stabili; per contro i valori più elevati nella stagione calda sono da attribuirsi da un lato al maggior rimescolamento atmosferico che riduce, in generale, la concentrazione delle particelle, dall'altro ai fenomeni di risospensione del particolato più grossolano che sono più significativi in presenza di maggiore ventilazione e di più bassa umidità. A tale proposito si osservi come i massimi del rapporto nel corso del periodo freddo si sono registrati in corrispondenza di fenomeni di föhn, caratterizzati da elevata velocità del vento e bassa umidità.

La FIGURA 50 riporta l'andamento del giorno medio relativamente alla concentrazione numerica di particelle per ciascuna delle quattro classi dimensionali accorpate, distinguendo tra periodo freddo (novembre 2006 – marzo 2007) e periodo caldo (aprile 2007 – settembre 2007). Per quello che riguarda il particolato grossolano ($2,5\text{-}8,5 \mu\text{m}$), a conferma di quanto già esposto in precedenza, la concentrazione numerica, lungo tutto l'arco della giornata, è superiore nel semestre aprile – settembre; una situazione opposta si osserva per le altre tre classi dimensionali prese in esame. In particolare, la concentrazione numerica di particelle nel periodo novembre – marzo risulta essere doppia rispetto a quella del periodo aprile – settembre per la classe $0,25\text{-}0,5 \mu\text{m}$ e da tre a quattro volte superiore nel caso della classe $0,5\text{-}1,0 \mu\text{m}$; la differenza è più contenuta per la classe $1,0\text{-}2,5 \mu\text{m}$.

Nel caso di particelle con diametro aerodinamico inferiore a $1 \mu\text{m}$ si hanno andamenti scarsamente modulati, con massimi e minimi poco accentuati, come conseguenza di concentrazioni elevate anche nelle ore notturne. In particolare nel caso della classe dimensionale $0,25\text{-}0,5 \mu\text{m}$ e per il periodo freddo i massimi assoluti di concentrazione di particelle si osservano tra le ore 23 e le ore 2; tale situazione è presumibilmente determinata dalla maggiore stabilità atmosferica nelle ore notturne e dall'origine prevalentemente secondaria

delle particelle con diametro aerodinamico compreso tra 0,25 e 1,0 μm . Per le due classi dimensionali 1-2,5 μm e 2,5-8,5 μm si hanno andamenti significativamente più modulati, con evidenza di due massimi in corrispondenza delle ore di traffico veicolare più intenso. Si noti infine che in entrambi i casi il massimo assoluto, che ha luogo nel corso della mattinata, si presenta più tardi nel periodo freddo rispetto a quello caldo, presumibilmente a seguito della maggiore stabilità atmosferica nelle ore centrali della giornata dovuta al minore irraggiamento solare.

L'insieme dei dati a disposizione si presenta limitato essendo relativo ad un periodo relativamente breve, 11 mesi, e ad un unico sito. Tuttavia tali dati hanno fornito utili informazioni per una più completa caratterizzazione del particolato atmosferico, in merito soprattutto alla concentrazione numerica di particelle in funzione del loro diametro aerodinamico e alle differenze tra frazione fine e grossolana del materiale particellare aerodisperso. Sono di sicuro interesse nuove misure della concentrazione numerica di particelle che amplino nel tempo e nello spazio quelle già eseguite, con la caratterizzazione di nuovi siti, in particolare di fondo urbano; è altresì auspicabile un'estensione dell'intervallo dimensionale monitorato con il conteggio delle particelle ultrafini, quelle con diametro aerodinamico inferiore a 0,1 μm .

| MESE | Rendimento strumentale (% dati validi) | Concentrazione media mensile di particelle aerodisperse (n° particelle/m ³) | | | | |
|--------|--|--|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | TOTALE (0,25-8,5 μm) | 0,25-0,5 μm | 0,5-1,0 μm | 1,0-2,5 μm | 2,5-8,5 μm |
| nov-06 | 68% | 7,94·10⁸ | 7,30·10 ⁸ | 6,18·10 ⁷ | 1,89·10 ⁶ | 2,15·10 ⁵ |
| dic-06 | 99% | 6,72·10⁸ | 6,39·10 ⁸ | 3,20·10 ⁷ | 1,05·10 ⁶ | 1,60·10 ⁵ |
| gen-07 | 99% | 6,69·10⁸ | 6,26·10 ⁸ | 4,18·10 ⁷ | 1,46·10 ⁶ | 1,45·10 ⁵ |
| feb-07 | 100% | 7,35·10⁸ | 6,80·10 ⁸ | 5,38·10 ⁷ | 1,30·10 ⁶ | 1,54·10 ⁵ |
| mar-07 | 100% | 4,04·10⁸ | 3,79·10 ⁸ | 2,41·10 ⁷ | 8,50·10 ⁵ | 1,33·10 ⁵ |
| apr-07 | 100% | 4,23·10⁸ | 4,03·10 ⁸ | 1,87·10 ⁷ | 6,75·10 ⁵ | 1,67·10 ⁵ |
| mag-07 | 54% | 1,65·10⁸ | 1,60·10 ⁸ | 4,84·10 ⁶ | 4,77·10 ⁵ | 1,05·10 ⁵ |
| giu-07 | 26% ⁽¹⁾ | 2,19·10⁸ | 2,12·10 ⁸ | 6,42·10 ⁶ | 5,35·10 ⁵ | 1,18·10 ⁵ |
| lug-07 | 65% | 1,63·10⁸ | 1,57·10 ⁸ | 4,59·10 ⁶ | 8,38·10 ⁵ | 2,48·10 ⁵ |
| ago-07 | 71% | 4,13·10⁸ | 4,01·10 ⁸ | 1,04·10 ⁷ | 1,50·10 ⁶ | 3,00·10 ⁵ |
| set-07 | 50% | 5,11·10⁸ | 4,95·10 ⁸ | 1,38·10 ⁷ | 1,80·10 ⁶ | 4,45·10 ⁵ |

(1) La percentuale molto bassa di dati validi è dovuta ad un prolungato intervento di riparazione resosi necessario a seguito di un intenso fenomeno meteorologico verificatosi nel corso del mese di giugno

TABELLA 32: concentrazione media mensile di particelle aerodisperse nel sito di TO-Consolata – novembre 2006 - settembre 2007.

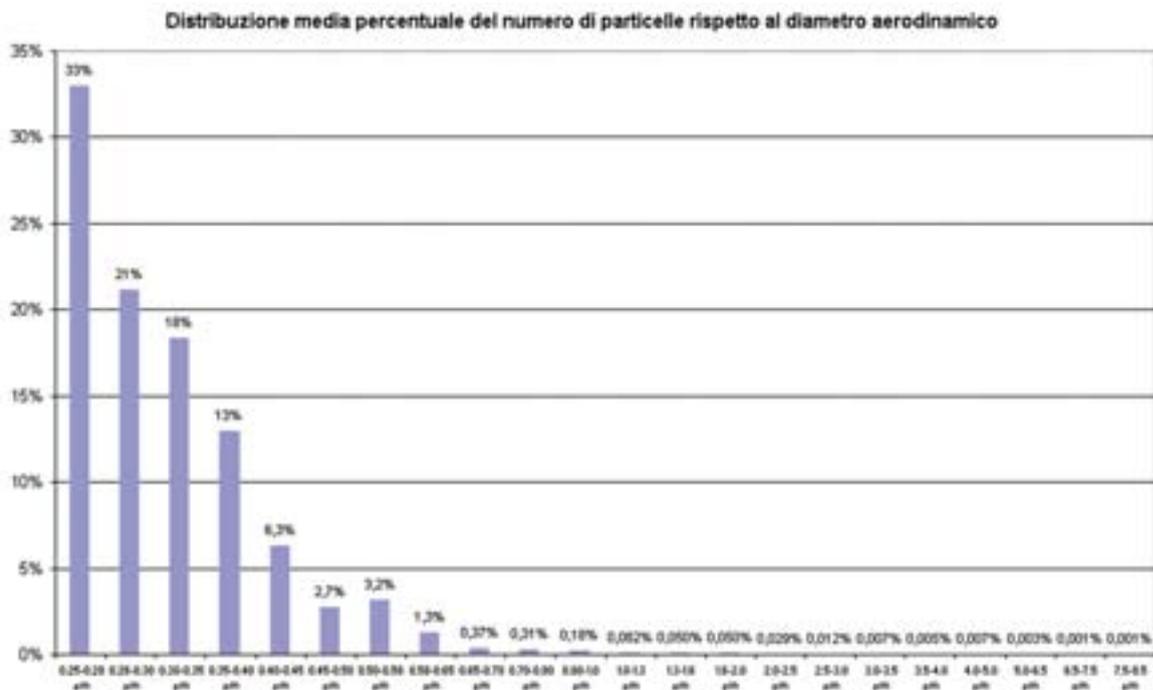


FIGURA 47: distribuzione media percentuale del numero di particelle per classi dimensionali (intervallo del diametro aerodinamico 0,25-8,5 µm).

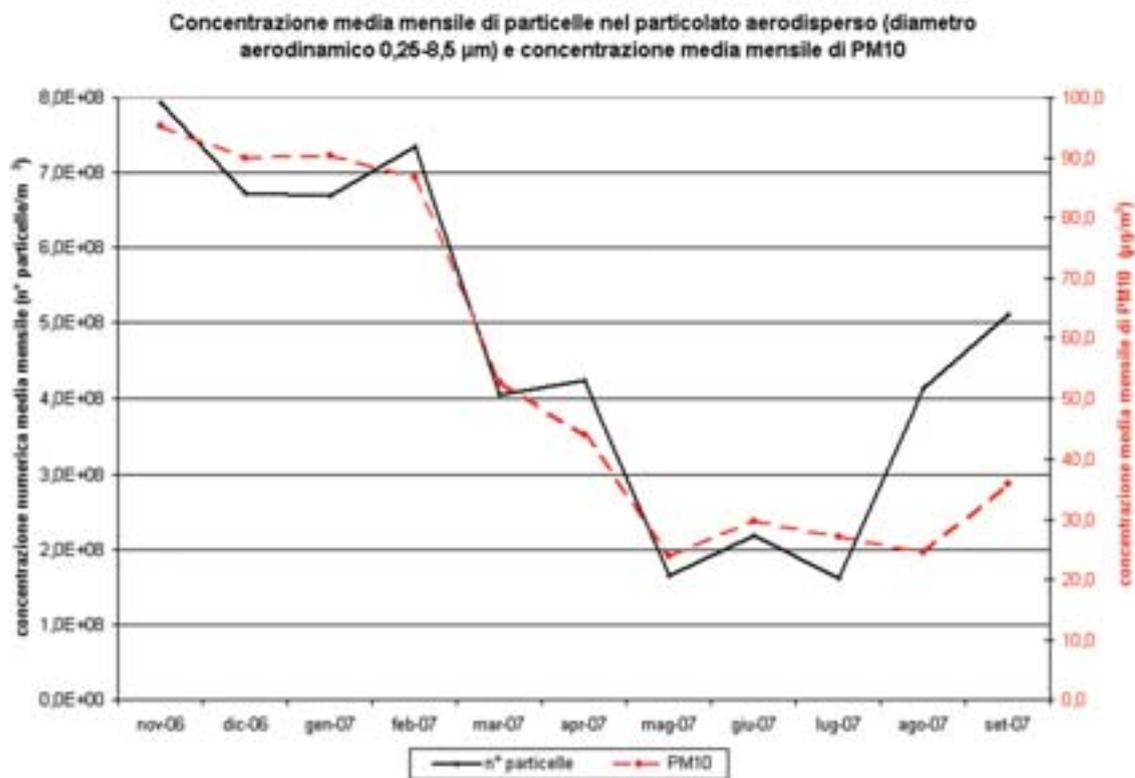


FIGURA 48: concentrazione numerica media mensile di particelle (diametro aerodinamico 0,25-8,5 µm) e confronto con la concentrazione media mensile di PM10.

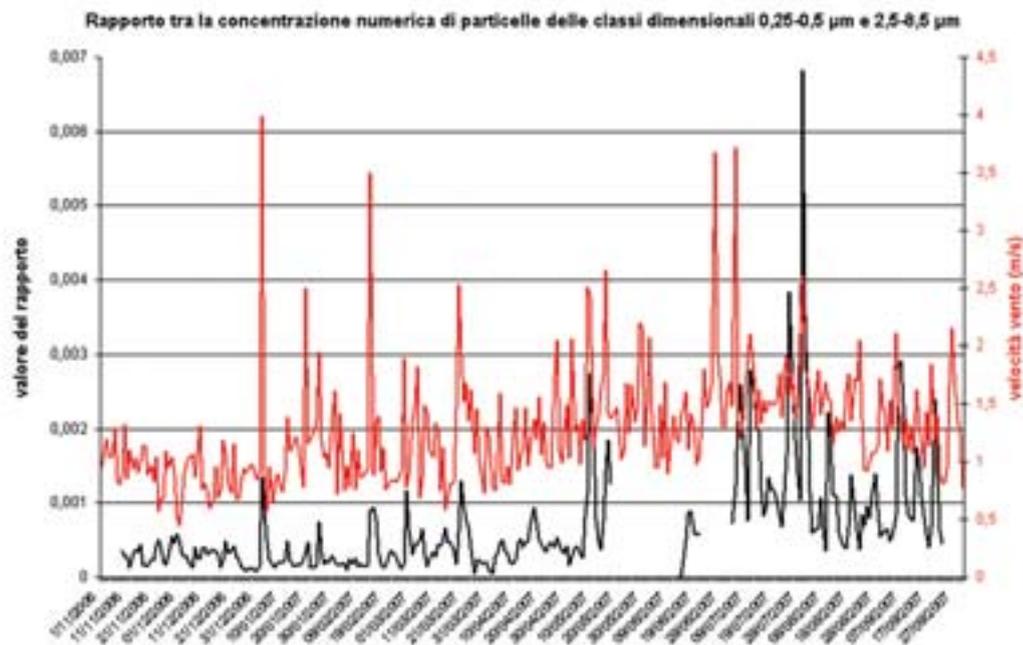


FIGURA 49: andamento del rapporto tra la concentrazione numerica di particelle delle classi dimensionali 0,25-0,5 μm e 2,5-8,5 μm e confronto con la velocità del vento.

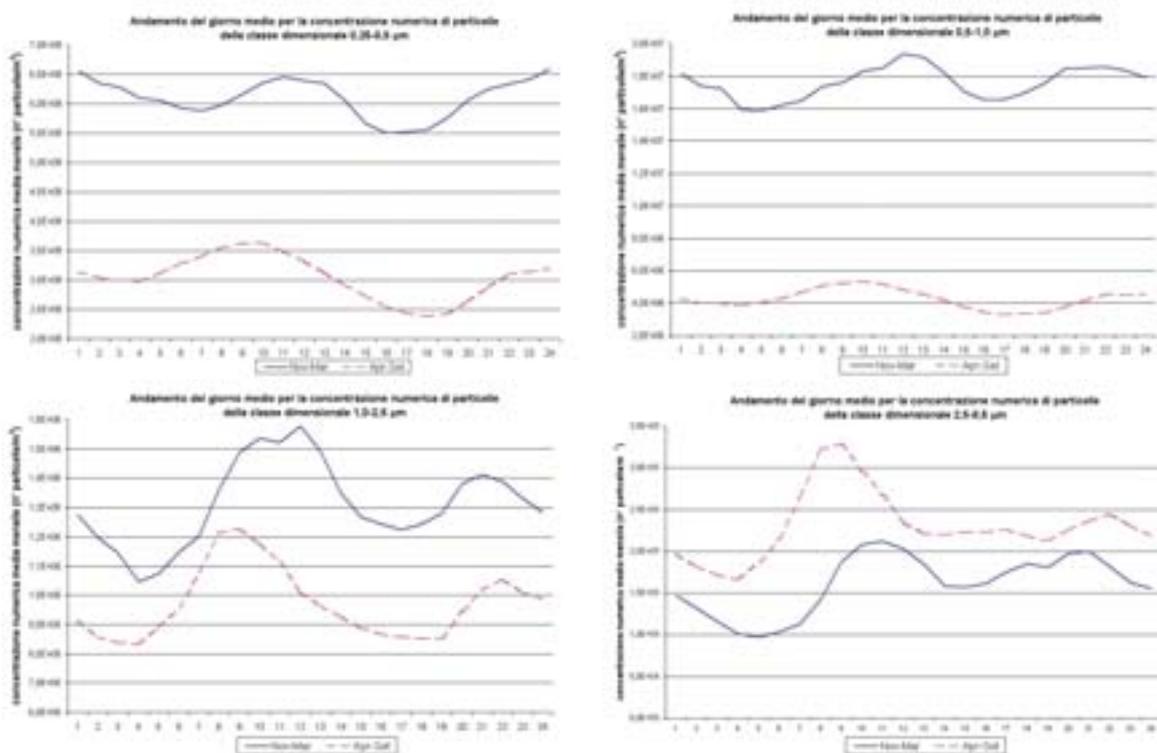


FIGURA 50: andamento del giorno medio per la concentrazione numerica di particelle di ciascuna delle quattro classi dimensionali accorpate, distinguendo tra periodo freddo (novembre 2006 – marzo 2007) e periodo caldo (aprile 2007 – settembre 2007).

INTRODUZIONE

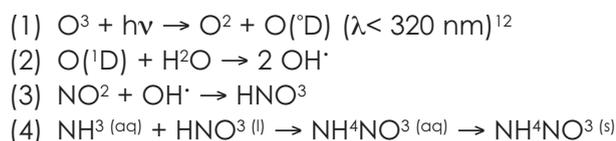
Quando si fa riferimento al particolato misurato in aria ambiente, occorre sempre tenere presente che si tratta di una miscela di due componenti: una di tipo "primario", costituita da particelle emesse direttamente da una o più fonti e una di tipo "secondario", costituita da particelle formatesi a seguito di complessi processi chimico-fisici che avvengono direttamente in atmosfera a partire da inquinanti primari. In generale il particolato secondario è originato da processi di conversione di gas in particelle, che comportano la formazione di prodotti a bassa volatilità a seguito di reazioni di ossidazione in fase gassosa.

La distinzione tra particolato primario e secondario, oltre ad avere una fondamentale rilevanza teorica nella comprensione dei fenomeni di inquinamento atmosferico, comporta importanti conseguenze concrete sotto il profilo delle azioni di risanamento della qualità dell'aria, come verrà esposto in seguito.

Dal punto di vista della composizione chimica, sia la componente primaria che quella secondaria del particolato sono costituite da una frazione organica e da una frazione inorganica. La TABELLA 33 descrive sinteticamente i principali costituenti del particolato atmosferico in aree, come la pianura padana, che non sono interessate dalla presenza di aerosol marino (aree in cui la presenza di cloruro di sodio può essere considerata trascurabile).

| | | |
|----------------------|------------|--|
| PM primario | organico | EC (carbonio elementare), OC (carbonio organico) emesso come tale (ad es. IPA > 4 anelli) |
| | inorganico | metalli alcalino terrosi, metalli tossici, elementi cristalli |
| PM secondario | organico | OC (carbonio organico) originato da processi di nucleazione, adsorbimento e trasformazione chimica |
| | inorganico | nitrato d'ammonio, solfato d'ammonio |

La componente secondaria inorganica è costituita essenzialmente da nitrato di ammonio (NH_4NO_3) e solfato di ammonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), che si originano a partire da ammoniaca e, rispettivamente, acido nitrico e acido solforico, a loro volta formati a partire da biossido di azoto e biossido di zolfo. Nello schema che segue vengono riportate a titolo di esempio le principali reazioni che portano alla formazione del nitrato di ammonio durante le ore di irraggiamento solare:



La terza reazione è di particolare importanza: da un lato costituisce il meccanismo predominante di rimozione degli ossidi di azoto dall'atmosfera nelle ore diurne, dall'altro favorisce la formazione di particolato secondario inorganico attraverso l'ultima reazione. Sotto questo profilo il tempo di vita del biossido di azoto è in media dell'ordine di un giorno, ma può scendere a circa 2 ore in occasione degli episodi di inquinamento fotochimico, durante i quali si è in presenza di concentrazioni più elevate del radicale OH^\cdot ¹³. L'azione della luce solare risulta quindi un fattore fondamentale nella formazione di particolato secondario inorganico.

Il biossido di zolfo contribuisce alla produzione del particolato secondario non solo a seguito della formazione di solfato (con un meccanismo analogo a quello del nitrato) ma anche in conseguenza del fatto che l'acido solforico, originato dalla sua ossidazione, è stato individuato come la sostanza atmosferica più importante nel favorire i processi di nucleazione che coinvolgono gli inquinanti organici¹⁴.

¹² La reazione avviene a seguito dell'irraggiamento della molecola di ozono con radiazione nel vicino UV e porta alla formazione di atomi di ossigeno elettronicamente eccitati, indicati con $\text{O}(^1\text{D})$.

¹³ Jenkin, Clemitshaw - Atmospheric Environment, Volume 34, Issue 16, 2000, pag. 2502.

La componente secondaria di tipo organico, infatti, ha origine sia da reazioni chimiche vere e proprie a carico dei composti organici primari (un esempio tipico è la formazione di nitro-IPA a partire dagli IPA), sia da processi che comportano la trasformazione di composti organici volatili primari in particolato (detti appunto di "nucleazione") e/o di condensazione e adsorbimento di composti organici semivolatili su particelle esistenti.

In termini generali va sottolineato che la foto-ossidazione dei composti organici volatili in atmosfera durante le ore diurne, quando avviene senza frammentazione della molecola, produce inevitabilmente sostanze con un più spiccato carattere polare e quindi con volatilità minore del composto di partenza. Da un punto di vista generale, quindi, l'azione della luce solare costituisce un fattore favorevole alla formazione di particolato secondario anche nel caso dei composti organici; inoltre tale formazione diventa via via più probabile all'aumentare delle dimensioni della molecola organica originaria (è il caso dei cicloalcani dei composti aromatici e dei terpeni)¹⁴. Il rapporto tra carbonio organico (OC) e carbonio elementare (EC) viene usualmente utilizzato per stimare la percentuale di particolato organico secondario, in quanto il carbonio elementare è di origine primaria mentre quello organico ha prevalentemente natura secondaria in conseguenza dei processi di nucleazione, condensazione e adsorbimento sopradescritti¹⁵. Per quanto riguarda il peso percentuale del particolato secondario sul totale del particolato rilevato in aria ambiente, la TABELLA 34 riporta le stime elaborate all'interno di una serie di studi italiani.

| Riferimento | Metodologia utilizzata | Contesto territoriale | % di OC secondario su OC totale | % PM10 secondario | % PM2,5 secondario sul PM2,5 |
|--|--|-----------------------------|---------------------------------|--|------------------------------|
| Giuliano-Lonati "Polveri fini in atmosfera: la componente secondaria" -Energia 3/2005 | analisi della composizione | area urbana milanese | 85% | - | 60-70% |
| Arpa Lombardia- Fondazione Lombardia per l'ambiente "Relazione sintetica progetto PUMI" marzo 2003 | analisi della composizione | area urbana milanese | - | 68% (*) | 82% (*) |
| De Laurenti-Liburdi "Emissioni in atmosfera nelle aree urbane" in APAT-Primo rapporto annuale sulla qualità dell'ambiente urbano - 2004 | stima da inventario nazionale delle emissioni | grandi aree urbane italiane | - | > 80% | - |
| Pertot-Pirovano-Riva "Inventari delle emissioni in atmosfera nelle aree urbane" in APAT - Secondo rapporto annuale sulla qualità dell'aria in ambiente urbano - 2005 | stima da applicazione di modellistica di qualità dell'aria | Lombardia | - | 50% in area urbana 75-80% in area rurale | - |
| Romanelli et al. "Il progetto PATOS. Particolato atmosferico in Toscana" in atti Workshop progetto PATOS 26 marzo 2007 | analisi della composizione | Toscana | - | 30-50% | - |
| Gilli et al. "Airborne particulate matter: ionic species role in different Italian sites" | analisi della composizione | 5 siti italiani | - | 35-45% nei siti al Nord 20% nei siti al Sud | - |

(*) stima basata sulla composizione media riportata nella figura 3.3 del documento, nell'ipotesi che OC secondario costituisca l'85% di OC totale.

TABELLA 34: stime della percentuale della componente secondaria del particolato in aria ambiente.

¹⁴ Jenkin, Clemitshaw Atmospheric Environment, Volume 34, Issue 16, 2000, pag. 2517

¹⁵ ISS - a cura di Cattani e Viviano - Rapporto Istisan 06/13 -2006.

In definitiva l'insieme dei dati disponibili nella letteratura scientifica permette di trarre alcune importanti conclusioni di natura generale:

- l'azione della componente ultravioletta della luce solare favorisce la formazione di particolato secondario, per quanto riguarda sia la componente inorganica che quella organica;
- la percentuale di particolato secondario nel particolato totale è significativa, di norma dell'ordine del 50% o superiore. Va osservato, per quanto riguarda la componente inorganica, che l'Agenzia Europea per l'Ambiente stima su scala continentale che i coefficienti di trasformazione in particolato dei precursori inorganici (espressi come massa) siano pari a 0,88 per gli ossidi di azoto, 0,54 per di biossido di zolfo e 0,65 per l'ammoniaca¹⁶. Tali coefficienti hanno un valore complessivo di lungo periodo e su scala europea; sono quindi da ritenersi estremamente conservativi a scala locale¹⁷ ma forniscono in ogni caso un'ulteriore indicazione dell'importanza del fenomeno.
- a parità di sito, la percentuale di particolato secondario aumenta al diminuire della granulometria; ciò è in accordo con il dato di letteratura secondo cui i componenti della frazione inorganica del particolato secondario (ammonio, nitrato e solfato) sono presenti prevalentemente nelle frazioni più fini¹⁸. Poiché tali frazioni hanno tempi di permanenza in atmosfera di giorni o settimane, la percentuale di particolato secondario in aree rurali, a fronte di concentrazioni di particolato totale più basse, è di norma più elevata che in area urbana. In altre parole il particolato secondario costituisce una componente di fondo del particolato totale distribuita pressoché omogeneamente su grande scala spaziale¹⁹.

A livello di politiche di risanamento, la rilevanza della formazione secondaria di particolato è uno degli elementi che ha contribuito a spostare l'attenzione verso azioni non episodiche ma programmate e estese sia come durata temporale che in termini di ampiezza del territorio interessato, in modo da contrastare il fenomeno alle stesse scale a cui si verifica. Inoltre, poiché gli ossidi di azoto costituiscono uno dei principali precursori della frazione inorganica del particolato, le politiche di riduzione delle emissioni di tali composti assumono una grande importanza in termini di rispetto dei valori limite, attuali o futuri, anche per il PM₁₀ e il PM_{2,5}.

Una analoga considerazione può essere fatta per il biossido di zolfo, le cui concentrazioni in aria ambiente rispettano ormai da anni i valori limite ma che riveste ancora un'importanza non trascurabile (anche se generalmente inferiore a quella degli ossidi di azoto) come precursore del particolato secondario. Ciò è confermato anche dalle analisi della composizione ionica nel sito di Torino - Consolata descritte nel paragrafo successivo.

Va infine sottolineato che studi effettuati a livello europeo indicano che occorre agire, in misura analoga a quanto avviene per il biossido di zolfo e il biossido di azoto, anche sul contenimento delle emissioni di ammoniaca, a causa del suo ruolo nella produzione della frazione inorganica del particolato secondario²⁰. Quest'ultimo punto apre scenari di azione relativamente nuovi in quanto il maggiore contributo alla presenza dell'ammoniaca in aria ambiente è legata alle attività agricole e zootecniche, tradizionalmente sottoposte a scarsi obblighi di legge in tema di emissioni in atmosfera. A tale proposito la Comunicazione della Commissione Europa al Consiglio e al Parlamento Europeo COM (2005) 446 - "*Strategia tematica sull'inquinamento atmosferico*", indica che, per conseguire entro il 2020 gli obiettivi di

¹⁶ Air Pollution in Europe 1990-2000 - Appendix 3 -EEA 2004

¹⁷ Cfr Camerini et al. "L'inventario delle emissioni in atmosfera in Lombardia: stato dell'arte e prospettive" Ingegneria Ambientale vol. XXXIV n. 5 maggio 2005

¹⁸ Si vede a tale proposito Arpa EMR - Università degli Studi di Bologna "Progetto di caratterizzazione chimico-fisica del particolato atmosferico nelle classi dimensionali tra 10 e 0,4 µm-relazione tecnica finale " 2^ fase - ottobre 2005 e "Caratterizzazione del PM₁₀ in tre città italiane : Firenze, Genova e Milano" ARPAT news n. 182-2006

¹⁹ Udisti "La composizione e l'origine del PM₁₀ in Toscana - La componente inorganica" Atti Workshop progetto PATOS - Firenze 26 marzo 2007

²⁰ Erisman, Schaap "The need for ammonia abatement with respect to secondary PM reductions in Europe" Environmental Pollution 129 (2004) 159-163

risanamento della qualità dell'aria, occorrerà tra le altre una diminuzione delle emissioni di ammoniaca sul territorio dell'Unione Europea del 27% rispetto al dato base del 2000 ²¹.

ESAME DEI DATI

Allo scopo di misurare la percentuale dei principali costituenti inorganici del particolato, presso la stazione di Torino - Consolata tra il 2006 e il 2007, sono state effettuate quattro campagne di campionamento di PM10 finalizzate alla determinazione di ammonio, solfati, nitrati e cloruri nel particolato.

Le campagne sono state effettuate in periodi caratterizzati da condizioni meteorologiche diverse in modo da garantire una adeguata rappresentatività, anche su base annuale, e hanno interessato un totale di 120 giorni.

La determinazione dei contaminanti inorganici è stata effettuata mediante cromatografia ionica, previa lisciviazione dei filtri con acqua deionizzata.

In FIGURA 51 e in FIGURA 52 sono riportate rispettivamente le distribuzioni percentuali sul totale del PM10 e la concentrazione media assoluta dei singoli ioni nelle quattro campagne.

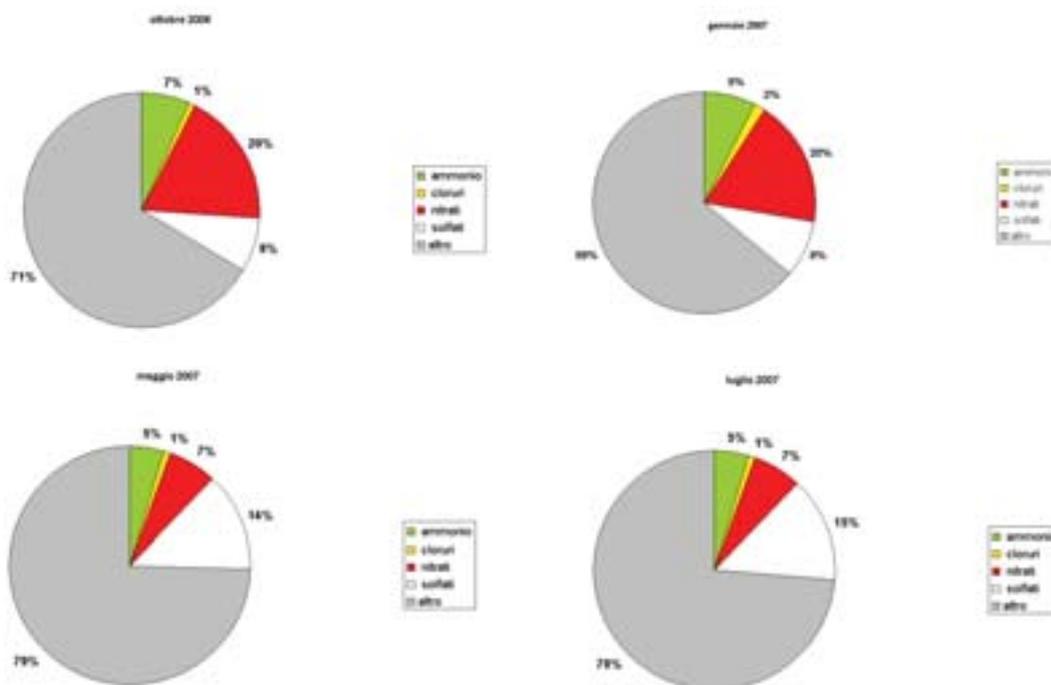


FIGURA 51 Stazione di Torino - Consolata - Distribuzione percentuale in massa delle componenti ioniche nel PM10.

²¹ La Comunicazione prende in considerazione anche gli altri due aspetti negativi dell'ammoniaca sotto il profilo ambientale, vale a dire i contributi ai processi di eutrofizzazione e di deposizione acida sotto forma di ammonio.

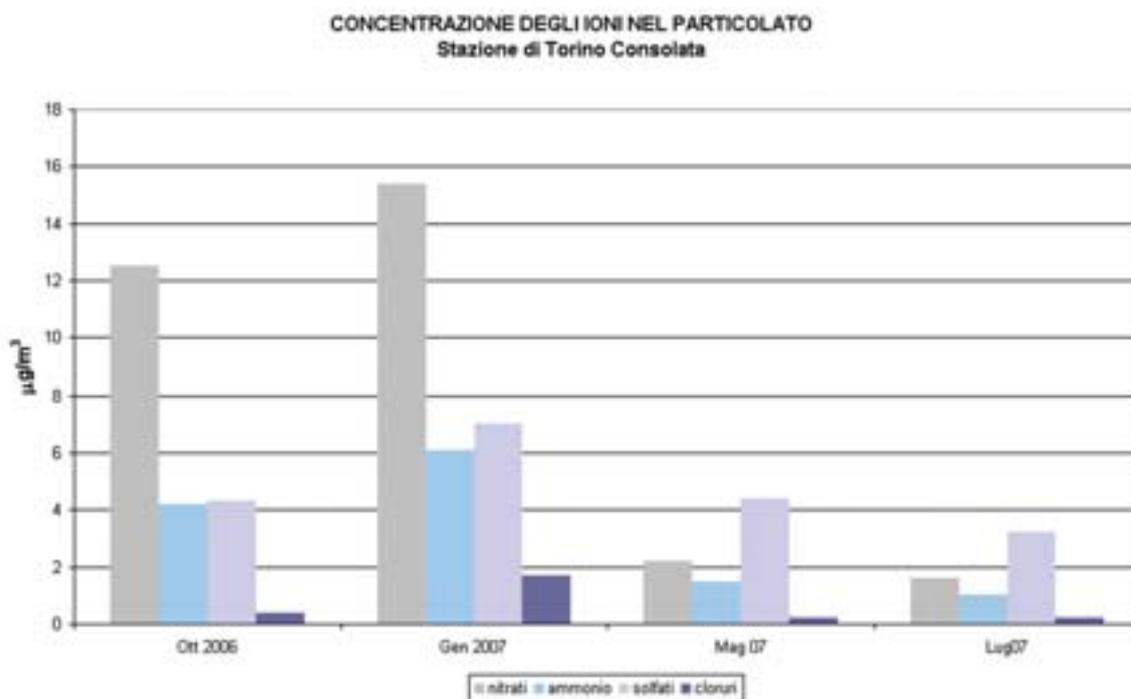


FIGURA 52 Stazione di Torino - Consolata – Concentrazioni assolute dei principali ioni.

Appare evidente che, anche in un sito di traffico urbano (e quindi soggetto a significative emissioni primarie di particolato), il PM₁₀ è costituito, in linea con gli altri studi citati nella TABELLA 34, da una percentuale significativa di componenti secondari inorganici (ammonio, solfati e nitrati), dell'ordine del 35% nei mesi freddi e del 25% nei mesi caldi dell'anno.

Come per il PM₁₀ la concentrazione assoluta di ogni singolo ione è massima in inverno e diminuisce nei mesi caldi. Il processo di formazione delle componenti secondarie inorganiche del particolato è infatti regolato dalle concentrazioni dei precursori (ossidi di azoto, ossidi di zolfo e ammoniaca) le quali sono massime nel periodo invernale, a causa sia delle condizioni meteorologiche di stabilità atmosferica che della presenza di fonti aggiuntive legate al riscaldamento degli edifici. La diminuzione delle concentrazioni dei precursori nei mesi caldi è compensata solo in parte dall'aumento della velocità delle reazioni di formazione del particolato secondario legata al maggiore irraggiamento solare.

Dalla FIGURA 52 emerge anche che la specie predominante è lo ione nitrato nei mesi freddi e lo ione solfato in quelli caldi. Tale variazione di composizione ionica in funzione della temperatura emerge anche da altri studi²². Una delle presumibili origini di tale fenomeno è legata alla volatilità del nitrato di ammonio, la cui reazione di formazione a temperature tipiche dei mesi caldi è spostata verso i precursori in fase vapore (ammoniaca e acido nitrico)²³.

