

Rapporto  
Qualità dell'Aria,  
Energia  
e Agenti Fisici





# QUALITÀ DELL'ARIA

Il tema del miglioramento della qualità dell'aria risulta percepito tra le priorità assolute nell'ambito delle problematiche ambientali della città.

Il crescente interesse che mostra questo tema è sintomo di una sempre maggiore consapevolezza circa i rischi sanitari connessi all'inquinamento atmosferico, ma costituisce anche un segnale che indica la necessità di adottare urgenti correzioni all'interno di un sistema come quello milanese, chiamato a dare risposta alle esigenze diversificate di una delle realtà urbane e periurbane tra le più avanzate e strategiche nel quadro europeo. Contrariamente a quella che risulta essere la percezione comune, la situazione della qualità dell'aria a Milano è progressivamente migliorata rispetto ad alcuni anni fa, almeno per quanto concerne i principali inquinanti. Osservando l'andamento delle concentrazioni in atmosfera è infatti possibile verificare, a partire dai primi anni Novanta, una generalizzata diminuzione degli

inquinanti tradizionali: monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), Polveri Totali Sospese (PTS) e biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>).

Risultano, invece, ancora elevate le concentrazioni di particolato fine (PM10 e PM2.5) e di ozono (O<sub>3</sub>). Il primo presenta elevate concentrazioni nel periodo invernale, in cui alle emissioni da traffico si sommano quelle derivanti dalle fonti fisse (in particolare da impianti di riscaldamento), mentre l'ozono, associato ad altre sostanze in un mix definito 'smog fotochimico', supera i livelli di legge per lunghi periodi nella stagione estiva. Nel corso dell'anno 2006 si rileva, inoltre, una tendenza all'aumento del tutto nuova per le concentrazioni medie annuali di NO<sub>x</sub> e NO<sub>2</sub> (biossido di azoto), frutto della combinazione di condizioni particolarmente sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti e, molto probabilmente, di cambiamenti nel rapporto NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> nelle emissioni da traffico veicolare.

## I riferimenti per la valutazione della qualità dell'aria

Al fine di dare una descrizione della qualità dell'aria nel Comune di Milano in riferimento alla normativa vigente e ai nuovi limiti stabiliti per il futuro dalle Direttive Europee, recepite anche in Italia, sono stati selezionati, quali indicatori, i parametri statistici delle concentrazioni in atmosfera aggiornate all'anno 2006. Tale schema di indicatori, adottato fin dalla prima edizione della Relazione sullo Stato dell'Ambiente (RSA) del Comune di Milano (AMA, 2003b), è stato scelto con il criterio di poter utilizzare come termine di riferimento il limite normativo "vigente" al momento della redazione del rapporto stesso e, nel contempo,

porsi a confronto con gli obiettivi di qualità dell'aria, sempre più restrittivi, che l'Europa sta adottando. In Italia, attraverso il Decreto Ministeriale n. 60 del 2 aprile 2002, sono state recepite due Direttive Europee (Direttiva 1999/30/CE e Direttiva 2000/69/CE) concernenti i Valori Limite di qualità dell'aria per il biossido di zolfo, le particelle, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, il monossido di carbonio, il piombo e il benzene (Tabella 1.1). I Valori Limite devono essere raggiunti entro determinate scadenze, mentre negli anni precedenti a queste è necessario rispettare i Valori Limite aumentati, per taluni parametri,

di un margine di tolleranza definito e via via decrescente. Nell'analisi dei dati riportata in questo rapporto è stato utilizzato il termine "Limite Legislativo" per indicare il "Valore Limite" aumentato del "margine di tolleranza" (MDT) vigente in ciascun anno considerato, ove previsto dal DM n. 60 del 2 aprile 2002. Gli unici inquinanti per cui risulta tuttora vigente un margine di tolleranza sono il biossido di azoto e il benzene, per i quali il rispettivo Valore Limite entrerà in vigore dal 1° gennaio 2010. Per ciascun inquinante si è voluta dare l'illustrazione della variazione nel tempo delle statistiche ad esso relative attraverso la rappresentazione delle serie storiche disponibili. Per ciascun inquinante è stato effettuato il confronto con il Valore Limite, anche qualora non sia ancora entrato in vigore, e il confronto con la Soglia di Allarme, ove prevista (Tabella 1.2), mantenendo una continuità con lo schema predisposto fin dalla prima edizione della Relazione sullo Stato dell'Ambiente (AMA, 2003b), costituendone questo rapporto un aggiornamento. Per gli anni precedenti all'anno di entrata in vigore del DM n. 60 del 2 aprile 2002, nel calcolo dei superamenti del Limite Legislativo si è adottato come riferimento il valore assunto dalla statistica in corrispondenza dell'anno di entrata in vigore. A partire dal Rapporto sulla qualità dell'aria del Comune di Milano (AMA, 2005) è stata inserita una variazione per quanto riguarda l'ozono, in quanto vi è stato un importante cambiamento nella normativa italiana vigente, che ha introdotto i nuovi limiti di riferimento europei. Il D. Lgs. n. 183 del 21 maggio 2004 ha, infatti, recepito la Direttiva 2002/3/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio

del 12 febbraio 2002 "relativa all'ozono nell'aria". Tale Direttiva stabilisce i Valori Bersaglio, gli Obiettivi a lungo termine, la Soglia di Informazione e la Soglia di Allarme al fine di prevenire o ridurre gli effetti nocivi sulla salute umana e sull'ambiente (Tabella 1.3, Tabella 1.4 e Tabella 1.5). A tali nuovi standard si è scelto di riferirsi nel presente rapporto per la descrizione di questo inquinante. È tuttora in corso di approvazione la proposta di Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio n. 447 del 21 settembre 2005 che intende garantire un livello elevato di protezione della salute umana in tema di qualità dell'aria. La proposta "relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" è finalizzata a rivedere profondamente cinque diversi strumenti in materia di qualità dell'aria ambiente e a riunirli in un'unica direttiva per semplificare e razionalizzare le disposizioni in vigore, soprattutto per quanto riguarda il monitoraggio e la comunicazione delle informazioni. La proposta lascia invariati i Valori Limite per la qualità dell'aria oggi esistenti e introduce un Valore Limite alla concentrazione media annuale per il PM2.5 pari a 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Tabella 1.6), che andrebbe rispettato a partire dal 2010. Accanto a tale Limite viene introdotto un obiettivo di riduzione dell'esposizione umana alle concentrazioni di PM2.5 ("*Average Exposure Indicator*" – AEI) pari al 20% tra gli anni 2010 e 2020, basato sui dati delle misure degli ultimi tre anni.

Tabella 1.1 **Valori Limite per le concentrazioni di inquinanti in atmosfera** – Fonte: DM n. 60 del 2 aprile 2002

Inquinante	Tipo di limite	Parametro statistico	Valore Limite	Data entro la quale il valore limite deve essere raggiunto (tolleranza = 0)
<b>SO<sub>2</sub></b>	Valore Limite per la protezione della salute umana	Max concentrazione media oraria	350 + toll. (µg/m <sup>3</sup> ) (max 24 volte/anno)	1° gennaio 2005
	Valore Limite per la protezione della salute umana	Concentrazione media di 24 ore	125 (µg/m <sup>3</sup> ) (max 3 volte/anno)	1° gennaio 2005
	Valore Limite per la protezione degli ecosistemi	Concentrazione media annua/inverno	20 (µg/m <sup>3</sup> )	19 luglio 2001
<b>PM10</b>	Valore Limite per la protezione della salute umana	Concentrazione media di 24 ore	50 + toll. (µg/m <sup>3</sup> ) (max 35 volte/anno)	1° gennaio 2005
	Valore Limite per la protezione della salute umana	Concentrazione media annua	40 + toll. (µg/m <sup>3</sup> )	1° gennaio 2005
<b>NO<sub>2</sub></b>	Valore Limite per la protezione della salute umana	Massima concentrazione media oraria	200 + toll. (µg/m <sup>3</sup> ) (max 18 volte/anno)	1° gennaio 2010
	Valore Limite per la protezione della salute umana	Concentrazione media annua	40 + toll. (µg/m <sup>3</sup> )	1° gennaio 2010
<b>NO<sub>x</sub></b>	Valore Limite per la protezione della vegetazione	Concentrazione media annua	30 (µg/m <sup>3</sup> )	19 luglio 2001
<b>CO</b>	Valore Limite per la protezione della salute umana	Massima concentrazione media su 8 ore	10 + toll. (mg/m <sup>3</sup> )	1° gennaio 2005
<b>BENZENE</b>	Valore Limite per la protezione della salute umana	Concentrazione media annua	5 + toll. (µg/m <sup>3</sup> )	1° gennaio 2010
<b>PIOMBO</b>	Valore Limite per la protezione della salute umana	Concentrazione media annua	0,5 + toll. (µg/m <sup>3</sup> )	1° gennaio 2005

 Tabella 1.2 **Soglie di Allarme per SO<sub>2</sub> e NO<sub>2</sub>** – Fonte: DM n. 60 del 2 aprile 2002

Inquinante	Livello di Allarme
<b>SO<sub>2</sub></b>	500 µg/m <sup>3</sup>
<b>NO<sub>2</sub></b>	400 µg/m <sup>3</sup>

Tabella 1.3 **Valori Bersaglio per le concentrazioni di ozono** – Fonte: D. Lgs. n. 183 del 21 maggio 2004

Tipo di limite	Parametro statistico	Valore Bersaglio per il 2010
Valore Bersaglio per la protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera	120 µg/m <sup>3</sup> da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su 3 anni
Valore Bersaglio per la protezione della salute umana	AOT <sub>40</sub> , calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	18.000 µg/m <sup>3</sup> x ora come media su 5 anni

Tabella 1.4 **Obiettivi a lungo termine per le concentrazioni di ozono** – Fonte: D. Lgs. n. 183 del 21 maggio 2004

Tipo di limite	Parametro statistico	Obiettivo a lungo termine
Valore Bersaglio per la protezione della salute umana	Media su 8 ore massima giornaliera nell'arco di un anno civile	120 µg/m <sup>3</sup>
Valore Bersaglio per la protezione della vegetazione	AOT <sub>40</sub> , calcolato sulla base dei valori di 1 ora da maggio a luglio	6.000 µg/m <sup>3</sup> x ora

Tabella 1.5 **Soglie di Informazione e di Allarme per l'ozono** – Fonte: D. Lgs. n. 183 del 21 maggio 2004

Tipo di limite	Parametro statistico	Soglia
Soglia di Informazione	Media di 1 ora	180 µg/m <sup>3</sup>
Soglia di Allarme	Media di 1 ora	240 µg/m <sup>3</sup> x ora

Tabella 1.6 **Valore Limite per il PM<sub>2.5</sub>** – Fonte: Proposta di Direttiva Europea n. 447 del 21 settembre 2005

Tipo di limite	Parametro statistico	Valore Limite	Data entro la quale il valore limite deve essere raggiunto (tolleranza = 0)
Valore Limite per la protezione della salute umana	Concentrazione media annua	25 + toll. (µg/m <sup>3</sup> )	1° gennaio 2010

## La situazione della qualità dell'aria a Milano

L'analisi dell'evoluzione temporale della qualità dell'aria a Milano in riferimento alle normative vigenti e future conduce alle osservazioni riportate nel seguito.

Le concentrazioni in atmosfera degli inquinanti tradizionali (CO, NO<sub>x</sub>, PTS e SO<sub>2</sub>) hanno registrato a Milano dai primi anni Novanta una notevole diminuzione, mentre risultano ancora elevate le concentrazioni di particolato fine e di ozono e si riscontra, nell'ultimo anno, un incremento delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>.

La riduzione delle concentrazioni di SO<sub>2</sub> è dovuta ai provvedimenti legislativi e alle ordinanze municipali che hanno imposto il cambiamento dei combustibili impiegati per le attività produttive e favorito l'uso del metano per il riscaldamento degli ambienti di vita e di lavoro. A partire dall'anno 1996 la concentrazione media annua di SO<sub>2</sub> è risultata al di sotto del Valore Limite per la protezione degli ecosistemi fissato in 20 µg/m<sup>3</sup> (DM n. 60 del 2 aprile 2002), in vigore dal 19 luglio 2001.

Sulla riduzione delle concentrazioni di PTS, oltre agli interventi sui combustibili, ha avuto un ruolo importante, nei primi anni del decennio, la dismissione di grossi impianti industriali.

La normativa ha recentemente spostato l'attenzione da questo inquinante alle frazioni sottili (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>1</sub>, ecc.), più importanti dal punto di vista degli effetti sanitari per l'uomo. Per il PM<sub>10</sub>, il cui monitoraggio sistematico è stato avviato nell'anno 1998, si osserva una certa stazionarietà nelle concentrazioni medie annuali misurate in atmosfera, con un leggero calo nell'anno 2004 ed un incremento negli ultimi due anni. I valori medi annui restano tuttora ben al di sopra del Valore Limite di 40 µg/m<sup>3</sup> (DM n. 60 del 2 aprile 2002) e anche il numero massimo di superamenti del Valore Limite di 50 µg/m<sup>3</sup> delle concentrazioni medie giornaliere (DM n. 60 del 2 aprile 2002) risulta superato per molti giorni all'anno, soprattutto nel periodo invernale.

Ciò ha avuto negli anni passati conseguenze anche sulla circolazione veicolare, in ottemperanza a provvedimenti di contingenza che sono andati ad integrare le misure preventive predisposte.

Le concentrazioni di monossido di carbonio e di ossidi di azoto sono progressivamente diminuite, essenzialmente per effetto del rinnovo del parco circolante con veicoli a minori emissioni, nel caso del CO, e anche in conseguenza degli interventi sulle fonti fisse, nel caso degli NO<sub>x</sub>. Il Limite Legislativo per la protezione della salute umana fissato dal DM n. 60 del 2 aprile 2002 per il CO, riferito alla concentrazione media sulle 8 ore, risulta rispettato in tutte le stazioni di misura a partire dal 1999.

Il numero dei superamenti del Limite Legislativo per la protezione della salute umana fissato dallo stesso DM per l'NO<sub>2</sub> e riferito alla concentrazione massima oraria risultava rispettato già a partire dall'anno 1995, ma nel corso dell'anno 2006 si è verificato un importante aumento che ha riportato i superamenti al di sopra del numero consentito. Nonostante le concentrazioni medie annuali di NO<sub>2</sub> abbiano subito una costante diminuzione a partire dal 1992, non risulta rispettato, a tutto il 2006, il relativo Limite Legislativo per la protezione della salute umana fissato dal DM n. 60 del 2 aprile 2002, con un eccezionale incremento delle concentrazioni (+12%) nel corso dell'anno 2006 rispetto all'anno precedente.

Per quanto concerne la protezione della vegetazione la concentrazione media annuale di NO<sub>x</sub>, in netto aumento nell'anno 2006 (+13%), risulta notevolmente superiore al Valore Limite di 30 µg/m<sup>3</sup> fissato dal DM n. 60 del 2 aprile 2002 e in vigore dal 19 luglio 2001.

L'aumento delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, rilevato nell'anno 2006, è imputabile sicuramente al verificarsi di sfavorevoli condizioni meteorologiche, frutto di una tendenza alla riduzione dell'instabilità meteorologica rilevata negli ultimi anni.

Ma nel caso di questo inquinante può avere avuto

un ruolo, sul fronte delle emissioni in atmosfera, la costante crescita nel parco circolante della percentuale di veicoli diesel, che emettono un maggior quantitativo di ossidi di azoto rispetto ai motori a benzina; inoltre, si ritiene che possano avere influito sulla variazione delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> in atmosfera cambiamenti nel rapporto NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> nelle emissioni allo scarico dei veicoli di nuova generazione. Ne costituisce una conferma il fatto che l'incremento delle concentrazioni nell'anno 2006 è più evidente nelle stazioni urbane rispetto a quelle extraurbane e nelle stazioni esposte a elevati flussi di traffico rispetto a quelle di fondo. Un cambiamento del rapporto NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> nelle concentrazioni in atmosfera negli anni più recenti è già stato registrato anche in altre città europee (EEA, 2007).

Le concentrazioni di O<sub>3</sub>, in netta crescita nei primi anni Novanta, danno luogo tuttora, nei mesi estivi, a numerosi superamenti dei limiti di legge vigenti. L'andamento degli episodi acuti appare tuttavia presentare negli anni più recenti un andamento in progressivo calo. L'evoluzione di questo inquinante secondario è legata sia alle emissioni di idrocarburi reattivi in atmosfera che alla progressiva riduzione delle emissioni di monossido di azoto, che interferisce con il ciclo di rimozione fotochimica dell'ozono. La progressiva riduzione del numero di giorni di superamento dei limiti normativi registrata a livello urbano per questo inquinante negli ultimi anni (fatta

eccezione per alcune annate caratterizzate da prolungati episodi anticiclonici) risulta quindi probabilmente imputabile alle variazioni nei rapporti NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> in atmosfera di cui si è detto sopra.

Le concentrazioni medie annuali di benzene presentano dall'anno 1999 (inizio delle rilevazioni sistematiche) una diminuzione consistente dovuta, oltre che al rinnovo del parco circolante con veicoli catalizzati, alla progressiva riduzione del contenuto di benzene nelle benzine commerciali. L'aumento riscontrato nell'anno 2006 è molto probabilmente attribuibile alle particolari condizioni meteorologiche verificatesi, legate a condizioni di maggiore stabilità atmosferica (si veda nel seguito).

Il confronto tra la qualità dell'aria rilevata a Milano e presso le altre grandi città europee risulta in generale sfavorevole per il capoluogo lombardo, con concentrazioni elevate di particolato fine, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> spesso comparabili o superiori ai valori rilevati presso città ove gli apporti emissivi risultano maggiori rispetto all'area urbana milanese (Vautard et al., 2007; Cuvelier et al., 2007; EEA, 2007). In questo fenomeno l'orografia del territorio e la meteorologia svolgono un ruolo decisivo determinando, non solo a Milano ma in tutta la Pianura Padana, condizioni estremamente favorevoli all'accumulo degli inquinanti. Tale situazione non risulta paragonabile a nessun altro contesto geografico e climatico in Europa.

## Inventario delle emissioni in atmosfera

Nell'ambito dei fattori di pressione antropici sulla qualità dell'aria, nel territorio del Comune di Milano spiccano le emissioni da traffico veicolare e le emissioni generate dagli impianti per il riscaldamento degli edifici. È pertanto su questi temi che devono necessariamente concentrarsi sia gli studi per una sempre migliore conoscenza delle problematiche sia le azioni finalizzate a un concreto miglioramento della qualità dell'aria. A tal proposito Agenzia Mobilità e Ambiente ha realizzato, per conto dell'Amministrazione, il primo Inventario delle emissioni in atmosfera del Comune di Milano riferito all'anno 2005, conducendo uno studio specifico sulle fonti

ritenute prioritarie a scala locale: il traffico veicolare; la combustione in impianti termici ad uso civile e in centrali per il teleriscaldamento; il trattamento e lo smaltimento rifiuti. I risultati di questo studio – che copre la maggior parte delle emissioni per quasi tutti gli inquinanti – costituiscono il primo passo verso la definizione di un inventario delle emissioni per l'area urbana di Milano completamente realizzato con approccio di tipo *Bottom-up* (si veda glossario) e rappresentano una importante fonte di validazione degli inventari nazionali e regionali che utilizzano l'approccio di tipo *Top-Down* nella disaggregazione spaziale per ottenere le emissioni dei grandi centri urbani.

## Condizioni meteorologiche

Un altro fattore di pressione per la qualità dell'aria della città di Milano, che si affianca alle emissioni locali, è costituito dalle particolari condizioni climatiche: la stagione invernale – il periodo più critico anche a causa di una maggiore attività delle fonti emissive – è caratterizzata da ristagno di nebbie e persistenza di inversioni termiche che impediscono la dispersione degli inquinanti anche per lunghi periodi, mentre nella stagione estiva la radiazione solare intensa e la forte umidità danno luogo a giornate particolarmente afose, caratterizzate da elevata attività fotochimica. Da una valutazione comparativa degli andamenti delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera è possibile osservare una certa correlazione tra un evidente aumento (o brusca diminuzione) della percentuale di ore di stabilità registrata

in un anno e un incremento (o riduzione) delle concentrazioni misurate per taluni inquinanti. In particolare nel 2006 l'aumento delle concentrazioni medie di PTS, PM10, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e benzene (inquinanti per cui è corrisposta addirittura un'inversione dei trend che da anni risultavano in decrescita o stazionari) è da contestualizzarsi con un evidente aumento della stabilità atmosferica. In questo anno si è estremizzata una tendenza, individuata attraverso l'analisi dei principali parametri meteorologici, alla riduzione dell'instabilità meteorologica più evidente negli ultimi anni. A ciò consegue una riduzione della turbolenza meccanica indotta dagli spostamenti delle masse d'aria e quindi una minore possibilità di dispersione degli inquinanti.

## Gli strumenti di azione del Comune di Milano

Per fronteggiare le problematiche connesse all'inquinamento atmosferico, il Comune di Milano è impegnato in diverse azioni che vanno dal monitoraggio della qualità dell'aria con strumenti sempre più sofisticati, alla comunicazione dei dati, attuata attraverso la predisposizione di rapporti annuali e giornalieri diffusi anche mediante i canali web, fino alle azioni di controllo delle fonti emissive. Queste ultime sono costituite dai provvedimenti e dalle campagne di controllo degli impianti termici ad uso civile, dall'attività di controllo delle emissioni effettuata presso le aziende produttive, dall'attività di controllo dei gas di scarico dei veicoli in circolazione (Bollino Blu) e dai provvedimenti di controllo e regolamentazione della circolazione veicolare. A queste azioni, che agiscono essenzialmente sul breve periodo, si aggiunge la messa a punto di strumenti di pianificazione e programmazione che contribuiscono al miglioramento della qualità dell'aria sul medio-lungo termine, razionalizzando i principali fattori di pressione antropici (trasporto pubblico e privato, settore energetico). Nel settore dei trasporti, i provvedimenti che hanno come obiettivo la riduzione delle emissioni inquinanti in atmosfera sono volti principalmente a disincentivare l'uso del veicolo privato e a trasferire la domanda verso modi di trasporto a basso impatto ambientale. In particolare, si segnalano il provvedimento, detto Ecopass, che introduce una tariffa per il transito nella Cerchia dei Bastioni dei veicoli più inquinanti e l'estensione della regolamentazione della sosta. Si ricordano inoltre gli interventi di potenziamento del trasporto pubblico e le misure che promuovono i sistemi di mobilità alternativa (a.e. il *car-sharing* e la mobilità ciclistica). Nel settore energetico, gli interventi previsti (descritti nel presente rapporto in un capitolo specifico) sono finalizzati al miglioramento dell'efficienza energetica, principalmente nel settore dell'edilizia pubblica e privata,

alla diversificazione delle fonti energetiche e alla riduzione delle emissioni di gas serra, concorrendo complessivamente anche al miglioramento della qualità dell'aria.

Nella definizione di piani e programmi, al fine di stabilire "a priori" l'efficacia degli interventi, è fondamentale la disponibilità di strumenti di supporto alle decisioni. A tale scopo il Comune di Milano promuove progetti di ricerca specifici sulle tematiche più attuali avvalendosi della collaborazione di Agenzia Mobilità e Ambiente, della Regione Lombardia, dell'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) e di altri istituti di ricerca. In particolare, attraverso Agenzia Mobilità e Ambiente, il Comune di Milano promuove da tempo attività di ricerca finalizzate allo sviluppo di una modellistica ambientale in grado di assolvere funzioni sia di previsione locale dei fenomeni di inquinamento atmosferico, sia di supporto alla valutazione ed alla pianificazione ambientale. Alcuni degli strumenti modellistici messi a punto da Agenzia vengono già utilizzati dal Comune di Milano per supportare le attività decisionali e di pianificazione con riferimento agli aspetti ambientali relativi alla qualità dell'aria, in particolare i modelli statistici per la previsione a breve periodo e in tempo reale dei livelli di inquinamento atmosferico, i moduli per la stima delle emissioni atmosferiche da traffico veicolare e dalle altre fonti, i modelli matematici di chimica e trasporto ed i modelli di dispersione a scala urbana.

## Biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)

*Gli impatti del biossido di zolfo (si veda glossario) sulla salute umana e sugli ecosistemi vengono analizzati attraverso i seguenti parametri:*

- concentrazione media annuale (1989-2006);
- concentrazione media invernale (1988/89-2005/06);

La concentrazione media annuale di SO<sub>2</sub> (Figura 1.1) nel Comune di Milano ha subito dal 1989 al 2006 una diminuzione pari al 90%; a partire dall'anno 1996 tale parametro è risultato al di sotto del Valore Limite per la protezione degli ecosistemi fissato in 20 µg/m<sup>3</sup> (DM n. 60 del 2 aprile 2002), in vigore dal 19 luglio 2001.