²² Si veda in particolare

Udisti et al "La composizione e l'origine del PM₁₀ in Toscana – La componente inorganica" in Atti del Workshop "Progetto Regionale PATOS. Il PM₁₀ in Toscana"- Firenze 26 marzo 2007

Bruno et al. « La composizione chimica del particolato atmosferico nella penisola italiana » in Atti « ° Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico PM₂₀₀₆, Firenze 2006

²³ Seinfeld –Pandis " Atmospheric chemistry and physics, 1997, par. 9.4.3

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. Hanno una solubilità relativamente bassa in acqua e sono altamente lipofili. 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. La presenza di IPA nei gas di scarico degli autoveicoli è dovuta sia alla presenza nel carburante di questi composti come tali che a processi di piro-sintesi che hanno luogo durante la combustione. Negli autoveicoli alimentati a benzina l'utilizzo di marmitte catalitiche riduce l'emissione di IPA dell'ordine dell'80-90%²⁴.

A livello di ambienti confinati il fumo di sigaretta e le combustioni domestiche prive di ventilazione possono costituire una 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. Va però sottolineato che in alcune situazioni si sta parallelamente diffondendo in misura significativa l'utilizzo della combustione di biomasse per il riscaldamento domestico. Tale fenomeno, se da un lato ha indubbi benefici in termini di bilancio complessivo di gas serra, va tenuto attentamente sotto controllo per quanto riguarda l'inquinamento al suolo in quanto la quantità di IPA (come pure di altri inquinanti atmosferici di rilievo come ossidi di azoto e PM10) emessi da un impianto domestico alimentato a legna è da 5 a 10 volte maggiore della quantità emessa da un impianto alimentato con combustibile liquido (kerosene, gasolio da riscaldamento ecc)²⁵. La rilevanza di questa problematica è testimoniata dal fatto che anche il recente Aggiornamento al Piano di risanamento e tutela della qualità dell'aria riguardante il riscaldamento ambientale e il condizionamento, approvato dalla Regione Piemonte con D.C.R. 98-1247 dell'11 gennaio 2007, individua in uno specifico allegato le prestazioni emissive che devono essere garantite dai sistemi di combustione a biomassa affinché la diffusione di tali combustibili non si ponga in contraddizione con gli obiettivi di risanamento della qualità dell'aria. Tali prestazioni, definite in termini di emissioni di ossidi di azoto e particolato, hanno indirettamente un effetto di limitazione anche delle sostanze componenti il particolato, tra cui gli IPA.

A livello di emissioni e di aria ambiente gli IPA con 2 o 3 anelli si ritrovano prevalentemente in fase vapore, mentre quelli con 5 o più anelli, maggiormente rilevanti sul piano tossicologico, sono per la quasi totalità adsorbiti sul particolato e più precisamente nella frazione con diametro aerodinamico < 2,5 µm. Nell'atmosfera gli IPA possono inoltre reagire con altri inquinanti quali ozono, ossidi d'azoto e biossido di zolfo generando inquinanti di tipo secondario come azaareni e nitroderivati.

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.

In particolare il benzo(a)pirene (o 3,4-benzopirene), che è stato oggetto delle attività di monitoraggio descritte nel seguito, è un idrocarburo policiclico aromatico a cinque anelli su cui è disponibile una vasta letteratura scientifica; per tali ragioni questo composto viene usualmente utilizzato, anche a livello normativo, quale indicatore di esposizione in aria per l'intera classe degli IPA. A titolo esemplificativo la TABELLA 35 e la TABELLA 36 riportano i fattori di emissione del benzo(a)pirene individuati dall' Agenzia Europea per l'Ambiente²⁶, rispettivamente, per il trasporto stradale e per le combustioni domestiche²⁷.

²⁴ European Commission Ambient air pollution by PAH –Position Paper , pag 8

²⁵ EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2006 pag. B216-29 tab 8.1a e B216.32 8.2 b

²⁶ EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2006 pag B710-1 tab 8-61

²⁷ EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2006 pag. B216-29 tab 8.1a. Tale tabella fa riferimento a una distribuzione percentuale standard dei diversi tipi di riscaldamento descritta nel dettaglio a pag. B216-28 del documento. Per un dettaglio sulle stufe domestiche si veda la tabella del medesimo documento

| Auto passeggeri e mezzi leggeri < 3,5 t – benzina (µg/Km) | | Auto passeggeri e mezzi leggeri < 3,5 t – diesel (µg/Km) | | Mezzi pesanti > 3,5 t (µg/Km) | GPL (µg/Km) |
|---|----------------|--|------------------|-------------------------------|-------------|
| Convenz. | Euro 1 e succ. | Iniez. diretta | Iniez. indiretta | Iniez. diretta | 0,01 |
| 0,48 | 0,32 | 0,63 | 2,85 | 0,90 | |

TABELLA 35: fattori di emissione totali (caldo+freddo) di benzo(a)pirene – trasporto stradale.

| Carbone (g/GJ) | Gas (g/GJ) | Combustibile liquido (g/GJ) | Legno e scarti agricoli (g/GJ) |
|----------------|------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 230,0 | NA | 22,0 | 210,0 |

TABELLA 36: fattori di emissione di benzo(a)pirene – combustioni a fini di riscaldamento civile.

Per quanto riguarda le concentrazioni di benzo(a)pirene misurate nel particolato in aria ambiente, va sottolineato che esse presentano di norma un marcato andamento stagionale, con valori minori in primavera ed estate e più elevati in autunno e inverno. La diminuzione delle concentrazioni in aria ambiente nei mesi caldi dell'anno è legata a un insieme di fattori, tra cui le minori emissioni complessive dovute allo spegnimento degli impianti di riscaldamento, la maggiore altezza dello strato di rimescolamento, la diversa ripartizione degli IPA tra fase aeriforme e particolato e l'aumento della velocità delle reazioni di fotolisi diretta che portano a una degradazione degli IPA stessi.

DANNI CAUSATI

I dati ricavati da test su animali di laboratorio indicano che molti IPA hanno effetti sanitari rilevanti che includono l'immunotossicità, 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 e il conseguente ingresso nella catena alimentare. 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.

A seguito degli sviluppi delle conoscenze scientifiche in materia, l'International Agency for Research on Cancer (IARC)²⁸ ha modificato la classificazione del benzo(a)pirene, portandolo dal gruppo 2B (possibile cancerogeno per l'uomo) al gruppo 1 (accertato cancerogeno per l'uomo).

METODO DI MISURA

Il metodo di misura utilizzato a partire dall'anno 2005 prevede la raccolta con frequenza giornaliera su filtro in fibra di quarzo della frazione inalabile del particolato (PM10) contenuta in un volume noto di aria; da ogni singolo filtro viene estratta una porzione di area nota e i campioni su base giornaliera vengono aggregati al fine della costituzione di un campione composto su base mensile²⁹, che viene sottoposto a estrazione con solvente e successiva determinazione quantitativa mediante gascromatografia-spettrometria di massa.

²⁸ International Agency for Research on Cancer (IARC) –Agents reviewed by the IARC monographs Volumes 1-95 last updated 24 January 2007.

²⁹ La possibilità di costituire campioni composti su base mensile è esplicitamente prevista dall'Allegato IV della Direttiva 2004/107/CE.

Negli anni precedenti al 2005 è stata utilizzata una metodica analoga ma con frequenze di prelievo inferiori per alcune stazioni in relazione alla presenza di campionatori che richiedono il cambio manuale dei filtri³⁰.

A partire dal 2006 nel caso della stazione di Torino Lingotto la determinazione del benzo(a)pirene è stata effettuata anche sulla frazione PM_{2,5} con le stesse modalità utilizzate per la frazione PM₁₀.

ESAME DEI DATI

Il valore obiettivo per il benzo(a)pirene previsto dalla Direttiva 2004/107/CE recepita con il D.Lgs. n. 152 del 2 agosto 2007 è pari a 1 µg/m³ come media annuale. Tale valore coincide con l'obiettivo di qualità dell'aria precedentemente in vigore (DM 25 novembre 1994).

La TABELLA 37 riassume le concentrazioni medie annuali rilevate a partire dal 1998 sul territorio provinciale.

Per una corretta interpretazione dei risultati occorre tener conto che:

- la frequenza di prelievo e la metodica analitica sono omogenee per tutte le stazioni solo a partire dal 2005; la confrontabilità dei dati con quelli rilevati negli anni precedenti non è quindi sempre pienamente assicurata. In particolare i valori relativamente bassi rispetto alla media del decennio rilevati nella stazione di Buttigliera nel 2000 e nel 2002 e in quella di Carmagnola nel 2000 sono attribuibili al numero limitato di prelievi;
- nell'anno 2004 la determinazione del benzo(a)pirene non è stata effettuata per ragioni tecniche di messa a punto della nuova metodica analitica;
- i dati dell'ultima riga della tabella si riferiscono alla stazione di Torino Gaidano sino a marzo 2007, ubicata nei pressi di un asse viario a elevato traffico veicolare, e dal mese di aprile 2007 alla stazione di Torino Rubino, ubicata nello stesso quartiere ma in zona con caratteristiche ricreativo-residenziali;
- le medie annuali indicate in tabella per ogni stazione sono ricavate a partire 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.

La TABELLA 37 mostra che il valore obiettivo risulta rispettato, nel corso del decennio, in più dell'80% dei casi e che nel complesso i superamenti si sono quasi esclusivamente concentrati in stazioni urbane o suburbane da traffico; i valori in assoluto più bassi si rilevano nella stazione di Druento, posizionata nel Parco de La Mandria e quindi lontano da fonti di inquinamento antropogenico, mentre quelli più elevati sono stati misurati nella stazione di Torino Grassi, storicamente la più critica del territorio provinciale anche per il PM₁₀.

Il numero di punti di misura relativamente elevato dell'ultimo quinquennio permette di effettuare alcune importanti considerazioni statistiche. Un dato che va innanzitutto sottolineato è l'aumento della percentuale di stazioni in cui il valore obiettivo viene rispettato (FIGURA 53). Anche escludendo dal calcolo la stazione di Torino Lingotto, in cui il monitoraggio del benzo(a)pirene è iniziato nel 2006, si passa dal 73% (anno 2003) al 100% (anno 2007) di stazioni in cui la media annuale è inferiore al valore obiettivo. Tale trend favorevole andrà certamente confermato nei prossimi anni, sulla base di una serie temporale più estesa; inoltre, poiché alcune stazioni mostrano una media annuale nell'intorno inferiore del valore obiettivo, non si può escludere che nei prossimi anni, in presenza di condizioni meteorologiche particolarmente sfavorevoli, tali stazioni possano nuovamente presentare un superamento del valore obiettivo, ma in ogni caso la situazione illustrata dalla FIGURA 53 costituisce un dato certamente positivo in termini di impatti sulla salute.

Per quanto riguarda il profilo temporale delle concentrazioni di benzo(a)pirene, utilizzando i valori medi mensili riferiti all'ultimo triennio si conferma il tipico andamento che presenta

³⁰ Per i dettagli si rimanda alle singole edizioni di "Uno sguardo all'aria".

concentrazioni sensibilmente maggiori nei mesi invernali rispetto al periodo estivo (FIGURA 54) relativo a tre postazioni rappresentative di situazioni territoriali diverse (una di fondo, una extraurbana e una nel capoluogo). Tale fenomeno è attribuibile all'azione congiunta di una pluralità di fattori. In primo luogo il periodo invernale è tipicamente caratterizzato nel territorio provinciale da condizioni meteo-climatiche non favorevoli alla dispersione degli inquinanti e dalla presenza delle emissioni legate agli impianti di riscaldamento domestico, come testimoniato dal fatto che in ogni stazione il valore massimo di media mensile si riscontra nel periodo novembre - gennaio; in secondo luogo nel periodo estivo le temperature più elevate e l'intensa radiazione solare, oltre a creare condizioni di instabilità atmosferica favorevoli alla dispersione degli inquinanti, aumentano la velocità delle reazioni di fotodegradazione degli IPA.

I dati disponibili per la stazione di Torino Lingotto permettono di effettuare alcune considerazioni anche sulla distribuzione della massa di benzo(a)pirene nelle diverse frazioni di particolato (TABELLA 38). Se si prende in considerazione il periodo 1 maggio 2006 - 31 dicembre 2007, in cui nella stazione in questione sono disponibili le concentrazioni di benzo(a)pirene sia sul PM_{2,5} che sul PM₁₀, le concentrazioni medie risultano rispettivamente pari a 0,55 ng/m³ e 0,66 ng/m³. Ciò significa che in media più dell'80% del benzo(a)pirene misurato sul PM₁₀ è concentrato nella frazione "fine" PM_{2,5}.

La TABELLA 38 evidenzia anche come, a parità di intervallo temporale, il rapporto medio tra le concentrazioni di benzo(a)pirene nel PM_{2,5} e nel PM₁₀ sia significativamente superiore al rapporto tra le concentrazioni medie delle due frazioni di particolato. Ciò significa che nel sito considerato la massa di benzo(a)pirene per unità di massa di particolato è in media maggiore nel PM_{2,5}, cioè nella frazione in grado di penetrare maggiormente in profondità nell'apparato polmonare.

**PERCENTUALE DI STAZIONI IN CUI E' RISPETTATO IL VALORE OBIETTIVO DI
BENZO(a)PIRENE
ANNI 2003-2007**

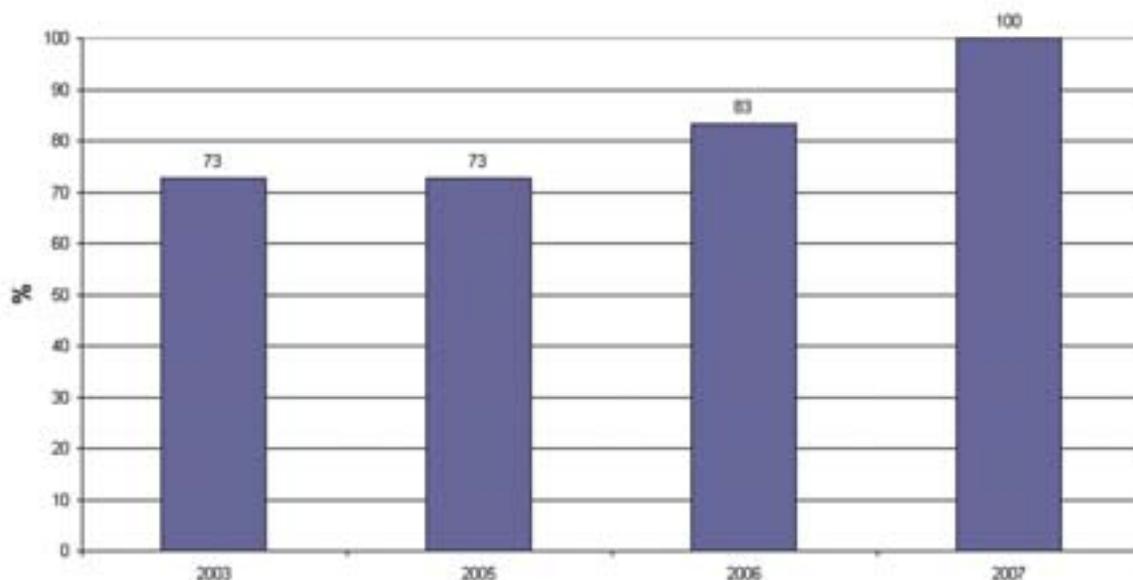
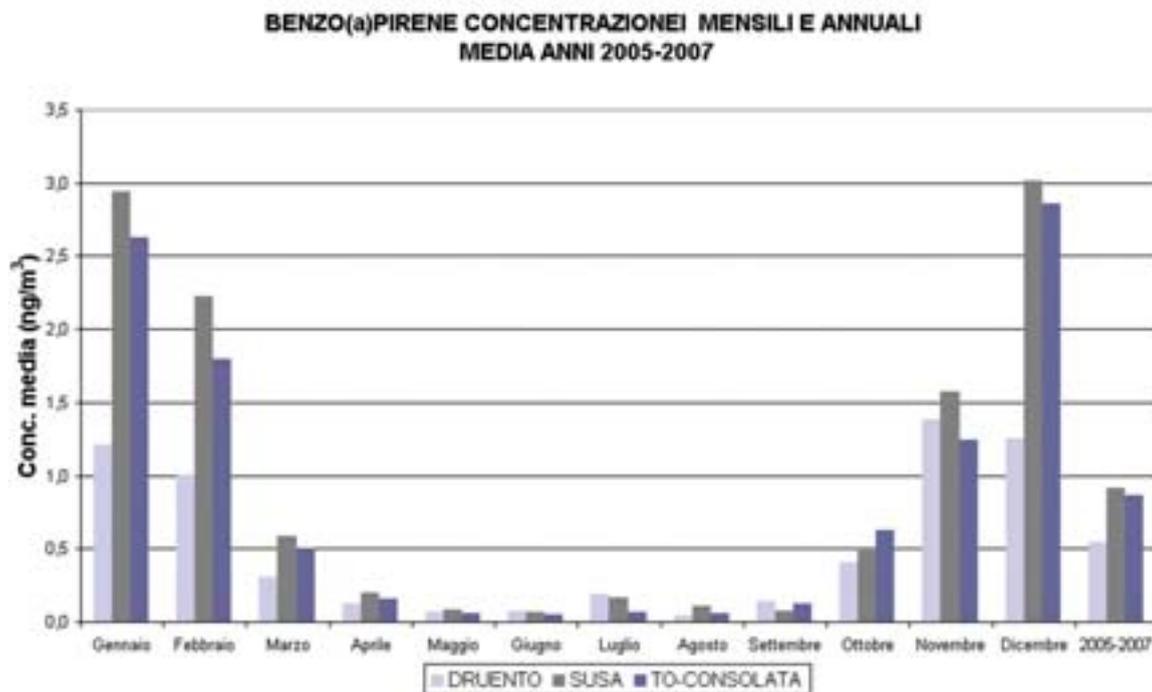


FIGURA 53: percentuale di stazioni in cui il valore obiettivo è rispettato - 2003-2007.

Alcune considerazioni di un certo interesse possono essere infine fatte utilizzando come indicatore non le concentrazioni assolute di benzo(a)pirene ma la percentuale in massa dell'inquinante nel PM₁₀. La TABELLA 39 e la FIGURA 55 riportano la percentuale di benzo(a)pirene nel PM₁₀ (e nel PM_{2,5} per quanto riguarda la stazione di Torino Lingotto)

per tutte le stazioni considerate in relazione al triennio 2005-2007³¹. La Figura 55 riporta graficamente l'andamento temporale di tali percentuali relativamente alle tre stazioni (Druento, Susa e Torino Consolata) già utilizzate come rappresentative di diverse situazioni territoriali.

FIGURA 54: concentrazioni medie mensili e annuali benzo(a)pirene rilevato nel PM10 –



Triennio 2005-2007.

Questo tipo di indicatore evidenzia che:

- a parità di stazione il PM10 risulta significativamente più ricco di benzo(a)pirene durante i mesi freddi dell'anno. Il periodo invernale risulta quindi quello più critico per l'esposizione a particolato non solo in termini di concentrazioni assolute ma anche di composizione qualitativa di microinquinanti organici. Per la stazione di Torino Lingotto, come già evidenziato, la percentuale di benzo(a)pirene risulta mediamente più elevata nel PM2,5, in particolare nei mesi freddi;
- mentre durante il mesi caldi non vi sono differenze significative tra le diverse stazioni, durante il semestre freddo si osserva che le stazioni in cui la percentuale di benzo(a)pirene è più elevata sono esterne al capoluogo. Nel dettaglio si osserva che le stazioni di Torino si assestano attorno a percentuali dell'ordine di 0,0015 – 0,0020 % (confrontabili a quelle riscontrate presso la stazione di fondo di Druento), mentre le stazioni più critiche risultano quelle di Ivrea, Buttigliera Alta e soprattutto Susa, con percentuali di benzo(a)pirene nel semestre freddo, rispettivamente, di 0,0029%, 0,0030% e 0,0050%. L'entità delle differenze nel semestre freddo è inoltre tale da far sì che analoghe differenze tra le stazioni si rilevino, in misura ovviamente meno accentuata, anche a livello di percentuali medie annuali.

Il fenomeno in questione, già evidenziato nella relazione dell'anno 2006, è di non facile

³¹ Le percentuali riportate in tabella in riferimento alla media dei mesi freddi e a quella dei mesi caldi sono calcolate sulla base delle concentrazioni medie giornaliere di benzo(a)pirene 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) del triennio considerato. A causa del diverso peso statistico di ogni mese, tali percentuali possono quindi presentare leggere.

interpretazione e andrà comunque confermato su una serie temporale più ampia. A livello di analisi preliminare si può osservare che le fonti emmissive che possono risultare più critiche per quanto riguarda l'emissione di IPA nelle aree lontane dal capoluogo (e che quindi possono dare origine in aria ambiente a un particolato più ricco di IPA) sono il traffico veicolare pesante sui grandi assi viari extraurbani, la combustione del legno (o comunque di biomasse) ai fini di riscaldamento domestico e gli eventuali insediamenti produttivi con emissioni atmosferiche di IPA significative.

Per definire in termini quantitativi il peso relativo delle diverse tipologie di fonti sarebbe necessario intraprendere uno studio specifico. Sulla base dei dati disponibili è comunque possibile formulare alcune considerazioni relativamente al traffico e alla combustione di biomasse.

L'analisi dei dati suggerisce che il traffico veicolare non costituisca la causa principale del fenomeno. Come nel caso del solo 2006, i valori rilevati nella stazione di Carmagnola, posizionata nelle immediate vicinanze di una strada statale caratterizzata da un notevole flusso di autoveicoli pesanti, non presentano una percentuale di benzo(a)pirene nel PM10 più elevata di quella delle stazioni del capoluogo.

Al contrario le osservazioni indicano che il contributo della combustione di biomasse e presumibilmente significativo sulla base delle seguenti considerazioni:

- Il rapporto IPA/PM10 assume i valori più elevati, dal punto di vista spaziale nelle aree territoriali extraurbane (dove l'utilizzo di legna e biomasse è presumibilmente più diffuso) e dal punto di vista temporale nel semestre freddo dell'anno e in particolare nei mesi da novembre a febbraio (FIGURA 56) in cui è più intenso l'utilizzo degli impianti di riscaldamento;
- la stazione di Saliceto in Provincia di Cuneo, che per la sua ubicazione è soggetta a ricadute significative da impianti a biomassa i quali costituiscono localmente la principale tipologia di riscaldamento civile, può essere utilizzata come riferimento per valutare tale fenomeno. Dal punto di vista della concentrazione assoluta di benzo(a)pirene i dati rilevati in questa stazione durante il triennio considerato sono fra i più elevati in ambito regionale; inoltre anche in questo caso la percentuale di benzo(a)pirene nel PM10 è significativamente più alta che nell'area urbana torinese, sia in termini di media annuale (0,0043%) che in riferimento al semestre freddo (0,0058%). Questi dati avvalorano l'ipotesi di una correlazione fra intensa combustione di biomasse e la presenza di significative concentrazioni di IPA in aria ambiente, evidenziabile anche attraverso i fattori di emissione riportati in TABELLA 36.

**RAPPORTO PERCENTUALE MEDIO DI BENZO(a)PIRENE SU PM10/PM2.5
TRIENNIO 2005-2007**

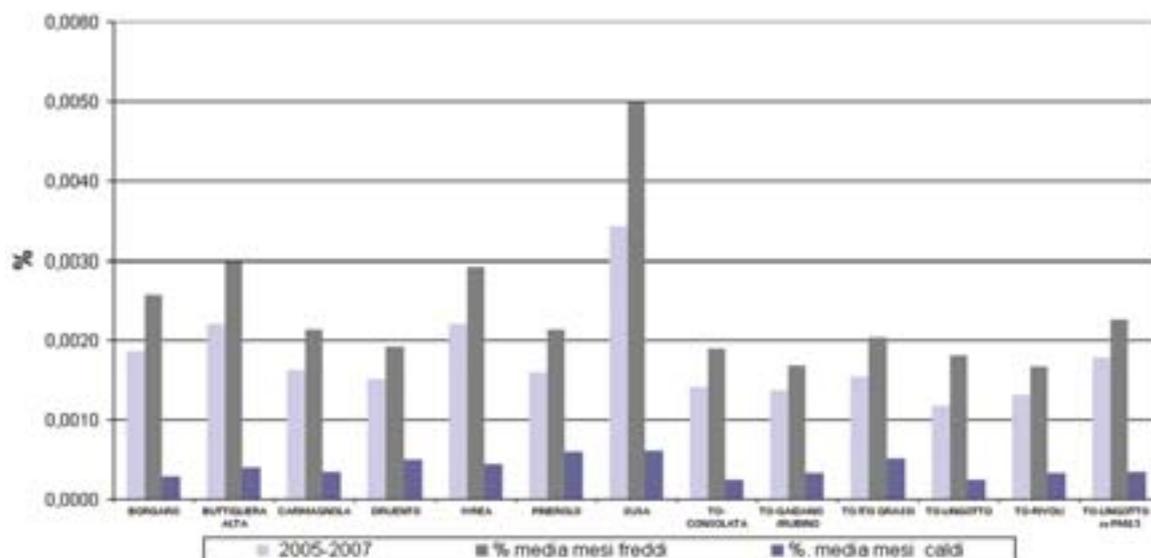


FIGURA 55: percentuale di benzo(a)pirene nel PM10/PM2.5 – Triennio 2005-2007.

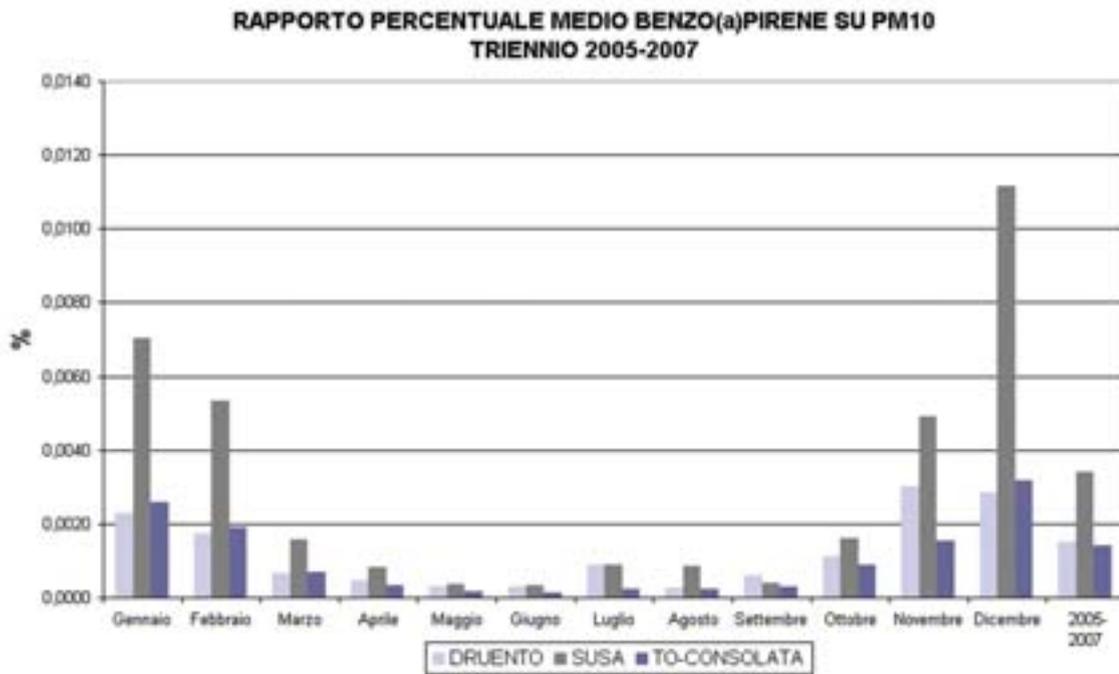


FIGURA 56: percentuale benzo(a)pirene nel PM10 – Andamento delle medie mensili-Triennio 2005-2007.

| STAZIONE | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | % giorni validi 2007 |
|---------------------------|------|------|--------------------|------|--------------------|------|------|------|--------------------|------|-------------------------------|
| BORGARO | - | - | - | - | 0,7 | 0,9 | - | 1,1 | 1,0 | 0,8 | 90% |
| BUTTIGLIERA ALTA | 1,1 | 0,8 | - | 0,8 | 0,4 ⁽⁵⁾ | 0,9 | - | 1,0 | 1,2 | 0,7 | 92% |
| CARMAGNOLA | 0,9 | 0,7 | 0,4 ⁽⁴⁾ | 0,8 | 0,9 | 1,0 | - | 0,7 | 1,0 | 0,8 | 87% |
| DRUENTO | - | - | - | - | - | 0,4 | - | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 91% |
| IVREA ⁽¹⁾ | - | - | - | - | - | 1,3 | - | 1,0 | 1,0 | 0,9 | 90% |
| PINEROLO | - | - | - | - | - | 0,6 | - | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 90% |
| SUSA | - | - | - | - | - | 0,9 | - | 1,0 | 1,0 | 0,7 | 91% |
| TO ITIS GRASSI | - | - | - | - | 1,2 | 1,1 | - | 1,4 | 0,9 | 0,9 | 95% |
| TO-LINGOTTO | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,6 ⁽⁶⁾ | 0,7 | 73% |
| TO-LINGOTTO PM2.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,8 | 0,6 | 86% |
| TO-RIVOLI | - | - | - | - | - | 0,8 | - | 1,1 | 0,8 | 0,6 | 84% |
| TO-CONSOLATA | - | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,8 | 1,1 | - | 0,9 | 1,1 | 0,6 | 92% |
| TO-GAIDANO ⁽²⁾ | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| TO-RUBINO ⁽³⁾ | - | - | - | - | - | 1,0 | - | 0,9 | 0,9 | 0,4 | 82% |

TABELLA 37: concentrazioni medie annuali di benzo(a)pirene rilevate su PM10 e PM2.5 – 1998-2007 (ng/m³).

⁽¹⁾ sino al novembre 2006 il sito è quello da traffico di P.zza Freguglia; dal dicembre 2006 il sito è quello di back-ground suburbano di Viale della Liberazione

⁽²⁾ stazione dismessa nel marzo 2007

⁽³⁾ stazione attiva a partire da aprile 2007

⁽⁴⁾ dati disponibili a partire dal mese di aprile

⁽⁵⁾ numero limitato di campioni su base annuale rispetto alle altre stazioni

⁽⁶⁾ dati disponibili a partire dal mese di maggio (ciò spiega il valore inferiore a quello del BaP determinato sul PM2.5).

| | | | |
|---------------------------------------|------|----------------------------|------|
| B(a)P su PM2.5 (ng/m ³) | 0,55 | PM2.5 (mg/m ³) | 34 |
| B(a)P su PM10 (ng/m ³) | 0,66 | PM10 (mg/m ³) | 60 |
| Rapporto B(a)P su PM2.5/B(a)P su PM10 | 0,83 | Rapporto PM2.5/PM10 | 0,57 |

TABELLA 38: Stazione di Torino Lingotto - concentrazioni medie di benzo(a)pirene, PM2.5 e PM10 nel periodo 1/5/2006-31/12/2007.

| Periodo di mediazione (con riferimento a triennio 2005-2007) | BORGARO | BUTTIGLIERA ALTA | CARMAGNOLA | DRUENTO | IVREA | PINEROLO | SUSA | TO-CONSOLATA | TO-GAIDANO RUBINO | TO ITIS GRASSI | TO-LINGOTTO | TO-RIVOLI |
|--|---------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|
| Gennaio | 0,0033 | 0,0039 | 0,0029 | 0,0023 | 0,0039 | 0,0030 | 0,0070 | 0,0026 | 0,0021 | 0,0029 | 0,0014 | 0,0021 |
| Febbraio | 0,0031 | 0,0028 | 0,0022 | 0,0017 | 0,0037 | 0,0023 | 0,0053 | 0,0019 | 0,0018 | 0,0023 | 0,0013 | 0,0020 |
| Marzo | 0,0008 | 0,0005 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0008 | 0,0006 | 0,0016 | 0,0007 | 0,0005 | 0,0008 | 0,0006 | 0,0005 |
| Aprile | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0008 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0006 | 0,0001 | 0,0004 |
| Maggio | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0007 | 0,0004 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0005 |
| Giugno | 0,0002 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0001 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 |
| Luglio | 0,0003 | 0,0007 | 0,0005 | 0,0009 | 0,0007 | 0,0007 | 0,0009 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0005 | 0,0002 | 0,0005 |
| Agosto | 0,0005 | 0,0007 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0008 | 0,0005 | 0,0008 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0006 | 0,0005 | 0,0005 |
| Settembre | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0006 | 0,0002 | 0,0010 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0009 | 0,0002 | 0,0002 |
| Ottobre | 0,0010 | 0,0012 | 0,0006 | 0,0011 | 0,0012 | 0,0011 | 0,0016 | 0,0009 | 0,0004 | 0,0008 | 0,0003 | 0,0005 |
| Novembre | 0,0024 | 0,0028 | 0,0017 | 0,0030 | 0,0023 | 0,0020 | 0,0049 | 0,0015 | 0,0016 | 0,0014 | 0,0008 | 0,0013 |
| Dicembre | 0,0040 | 0,0063 | 0,0040 | 0,0028 | 0,0054 | 0,0039 | 0,0111 | 0,0032 | 0,0025 | 0,0032 | 0,0043 | 0,0031 |
| 2005-2007 | 0,0019 | 0,0022 | 0,0016 | 0,0015 | 0,0022 | 0,0016 | 0,0034 | 0,0014 | 0,0014 | 0,0015 | 0,0012 | 0,0013 |
| % media mesi freddi | 0,0026 | 0,0030 | 0,0021 | 0,0019 | 0,0029 | 0,0021 | 0,0050 | 0,0019 | 0,0017 | 0,0020 | 0,0018 | 0,0017 |
| % media mesi caldi | 0,0003 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0002 | 0,0003 |

TABELLA 39: percentuale in massa di benzo(a)pirene nel PM10 e nel PM2,5 – Triennio 2005-2007.

La stazione mobile di rilevamento della qualità dell'aria opera ad integrazione della rete di stazioni fisse sull'intero territorio della provincia di Torino. La scelta dei siti di monitoraggio avviene sulla base delle richieste delle amministrazioni comunali e di specifici obiettivi individuati dagli organismi di coordinamento ARPA - Provincia di Torino.

La stazione mobile è dotata di sensori per la misura in continuo di biossido di zolfo, monossido di carbonio, ossidi di azoto, polveri PM10, ozono, idrocarburi aromatici e dei principali parametri meteorologici.

Di norma, in ognuno dei siti vengono effettuate campagne di monitoraggio in due diversi periodi, uno nel semestre freddo e uno in quello caldo dell'anno, in modo da tener conto della variabilità delle concentrazioni degli inquinanti aerodispersi legate alla variazione stagionale delle condizioni meteorologiche ed in particolare di stabilità atmosferica.

Nell'anno 2007 sono state realizzate campagne di rilevamento in quattro comuni della provincia torinese, la localizzazione dei punti di monitoraggio è indicata in FIGURA 58.

Tutti i siti monitorati sono stati oggetto di specifiche relazioni tecniche curate dal Dipartimento ARPA di Torino; copia delle relazioni è disponibile sia presso tale Dipartimento che presso l'Area Ambiente della Provincia di Torino ed è scaricabile via internet all'indirizzo: <http://www.provincia.torino.it/ambiente/inquinamento/aria/qualita/mezzo>.

Per ogni campagna di monitoraggio viene riportata nel presente capitolo una breve scheda riassuntiva, che descrive il confronto con i valori limite a oggi in vigore (D.M. 60/2002 per biossido di zolfo, biossido di azoto, monossido di carbonio, benzene e PM10, e D. Lgs n. 183 del 21/05/04 per quanto riguarda l'ozono).

In ogni tabella il numero di superamenti viene espresso, oltre che in termini assoluti, anche in percentuale, in modo da fornire un'indicazione che tenga conto della durata della campagna di monitoraggio. La percentuale è riferita al numero di unità temporali a cui fa riferimento il valore limite di confronto, cioè al numero massimo teorico di superamenti; nel caso di un valore limite espresso come concentrazione media oraria, ad esempio, la percentuale è riferita al numero totale di dati orari validi.

I dati acquisiti tramite il mezzo mobile consentono di integrare le valutazioni sulla qualità dell'aria sul territorio provinciale e permettono agli amministratori comunali di valutare l'adozione di interventi al fine di migliorare la qualità dell'aria del proprio territorio, dove possono esserci situazioni specifiche, quali ad esempio la presenza di vie di comunicazione o di unità produttive.

Nel corso del 2007, il Laboratorio Mobile è stato posizionato in 4 Comuni della Provincia di Torino (None, Settimo T.se, Piossasco e Ceresole Reale).

La campagna di Ceresole Reale è stata realizzata al fine di valutare l'idoneità del sito all'installazione di una stazione di fondo rurale in quota.

La campagna di monitoraggio conclusiva di Settimo aveva l'obiettivo di controllare la qualità dell'aria in seguito alla realizzazione di una rotonda di accesso all'autostrada Torino Milano.

La prima campagna di Piossasco è stata realizzata al fine di monitorare la qualità dell'aria a seguito della richiesta del comune stesso, il laboratorio mobile è stato posizionato al bordo della strada S.S. n.589 Pinerolo - Avigliana.

La campagna di None è stata realizzata al fine di valutare la qualità dell'aria a seguito della richiesta del comune stesso; in questo caso il laboratorio mobile è stato posizionato nel centro abitato.

I valori previsti dal DM 60/2002 per il monossido di carbonio sono stati rispettati in tutti i siti, mentre per il benzene il valore medio per il periodo di monitoraggio della campagna di None è stato l'unico che ha superato di poco i $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ previsti dalla normativa; tale valore è comunque previsto come media annuale, mentre la campagna è durata un mese e quindi il confronto ha esclusivamente natura indicativa.

Non ha mostrato criticità il biossido di zolfo, anche se i valori medi orari registrati a None sono superiori di circa $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rispetto a quelli ottenuti nelle stazioni di Rivoli e Torino-Consolata.

Le maggiori criticità sono emerse dal monitoraggio delle polveri inalabili (PM10); nel periodo estivo o comunque primaverile, è invece l'ozono il parametro che registra il mag-

gior numero di superamenti in relazione all'aumento dell'irraggiamento solare.

Per quanto riguarda l'ozono, nella campagna di Piossasco iniziata a fine Marzo e terminata ad inizio Maggio, con una temperatura media di 14,7°C ed una radiazione solare netta media di 56,2 W/m², sono stati registrati 19 superamenti del valore bersaglio per la protezione della salute umana e 5 superamenti della soglia di informazione.

Nel corso della campagna di Ceresole (da fine Settembre a fine Ottobre) con una temperatura media di 6,1°C ed una radiazione solare netta di 39,8 W/m², sono stati registrati 6 superamenti del valore bersaglio per la protezione della salute umana e 4 superamenti della soglia di informazione.

Non si sono registrati invece in nessuno dei siti monitorati superamenti del valore limite di protezione della salute umana di 200 µg/m³ per l'NO₂; il valore orario massimo di 149 µg/m³ con una media dei valori orari di 56 µg/m³ si è registrato nel comune di None; valori simili si sono registrati nel Comune di Settimo con un Valore Massimo di 147 µg/m³, ed una media dei valori orari di 65 µg/m³.

Infine per il PM10 il livello giornaliero per la protezione della salute di 50 µg/m³ è stato superato 28 volte a None, 21 a Settimo e 5 a Piossasco; a Ceresole non si sono verificati superamenti del PM10 e il valore massimo è risultato di 29 µg/m³.

L'analisi di dettaglio dei dati delle singole campagne permette inoltre di effettuare alcune considerazioni specifiche per ogni sito.

Nel Comune di None la seconda campagna è stata condotta in un periodo dove l'unico inquinante per cui si sono registrati dei superamenti è il PM10, con valori simili a quelli di stazioni della rete fissa provinciale che hanno caratteristiche simili come Pinerolo, Buttigliera e Carmagnola. Gli andamenti di benzene, monossido di carbonio e biossido di azoto mostrano che la qualità dell'aria è influenzata dalla presenza di traffico veicolare, infatti le concentrazioni più elevate, pur rispettando i limiti previsti dalla normativa, si osservano tra le 7 e le 11 e tra le 18 e le 20.

Nel Comune di Settimo la campagna conclusiva del monitoraggio è stata condotta per valutare l'impatto sulla qualità dell'aria in seguito all'entrata in funzione di una nuova rotonda che permette l'accesso all'autostrada Torino-Milano; per questo motivo è stato installato anche uno strumento in grado di contare il numero di veicoli passanti. Purtroppo non era stata richiesta una campagna di ante-opera, per cui non è possibile fare un confronto dei dati nelle due diverse situazioni. Dal monitoraggio risulta che il PM10 ha valori molto simili a Borgaro T.se e Consolata, mentre per quanto riguarda l'NO₂ i valori sono inferiori a quelli registrati dalla cabina di monitoraggio di Settimo T.se con una media di tutti i valori di 65 µg/m³ rispetto ai 73 µg/m³ della stazione fissa nello stesso periodo. Infine, esaminando la media di tutti i valori orari del benzene (3,7µg/m³) poiché la campagna è stata effettuata in un periodo tra i più critici dal punto di vista meteorologico, si può ragionevolmente presumere che il valore limite su base annuale (5 µg/m³) sia ampiamente rispettato.

Nel Comune di Piossasco, l'O₃ è risultato l'inquinante più problematico, in quanto la campagna è stata effettuata nel periodo primaverile. Sono stati superati 19 volte il valore limite per la protezione della salute umana e 5 volte la soglia d'informazione. Nel caso del PM10 è stato superato il valore limite giornaliero di 50 µg/m³ per 5 volte, con un valore massimo di 68 µg/m³ e una media di tutti i valori di 37 µg/m³; si tratta di valori simili a quelli registrati nella cabina di monitoraggio di Pinerolo, con una media di tutti i valori di 34 µg/m³ ed un valore massimo di 67 µg/m³.

Nel Comune di Ceresole, come già ricordato, la finalità del monitoraggio era quello di valutare l'installazione di una stazione di monitoraggio fissa di fondo rurale in quota. Il laboratorio mobile è stato posizionato nel piazzale antistante l'impianto di produzione di energia idroelettrica IRIDE. Nel periodo di monitoraggio l'unico inquinante per il quale si sono registrati superamenti è l'ozono, con 6 superamenti del valore limite per la protezione della salute umana di 120 µg/m³ e 4 superamenti della soglia di informazione; i superamenti si sono verificati tutti nei primi giorni della campagna, nei quali la temperatura era ancora relativamente elevata.

I risultati della campagna confermano come l'ozono presenti fenomeni di accumulo in

quota, con variazioni relativamente limitate durante il giorno, come evidenziato dalla FIGURA 57 che pone a confronto l'andamento medio dell'ozono nel periodo di monitoraggio a Ceresole e in altri siti di quota.

I valori molto bassi rilevati invece per inquinanti come NO₂, CO, Benzene C₆H₆ ed SO₂, sono tipici delle stazioni rurali, come ad esempio Baldissero T.se.

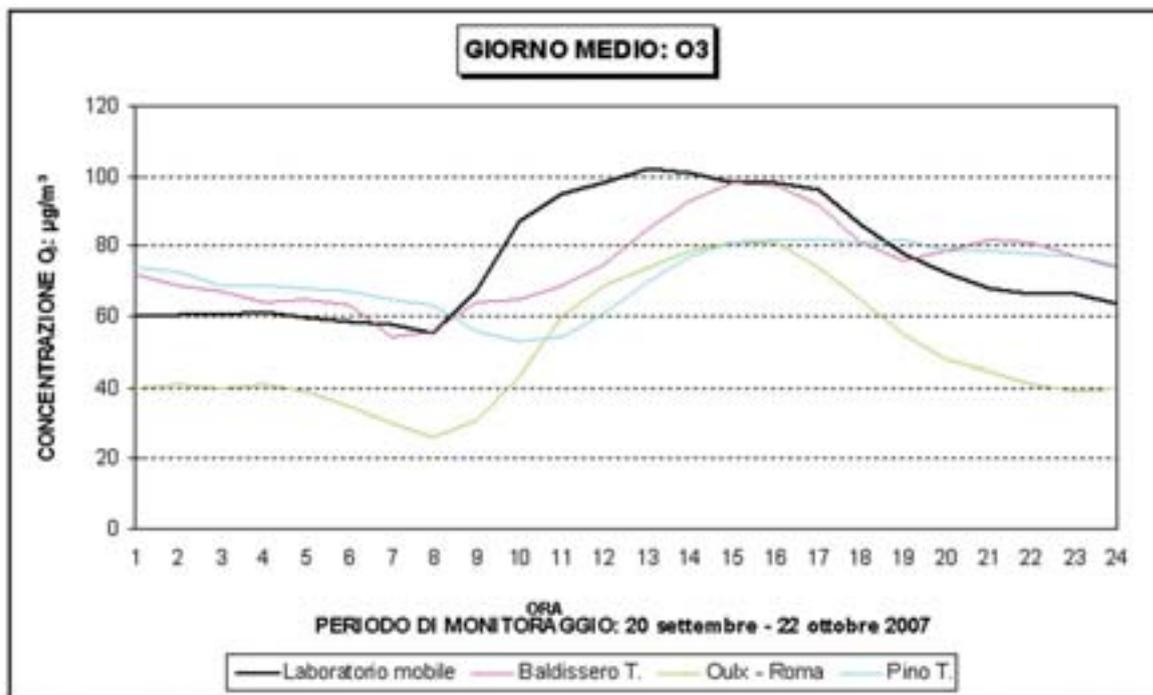


FIGURA 57: comune di Ceresole – Giorno medio dell'ozono durante il periodo di monitoraggio.

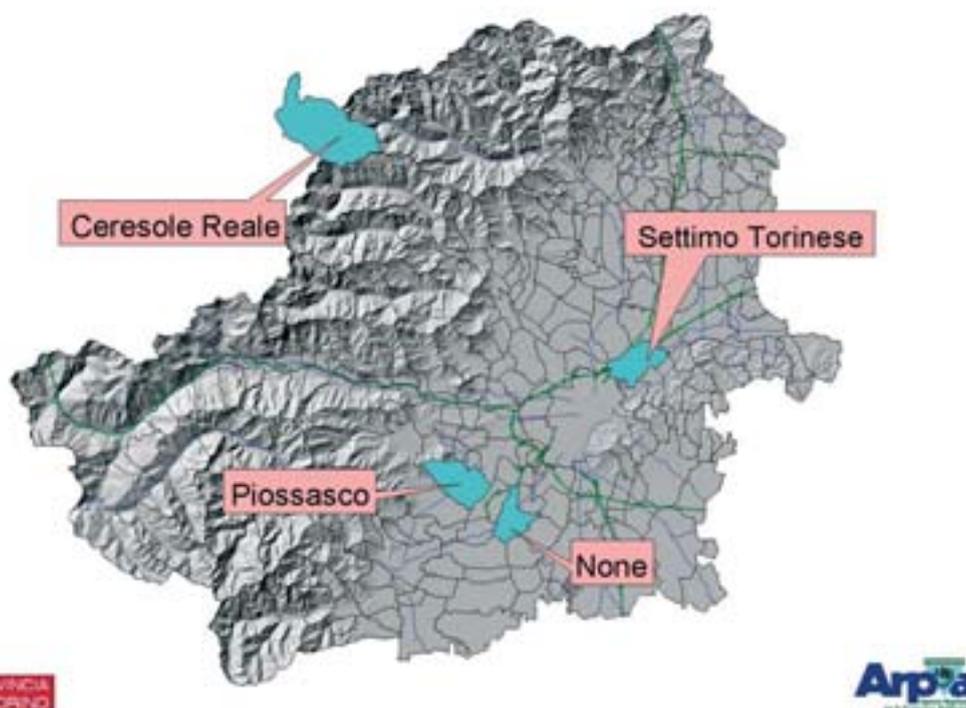


FIGURA 58: campagne di monitoraggio effettuate con il laboratorio mobile nell'anno 2007.



LABORATORIO MOBILE - COMUNE DI CERESOLE REALE - BORGATA VILLA

Campagna conclusiva periodo di monitoraggio: 19 Settembre - 23 Ottobre 2007

| Inquinante | Riferimenti normativi | Dati validi | | Valore limite per la protezione della salute umana | | | | Soglia di informazione | | | | Soglia di allarme | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|--|--------------------------|------------------|----|---------------------------|-----------------------|----------------|-----|---------------------------|-----------------------|----------------|---|--|--|--|--|
| | | % | Valore medio del periodo | Valore medio massimo | Valore di riferimento | superamenti n° | % | Valore medio massimo | Valore di riferimento | superamenti n° | % | Valore medio massimo | Valore di riferimento | superamenti n° | % | | | | |
| SO ₂ | DM 60/2002 | 60 | | 5 µg/m ³ (1) | 350 µg/m ³ | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| NO ₂ | DM 60/2002 | 84 | | 2 µg/m ³ (2) | 125 µg/m ³ | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| CO | DM 60/2002 | 95 | | | 10 mg/m ³ (4) | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| PM10 | DM 60/2002 | 97 | | | 50 µg/m ³ (2) | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| O ₃ | D.Lgs. 183 del 21/05/04 | 86 | | 174 µg/m ³ (4) | 120 µg/m ³ | 6 | 23 | 120 µg/m ³ (1) | 180 µg/m ³ | 4 | 0,5 | 201 µg/m ³ (1) | 240 µg/m ³ | 0 | 0 | | | | |
| C ₆ H ₆ | DM 60/2002 | 76 | 0,6 µg/m ³ (6) | | 5 µg/m ³ (7) | 6 ⁽⁵⁾ | 0 | | | | | | | | | | | | |

* Per O₃ sono stati presi in considerazione i valori limite del D.Lgs n. 183 del 21/05/04

(1) Concentrazione media oraria; (2) Concentrazione media giornaliera; (3) Concentrazione misurata su tre ore consecutive; (4) Concentrazione media giornaliera su 8 ore (calcolata con la media mobile trascinata, per ogni ora, sulle 8 ore precedenti); (5) Numero di giorni con almeno un superamento del livello di protezione della salute su medie di 8 ore; (6) Concentrazione media del periodo di monitoraggio; (7) Concentrazione media annuale.

FIGURA 59: comune di Ceresole Reale Borgata Villa – Sito di monitoraggio e statistica relativa ai principali parametri chimici.



LABORATORIO MOBILE - COMUNE DI SETTIMO - C.so Piemonte Ingresso Autostrada To-Mi

Seconda campagna: Periodo di monitoraggio: 21 Febbraio - 22 Marzo 2007

| Inquinante | Riferimenti normativi | Dati validi % | Valore limite per la protezione della salute umana | | | | Soglia di informazione | | | | Soglia di allarme | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------|---------------|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|---------------------------|-----------------------|---|---|---|
| | | | Valore medio periodo | Valore medio massimo | Valore di riferimento | superamenti n° % | Valore medio massimo | Valore di riferimento | superamenti n° % | Valore medio massimo | Valore di riferimento | superamenti n° % | | | | | |
| SO ₂ | DM 60/2002 | 95 | | 35 µg/m ³ (1) | 15 µg/m ³ (2) | 350 µg/m ³ | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| NO ₂ | DM 60/2002 | 95 | | 147 µg/m ³ (1) | 2 mg/m ³ (4) | 200 µg/m ³ | 6 | 0 | | | | | | | | | |
| CO | DM 60/2002 | 95 | | 126 µg/m ³ (2) | 10 mg/m ³ (4) | 50 µg/m ³ (2) | 21 | 77.7 | | | | | | | | | |
| PM10 | DM 60/2002 | 90 | | 117 µg/m ³ (4) | 120 µg/m ³ (4) | 180 µg/m ³ (1) | 0 | 0 | 137 µg/m ³ (1) | 180 µg/m ³ | 0 | 0 | 137 µg/m ³ (1) | 240 µg/m ³ | 0 | 0 | 0 |
| O ₃ | D.Lgs. 183 del 21/05/04 | 70 | | | | | 0 ⁽⁵⁾ | 0 | | | | | | | | | |
| C ₆ H ₆ | DM 60/2002 | 90 | 3,8 µg/m ³ (6) | | 5 µg/m ³ (7) | | | | | | | | | | | | |

* Per O₃ sono stati presi in considerazione i valori limite del D.Lgs n. 183 del 21/05/04

(1) Concentrazione media oraria; (2) Concentrazione media giornaliera; (3) Concentrazione misurata su tre ore consecutive; (4) Concentrazione media giornaliera su 8 ore (calcolata con la media mobile trascinata, per ogni ora, sulle 8 ore precedenti); (5) Numero di giorni con almeno un superamento del livello di protezione della salute su medie di 8 ore; (6) Concentrazione media del periodo di monitoraggio; (7) Concentrazione media annuale.

FIGURA 60: comune di Settimo - C.so Piemonte Ingresso Autostrada To-Mi - Sito di monitoraggio e statistica relativa ai principali parametri chimici.



LABORATORIO MOBILE - COMUNE DI PIOSSASCO - S.S. 589 Pinerolo - Avigliana N° Civico 46

Prima campagna: Periodo di monitoraggio: 26 Marzo - 04 Maggio 2007

| Inquinante | Riferimenti normativi | Dati validi % | Valore limite per la protezione della salute umana | | | | Soglia di Informazione | | | | Soglia di allarme | | | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------|------------------|--|---------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|---|--|--|--|
| | | | Valore medio del periodo | Valore medio massimo | Valore di riferimento | superamenti n° | % | Valore medio massimo | Valore di riferimento | superamenti n° | % | Valore medio massimo | Valore di riferimento | superamenti n° | % | | | |
| SO ₂ | DM 60/2002 | 98 | | 11 µg/m ³ (1) | 350 µg/m ³ | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| NO ₂ | DM 60/2002 | 98 | | 5,4 µg/m ³ (2) | 125 µg/m ³ | 0 | 0 | | | | | | | | | | | |
| CO | DM 60/2002 | 98 | | | 0,9 mg/m ³ (4) | 10 mg/m ³ (4) | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| PM10 | DM 60/2002 | 92 | | | 68 µg/m ³ (2) | 50 µg/m ³ (2) | 5 | 0 | | | | | | | | | | |
| O ₃ | D.Lgs. 183 del 21/05/04 | 75 | | 181 µg/m ³ (4) | 120 µg/m ³ | 19 | 12,5 | 195µg/m ³ (1) | 180µg/m ³ | 5 | 18,5 | 195 µg/m ³ (1) | 240 µg/m ³ | 0 | 0 | | | |
| C ₆ H ₆ | DM 60/2002 | 95 | | 1,2 µg/m ³ (6) | 5 µg/m ³ (7) | 19 ⁽⁵⁾ | 70 | | | | | | | | | | | |

* Per O₃ sono stati presi in considerazione i valori limite del D.Lgs n. 183 del 21/05/04

(1) Concentrazione media oraria; (2) Concentrazione media giornaliera; (3) Concentrazione misurata su tre ore consecutive; (4) Concentrazione media giornaliera su 8 ore (calcolata con la media mobile trascinata, per ogni ora, sulle 8 ore precedenti); (5) Numero di giorni con almeno un superamento del livello di protezione della salute su medie di 8 ore; (6) Concentrazione media del periodo di monitoraggio; (7) Concentrazione media annuale.

FIGURA 61: comune di Piossasco – Sito di monitoraggio e statistica relativa ai principali parametri chimici.



LABORATORIO MOBILE - COMUNE DI NONE - Via San Rocco 4

Seconda Campagna: Periodo di monitoraggio: 17 Gennaio - 21 Febbraio 2007

| Inquinante | Riferimenti normativi | Dati validi | | Valore limite per la protezione della salute umana | | | | Soglia di informazione | | | | Soglia di allarme | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------|-------------|--|--|---------------------------|--------------------------|------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------|-------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------|---|---|
| | | % | | Valore medio del periodo | Valore medio massimo | Valore di riferimento | superamenti n° | % | Valore medio massimo | Valore di riferimento | superamenti n° | % | Valore medio massimo | Valore di riferimento | superamenti n° | % | |
| SO ₂ | DM 60/2002 | 67 | | 33 µg/m ³ (1) | 33 µg/m ³ (1) | 350 µg/m ³ | 0 | 0 | | | | | | 26,3 µg/m ³ (3) | 500 µg/m ³ | 0 | 0 |
| NO ₂ | DM 60/2002 | 94 | | 12 µg/m ³ (2) | 12 µg/m ³ (2) | 125 µg/m ³ | 0 | 0 | | | | | | 114 µg/m ³ (3) | 400 µg/m ³ | 0 | 0 |
| CO | DM 60/2002 | 94 | | 2,7 mg/m ³ (4) | 2,7 mg/m ³ (4) | 10 mg/m ³ (4) | 0 | 0 | | | | | | | | | |
| PM10 | DM 60/2002 | 94 | | 136 µg/m ³ (2) | 136 µg/m ³ (2) | 50 µg/m ³ (2) | 28 | 82 | | | | | | | | | |
| O ₃ | D.Lgs. 183 del 21/05/04 | 47 | | 39 µg/m ³ (4) | 39 µg/m ³ (4) | 120 µg/m ³ | 0 | 0 | 50 µg/m ³ (1) | 180 µg/m ³ | 0 | 0 | 50 µg/m ³ (1) | 240 µg/m ³ | 0 | 0 | |
| C ₆ H ₆ | DM 60/2002 | 81 | | 5,9 µg/m ³ (6) | 5,9 µg/m ³ (6) | 5 µg/m ³ (7) | 0 ⁽⁵⁾ | 0 | | | | | | | | | |

* Per O₃ sono stati presi in considerazione i valori limite del D.Lgs n. 183 del 21/05/04

(1) Concentrazione media oraria; (2) Concentrazione media giornaliera; (3) Concentrazione misurata su tre ore consecutive; (4) Concentrazione media giornaliera su 8 ore (calcolata con la media mobile trascinata, per ogni ora, sulle 8 ore precedenti); (5) Numero di giorni con almeno un superamento del livello di protezione della salute su medie di 8 ore; (6) Concentrazione media del periodo di monitoraggio; (7) Concentrazione media annuale.

FIGURA 62: comune di None – Via San Rocco 4 - Sito di monitoraggio e statistica relativa ai principali parametri chimici.

PREMESSA

La misura regolare e continuativa e l'analisi dei parametri meteorologici costituiscono una parte fondamentale del monitoraggio della qualità dell'aria; esaminandole congiuntamente è infatti possibile caratterizzare le condizioni meteorologiche e climatiche del territorio interessato e valutare i fenomeni di diffusione degli inquinanti.

L'Area Previsione e Monitoraggio Ambientale di Arpa Piemonte cura e gestisce un sistema complesso di monitoraggio sul territorio regionale, tra cui un sistema di misure a terra che ad oggi consta di circa 500 stazioni automatiche, di cui circa 120 nella provincia di Torino, 2 sistemi di radiosondaggio, presso l'Aeroporto di Cuneo-Levaldigi e nel comune di Cesana Torinese, in località Pariol, 2 radar doppler ed un profilatore verticale di vento e temperatura collocato nell'area urbana di Torino.

Sulla base di rigorose specifiche tecniche, elaborate con la collaborazione del Politecnico di Torino, la rete è stata realizzata per fasi successive: a partire da una prima maglia di stazioni di interesse meteorologico "regionale" si sono via via infittiti i punti di monitoraggio sia a copertura di tutti i principali bacini, sia in base a particolari esigenze locali, legate a situazioni di dissesto createsi a seguito degli eventi alluvionali che hanno ripetutamente colpito il Piemonte.

A partire dall'anno 2002 sono stati avviati i lavori volti all'ottimizzazione delle risorse di monitoraggio disponibili sul territorio piemontese mediante l'integrazione tra la rete di telerilevamento Meteoidrografica di Arpa Piemonte e la rete regionale di rilevamento della qualità dell'aria (S.R.Q.A.). Per garantire un adeguato supporto alla validazione dei dati chimici e quindi alle valutazioni di qualità dell'aria, si è provveduto al potenziamento dei sistemi di rilevazione dei parametri meteorologici per le province di Asti, Novara, Vercelli ed Alessandria.

Inoltre si è provveduto ad integrare la dotazione sensoristica di alcune stazioni della rete Meteoidrografica (Carmagnola, Torino Caselle) con sensori di radiazione globale e di radiazione netta, particolarmente importanti per ottenere stime accurate dei principali parametri rappresentativi della turbolenza degli strati bassi dell'atmosfera.

Nella città di Torino sono stati ripristinati i siti di Torino Consolata e di Torino Alenia, già appartenenti alla rete del sistema regionale di rilevamento della qualità dell'aria (S.R.Q.A.), mediante aggiornamento della dotazione sensoristica ed integrazione operativa tra le stazioni della rete Meteoidrografica, rispettivamente in data 18/12/2003 e 31/05/2005.

I parametri meteorologici principali misurati dalle stazioni della rete regionale sono la velocità (vv) e la direzione del vento (dv), la radiazione solare globale (rdg) e netta (rdn), la pressione atmosferica (pres), l'umidità relativa (umid), la quantità di pioggia (pv) e la temperatura (temp).

La diversa dotazione strumentale è stata adattata alle esigenze di rilevamento di ogni sito, tenendo in considerazione le caratteristiche morfologiche dell'area, la rappresentatività rispetto al territorio e la tipologia della stazione.

In ambiente di alta montagna, le stazioni aggiungono alla normale configurazione i sensori di altezza della neve (hs) e temperatura del manto nevoso (ts). I dati così rilevati si integrano a quelli raccolti dalla rete nivometrica manuale, fornendo indicazioni relative ad aree non presidiate e di particolare interesse.

L'elenco delle stazioni meteorologiche automatiche e dei parametri misurati sono disponibili sul sito di Arpa Piemonte all'indirizzo:

http://www.arpa.piemonte.it/upload/dl/Rischi_naturali/Monitoraggio_idrometeorologico/_stazioni_automatich.pdf

ELABORAZIONI DEI DATI RILEVATI

Elaborazione dei dati di velocità e direzione del vento

Le elaborazioni riportate sono relative alle stazioni ritenute maggiormente rappresentative per quanto riguarda l'agglomerato urbano (Torino-Consolata) ed i siti esterni al capoluogo (Moncalieri-Bauducchi e Cumiana).

Al fine di evidenziare l'influenza del ciclo giornaliero sulle direzioni di provenienza del flusso atmosferico, sono state realizzate delle rose del vento suddividendo i dati nei periodi diurno e notturno della giornata. Le rose così suddivise sono state inoltre ripartite per classi di velocità, in modo da evidenziare le condizioni di vento tipico per le 3 zone analizzate. Le particolarità di ogni stazione, riscontrabili nel ciclo a carattere giornaliero, possono essere ascritte alle caratteristiche anemologiche locali del sito di monitoraggio.

Nel caso delle stazioni localizzate nel territorio del comune di Torino, le rose dei venti sono state riportate in FIGURA 63 con le relative ripartizioni in classi di velocità. Le elaborazioni grafiche relative alle stazioni esterne alla città di Torino sono state riportate in FIGURA 64 ed in FIGURA 65.

Le rappresentazioni in forma di rosa dei venti sono state realizzate attraverso una serie di elaborazioni dei valori medi orari di intensità e direzione del vento.

In linea generale, sui dati acquisiti, sono state effettuate le seguenti operazioni:

1. per l'intensità del vento:
 - identificazione dei dati appartenenti alla classe definita come "calma di vento", caratterizzata da valori di velocità inferiori a 0,3 m/s;
 - suddivisione delle intensità in 5 classi (0,3-1 m/s, 1-2 m/s, 2-3 m/s e 3-5 m/s e >5 m/s);
2. per la direzione del vento:
 - suddivisione in 16 settori di provenienza, di ampiezza pari a 22,5 gradi, centrati sulle direzioni N, NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSO, SO, OSO, O, ONO, NO, NNO. Per le intensità del vento inferiori a 0,3 m/s (situazione di calma di vento), il valore di direzione è stato escluso dal calcolo delle percentuali di accadimento per ogni settore.

Per ogni stazione considerata, sono state effettuate le seguenti elaborazioni grafiche: una rosa dei venti con direzione del vento e due rose dei venti (una per il periodo diurno ed una per il periodo notturno) con direzione ed intensità del vento.

In particolare, la rosa dei venti con la distribuzione dei dati in termini di direzione di provenienza è stata realizzata distinguendo il periodo diurno e notturno ed escludendo i dati non validi ed i valori di calma (velocità inferiore a 0,3 m/s). L'informazione è stata completata dalle percentuali di accadimento delle calme di vento totali e dalla percentuale dei dati non validi.

Le rose di direzione ed intensità del vento sono state realizzate suddividendo in 5 classi i dati validi con velocità superiore a 0,3 m/s. Anche in questi grafici, l'informazione è stata completata dalle percentuali di accadimento delle calme di vento nei periodi diurno e notturno e dalla percentuale dei dati non validi.

Si fa notare come il numero di calme registrato dalla stazione di Torino-Consolata risulti inferiore (su un valore al di sotto del 2,1% del totale delle misure, sia nel periodo diurno che in quello notturno) a quello rilevato nelle altre stazioni. La spiegazione di tale fenomeno è attribuibile al fatto che il palo anemometrico di tale stazione, al fine di eliminare, per quanto possibile in un sito urbano, l'influenza di possibili ostacoli e garantire la significatività della misura, è posizionato sul tetto di un edificio; conseguentemente i dati rilevati risentono, rispetto alla situazione di altre stazioni poste al suolo, in maniera minore dell'influenza del terreno e rilevano quindi intensità del vento mediamente più elevate.

L'influenza della vicinanza al suolo sulle misure viene invece evidenziata dall'analisi delle rose dei venti registrate alle stazioni di Moncalieri-Bauducchi e Cumiana: i sensori di tali stazioni sono posizionati a 10 m dal suolo. In tali condizioni l'occorrenza di calme di vento e venti

deboli è prevalente sulla totalità dei dati misurati (si vedano la FIGURA 64 e la FIGURA 65). Una particolarità, che si nota dalla rosa dei venti della stazione di Cumiana a differenza delle altre due stazioni esaminate, è la netta contrapposizione nella direzione del vento tra il giorno e la notte: questo comportamento è associabile a fenomeni di brezza, che tipicamente hanno un andamento ciclico diurno.

Oltre alle rappresentazioni grafiche, per ogni stazione sono riportate alcune elaborazioni statistiche effettuate su base mensile ed annuale. Più precisamente:

- il numero di dati validi, espresso in percentuale;
- il numero di dati validi caratterizzati da velocità orizzontale del vento inferiore a 0,3 m/s (calme di vento), espresso in percentuale;
- il valore massimo tra i dati orari;
- il valore medio, ottenuto calcolando la media aritmetica di tutti i valori orari validi e registrati nel corso del periodo temporale esaminato, fatta esclusione delle calme di vento;
- la deviazione standard dal valore medio dei valori superiori a 0,3 m/s, per valutare la dispersione dei valori di velocità orizzontale rispetto al valore medio.

Si ricorda che le elaborazioni sopra riportate sono disponibili presso Arpa – Area Previsione e Monitoraggio Ambientale e presso l'Area Ambiente, Servizio Qualità dell'Aria e Risorse Energetiche della Provincia di Torino.

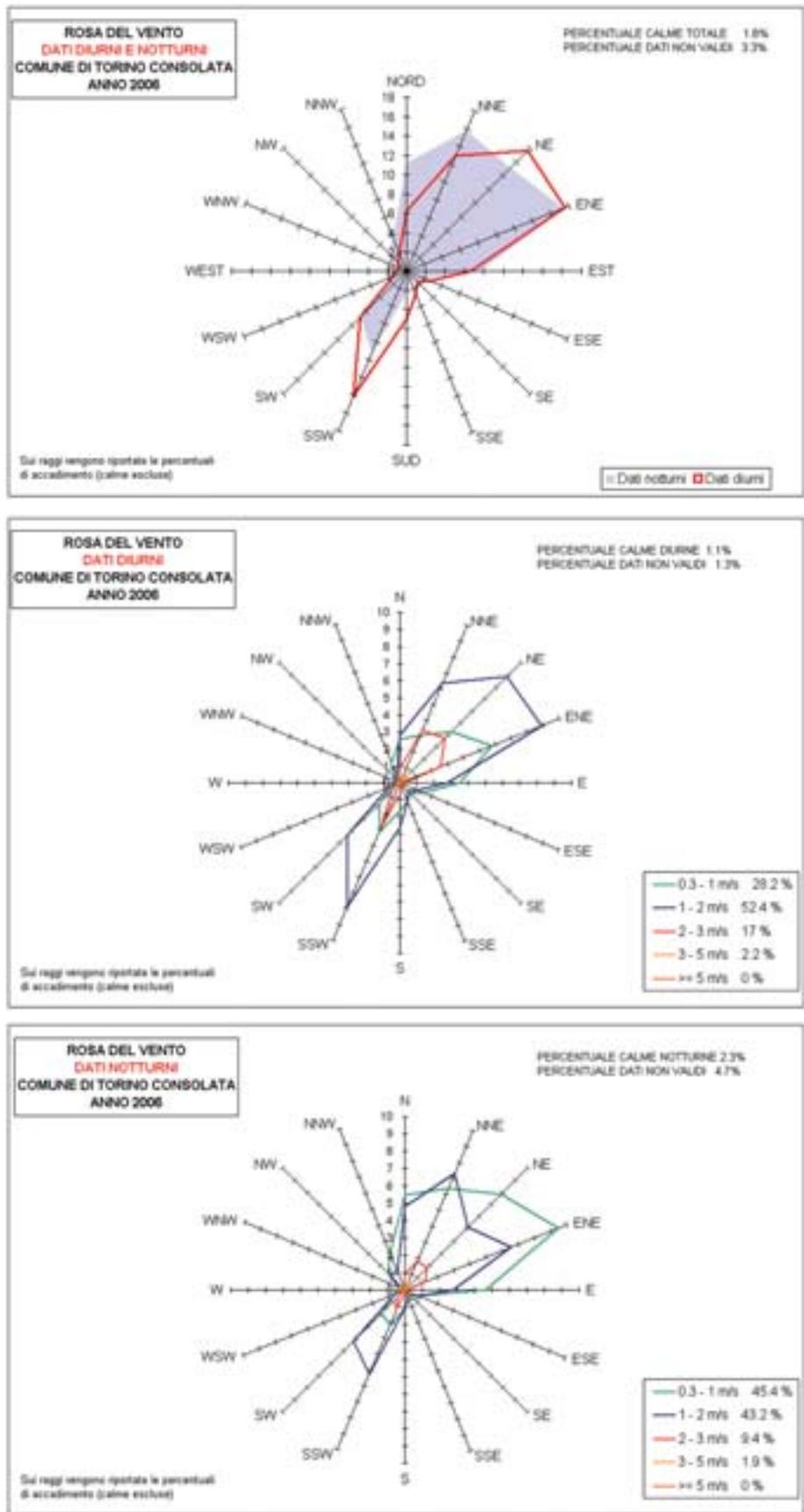


FIGURA 63: rose dei venti diurne e notturne registrate nella stazione Torino Consolata.