Andamento del tutto simile presenta la concentrazione media invernale (Figura 1.2) che nel periodo 1989-2006 registra una riduzione del 93%; fatta eccezione per la stagione 1991/92, tale concentrazione mostra un sensibile calo fino all'inverno 1996/97, un andamento stazionario fino all'inverno 1998/99, e dall'inverno 2003/04 scende al di sotto del Valore Limite per la protezione degli ecosistemi fissato in 20 µg/m<sup>3</sup> (DM n. 60 del 2 aprile 2002), in vigore dal 19 luglio 2001.

Il Valore Limite per la protezione della salute umana della concentrazione media giornaliera, fissato in 125 µg/m<sup>3</sup>, da non superare più di 3 volte per anno civile

- numero di superamenti del Valore Limite della concentrazione media giornaliera (1989-2006);
- numero di superamenti del Limite Legislativo della concentrazione media oraria (1989-2006);
- numero di superamenti della Soglia di Allarme (1997-2006).

(DM n. 60 del 2 aprile 2002), e in vigore dal 1° gennaio 2005, non è stato più superato in alcuna stazione a partire dall'anno 1996, ma già dal 1995 veniva rispettato a livello urbano (Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati orari ARPA Lombardia). Il Limite Legislativo della concentrazione media oraria, fissato dal DM n. 60 del 2 aprile 2002 per la protezione della salute umana, risulta rispettato a partire dall'anno 1990. Tale limite, da non superare più di 24 volte per anno civile, risulta pari a 500 µg/m<sup>3</sup> negli anni 1999-2000 e viene ridotto gradualmente fino a raggiungere i 350 µg/m<sup>3</sup> nel 2005 (Valore Limite).

A Milano nel periodo dal 1997 al 2006 si è registrata la totale assenza di superamenti della Soglia di Allarme fissata dal DM n. 60 del 2 aprile 2002 in 500 µg/m<sup>3</sup> misurati su tre ore consecutive (Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati orari ARPA Lombardia).

### QUADRO DI RIFERIMENTO

Direttiva 1999/30/CE del 22 aprile 1999.  
Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 60 del 2 aprile 2002.  
Deliberazione della Giunta Regionale della Lombardia n. 5291 del 2 agosto 2007 e precedenti.

Figura 1.1 **Concentrazione media annuale di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)** – Fonte: ARPA Lombardia

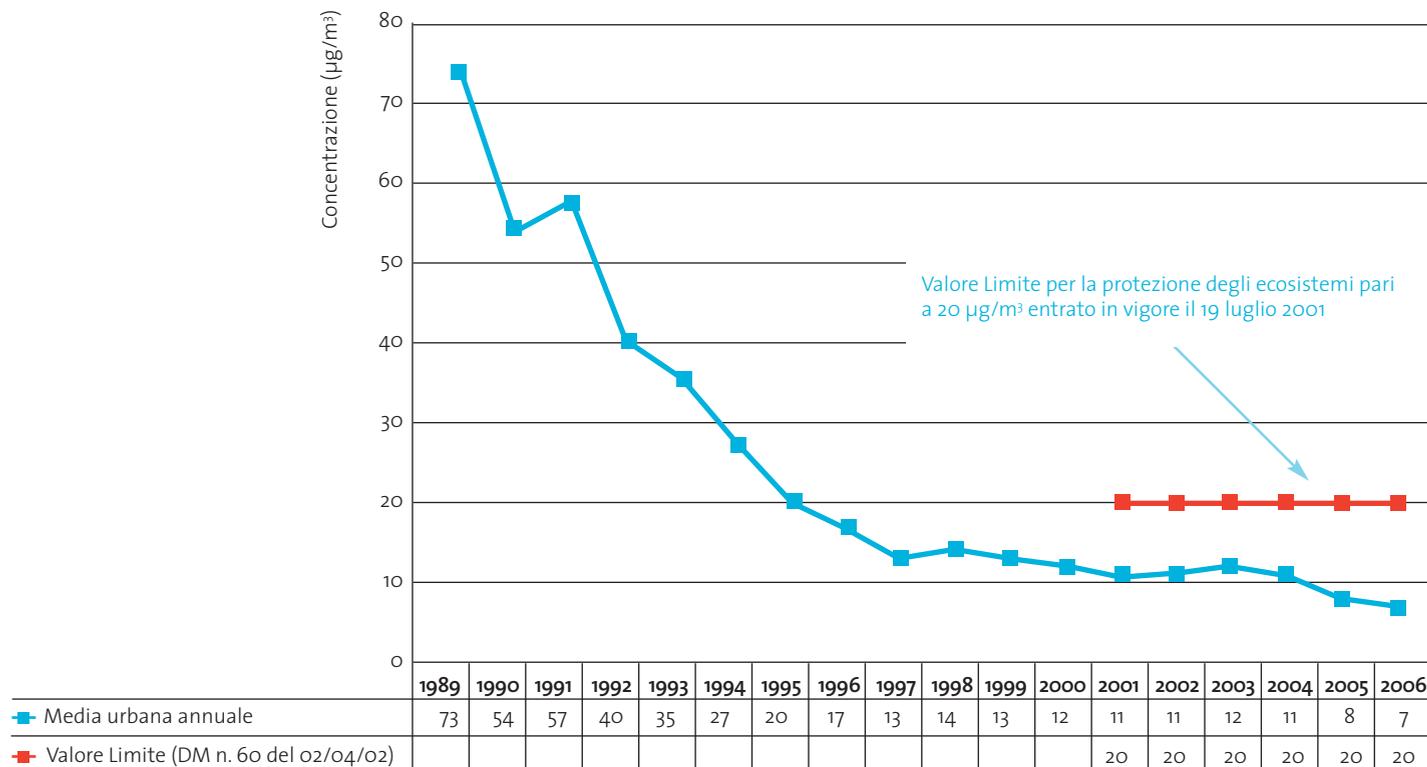
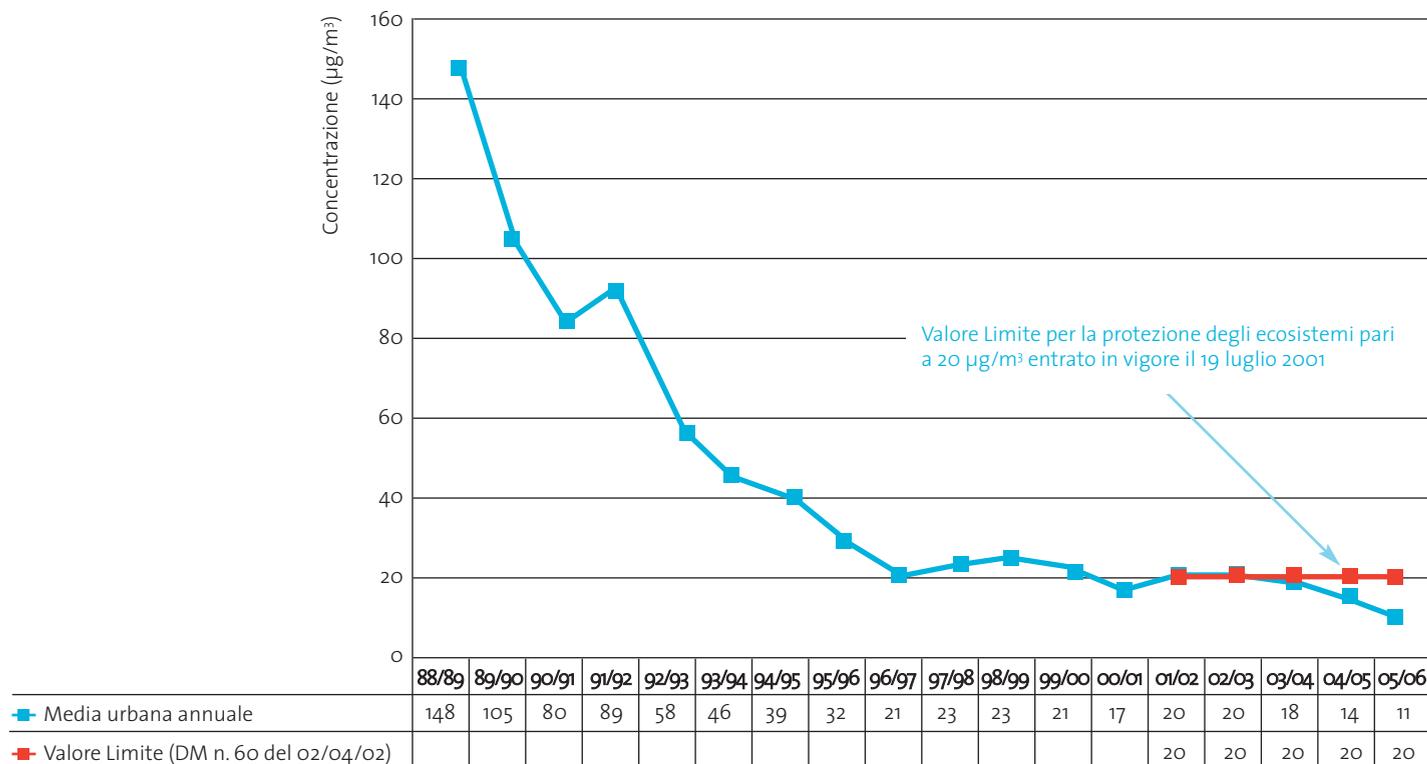


Figura 1.2 **Concentrazione media invernale di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>)** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)



## Particolato (PTS, PM10 e PM2.5)

*Gli impatti del particolato atmosferico (si veda glossario) sulla salute umana e sugli ecosistemi vengono analizzati attraverso i seguenti parametri:*

- concentrazione media annuale di PTS (1989-2006);
- concentrazione media annuale di PM10 (1998-2006);
- concentrazione media annuale di PM2.5 (2006);

La concentrazione media annuale di PTS (Figura 1.3) ha registrato un progressivo calo nel periodo 1993-1996, mentre negli anni successivi i valori medi annuali sono oscillati nell'intervallo 50-60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nel periodo 1989-2006 complessivamente le concentrazioni di PTS si sono ridotte del 49%.

L'andamento della concentrazione media annuale di PM10, inquinante per cui misure sistematiche sul territorio comunale sono iniziate nell'anno 1998, è illustrato in Figura 1.4 a confronto con il Limite Legislativo per la protezione della salute umana (DM n. 60 del 2 aprile 2002). Tale limite, pari a 48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  negli anni 1999-2000, viene gradualmente diminuito ogni anno, dal 2001 in poi, fino a raggiungere i 41,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nell'anno 2004 ed i 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  nell'anno 2005.

I valori delle concentrazioni misurate in atmosfera risultano piuttosto stazionarie nel periodo 1998-2003, mentre subiscono una diminuzione nell'anno 2004 e un leggero incremento nei due anni successivi. Nel complesso, le concentrazioni medie annue di PM10 risultano diminuite dell'8% dall'inizio delle rilevazioni sistematiche, mentre nello stesso periodo le concentrazioni di PTS si sono ridotte del 6%.

I dati riportati in Figura 1.4 risultano differenti da quelli riportati nella precedente versione del Rapporto sulla qualità dell'aria (AMA, 2005) per effetto della correzione degli stessi attraverso l'utilizzo di un fattore di equivalenza (Tabella 1.7), definito da ARPA Lombardia ([www.arpalombardia.it/qaria/](http://www.arpalombardia.it/qaria/)), che consente di allineare tutte le misurazioni effettuate sul territorio al metodo 'gravimetrico'. Quest'ultimo costituisce il riferimento per la misurazione del PM10 secondo il DM n. 60 del 2 aprile 2002.

La conversione dei dati è necessaria per allineare le misure effettuate dagli strumenti di tipo automatico a microbilancia oscillante (TEOM), utilizzati da ARPA Lombardia a partire dall'inizio delle rilevazioni di PM10 nel 1998, a quelle disponibili a partire dall'1/11/2004 attraverso la nuova tipologia di strumentazione di tipo

- numero di superamenti del Limite Legislativo della concentrazione media giornaliera di PM10 (1998-2006);
- numero di superamenti del Valore Limite della concentrazione media giornaliera di PM10 (1998-2006);
- ripartizione dimensionale PM2.5/PM10
- composizione chimica del PM10 e del PM2.5.

'gravimetrico' introdotta da ARPA Lombardia, proprio per ottemperare alle prescrizioni del DM n. 60 del 2 aprile 2002. L'introduzione della nuova strumentazione, che è in grado di misurare anche la frazione semivolatile del particolato (costituita da nitrato d'ammonio – sale inorganico – e in percentuali minori da sostanze organiche basso-bollenti) e del fattore di equivalenza comporta un apparente incremento delle concentrazioni; ciò è particolarmente accentuato in riferimento ai mesi invernali in quanto nei mesi più caldi la parte semivolatile è allo stato di gas anche nell'aria esterna. Si segnala che il Sistema di Misura Classico (SMC) basato sulle misurazioni di analizzatori a microbilancia oscillante (TEOM) è stato mantenuto attivo, in parallelo alla nuova strumentazione denominata Sistema di Misura 2005 (SM2005), al fine di permettere il confronto con gli anni precedenti e, quindi, la continuità della serie storica. Alla rete automatica qui descritta, cui si fa riferimento solitamente per la diffusione dei dati giornalieri di qualità dell'aria e per alimentare la serie storica, ARPA Lombardia affianca, nell'ambito di studi specifici, misurazioni effettuate attraverso campionatori gravimetrici. L'utilizzo di questo tipo di strumenti consente, tra l'altro, di valutare la composizione del particolato. Si veda più avanti per i primi risultati disponibili in merito a questo argomento relativamente al territorio del Comune di Milano.

La concentrazione media annuale di PM2.5 nell'anno 2006 rilevata dalle diverse postazioni dislocate nel territorio comunale, che utilizzano strumentazioni di diverso tipo, è riportata in Tabella 1.8, con i relativi rendimenti strumentali. Il campionatore gravimetrico per il PM2.5 posto in via Pascal a partire dall'anno 2005 (e precedentemente posto in via Messina) per l'anno 2006 ha fornito un numero di dati validi inferiore al 75%, pertanto si riportano i risultati ma non vanno considerati statisticamente significativi.

### QUADRO DI RIFERIMENTO

Direttiva 1999/30/CE del 22 aprile 1999.  
Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 60 del 2 aprile 2002.  
Deliberazione della Giunta Regionale della Lombardia n. 5291 del 2 agosto 2007 e precedenti.

In Tabella 1.9 sono rappresentati i superamenti del Limite Legislativo della concentrazione media giornaliera di PM10 fissato per la protezione della salute umana (DM n. 60 del 2 aprile 2002), misurati dalla rete di analizzatori automatici. I dati sono stati corretti mediante il fattore di equivalenza fornito da ARPA Lombardia (Tabella 1.7), analogamente a quanto avviene per le concentrazioni medie annuali. Si osserva un graduale aumento del numero di superamenti dovuto all'effetto combinato di concentrazioni misurate pressoché stazionarie a confronto con un Limite Legislativo in graduale diminuzione. Infatti tale Limite, che non deve essere superato più di 35 volte per anno civile, è pari a  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$  per gli anni 1999-2000 e viene ridotto gradualmente fino a raggiungere i  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nel 2005.

Il numero di superamenti del Valore Limite ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) della concentrazione media giornaliera per il particolato fine (PM10), di cui al DM n. 60 del 2 aprile 2002, viene riportato per singola stazione di misura urbana in Figura 1.5. In essa si osserva un picco rilevante per la stazione di Juvara nell'anno 2002, con valori per l'anno 2006 in lieve calo ma confrontabili a quelli dell'anno precedente.

Il Comune di Milano, assieme a Regione Lombardia, a Provincia di Milano, Ministero dell'Ambiente e APAT, sostiene un importante studio di monitoraggio e analisi dei dati di particolato fine nell'area milanese, coordinato da ARPA Lombardia, allo scopo di comprendere il ruolo delle sorgenti principali di questo inquinante e di individuare, di conseguenza, le più corrette politiche di abbattimento.

La prima parte dello studio, denominata Progetto PUMI (Particolato fine nell'atmosfera Urbana Milanese), si è conclusa al termine dell'anno 2002 mentre a partire dall'anno 2004 è in atto lo svolgimento di una seconda fase, che estende l'area di studio a tutto il territorio della Regione Lombardia e che prende il nome di Progetto PARFIL (PARTicolato atmosferico Fine nella regione Lombardia). Tra gli obiettivi dello studio si evidenziano in particolare:

- analisi della distribuzione spaziale, temporale e dimensionale del particolato atmosferico (PM10, PM2.5, PM1 ultrafine) attraverso campagne di raccolta dati nelle "aree critiche" e "di fondo" della regione;
- caratterizzazione chimico-fisica del particolato atmosferico e definizione dei composti *marker* per la tossicità;
- consolidamento e caratterizzazione chimico-fisica delle emissioni di diverse tipologie di autoveicoli (in particolare motori diesel), impianti di

riscaldamento e alcuni tipi di impianti industriali;

- studio dei processi di formazione del particolato di origine secondaria e analisi del ruolo della meteorologia.

Nell'ambito dei progetti menzionati collaborano i seguenti gruppi di ricerca: Fondazione Lombardia per l'Ambiente (FLA), ARPA Lombardia, Stazione Sperimentale per i Combustibili (SSC), *Joint Research Centre* di Ispra (JRC), Politecnico di Milano (Dipartimento DIAR, Sezione Ambientale), Istituto di Fisica Generale Applicata (IFGA) dell'Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio (DISAT) dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca, Università degli Studi di Brescia, Agenzia Mobilità e Ambiente (AMA).

Dallo studio menzionato si riportano le prime informazioni disponibili relativamente alla ripartizione dimensionale del particolato fine e alla sua composizione chimica nell'area urbana milanese.

Per quanto concerne la ripartizione dimensionale si osserva che il PM2.5, costituisce a Milano circa l'80% del PM10. Trattandosi di un'area fortemente urbanizzata, il PM2.5, è costituito principalmente da emissioni dirette in atmosfera derivanti dai processi di combustione fissa e mobile (particolato primario), anche se una parte delle concentrazioni di PM2.5 è costituita da particolato di origine secondaria (si veda nel seguito), la cui dimensione è tipicamente compresa tra  $0,3$  e  $2,0 \mu\text{m}$  (ARPA Lombardia, 2007).

In Figura 1.6 si riporta la caratterizzazione chimica complessiva del particolato atmosferico nelle frazioni PM10 e PM2.5, per la città di Milano, ottenuta nell'ambito dello studio PUMI (ARPA Lombardia e FLA, 2002).

La componente carboniosa del particolato urbano viene normalmente suddivisa in due componenti:

- il carbonio elementare, indicato solitamente come *elemental carbon* (EC) o *black carbon* (BC) che costituisce un inquinante primario emesso direttamente dai processi di combustione fissa e mobile (es. veicoli diesel e combustione delle biomasse);
- il carbonio organico (OC), che rappresenta una misura della componente organica presente nel particolato, includendo numerosi composti organici di cui attualmente è conosciuta solo una parte. Il carbonio organico ha origine sia primaria (processi di combustione, evaporazione di solventi, ecc.) che secondaria (per reazione di composti del carbonio di origine sia antropica che naturale). Il carbonio totale (TC) è rappresentato dalla somma di EC e OC e rappresenta la frazione principale del

PM10 (circa 45%) e del PM2.5 (circa 43%). A proposito della determinazione di questa frazione molte incertezze sono legate alla tecnica analitica utilizzata, con una maggiore variabilità accertata nel caso del PM10.

Nell'ambito del progetto PARFIL si sono ottenuti i seguenti dati relativi alla presenza di EC e OC nel PM10: dal 2 al 6% della massa del PM10 è costituita nelle aree urbane da carbonio elementare; il carbonio organico varia dal 20% al 30% della massa totale di particolato, in relazione alla stagione e ai siti di misura (ARPA Lombardia, 2007).

Circa il 33% in massa del PM10 e il 46% del PM2.5 (Arpa Lombardia e FLA, 2002) risultano composti da sostanze di origine secondaria ( $\text{NH}_4^+$  – ammonio,  $\text{NO}_3^-$  – nitrato,  $\text{SO}_4^{2-}$  – solfato), ovvero non direttamente emesse dalle sorgenti degli inquinanti atmosferici ma generatesi in atmosfera tramite reazioni chimiche con altri inquinanti, attivate tramite particolari condizioni di radiazione solare, umidità relativa, turbolenza ecc.

Il maggior contributo di queste sostanze al PM2.5 rispetto al PM10 è da associarsi al fatto che le particelle di origine secondaria assumono per lo più dimensioni riconducibili al particolato fine o ultrafine. Infatti gli ioni solfati ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) sono presenti quasi esclusivamente nella frazione fine (la % presente nella frazione fine

(PM2.5) rispetto al PM10 è il 90%, dev.st =  $\pm 7\%$ ), così come anche lo ione ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ), anche se con una maggiore variabilità del dato (media = 88% PM2.5/PM10, dev.st = 16%). Lo ione nitrato è invece presente anche nella frazione grossolana, in particolare durante i mesi estivi (media = 68% PM2.5/PM10, dev.st =  $\pm 15\%$ ).

La frazione riportata in figura come “Materiale crostale” rappresenta il contributo, alle concentrazioni di particolato, di elementi di origine tipicamente terrigena (Al, Si, Ca, Ti, Fe) risospesi in atmosfera e caratterizzati da una granulometria prettamente grossolana (compongono infatti ben il 7,6 % del PM10 ma solo l'1% del PM2.5).

Il contributo degli Elementi in traccia (V, Cr, Ni, Cu, Zn, Br, Pb, ecc.) è limitato a solo il 4,2% per il PM10 e all'1,2% per il PM2.5.

Infine, la frazione indicata come “altro”, che corrisponde a circa il 10% sia nel PM2.5 che nel PM10, è indeterminata: essa può essere attribuita, ad esempio, all'ossigeno componente o gli ossidi di alcuni elementi (es. ossidi di ferro), già considerati nella frazione “Elementi in traccia”, o presente quale componente dei reticoli cristallini nella frazione “Materiale crostale”.

Figura 1.3 **Concentrazione media annuale di Particolato Totale Sospeso (PTS)** – Fonte: ARPA Lombardia

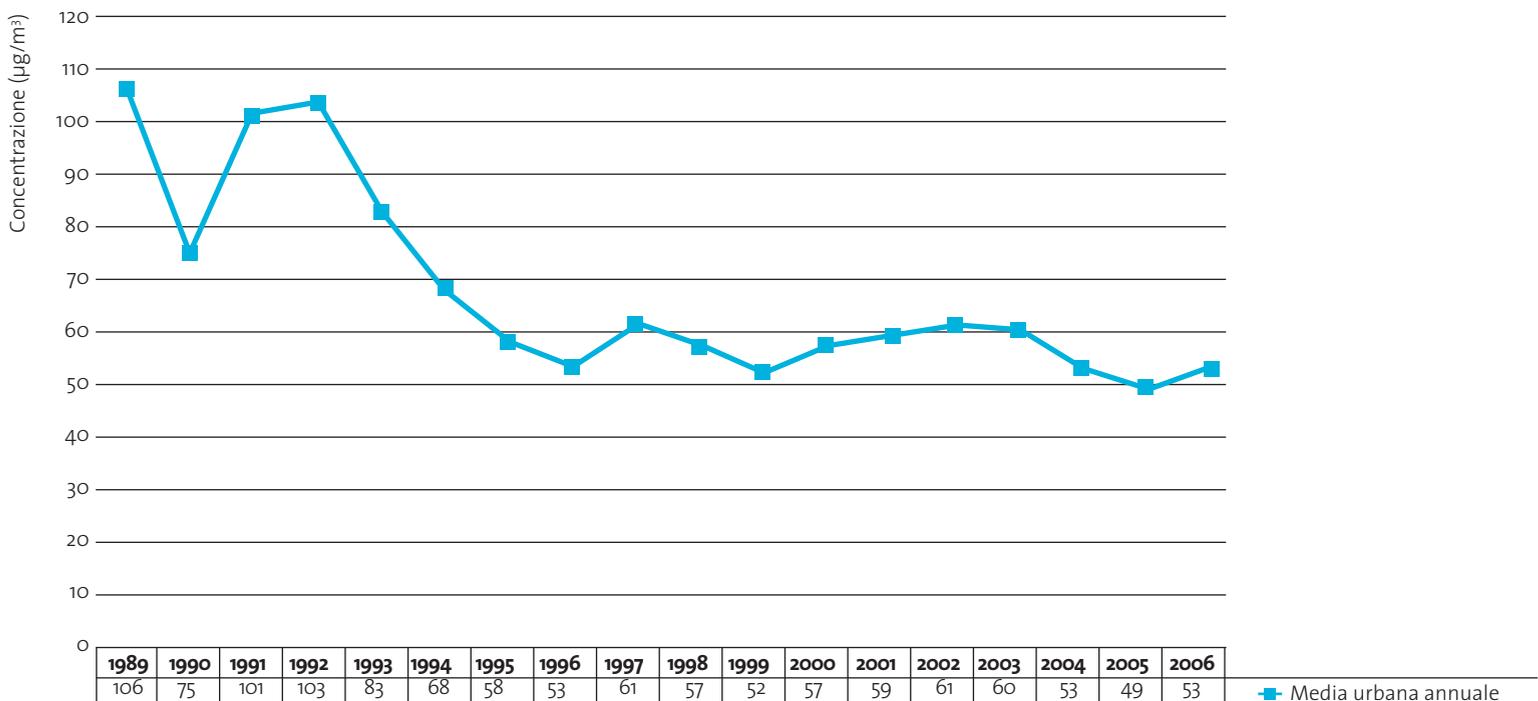


Figura 1.4 **Concentrazione media annuale di PM10 misurata da analizzatori automatici a confronto con il Limite Legislativo [DM n. 60 del 2 aprile 2002].** Dati allineati al Sistema di Misura 2005 (SM2005) – Fonte: ARPA Lombardia

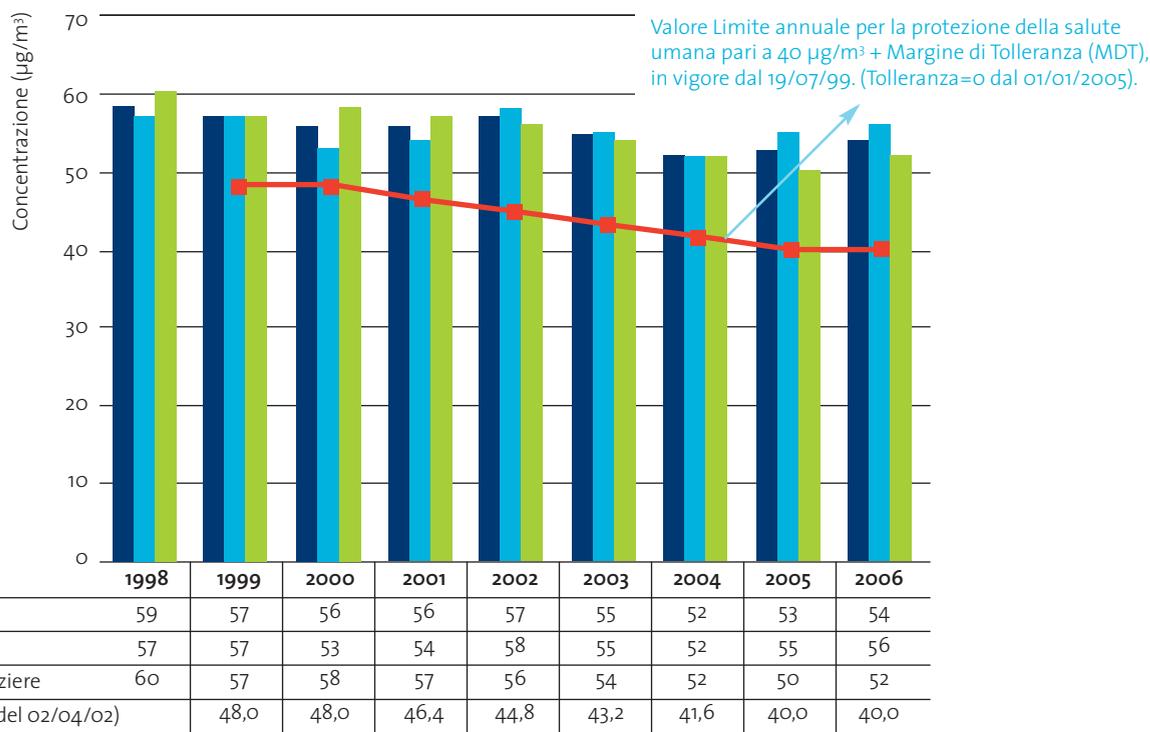


Tabella 1.7 **Fattori di equivalenza mensili applicati ai dati di PM10 misurati da analizzatori a microbilancia oscillante (TEOM)** – Fonte: ARPA Lombardia (2007)

GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
1,35	1,33	1,26	1,18	1,09	1,02	1,00	1,02	1,09	1,17	1,26	1,33

Tabella 1.8 **Concentrazione media annuale di PM2.5 nell'anno 2006 ottenuta con diversi strumenti di misura** – Fonte: ARPA Lombardia (2007)

	Rendimento strumentale (%)	Concentrazione media (µg/m³)
Stazione MI-Juvara (Raggi Beta)	87,7%	41
Stazione MI-Zavattari (TEOM)	83,6%	40
Stazione MI-via Pascal (gravimetrico)	69,4%	29

Tabella 1.9 **Numero di superamenti del Limite Legislativo della concentrazione media giornaliera per il PM10 [DM n. 60 del 2 aprile 2002] misurata da analizzatori automatici** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati biorari ARPA Lombardia (2007)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Stazione MI-Juvara</b>	60	65	71	84	112	108	111	153	150
<b>Stazione MI-Zavattari/MI-Verziere</b>	58	79	82	67	99	105	116	144	138

Figura 1.5 **Numero di superamenti del Valore Limite (50 µg/m³) della concentrazione media giornaliera per il PM10 [DM n. 60 del 2 aprile 2002] misurata da analizzatori automatici** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati ARPA Lombardia (2007)

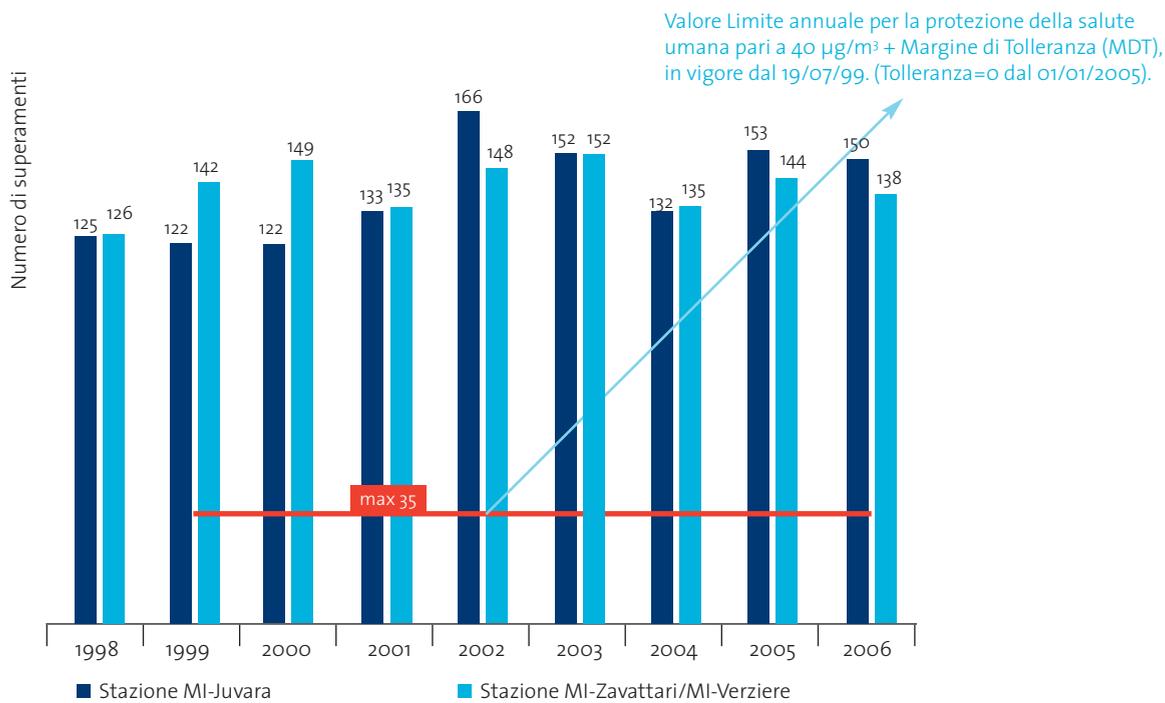
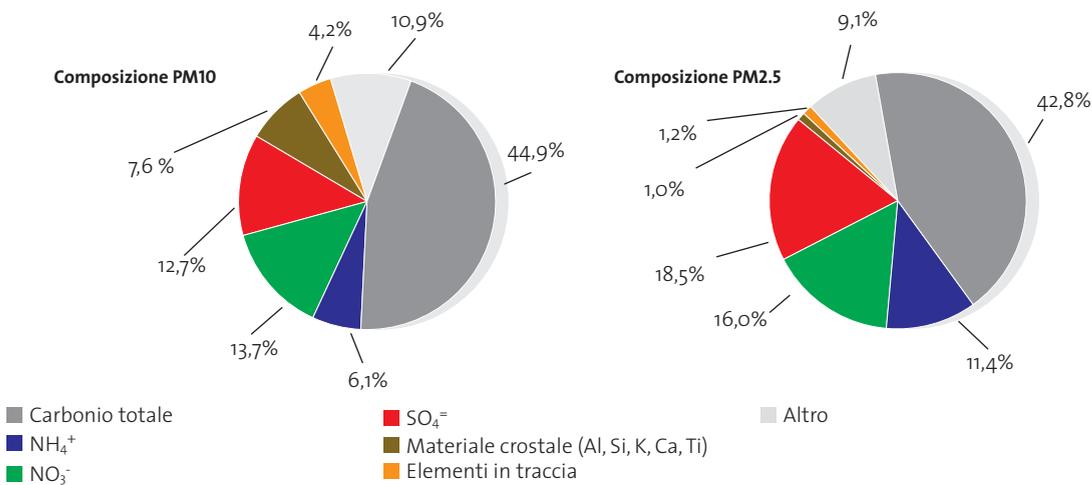


Figura 1.6 **Composizione media annua del PM10 e PM2.5 misurati a Milano, nel sito di via Messina, anno 2002** – Fonte: Progetto PUMI (ARPA Lombardia e Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2002)



## Biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) e ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>)

### QUADRO DI RIFERIMENTO

Direttiva 1999/30/CE del 22 aprile 1999.  
Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 60 del 2 aprile 2002.  
Deliberazione della Giunta Regionale della Lombardia n. 5291 del 2 agosto 2007 e precedenti.

*Gli impatti del biossido di azoto e degli ossidi di azoto totali (si veda glossario) sulla salute umana e sugli ecosistemi vengono analizzati attraverso i seguenti parametri:*

- *concentrazione media annuale di NO<sub>2</sub> (1989-2006);*
- *numero di superamenti del Limite Legislativo*

*della concentrazione media oraria di NO<sub>2</sub> (1989-2006);*

- *numero di superamenti del Valore Limite orario (1999-2006) e della Soglia di Allarme di NO<sub>2</sub> (1989-2006);*
- *concentrazione media annuale di NO<sub>x</sub> (1989-2006).*

La Figura 1.7 mostra la concentrazione media annuale di NO<sub>2</sub>: sebbene si osservi una diminuzione del 44% rispetto all'anno 1990, nell'anno 2006 i valori risultano ancora superiori al Limite Legislativo per la protezione della salute umana fissato dal DM n. 60 del 2 aprile 2002. Tale Limite risulta pari a 60 µg/m<sup>3</sup> negli anni 1999-2000, a 48 µg/m<sup>3</sup> nell'anno 2006 e viene gradualmente ridotto ogni anno fino a raggiungere i 40 µg/m<sup>3</sup> nell'anno 2010. Per la prima volta dopo dieci anni nell'anno 2006 le concentrazioni medie annuali di NO<sub>2</sub> risultano in aumento (+12% rispetto all'anno precedente) e raggiungono i livelli rilevati nell'anno 2000.

Per quanto riguarda i superamenti del Limite Legislativo della concentrazione media oraria, del Valore Limite e della Soglia di Allarme sono state considerate le stazioni di misura che registrano il maggior numero di superamenti (Stazione max) e quelle che registrano il minor numero di superamenti (Stazione min) all'interno del Comune di Milano.

Il numero dei superamenti del Limite Legislativo della concentrazione media oraria di NO<sub>2</sub> per la protezione della salute umana, fissato dal DM n. 60 del 2 aprile 2002, risulta in netta riduzione a partire dall'anno 1993, ma nel 2006 si è verificato un importante aumento (Figura 1.8) che ha riportato i superamenti al di sopra del numero consentito. Tale Limite (in vigore dal 19 luglio 1999) – che non deve essere superato più di 18 volte per anno civile, è pari a 300 µg/m<sup>3</sup> negli anni 1999-2000, 240 µg/m<sup>3</sup> nel 2006 e viene ridotto costantemente ogni anno fino a raggiungere i 200 µg/m<sup>3</sup> nel 2010 – risultava rispettato a partire dall'anno 1995.

Il numero di superamenti del Valore Limite orario per l'NO<sub>2</sub> mostra una notevole diminuzione negli anni 2000 e 2001 (Tabella 1.10) e un picco massimo nell'anno 2006, con valori mai raggiunti a partire dall'anno 1999; la Soglia di Allarme, fissata dallo stesso DM n. 60 del 2 aprile 2002

in 400 µg/m<sup>3</sup> misurati su tre ore consecutive, non risulta più superata a partire dall'anno 1994.

Anche la concentrazione media annuale di NO<sub>x</sub> (Figura 1.9), ha subito nel periodo dal 1990 al 2005 una considerevole diminuzione (pari al 65%) ma un aumento nell'anno 2006 (+ 13%) fino a raggiungere valori confrontabili a quelli dell'anno 2002. La concentrazione media annuale di NO<sub>x</sub> risulta ancora notevolmente superiore al Valore Limite di 30 µg/m<sup>3</sup> fissato per la protezione della vegetazione (DM n. 60 del 2 aprile 2002), in vigore dal 19 luglio 2001.

L'aumento delle concentrazioni medie annue di NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> rilevato nell'anno 2006, che si affianca anche ad un aumento dei superamenti del Valore Limite per l'NO<sub>2</sub>, è imputabile sicuramente al verificarsi di sfavorevoli condizioni meteorologiche, quali una maggior frequenza di ridotte altezze dello strato rimescolato (si vedano nella Scheda 1.9 la Figura 1.30 e la Figura 1.31, in particolare per le altezze inferiori ai 100 m), un aumento della pressione atmosferica (si vedano nella Scheda 1.9 la Figura 1.34 e la Figura 1.36) e una riduzione dell'intensità dei venti (si veda nella Scheda 1.9 la Figura 1.38). Tali occorrenze sono più evidenti nei mesi di gennaio e febbraio particolarmente critici per le condizioni meteorologiche ed emissive che influiscono sulla qualità dell'aria (Figura 1.10), e sono il frutto di una tendenza alla riduzione dell'instabilità meteorologica rilevata negli ultimi anni che raggiunge un massimo nell'anno 2006. A differenza degli altri inquinanti, l'aumento delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> nell'anno 2006 non è attribuibile esclusivamente alla meteorologia, ma anche a cambiamenti relativi alle fonti emissive. Infatti, per gli ossidi di azoto si osserva che, pur verificandosi una diminuzione delle emissioni urbane da traffico secondo quanto stimato da Agenzia tra gli anni 2003 e 2005 (si veda Scheda 1.8) per effetto del rinnovo del parco veicolare con veicoli a

minori emissioni, vi è la costante crescita della percentuale di veicoli diesel circolanti che emettono un maggior quantitativo di ossidi di azoto rispetto ai motori a benzina; inoltre, cambiamenti nel rapporto NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> nelle emissioni allo scarico dei veicoli di nuova generazione (argomento da approfondire) potrebbero avere un ruolo sulla variazione delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> in atmosfera. Questa ulteriore possibile causa dell'aumento rilevato nelle concentrazioni di NO<sub>2</sub> nell'anno 2006 è confermata da due elementi:

1. il fatto che l'incremento delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> sia molto maggiore nel Comune di Milano (+12% dal 2005 al 2006) rispetto a quanto avviene nel resto della Zona Critica (+2% dal 2005 al 2006);
2. il fatto che l'incremento delle concentrazioni di NO<sub>2</sub> sia più evidente nelle stazioni urbane situate nei pressi di strade ad alto traffico, analogamente a quanto accade in altre città europee – es. Londra (*Transport for London, 2006*).

Figura 1.7 **Concentrazione media annuale di biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) a confronto con il Limite Legislativo [DM n. 60 del 2 aprile 2002]** – Fonte: ARPA Lombardia

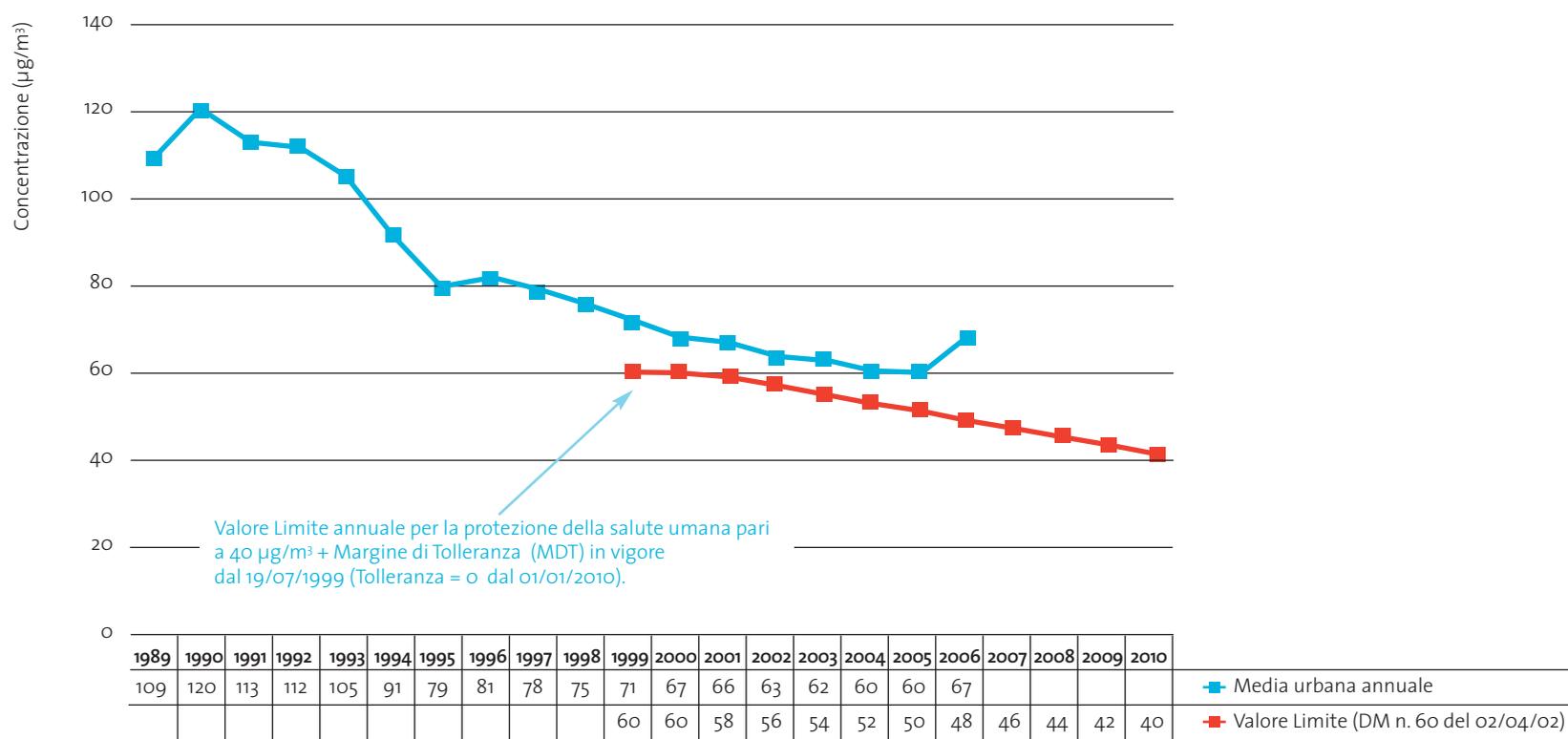


Figura 1.8 **Numero di superamenti del Limite Legislativo orario per il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) [DM n. 60 del 2 aprile 2002]** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

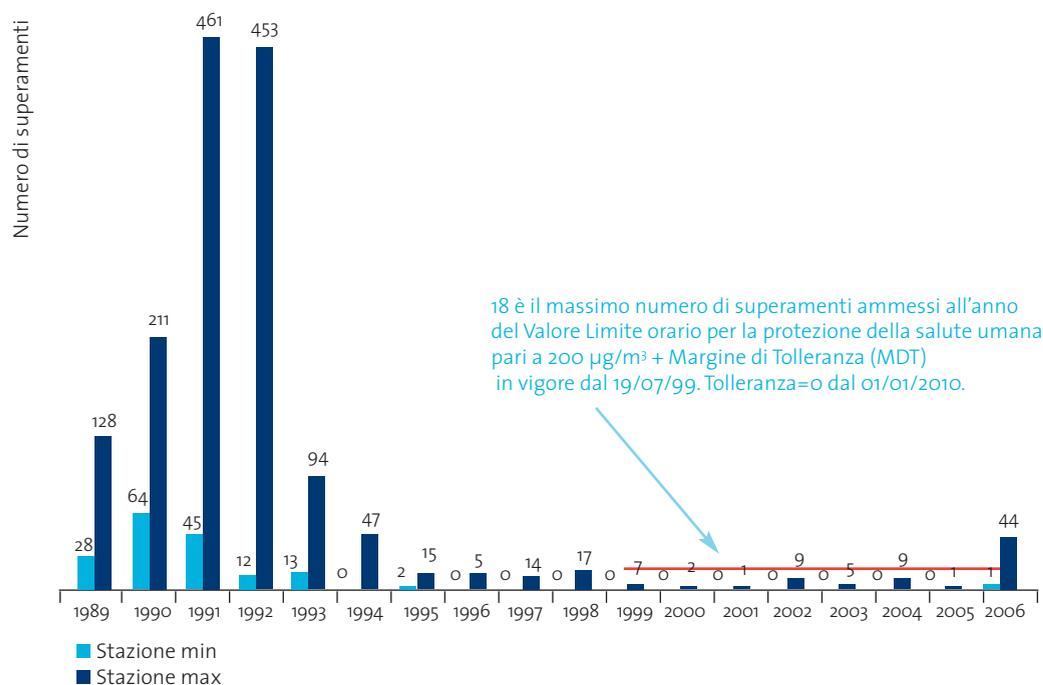


Tabella 1.10 **Numero di superamenti del Valore Limite orario [200 µg/m<sup>3</sup>] per il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) [DM n. 60 del 2 aprile 2002]** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Stazione min</b>	25	0	0	6	2	1	0	18
<b>Stazione max</b>	86	26	29	56	48	79	24	120

Figura 1.9 **Concentrazione media annuale degli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) a confronto con il Valore Limite [DM n. 6o del 2 aprile 2002]** – Fonte: ARPA Lombardia