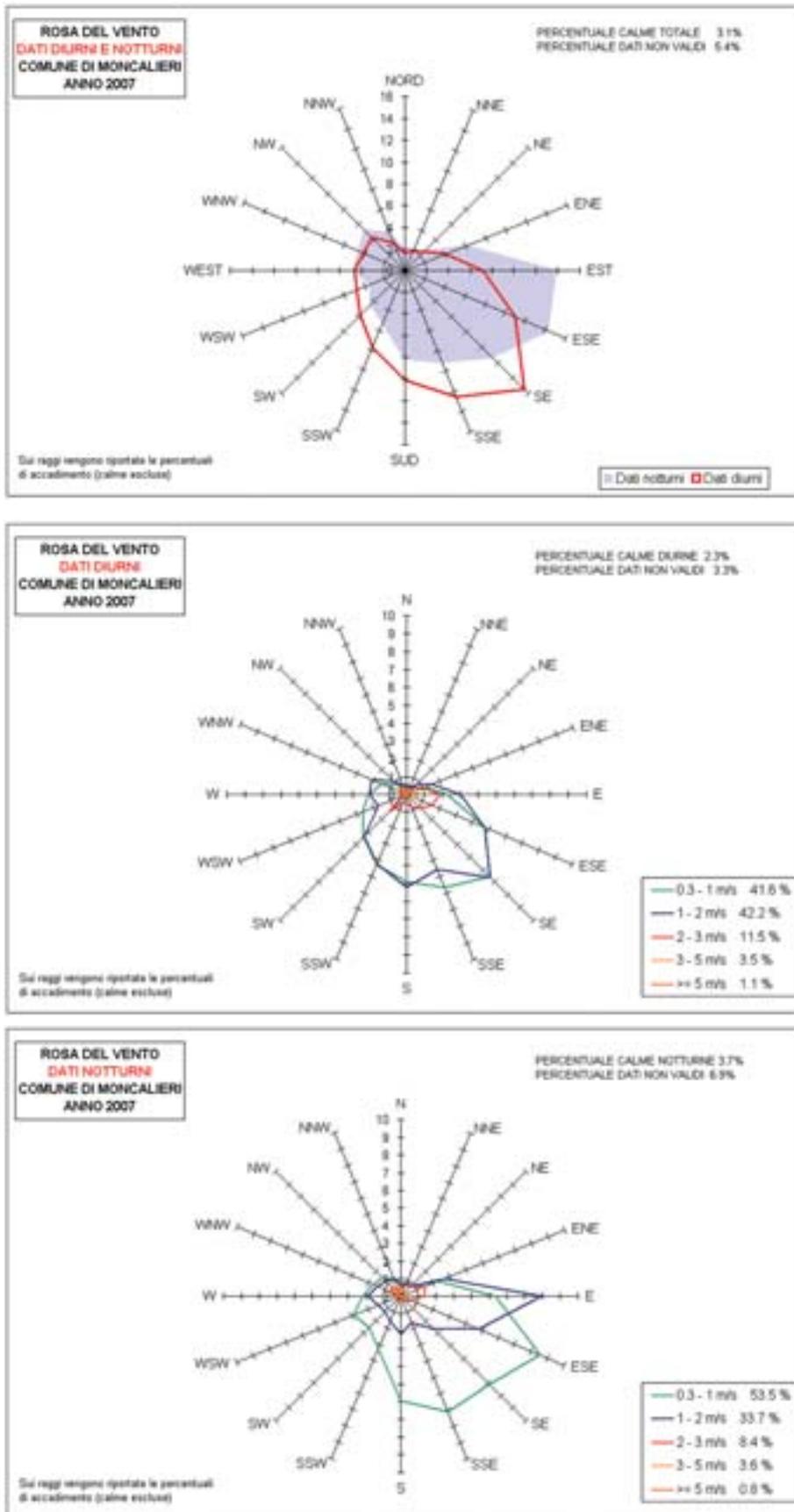


FIGURA 64: rose dei venti diurne e notturne registrate nella stazione di Moncalieri.

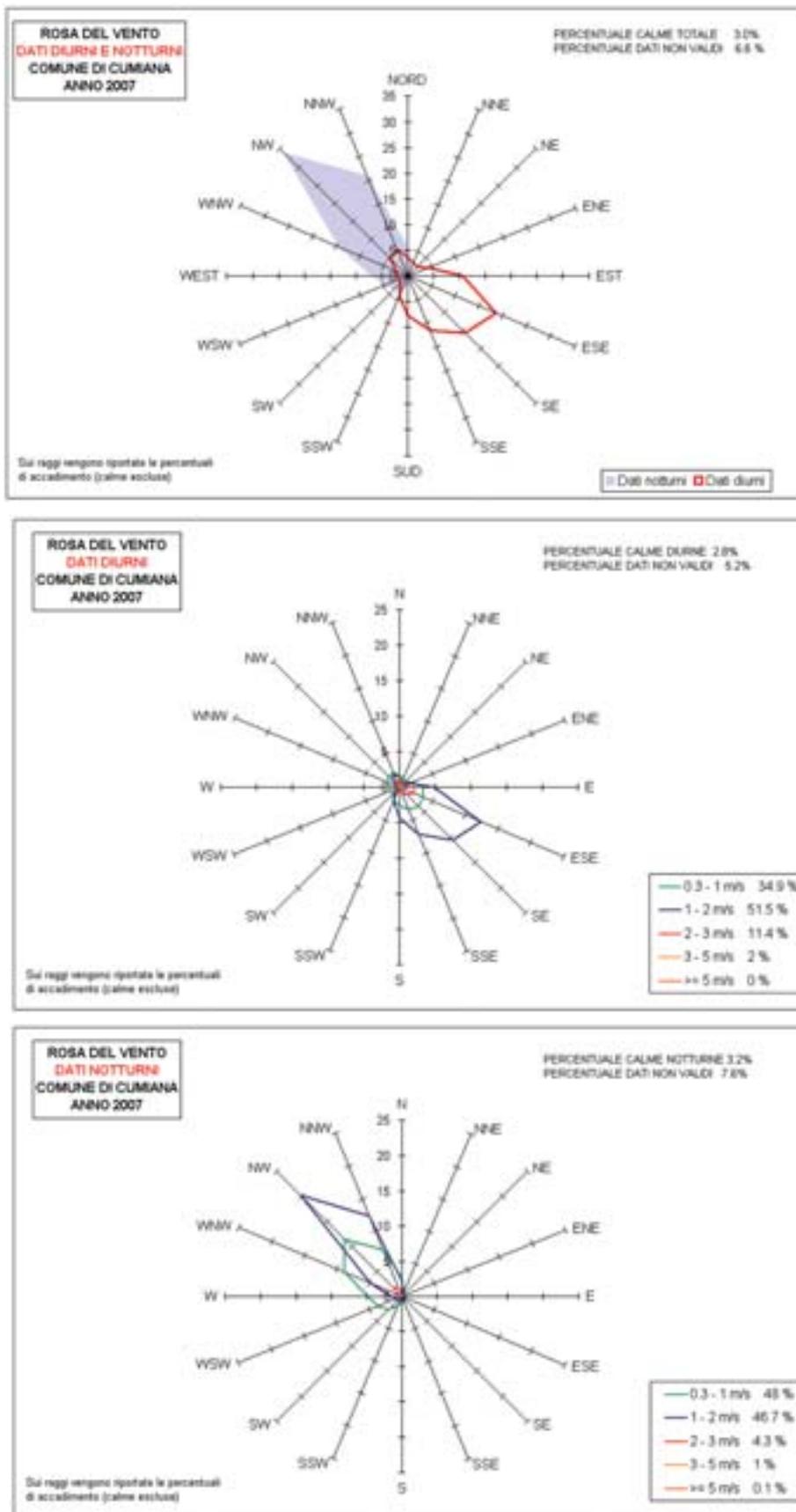


FIGURA 65: rose dei venti diurne e notturne registrate nella stazione di Cumiana.

**STAZIONE DI TORINO-CONSOLATA
PARAMETRO: VELOCITÀ VENTO-2007**

| | NUMERO DATI VALIDI (%) | CALME % (misure < 0,3 m/s) | VALORE MASSIMO ORARIO (m/s) | VELOCITÀ MEDIA* (m/s) | DEVIAZIONE STANDARD* (m/s) |
|----------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| GENNAIO 2007 | 88.6 | 3.4 | 6.7 | 1.3 | 0.9 |
| FEBBRAIO 2007 | 84.2 | 2.7 | 5.9 | 1.2 | 0.9 |
| MARZO 2007 | 85.5 | 1.1 | 5.3 | 1.3 | 0.8 |
| APRILE 2007 | 87.9 | 0.8 | 3.6 | 1.2 | 0.7 |
| MAGGIO 2007 | 95.2 | 1.6 | 5.4 | 1.5 | 0.9 |
| GIUGNO 2007 | 95.8 | 1.7 | 5.7 | 1.4 | 0.8 |
| LUGLIO 2007 | 99.3 | 0.5 | 6.6 | 1.6 | 0.9 |
| AGOSTO 2007 | 99.3 | 1.3 | 5.0 | 1.3 | 0.7 |
| SETTEMBRE 2007 | 98.3 | 0.4 | 5.4 | 1.2 | 0.6 |
| OTTOBRE 2007 | 91.7 | 1.6 | 3.5 | 1.0 | 0.5 |
| NOVEMBRE 2007 | 95.6 | 2.9 | 5.8 | 1.0 | 0.7 |
| DICEMBRE 2007 | 95.0 | 2.8 | 5.7 | 1.1 | 0.7 |

* Calme di vento escluse

TABELLA 40: elaborazione dei dati anemologici rilevati nella stazione di Torino-Consolata nel 2007.

**STAZIONE DI MONCALIERI BAUDUCCHI
PARAMETRO: VELOCITÀ VENTO-2007**

| | NUMERO DATI VALIDI (%) | CALME % (misure < 0,3 m/s) | VALORE MASSIMO ORARIO (m/s) | VELOCITÀ MEDIA* (m/s) | DEVIAZIONE STANDARD* (m/s) |
|----------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| GENNAIO 2007 | 92.2 | 4.6 | 10.4 | 1.2 | 1.2 |
| FEBBRAIO 2007 | 91.4 | 4.8 | 9.9 | 1.3 | 1.3 |
| MARZO 2007 | 96.6 | 1.9 | 8.6 | 1.6 | 1.2 |
| APRILE 2007 | 94.7 | 2.6 | 6.4 | 1.3 | 0.9 |
| MAGGIO 2007 | 98.1 | 1.7 | 9.1 | 1.6 | 1.2 |
| GIUGNO 2007 | 98.9 | 1.8 | 5.8 | 1.5 | 0.9 |
| LUGLIO 2007 | 98.1 | 2.4 | 10.7 | 1.7 | 1.4 |
| AGOSTO 2007 | 97.2 | 3.4 | 6.2 | 1.3 | 0.8 |
| SETTEMBRE 2007 | 95.8 | 2.4 | 7.3 | 1.2 | 0.8 |
| OTTOBRE 2007 | 91.3 | 2.4 | 4.3 | 1.0 | 0.7 |
| NOVEMBRE 2007 | 90.3 | 3.6 | 11.0 | 1.2 | 1.2 |
| DICEMBRE 2007 | 90.7 | 3.8 | 8.5 | 1.1 | 1.1 |

* Calme di vento escluse

TABELLA 41: elaborazione dei dati anemologici rilevati nella stazione di Moncalieri-Bauducchi nel 2007.

**STAZIONE DI CUMIANA
PARAMETRO: VELOCITÀ VENTO-2007**

| | NUMERO DATI VALIDI (%) | CALME % (misure < 0,3 m/s) | VALORE MASSIMO ORARIO (m/s) | VELOCITÀ MEDIA* (m/s) | DEVIAZIONE STANDARD* (m/s) |
|----------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| GENNAIO 2007 | 84.0 | 6.0 | 6.0 | 1.0 | 0.7 |
| FEBBRAIO 2007 | 93.6 | 3.6 | 5.8 | 1.1 | 0.7 |
| MARZO 2007 | 95.7 | 1.6 | 5.5 | 1.3 | 0.7 |
| APRILE 2007 | 97.4 | 1.7 | 3.7 | 1.3 | 0.6 |
| MAGGIO 2007 | 97.7 | 2.4 | 4.5 | 1.3 | 0.7 |
| GIUGNO 2007 | 95.6 | 2.1 | 4.9 | 1.1 | 0.6 |
| LUGLIO 2007 | 97.6 | 1.1 | 5.5 | 1.3 | 0.7 |
| AGOSTO 2007 | 96.9 | 2.3 | 3.0 | 1.2 | 0.5 |
| SETTEMBRE 2007 | 95.7 | 3.1 | 4.4 | 1.1 | 0.6 |
| OTTOBRE 2007 | 93.1 | 2.2 | 3.4 | 1.1 | 0.5 |
| NOVEMBRE 2007 | 86.5 | 3.1 | 5.6 | 1.0 | 0.6 |
| DICEMBRE 2007 | 87.6 | 4.8 | 6.9 | 1.0 | 0.7 |

* Calme di vento escluse

TABELLA 42: elaborazione dei dati anemologici rilevati nella stazione di Cumiana nel 2007.

Elaborazione dei dati di pressione atmosferica, temperatura, umidità relativa e precipitazioni

Nelle pagine seguenti vengono proposte le elaborazioni effettuate sui dati medi orari rilevati nel corso dell'anno 2007 nelle stazioni di Torino-Consolata e Pino Torinese, appartenenti alla Rete Meteoidrografica di Arpa Piemonte.

La scelta delle suddette stazioni è mirata ad evidenziare le diversità dei valori registrati in una stazione urbana di pianura (Torino-Consolata) ed in una stazione posta in quota rispetto alla precedente (Pino Torinese 619 m. s.l.m., a fronte di 290 m. s.l.m. della stazione di Torino).

Per quanto riguarda i parametri di pressione atmosferica e temperatura, sono stati rappresentati graficamente i valori medi mensili registrati nelle due stazioni, associati al valore minimo e massimo orario (FIGURA 66 - FIGURA 69).

Per ogni stazione sono state inoltre riportate in forma tabellare le statistiche mensili relative ai due parametri:

- il numero dei dati validi, espresso in percentuale;
- i valori minimo e massimo tra i dati orari;
- i valori minimo e massimo tra le medie giornaliere;
- il valore medio mensile.

Poiché la stazione di Torino-Consolata non è dotata del sensore per la misurazione dei valori di pressione, per effettuare le elaborazioni sono stati utilizzati i dati di Torino-Giardini Reali.

Nel caso dell'umidità relativa, sono state riportate in un unico prospetto tabellare (TABELLA 43) le statistiche mensili relative alle due stazioni:

- il numero dei dati validi, espresso in percentuale;
- i valori minimo e massimo tra le medie giornaliere;
- il valore medio mensile.

Anche per quanto riguarda le precipitazioni atmosferiche, sono state riportate in un'unica tabella (TABELLA 44) le statistiche mensili relative alle due stazioni:

- il numero dei dati validi, espresso in percentuale;
- il numero di giorni nel corso dei quali si sono verificate precipitazioni atmosferiche superiori ad 1 mm (definiti in climatologia "giorni di pioggia");
- il valore massimo mensile di precipitazione giornaliera;
- la precipitazione totale mensile.

Infine, sotto forma di grafico ad istogrammi (FIGURA 70), sono stati confrontati i risultati delle elaborazioni realizzate per le due stazioni: nella forma di valori medi mensili per i parametri di pressione atmosferica, temperatura ed umidità relativa, e nella forma di sommatoria mensile per il parametro delle precipitazioni atmosferiche.

Si ricorda che le elaborazioni sopra riportate sono disponibili presso l'Arpa – Area Previsione e Monitoraggio Ambientale e presso l'Area Ambiente, Servizio Qualità dell'Aria e Risorse Energetiche della Provincia di Torino.

**STAZIONE DI TORINO GIARDINI REALI
PARAMETRO: PRESSIONE ATMOSFERICA – 2007**

| | NUMERO DATI VALIDI (%) | VALORE MINIMO ORARIO (mbar) | VALORE MASSIMO ORARIO (mbar) | VALORE MINIMO DELLA MEDIA GIORNALIERA (mbar) | VALORE MASSIMO DELLA MEDIA GIORNALIERA (mbar) | VALORE MEDIO MENSILE (mbar) |
|----------------|------------------------|-----------------------------|------------------------------|--|---|-----------------------------|
| GENNAIO 2007 | 98 | 960 | 1005 | 964 | 1002 | 991 |
| FEBBRAIO 2007 | 100 | 971 | 1000 | 974 | 998 | 984 |
| MARZO 2007 | 100 | 954 | 1002 | 958 | 1000 | 985 |
| APRILE 2007 | 100 | 972 | 999 | 977 | 996 | 989 |
| MAGGIO 2007 | 99 | 963 | 989 | 965 | 988 | 982 |
| GIUGNO 2007 | 100 | 973 | 990 | 975 | 989 | 984 |
| LUGLIO 2007 | 100 | 975 | 993 | 977 | 992 | 985 |
| AGOSTO 2007 | 100 | 976 | 998 | 977 | 996 | 985 |
| SETTEMBRE 2007 | 100 | 973 | 998 | 974 | 996 | 988 |
| OTTOBRE 2007 | 100 | 979 | 998 | 981 | 996 | 991 |
| NOVEMBRE 2007 | 100 | 970 | 999 | 972 | 997 | 988 |
| DICEMBRE 2007 | 100 | 971 | 1006 | 974 | 1005 | 993 |

**PRESSIONE ATMOSFERICA
ANDAMENTO VALORI MINIMO - MEDIO - MASSIMO MENSILI
STAZIONE DI TORINO GIARDINI REALI - ANNO 2007**

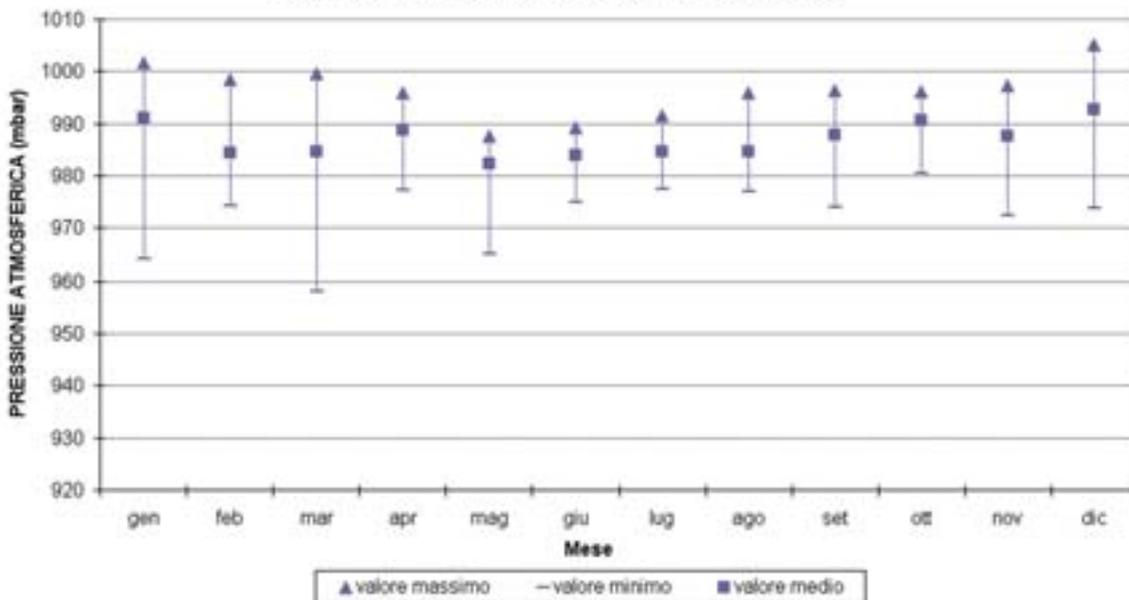


FIGURA 66: elaborazione dei dati della pressione atmosferica rilevati nella stazione di Torino Giardini Reali nell'anno 2007.

| STAZIONE DI PINO TORINESE PARAMETRO: PRESSIONE ATMOSFERICA – 2007 | | | | | | |
|--|------------------------|-----------------------------|------------------------------|--|---|-----------------------------|
| | NUMERO DATI VALIDI (%) | VALORE MINIMO ORARIO (mbar) | VALORE MASSIMO ORARIO (mbar) | VALORE MINIMO DELLA MEDIA GIORNALIERA (mbar) | VALORE MASSIMO DELLA MEDIA GIORNALIERA (mbar) | VALORE MEDIO MENSILE (mbar) |
| GENNAIO 2007 | 100 | 916 | 959 | 920 | 956 | 946 |
| FEBBRAIO 2007 | 100 | 927 | 954 | 930 | 953 | 940 |
| MARZO 2007 | 100 | 912 | 957 | 915 | 955 | 941 |
| APRILE 2007 | 100 | 929 | 954 | 933 | 951 | 945 |
| MAGGIO 2007 | 100 | 920 | 946 | 922 | 945 | 939 |
| GIUGNO 2007 | 100 | 931 | 947 | 933 | 946 | 941 |
| LUGLIO 2007 | 100 | 933 | 950 | 935 | 949 | 942 |
| AGOSTO 2007 | 100 | 933 | 954 | 934 | 953 | 942 |
| SETTEMBRE 2007 | 100 | 930 | 954 | 931 | 952 | 945 |
| OTTOBRE 2007 | 100 | 93 | 954 | 937 | 952 | 947 |
| NOVEMBRE 2007 | 100 | 927 | 954 | 929 | 953 | 943 |
| DICEMBRE 2007 | 100 | 927 | 960 | 930 | 959 | 948 |

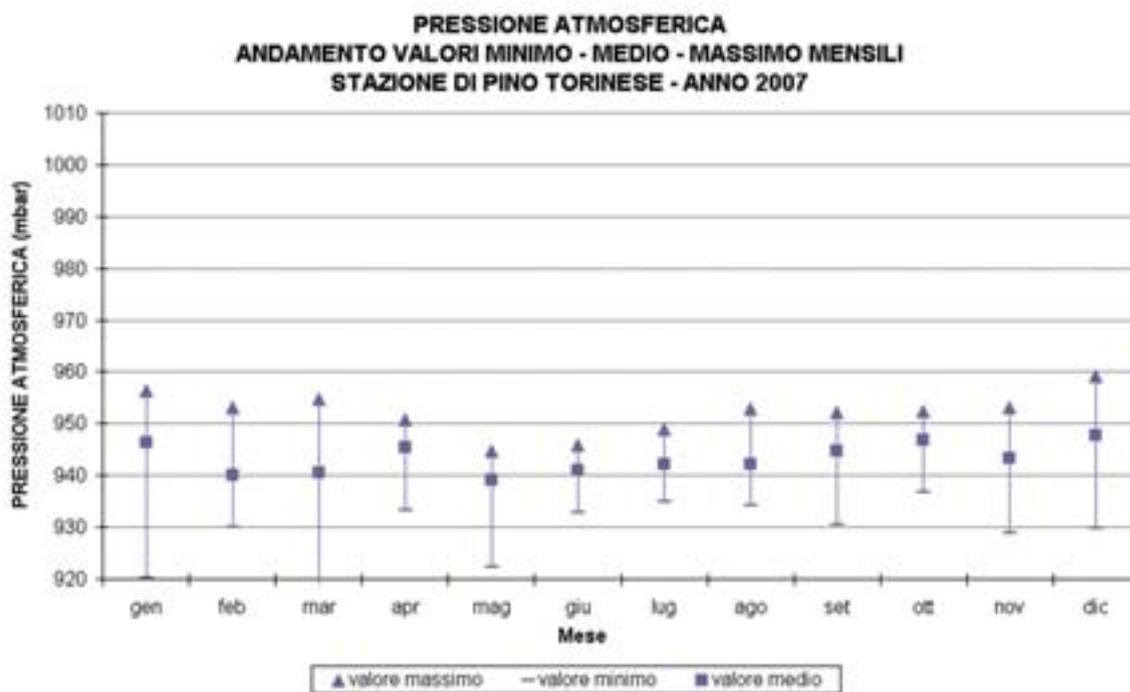


FIGURA 67: elaborazione dei dati della pressione atmosferica rilevati nella stazione di Pino Torinese nell'anno 2007.

| STAZIONE DI TORINO – CONSOLATA PARAMETRO: TEMPERATURA – 2007 | | | | | | |
|---|------------------------|---------------------------|----------------------------|--|---|---------------------------|
| | NUMERO DATI VALIDI (%) | VALORE MINIMO ORARIO (°C) | VALORE MASSIMO ORARIO (°C) | VALORE MINIMO DELLA MEDIA GIORNALIERA (°C) | VALORE MASSIMO DELLA MEDIA GIORNALIERA (°C) | VALORE MEDIO MENSILE (°C) |
| GENNAIO 2007 | 100 | -1 | 27 | 2 | 15 | 7 |
| FEBBRAIO 2007 | 100 | 1 | 20 | 6 | 12 | 8 |
| MARZO 2007 | 100 | 4 | 22 | 7 | 16 | 12 |
| APRILE 2007 | 100 | 8 | 30 | 10 | 23 | 18 |
| MAGGIO 2007 | 100 | 10 | 33 | 11 | 27 | 20 |
| GIUGNO 2007 | 100 | 13 | 31 | 15 | 25 | 22 |
| LUGLIO 2007 | 100 | 16 | 34 | 21 | 29 | 25 |
| AGOSTO 2007 | 100 | 14 | 32 | 16 | 27 | 23 |
| SETTEMBRE 2007 | 100 | 9 | 29 | 10 | 23 | 19 |
| OTTOBRE 2007 | 100 | 4 | 26 | 8 | 20 | 14 |
| NOVEMBRE 2007 | 100 | -1 | 19 | 3 | 12 | 8 |
| DICEMBRE 2007 | 100 | -2 | 14 | 0 | 10 | 5 |

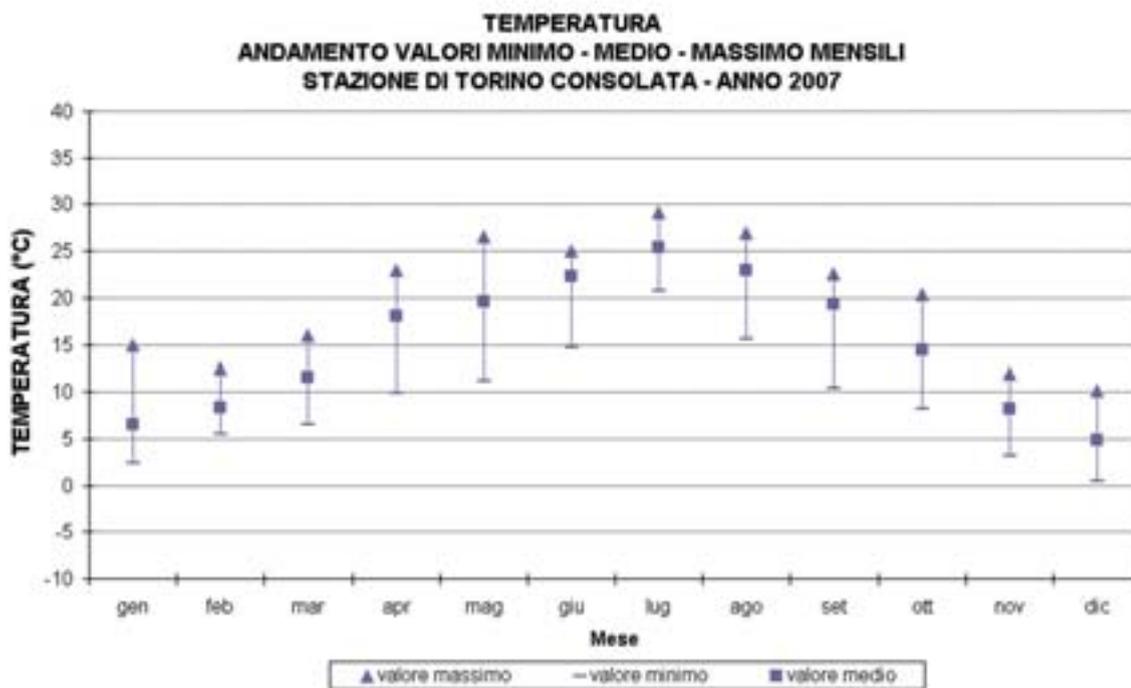


FIGURA 68: elaborazione dei dati della temperatura rilevati nella stazione di Torino-Consolata nell'anno 2007.

| STAZIONE DI PINO TORINESE PARAMETRO: TEMPERATURA – 2007 | | | | | | |
|--|------------------------|---------------------------|----------------------------|--|---|---------------------------|
| | NUMERO DATI VALIDI (%) | VALORE MINIMO ORARIO (°C) | VALORE MASSIMO ORARIO (°C) | VALORE MINIMO DELLA MEDIA GIORNALIERA (°C) | VALORE MASSIMO DELLA MEDIA GIORNALIERA (°C) | VALORE MEDIO MENSILE (°C) |
| GENNAIO 2007 | 100 | -2 | 23 | -1 | 17 | 6 |
| FEBBRAIO 2007 | 100 | 1 | 18 | 2 | 11 | 7 |
| MARZO 2007 | 100 | 1 | 19 | 3 | 14 | 9 |
| APRILE 2007 | 100 | 4 | 25 | 6 | 21 | 15 |
| MAGGIO 2007 | 100 | 7 | 29 | 8 | 24 | 17 |
| GIUGNO 2007 | 100 | 9 | 27 | 11 | 23 | 19 |
| LUGLIO 2007 | 100 | 13 | 32 | 18 | 26 | 22 |
| AGOSTO 2007 | 100 | 10 | 29 | 12 | 24 | 20 |
| SETTEMBRE 2007 | 100 | 6 | 26 | 7 | 21 | 17 |
| OTTOBRE 2007 | 100 | 3 | 22 | 5 | 19 | 12 |
| NOVEMBRE 2007 | 100 | -1 | 17 | 2 | 13 | 7 |
| DICEMBRE 2007 | 100 | -4 | 12 | -2 | 8 | 4 |

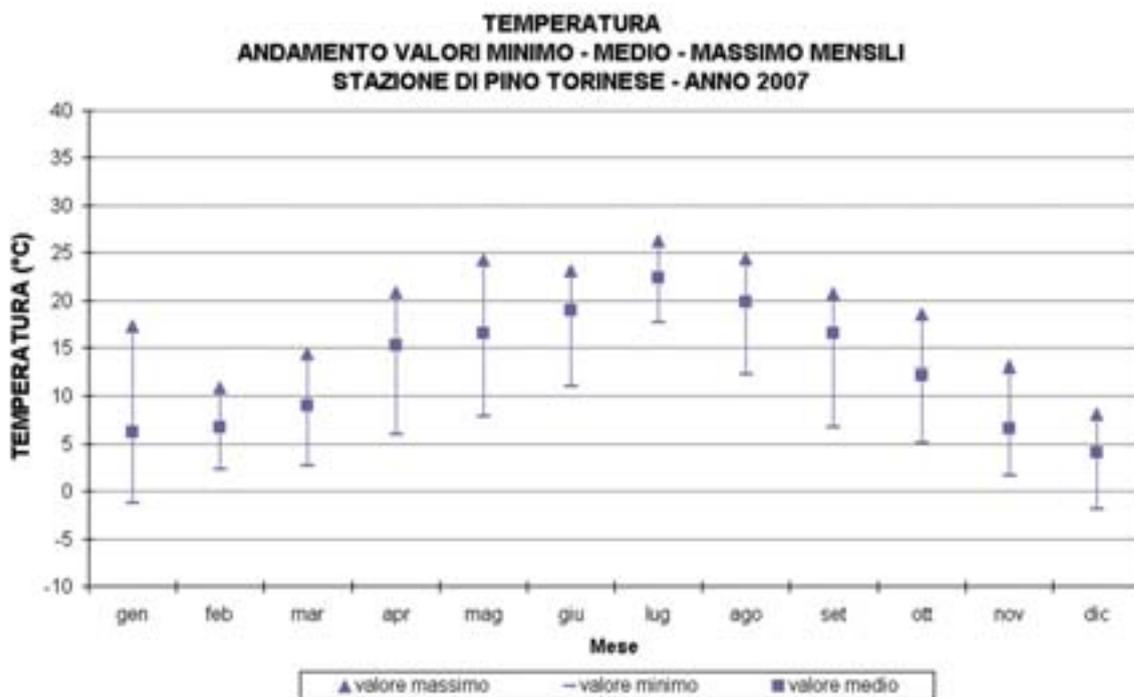


FIGURA 69: elaborazione dei dati della temperatura rilevati nella stazione di Pino Torinese nell'anno 2007.

| STAZIONI DI TORINO – CONSOLATA TORINO – CONSOLATA PINO TORINESE PARAMETRO: UMIDITÀ RELATIVA 2007 | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|---|--|--------------------------|------------------------|---|--|--------------------------|---|--|
| | STAZIONE DI TORINO – CONSOLATA | | | | | STAZIONE DI PINO TORINESE | | | | |
| | Numero dati validi (%) | Valore minimo della media giornaliera (%) | Valore massimo della media giornaliera (%) | Valore medio mensile (%) | Numero dati validi (%) | Valore minimo della media giornaliera (%) | Valore massimo della media giornaliera (%) | Valore medio mensile (%) | Valore minimo della media giornaliera (%) | Valore massimo della media giornaliera (%) |
| Gennaio 2007 | 100 | 40 | 98 | 74 | 100 | 33 | 100 | 72 | 33 | 100 |
| Febbraio 2007 | 100 | 29 | 84 | 67 | 100 | 24 | 100 | 67 | 24 | 100 |
| Marzo 2007 | 100 | 19 | 87 | 52 | 100 | 21 | 100 | 55 | 21 | 100 |
| Aprile 2007 | 100 | 38 | 84 | 54 | 100 | 40 | 96 | 58 | 40 | 96 |
| Maggio 2007 | 100 | 18 | 90 | 56 | 100 | 21 | 100 | 62 | 21 | 100 |
| Giugno 2007 | 100 | 19 | 81 | 63 | 100 | 26 | 93 | 72 | 26 | 93 |
| Luglio 2007 | 100 | 23 | 70 | 45 | 100 | 29 | 78 | 50 | 29 | 78 |
| Agosto 2007 | 100 | 38 | 89 | 61 | 100 | 41 | 100 | 71 | 41 | 100 |
| Settembre 2007 | 100 | 30 | 85 | 58 | 100 | 30 | 100 | 68 | 30 | 100 |
| Ottobre 2007 | 100 | 32 | 92 | 68 | 100 | 28 | 100 | 75 | 28 | 100 |
| Novembre 2007 | 100 | 27 | 96 | 63 | 100 | 25 | 100 | 63 | 25 | 100 |
| Dicembre 2007 | 100 | 44 | 89 | 66 | 100 | 26 | 96 | 60 | 26 | 96 |

TABELLA 43: elaborazione dei dati dell'umidità relativa rilevati nelle stazioni di Torino-Consolata e Pino Torinese nell'anno 2007.

| STAZIONI DI TORINO – CONSOLATA PINO TORINESE PARAMETRO: PRECIPITAZIONI ATMOSFERICHE 2007 | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------------|--|--|-------------------------------------|------------------------|--|--|--|--|-------------------------------------|--|
| | STAZIONE DI TORINO – CONSOLATA | | | | | | STAZIONE DI PINO TORINESE | | | | |
| | Numero dati validi (%) | Presenza di precipitazioni (n. giorni) | Precipitazione giornaliera valore massimo mensile (mm) | Precipitazioni totali nel mese (mm) | Numero dati validi (%) | Presenza di precipitazioni (n. giorni) | Precipitazione giornaliera valore massimo mensile (mm) | Presenza di precipitazioni (n. giorni) | Precipitazione giornaliera valore massimo mensile (mm) | Precipitazioni totali nel mese (mm) | |
| Gennaio 2007 | 100 | 2 | 11 | 13 | 100 | 1 | 8 | 1 | 8 | 9 | |
| Febbraio 2007 | 100 | 0 | 1 | 1 | 100 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | |
| Marzo 2007 | 100 | 6 | 12 | 30 | 100 | 6 | 9 | 6 | 9 | 20 | |
| Aprile 2007 | 100 | 3 | 17 | 20 | 100 | 3 | 13 | 3 | 13 | 21 | |
| Maggio 2007 | 100 | 10 | 43 | 118 | 100 | 10 | 36 | 10 | 36 | 98 | |
| Giugno 2007 | 100 | 13 | 46 | 179 | 100 | 12 | 32 | 12 | 32 | 154 | |
| Luglio 2007 | 100 | 4 | 18 | 27 | 100 | 2 | 15 | 2 | 15 | 19 | |
| Agosto 2007 | 100 | 9 | 40 | 82 | 100 | 10 | 29 | 10 | 29 | 103 | |
| Settembre 2007 | 100 | 7 | 23 | 62 | 100 | 8 | 16 | 8 | 16 | 52 | |
| Ottobre 2007 | 100 | 3 | 27 | 52 | 100 | 4 | 16 | 4 | 16 | 34 | |
| Novembre 2007 | 100 | 4 | 22 | 53 | 100 | 4 | 19 | 4 | 19 | 42 | |
| Dicembre 2007 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

TABELLA 44: elaborazione dei dati delle precipitazioni atmosferiche rilevati nelle stazioni di Torino-Consolata e Pino Torinese nell'anno 2007.