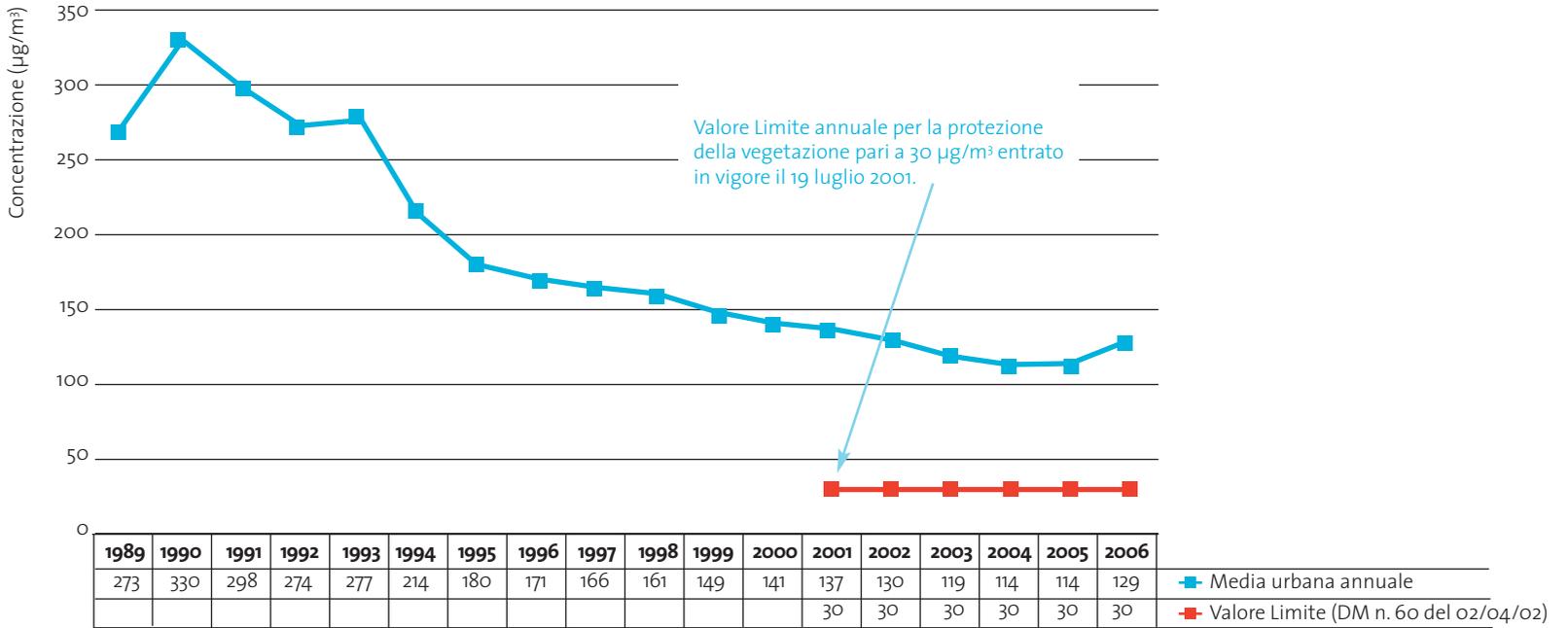
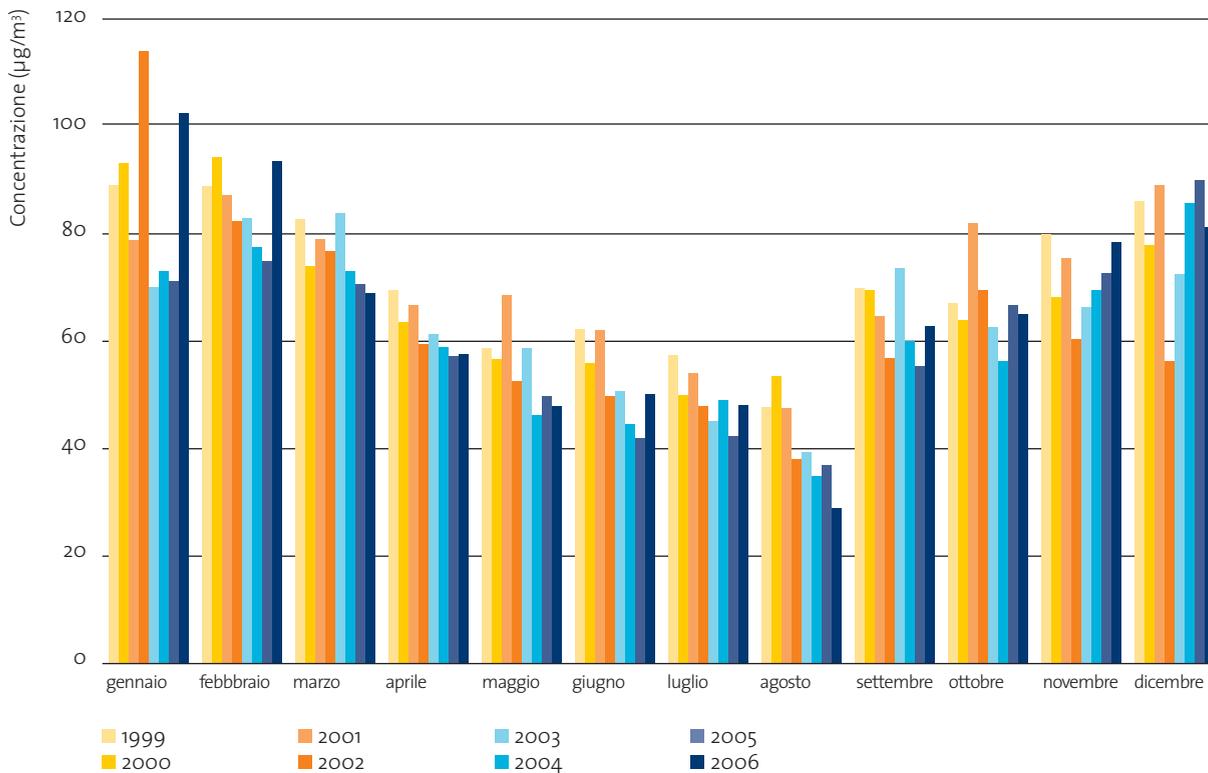


Figura 1.10 **Concentrazione media mensile del biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) dal 1999 al 2006** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)



# Monossido di carbonio (CO)

## QUADRO DI RIFERIMENTO

Direttiva 2000/69/CE del Consiglio del 16 novembre 2000.  
Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 60 del 2 aprile 2002.  
Deliberazione della Giunta Regionale della Lombardia n. 5291 del 2 agosto 2007 e precedenti.

Gli impatti del monossido di carbonio (si veda glossario) sulla salute umana e sugli ecosistemi vengono analizzati attraverso i seguenti parametri:

- concentrazione media annuale (1989-2006);
- numero di superamenti del Limite Legislativo

della concentrazione media massima giornaliera su 8 ore (1997-2006);

- numero di superamenti del Valore Limite della concentrazione media mobile sulle 8 ore (1997-2006).

La concentrazione media annuale di CO nel periodo 1989-2006 presenta una diminuzione rispetto al 1989 (pari al 78%), a causa essenzialmente del progressivo rinnovo del parco circolante con veicoli catalizzati (Figura 1.11).

Il Limite Legislativo per la protezione della salute umana fissato dal DM n. 60 del 2 aprile 2002 risulta rispettato in tutte le stazioni di misura a partire dal 1999 (Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati orari ARPA Lombardia). Tale Limite, entrato in vigore l'anno successivo (13 dicembre 2000), è costituito dalla

concentrazione media massima giornaliera su 8 ore e risulta pari a 16 mg/m<sup>3</sup> dal 2000 al 2002, a 14 mg/m<sup>3</sup> nel 2003, a 12 mg/m<sup>3</sup> nel 2004 e a 10 mg/m<sup>3</sup> dal 1° gennaio 2005 (Valore Limite).

Il numero di superamenti del Valore Limite fissato dal DM n. 60 del 2 aprile 2002, (concentrazione media mobile trascinata sulle 8 ore pari a 10 mg/m<sup>3</sup>) risulta in progressiva diminuzione a partire dall'anno 1998 (Figura 1.12); a partire dall'anno 2003 non si è verificato alcun superamento di tale limite nel territorio urbano.

Figura 1.11 **Concentrazione media annuale di monossido di carbonio (CO)** – Fonte: ARPA Lombardia

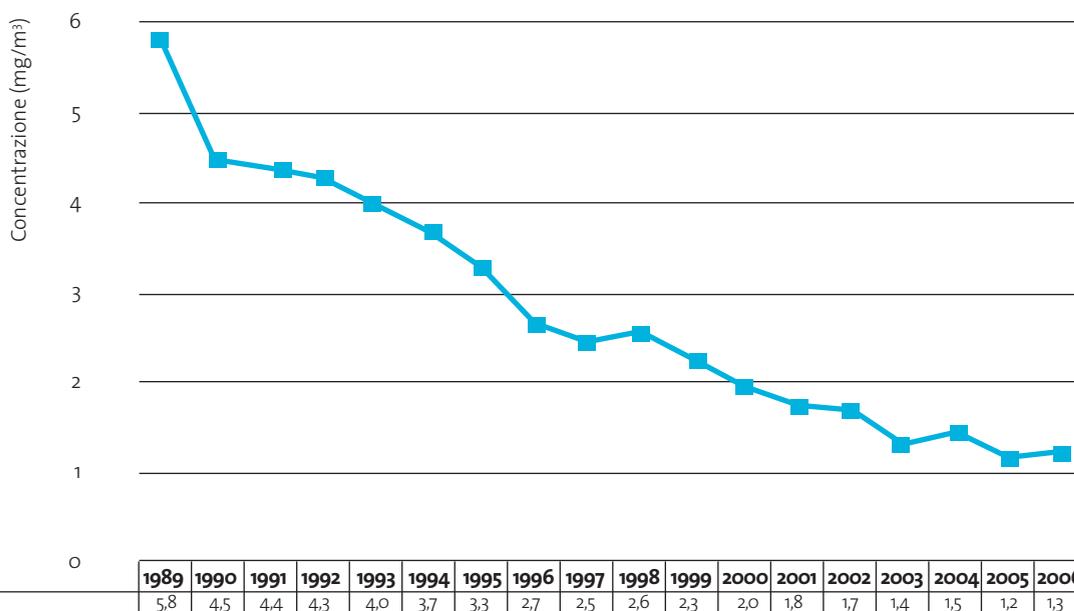
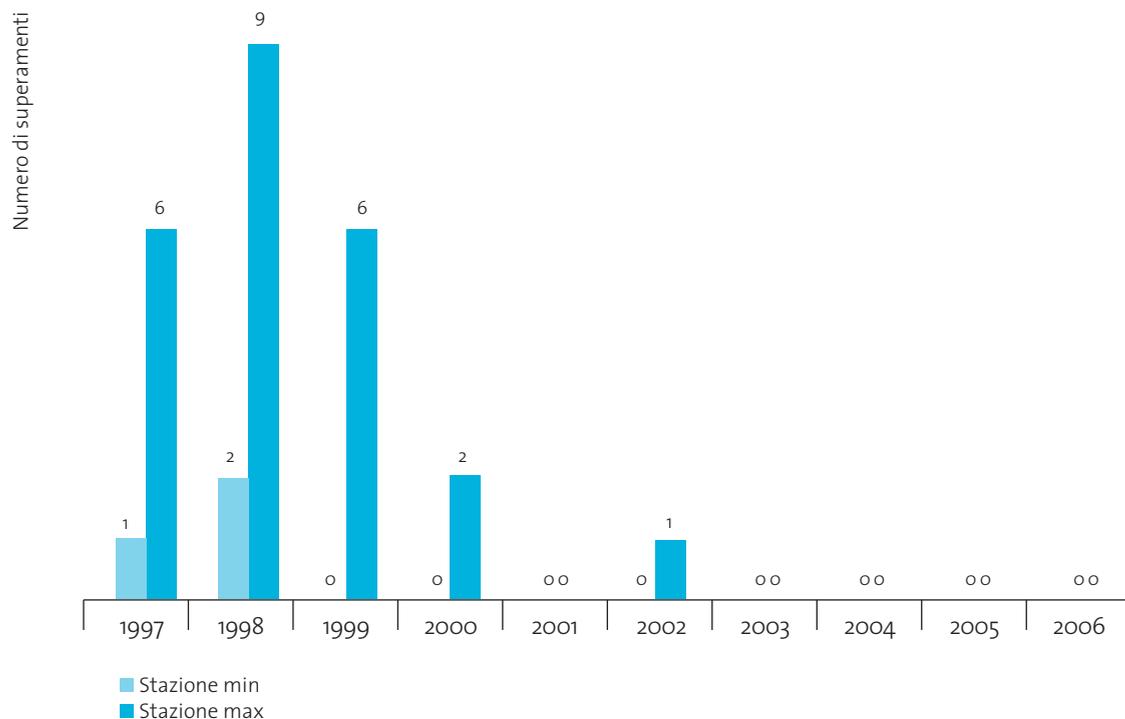


Figura 1.12 **Numero di superamenti del Valore Limite della concentrazione media mobile sulle 8 ore per il monossido di carbonio (CO) pari a 10 mg/m<sup>3</sup> [DM n. 60 del 2 aprile 2002]** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)



## Ozono (O<sub>3</sub>)

### QUADRO DI RIFERIMENTO

Direttiva 2002/3/CE  
del 12 febbraio 2002.  
Decreto Legislativo n. 183  
del 21 maggio 2004.  
Deliberazione della Giunta Regionale  
della Lombardia n. 5291  
del 2 agosto 2007

*Gli impatti dell'ozono (si veda glossario) sulla salute umana e sugli ecosistemi vengono analizzati attraverso i seguenti parametri definiti in riferimento ai limiti normativi:*

- *numero di superamenti dell'Obiettivo a lungo termine della concentrazione media mobile trascinata su 8 ore (1997-2006);*

- *Accumulated exposure over a Threshold of 40 (AOT40), calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio (media ultimi 5 anni; anno 2006);*
- *numero di superamenti della Soglia di Informazione (1997-2006);*
- *numero di superamenti della Soglia di Allarme (1997-2006).*

Per ciascun anno del periodo 1997-2006, in Figura 1.13 è riportato il numero di superamenti dell'Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana (concentrazione media su 8 ore massima giornaliera pari a 120 µg/m<sup>3</sup>) fissato dal D. Lgs. n. 183 del 21 maggio 2004. I valori più elevati si riscontrano nella stazione di Milano-Parco Lambro, trattandosi di una stazione di tipo 'suburbano'.

Nel complesso il numero di superamenti mostra una lenta ma graduale diminuzione; si distingue dall'andamento generale il dato dell'anno 2003, caratterizzato da eccezionali condizioni meteorologiche estive per temperatura e siccità.

Attualmente sul territorio comunale non risulta rispettato il Valore Bersaglio relativo alla protezione della salute umana introdotto dal D. Lgs. n. 183 del 21 maggio 2004 (concentrazione media su 8 ore massima giornaliera pari a 120 µg/m<sup>3</sup> da non superare per più di 25 giorni per anno civile come media su tre anni) il cui conseguimento è fissato per l'anno 2010 e verrà comunque verificato la prima volta nel 2013 sulla base dei superamenti dei tre anni precedenti.

Ai fini della protezione della vegetazione il D. Lgs. n. 183 del 21 maggio 2004 ha introdotto il parametro AOT40 (espresso in [µg/m<sup>3</sup>] x ora) che è costituito dalla somma delle differenze tra le concentrazioni orarie superiori a 80 µg/m<sup>3</sup> (= 40 parti per miliardo) e 80 µg/m<sup>3</sup> rilevate in un dato periodo di tempo, utilizzando solo i valori orari rilevati ogni giorno tra le ore 8:00 e le ore 20:00, ora dell'Europa Centrale.

In Tabella 1.11 è riportato il valore del parametro AOT40

calcolato sulla base dei dati rilevati nelle tre stazioni presenti sul territorio comunale. In essa è possibile osservare come nel 2006 per la stazione di Milano-Parco Lambro non risulti rispettato il Valore Bersaglio relativo alla protezione della vegetazione introdotto dal D. Lgs. n. 183 del 21 maggio 2004 (AOT40, calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio, pari a 18.000 µg/m<sup>3</sup> x ora come media su cinque anni) il cui conseguimento è fissato per l'anno 2010 e verrà comunque verificato la prima volta nel 2015 sulla base dei superamenti dei cinque anni precedenti. Analogamente nel 2006 non risulta rispettato l'Obiettivo a lungo termine per la protezione della vegetazione fissato dal D. Lgs. n. 183 del 21 maggio 2004 (AOT40, calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio, pari a 6.000 µg/m<sup>3</sup> x ora).

I superamenti della Soglia di Informazione (massimo valore giornaliero della concentrazione media oraria pari a 180 µg/m<sup>3</sup>) fissata dal D. Lgs. n. 183 del 21 maggio 2004 sono riportati in Figura 1.14, per le tre stazioni di misura di Milano. L'andamento nel tempo è analogo a quello riscontrato per il parametro precedente, con una tendenza ad una continua diminuzione dei superamenti, eccezion fatta per l'anno 2003 che, come già detto, ha presentato caratteristiche di eccezionalità dal punto di vista meteorologico.

La Soglia di Allarme (massimo valore giornaliero della concentrazione media oraria pari a 240 µg/m<sup>3</sup>) fissata dal D. Lgs. n. 183 del 21 maggio 2004 è stata superata nell'anno 2006 (Tabella 1.12) nella sola stazione di misura Milano-Parco Lambro.

Figura 1.13 **Numero di superamenti dell'Obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana per l'ozono (O<sub>3</sub>): concentrazione media su 8 ore massima giornaliera pari a 120 µg/m<sup>3</sup> [D. Lgs. n. 183 del 21 maggio 2004]** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

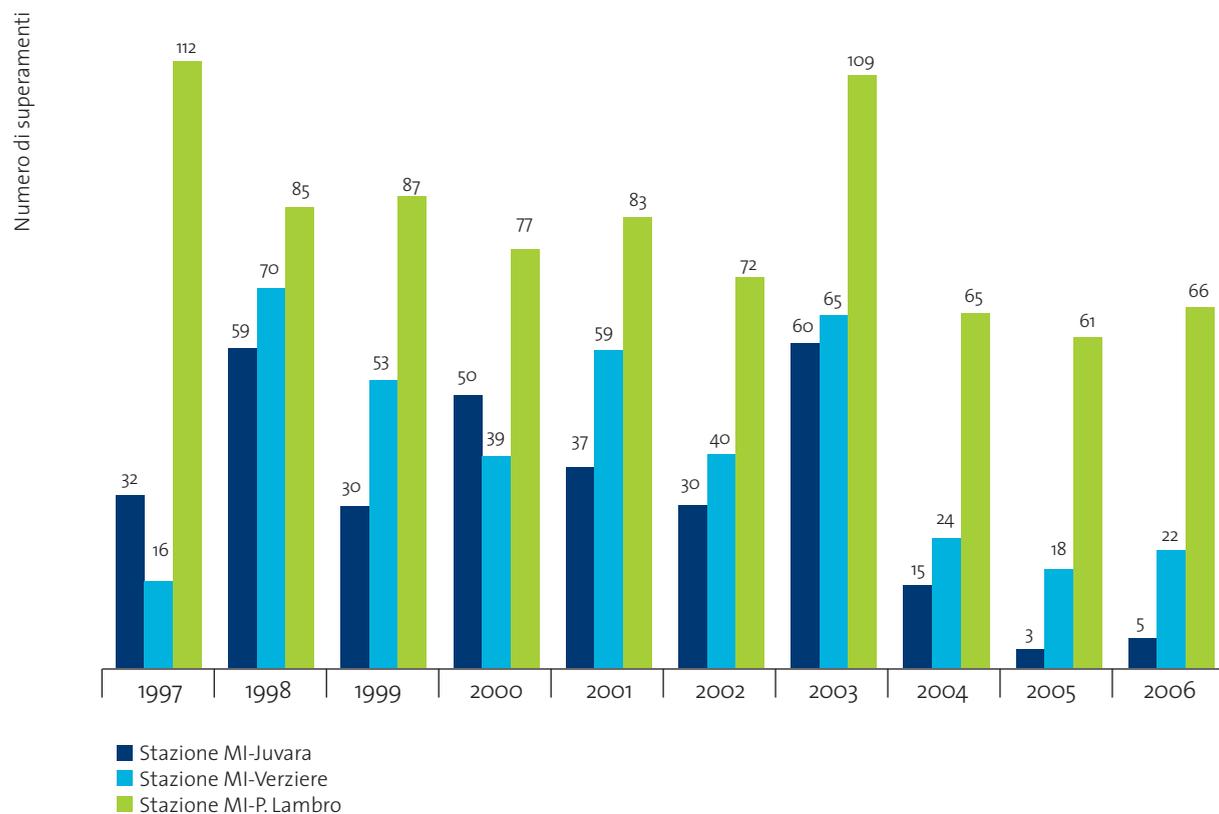


Tabella 1.11 **AOT<sub>40</sub> calcolato sulla base dei valori orari da maggio a luglio [D. Lgs. n. 183 del 21 maggio 2004]** – Fonte: ARPA Lombardia, 2007

	AOT <sub>40</sub> maggio-luglio (media ultimi 5 anni) (µg/m <sup>3</sup> x ora)	AOT <sub>40</sub> maggio-luglio anno 2006 (µg/m <sup>3</sup> x ora)
<b>Stazione MI Juvara</b>	14.340	6.671
<b>Stazione MI Verziera</b>	20.120	17.858
<b>Stazione MI-P.co Lambro</b>	40.383	40.535

Figura 1.14 **Numero di superamenti della Soglia di Informazione per l'ozono (O<sub>3</sub>): concentrazione media oraria pari a 180 µg/m<sup>3</sup> [D. Lgs n. 183 del 21 maggio 2004]** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

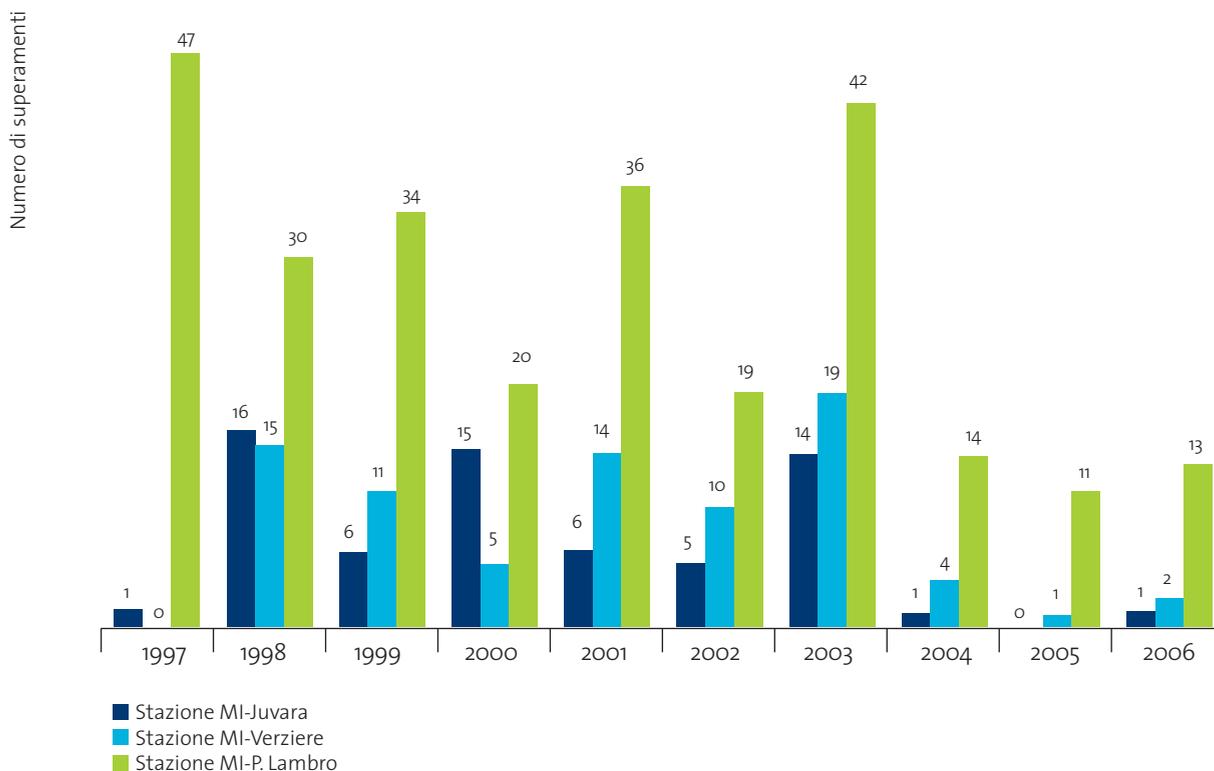


Tabella 1.12 **Numero di superamenti della Soglia di Allarme per l'ozono (O<sub>3</sub>): concentrazione media oraria pari a 240 µg/m<sup>3</sup> [D. Lgs n. 183 del 21 maggio 2004]** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Stazione MI-Juvara</b>	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
<b>Stazione MI-Verziere</b>	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0
<b>Stazione MI-Parco Lambro</b>	2	4	2	0	1	2	3	0	0	3

## Microinquinanti: Benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) e Piombo (Pb)

### QUADRO DI RIFERIMENTO

Direttiva 2000/69/CE del Consiglio del 16 novembre 2000.

Direttiva 1999/30/CE del 22 aprile 1999.

Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 60 del 2 aprile 2002.

*Gli impatti di benzene e piombo sulla salute umana e sugli ecosistemi (si veda glossario) vengono analizzati attraverso i seguenti parametri:*

- *concentrazione media annuale di benzene (1999-2006);*
- *concentrazione media annuale di piombo (1999-2001).*

La concentrazione media annuale di benzene nel periodo 1999-2006 (Figura 1.15) risulta ben al di sotto del Limite Legislativo per la protezione della salute umana fissato dal DM n. 60 del 2 aprile 2002. Tale limite, entrato in vigore nell'anno 2000, è pari a 10 µg/m<sup>3</sup> e verrà ridotto gradualmente a partire dall'anno 2006 fino a raggiungere i 5 µg/m<sup>3</sup> nell'anno 2010.

Le concentrazioni medie annuali presentano nel periodo considerato una diminuzione pari al 56% dovuta, oltre che al rinnovo del parco circolante con veicoli catalizzati, alla progressiva riduzione del contenuto di benzene nelle benzine commerciali. L'aumento riscontrato nell'anno 2006 (+30%) è molto probabilmente attribuibile alle particolari condizioni meteorologiche verificatesi, legate a condizioni di maggiore stabilità atmosferica.

Le concentrazioni medie annuali di piombo (Figura 1.16) risultano circa pari a un decimo del Limite Legislativo per la protezione della salute umana fissato dal DM n. 60 del 2 aprile 2002. Tale limite, entrato in vigore nell'anno 1999, è pari a 1 µg/m<sup>3</sup> per gli anni 1999-2000, mentre a partire dal 2001 viene

progressivamente ridotto fino a raggiungere i 0,5 µg/m<sup>3</sup> a partire dall'anno 2005. La concentrazione media annuale di piombo in atmosfera risulta in diminuzione grazie al progressivo rinnovo del parco circolante con veicoli catalizzati, che utilizzano benzina senza piombo. Il bando della benzina con piombo (cosiddetta "benzina rossa") avvenuto, in Italia, a partire dal 1° gennaio 2002, dovrebbe avere consentito ulteriori diminuzioni delle concentrazioni in atmosfera di questo metallo pesante negli anni successivi, ma non è possibile verificarlo in quanto i dati disponibili per tali anni non risultano statisticamente significativi. I dati di piombo presentati in questo indicatore sono relativi a concentrazioni misurate su campioni di PM<sub>10</sub> prelevati presso il sito di Milano – via Messina nell'ambito di campagne di monitoraggio effettuate da ARPA Lombardia (Dipartimenti di Milano e di Mantova) e dall'Università degli Studi di Milano-Bicocca (Dipartimento di Scienze Ambientali e del Territorio) nel periodo 1999-2001. Le medie annuali per il periodo 1999-2001 si riferiscono alle seguenti percentuali di dati validi: 64% per il 1999, 47% per il 2000 e 62% per l'anno 2001.

Figura 1.15 **Concentrazione media annuale di benzene a confronto con il Limite Legislativo [DM n. 60 del 2 aprile 2002]**  
 Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

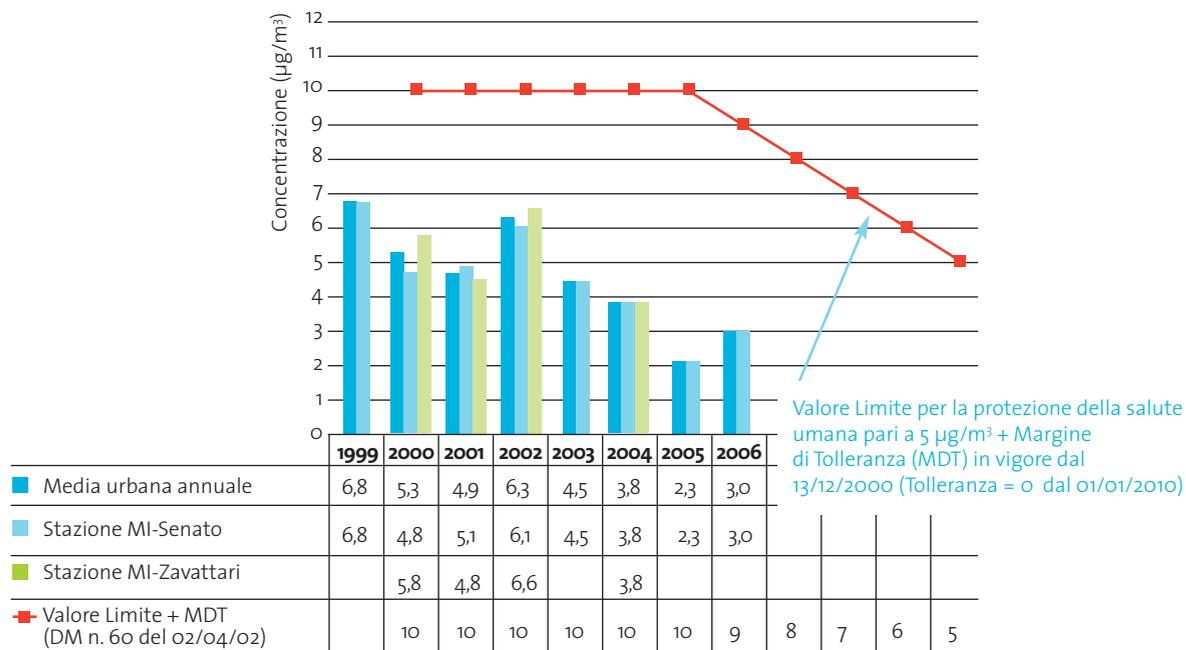
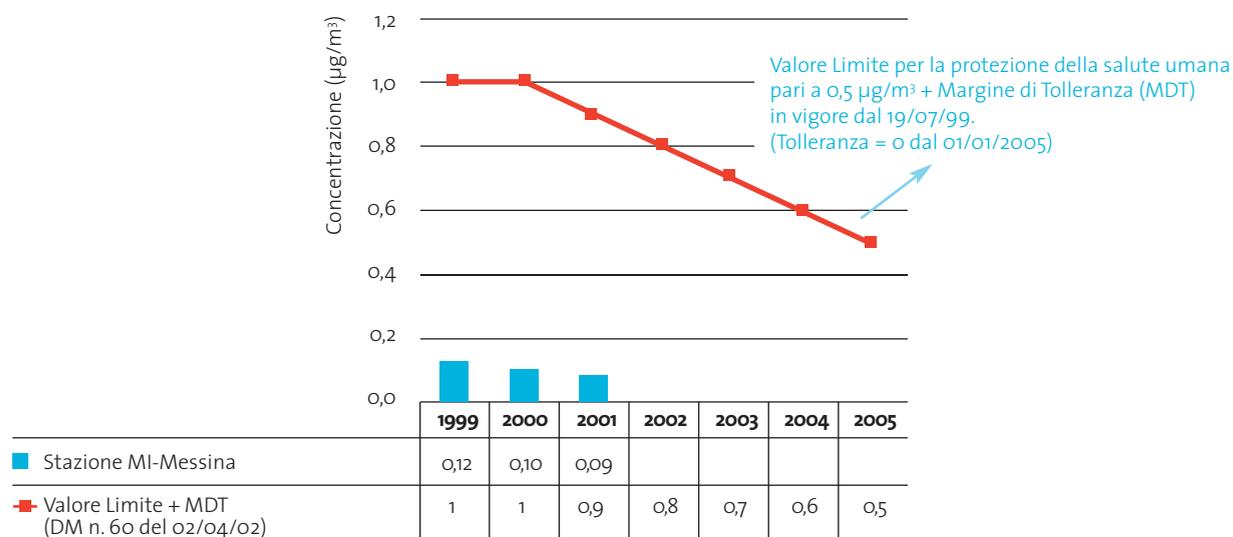


Figura 1.15 **Concentrazione media annuale di piombo a confronto con il Limite Legislativo [DM n. 60 del 2 aprile 2002]**  
 Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati ARPA Lombardia e Università degli Studi di Milano-Bicocca (2007)



# Inventario delle emissioni di inquinanti in atmosfera

## QUADRO DI RIFERIMENTO

Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 261 del 1° ottobre 2002 "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 artt. 8 e 9 del Decreto Legislativo n. 351 del 4 agosto 1999".  
Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006

*Le emissioni di sostanze inquinanti in atmosfera costituiscono la fonte di pressione antropica sulla qualità dell'aria di un determinato territorio. La combinazione delle emissioni assieme con le condizioni meteorologiche locali (si veda Scheda 1.9), che hanno una funzione determinante nel trasporto e/o rimozione delle sostanze immesse in atmosfera anche in zone esterne al territorio comunale, determina i livelli delle concentrazioni in aria per ciascun inquinante (si vedano Schede da 1.1 a 1.6). Inoltre, sui livelli delle emissioni in atmosfera derivanti dalle diverse fonti hanno un ruolo le attività di controllo sulle emissioni stesse (si veda Scheda 1.11).*

*Ai fini dell'elaborazione di piani e programmi per la riduzione dell'inquinamento atmosferico è di fondamentale importanza l'Inventario delle emissioni (DM n. 261 del 1° ottobre 2002), ossia una collezione il più possibile dettagliata (sia sul piano temporale che su quello spaziale) di tutte le informazioni relative alle sostanze inquinanti immesse in atmosfera dalle diverse sorgenti emissive in un dato territorio e in un determinato periodo di tempo. L'inventario delle emissioni è utilizzato per la pianificazione degli interventi a scala nazionale e*

I quadro delle emissioni complessive in atmosfera nel territorio del Comune di Milano suddivise per le diverse fonti è qui riportato nei valori assoluti (Tabella 1.13) e nei contributi percentuali per i principali inquinanti (Figura 1.17) e gruppi di inquinanti (Tabella 1.14 e Figura 1.17). In Tabella 1.15 e in Tabella 1.16 si riporta il contributo delle emissioni del Comune di Milano rispetto a quelle relative al territorio provinciale. In Tabella 1.17 è riportato, per ciascun inquinante considerato, il contributo percentuale delle emissioni stimate con approccio *Bottom-up* rispetto alle emissioni complessive stimate dall'inventario per ciascun inquinante.

### Metodologia di valutazione delle emissioni complessive in atmosfera

L'Inventario delle emissioni in atmosfera del Comune

*regionale, ma anche a livello urbano, se redatto con il sufficiente livello di dettaglio, costituisce uno strumento di lavoro per le politiche di risanamento della qualità dell'aria, e consente di indirizzare le azioni di intervento a scala locale e alla microscala. L'inventario costituisce, inoltre, un input fondamentale per i modelli di dispersione degli inquinanti in atmosfera, importanti strumenti di supporto alle decisioni (si veda Scheda 1.12).*

*Agenzia Mobilità e Ambiente ha realizzato il primo "Inventario delle emissioni in atmosfera del Comune di Milano", conducendo uno studio specifico sulle fonti ritenute prioritarie a scala locale. I risultati di questo studio - che copre la maggior parte delle emissioni per quasi tutti gli inquinanti - costituiscono il primo passo verso la definizione di un inventario delle emissioni per l'area urbana di Milano completamente realizzato con approccio di tipo *Bottom-up* (si veda glossario) e costituiscono una importante fonte di validazione degli inventari nazionali e regionali che utilizzano l'approccio di tipo *Top-Down* (si veda glossario) nella disaggregazione spaziale per ottenere le emissioni dei grandi centri urbani.*

di Milano – anno 2005 (AMA, 2007c) contiene la miglior stima delle emissioni complessive in atmosfera attualmente disponibile per il territorio comunale relativa all'anno 2005.

Tale valutazione è stata ottenuta da Agenzia Mobilità e Ambiente – nell'ambito delle attività istituzionali che la stessa svolge per conto dell'Amministrazione comunale – attraverso la combinazione dei risultati di uno specifico studio condotto dalla stessa (AMA, 2007d) su alcuni macrosettori considerati prioritari nel contributo alle emissioni complessive in ambito urbano (Produzione energia e trasformazione combustibili, Combustione non industriale, Trasporto su strada, Trattamento e smaltimento dei rifiuti) e, per i rimanenti macrosettori, dei risultati forniti dall'inventario regionale INEMAR (INventario delle Emissioni in ARia), nella versione recentemente resa disponibile in *public review* riferita all'anno 2005

(ARPA/Regione Lombardia, 2007), apportando alcune revisioni ritenute necessarie.

L'Inventario delle emissioni in atmosfera del Comune di Milano – anno 2005 è stato redatto secondo la metodologia del progetto europeo *COoRdinated INformation on the AIR* (CORINAIR) – indicata nel relativo manuale di riferimento, la “EMEP/CORINAIR *Atmospheric Emission Inventory Guidebook*” – realizzata e aggiornata da una *Task Force* costituita da esperti di tutta Europa che operano nell'ambito di gruppi di lavoro (*Expert panel*) su alcune tematiche principali: combustione ed attività industriali, trasporti, agricoltura ed allevamento, natura, ecc.

L'Inventario, compilato secondo l'aggiornamento più recente della EMEP/CORINAIR *Guidebook* (EEA, 2006), contiene una stima degli inquinanti prodotti da numerose fonti accorpate in 11 tipologie di sorgenti, denominate 'macrosettori'. Ciascun macrosettore è poi suddiviso in 'settori' e a ciascuno di essi fanno capo diverse 'attività'.

Lo studio specifico svolto da Agenzia Mobilità e Ambiente ha indagato i seguenti macrosettori emissivi:

- produzione energia e trasformazione combustibili, per le attività di produzione energetica e termica realizzata da soggetti pubblici e privati (macrosettore 01 EMEP/CORINAIR);
- combustione non industriale (o in impianti termici civili), per le attività di riscaldamento, produzione di acqua calda e cottura cibi in edifici commerciali, istituzionali e residenziali (macrosettore 02 EMEP/CORINAIR);
- trasporto su strada per le emissioni allo scarico, evaporative e da attriti derivanti dalla circolazione veicolare (macrosettore 07 EMEP/CORINAIR);
- trattamento e smaltimento rifiuti, per i processi che avvengono in inceneritori di rifiuti, impianti di trattamento fanghi e acque reflue (macrosettore 09 EMEP/CORINAIR).

Tali macrosettori costituiscono i comparti che contribuiscono alla maggior parte delle emissioni prodotte sul territorio per la maggioranza degli inquinanti considerati (Tabella 1.17).

Di tutte le sorgenti dei macrosettori trattati in questo studio di dettaglio è stata effettuata la disaggregazione temporale delle emissioni dal livello annuo fino al livello orario, caratterizzandole anche per mese e tipologia di giorno (feriale, pre-festivo e festivo).

Per quanto concerne i macrosettori 01 e 09 (trattati come 'sorgenti puntuali' – si veda il glossario) le

valutazioni delle emissioni si basano sui risultati di uno specifico censimento delle fonti emissive effettuato mediante l'invio di questionari ai gestori degli impianti ubicati sul territorio del Comune di Milano e riferito all'anno 2005.

Le sorgenti del macrosettore 01 sono costituite da centrali di teleriscaldamento alimentate a gas naturale, mentre per quanto concerne il macrosettore 09 sono stati censiti tutti gli impianti di trattamento e smaltimento rifiuti: dagli impianti di termovalorizzazione dei rifiuti solidi urbani a quelli per il trattamento delle acque reflue residenziali e commerciali.

Lo strumento del censimento mediante questionari ha consentito di disporre di informazioni con elevato livello di dettaglio:

- sull'indicatore di attività della sorgente e sulla sua distribuzione temporale;
- sulle tecnologie adottate per la combustione/trattamento dei rifiuti;
- sui sistemi di abbattimento delle emissioni utilizzati;
- sui fattori di emissione specifici, derivanti per diversi inquinanti direttamente da misurazioni effettuate a camino per obbligo di legge.

Per gli inquinanti per cui non erano disponibili misure a camino si è fatto riferimento a stime effettuate mediante la metodologia EMEP/CORINAIR sopra citata, che fornisce anche il set dei fattori di emissione più probabili, in quanto derivanti da una vasta analisi di letteratura aggiornata, ad integrazione di questi, ai fattori di emissione forniti dal database nazionale APAT/CTN-ACE (APAT/CTN-ACE, 2004).

Agenzia ha poi stimato le emissioni da trasporto su strada (macrosettore 07) mediante il programma COPERT IV, adottato come riferimento dalla metodologia EMEP/CORINAIR (EEA, 2006) per le emissioni allo scarico. Della stessa fonte si è assunta la metodologia per il calcolo delle emissioni di particolato da attrito.

Le valutazioni di dettaglio su questo macrosettore sono contenute nella Scheda 1.8.

Per la valutazione delle emissioni del macrosettore 02 (trattato come 'sorgente diffusa' – si veda il glossario) si è fatto riferimento alla stima dei consumi di gas naturale e di combustibili liquidi nel settore civile elaborata dalla stessa Agenzia (AMA, 2007e) sulla base dei dati forniti dai gestori della rete di distribuzione del gas naturale e dei dati derivanti dai controlli periodici degli impianti termici previsti dalla normativa in vigore (si veda Cap. 2 – “Campagna di controllo degli

impianti termici”). La stima dei consumi è stata effettuata in riferimento a unità territoriali sub-comunali e, di conseguenza, la stima delle emissioni possiede tale livello di disaggregazione spaziale.

Nella valutazione delle emissioni sono stati distinti impianti autonomi e centralizzati anche per poter considerare, in fase di elaborazione, differenze nei fattori di emissione e/o nella disaggregazione temporale delle stesse.

I fattori di emissione adottati per la stima delle emissioni del macrosettore 02 sono frutto di una ricerca bibliografica dedicata, relativa alle varie tipologie di combustibili e caldaie, che ha dato maggior rilievo a studi e campagne di misura riguardanti la situazione italiana e lombarda. A tale scopo sono stati interpellati anche gli enti di controllo sul territorio, e altri soggetti interessati per eventuali aggiornamenti, circa le ultime indagini effettuate per la valutazione e la revisione dei fattori di emissione relativi alle caldaie in uso nell'area milanese.

In merito alle emissioni prodotte da impianti alimentati a 'legna e similari' si è preferito fare riferimento al dato fornito dall'inventario regionale INEMAR 2005 *public review* – nel seguito indicato come “INEMAR 2005 pr” – per la cui valutazione sono stati considerati i risultati di uno specifico e recentissimo studio condotto sul territorio con dettaglio comunale. I risultati di studi analoghi disponibili in precedenza (FLA et al., 2006) a livello provinciale fornivano elementi per la valutazione dei consumi di legna e similari ritenuti non adatti alla realtà del Comune di Milano, in considerazione della differenza di tipologie abitative tra territorio provinciale e comunale. Va sottolineato come le stime delle emissioni relative a questo settore costituiscano tuttora un argomento su cui la comunità scientifica internazionale ritiene necessari approfondimenti sia per quanto concerne la valutazione dei fattori di emissione che per la determinazione degli indicatori di attività che vanno a caratterizzare i reali consumi e le tipologie di utilizzo di questo combustibile nel macrosettore in questione.

La fonte informativa INEMAR 2005 pr (ARPA/Regione Lombardia, 2007), adottata da Agenzia per la descrizione delle emissioni nei restanti macrosettori, costituisce l'inventario delle emissioni complessive più recente disponibile sul territorio fino ad oggi ma, trattandosi di un inventario a scala regionale, utilizza un approccio di tipo *top-down* (si veda glossario) per il calcolo delle emissioni a livello comunale e quindi le ottiene sulla base di variabili surrogate o *proxy* (es.

popolazione residente, numero di addetti per comparto produttivo, superfici adibite a determinati utilizzi, ecc.) che talvolta non possiedono il livello di dettaglio necessario per rappresentare compiutamente la realtà locale.

Nel caso del Comune di Milano le principali incertezze nell'utilizzare i dati derivanti dall'inventario regionale INEMAR, per ricostruire il quadro completo del contributo delle diverse sorgenti inquinanti alle emissioni totali comunali, si riconducono ai comparti dell'industria (macrosettore 03 e 04), dell'uso dei solventi (macrosettore 06), dell'agricoltura (macrosettore 10) e delle sorgenti mobili diverse dal trasporto su strada (macrosettore 08).

Nell'attesa di condurre studi specifici sui suddetti macrosettori, Agenzia ha effettuato quindi una operazione di scorporo di alcune attività (produttive e agricole) non ritenute ad un primo esame compatibili con la natura di centro urbano in cui si concentrano soprattutto attività del settore terziario. Ciò risulta coerente con il profilo del contributo relativo delle fonti rappresentato nell'Inventario Provinciale delle Emissioni Atmosferiche (Provincia di Milano, 2002) – adottato fino ad ora da Agenzia come riferimento (AMA, 2005) – che, costituendo un'indagine a scala locale, aveva potuto svolgersi con accertamenti più puntuali sul territorio.

In Tabella 1.13 non viene riportato il dato relativo alle emissioni complessive annue di benzene in quanto né l'inventario regionale INEMAR 2005 pr, né lo studio di dettaglio di Agenzia (AMA, 2007d) riportano questo inquinante a causa della mancanza di fattori di emissione affidabili in letteratura. Le emissioni di questo inquinante risultano comunque incluse nella voce COVNM (Composti Organici Volatili Non Metanici). Anche per quanto riguarda il PM1 in letteratura non sono risultati reperibili fattori di emissione per tutte le sorgenti emissive e con un sufficiente livello di affidabilità.

Le emissioni di gas serra, sostanze acidificanti e precursori dell'ozono riferibili al territorio del Comune di Milano riportate in Tabella 1.14 sono state ottenute sulla base delle stime delle emissioni di cui alla Tabella 1.13. Per le valutazioni di dettaglio sulle emissioni di gas serra (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O) si rimanda al Cap. 2 – “Bilancio comunale delle emissioni di gas serra”.

Le emissioni totali di sostanze acidificanti raggruppano le sostanze in grado di contribuire all'acidificazione delle precipitazioni, pesandole con i rispettivi fattori di potenziale acidificazione: SO<sub>2</sub> (31,25), NO<sub>x</sub> (21,74) e NH<sub>3</sub> (58,82) (De Leeuw, 2002).

Le emissioni dei precursori dell'ozono troposferico comprendono quelle di NO<sub>x</sub>, COVNM, CH<sub>4</sub> e CO, pesandole con i rispettivi coefficienti di formazione dell'ozono troposferico, rispettivamente pari a 1,22, 1,0,014 e 0,11 (De Leeuw, 2002).

### **Ruolo delle diverse sorgenti emissive sulle emissioni complessive comunali**

Si osserva (Tabella 1.13 e Figura 1.17) che il traffico autoveicolare (macrosettore 07) costituisce la principale fonte di inquinamento per buona parte degli inquinanti: CO (88%), NO<sub>x</sub> (73%), PTS (71%), PM10 (69%), PM2.5 (66%), NH<sub>3</sub> (60%) e contribuisce a circa un terzo delle emissioni di CO<sub>2</sub> (31%) e di COVNM (31%). Il contributo del traffico prevale rispetto a quello delle altre fonti nelle emissioni di sostanze acidificanti (60%) e precursori dell'ozono (51%), mentre contribuisce a circa 1/3 delle emissioni di gas serra (29%).

La combustione negli impianti termici civili (macrosettore 02) costituisce la seconda fonte emissiva, in ordine di contributi percentuali. Ad essa è attribuita, infatti, la produzione della quasi totalità delle emissioni di SO<sub>2</sub> (97%), la maggior parte delle emissioni di N<sub>2</sub>O (69%) e CO<sub>2</sub> (53%) e circa 1/5 delle emissioni di NO<sub>x</sub> (21%) e particolato: PM2.5 (23%), PM10 (21%), PTS (19%). Questo macrosettore contribuisce alla metà delle emissioni di gas serra (51%), a circa 1/3 delle emissioni di sostanze acidificanti (32%) e a circa 1/10 delle emissioni di precursori dell'ozono (9%).

Le altre fonti, quali il trattamento di rifiuti e le attività comprendenti l'utilizzo o la produzione di solventi (a livello domestico, artigianale e industriale) danno contributi inferiori ma non trascurabili. In particolare, l'utilizzo e produzione di solventi (macrosettore 06) costituisce la principale fonte di emissioni di COVNM (58%) e contribuisce a poco più di 1/3 dei COV totali (39%) e a circa 1/3 delle emissioni di precursori dell'ozono (33%).

Il trattamento e smaltimento rifiuti (macrosettore 09), in particolare per effetto dei rifiuti solidi urbani, raggiunge un ruolo non indifferente in termini di emissioni di gas serra (11%) – CO<sub>2</sub> (12%), N<sub>2</sub>O (10%) e CH<sub>4</sub> (6%) – e mai segnalato dagli inventari finora disponibili sul territorio. Nello studio di Agenzia sono stati utilizzati i fattori di emissione forniti direttamente dal gestore dell'impianto Silla 2 che li ha ottenuti attraverso misure effettuate al camino. Va sottolineato comunque che tale impianto, seppure abbia gradualmente aumentato il quantitativo di rifiuti

trattati, opera contemporaneamente all'attività di smaltimento rifiuti una cogenerazione di energia elettrica e calore utilizzato per il teleriscaldamento (si veda Cap. 2 – “Cogenerazione e teleriscaldamento”).

Il contributo delle combustioni industriali (macrosettore 03) è risultato molto meno evidente (2% delle emissioni di CO<sub>2</sub>) di quanto riportato dall'Inventario Provinciale dell'anno 2000, preso a riferimento finora (AMA, 2005). Questa differenza evidenzia la necessità di svolgere un approfondito studio che consenta di conoscere le attività del comparto industriale che ancora persistono sul territorio del Comune di Milano. Si ritiene comunque che il dato fornito dall'Inventario delle emissioni del Comune di Milano – anno 2005 costituisca una stima ragionevole in base ad alcune prime verifiche effettuate.

L'agricoltura (macrosettore 10) contribuisce al 36% delle emissioni di NH<sub>3</sub>, al 5% delle emissioni di N<sub>2</sub>O, al 4% di quelle di CH<sub>4</sub> e al 3% delle sostanze acidificanti. Per questo settore verranno eseguiti approfondimenti in merito agli indicatori di attività disponibili con dettaglio sul territorio.

Le perdite di gas naturale dalla rete di distribuzione (macrosettore 05) contribuiscono alla maggior parte delle emissioni di CH<sub>4</sub> (84%).

Contributi poco significativi (7-9%) alle emissioni di particolato, ma da indagare, sono costituiti dal macrosettore 11 (Altre sorgenti e assorbimenti) in cui sono contemplati il fumo di sigaretta e i fuochi d'artificio. La valutazione delle emissioni per queste attività è sicuramente difficoltosa in quanto esistono fattori di emissione, ma soprattutto indicatori di attività, molto incerti. Lo stesso vale per il macrosettore 08 (Altre sorgenti mobili e macchinari) che riveste un ruolo importante che andrà verificato.