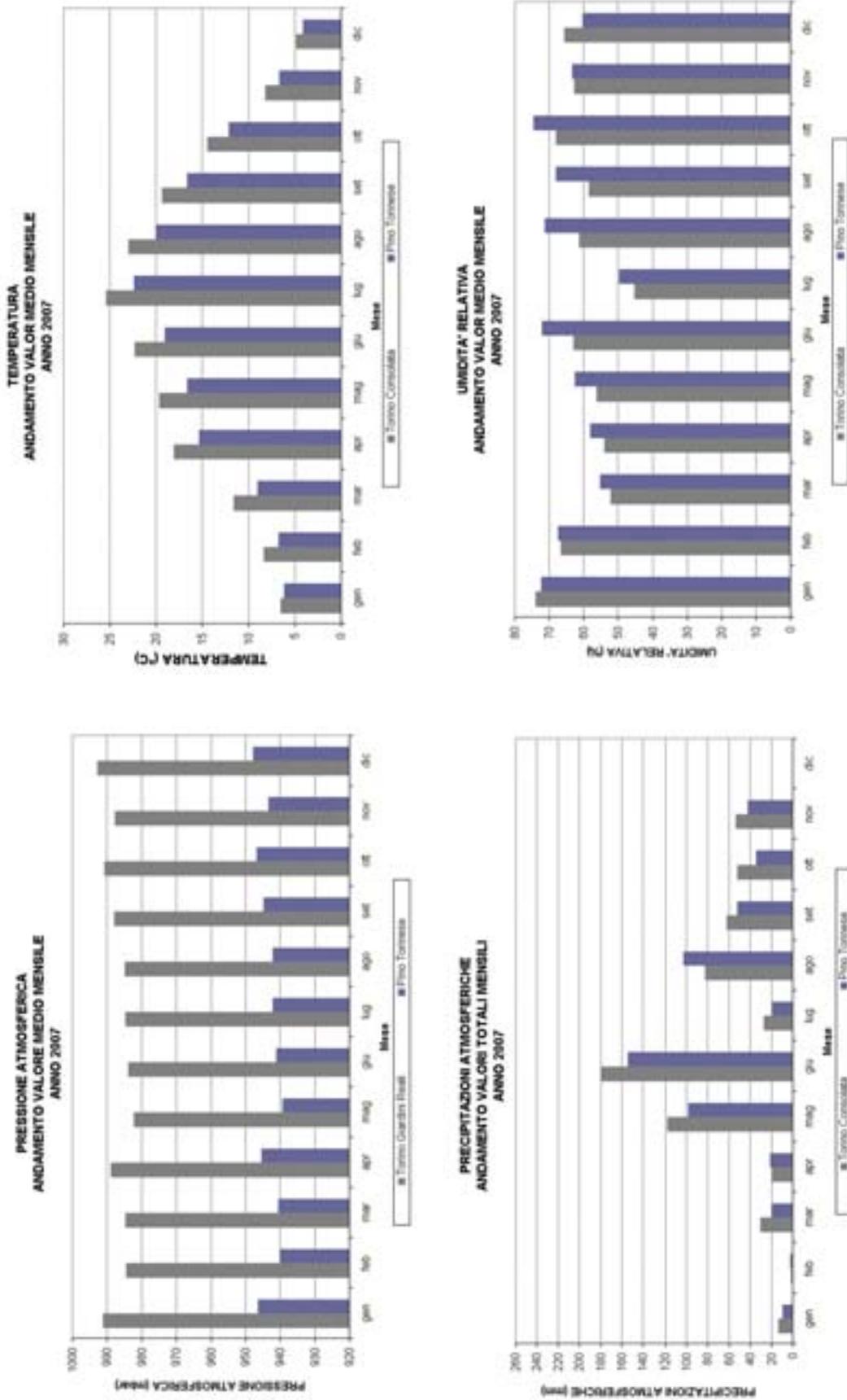


FIGURA 70: confronto fra le stazioni di Torino e Pino Torinese: parametri pressione atmosferica, temperatura, umidità relativa e precipitazioni atmosferiche.

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. Il censimento delle emissioni relativo all'anno 2005, redatto dalla Regione Piemonte secondo la metodologia Corinair, stima che il traffico contribuisca, nell'area metropolitana torinese, alle emissioni di particolato fine (PM10) per il 47% e alle emissioni di ossidi di azoto (NO_x) per il 49%. Inoltre, secondo questa stima, poco più della metà delle emissioni da traffico sarebbe imputabile alle automobili e ai motocicli.

Poiché il problema è comune a tutte le grandi aree urbane, le direttive europee hanno cercato di affrontare la questione imponendo dei limiti sempre più restrittivi alle emissioni degli autoveicoli nuovi e richiedendo la commercializzazione di combustibili sempre più ecologici. Con l'intento di fornire qualche informazione su questa fonte di inquinamento si è pensato di predisporre questa breve sezione circa le emissioni associate alle diverse tipologie di veicoli a motore in relazione alle omologazioni ambientali.

In TABELLA 45, sono riportati i limiti di emissione che le direttive europee hanno fissato per le autovetture a benzina e diesel dal 1970 ad oggi, compreso il regolamento che definisce la norma Euro5 in attesa della definitiva emanazione.

| DIRETTIVA DI RIFERIMENTO | CO (g/km) | | NO _x (g/km) | | HC+NO _x (g/km) | | HC (g/km) | PM10 (g/km) |
|--|-----------|--------|------------------------|--------|---------------------------|------------|--------------|----------------|
| | benzina | diesel | benzina | diesel | benzina | diesel | benzina | 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 |
| Euro1 (1993-1996) Dir. 91/441 | 2,72 | 2,72 | - | - | 0,97 | 0,97/1,36* | - | 0,14/0,19* |
| Euro2 (1997-2000) Dir. 94/12 | 2,2 | 1 | - | - | 0,5 | 0,7/0,9* | - | 0,08/0,1* |
| Euro3 (2001-2005) Dir. 98/69 | 2,3 | 0,64 | 0,15 | 0,5 | - | 0,56 | 0,2 | 0,05 |
| Euro4 (2006-2010) Dir. 98/69 | 1 | 0,5 | 0,08 | 0,25 | - | 0,3 | 0,1 | 0,025 |
| Euro5 (2011-09/2015)*** Reg. 715/2007 | 1 | 0,5 | 0,06 | 0,18 | - | 0,23 | 0,1 | 0,005** |
| Euro6 (09/2015-....)*** Reg. 715/2007 | 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 45: 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, la direttiva 98/69 ha previsto due diversi standard, Euro3 e Euro4, 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.

I limiti di emissione previsti da questa direttiva dal 1/1/2006 (Euro4), grazie all'evoluzione tecnologica delle marmitte catalitiche e a sofisticati sistemi di gestione elettronica di iniezione

del carburante, sono inferiori di circa 10 volte rispetto a quanto previsto per le auto a benzina dalla direttiva 83/351, e per le auto diesel dalla direttiva 88/436.

Un'importante innovazione introdotta dalla direttiva 98/69 è, inoltre, l'obbligo di installazione di centraline (OBD) che segnalano il malfunzionamento del catalizzatore, al fine di assicurare per tutta la vita del veicolo l'efficienza dei sistemi di abbattimento degli inquinanti.

Contrariamente a quanto avvenuto in passato i limiti della Euro5 non corrispondono a un dimezzamento delle emissioni previste dalla norma Euro4. In particolare l'emissione di PM dai veicoli Euro5 è stata ridotta di 5 volte rispetto a quanto previsto per gli Euro4 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 Euro5 risultano, invece, pari a circa l'70% di quanto prescritto dalla Euro4; le case automobilistiche non sono infatti riuscite a sviluppare una tecnologia abbastanza efficace per l'abbattimento di questi inquinanti. La norma Euro6 agisce più efficacemente su questo inquinante e fissa un limite pari a circa un terzo rispetto a quanto previsto per i veicoli Euro4.

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

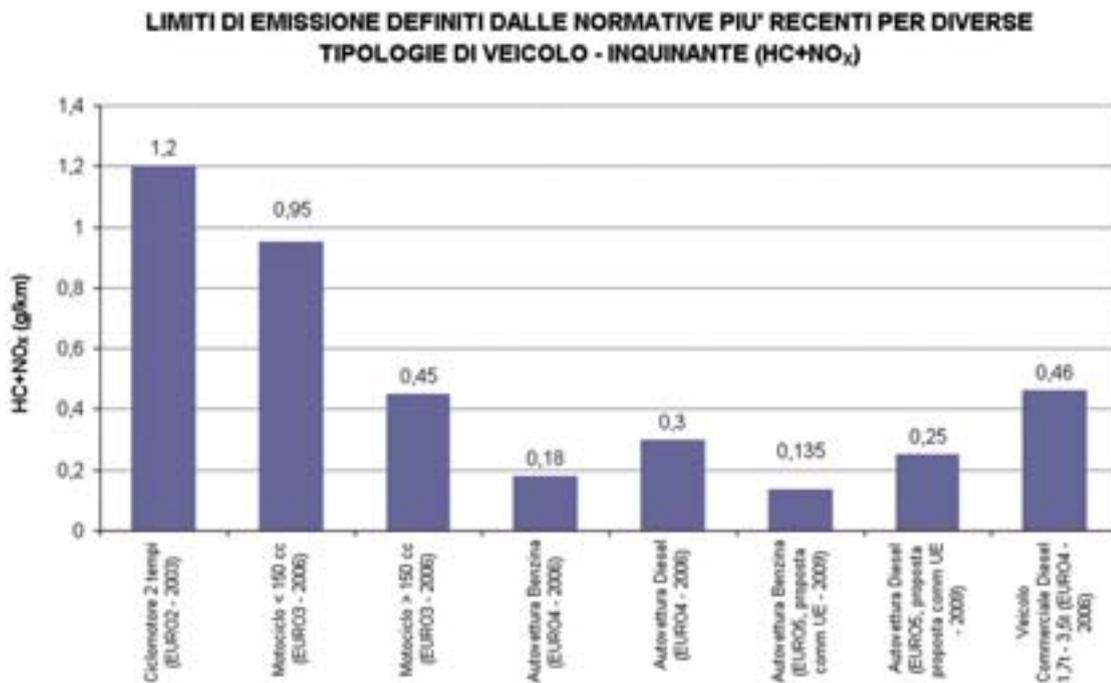


FIGURA 71: limiti di emissione definiti dalle normative più recenti per diverse tipologie di veicolo.

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 IN PROVINCIA DI TORINO

Per la valutazione del contributo del traffico veicolare all'inquinamento atmosferico e per poter attuare dei provvedimenti per il miglioramento della qualità dell'aria è importante conoscere la composizione del parco veicolare immatricolato in Provincia di Torino.

I dati forniti dall'AcI sono riassunti nei grafici e nelle tabelle delle pagine seguenti (TABELLA 46 - TABELLA 49 e FIGURA 72 - FIGURA 75).

Dall'analisi dell'attuale composizione del parco veicolare e dalla sua evoluzione negli ultimi anni emergono alcune considerazioni.

- Nel 2004 si assiste per la prima volta alla diminuzione del numero di autovetture immatricolate (TABELLA 46 e TABELLA 47) in Provincia di Torino (-47'000 veicoli, -3,4%). Questo calo è dovuto soprattutto all'alto numero di autovetture rottamate; alcuni di coloro che hanno scelto di rottamare un vecchio veicolo non lo hanno sostituito con uno nuovo. Non è semplice indagare le ragioni di questo fenomeno: una causa potrebbe essere la politica di blocco delle auto non ecologiche attuato nell'area metropolitana torinese, oppure, più semplicemente, la ragione predominante potrebbe essere il periodo di contrazione economica attraversato dal nostro territorio.
- Nel 2005 e nel 2006 il numero di autoveicoli è rimasto pressoché costante. Se si considera la diminuzione di vetture registrata nel 2004 e il lieve aumento di popolazione in atto nella Provincia il dato segna un'inversione di tendenza significativa;
- Le autovetture con omologazione ambientale pre-Euro (anteriori al 1993) sono poco meno di un settimo del totale e la loro costante diminuzione potrebbe causarne la scomparsa nei prossimi 4 o 5 anni. Gli autoveicoli Euro1 sono il 10% del totale, sono ormai veicoli con un'anzianità superiore a 10 anni e i sistemi di abbattimento degli inquinanti di cui sono dotati potrebbero essere scarsamente attivi; si auspica pertanto una rapida sostituzione dei veicoli ancora circolanti coerentemente con quanto è avvenuto tra il 2005 e il 2006 con la rottamazione di 77'000 veicoli Euro1.
- I veicoli alimentati a gasolio stanno assorbendo quote crescenti di mercato, tale crescita è stata notevole dal 1998 ed è in fase di accelerazione (TABELLA 47, FIGURA 73). Sebbene i limiti di emissione del particolato imposti dalla normativa europea siano sempre più bassi, i veicoli diesel hanno comunque un'emissione di particolato primario molto più alta di quelli a benzina e la diffusione di queste autovetture potrebbe avere un impatto negativo sulla qualità dell'aria. I filtri-anti-particolato potrebbero contenere notevolmente il problema, ma attualmente ne sono dotate poche vetture della fascia di prezzo più alta, ed esse rappresentano una quota minoritaria del mercato. Il passaggio alla normativa Euro5 obbligatoria per le autovetture immatricolate dal 2011 dovrebbe allineare le emissioni di particolato dei veicoli diesel e benzina.
- I veicoli commerciali leggeri sono diminuiti in numero dal 2001 al 2004, mentre attualmente si assiste a un leggero aumento (TABELLA 48, FIGURA 74). In questa categoria la quota di mezzi pre-Euro è fortemente diminuita nel corso del 2006 e attualmente è il 19% ma la quasi totalità di essi (20'608 su 23'555) è a gasolio. Il numero di autocarri diesel a cui sono applicati i divieti alla circolazione previsti dalla DGR 64-6526 del 2007 è di 34'642 a fronte di 29'463 autoveicoli diesel. Questo dato conferma la necessità del rafforzamento dei divieti alla circolazione contenuto nella Delibera di Giunta Regionale in vigore dal 2007.

| | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | |
|-------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Autoveicoli "pre-Euro" | numero | 952'822 | 839'360 | 759'740 | 693'927 | 605'057 | 531'224 | 459'598 | 399'715 | 284'407 | 245'017 | 187'092 |
| | % | 74,2 | 64,7 | 57,2 | 50,8 | 44,1 | 38,2 | 32,8 | 28,1 | 20,7 | 17,8 | 13,5 |
| Autoveicoli "Euro1" | numero | 329'246 | 330'828 | 319'204 | 306'038 | 291'369 | 276'725 | 262'380 | 247'184 | 229'505 | 207'597 | 129'620 |
| | % | 25,6 | 25,5 | 24,0 | 22,4 | 21,3 | 19,9 | 18,7 | 17,4 | 16,7 | 15,0 | 9,3 |
| Autoveicoli "Euro2" | numero | 0 | 126'102 | 249'138 | 365'928 | 473'639 | 458'530 | 436'821 | 423'236 | 408'803 | 388'043 | 430'827 |
| | % | 0,0 | 9,7 | 18,7 | 26,8 | 34,6 | 33,0 | 31,2 | 29,8 | 29,7 | 28,1 | 31,0 |
| Autoveicoli "Euro3-4" | numero | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 122'983 | 238'417 | 350'093 | 450'396 | 539'045 | 643'164 |
| | % | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 8,8 | 17,0 | 24,6 | 32,8 | 39,1 | 46,2 |
| Autoveicoli "Euro3" | numero | | | | | | | | | 423'141 | 383'305 | 191'564 |
| | % | | | | | | | | | 30,7 | 27,6 | 13,8 |
| Autoveicoli "Euro4" | numero | | | | | | | | | 115'904 | 259'859 | 134'450 |
| | % | | | | | | | | | 8,4 | 18,7 | 9,7 |
| | | | | | | | | | | | | 157'885 |
| | | | | | | | | | | | | 15'914 |
| | | | | | | | | | | | | 13'293 |
| | | | | | | | | | | | | 11,4 |
| | | | | | | | | | | | | 1,1 |
| | | | | | | | | | | | | 1,0 |
| | | | | | | | | | | | | 111'044 |
| | | | | | | | | | | | | 13'549 |
| | | | | | | | | | | | | 5'027 |
| | | | | | | | | | | | | 8,0 |
| | | | | | | | | | | | | 1,0 |
| | | | | | | | | | | | | 0,4 |
| | | | | | | | | | | | | 341'640 |
| | | | | | | | | | | | | 78'613 |
| | | | | | | | | | | | | 10'574 |
| | | | | | | | | | | | | 24,6 |
| | | | | | | | | | | | | 5,7 |
| | | | | | | | | | | | | 0,8 |
| | | | | | | | | | | | | 326'014 |
| | | | | | | | | | | | | 308'350 |
| | | | | | | | | | | | | 8'800 |
| | | | | | | | | | | | | 23,4 |
| | | | | | | | | | | | | 22,2 |
| | | | | | | | | | | | | 0,6 |
| | | | | | | | | | | | | 186'902 |
| | | | | | | | | | | | | 4'839 |
| | | | | | | | | | | | | 13,8 |
| | | | | | | | | | | | | 13,4 |
| | | | | | | | | | | | | 0,3 |
| | | | | | | | | | | | | 134'450 |
| | | | | | | | | | | | | 121'448 |
| | | | | | | | | | | | | 3'961 |
| | | | | | | | | | | | | 9,7 |
| | | | | | | | | | | | | 8,7 |
| | | | | | | | | | | | | 0,3 |

TABELLA 46: autoveicoli immatricolati in provincia di Torino dal 1996 al 2006, suddivise per tipo di omologazione ambientale.

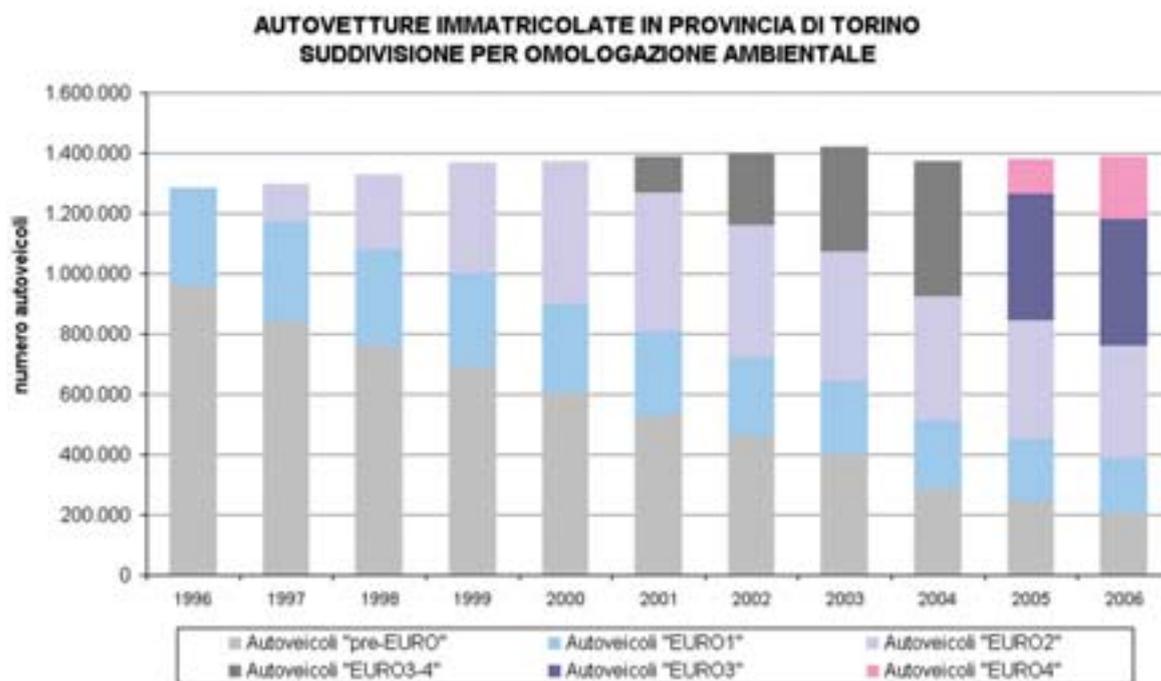


FIGURA 72: autoveicoli immatricolati in provincia di Torino – Omologazione ambientale.

| | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| Autoveicoli Benzina | 1'145'599 | 1'148'292 | 1'163'661 | 1'177'041 | 1'151'455 | 1'136'373 | 1'119'278 | 1'102'878 | 1'022'830 | 969'647 | 936'667 |
| Autoveicoli Gasolina | 89,2 | 88,5 | 87,6 | 86,1 | 84,0 | 81,7 | 80,0 | 77,5 | 74,4 | 70,3 | 67,3 |
| Autoveicoli GPL | 103'858 | 114'110 | 129'032 | 154'257 | 183'929 | 217'856 | 248'328 | 292'064 | 327'323 | 374'434 | 416'429 |
| Autoveicoli Metano | 8,1 | 8,8 | 9,7 | 11,3 | 13,4 | 15,7 | 17,7 | 20,5 | 23,8 | 27,1 | 29,9 |
| | 33'600 | 34'105 | 35'074 | 33'986 | 34'007 | 33'909 | 30'033 | 25'944 | 23'241 | 32'558 | 33'519 |
| | 2,6 | 2,6 | 2,6 | 2,5 | 2,5 | 2,4 | 2,1 | 1,8 | 1,7 | 2,4 | 2,4 |
| | 826 | 875 | 924 | 1'014 | 1'059 | 1'695 | 1'635 | 1'384 | 1'468 | 3'028 | 4'179 |
| | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,3 |

TABELLA 47: autoveicoli immatricolati in provincia di Torino dal 1996 al 2006, suddivise per combustibile di alimentazione.

**AUTOVETTURE IMMATRICOLATE IN PROVINCIA DI TORINO
SUDDIVISIONE PER TIPO DI COMBUSTIBILE**

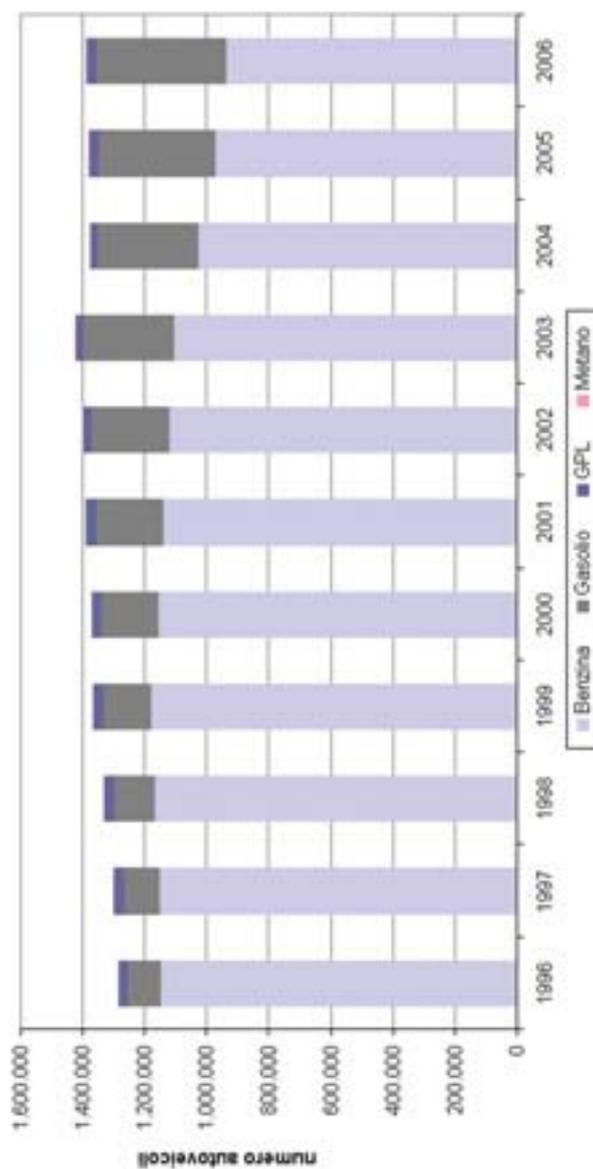


FIGURA 73: autoveicoli immatricolati in Provincia di Torino – combustibile di alimentazione.

| | | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | | |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------------|-------------------------------|
| Autocarri <3,5 t "pre-Euro" | numero | 77'884 | 71'004 | 60'014 | 49'030 | 39'932 | 37'427 | 23'555 | 2'618 20'608 329 | benzina gasolio GPL-Met |
| | % | 62,2 | 56,2 | 48,4 | 42,5 | 35,0 | 31,8 | 19,0 | 2,1 16,6 | benzina gasolio GPL-Met |
| Autocarri <3,5 t "Euro1" | numero | 30'772 | 30'169 | 29'255 | 23'056 | 21'123 | 19'138 | 16'638 | 2'393 14'034 211 | benzina gasolio GPL-Met |
| | % | 24,6 | 23,9 | 23,6 | 20,0 | 18,5 | 16,3 | 13,4 | 1,9 11,3 0,2 | benzina gasolio GPL-Met |
| Autocarri <3,5 t "Euro2" | numero | 16'652 | 21'977 | 23'032 | 22'281 | 21'767 | 21'412 | 36'590 | 6'386 29'766 438 | benzina gasolio GPL-Met |
| | % | 13,3 | 17,4 | 18,6 | 19,3 | 19,1 | 18,2 | 29,6 | 5,2 24,0 0,4 | benzina gasolio GPL-Met |
| Autocarri <3,5 t "Euro3-4" | numero | 0 | 3'298 | 11'769 | 21'091 | 31'244 | 39'784 | 47'031 | 3'223 43'489 319 | benzina gasolio GPL-Met |
| | % | 0,0 | 2,6 | 9,5 | 18,3 | 27,4 | 33,8 | 38,0 | 2,6 35,1 0,3 | benzina gasolio GPL-Met |
| Autocarri <3,5 t "Euro3" | numero | | | | | | 38'655 | 42'095 | 2'833 39'043 219 | benzina gasolio GPL-Met |
| | % | | | | | | 48,9 | 34,0 | 2,3 31,5 0,2 | benzina gasolio GPL-Met |
| Autocarri <3,5 t "Euro4" | numero | | | | | | 1'129 | 4'936 | 390 4'446 100 | benzina gasolio GPL-Met |
| | % | | | | | | 1,4 | 4,0 | 0,3 3,6 0,1 | benzina gasolio GPL-Me |

TABELLA 48: veicoli commerciali leggeri (< 3.5 t) immatricolati in Provincia di Torino dal 2000 al 2006, suddivisi per tipo di omologazione ambientale.

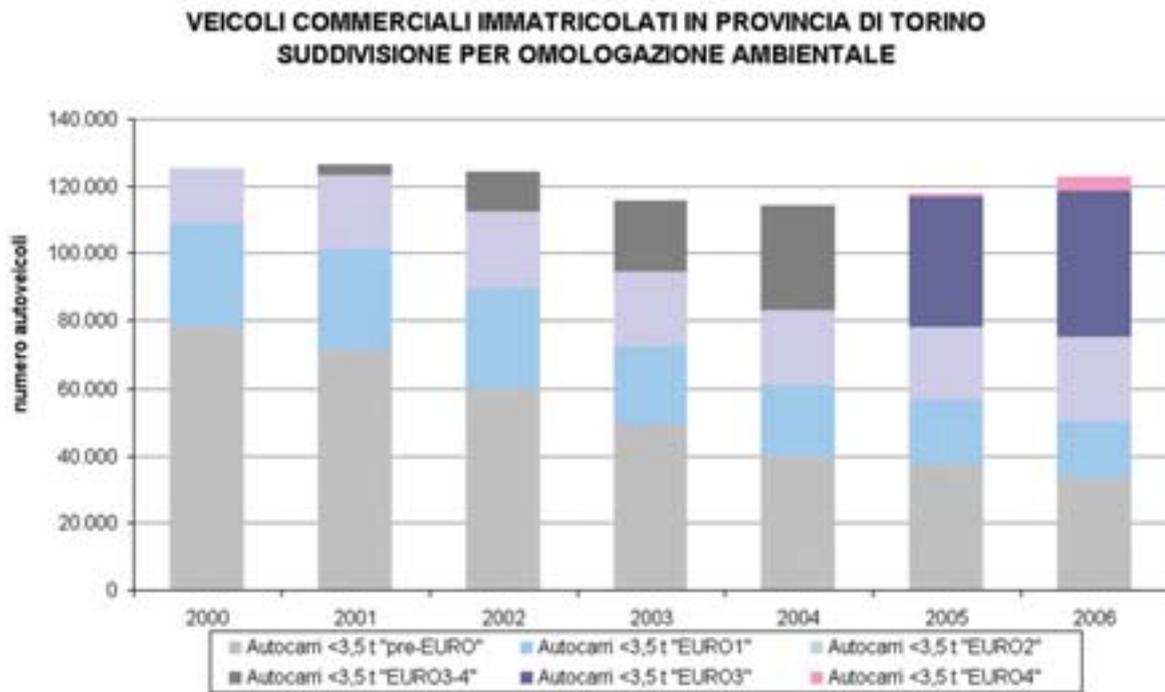


FIGURA 74: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati in Provincia di Torino – Omologazione ambientale.

| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Autocarri <3,5 t Benzina | numero | 40'667 | 36'987 | 30'322 | 17'088 | 12'940 | 14'625 |
| | % | 32,4 | 29,2 | 24,4 | 14,8 | 11,3 | 11,8 |
| Autocarri <3,5 t Gasolio | numero | 84'684 | 89'501 | 93'816 | 98'438 | 101'177 | 104'517 |
| | % | 67,6 | 70,8 | 75,6 | 85,2 | 88,7 | 87,1 |
| Autocarri <3,5 t GPL | numero | | | | | 745 | 798 |
| | % | | | | | 0,6 | 0,6 |
| Autocarri <3,5 t Metano | numero | | | | | 220 | 527 |
| | % | | | | | 0,2 | 0,4 |

TABELLA 49: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati in provincia di Torino, suddivisi per combustibile di alimentazione.

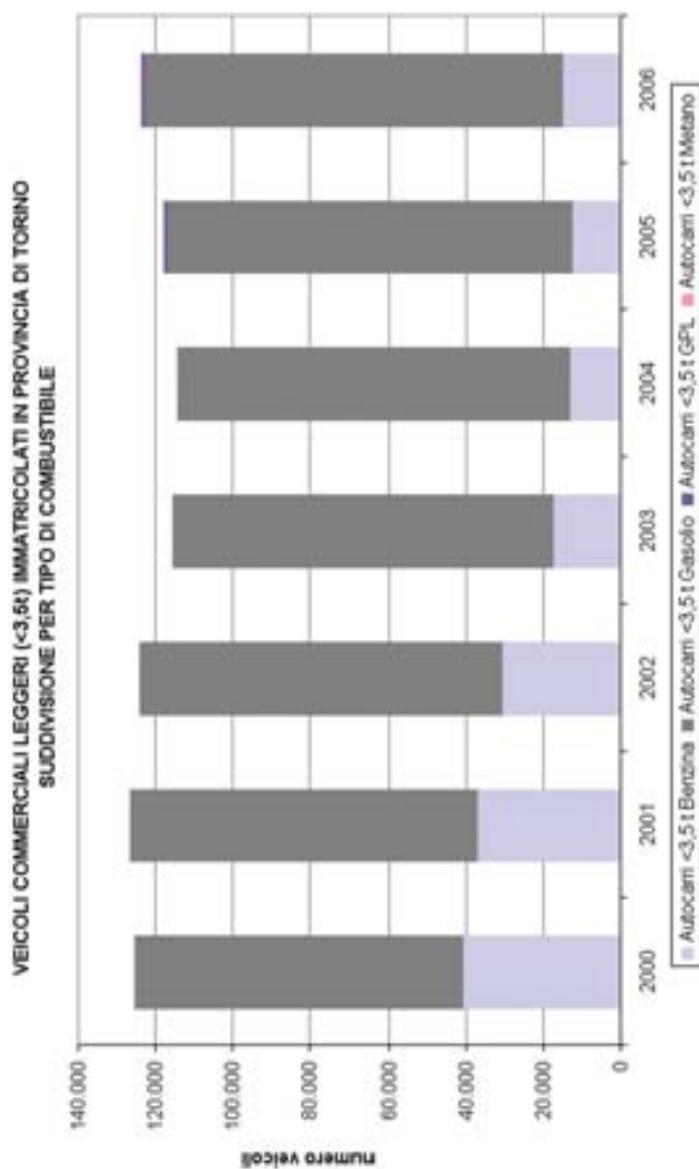


FIGURA 75: veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) immatricolati in provincia di Torino - Combustibile di alimentazione.

L'esigenza di fornire alla popolazione una corretta comunicazione del rischio associato alle condizioni di inquinamento atmosferico ha spinto diversi Paesi ad adottare un sistema di indicatori in grado di esplicitare, in modo semplice ed immediato, il livello qualitativo dell'aria che si respira. Uno dei primi indicatori introdotti è stato l'Air Quality Index dell'Agenzia per la protezione ambientale statunitense (E.P.A.), mentre, per il territorio torinese, già da alcuni anni è stato definito l'Indice della Qualità dell'Aria – IQA (Uno sguardo all'aria – Anno 2002).

Qualsiasi sia la metodologia di calcolo utilizzata, un simile indice non deve descrivere la misura di un inquinante rilevato dalla singola stazione di monitoraggio, ma permettere di informare il cittadino in merito allo "stato" della qualità dell'aria per zone estese, in cui le concentrazioni di inquinanti e quindi i livelli di rischio per la salute sono confrontabili.

Per questa ragione, si è pensato di introdurre un nuovo Indice della Qualità dell'Aria basato non sui valori registrati dagli strumenti della rete di monitoraggio, inevitabilmente influenzati da fenomeni locali, ma dalle concentrazioni stimate su area vasta per via modellistica. Il nuovo Indice della Qualità dell'Aria, definito nei paragrafi seguenti, si presta a fornire un'informazione più completa, poiché, quando i modelli di stima delle concentrazioni di inquinanti sono accoppiati ai modelli di previsione meteorologica, l'indicatore acquista un carattere previsionale ed è in grado quindi di esprimere indicazioni tendenziali sullo stato futuro della qualità dell'aria, influenzando e responsabilizzando il comportamento dei cittadini.

Come discusso nei paragrafi seguenti, la catena modellistica e l'algoritmo di calcolo dell'IQA da dati simulati risultano essere una valida alternativa all'IQA calcolato da dati osservati. L'utilizzo dell'IQA previsionale per diffondere informazioni giornaliere alla cittadinanza offre alcuni vantaggi, tra i quali la possibilità di fornire informazioni relative al giorno in corso e non al giorno precedente, la valutazione dell'indice su un dominio più esteso ma con caratteristiche comuni dal punto di vista di esposizione della popolazione, la possibilità di pubblicare informazioni aggiuntive quali mappe di concentrazione sul dominio di Torino e del Piemonte.

L'attuale configurazione della catena modellistica prognostica permette di effettuare previsioni oltre che per il giorno in corso (+24) e quello successivo (+48), anche per il terzo giorno (+72), consentendo così una certa flessibilità nella diffusione dell'IQA da dati simulati.

L'INDICE DI QUALITÀ DELL'ARIA NELL'AREA METROPOLITANA TORINESE

L'IQA è calcolato sulla base delle concentrazioni dei principali inquinanti (biossido di azoto, ozono e particolato) osservate in alcune stazioni di misura dell'area torinese. L'indice viene espresso da un valore numerico che può variare da 1 a 7: più alto è il valore, più elevato è il livello di inquinamento atmosferico e più grande il rischio per la salute. Ai sette livelli di IQA si associano altrettante valutazioni di rischio e alcuni consigli utili alla popolazione. I valori 1, 2 e 3 corrispondono alle classi *ottima*, *buona* e *discreta* e caratterizzano situazioni di inquinamento atmosferico non allarmanti con conseguente rischio basso per la popolazione. I valori 4 e 5 corrispondono alle classi *mediocre* e *poco salubre*, caratterizzate da concentrazioni non particolarmente elevate che potrebbero, tuttavia, determinare effetti negativi sulla parte di popolazione più sensibile. I valori 6 e 7, infine, sono associati alle classi *insalubre* e *molto insalubre*, caratterizzate da concentrazioni elevate che potrebbero avere effetti sulla salute pubblica. Il sistema consente quindi di mettere in relazione i livelli di qualità dell'aria con i rischi sanitari che questi comportano e, contestualmente, suggerisce l'adozione di buone pratiche da parte dei cittadini.

Il valore dell'IQA viene attualmente aggiornato entro le ore 13, sulla base dei dati validati acquisiti dalla rete di monitoraggio nel giorno precedente. L'IQA, accompagnato da una stima previsionale basata sulle condizioni meteorologiche attese nei due giorni successivi, viene diffuso quotidianamente attraverso internet (FIGURA 76) e i principali organi di stampa.

| Indice della qualità dell'aria nell'area metropolitana torinese | | | | |
|---|--|-------------------|---|---|
| La scala di riferimento per la qualità dell'aria | Valore dell'indice della qualità dell'aria relativo agli ultimi 7 giorni (*) | | Previsione per Giovedì 20/09/2007 | Previsione per Venerdì 21/09/2007 |
| <p>7 Molto inasalubre 6 Inasalubre 5 Poco salubre 4 Media 3 Discreta 2 Buona 1 Ottima</p> | Mercoledì 19/09/2007 | 2 Buona | ↔ | ↔ |
| | 18/09/2007 | 2 | Non vi sono variazioni significative delle condizioni meteorologiche. | Non vi sono variazioni significative delle condizioni meteorologiche. |
| | 17/09/2007 | 3 | | |
| | 16/09/2007 | 3 | | |
| | 15/09/2007 | 5 | | |
| | 14/09/2007 | 4 | | |
| | 13/09/2007 | 3 | | |

FIGURA 76: Pagina pubblicata sul sito web della Provincia di Torino per la comunicazione giornaliera dell'Indice di Qualità dell'Aria (http://www.provincia.torino.it/ambiente-provto/inquinamento/qualita/indice_iqa.htm).