### **Disaggregazione temporale**

Va ricordato che le stime sopra riportate si riferiscono ad un bilancio globale annuale: in realtà, i contributi delle diverse fonti variano nel tempo in base alle modalità di funzionamento delle stesse; si pensi, ad esempio, al regime di accensione/spegnimento degli impianti di riscaldamento, ai cicli di funzionamento delle attività produttive e all'andamento nel corso dell'anno del traffico urbano. A titolo di esempio, si riporta la disaggregazione temporale a livello mensile delle emissioni di CO<sub>2</sub> da centrali di teleriscaldamento – macrosettore 01 (Figura 1.18) e delle emissioni di PM10 da impianti termici civili – macrosettore 02 (Figura 1.19). In quest'ultima non viene considerato il

combustibile 'legna e similari', in quanto non si dispone dei dati INEMAR 2005 pr con dettaglio mensile. In Figura 1.19 è possibile osservare l'effetto del divieto di utilizzo di olio combustibile a partire dalla stagione invernale 2005/2006 (DGR n. 17533 del 17/05/2004).

Per quanto concerne il traffico veicolare si riporta in Figura 1.20 l'andamento mensile delle emissioni suddivise in emissioni allo scarico e da attrito. È possibile osservare come le emissioni da attrito, legate sostanzialmente alle percorrenze effettuate, diminuiscano in modo evidente durante il mese di agosto, mentre le emissioni allo scarico subiscono variazioni anche per effetto della temperatura ambiente che, nei mesi invernali, incrementa il ruolo delle emissioni a freddo.

### Disaggregazione per combustibile

A titolo di esempio, si riporta in Figura 1.21 la ripartizione delle emissioni da impianti termici civili (macrosettore 02) di CO<sub>2</sub> e di PM10 differenziate per combustibile. Dal confronto di tali figure si può verificare come ad una prevalenza del metano nei consumi (69%), tracciata dalle emissioni di CO<sub>2</sub> (63% circa), corrisponda solo l'8% delle emissioni di PM10, in quanto questo combustibile è caratterizzato da fattori di emissione specifici molto bassi, al contrario del gasolio che, pur costituendo solo il 30% dei consumi e il 36% delle emissioni di CO<sub>2</sub>, contribuisce all'84% delle emissioni di PM10 prodotte dagli impianti termici civili in area urbana, a causa di fattori di emissione specifici più elevati.

Nelle figure citate non si considera il combustibile 'legna e similari' (non trattato dallo studio di dettaglio di Agenzia, seppur considerato nelle emissioni complessive di Tabella 1.13) in quanto a proposito delle emissioni derivanti da questo combustibile la comunità scientifica internazionale riconosce tuttora un elevato grado di incertezza, di cui si è già detto, legata alla difficoltà di definizione dei fattori di emissione corretti e nel reperimento di informazioni realistiche sull'indicatore di attività (es. effettivo consumo di questo combustibile). Si segnala comunque che, considerando anche il contributo della legna e similari alle emissioni complessive, così come definito dalla fonte INEMAR 2005 pr – che utilizza le migliori informazioni tuttora disponibili in termini di fattore di emissione e di indicatore di attività per il territorio – si ottiene un contributo del combustibile 'legna e similari' pari al 51% delle emissioni complessive di PM10, del gasolio pari al 41%, del metano del 4% e dell'olio combustibile del 4%.

In Figura 1.22 si riporta la ripartizione delle emissioni da traffico veicolare (macrosettore 07) di CO<sub>2</sub> e di PM10 allo scarico differenziate per combustibile. Si può osservare in questo caso che, ad un contributo pari a circa il 50% delle emissioni di CO<sub>2</sub> (e quindi di consumi di combustibile) corrisponde per il gasolio un contributo alle emissioni di PM10 pari all'84% delle emissioni allo scarico, per effetto dei maggiori fattori di emissione specifici dei veicoli alimentati con questo combustibile.

### Ruolo rispetto alle emissioni provinciali

In Tabella 1.15 è riportato il contributo percentuale delle emissioni totali nel Comune di Milano rispetto alle emissioni totali nella Provincia di Milano per i diversi inquinanti nell'anno 2000. Tale percentuale è stata calcolata partendo dalla valutazione delle emissioni nel Comune di Milano con riferimento alle emissioni totali a livello provinciale fornite da INEMAR 2005 pr (ARPA/Regione Lombardia, 2007). In Tabella 1.16 è riportato lo stesso tipo di informazione riferendosi però ai gruppi di inquinanti considerati (gas serra, sostanze acidificanti e precursori dell'ozono).

### Conclusioni e sviluppi futuri

Allo scopo di definire il ruolo di tutte le fonti emissive locali per i diversi inquinanti, Agenzia Mobilità e Ambiente ha realizzato il primo Inventario delle emissioni in atmosfera del Comune di Milano, conducendo uno studio di dettaglio sulle fonti ritenute prioritarie a scala locale: il traffico veicolare; la combustione in impianti termici ad uso civile e in centrali per il teleriscaldamento; il trattamento e lo smaltimento rifiuti.

I dati ottenuti da tale studio sui macrosettori 01, 02, 07, 09 sono stati integrati, con alcune revisioni ritenute opportune, con quelli dell'Inventario regionale INEMAR 2005 pr che copre tutti i macrosettori della Metodologia EMEP/CORINAIR. Questa operazione di confronto e integrazione tra inventario regionale e inventario locale ha evidenziato alcune importanti differenze (Moroni e Casadei, 2007) rispetto ai precedenti inventari disponibili per l'area, in particolare sui macrosettori dell'industria, dell'agricoltura, dell'uso di solventi e delle altre sorgenti mobili e macchinari, al momento non indagati con approccio di tipo *Bottom-up*.

Su tali macrosettori, ed in particolare per quelli che forniscono un elevato contributo alle emissioni di COV (inquinante risultato meno coperto dall'indagine di dettaglio), Agenzia effettuerà nel prossimo futuro approfondimenti in modo da poter pervenire ad una

valutazione completa del ruolo delle fonti emissive locali con approccio *Bottom-up*. Quest'ultimo consente infatti di utilizzare le informazioni con il maggior livello di dettaglio disponibile a livello locale e permette pertanto di ottenere una fotografia il più possibile precisa delle emissioni reali nell'area urbana.

Agenzia dopo aver completato l'analisi dei diversi macrosettori con indagini di dettaglio provvederà al periodico aggiornamento dell'inventario delle emissioni

del Comune di Milano. L'inventario delle emissioni è infatti uno strumento in continua evoluzione e va pertanto aggiornato con una certa frequenza per poter cogliere le variazioni che avvengono nell'utilizzo delle tecnologie disponibili per l'abbattimento delle emissioni nei diversi macrosettori, i cambiamenti nell'utilizzo dei combustibili, negli standard di processo e nelle abitudini dei cittadini, che si riflettono sui consumi energetici e, quindi, sulle emissioni in atmosfera.

Tabella 1.13 **Emissioni di inquinanti in atmosfera nel territorio del Comune di Milano, anno 2005** – Fonte: *Inventario delle Emissioni in Atmosfera del Comune di Milano – anno 2005 (AMA, 2007c) su dati AMA, 2007d e ARPA/Regione Lombardia, 2007*

<b>FONTE EMISSIVE</b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>COVNM</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>COV</b>	<b>PTS</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2.5</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>NH<sub>3</sub></b>
<b>(classificazione EMEP/CORINAIR)</b>	<b>(t/anno)</b>	<b>(t/anno)</b>	<b>(t/anno)</b>	<b>(t/anno)</b>	<b>(t/anno)</b>	<b>(t/anno)</b>	<b>(t/anno)</b>	<b>(t/anno)</b>	<b>(t/anno)</b>	<b>(kt/anno)</b>	<b>(t/anno)</b>	<b>(t/anno)</b>
<b>01 Produzione energia e trasformazione combustibili</b>	23,2	75,1	0,3	4,4	4,4	8,8	1,1	1,1	1,1	98,4	5,3	-
<b>02 Combustione non industriale</b>	3.108,8	2.233,1	1.581,8	676,9	305,7	982,6	187,8	181,3	174,6	3.058,0	324,1	3,0
<b>03 Combustione industriale</b>	593,4	102,0	11,8	54,4	9,1	63,5	11,6	8,3	6,7	130,2	8,6	0,7
<b>04 Processi produttivi</b>	-	-	-	670,0	-	670,0	-	-	-	-	-	-
<b>05 Estrazione e distribuzione combustibili</b>	-	-	-	1.087,2	10.025,5	11.112,6	-	-	-	-	-	-
<b>06 Uso solventi</b>	-	-	-	12.950,1	-	12.950,1	-	-	-	-	-	-
<b>07 Trasporto su strada</b>	31.859,6	7.945,2	29,6	6.979,0	370,6	7.349,5	727,4	612,2	503,5	1.750,7	62,9	251,8
<b>08 Altre sorgenti mobili e macchinari</b>	128,4	7,9	0,2	66,3	0,7	66,9	1,0	1,0	0,5	0,9	0,2	0,0
<b>09 Trattamento e smaltimento rifiuti</b>	23,7	401,0	6,6	8,7	708,7	717,3	0,4	0,4	0,3	663,6	47,6	13,0
<b>10 Agricoltura</b>	223,9	13,0	-	10,9	476,6	487,5	16,8	11,6	9,8	-	22,7	150,1
<b>11 Altre sorgenti e assorbimenti</b>	106,0	-	-	0,3	-	0,3	67,0	67,0	67,0	-	-	-
<b>TOTALE</b>	<b>36.067,0</b>	<b>10.777,3</b>	<b>1.630,3</b>	<b>22.508,2</b>	<b>11.901,3</b>	<b>34.409,1</b>	<b>1.013,1</b>	<b>882,9</b>	<b>763,5</b>	<b>5.701,8</b>	<b>471,4</b>	<b>418,6</b>

Tabella 1.14 **Emissioni di Gas serra, Sostanze Acidificanti e Precursori dell'Ozono nel territorio del Comune di Milano, anno 2005** – Fonte: *Inventario delle Emissioni in Atmosfera del Comune di Milano – anno 2005 (AMA, 2007c) su dati AMA, 2007d e ARPA/Regione Lombardia, 2007*

<b>FONTI EMISSIVE</b> <b>(classificazione EMEP/CORINAIR)</b>	<b>Gas Serra</b> <b>(CO<sub>2</sub> equivalente)</b> <b>(kt/anno)</b>	<b>Sostanze</b> <b>acidificanti (H<sup>+</sup>)</b> <b>(kt/anno)</b>	<b>Precursori dell'Ozono</b> <b>Troposferico</b> <b>(t/anno)</b>
<b>01 Produzione energia e trasformazione combustibili</b>	100,1	1,6	98,7
<b>02 Combustione non industriale</b>	3.164,9	98,2	3.747,4
<b>03 Combustione industriale</b>	133,0	2,6	244,2
<b>04 Processi produttivi</b>	-	-	670,0
<b>05 Estrazione e distribuzione combustibili</b>	210,5	-	1.227,5
<b>06 Uso solventi</b>	117,0	-	12.950,1
<b>07 Trasporto su strada</b>	1.778,0	188,5	2.0181,9
<b>08 Altre sorgenti mobili e macchinari</b>	1,0	0,2	90,1
<b>09 Trattamento e smaltimento rifiuti</b>	693,3	9,7	510,4
<b>10 Agricoltura</b>	17,0	9,1	58,1
<b>11 Altre sorgenti e assorbimenti</b>	-	-	12,0
<b>TOTALE</b>	<b>6.214,8</b>	<b>309,9</b>	<b>39.790,4</b>

Tabella 1.15 **Contributo percentuale delle emissioni totali nel Comune di Milano (AMA, 2007c) rispetto alle emissioni totali nella Provincia di Milano (ARPA/Regione Lombardia, 2007c) per i diversi inquinanti, anno 2005** – Fonte: *elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati AMA, 2007c e ARPA/Regione Lombardia, 2007*

<b>INQUINANTI</b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>COVNM</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>COV</b>	<b>PTS</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2.5</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>NH<sub>3</sub></b>
<b>Contributo percentuale</b>	35%	21%	31%	19%	18%	18%	19%	19%	20%	27%	22%	5%

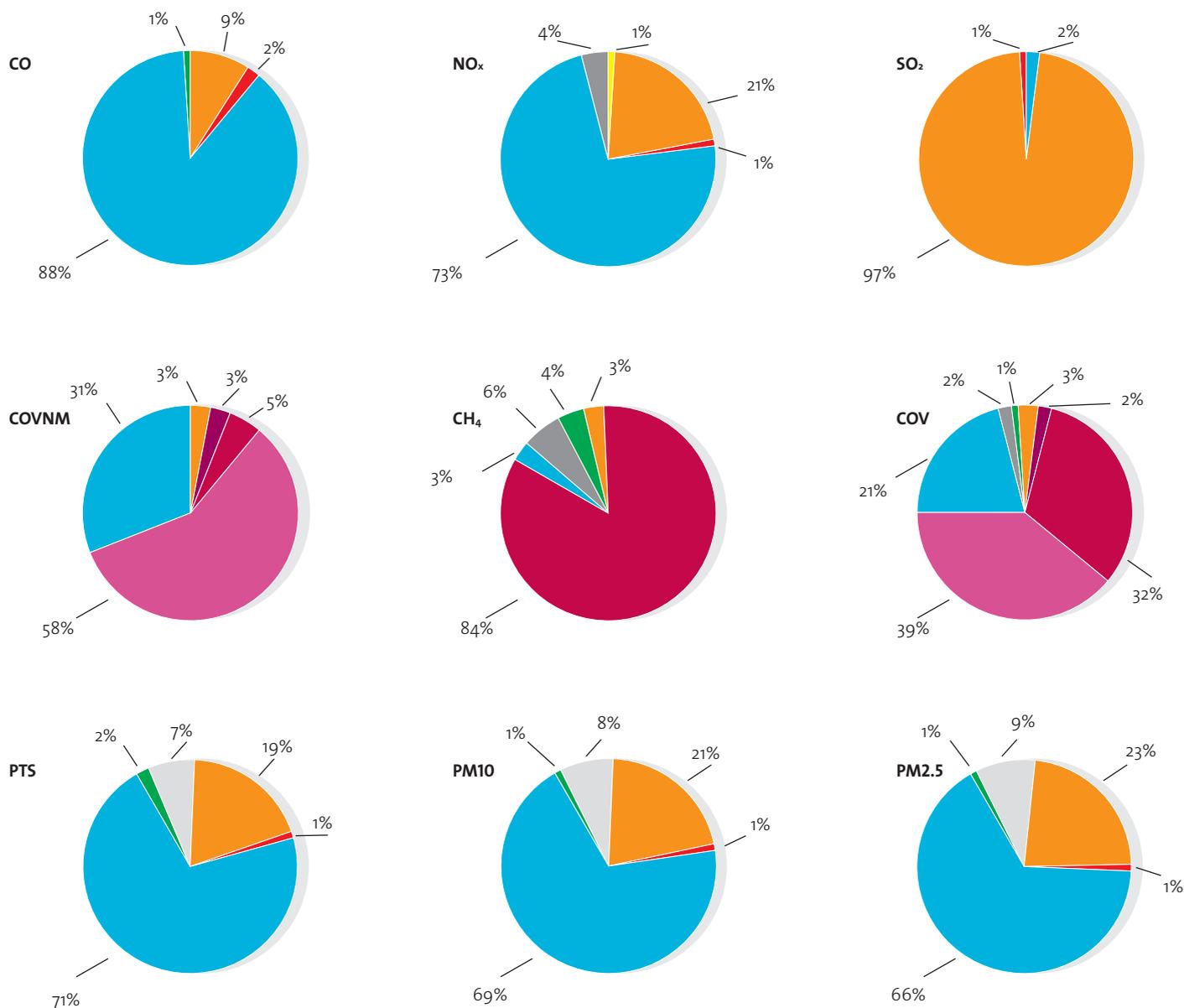
Tabella 1.16 **Contributo percentuale delle emissioni totali nel Comune di Milano (AMA, 2007e) rispetto alle emissioni totali nella Provincia di Milano (ARPA/Regione Lombardia, 2007) per Gas Serra, Sostanze Acidificanti e Precursori dell'Ozono, anno 2005** – Fonte: *elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati AMA, 2007c e ARPA/Regione Lombardia, 2007*

<b>Gruppi di INQUINANTI</b>	<b>Gas Serra</b> <b>(CO<sub>2</sub> equivalente)</b>	<b>Sostanze</b> <b>acidificanti</b>	<b>Precursori dell'Ozono</b> <b>Troposferico</b>
<b>Contributo percentuale</b>	26%	18%	20%

Tabella 1.17 **Contributo percentuale delle emissioni valutate da Agenzia (AMA, 2007d) con approccio Bottom-up rispetto alle emissioni totali stimate per il Comune di Milano da Agenzia (AMA, 2007c) per i diversi inquinanti, anno 2005** – Fonte: *Agenzia Mobilità e Ambiente (2007)*

<b>INQUINANTI</b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>COVNM</b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>COV</b>	<b>PTS</b>	<b>PM10</b>	<b>PM2.5</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>NH<sub>3</sub></b>
<b>Contributo percentuale</b>	92%	99%	99%	32%	11%	25%	81%	88%	77%	92%	63%	98%

Figura 1.17 **Contributo percentuale delle diverse fonti emissive per i diversi inquinanti e gruppi di inquinanti nel territorio del Comune di Milano, anno 2005** – Fonte: *Inventario delle Emissioni in Atmosfera del Comune di Milano – anno 2005 (AMA, 2007c) su dati AMA, 2007d e ARPA/Regione Lombardia, 2007*



- Prod. energia e trasform. combustibili
- Combustione non industriale
- Combustione nell'industria
- Processi produttivi
- Estrazione e distrib. combustibili
- Uso di solventi
- Trasporto su strada
- Altre sorgenti mobili e macchinari
- Trattamento e smaltimento rifiuti
- Agricoltura
- Altre sorgenti e assorbimenti

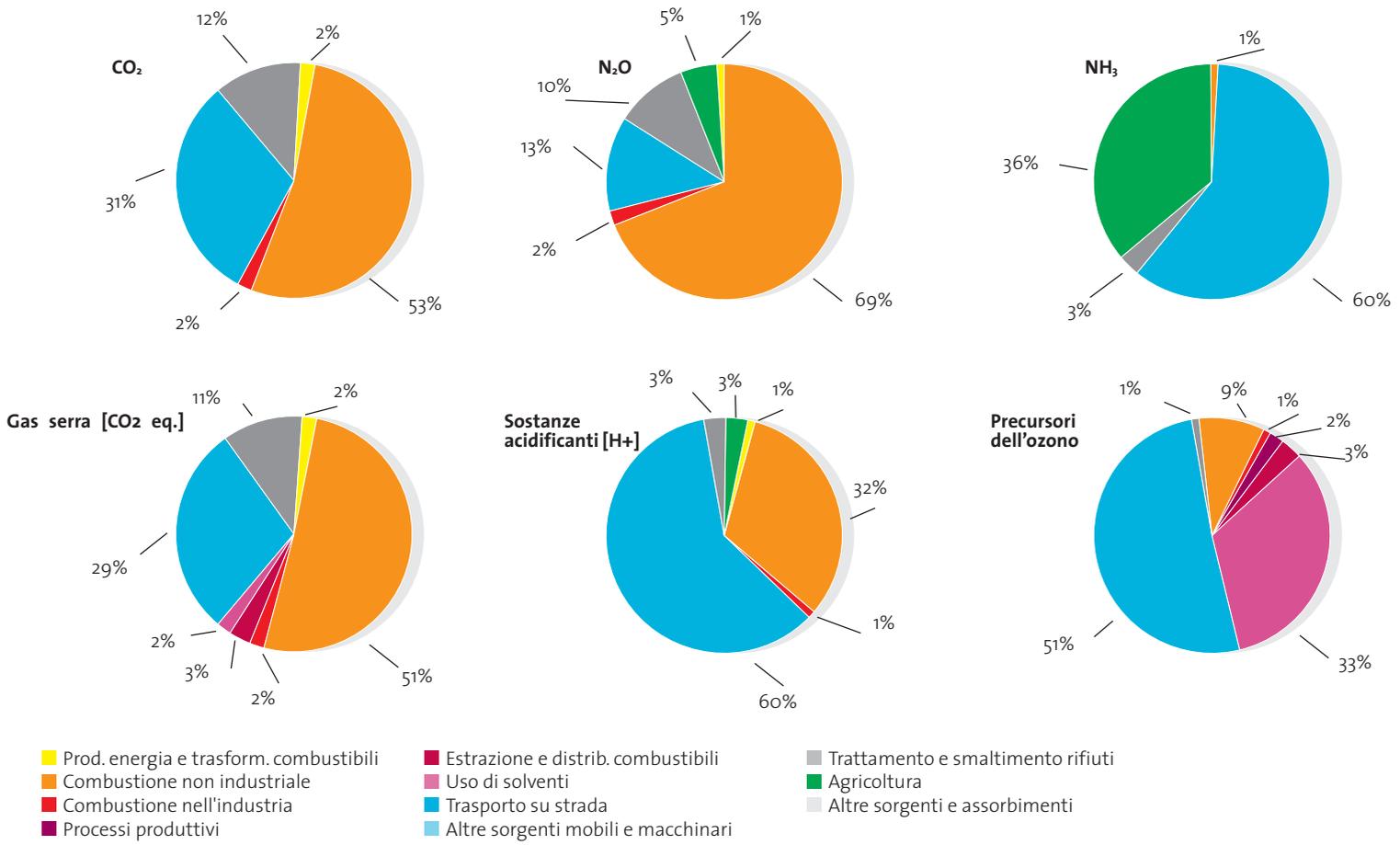


Figura 1.18 **Distribuzione percentuale a livello mensile delle emissioni di CO<sub>2</sub> da centrali di teleriscaldamento (macrosettore o1) nel Comune di Milano, anno 2005** – Fonte: *Inventario delle emissioni del Comune di Milano – anno 2005 (AMA, 2007d)*

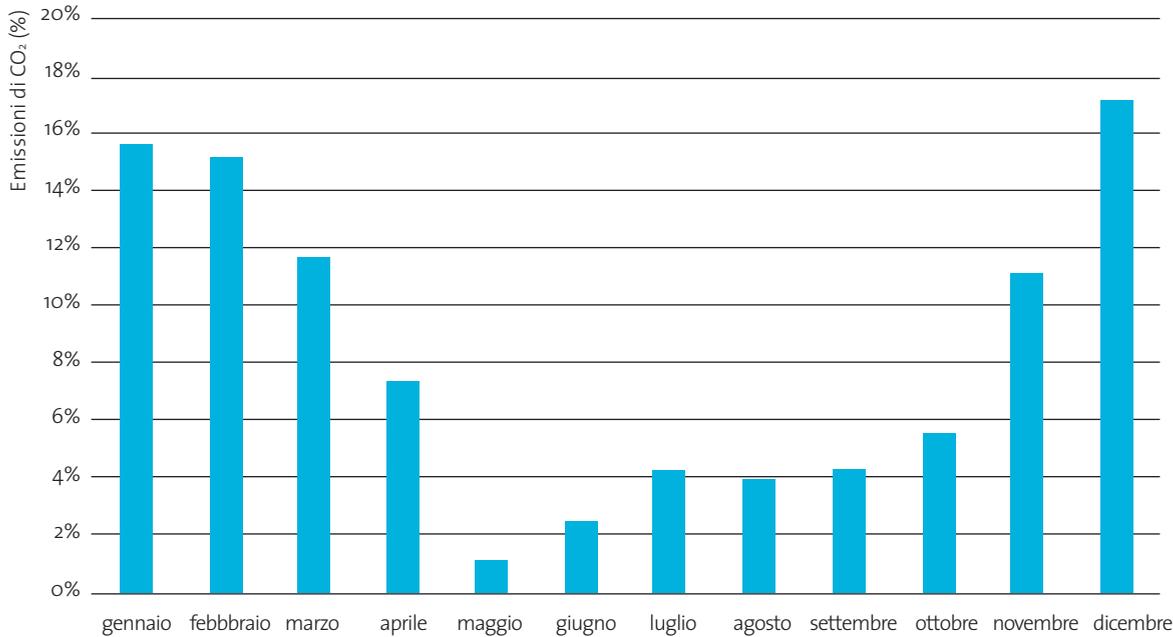


Figura 1.19 **Distribuzione percentuale a livello mensile delle emissioni di PM10 da impianti termici civili (macrosettore 02) differenziate per combustibile (esclusa legna e similari) nel Comune di Milano, anno 2005** – Fonte: *Inventario delle emissioni del Comune di Milano - anno 2005 (AMA, 2007d)*