L'algoritmo di calcolo dell'IQA prevede inizialmente il calcolo di tre sottoindici relativi al particolato, al biossido di azoto e all'ozono; tali sottoindici sono il rapporto tra l'indicatore dell'inquinante (media giornaliera per il PM10, massimo orario giornaliero per l'NO₂, massimo della media mobile su otto ore per l'O₃) mediato sulle stazioni selezionate e il valore di riferimento costituito dal limite di legge stabilito dal Decreto Ministeriale del 2.04.2002 n. 60. I sottoindici vengono calcolati secondo le formule seguenti:

$$I_{PM10} = \frac{V_{PM10media}}{V_{PM10rif}} \cdot 100 \quad I_{NO2} = \frac{V_{NO2max}}{V_{NO2rif}} \cdot 100 \quad I_{O3} = \frac{V_{O3max8h}}{V_{O3rif}} \cdot 100$$

dove $V_{PM10media}$ è la media dei valori medi giornalieri di PM10 su tutte le stazioni di misura considerate e $V_{PM10rif}$ è il valore limite giornaliero per la protezione della salute umana (50 µg/m³); V_{NO2max} è la media dei valori massimi orari di NO₂ su tutte le stazioni di misura considerate, e V_{NO2rif} è il valore limite orario per la protezione della salute umana (200 µg/m³); $V_{O3max8h}$ è la media dei valori massimi delle medie mobili su 8 ore dell'O₃ su tutte le stazioni di misura considerate, e V_{O3rif} è il valore bersaglio per la protezione della salute umana (120 µg/m³).

Il valore di IQA viene quindi calcolato mediando il sottoindice del particolato e il maggiore tra il sottoindice del biossido di azoto e dell'ozono. Nel caso in cui manchi il sottoindice relativo al PM10 si utilizza il maggiore degli altri due; se sono mancanti entrambi gli indici relativi a NO₂ e O₃ si utilizza il solo sottoindice relativo al PM10.

Dal valore numerico così ottenuto si determina l'indice IQA in base agli intervalli di valori assegnati alle classi riportate in FIGURA 77.

| VALORE NUMERICO | INDICE NUMERICO | QUALITÀ DELL'ARIA |
|-----------------|-----------------|------------------------|
| 0-50 | 1 | <i>Ottima</i> |
| 51-75 | 2 | <i>Buona</i> |
| 76-100 | 3 | <i>Discreta</i> |
| 101-125 | 4 | <i>Mediocre</i> |
| 125-150 | 5 | <i>Poco salubre</i> |
| 151-175 | 6 | <i>Insalubre</i> |
| >175 | 7 | <i>Molto insalubre</i> |

FIGURA 77: Intervalli dei valori di IQA e rispettive classi di IQA.

Le stazioni prese in considerazione per il calcolo dei sottoindici sono, per l'NO₂, Beinasco, Borgaro, Grugliasco, Nichelino, Orbassano, Rivoli, Settimo, TO-Consolata, TO-Rubino, TO-Lingotto, TO-Madama Cristina, TO-Rebaudengo, TO-Rivoli; per il PM₁₀, TO-Consolata (TEOM), TO-Lingotto (BETA), Borgaro (BETA); per l'O₃, Borgaro, Orbassano, TO-Lingotto. Mentre l'assenza di una o più osservazioni di biossido di azoto non influisce significativamente sul valore del sottoindice, essendo le stazioni di misura di questo inquinante in numero elevato, la mancanza anche di un solo dato osservato di particolato oppure ozono può determinare valori dei relativi sottoindici considerevolmente differenti. In particolare l'assenza della misura del PM₁₀ presso le stazioni di Torino via della Consolata o di Borgaro, due stazioni differenti per zona di collocazione e tipologia, può determinare valori rispettivamente più o meno elevati.

IL SISTEMA MODELLISTICO DI PREVISIONE DELLA QUALITÀ DELL'ARIA

Nello spirito del D.M. 60/2002, che riconosce alla modellistica ambientale un ruolo chiave per la caratterizzazione dello stato della qualità dell'aria sul territorio, negli anni passati gli Enti preposti alla pianificazione, alla tutela e al risanamento delle risorse atmosferiche (Regione Piemonte, Provincia di Torino, Arpa Piemonte) hanno lavorato congiuntamente per implementare una catena di modelli affidabile in tutte le sue componenti (emissioni, meteorologia, dispersione, trasformazione chimica).

In particolare, Arpa Piemonte, con la collaborazione di Arianet Srl, ha messo a punto una catena di tipo prognostico, uno strumento che permette cioè di fare previsioni sullo stato futuro della qualità dell'aria, sulla base delle previsioni meteorologiche. Si tratta di un sistema multiscala, in grado di effettuare le simulazioni di qualità dell'aria su differenti domini a differente risoluzione (FIGURA 78). A partire da un dominio di background a bassa risoluzione (dominio regionale con una risoluzione orizzontale di 4 km), tramite la tecnica delle griglie innestate (*two-way nesting*) viene effettuata la discesa di scala su sotto-domini ad alta risoluzione (1 km di risoluzione orizzontale).

L'approccio multiscala permette di simulare le dinamiche di trasporto, dispersione e trasformazione chimica degli inquinanti nei domini target considerando nel contempo anche gli effetti delle sorgenti emissive localizzate al loro esterno e descrivendo meglio i fenomeni di accumulo (ad esempio legati allo smog fotochimico) caratterizzati da scale spaziali maggiori.

Le differenti componenti del sistema, sono:

- un modulo di elaborazione di dati territoriali, che a partire dalle basi dati territoriali ad alta risoluzione (orografia: Digital Elevation Model (D.E.M) a 250 m, uso del suolo: Corine Land Cover 2000 a 250 m) costruisce i campi dei parametri geofisici sui domini di simulazione;
- la componente meteorologica che costruisce, sui domini di simulazione, i campi meteorologici tridimensionali e campi bidimensionali dei parametri di scala della turbolenza atmosferica, che vengono successivamente utilizzati dal modello di qualità dell'aria per la descrizione dei fenomeni di trasporto e dispersione degli inquinanti. La catena modellistica prognostica utilizza come dati meteorologici i campi di previsione prodotti dal modello meteorologico non idrostatico ad area limitata COSMO-I7 (<http://www.smr.arpa.emr.it/>, http://www.arpa.emr.it/sim/?mappe_numeriche), durante la corsa delle 00 UTC (Universal Time Coordinated – tempo medio di Greenwich) del giorno di emissione. La simulazione di COSMO-I7 è caratterizzata da una risoluzione spaziale di circa 7 km, i campi meteorologici vengono quindi adattati alla risoluzione dei domini di calcolo sopra citati attraverso un procedimento di interpolazione spaziale;
- la componente emissiva che, a partire dagli inventari delle emissioni disponibili sui domini di simulazione, costruisce i campi bidimensionali orari dei ratei di emissione per tutte le specie chimiche trattate dal modello di qualità dell'aria. Viene utilizzato l'inventario regionale delle emissioni (INEMAR 2005, con aggiornamento al 2006), opportunamente integrato con le informazioni riguardanti gli inventari emissivi delle regioni confinanti e comprese nel dominio di calcolo (INEMAR per la Regione Lombardia, l'inventario locale per la Valle d'Aosta, l'inventario nazionale CORINAIR per la Regione Liguria e l'inventario EMEP per i territori esteri);
- il modulo per le condizioni iniziali ed al contorno, che a partire dai campi tridimensionali di concentrazione di un modello di qualità dell'aria a scala continentale, prepara i campi di condizioni iniziali e di condizioni al contorno sul dominio di simulazione più esterno. Le condizioni al contorno vengono predisposte a partire dalla banca dati del sistema Prev'Air dell'Istituto francese INERIS (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, <http://prevair.ineris.fr/en/index.php>), utilizzando quotidianamente i campi numerici di concentrazione prodotti dal modello CHIMERE operante su scala continentale;
- la componente di trasporto, diffusione e trasformazione chimica, costituita dal modello euleriano a griglia FARM (<http://www.aria-net.it/front/IT/codici/moduli.php>). Utilizzando i

dati di orografia, i campi meteorologici e di turbolenza prodotti dalla componente meteorologica, le emissioni grigliate prodotte dalla componente emissiva, le condizioni iniziali ed al contorno, produce in uscita i campi orari, bidimensionali e tridimensionali, di concentrazione dei principali inquinanti (CO, NO, NO₂, O₃, PM10, PM2,5, SO₂, Benzene) ed i flussi di deposizione secca ed umida. Per la discesa di scala dal dominio di background ai domini ad alta risoluzione si fa ricorso alla tecnica del *two-way nesting*, che prevede un continuo scambio di informazioni (nei due sensi) tra la griglia master (dominio regionale) e le griglie ad alta risoluzione (domini provinciali);

- un modulo di post-processing che elabora i campi tridimensionali di concentrazione per produrre campi aggregati di indicatori e mappe tematiche (FIGURA 79).

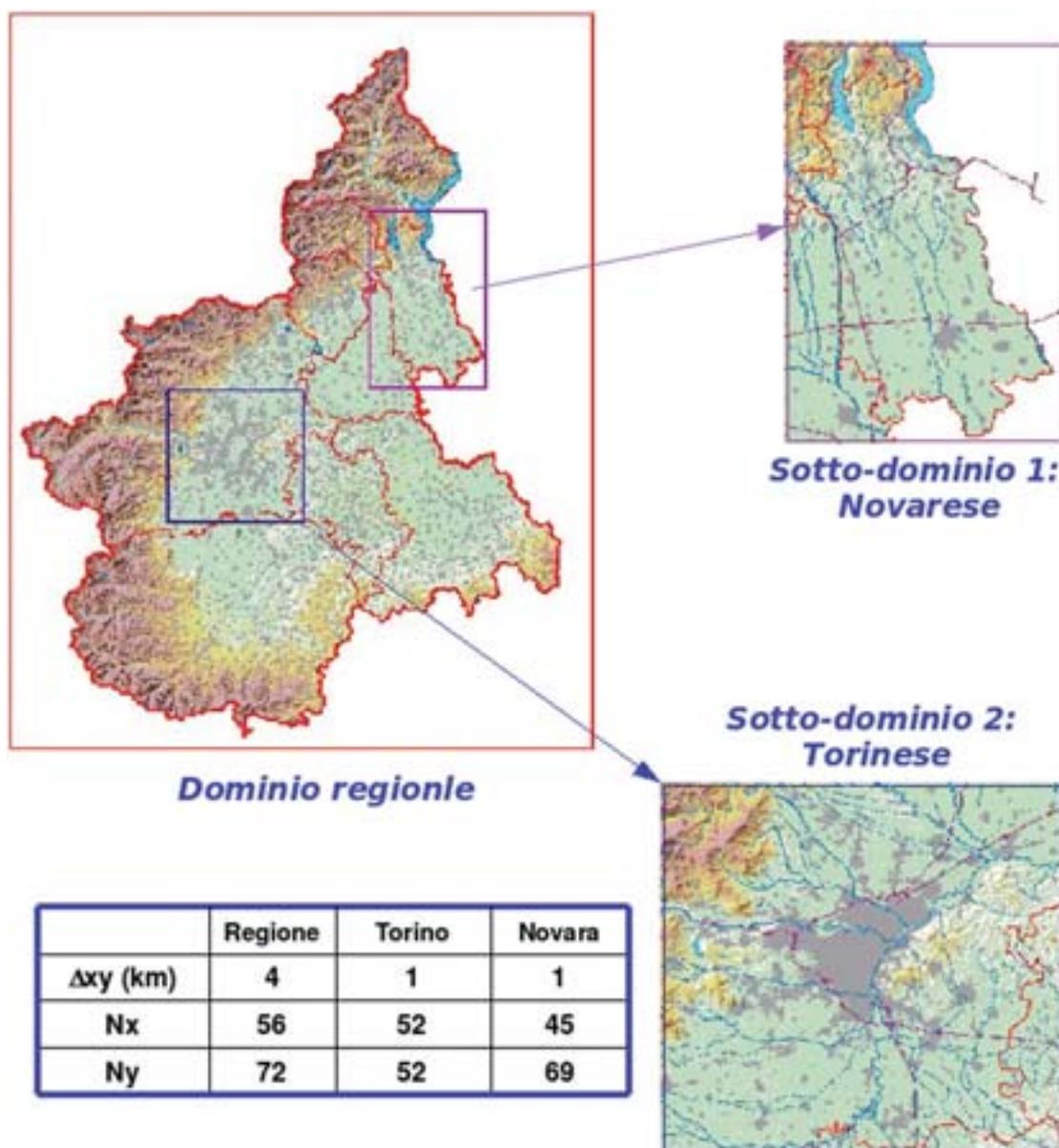


FIGURA 78: Dominio regionale e sottodominio provinciale (Torino e Novara).

La catena modellistica prognostica fornisce quotidianamente le previsioni dei campi tridimensionali di concentrazione di inquinanti con cadenza oraria, a partire dalle 01:00 UTC del giorno di emissione e fino alle 24:00 UTC del secondo giorno successivo (per un totale di 72 ore di previsione). Le elaborazioni riguardanti la simulazione di chimica e trasporto ed il post-processamento dei campi di concentrazione sono svolte in tempi successivi, ciascuno corrispondente ad un intervallo di 24 ore di simulazione: al termine delle prime 24 ore di simulazione, vengono prodotti i primi risultati corrispondenti alla previsione per il giorno in corso (le prime 24 ore di previsione) e successivamente vengono condotte le simulazioni e le elaborazioni relative al giorno successivo (le successive 24 ore di previsione) ed infine vengono effettuate simulazioni ed elaborazioni inerenti l'ultimo giorno, il secondo a partire da quello di esecuzione (le ultime 24 ore di previsione).

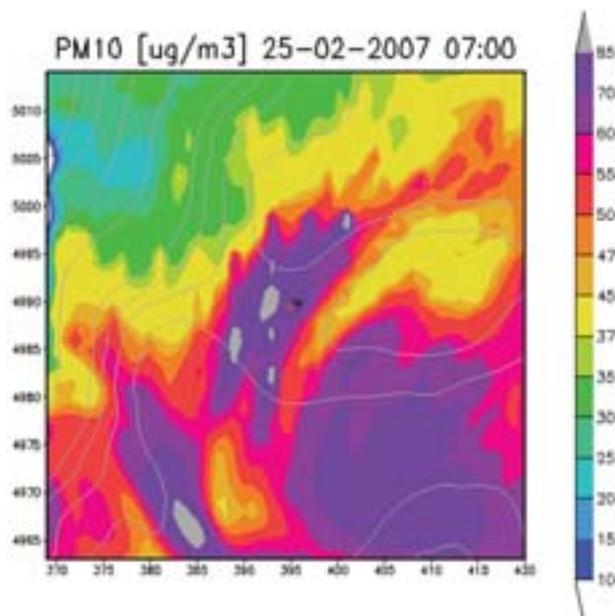


FIGURA 79: Output del modello FARM nella catena operativa prognostica: campo di concentrazione di PM10 previsto per ore 07:00 del 25-02-2007 dalla corsa del 24-02-2007 sul sottodominio torinese.

Questa scelta permette di rendere disponibili fin dalle prime ore del mattino le previsioni relative al primo giorno di simulazione in corso e di avere comunque a disposizione, non appena possibile, come risultato parziale della simulazione, le previsioni relative alle differenti scadenze. Attualmente la catena modellistica inizia la simulazione alle ore 4:00 UTC con la preparazione delle emissioni, l'acquisizione delle condizioni iniziali e a contorno meteorologiche, dal modello COSMO-17 e chimiche, dal modello CHIMERE. Il modello di diffusione e chimica dell'atmosfera FARM inizia il primo run di previsione attorno alle ore 5:30 UTC e impiega approssimativamente 1 ora per effettuare 24 ore di simulazione; i primi dati, cioè quelli relativi al primo giorno (dalle ore 1 alle ore 24), sono disponibili, quindi, a partire dalle ore 6:30 UTC, mentre quelli relativi al secondo e al terzo giorno rispettivamente alle 7:30 UTC e alle 8:30 UTC.

L'ALGORITMO DI CALCOLO DELL'IQA DA DATI SIMULATI

Facendo uso delle concentrazioni grigliate prodotte dalla catena prognostica sul sottodominio di Torino è stato possibile implementare un algoritmo che permette di calcolare l'IQA sull'Area Metropolitana di Torino, analogo all'indice calcolato da dati osservati.

L'Indice di Qualità dell'Aria da dati simulati viene calcolato attraverso alcuni passi successivi. Inizialmente viene individuata l'area di interesse e si effettua la classificazione del territorio a partire dalle caratteristiche di uso del suolo: ai punti griglia contenuti nell'area di interesse viene assegnato un identificativo corrispondente a una delle classi di uso del suolo. Le informazioni elementari della base dati *CTR 10000 - Isolati uso del suolo* sono ricondotte alla risoluzione della simulazione modellistica attribuendo alle celle la classe con maggior presenza percentuale; in caso di impossibilità di applicare tale criterio la classificazione della cella viene effettuata sulla base delle celle circostanti utilizzando come condizioni supplementari la continuità e l'omogeneità dell'informazione (FIGURA 80).

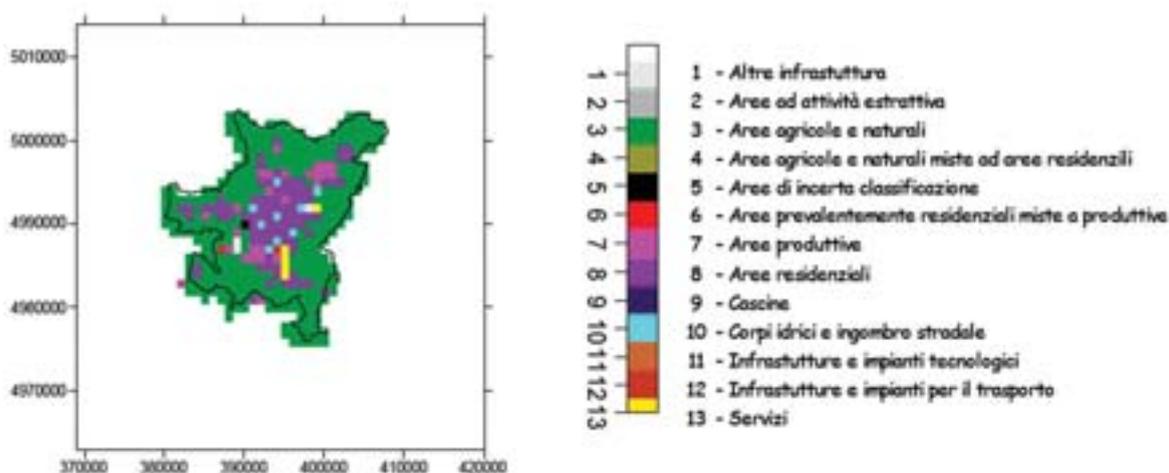


FIGURA 80: Mappa delle classi di caratterizzazione territoriale utilizzate per il calcolo dell'Indice di Qualità dell'Aria da dati simulati.

Successivamente, utilizzando i valori di concentrazione simulati per ogni punto griglia, vengono calcolati i sottoindici relativi al PM10, all'NO₂ e all'O₃, secondo le medesime formule in precedenza riportate per il calcolo dell'IQA da dati osservati.

Infine, viene effettuata una media pesata dei sottoindici relativi a ogni punto griglia dell'area selezionata e si calcola l'IQA come media tra il sottoindice relativo al PM10 e il maggiore tra i due sottoindici relativi all'NO₂ e all'O₃.

Nella scelta dei pesi, riportati nella FIGURA 81, si è volutamente deciso di privilegiare il contributo derivante dai punti griglia appartenenti ad aree residenziali o produttive. Tali aree, infatti, poiché presentano le concentrazioni più elevate e la maggior densità abitativa, sono le zone nelle quali la popolazione è maggiormente esposta all'inquinamento atmosferico. Oltre a ciò in queste aree sono localizzate la quasi totalità delle postazioni utilizzate per il calcolo dell'IQA a partire dalle concentrazioni osservate.

| CLASSE | CARATTERISTICHE TERRITORIALI | PESI |
|--------|--|------|
| 1 | Altre infrastrutture | 0 |
| 2 | Aree ad attività estrattiva | 0 |
| 3 | Aree agricole e naturali | 0 |
| 4 | Aree agricole e naturali miste ad aree residenziali | 0 |
| 5 | Aree di incerta classificazione | 0 |
| 6 | Aree prevalentemente residenziali miste a produttive | 1 |
| 7 | Aree produttive | 1 |
| 8 | Aree residenziali | 1 |
| 9 | Cascine | 0 |
| 10 | Corpi idrici e ingombro stradale | 0 |
| 11 | Infrastrutture e impianti tecnologici | 0 |
| 12 | Infrastrutture e impianti per il trasporto | 0 |
| 13 | Servizi | 0 |

FIGURA 81: Pesi assegnati alle classi di caratterizzazione territoriale per il calcolo dell'Indice di Qualità dell'Aria da dati simulati.

L'IQA NELL'AREA METROPOLITANA TORINESE: RISULTATI PER L'ANNO 2007

Al fine di valutare la consistenza dell'IQA previsto con quello calcolato da dati osservati si sono analizzate le distribuzioni di frequenza trimestrali delle classi di IQA, le tabelle di contingenza multiple mensili e le serie temporali mensili. Ci si è avvalsi inoltre del confronto tra le concentrazioni misurate nelle stazioni utilizzate per il calcolo dell'IQA e le concentrazioni simulate estratte in corrispondenza delle coordinate delle medesime stazioni. Un confronto così strutturato può essere di aiuto nella comprensione delle differenze tra gli andamenti dell'IQA osservato e di quello simulato. È importante notare però che i due indici differiscono sensibilmente per costruzione: il primo è un indice puntuale, quindi soggetto all'influenza delle dinamiche locali delle stazioni utilizzate, mentre il secondo è un indice *areale* ottenuto cioè come media dei contributi dei punti griglia appartenenti al dominio di interesse. Ne segue che il confronto tra le serie temporali osservate e previste è indicativo, infatti, mentre i dati osservati delle stazioni concorrono effettivamente al calcolo dell'IQA, i dati simulati estratti in corrispondenza dei punti stazione rappresentano solamente un campione limitato dei dati utilizzati.

Le considerazioni che seguono sono basate sui valori di concentrazione previsti a 48 ore, poiché le previsioni a 24 ore sono risultate influenzate in maniera evidente dalle condizioni iniziali fornite in ingresso alla catena (desunte dalla banca dati a grande scala del modello Chimere).

Primo trimestre

Considerando le serie temporali per il primo trimestre dell'anno (FIGURE 82 - 84) si osserva una certa sottostima dell'IQA simulato rispetto all'IQA misurato, la differenza tra i due è però quasi sempre di una sola classe. Nel mese di gennaio (FIGURA 82), l'andamento generale dell'osservato viene riprodotto dal modello sebbene, in particolare nella prima parte del mese, vi sia una costante sottostima. Questo stesso andamento può essere interpretato confrontando le concentrazioni degli inquinanti in corrispondenza di alcune stazioni dell'area metropolitana torinese. Si faccia riferimento a tal proposito alle FIGURE 91- 94 che rappresentano le concentrazioni orarie massime giornaliere di NO₂ per le stazioni di Torino piazza Rivoli, Torino piazza Rebaudengo, Borgaro e Orbassano. Si osserva il non ottimale accordo tra i valori simulati e quelli osservati, con giorni di sottostima alternati a giorni di sovrastima ed importanti differenze fra le postazioni considerate. I livelli di concentrazione calcolati e misurati sono infatti molto simili nelle postazioni suburbane di Borgaro ed Orbassano, mentre si osserva una tendenza alla sovrastima nella postazione di Piazza Rivoli ed una marcata sottostima nella postazione di Piazza Rebaudengo. Le FIGURE 85, 87, 89 riportano le concentrazioni medie giornaliere di PM₁₀ osservate e simulate nelle stazioni di Borgaro, Torino Lingotto e via della Consolata: si riscontra, nel mese di gennaio, una tendenza alla sot-

tostima delle concentrazioni misurate e la presenza di alcuni brevi episodi di sovrastima. Tale comportamento sembrerebbe pregiudicare anche l'accordo dell'IQA simulato con quello calcolato da dati osservati. Per il PM10 si rileva un migliore accordo fra i risultati delle simulazioni e le osservazioni nella postazione di via della Consolata, rispetto alla condizione di sottostima rilevabile in corrispondenza delle postazioni di Borgaro e Lingotto.

Le condizioni di sottostima delle concentrazioni di PM10, in particolare nelle postazioni di Borgaro e Lingotto, continuano ad essere presente nelle prime due decadi del mese di febbraio, in particolare nei primi tre giorni del mese in cui l'IQA viene sottostimato di tre classi. Un altro periodo critico è compreso tra il giorno 9 e il giorno 17 del mese di febbraio, durante il quale, sebbene venga riprodotto l'andamento generale, si verifica una persistente sottostima di più di una classe per l'IQA. I valori PM10 sono invece riprodotti in modo abbastanza soddisfacente nella postazione di Consolata, dove nella terza decade del mese si rileva una condizione di lieve sovrastima dei valori osservati. Per l'NO₂, si rileva una buona riproduzione dei valori osservati a Borgaro, una tendenza alla sovrastima a Piazza Rivoli e Orbassano, mentre si conferma la decisa sottostima a Rebaudengo.

Sebbene a marzo le concentrazioni e con esse i valori giornalieri di IQA si abbassino notevolmente, continua a essere presente una sottostima di circa una classe per tutto il mese di marzo (FIGURA 84), solo intorno alla metà del mese la situazione è più critica con errori che arrivano a due classi. Il confronto delle concentrazioni previste con le osservazioni mostra caratteristiche analoghe a quelle presentate per i mesi precedenti, con l'eccezione della postazione di Rebaudengo, dove si osserva una rilevante riduzione della sottostima ed una buona riproduzione delle variazioni temporali delle concentrazioni.

Gli andamenti analizzati determinano lo spostamento verso le classi basse della distribuzione trimestrale osservabile in FIGURA 95: la popolazione della classe *buona* viene sovrastimata dal modello, mentre quella della classe *moderata cautela* viene sottostimata. Questo comportamento trova riscontro nelle tabelle di contingenza (FIGURA 97). Nel mese di gennaio, infatti, si osserva che gli eventi simulati nella classe numero tre (*discreta*) vengono in realtà osservati anche nella classe quattro (*moderata cautela*), mentre quelli simulati nella classe quattro sono per la maggior parte da attribuire alla classe cinque (*poco salubre*). Analogamente il mese di febbraio per le classi due, tre e quattro, mentre gli eventi simulati in classe cinque ricadono per metà nella classe cinque e metà nella classe quattro, determinando la sottostima di quest'ultima classe. Il mese di marzo è quello che maggiormente influisce sul non ottimale accordo riscontrabile nelle prime tre classi della distribuzione trimestrale (FIGURA 95); dalla tabella di contingenza si riscontra che i cinque eventi simulati in classe uno sono in realtà da attribuire alla classe due e che la maggior parte di eventi simulati nelle classi due e tre sono osservati invece nelle classi tre e quattro rispettivamente.

Come detto in precedenza l'assenza di un dato osservato di PM10 proveniente da una delle tre stazioni di misura incide fortemente sul valore del sottoindice relativo al particolato; per questo motivo si riporta in FIGURA 96 la distribuzione trimestrale delle classi di IQA ottenuta escludendo i giorni nei quali mancano le osservazioni di PM10 provenienti da una delle tre stazioni utilizzate per il calcolo dell'IQA (Torino via della Consolata, Torino Lingotto e Borgaro). Confrontando la distribuzione così ottenuta e quella precedente (FIGURA 95) si osserva un miglioramento nella stima della popolazione delle classi due, tre, cinque, sei e sette, mentre peggiora l'accordo per le classi uno e quattro. Il confronto fra i risultati delle simulazioni e le concentrazioni misurate dalle diverse postazioni mostra rilevanti differenze in funzione della postazione considerata. Si è già notato in particolare il miglior accordo osservabile nella postazione di Torino via della Consolata, per il PM10, e nella postazione di Borgaro, per l'NO₂, rispetto a tutte le altre postazioni. Queste differenze sono dovute alla risoluzione effettiva delle simulazioni modellistiche ed alla rappresentatività spaziale delle osservazioni. La risoluzione numerica (dimensione orizzontale delle celle di calcolo) della catena modellistica è di 7 km per la meteorologia e di 1 km per emissioni e qualità dell'aria. Ci si deve quindi attendere una risoluzione effettiva del sistema modellistico di 2-3 km ed una buona riproduzione dei valori misurati in postazioni "rappresentative" di un'area di almeno 2x2 km². In generale ciò dovrebbe corrispondere a postazioni di background urbano/suburbano non immediatamente interessate dalle sorgenti di maggior intensità, come le arterie stradali principali. È evidente che postazioni

localizzate in parchi di dimensione piccola rispetto alla risoluzione del modello, come Torino Lingotto, o postazioni stradali come Torino Rebaudengo risultano di difficile riproduzione. Si noti inoltre la differenza fra i valori di NO₂ osservati nelle postazioni stradali di Torino Piazza Rivoli e Piazza Rebaudengo, in linea di principio esposte alla stessa tipologia di emissioni ma probabilmente caratterizzate da una differente rappresentatività spaziale.

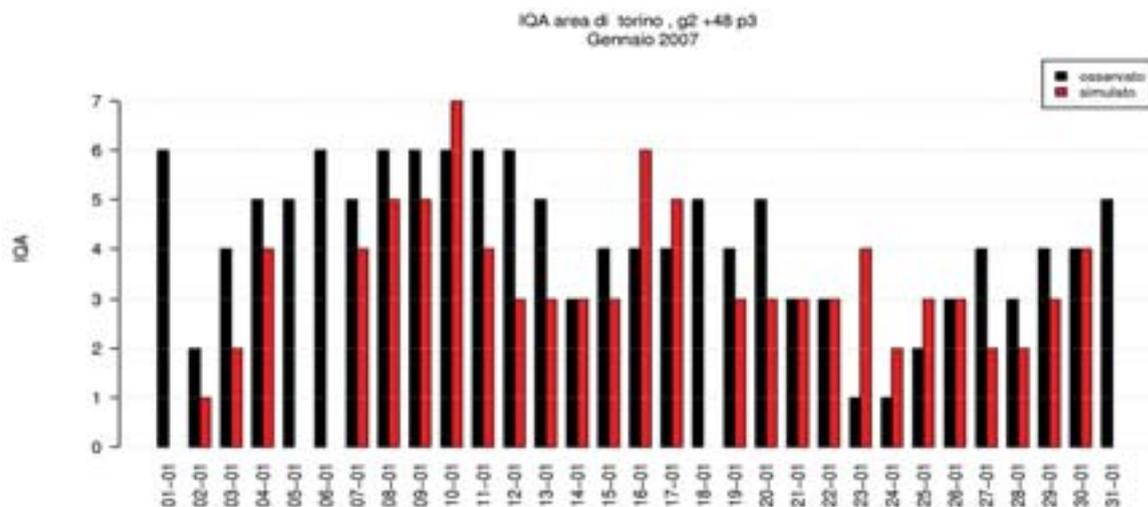


FIGURA 82- Andamento giornaliero dell'IQA nel mese di gennaio.

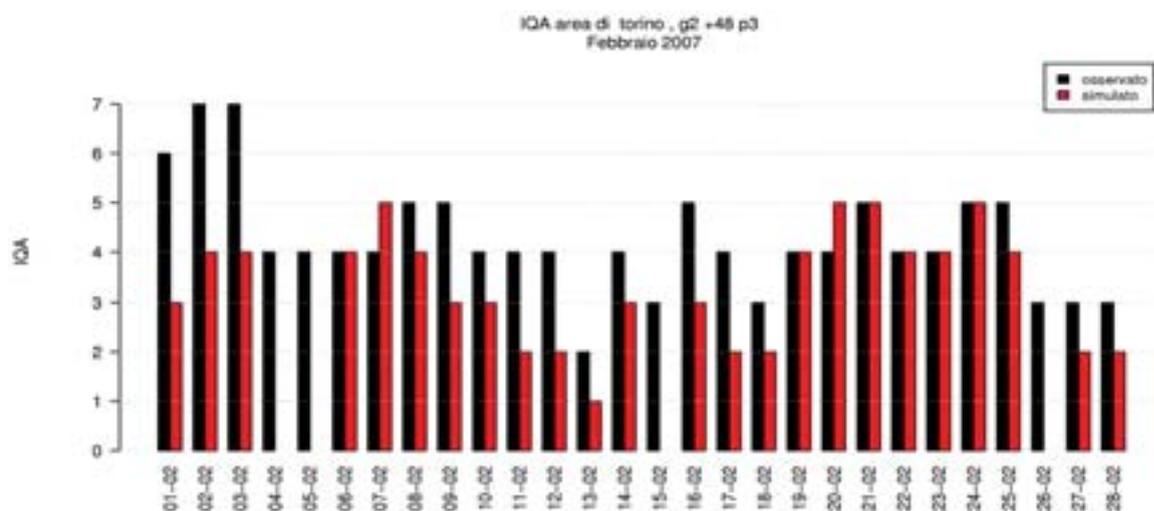


FIGURA 83: Andamento giornaliero dell'IQA nel mese di febbraio.

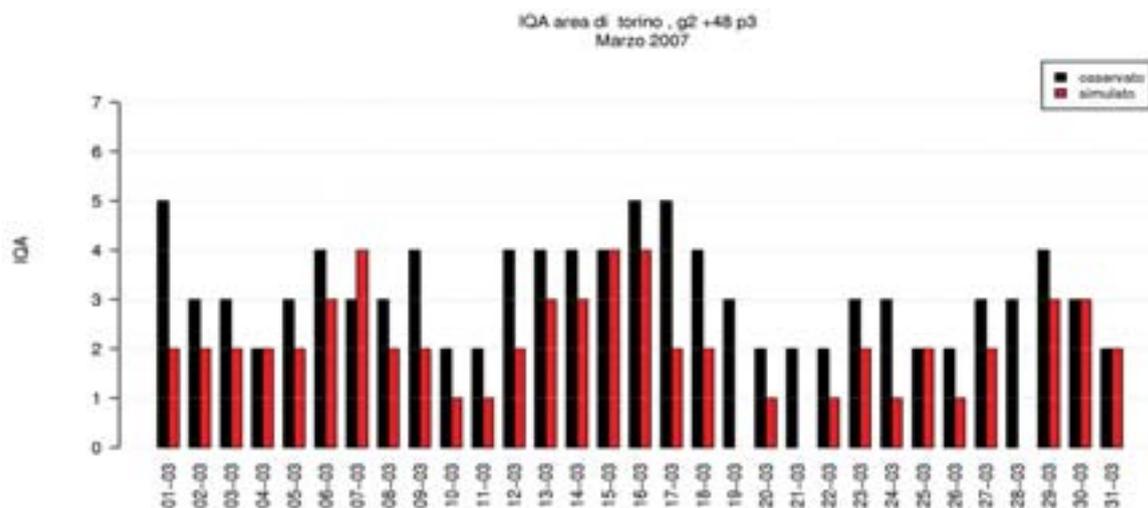


FIGURA 84: Andamento giornaliero dell'IQA nel mese di marzo.

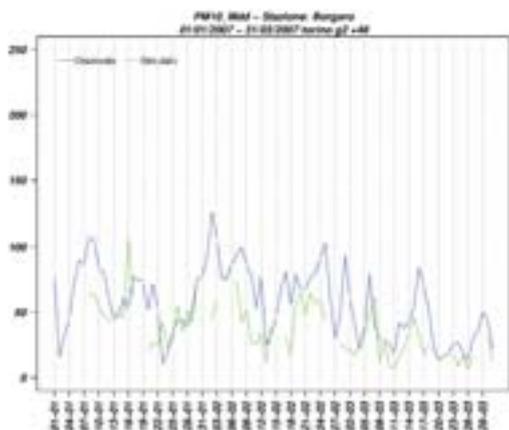


FIGURA 85: Media giornaliera della concentrazione di PM10 beta nella stazione di Borgaro per il primo trimestre del 2007.