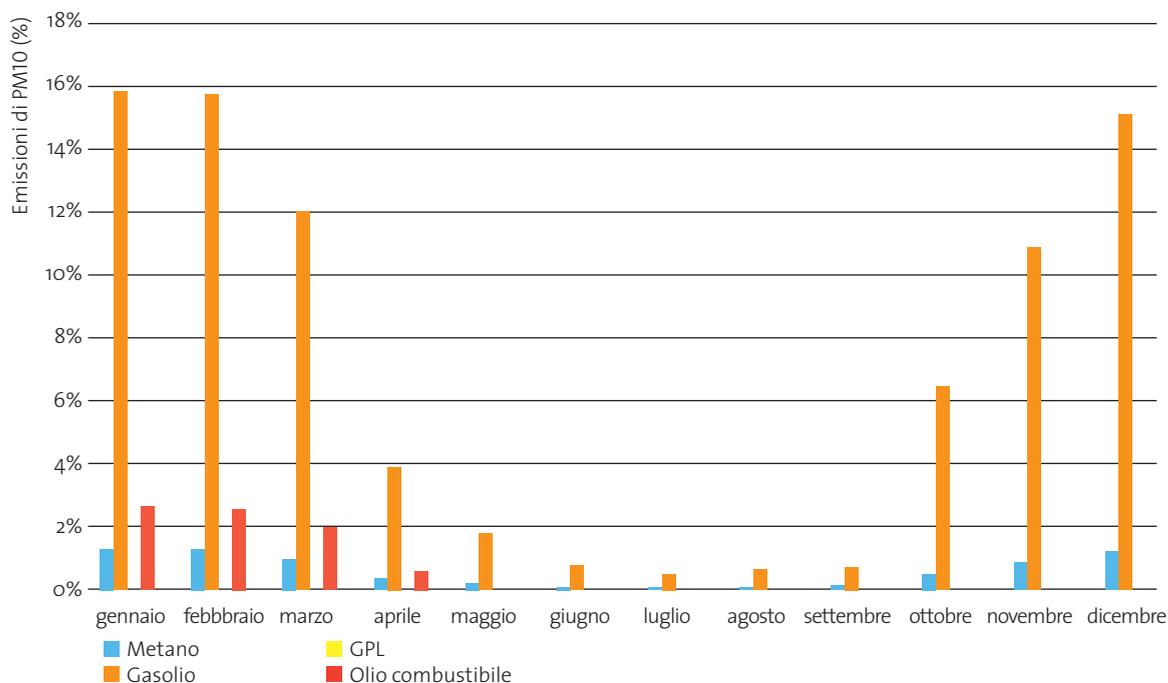


Figura 1.20 **Distribuzione percentuale a livello mensile delle emissioni di PM10 da trasporto su strada (macrosettore 07) differenziate per emissioni allo scarico e da attrito nel Comune di Milano, anno 2005** – Fonte: *Inventario delle emissioni del Comune di Milano - anno 2005 (AMA, 2007d)*

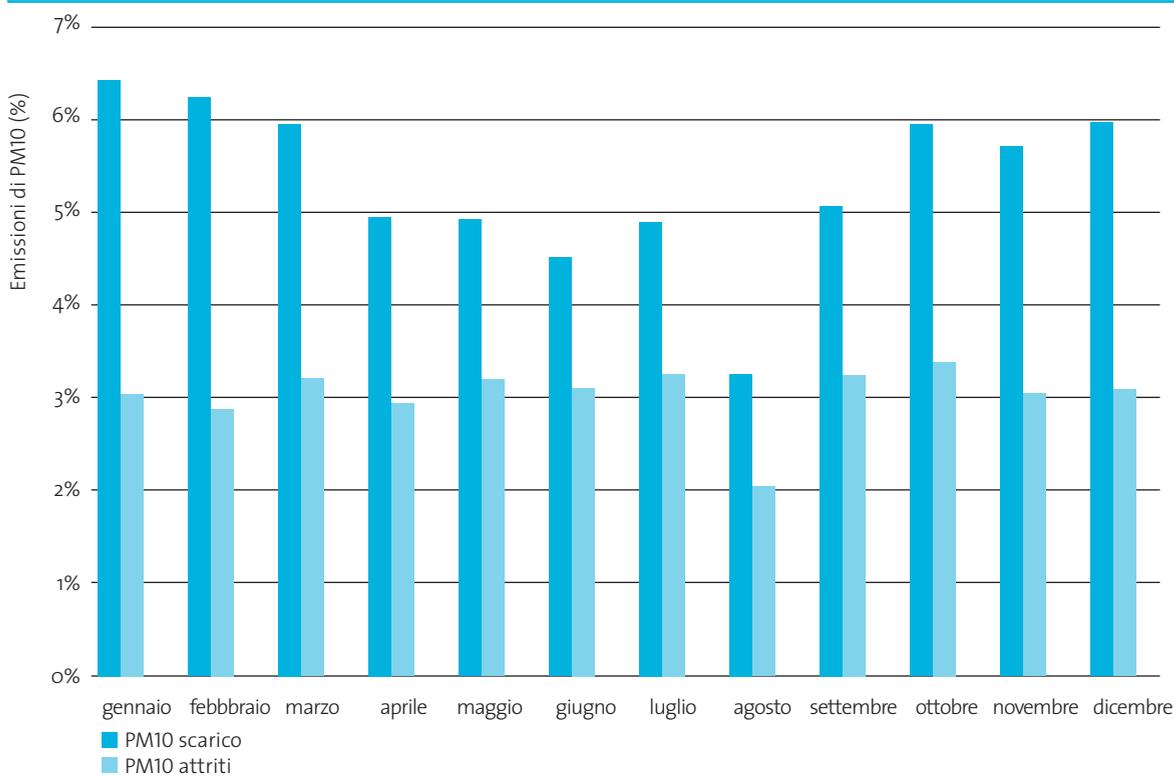


Figura 1.21 Emissioni annue di CO<sub>2</sub> e PM10 da impianti termici civili (macrosettore o2) distinte per combustibile (escluse legna e similari) nel Comune di Milano, anno 2005 – Fonte: Inventario delle emissioni del Comune di Milano – anno 2005 (AMA, 2007d)

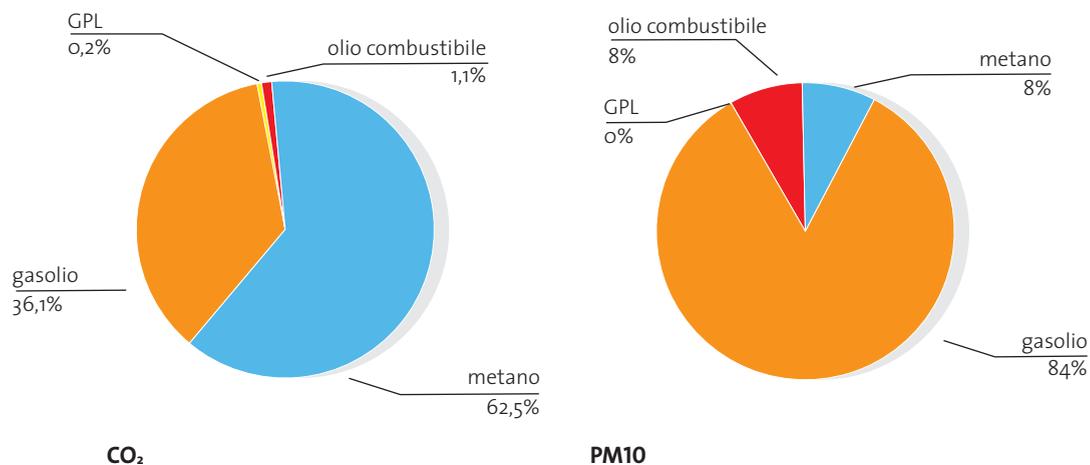
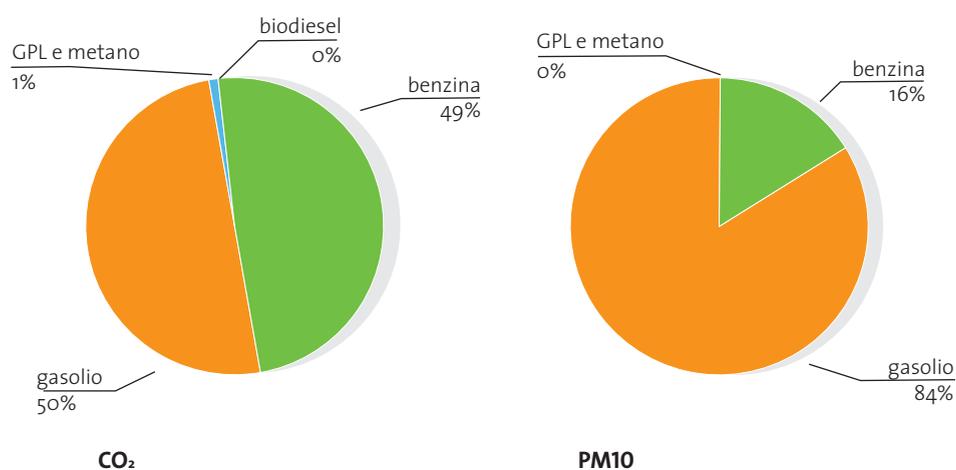


Figura 1.22 Emissioni annue di CO<sub>2</sub> e PM10 allo scarico da trasporto su strada (macrosettore o7) distinte per combustibile nel Comune di Milano, anno 2005 – Fonte: Inventario delle emissioni del Comune di Milano – anno 2005 (AMA, 2007d)



# Emissioni di inquinanti in atmosfera da traffico veicolare

## QUADRO DI RIFERIMENTO

Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 60 del 2 aprile 2002 "Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 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".

Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 261 del 1° ottobre 2002 "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 artt. 8 e 9 del Decreto Legislativo n. 351 del 4 agosto 1999".

*Il traffico veicolare costituisce una delle principali fonti emissive per buona parte degli inquinanti atmosferici (si veda Scheda 1.7).*

*Pertanto una particolare attenzione viene rivolta alla stima delle emissioni da traffico stradale, effettuata per il territorio milanese da Agenzia Mobilità e Ambiente, nell'ambito delle attività istituzionali svolte per conto dell'Amministrazione comunale.*

*Le metodologie per la stima delle emissioni da traffico veicolare sono oggetto di periodici aggiornamenti, conseguenti a ricerche scientifiche condotte a livello internazionale.*

*Questo fatto, insieme al continuo miglioramento delle conoscenze sui dati di traffico nella città di Milano, ha suggerito l'adozione (a partire da quest'anno) di una nuova metodica di cui Agenzia si sta progressivamente dotando.*

*Tale metodica segue gli sviluppi di specifiche attività finalizzate al perfezionamento di un sistema modellistico di supporto alle decisioni, attualmente in fase di completamento (si veda Scheda 1.12).*

*Particolare attenzione viene dedicata ad una più semplice procedura per la riproducibilità delle stime e al loro agevole aggiornamento in caso di disponibilità di nuovi dati. Questo approccio è stato adottato già a partire dalla presente pubblicazione e, pertanto, sono qui riportati non solo le stime di emissione da traffico di Milano riferite all'anno 2005, ma anche l'aggiornamento delle stime al 2003 in base ai nuovi dati e metodologie che non erano a disposizione al tempo della precedente edizione della Relazione sullo Stato dell'Ambiente (AMA, 2005).*

*La stima delle emissioni atmosferiche da traffico veicolare è effettuata sulla base della metodologia comunitaria COPERT IV, recente aggiornamento della precedente versione III di COPERT, e applicati in funzione del dettaglio spazio-temporale dei più recenti dati di traffico a disposizione. Ricordiamo che la metodologia COPERT è integralmente recepita dall'European Environment Agency nella EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook (EEA, 2006).*

## Stima dei dati di traffico

Per quanto riguarda i dati di traffico utilizzati per la stima delle emissioni atmosferiche, la metodologia si basa sui risultati di modelli matematici per l'assegnazione veicolare sulla rete stradale di Milano. Al momento attuale è in corso una revisione di tali procedure che non è ancora giunta a conclusione, pertanto i valori di emissione qui riportati si riferiscono di fatto alle percorrenze stimate sulla base dei dati di mobilità del 2001 (AMA, 2004). A differenza della precedente Relazione sullo Stato dell'Ambiente (AMA, 2005), tuttavia, per il lavoro qui illustrato sono stati ricalibrati i parametri di espansione delle percorrenze giornaliere all'intero anno solare in base a coefficienti numerici meglio documentati per i diversi tipi di giorno (feriale, festivo, periodo scolastico o meno, blocchi del traffico ecc.), ora a disposizione a seguito di specifiche analisi della serie storica dei conteggi di traffico di

Milano (AMA, 2006). I parametri di espansione delle percorrenze dal valore giornaliero a quello annuale adottati per il presente studio sono pari a 321,5 per il 2003 e 319,9 per il 2005. Quest'ultimo valore è inferiore rispetto a quello del 2003 a motivo anche dei provvedimenti regionali per il contenimento e la prevenzione di episodi acuti di inquinamento atmosferico (blocco dei veicoli pre-Euro, blocco totale, targhe alterne) che sono stati adottati in un numero di giornate maggiore nel 2005 rispetto a due anni prima. A seguito di tale ricalibrazione, e non avendo a disposizione dati sperimentali che possano confermare eventuali significative differenze tra il 2001 e il 2003 in termini di flussi veicolari complessivi (AMA, 2006), le percorrenze annue totali dell'anno 2003 sulla città di Milano sono state stimate in circa 7,51 miliardi di chilometri, di cui l'80% circa attribuito alle autovetture, il 10% circa ai veicoli commerciali e il 9% circa ai veicoli a due ruote.

Per quanto riguarda il 2005, oltre al diverso coefficiente di espansione sopra citato è da evidenziare una riduzione complessiva dei flussi veicolari, rilevata dai sistemi di conteggio del traffico del Comune di Milano, dell'ordine del 3% rispetto al 2003 (AMA, 2006). Tenendo conto di queste ipotesi di lavoro, le percorrenze annue totali dell'anno 2005 sulla città di Milano sono state stimate in circa 7,27 miliardi di chilometri, con una ripartizione tra le classi veicolari simile rispetto a quella del 2003, anche se leggermente più sbilanciate verso i veicoli a due ruote. Al momento della redazione di questo documento non erano ancora disponibili indicazioni sperimentali consolidate circa le velocità medie annue di percorrenza, che pertanto sono state assunte pari a 30 km/h per entrambi gli anni sulla base delle simulazioni condotte con il modello di assegnazione del traffico.

### Stima delle emissioni da traffico veicolare

Per eseguire la stima delle emissioni atmosferiche da traffico veicolare, relative agli anni 2003 e 2005, è stato direttamente utilizzato il programma COPERT IV (Gkatzoflias et al., 2006), il cui sviluppo è patrocinato dall'Agenzia Europea dell'Ambiente e viene pubblicamente distribuito dal Dipartimento di Termodinamica Applicata dell'Università "Aristotele" di Salonicco, Grecia (<http://lat.eng.auth.gr/copert/>). Il programma calcola le emissioni complessive da traffico veicolare a partire da dati annui di percorrenza sull'intera rete stradale considerata e, vista l'ufficialità dello strumento modellistico, costituisce un importante momento di confronto per ogni tipo di simulazione di lungo periodo che voglia applicare la metodologia COPERT IV.

Oltre alle percorrenze complessive e alle velocità medie di percorrenza, di cui si è già riferito in precedenza, i principali dati utilizzati in input dal programma COPERT IV sono i seguenti:

- temperatura ambiente. COPERT IV richiede i valori di temperatura minima e massima per ogni mese dell'anno. A questo scopo sono stati utilizzati rispettivamente il 2° e il 98° percentile mensile dei valori orari di temperatura rilevati nel corso del 2003 e del 2005 dalla stazione della Rete della Qualità dell'Aria dell'ARPA Lombardia sita in via Juvara. Si è scelto di usare i percentili per non utilizzare singoli valori estremi che in realtà non risultano significativi ai fini di una caratterizzazione media mensile;
- principali caratteristiche dei carburanti, per le quali si è riferito alle indagini 2003 e 2005 sulla qualità dei carburanti venduti in Italia periodicamente

eseguita dall'Unione Petrolifera;

- composizione del parco veicolare circolante, che viene stimato a partire dai dati pubblici di consistenza dei veicoli immatricolati in Milano e Provincia distribuiti da ACI ([www.aci.it](http://www.aci.it)), e integrati con altre informazioni relative ai veicoli a due ruote (forniti da ANCMA Associazione Nazionale Ciclo Motociclo Accessori, [www.ancma.it](http://www.ancma.it)) ed ai mezzi pubblici locali (ATM Azienda Trasporti Milanese, [www.atm-mi.it](http://www.atm-mi.it); AMSA Azienda Milanese Servizi Ambientali, [www.amsa.it](http://www.amsa.it)). La composizione del parco circolante viene stimata ricalibrando il profilo del parco immatricolato al 30 giugno dell'anno in esame sulla base di informazioni sia di tipo sperimentale, ricavate dalla serie storica dei conteggi di traffico eseguiti sul territorio del comune di Milano, sia di tipo bibliografico, relativamente alle percorrenze medie annue per tipologia veicolare.

A questo proposito va notato che COPERT IV utilizza una classificazione dei veicoli commerciali di peso a pieno carico maggiore di 7,5 tonnellate più dettagliata rispetto a quella adottata da COPERT III. Poiché i dati ACI di consistenza veicolare sono riferiti, fino al 2005 compreso, alla classificazione COPERT III, per effettuare le presenti stime è stato utilizzato lo schema di associazione tra le classi commerciali riportato nella già citata Guidebook (EEA, 2006) supponendo che le nuove classi siano uniformemente distribuite all'interno della corrispondente vecchia classe. Per questo motivo le stime dovranno essere sottoposte a revisione qualora ACI dovesse fornire, in futuro, dati più dettagliati sul parco veicolare immatricolato.

Inoltre, in assenza di altre informazioni, i fattori di emissione di particolato dovuto ai fenomeni di attrito per i veicoli pubblici urbani su rotaia sono stati presi uguali a quelli forniti per i veicoli pubblici su strada dalla Guidebook (EEA, 2006).

### Risultati delle stime

In Tabella 1.18, Tabella 1.19 e Tabella 1.20 sono riassunti i risultati così ottenuti. Ove possibile, i dati sono disaggregati sulle principali classi veicolari.

Per quanto riguarda il monossido di carbonio (CO), il valore di emissione annua calcolato per il 2003 con COPERT IV è molto più basso rispetto a quanto stimato con la metodologia COPERT III, soprattutto per le auto a benzina che sono le maggiori responsabili di questo inquinante (Tabella 1.18). Questa revisione al ribasso sembra dovuta soprattutto ai nuovi fattori di emissione COPERT IV per i veicoli Euro, che a regime

urbano sono inferiori rispetto a COPERT III. Per questo inquinante appare ancora marginale il ruolo dei veicoli diesel, mentre in percentuale assume sempre più importanza il contributo dei veicoli a due ruote. In ogni caso, anche COPERT IV conferma la tendenza alla riduzione delle emissioni di CO con il passare degli anni: infatti dal 2003 al 2005 si stima una diminuzione di quasi il 30%, dovuta soprattutto al ricambio del parco veicolare in quanto i veicoli a tecnologia più recente hanno fattori di emissione sempre più bassi.

Le emissioni di ossidi di azoto totali ( $\text{NO}_x$ ) stimate al 2003 con COPERT IV sono, al contrario del CO, maggiori rispetto all'analoga stima condotta con COPERT III (Tabella 1.18). Le due stime si differenziano sostanzialmente per quanto riguarda i veicoli merci pesanti per i quali, come già accennato, la nuova metodologia prevede una classificazione radicalmente diversa ed una revisione totale dei fattori di emissione. A questo proposito si veda anche la Figura 1.23, dove viene maggiormente evidenziato il ruolo dei veicoli diesel e, in particolare, dei veicoli commerciali. Per questo motivo la stima dovrà essere aggiornata nel momento in cui si entrerà in possesso di maggiori dettagli sulla consistenza dei veicoli commerciali secondo la classificazione COPERT IV. La nuova metodologia conferma comunque la riduzione delle emissioni urbane da traffico di  $\text{NO}_x$  dal 2003 al 2005, anche se meno marcata del monossido di carbonio (-11%). La principale ragione di questa riduzione è ancora il rinnovamento del parco veicolare, anche se la costante crescita del numero di veicoli diesel tende a mascherare questa tendenza. Infatti non solo un motore diesel emette in generale più ossidi di azoto rispetto a un analogo motore a benzina, ma per di più COPERT IV fornisce fattori di emissione di  $\text{NO}_x$  per le auto diesel Euro III più alti delle auto diesel Euro II o Euro I. Solo con la tecnologia Euro IV si assiste a una decisa riduzione del fattore di emissione degli ossidi di azoto, e questo spiega come mai dal 2003 al 2005 le emissioni delle auto diesel aumentano in maniera consistente. Anche per i veicoli a due ruote COPERT IV prevede un limitato aumento delle emissioni, dovuto al fatto che sia per i ciclomotori sia per i motocicli i fattori di emissione di  $\text{NO}_x$  di alcune classi Euro sono superiori a quelli delle classi pre-Euro. Quest'ultimo aspetto sarà oggetto di verifiche da parte di Agenzia nel prossimo futuro, così come la ripartizione degli  $\text{NO}_x$  emessi in NO e  $\text{NO}_2$  in quanto le più recenti tecnologie motoristiche potrebbero avere un rapporto allo scarico NO/ $\text{NO}_x$  diverso rispetto a quello delle classi più vecchie. Se quest'ultima notazione fosse confermata si potrebbero avere delle ripercussioni sui livelli di concentrazione di  $\text{NO}_2$  in atmosfera.

La stima delle emissioni di Composti Organici Volatili Non Metanici per l'anno 2003 (Tabella 1.18) è abbastanza in linea con quanto calcolato per lo stesso anno con COPERT III. Il nuovo valore è leggermente più alto, ma va tenuto in conto che il programma COPERT IV include nel calcolo anche il contributo totale delle emissioni evaporative, incluso quello legato ad alcuni fenomeni (emissioni *diurnal*, *hot soak* e *worm soak*) che non erano stati contemplati nell'ambito della precedente edizione della Relazione sullo Stato dell'Ambiente (AMA, 2005). COPERT IV conferma che il principale contributo emissivo ai COVNM è quello dei veicoli a benzina, e che tra il 2003 e il 2005 le emissioni dovute al traffico a Milano tendono a diminuire in maniera drastica (-27%) a motivo sia del rinnovamento del parco veicolare sia del minor numero di veicoli circolanti a benzina a favore di quelli diesel. Le emissioni dei veicoli a motore a due ruote, che invece non hanno tipologie di trazione di vasto mercato alternative alla benzina, decrescono meno velocemente rispetto a quelle delle auto, a tal punto che per l'anno 2005 si stima che la classe dei motoveicoli sia la maggiore responsabile delle emissioni di COVNM.

Considerazioni simili valgono anche per il metano, il benzene e per la somma di benzene, toluene e xilene (orto-, meta- e para-xilene), che sono specie elencate nel Regolamento CE 166/2006 (Parlamento Europeo, 2006). COPERT IV ha parzialmente modificato la metodologia per il calcolo di questi inquinanti, e la nuova stima al 2003 fornisce valori di emissione più alti per il metano (Tabella 1.19) e più bassi per il benzene (Tabella 1.20) rispetto a COPERT III.

Per quanto riguarda le polveri fini (Tabella 1.18), pur essendo stata la metodologia COPERT profondamente modificata e integrata sia per quanto riguarda il contributo allo scarico che quello legato ai fenomeni di attrito meccanico (usura gomme, usura freni, abrasione del manto stradale), le nuove stime al 2003 sono abbastanza in linea con quanto pubblicato nella precedente edizione della Relazione sullo Stato dell'Ambiente (AMA, 2005), sia come totale che come ripartizione tra le principali classi veicolari. COPERT IV stima, al pari degli altri inquinanti principali, una diminuzione dal 2003 al 2005 delle emissioni di PM10 e PM2.5 da traffico, quantificabile intorno al 10%. Ciò è dovuto principalmente al rinnovo del parco veicolare e, relativamente al contributo degli attriti, a percorrenze complessive annue leggermente inferiori. Si noti tuttavia come stia diventando sempre più importante il contributo delle auto diesel, unica classe le cui emissioni al 2005 aumentano, a fronte di un crollo del

contributo delle auto a benzina dovuto sia alla rottamazione dei veicoli più vecchi sia alla perdita di mercato di questo tipo di veicolo. Il contributo degli autobus, tra i quali sono inclusi anche quelli dedicati al trasporto pubblico locale, sta invece diminuendo grazie all'adozione di carburanti meno impattanti (gasoli emulsionati, desolforati) e di sistemi di abbattimento allo scarico (CRT), nonché alla progressiva eliminazione dei veicoli più vecchi. Dal punto di vista della ripartizione dei contributi emissivi dei veicoli pre-Euro rispetto a quelli Euro, la nuova metodologia rimodula in parte il peso percentuale delle diverse classi veicolari senza però stravolgerne l'importanza relativa. Al 2005 COPERT IV stima (Figura 1.24) che siano le auto diesel Euro a contribuire maggiormente alle emissioni primarie di PM10 e principalmente a quelle allo scarico, anche se stanno diventando sempre più importanti anche quelle da attrito vista la continua crescita delle percorrenze attribuibili a questo tipo di veicolo (dal 1999 al 2006 il numero di auto diesel immatricolate in Regione Lombardia è quasi triplicato e costituisce ormai il 30% del totale delle autovetture). Le altre classi veicolari più importanti sono quella delle auto a benzina Euro, il cui contributo è quasi esclusivamente da attrito, e quella dei veicoli commerciali pesanti diesel pre-Euro, il cui contributo è prevalentemente allo scarico.