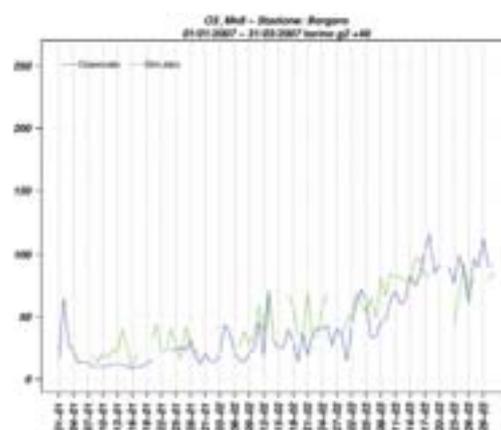


FIGURA 86: Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore della concentrazione di O₃ nella stazione di Borgaro per il primo trimestre del 2007.



FIGURA 87: Media giornaliera della concentrazione di PM10 beta nella stazione di Torino Lingotto per il primo trimestre del 2007.

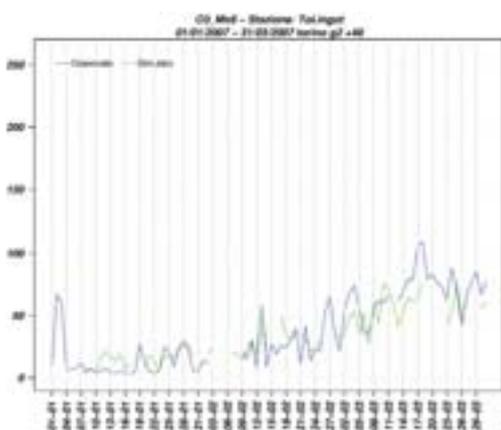


FIGURA 88: Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore della concentrazione di O₃ nella stazione di Torino Lingotto per il primo trimestre del 2007.



FIGURA 89: Media giornaliera della concentrazione di PM10 tot (media giornaliera) nella stazione di Torino via della Consolata per il primo trimestre del 2007.

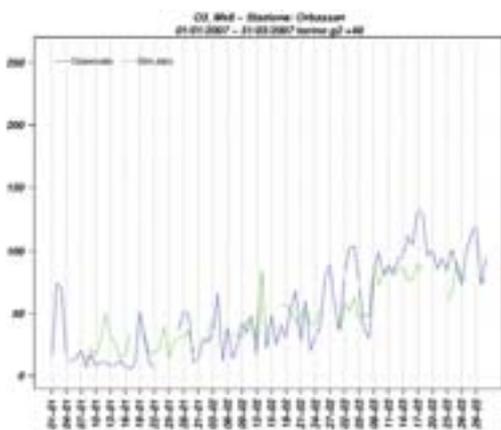


FIGURA 90: Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore della concentrazione di O₃ nella stazione di Orbassano per il primo trimestre del 2007.



FIGURA 91: Massimo giornaliero della concentrazione di NO₂ nella stazione di Borgaro per il primo trimestre del 2007.

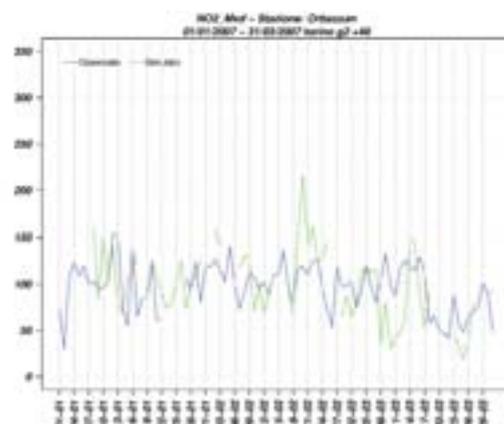


FIGURA 92: Massimo giornaliero della concentrazione di NO₂ nella stazione di Orbassano per il primo trimestre del 2007

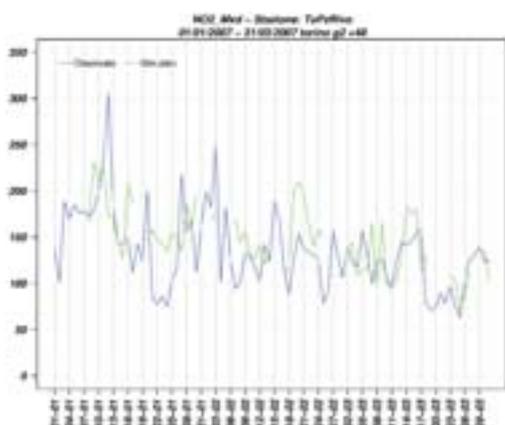


FIGURA 93: Massimo giornaliero della concentrazione di NO₂ nella stazione di Torino piazza Rivoli per il primo trimestre del 2007.

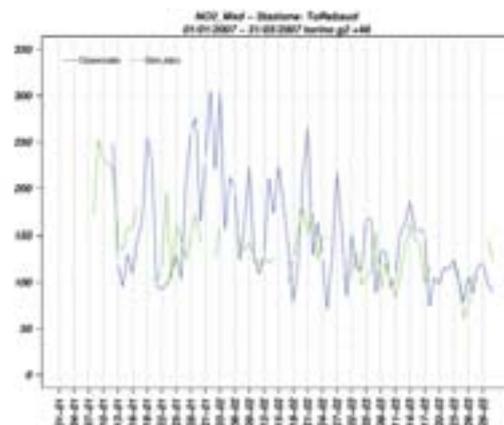


FIGURA 94: Massimo giornaliero della concentrazione di NO₂ nella stazione di Torino piazza Rebaudengo per il primo trimestre del 2007.

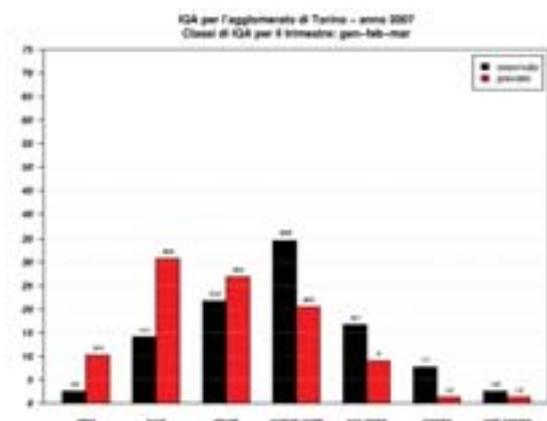


FIGURA 95: Istogramma delle frequenze delle classi di IQA per il primo trimestre dell'anno 2007.

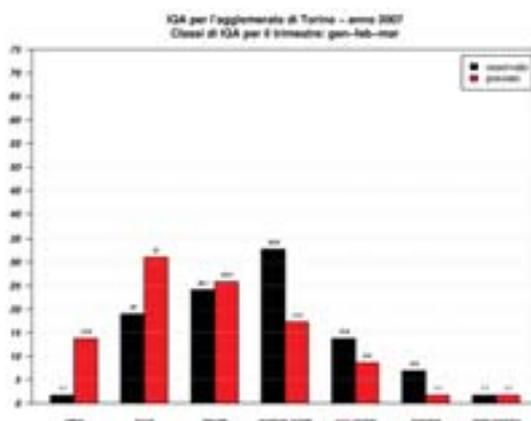


FIGURA 96: Istogramma delle frequenze delle classi di IQA per il primo trimestre dell'anno 2007 ottenuta escludendo i giorni nei quali mancano una o più osservazioni di PM10.



FIGURA 97: Tabelle di contingenza per le classi di IQA per il primo trimestre dell'anno riferita alle serie delle FIGURE 82 - 84.

Secondo trimestre

L'accordo con l'IQA osservato migliora nel trimestre successivo (FIGURE 98 - 100), con errori limitati, nella maggior parte dei casi, a una classe; la buona accuratezza della simulazione nella stima della concentrazione dell'ozono e del particolato per tutto il periodo primaverile e estivo determina un buon accordo tra IQA simulato e osservato.

L'IQA da dati simulati nel mese di aprile (FIGURA 98) risulta generalmente in buon accordo con l'IQA da dati osservati sebbene vi siano alcuni giorni critici. Tra il 5 e l'8 del mese si verifica una costante sottostima dell'IQA osservato la cui causa può essere ricercata nelle concentrazioni simulate dalla catena previsionale le quali presentano, in particolare nell'area urbana di Torino, valori inferiori alle misure nella maggior parte delle stazioni. Si fa notare che questo comportamento è particolarmente evidente per le concentrazioni medie giornaliere di PM10 (FIGURE 101, 103, 105) mentre si riscontrano alcuni giorni di sovrastima per quanto riguarda la concentrazione massima giornaliera di NO₂.

Nel mese di maggio l'IQA calcolato da dati simulati presenta un'evidente sottostima che perdura per tutta la parte centrale del mese che può essere spiegata osservando il confronto tra l'ozono misurato e simulato nella stazione di Borgaro, Torino Lingotto, e Orbassano (FIGURE 102, 104, 106). Tali stazioni misurano concentrazioni decisamente maggiori a quelle simulate dal modello per tutto il mese; la stazione di Torino Lingotto è la più critica delle tre poiché, essendo situata in un parco urbano, presenta concentrazioni di ozono mediamente superiori all'area urbana non simulate accuratamente dal modello a causa della limitata risoluzione spaziale.

Va aggiunto inoltre che la scelta di pesare maggiormente le aree urbane e produttive nell'algoritmo di calcolo dell'IQA da dati simulati si ripercuote negativamente sulla stima dell'indice nel periodo estivo: il sottoindice dell'ozono viene tendenzialmente sottostimato poiché risulta maggiore proprio in quelle aree, rurali e agricole, il cui contributo viene pesato meno. A partire dal 25 maggio nelle postazioni di Borgaro ed Orbassano si osserva una tendenza alla sovrastima dei valori di ozono, che permane per la maggior parte del mese di giugno. Questa condizione, determina la buona prestazione della stima dell'IQA riscontrabile per il mese di giugno, con esclusione del periodo 22-24, durante il quale l'IQA osservato risulta sottostimato.

La distribuzione delle frequenze simulate (FIGURA 111) presenta un buon accordo con la distribuzione osservata sia nella forma della distribuzione che nella popolazione delle varie classi. Le tabelle di contingenza riportate in FIGURA 113 mostrano che l'IQA per il mese di aprile risulta sottostimato; infatti sei degli undici eventi simulati in classe tre vengono osservati in classe quattro. Analogamente ciò succede nel mese di maggio, sebbene ora sia la classe tre ad essere sottostimata. Buono l'accordo nel mese di giugno: da far notare solamente due eventi su dieci simulati in classe tre che invece risultano osservati in classe due.

In questo trimestre la distribuzione delle classi di IQA ottenuta escludendo i giorni nei quali mancano le osservazioni di PM10 beta mostra un sostanziale miglioramento in particolare nelle classi elevate: vengono rimossi gli elementi osservati nella classe poco salubre e diminuisce la differenza di popolazione della classe moderata cautelata.

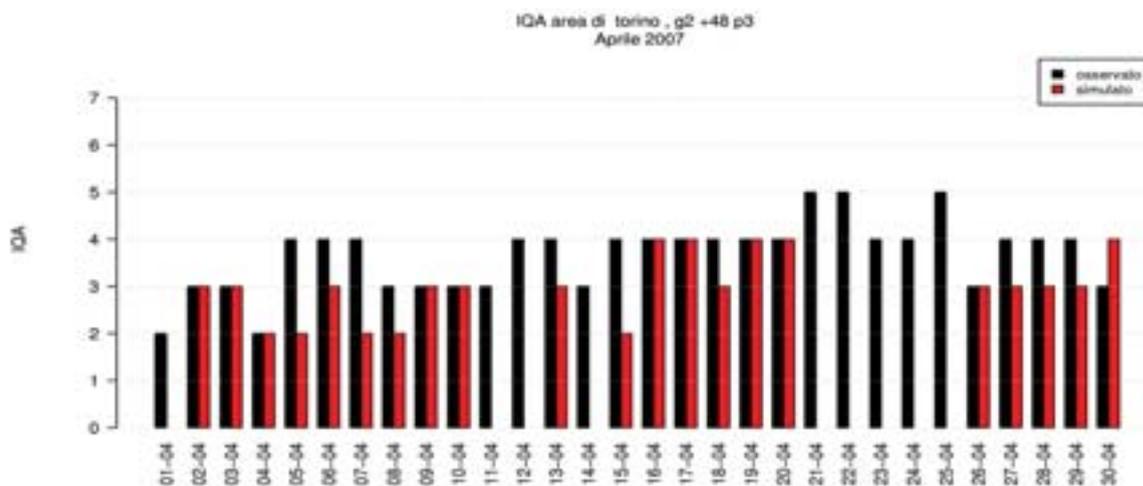


FIGURA 98: Andamento giornaliero dell'IQA nel mese di Aprile.

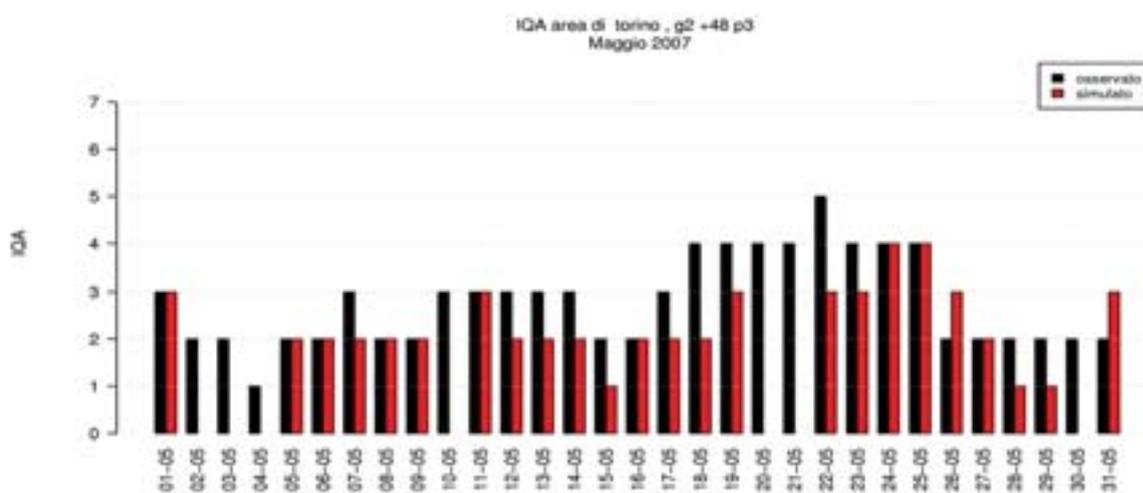


FIGURA 99: Andamento giornaliero dell'IQA nel mese di Maggio.

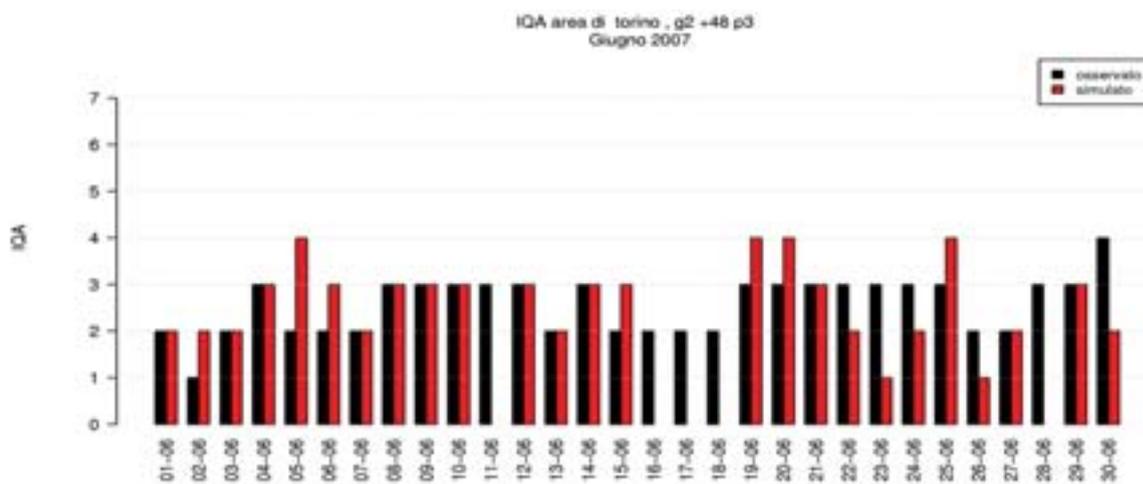


FIGURA 100: Andamento giornaliero dell'IQA nel mese di Giugno.

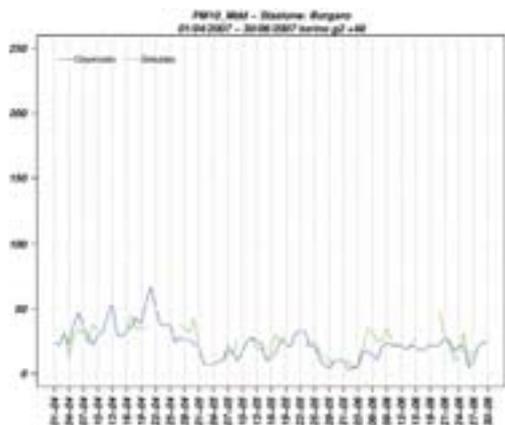


FIGURA 101: Media giornaliera della concentrazione di PM10 beta nella stazione di Borgaro per il secondo trimestre del 2007.

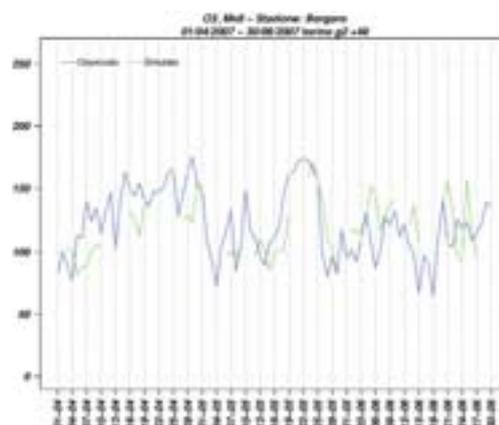


FIGURA 102: Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore della concentrazione di O₃ nella stazione di Borgaro per il secondo trimestre del 2007.

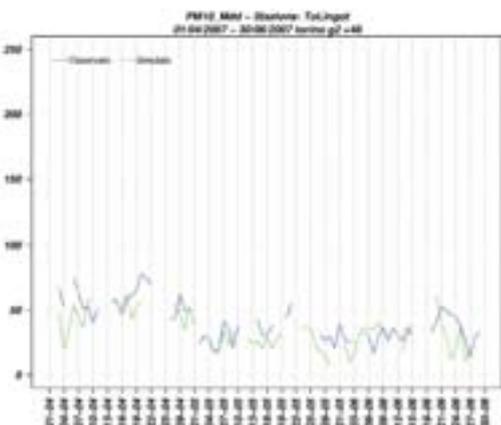


FIGURA 103: Media giornaliera della concentrazione di PM10 beta nella stazione di Torino Lingotto per il secondo trimestre del 2007.

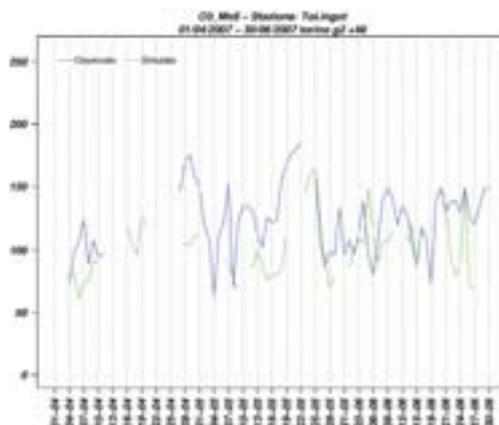


FIGURA 104: Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore della concentrazione di O₃ nella stazione di Torino Lingotto per il secondo trimestre del 2007.



FIGURA 105: Media giornaliera della concentrazione di PM10 tot (media giornaliera) nella stazione di Torino via della Consolata per il secondo trimestre del 2007.

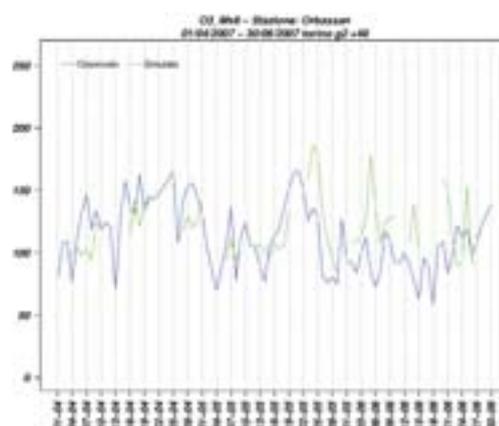


FIGURA 106: Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore della concentrazione di O₃ nella stazione di Orbassano per il secondo trimestre del 2007.

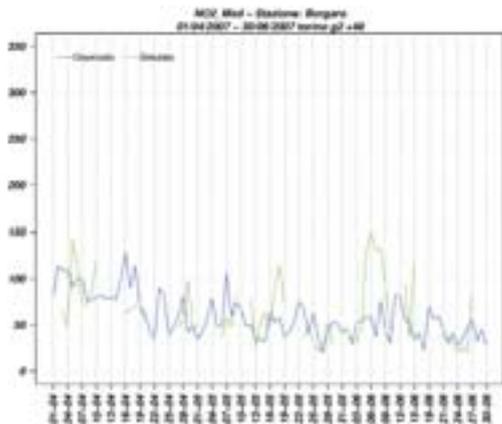


FIGURA 107: Massimo giornaliero della concentrazione di NO₂ nella stazione di Borgaro per il secondo trimestre del 2007.

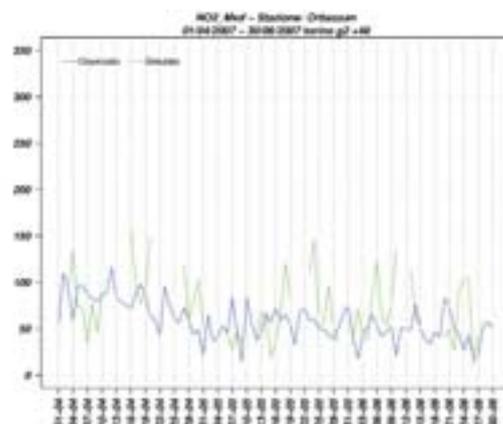


FIGURA 108: Massimo giornaliero della concentrazione di NO₂ nella stazione di Orbassano per il secondo trimestre del 2007.

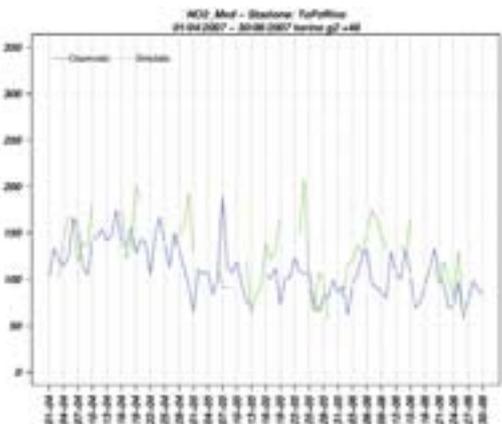


FIGURA 109: Massimo giornaliero della concentrazione di NO₂ nella stazione di Torino piazza Rivoli per il secondo trimestre del 2007.

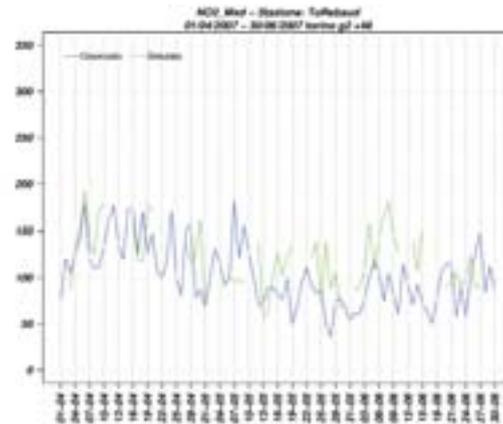


FIGURA 110: Massimo giornaliero della concentrazione di NO₂ nella stazione di Torino piazza Rebaudengo per il secondo trimestre del 2007.

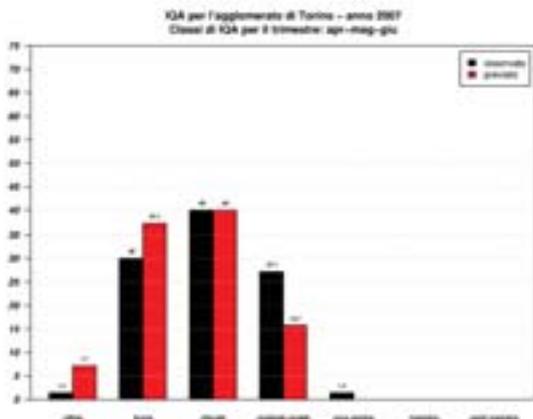


FIGURA 111: Istogramma delle frequenze delle classi di IQA per il secondo trimestre dell'anno 2007.

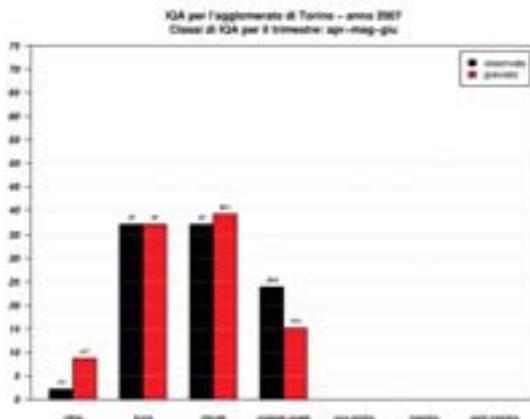


FIGURA 112: Istogramma delle frequenze delle classi di IQA per il secondo trimestre dell'anno 2007 escludendo i giorni nei quali mancano una o più osservazioni di PM10.



FIGURA 113: Tabelle di contingenza per le classi di IQA nei mesi di aprile, maggio e giugno riferite alle serie delle FIGURE 98 - 100.

Terzo trimestre

Per quanto riguarda il trimestre estivo (FIGURE 114 - 116) si riscontra un buon accordo nel mese di agosto e settembre con errori limitati generalmente a una classe; meno accurata, invece, la riproduzione dell'IQA osservato nel mese di luglio caratterizzato da lunghi periodi di sottostima.

Durante questo trimestre il sottoindice relativo all' NO₂ è decisamente inferiore a quello relativo all'O₃ e si pertanto usato quest'ultimo per il calcolo dell'IQA osservato.

I massimi giornalieri delle concentrazioni di NO₂ sono decisamente inferiori ai massimi delle medie mobili su 8 ore delle concentrazioni dell'O₃, per questo motivo il sottoindice utilizzato per il calcolo degli IQA osservato e previsto è quello relativo all'ozono.

Durante il mese di luglio (FIGURA 114) è spesso presente la sottostima dell'IQA osservato, sebbene essa sia superiore a due classi solo per tre giorni (nella parte finale del mese). Dalle serie temporali riportate (FIGURE 118, 120, 122) si evince una certa sottostima dell'ozono in tutte le tre stazioni utilizzate a partire dal giorno 10 del mese, sebbene il modello simuli in modo accettabile l'andamento dell'osservato.

La sottostima dell'ozono durante il mese di luglio tende ad attenuarsi nei due mesi successivi, determinando di conseguenza un miglioramento dell'accordo tra IQA osservato e IQA simulato. L'andamento dell'IQA simulato nei mesi di agosto e settembre risulta infatti coerente con quello osservato, con errori limitati nel tempo e generalmente non superiori a una classe. Durante il mese di luglio si osserva inoltre una tendenza alla sottostima dei valori di PM₁₀ nella postazione di Consolata che non è presente nei mesi di agosto e settembre.

Le distribuzioni delle classi di IQA (FIGURA 123) risultano essere in accordo non ottimale: mentre nella distribuzione simulata la classe maggiormente popolata è quella buona, nella distribuzione osservata la classe maggiormente popolata è quella discreta; la distribuzione simulata, inoltre, non presenta eventi nella classe poco salubre, la quale risulta popolata invece nella distribuzione osservata. Le tabelle di contingenza (FIGURA 125) mostrano, per il mese di luglio, la costante sottostima di una classe: dei quattro eventi simulati in classe uno, tre vengono osservati nella classe due; dei dodici eventi simulati in classe due, nove sono osservati in classe tre; dei sette in classe tre, quattro vengono osservati in classe quattro; dei quattro eventi simulati in classe quattro, due cadono invece in classe cinque. Nel mese di agosto continuano a essere problematiche le classi due e tre, i cui eventi simulati tendono a distribuirsi principalmente anche su una classe superiore. Decisamente buono invece il mese di settembre in cui solamente la classe due non risulta ben simulata, avendo due dei quattro eventi simulati che vengono osservati nella classe tre.

La distribuzione delle classi di IQA ottenuta escludendo i giorni nei quali mancano le osservazioni di PM₁₀ beta mostra un miglioramento, sebbene in misura inferiore rispetto al trimestre precedente: vengono rimossi gli eventi osservati nella classe poco salubre e diminuisce la differenza di popolazione nella classe moderata cautelata.

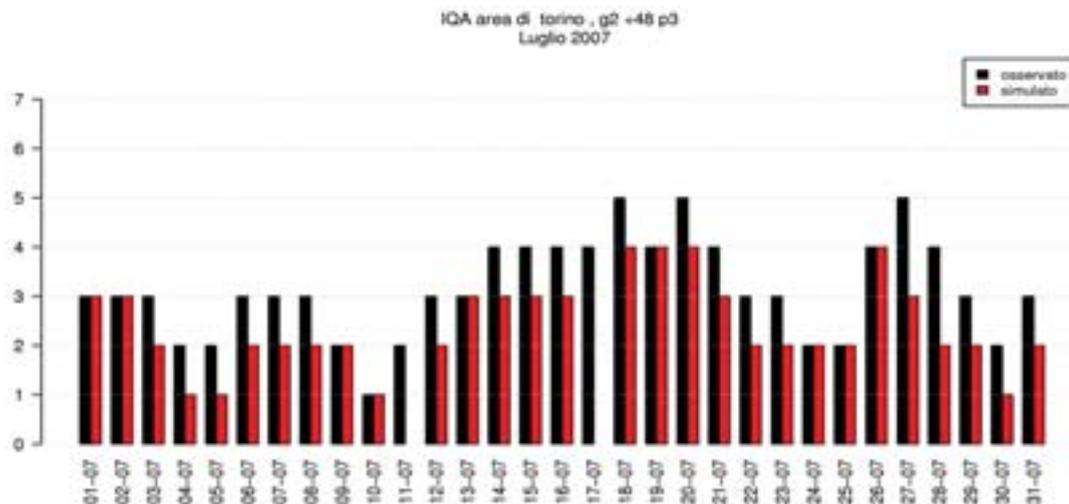


FIGURA 114: Andamento giornaliero dell'IQA nel mese di Luglio.

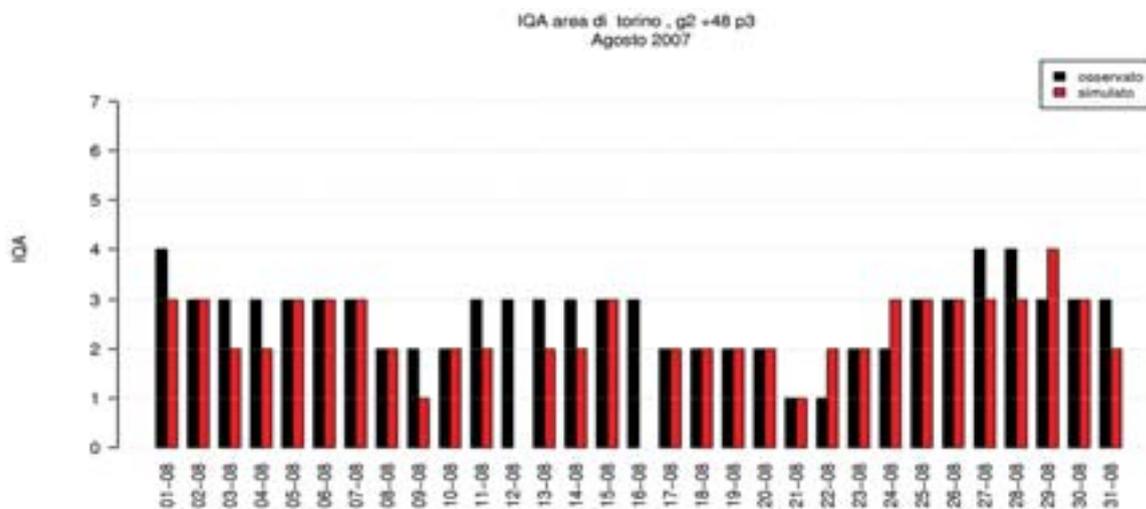


FIGURA 115: Andamento giornaliero dell'IQA nel mese di Agosto.

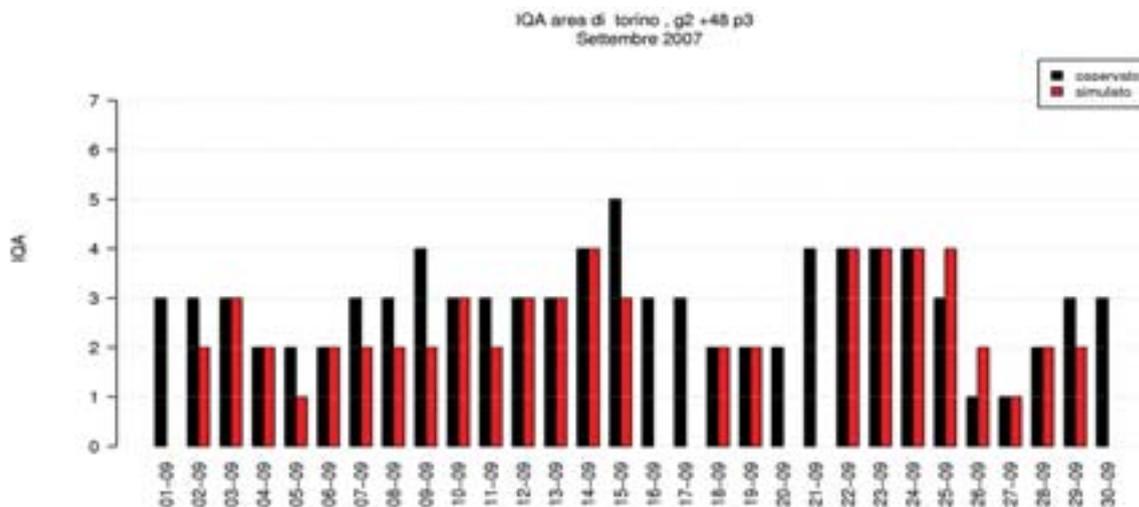


FIGURA 116: Andamento giornaliero dell'IQA nel mese di Settembre.

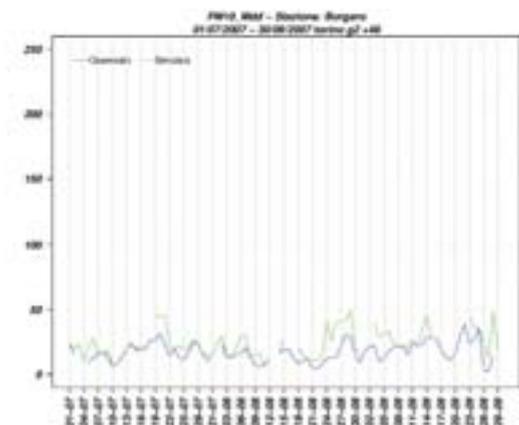


FIGURA 117: Media giornaliera della concentrazione di PM10 beta nella stazione di Borgaro per il terzo trimestre del 2007.

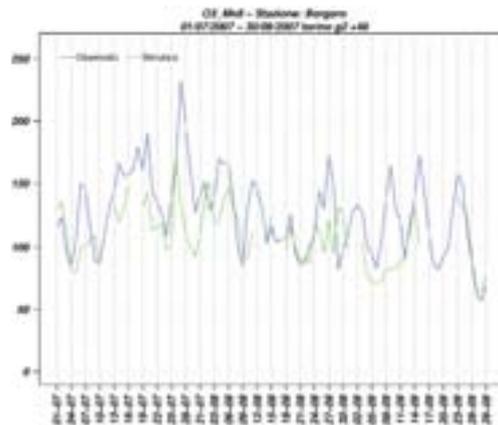


FIGURA 118: Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore della concentrazione di O₃ nella stazione di Borgaro per il terzo trimestre del 2007.

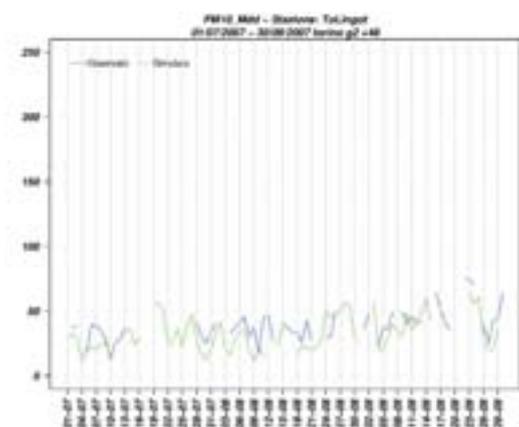


FIGURA 119: Media giornaliera della concentrazione di PM₁₀ beta nella stazione di Torino Lingotto per il terzo trimestre del 2007.

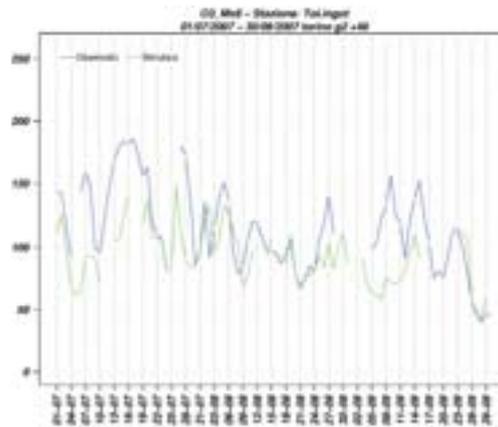


FIGURA 120: Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore della concentrazione di O₃ nella stazione di Torino Lingotto per il terzo trimestre del 2007.

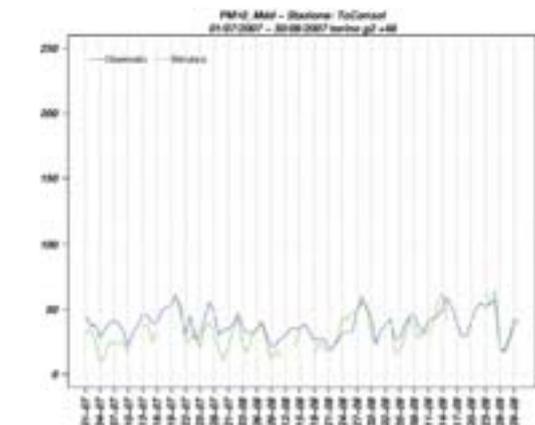


FIGURA 121: Media giornaliera della concentrazione di PM10 tot (media giornaliera) nella stazione di Torino via della Consolata per il terzo trimestre del 2007.

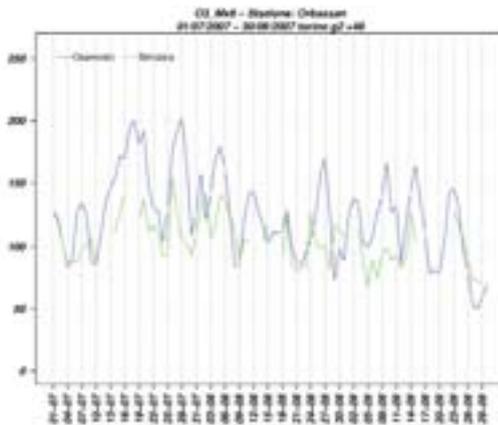


FIGURA 122: Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore della concentrazione di O₃ nella stazione di Orbassano per il terzo trimestre del 2007.

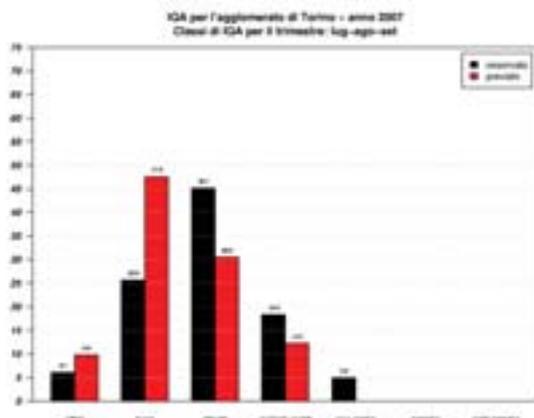


FIGURA 123: Istogramma delle frequenze delle classi di IQA per il terzo trimestre dell'anno 2007.

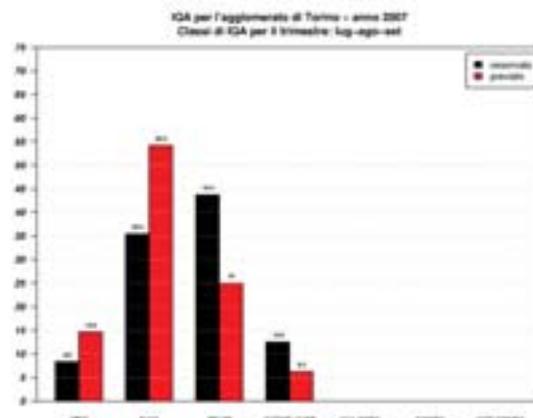


FIGURA 124: Istogramma delle frequenze delle classi di IQA per il terzo trimestre dell'anno 2007 ottenuta escludendo i giorni nei quali mancano una o più osservazioni di PM10.



FIGURA 125: Tabelle di contingenza per le classi di IQA per i mesi di luglio, agosto e settembre riferite alle serie delle FIGURE 114 - 116.

Quarto trimestre

L'ultimo trimestre dell'anno (FIGURE 126, 127) mostra un accordo discreto nel mese di ottobre e novembre con errori generalmente limitati a una classe. Discorso a parte merita il mese di dicembre caratterizzato dalla totale assenza della misura di PM10 beta della stazione di Borgaro: il confronto tra osservato e simulato risulta in questo caso assolutamente falsato poiché la stazione di Borgaro è quella che presenta mediamente le concentrazioni più basse tra le tre utilizzate per il calcolo del sottoindice relativo al particolato. Nel seguito quindi si tralascerà di considerare e commentare la distribuzione ottenuta includendo il mese di dicembre.

La prima metà del mese di ottobre (FIGURA 126) è caratterizzata da un evidente periodo di sovrastima, anche fino a tre classi, che scompare nella seconda metà del mese, probabilmente causato dai valori elevati sia delle concentrazioni medie giornaliere di PM10, sia di quelle del biossido di azoto (FIGURE 134 - 137) ottenuti nella simulazione.

Il mese di novembre, invece, è caratterizzato da alcuni periodi di sottostima intervallata da giorni in cui si registra un buon accordo: tale comportamento trova spiegazione osservando il confronto tra le serie previste e osservate che mostra la tendenza del modello a riprodurre accuratamente gli episodi con concentrazioni alte e a sottostimare i giorni che presentano concentrazioni misurate più basse. Si osservino in particolare gli andamenti delle concentrazioni di NO₂, nelle postazioni di Piazza Rivoli e Rebaudengo, e di PM10, in

tutte le postazioni disponibili, durante il periodo 9 -11 e 16 -18 novembre.

La distribuzione simulata dell'IQA (FIGURA 138) presenta, rispetto a quella osservata, una maggior popolazione nelle classi *buona* e una decisa sottostima delle classi *discreta* e *moderata cautelata*.

La tabella di contingenza relativa al mese di ottobre (FIGURA 139) presenta la maggior parte degli eventi situati sulla diagonale principale, sebbene gli eventi simulati in una certa classe risultino distribuiti principalmente nelle due classi inferiori. La tabella di contingenza relativa al mese di novembre, invece, presenta alcuni eventi di sottostima delle classi basse e due eventi simulati in classe cinque che invece vengono osservati in classe quattro, comportamento quest'ultimo già riscontrato nel mese di ottobre.

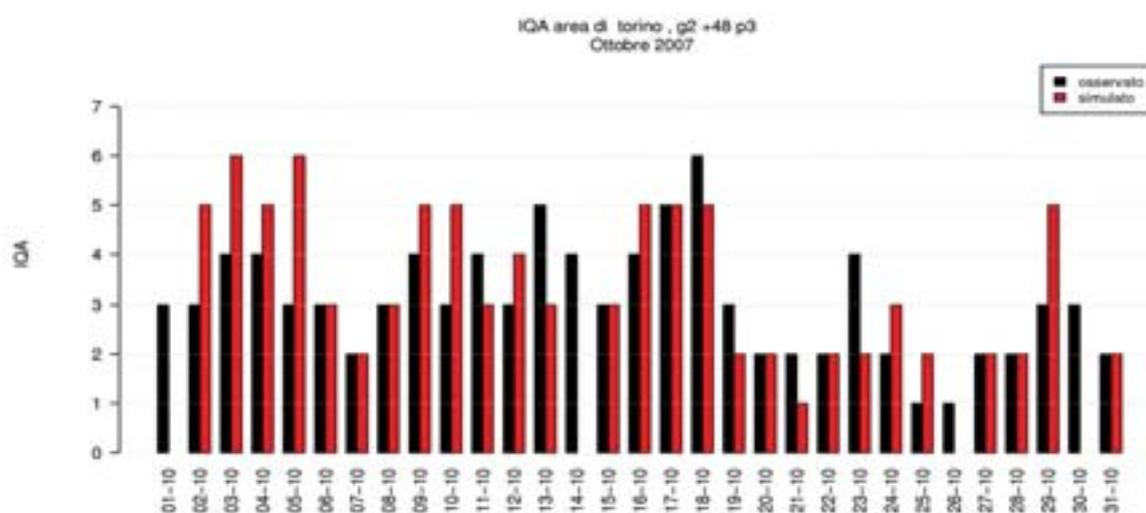


FIGURA 126: Andamento giornaliero dell'IQA nel mese di Ottobre.

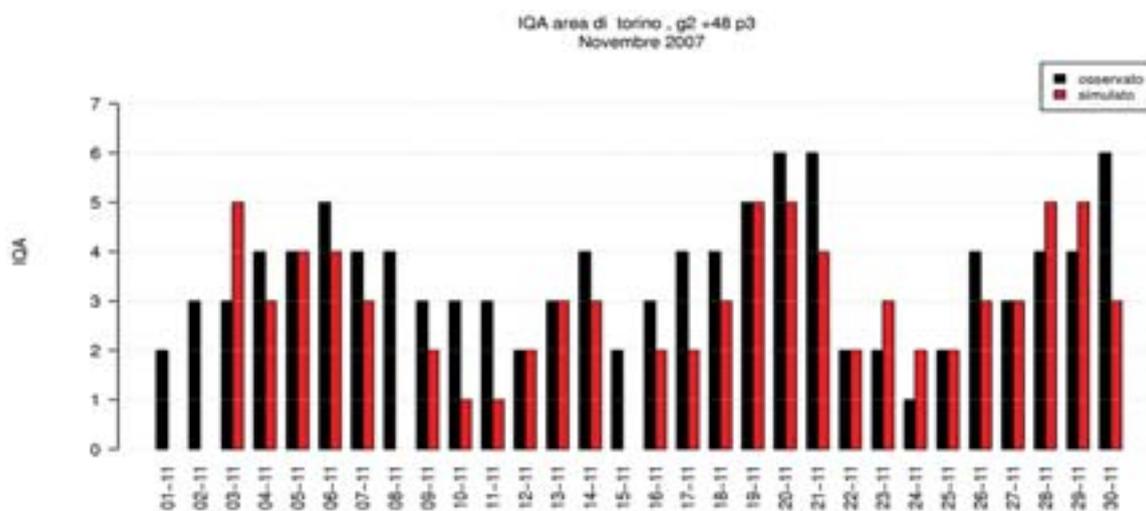


FIGURA 127: Andamento giornaliero dell'IQA nel mese di Novembre.

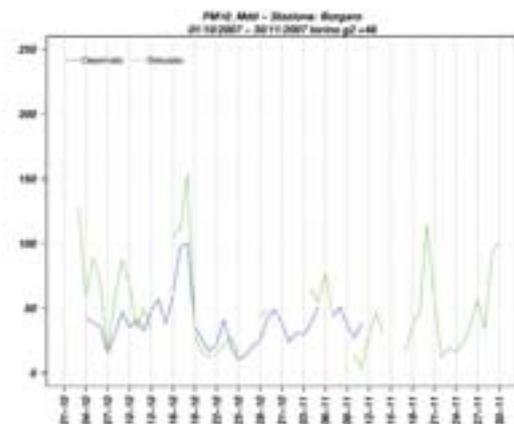


FIGURA 128: Media giornaliera della concentrazione di PM10 beta nella stazione di Borgaro per i mesi di ottobre e novembre 2007.

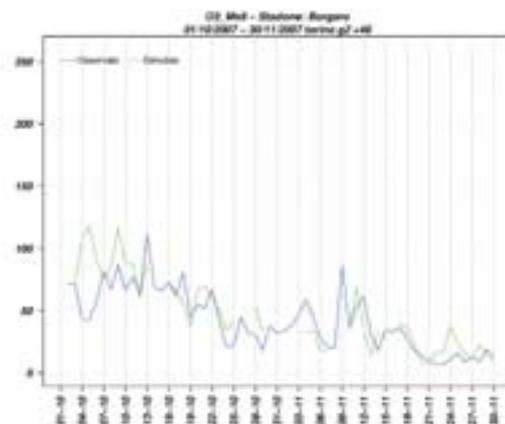


FIGURA 129: Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore della concentrazione di O₃ nella stazione di Borgaro per i mesi di ottobre e novembre 2007.

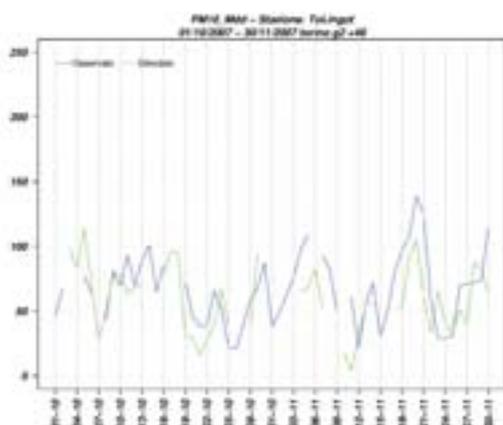


FIGURA 130: Media giornaliera della concentrazione di PM10 beta nella stazione di Torino Lingotto per i mesi di ottobre e novembre 2007.

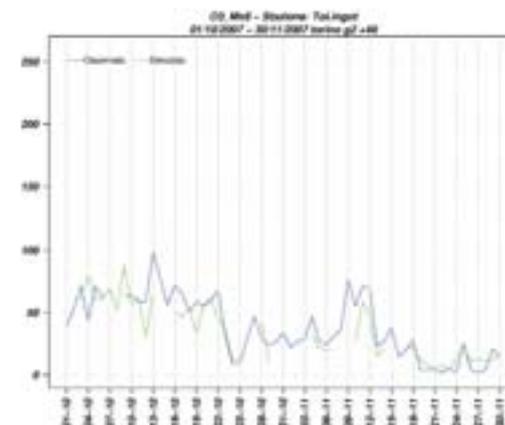


FIGURA 131: Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore della concentrazione di O₃ nella stazione di Torino Lingotto per i mesi di ottobre e novembre 2007.

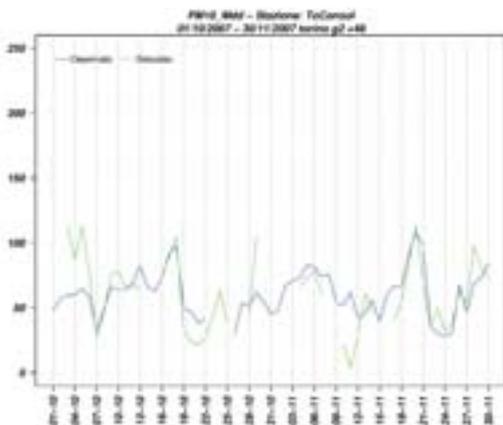


FIGURA 132: Media giornaliera della concentrazione di PM10 teom (media giornaliera) nella stazione di Torino via della Consolata per i mesi di ottobre e novembre 2007.

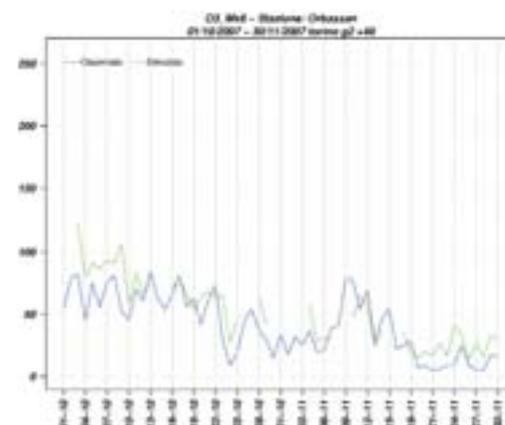


FIGURA 133: Massimo giornaliero della media mobile su 8 ore della concentrazione di O₃ nella stazione di Orbassano per i mesi di ottobre e novembre 2007.



FIGURA 134: Massimo giornaliero della concentrazione di NO₂ nella stazione di Borgaro per i mesi di ottobre e novembre 2007.

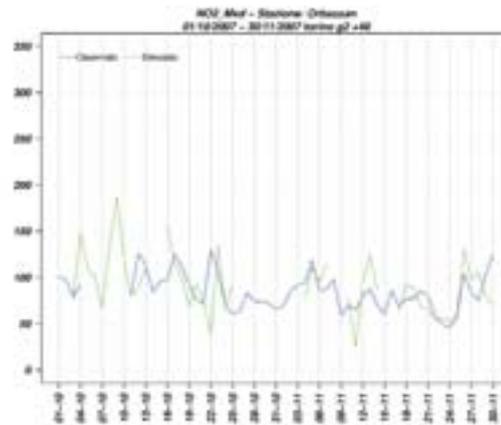


FIGURA 135: Massimo giornaliero della concentrazione di NO₂ nella stazione di Orbassano per i mesi di ottobre e novembre 2007.



FIGURA 136: Massimo giornaliero della concentrazione di NO₂ nella stazione di Torino piazza Rivoli per i mesi di ottobre e novembre 2007.

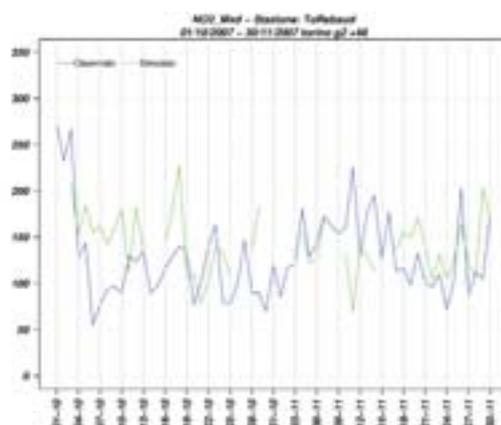


FIGURA 137: Massimo giornaliero della concentrazione di NO₂ nella stazione di Torino piazza Rebaudengo per i mesi di ottobre e novembre 2007.

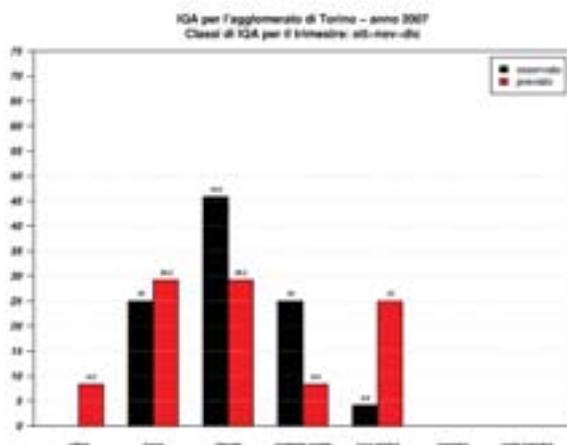


FIGURA 138: Istogramma delle frequenze delle classi di IQA per il quarto trimestre dell'anno 2007 ottenuta escludendo i giorni nei quali mancano una o più osservazioni di PM10.

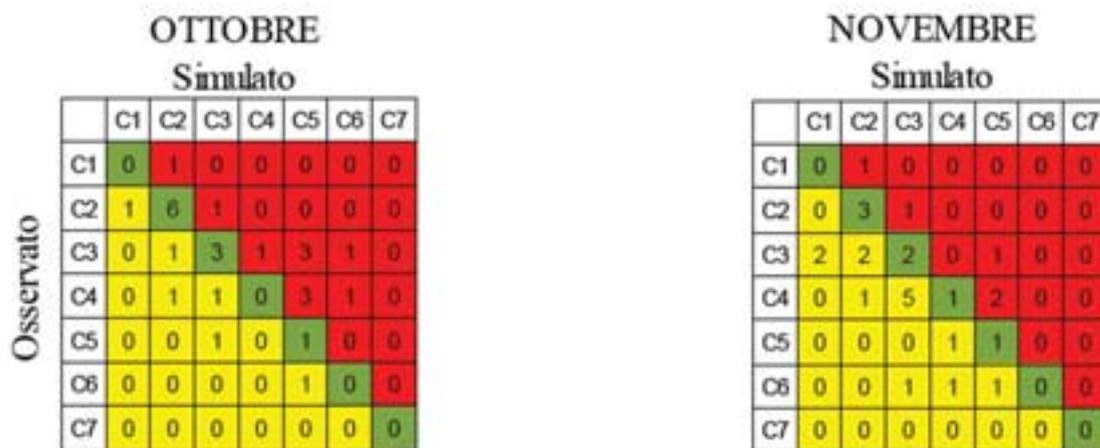


FIGURA 139: Tabelle di contingenza per le classi di IQA nei mesi di ottobre e novembre riferite alle serie delle FIGURE 126 e 127.

Considerazioni complessive sull'anno 2007 e riassunto dei risultati della sperimentazione condotta durante il 2006

L'istogramma relativo alla distribuzione annuale (FIGURA 140) mostra una chiara sottostima dell'IQA osservato da parte di quello simulato: ciò vale in particolare per la classe *moderata cautelata* che presenta una sottostima prossima al 50% dell'osservato; comportamento opposto per la classe *buona* che viene eccessivamente popolata dal simulato. Complessivamente la distribuzione dell'IQA previsto risulta fortemente caratterizzata, rispetto a quella osservata, dallo spostamento verso classi più basse: la sottostima del biossido di azoto e del particolato riscontrata nell'analisi delle concentrazioni simulate dalla catena prognostica si riflette sulla sottostima dell'IQA, sebbene, nell'algoritmo di calcolo, le aree produttive e quelle residenziali pesino maggiormente delle aree rurali.

La tabella di contingenza per l'anno 2007 (FIGURA 142) mostra che gli eventi simulati in determinate classi vengono ripartiti dall'osservato in più di una classe superiore. Gli eventi simulati nella classe uno vengono osservati per la maggior parte nella classe due e in misura minore nella classe tre; gli eventi simulati nella classe due vengono osservati, oltre che nella classe due, nelle classi tre e quattro; analoghe argomentazioni valgono per gli eventi simulati nella classe tre. Gli eventi simulati in classe quattro e cinque, invece, vengono osservati per metà nelle medesime classi e per metà equamente distribuiti nelle due classi adiacenti (cioè C3 e C5, C4 e C6).

La distribuzione ottenuta escludendo i giorni nei quali manca anche solo una delle tre osservazioni relative alla concentrazione media giornaliera di PM10 (FIGURA 141) mostra un buon miglioramento rispetto alla distribuzione precedentemente analizzata. Diminuisce infatti la sovrastima della classe *buona*, sebbene aumenti quella della classe *ottima*; diminuisce, non in modo sensibile però, la sottostima della classe *moderata cautelata*. Il miglioramento risulta particolarmente apprezzabile per l'accordo tra le popolazioni osservate e simulate nelle classi elevate: ora la classe *poco salubre* risulta leggermente sovrastimata, la classe *insalubre* viene sottostimata in misura minore, mentre la popolazione della classe *molto insalubre* risulta perfettamente prevista. La relativa tabella di contingenza (FIGURA 143) conferma quanto appena detto: la riduzione della sovrastima della classe buona (C2) deriva da una minor dispersione degli eventi nelle classi superiori, mentre il miglioramento evidente nelle classi elevate è da imputare al fatto che la rimozione dei giorni con mancanza di una delle osservazioni di PM10 incide particolarmente sugli alti valori di IQA del mese di dicembre, caratterizzato dalla totale assenza di dati provenienti dalla stazione di Borgaro (tra le tre quella che registra concentrazioni generalmente inferiori).

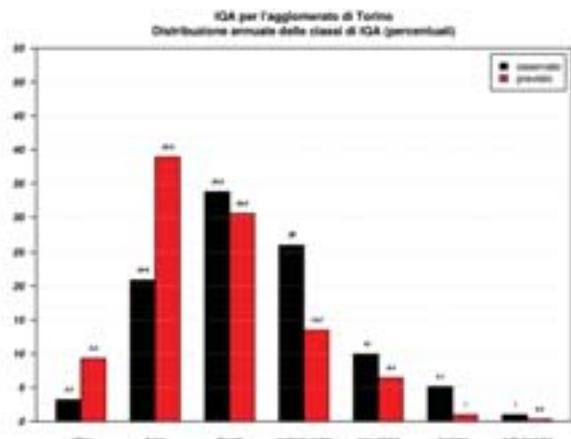


FIGURA 140: Istogramma delle frequenze delle classi di IQA per l'anno 2007.

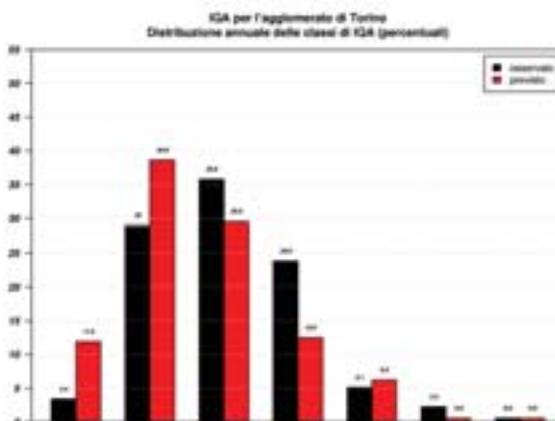


FIGURA 141: Istogramma delle frequenze delle classi di IQA per l'anno 2007 ottenuta escludendo i giorni nei quali mancano una o più osservazioni di PM₁₀.

Anno 2007
Simulato

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|
| Osservato | 3 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| C2 | 17 | 30 | 8 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| C3 | 5 | 44 | 40 | 8 | 4 | 1 | 0 |
| C4 | 0 | 18 | 31 | 19 | 8 | 2 | 0 |
| C5 | 0 | 5 | 9 | 8 | 4 | 0 | 0 |
| C6 | 0 | 2 | 4 | 2 | 4 | 0 | 1 |
| C7 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 |

FIGURA 142: Tabella di contingenza per le classi di IQA per l'anno 2007 e riferita alla distribuzione di FIGURA 140

Anno 2007
Simulato

| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|
| Osservato | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C2 | 15 | 30 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| C3 | 3 | 25 | 27 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| C4 | 0 | 9 | 16 | 12 | 3 | 1 | 0 |
| C5 | 0 | 1 | 3 | 3 | 3 | 0 | 0 |
| C6 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| C7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

FIGURA 143: Tabella di contingenza per le classi di IQA per l'anno 2007 e riferita alla distribuzione di FIGURA 141 (ottenuta escludendo i giorni nei quali mancano una o più osservazioni di PM₁₀).

Le verifiche appena illustrate sono state effettuate precedentemente anche per l'anno 2006, sebbene la catena modellistica sia diventata operativa a partire dal mese di luglio. I risultati relativi al 2006 non sono riportati con un dettaglio analogo a quello precedentemente illustrato per il 2007 a causa della limitatezza del campione disponibile, si ritiene comunque utile riassumerne i risultati complessivi in modo da fornire un'indicazione relativa agli effetti sullo schema di calcolo valutato della variabilità interannua dei fenomeni meteorologici e dispersivi.

Confrontando la distribuzione dell'IQA osservato nel 2006 (FIGURA 144) e quella del 2007 (FIGURA 141) si osserva una maggiore uniformità della distribuzione: come per il 2007, la classe più popolata risulta essere quella *discreta*, seguita dalle classi *buona* e *moderata cautela*; si rileva nell'anno 2007 una minore occorrenza rispetto al 2006 delle classi *poco salubre* e *insalubre* sebbene, come già detto, manchino nell'anno 2006 i mesi di gennaio e febbraio che presentano generalmente concentrazioni elevate di particolato e biossido di azoto, che causano condizioni di qualità dell'aria potenzialmente critiche.

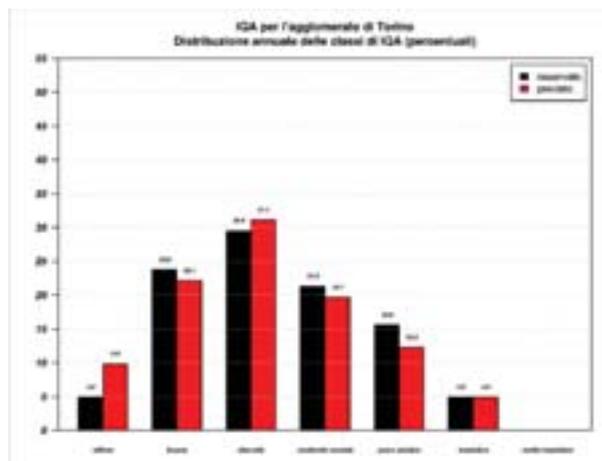


FIGURA 144: Istogramma delle frequenze delle classi di IQA per l'anno 2006.

Per quanto riguarda le distribuzioni previste, si riscontrano maggiori differenze: mentre nel 2006 si riscontra un generale buon accordo con la distribuzione osservata, nel 2007 si osserva che la classe *buona* presenta la popolazione maggiore che determina di conseguenza una forma della distribuzione differente sia da quella dell'osservato sia, più in generale dalle distribuzioni osservate e simulate per l'anno precedente.

Le differenze messe in luce sono confermate dal confronto relativo alle distribuzioni del terzo e quarto trimestre 2006 (FIGURE 145 e 146) e 2007 (FIGURE 124 e 138). In particolare, durante il terzo trimestre 2006 l'IQA previsto tende a sovrastimare le classi *ottima* e *moderata cautelata* a scapito delle classi più centrali (*ottima* e *discreta*), mentre nel quarto trimestre si osserva una moderata sovrastima della classe discreta a scapito delle classi di qualità inferiore. Quest'ultimo comportamento, più simile a quanto osservato per il 2007, ha comunque un effetto limitato e non compromette la buona riproduzione della distribuzione stagionale dei valori di IQA.

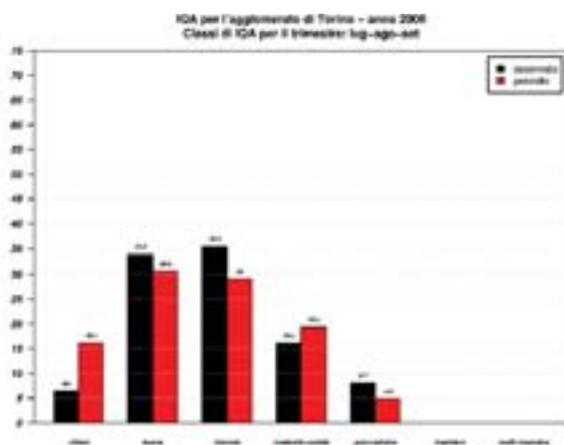


FIGURA 145: Istogramma delle frequenze delle classi di IQA per il terzo trimestre dell'anno 2006.

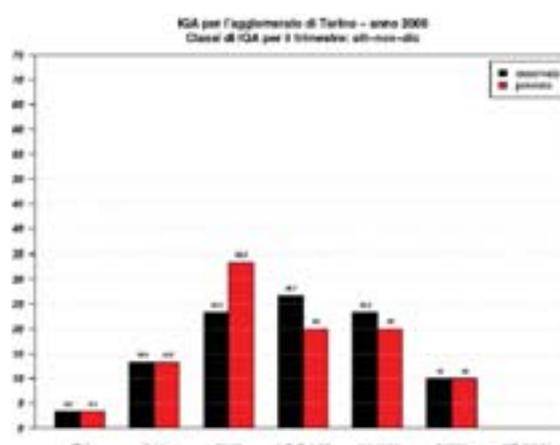


FIGURA 146: Istogramma delle frequenze delle classi di IQA per il quarto trimestre dell'anno 2006.

Sebbene risulti difficile trarre delle conclusioni vista la non omogeneità dei campioni relativi agli anni 2006 e 2007, complessivamente si può affermare che le distribuzioni annuali simulate mostrano un accordo accettabile con quelle osservate. Un buon accordo è riscontrabile per il 2006 sia per la distribuzione annuale che per quelle stagionali. Le distribuzioni trimestrali per l'anno 2007 mostrano invece un accordo non sempre soddisfacente. Il periodo di maggior criticità è costituito dalla stagione estiva (terzo trimestre 2007), quando si registrano numerosi eventi simulati nella classe buona che invece negli osservati risultano distribuiti nelle classi discreta e moderata cautelata: questo succede per la sottostima del massimo giornaliero della media mobile su 8 ore dell'ozono riscontrabile nelle stazioni di Borgaro, Torino Lingotto e Orbassano. Tale comportamento è evidente in particolare nel mese di luglio.

I differenti risultati ottenuti dal sistema previsionale durante gli anni 2006 e 2007 sembrano mettere in luce una miglior prestazione del sistema di previsione in condizioni caratterizzate da forzanti meteorologiche di maggior intensità, che causano condizioni dispersive decisamente favorevoli (condizioni perturbate o di vento intenso) o sfavorevoli (alte pressioni bloccate, inversioni termiche, stagnazioni o onde di calore) presenti con maggior frequenza nel 2006 (per i mesi considerati) rispetto al 2007, come si evince dalla distribuzione dei valori di IQA calcolato a partire dalle misure per i due anni citati, che risulta più popolata nelle classi elevate e basse rispetto al 2007.

CONCLUSIONI

Sulla base dei risultati presentati nei paragrafi precedenti si può affermare che l'algoritmo proposto per il calcolo dell'IQA da dati simulati fornisce un valido indicatore, la cui distribuzione annuale è in accordo accettabile con la distribuzione dell'IQA da dati osservati. Scendendo di dettaglio, si nota che, per l'anno 2007, le distribuzioni trimestrali mostrano andamenti più discordanti, in particolare nel periodo estivo: nel terzo trimestre si registrano numerosi eventi simulati nella classe *buona* che invece negli osservati risultano distribuiti nelle classi *discreta* e *moderata cautelata*. La causa più probabile è la sottostima del massimo giornaliero della media mobile su 8 ore dell'ozono nelle stazioni di Borgaro, Torino Lingotto e Orbassano, un comportamento evidente in particolare nel mese di luglio.

Al fine di migliorare la stima delle concentrazioni simulate è attualmente in fase di sperimentazione una nuova configurazione della catena prognostica che differisce dalla precedente versione per l'aggiunta di un dominio intermedio tra quello del modello CHIMERE e il dominio regionale piemontese. Questo dominio esteso permette di ridurre gli effetti delle condizioni iniziali e al contorno, ma pure di simulare in modo più particolareggiato le situazioni di trasporto di inquinanti su scale più grandi del dominio regionale, a tutto vantaggio dell'accuratezza della previsione a tutte le risoluzioni ed in particolare degli episodi di smog fotochimico e di accumulo degli inquinanti in pianura padana. Oltre a ciò si deve considerare la natura di una stima di tipo modellistico che permette un'analisi della distribuzione spaziale delle concentrazioni, e dello stato, di qualità dell'aria, nonché della sua variazione temporale e del trend prevedibile per i giorni a venire, ma il cui risultato è condizionato dall'attendibilità delle previsioni meteorologiche, dalla qualità dell'inventario delle emissioni e dalla capacità del modello di dispersione di descrivere in modo appropriato la chimica dell'atmosfera. Il continuo aggiornamento, lo sviluppo e la verifica di questi strumenti consentono di migliorare gradualmente le capacità predittive della catena prognostica.

Per quanto riguarda in senso stretto il calcolo dell'IQA da dati simulati, si stanno concentrando gli sforzi nel miglioramento della descrizione della copertura superficiale, per poter rappresentare in maniera più realistica il tessuto urbano di Torino nella media pesata utilizzata nell'algoritmo di calcolo dell'IQA.

Il testo e le elaborazioni del presente capitolo sono a cura dei Dott. Giuseppe Brusasca,

Sandro Finardi, Matteo Giorcelli (Arianet S.r.l.).

Si ringrazia per la collaborazione di ARPA Piemonte, Servizio Meteorologico ed Inquinamento atmosferico.

Finito di stampare nel mese di settembre 2008
presso AGIT Subalpina - Beinasco (TO)



Via Maria Vittoria, 12 – 10123 Torino