Relativamente al PM2.5, frazione più fine del PM10, i contributi percentuali delle classi diesel tendono a essere tutti più elevati (Figura 1.25). Le polveri dovute ai fenomeni di attrito sono generalmente di dimensione più grossolana e perciò il contributo allo scarico risulta più importante per la frazione fine. COPERT IV stima infatti che il contributo emissivo dovuto all'insieme dei fenomeni di attrito considerati costituisca circa il 40% del PM10 primario da traffico veicolare e il 26% circa del PM2.5. Tale contributo diventa percentualmente sempre più importante mano a mano che le emissioni allo scarico diminuiscono.

Infine si vuole sottolineare che, nell'ambito di questa valutazione, manca ancora il contributo del risollevarimento delle polveri depositate al suolo. Attualmente non esiste ancora una metodologia consolidata per la stima di tale contributo, dovuto sia all'azione del vento sia (soprattutto nella nostra area geografica, caratterizzata da venti generalmente deboli) dalla turbolenza indotta dal passaggio dei veicoli. Alcune formulazioni modellistiche recentemente proposte (Duerig, 2002) sembrano fortemente dipendenti dal contesto al quale sono applicate. Tuttavia nel panorama incerto relativo a questo argomento sono stati da poco presentati i risultati di alcune campagne sperimentali europee (Lohmeyer, 2004; Barlow, 2007) che sembrano concordi nel valutare il

contributo del risollevarimento intorno al 30-50% della totalità delle emissioni di PM10 da attrito. Se si applicassero alcuni dei fattori di emissione ivi proposti (Luhana, 2004; Barlow, 2007), si potrebbe stimare il contributo del risollevarimento nella città di Milano per l'anno 2005 intorno a 80 t/anno di PM10, ovvero circa il 10-15% della totalità delle polveri fini. Pur essendo le conoscenze a disposizione ancora troppo scarse per poter ritenere questo valore sufficientemente attendibile, viene tuttavia qui presentato in quanto può fornire un primo inquadramento quantitativo a questo fenomeno.

Le emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), importante gas a effetto serra, sono strettamente connesse ai consumi di carburante, e per questo motivo il contributo prevalente è quello dei veicoli alimentati a benzina (Tabella 1.19). La nuova stima al 2003 fornisce valori di emissione per Milano superiori (+10%) rispetto a quelli pubblicati nella precedente Relazione sullo Stato dell'Ambiente (AMA, 2005). Questa differenza è legata alla revisione dei fattori di consumo, riformulati in COPERT IV per le classi Euro, ed alla ricalibrazione delle percorrenze complessive considerate. Inoltre nell'ambito delle stime eseguite in passato, in assenza di altre indicazioni erano state ipotizzate, sulla base di accordi presi a livello europeo e alla documentazione ufficiale prodotta dalla Commissione Europea, delle riduzioni dei consumi specifici per le tecnologie da Euro II in avanti; in realtà ora COPERT IV non solo non introduce nessuna riduzione, ma al contrario prevede un aumento dei fattori di consumo, progressivamente crescenti per le auto a benzina da Euro I a Euro IV.

Passando dal 2003 al 2005, COPERT IV stima una diminuzione delle emissioni di anidride carbonica (-4%) superiore all'ipotizzata diminuzione complessiva delle percorrenze annue. Ciò può essere spiegato da alcuni aspetti quali la crescita del numero di veicoli circolanti diesel a scapito di quelli a benzina, la crescita delle percorrenze urbane dei veicoli a due ruote (che hanno consumi specifici inferiori rispetto a quelli delle auto) ed il ricambio del parco veicolare (i veicoli più vecchi hanno in generale consumi specifici superiori a quelli più recenti).

Le emissioni di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>), sostanza acidificante e precursore del particolato fine, sono tutte riviste al ribasso rispetto alle precedenti stime (Tabella 1.19). Ciò è dovuto all'attuale disponibilità di dettagli sulle caratteristiche medie dei carburanti venduti in Italia, gentilmente forniti dall'Unione Petrolifera. In base a queste informazioni, nel 2003 il tenore di zolfo nei carburanti era di 53 ppm nelle benzine e di 238 ppm

nel gasolio per trazione, e nel 2005 questi valori sono ulteriormente diminuiti fino ad arrivare al di sotto di 50 ppm per entrambi i carburanti. Per questo si stima una riduzione delle emissioni di biossido di zolfo dell'80% dal 2003 al 2005, con tendenza all'ulteriore riduzione vista la progressiva immissione sul mercato di carburanti per trazione a bassissimo tenore di zolfo (inferiore a 10 ppm).

Sostanzialmente diverse rispetto al passato sono invece le nuove stime di emissione di ammoniaca e protossido d'azoto (Tabella 1.19). Al 2003, infatti, COPERT IV stima valori leggermente più alti di ammoniaca e decisamente più bassi di N<sub>2</sub>O rispetto a COPERT III. La ragione sta principalmente nei fattori di emissione di questi due composti, completamente rivisti per auto e veicoli commerciali leggeri a benzina. Dal punto di vista del trend annuale, contrariamente a quanto stimabile con COPERT III ora si può affermare che entrambi i composti tendono a diminuire in maniera consistente (-22% per l'ammoniaca e -16% per il protossido d'azoto). Le ragioni di tale riduzione risiedono principalmente nel ricambio del parco veicolare per quanto riguarda l'ammoniaca, in quanto i veicoli a benzina Euro I e Euro II hanno fattori di emissione di NH<sub>3</sub> di due ordini di grandezza superiori rispetto alle altre tecnologie, e nella riduzione del tenore di zolfo nelle benzine per quanto riguarda l'N<sub>2</sub>O. Da sottolineare che tra i veicoli a tecnologia più recente (Euro III ed Euro IV) sono quelli diesel ad avere i fattori di emissione più alti di protossido d'azoto, e pertanto è da prevedersi un'inversione di tendenza per questo inquinante e una sua crescita nei prossimi anni.

Infine le ultime considerazioni riguardano gli inquinanti il cui totale annuo è elencato in Tabella 1.20, ad eccezione di benzene, toluene e xileni di cui si è già parlato in precedenza.

Le emissioni dei metalli e metalloidi trattati dalla

metodologia COPERT, ovvero cadmio, cromo, nickel, rame, selenio e zinco (tutti elencati nel già citato Regolamento CE 166/2006 ad eccezione del selenio), sono stimati leggermente in diminuzione, ma ciò è dovuto al fatto che il contributo emissivo di gran lunga più importante è quello dell'usura di gomme e freni (oltre il 70% del totale), destinato oltretutto a diventare sempre più importante al progressivo ridursi dei consumi medi unitari dei veicoli. Dunque la variazione delle emissioni di metalli è sostanzialmente legata alla variazione delle percorrenze complessive considerate. Le emissioni di benzo(a)pirene e, più in generale, dei sei Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA) elencati nel Regolamento CE 166/2006 (benzo(a)pirene, benzo(b-)fluorantene, benzo(k)fluorantene, benzo(ghi)perilene, fluorantene, indeno(1,2,3-cd)pirene) appaiono in aumento dal 2003 al 2005. Ciò è dovuto al fatto che il maggior contributo emissivo di IPA è quello allo scarico (oltre il 90% per il benzo(a)pirene e circa il 98% per gli IPA totali), e che i veicoli diesel hanno fattori di emissione di IPA superiori di un ordine di grandezza rispetto a quelli a benzina. È dunque da prevedersi un progressivo aumento delle emissioni di IPA nel prossimo futuro.

Le emissioni di diossine e furani, al contrario, sono stimate in drastica diminuzione (circa -30% in due anni) in quanto legate prevalentemente ai veicoli a benzina, il cui fattore di emissione è di un ordine di grandezza in più rispetto a quelli diesel.

Per completezza di informazione va riportato però che COPERT IV fornisce al momento i fattori di emissione solo per i motori diesel a iniezione indiretta, ovvero di generazione più vecchia. Sarà interessante avere informazioni sulle emissioni di diossine dei veicoli diesel di nuova generazione in quanto già da diversi anni negli Stati Uniti si sottolinea come l'aggiunta di additivi a base di metalli nel gasolio, generalmente proposti per agevolare la rigenerazione delle trappole per particolato (Martini e De Santi, 2006), possa aumentare l'emissione di diossine (Mark e Morey, 1999).

Tabella 1.18 Emissioni da traffico veicolare (in t/anno) nel territorio del Comune di Milano per le diverse categorie veicolari, anni 2003 e 2005 – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente (2007)

CATEGORIE VEICOLARI	CO		NO <sub>x</sub>		COVNM		PM10		PM2.5	
	2003	2005	2003	2005	2003	2005	2003	2005	2003	2005
<b>AUTOVETTURE</b>										
auto benzina	30.664	20.348	2.541	1.673	4.642	2.911	134	113	77	64
auto diesel	655	579	1.296	1.569	112	103	181	183	158	155
auto GPL e metano	366	268	119	74	103	75	2	2	1	1
<b>TOTALE</b>	<b>31.685</b>	<b>21.195</b>	<b>3.956</b>	<b>3.316</b>	<b>4.857</b>	<b>3.089</b>	<b>317</b>	<b>298</b>	<b>236</b>	<b>220</b>
<b>AUTOVEICOLI MERCI</b>										
<b>LEGGERI (&lt; 3,5 t)</b>										
merci leggeri benzina	832	549	54	32	95	54	2	1	1	1
merci leggeri diesel	312	263	608	546	59	54	79	67	72	60
<b>TOTALE</b>	<b>1.144</b>	<b>812</b>	<b>662</b>	<b>578</b>	<b>154</b>	<b>108</b>	<b>81</b>	<b>68</b>	<b>73</b>	<b>61</b>
<b>AUTOVEICOLI MERCI PESANTI (&gt; 3,5 t)</b>										
merci pesanti benzina	37	27	2	2	3	3	0	0	0	0
merci pesanti diesel	764	716	3.112	2.924	269	239	163	146	145	128
<b>TOTALE</b>	<b>801</b>	<b>743</b>	<b>3.114</b>	<b>2.926</b>	<b>272</b>	<b>242</b>	<b>163</b>	<b>146</b>	<b>145</b>	<b>128</b>
<b>AUTOBUS</b>										
<b>TOTALE</b>	<b>308</b>	<b>206</b>	<b>1.128</b>	<b>1.042</b>	<b>87</b>	<b>52</b>	<b>53</b>	<b>37</b>	<b>48</b>	<b>32</b>
<b>MOTOVEICOLI</b>										
ciclomotori	3.027	2.704	5	7	2.998	2.578	48	44	47	47
motocicli	7.568	6.198	56	59	1.157	909	16	15	14	14
<b>TOTALE</b>	<b>10.595</b>	<b>8.902</b>	<b>61</b>	<b>66</b>	<b>4.155</b>	<b>3.487</b>	<b>64</b>	<b>59</b>	<b>61</b>	<b>61</b>
<b>ALTRI VEICOLI PUBBLICI</b>										
<b>TOTALE</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>TOTALE COMPLESSIVO</b>	<b>44.536</b>	<b>31.861</b>	<b>8.940</b>	<b>7.946</b>	<b>9.526</b>	<b>6.979</b>	<b>681</b>	<b>611</b>	<b>565</b>	<b>504</b>

Tabella 1.19 Emissioni da traffico veicolare (in t/anno tranne per la CO<sub>2</sub>, espressa in kt/anno) nel territorio del Comune di Milano per le diverse categorie veicolari, anni 2003 e 2005 – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente (2007)

CATEGORIE VEICOLARI	CO <sub>2</sub>		SO <sub>x</sub>		CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O		NH <sub>3</sub>	
	2003	2005	2003	2005	2003	2005	2003	2005	2003	2005
<b>AUTOVETTURE</b>										
auto benzina	929	792	31	11	271	175	44	22	317	246
auto diesel	341	422	52	9	19	18	15	24	2	2
auto GPL e metano	17	14	0	0	9	6	1	1	0	0
<b>TOTALE</b>	<b>1.287</b>	<b>1.228</b>	<b>83</b>	<b>20</b>	<b>299</b>	<b>199</b>	<b>60</b>	<b>47</b>	<b>319</b>	<b>248</b>
<b>AUTOVEICOLI MERCI LEGGERI (&lt; 3,5 t)</b>										
merci leggeri benzina	15	12	1	0	4	3	1	1	2	1
merci leggeri diesel	109	107	16	2	7	6	2	3	0	0
<b>TOTALE</b>	<b>124</b>	<b>119</b>	<b>17</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>AUTOVEICOLI MERCI PESANTI (&gt; 3,5 t)</b>										
merci pesanti benzina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
merci pesanti diesel	255	250	39	5	30	27	9	9	1	1
<b>TOTALE</b>	<b>255</b>	<b>250</b>	<b>39</b>	<b>5</b>	<b>30</b>	<b>27</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>AUTOBUS</b>										
<b>TOTALE</b>	<b>94</b>	<b>90</b>	<b>14</b>	<b>1</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>MOTOVEICOLI</b>										
ciclomotori	20	19	1	0	53	49	0	0	0	0
motocicli	43	42	1	1	82	79	1	1	1	1
<b>TOTALE</b>	<b>63</b>	<b>61</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>135</b>	<b>128</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>ALTRI VEICOLI PUBBLICI</b>										
<b>TOTALE</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>TOTALE COMPLESSIVO</b>	<b>1.825</b>	<b>1.750</b>	<b>155</b>	<b>29</b>	<b>486</b>	<b>371</b>	<b>75</b>	<b>63</b>	<b>323</b>	<b>251</b>

Tabella 1.20 Emissioni da traffico veicolare nel territorio del Comune di Milano, anni 2003 e 2005 per altri inquinanti – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente (2007)

Inquinanti	2003	2005
metalli (t/anno)	11,5	11,1
benzene (t/anno)	262	173
benzene+toluene+xileni (t/anno)	1.113	729
benzo(a)pirene (kg/anno)	6,21	6,63
IPA CE 166/2006 (kg/anno)	143	147
diossine (mg/anno tossicità equivalente)	16,2	11,4
furani (mg/anno tossicità equivalente)	34,0	24,1

Figura 1.23 **Contributo percentuale delle diverse categorie veicolari alle emissioni di NOx nel territorio del Comune di Milano, anno 2005** – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente (2007)

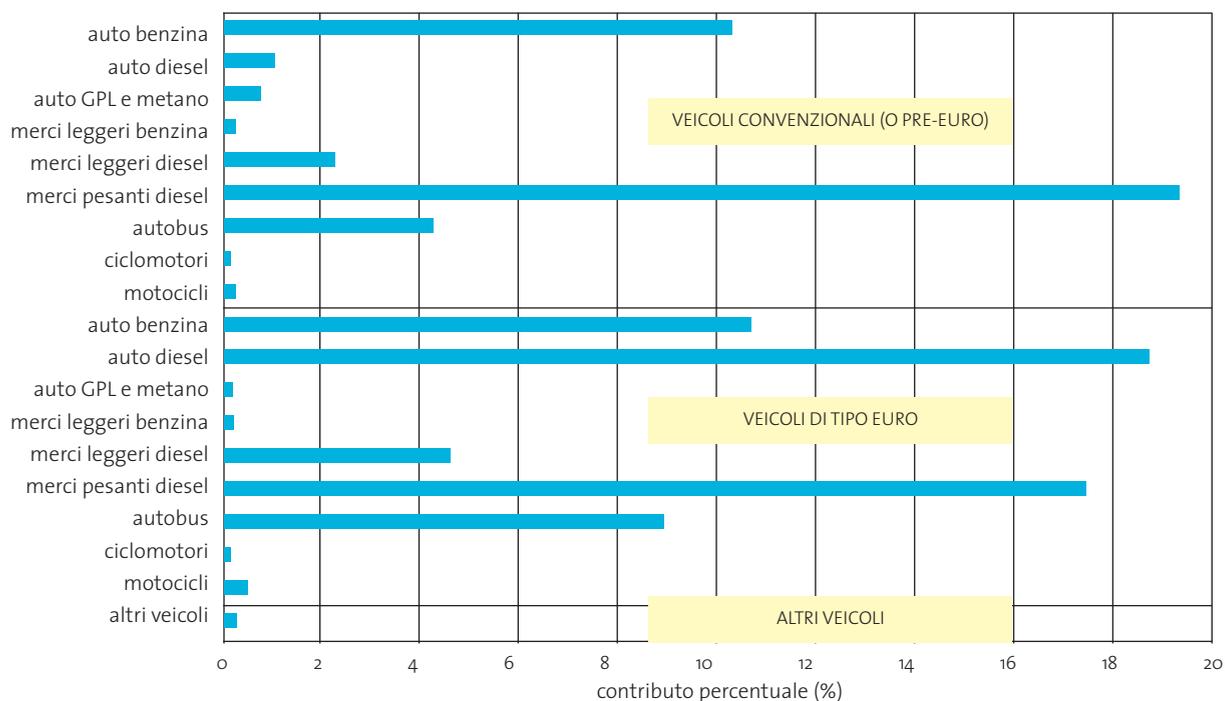


Figura 1.24 **Contributo percentuale delle diverse categorie veicolari alle emissioni di PM10 nel territorio del Comune di Milano, anno 2005 (ripartizione tra emissioni allo scarico e da attrito)** – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente (2007)

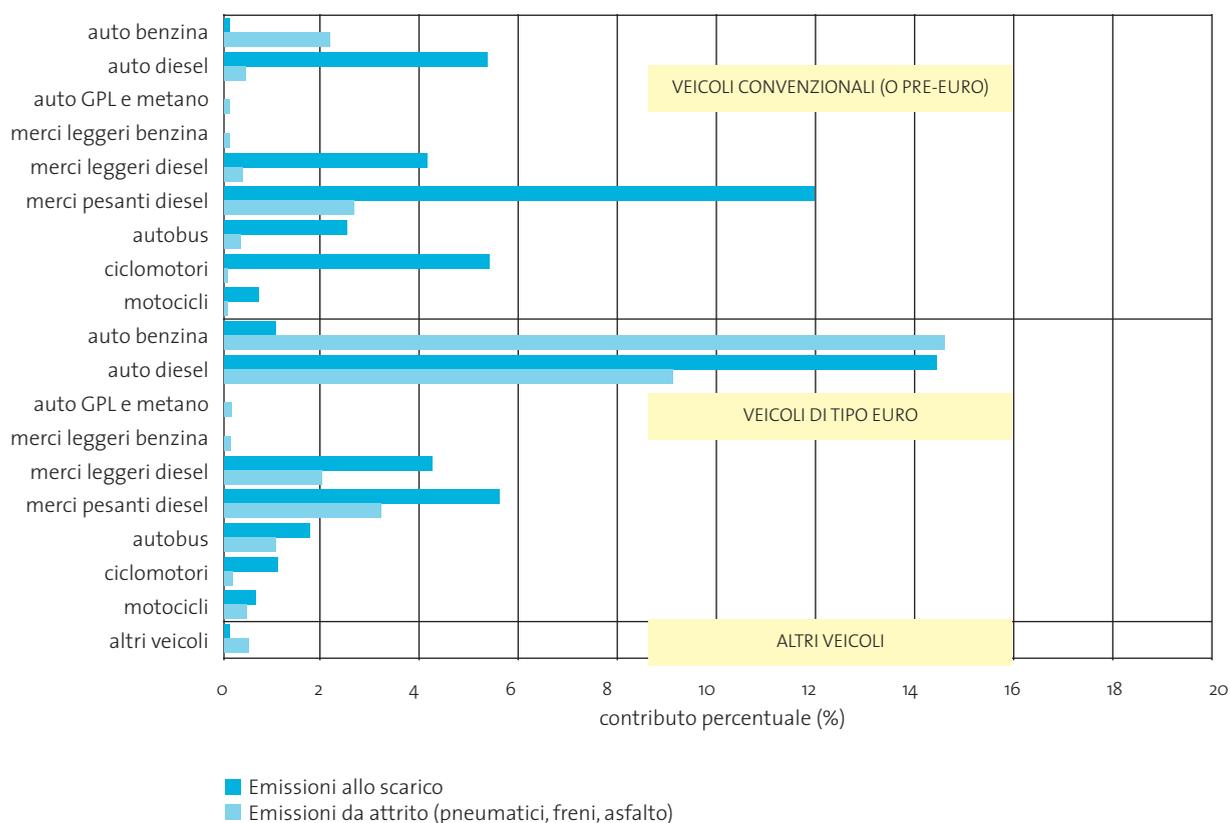
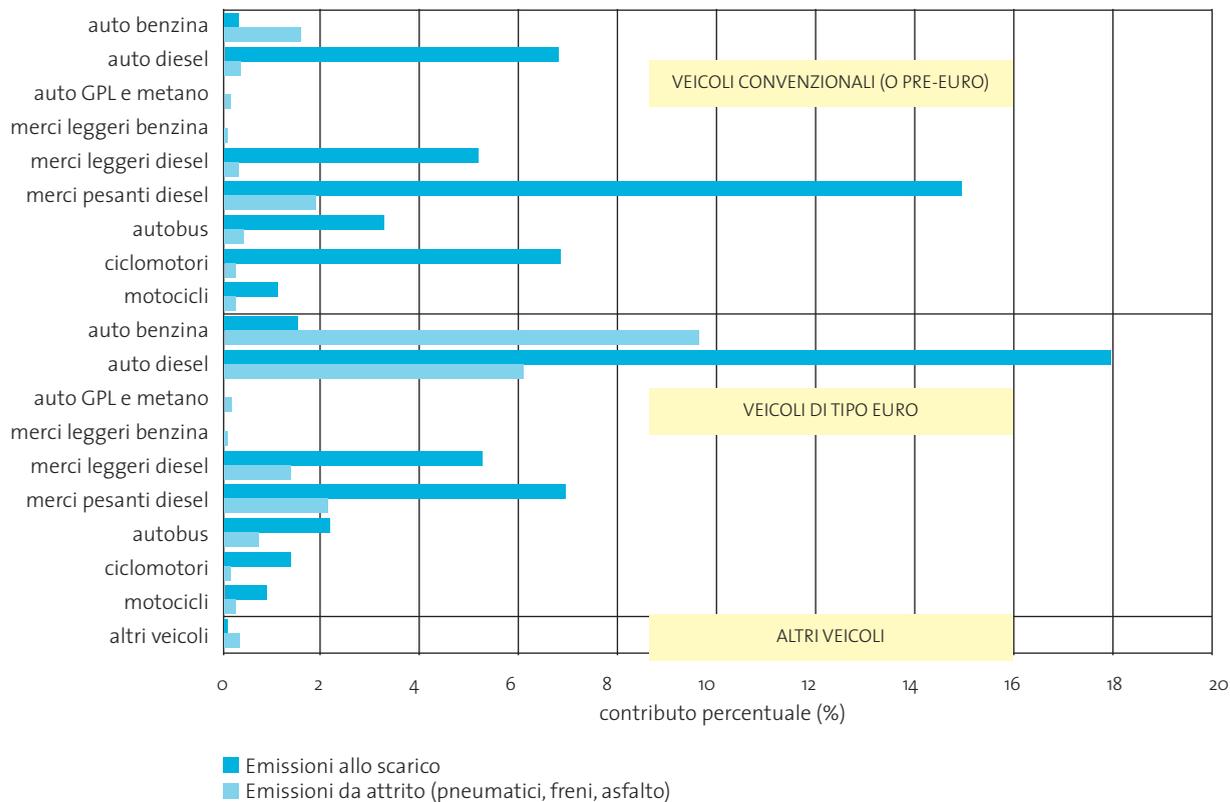


Figura 1.25 **Contributo percentuale delle diverse categorie veicolari alle emissioni di PM2.5 nel territorio del Comune di Milano, anno 2005 (ripartizione tra emissioni allo scarico e da attrito)** – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente (2007)



## Condizioni meteorologiche

### QUADRO DI RIFERIMENTO

Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 60 del 2 aprile 2002 "Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 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".

Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 261 del 1° ottobre 2002 "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 artt. 8 e 9 del Decreto Legislativo n. 351 del 4 agosto 1999".

*Le condizioni meteorologiche caratteristiche di un'area sono strettamente legate alle capacità di dispersione degli inquinanti in atmosfera della stessa; per questo è possibile considerare l'insieme delle informazioni, che caratterizzano la situazione meteorologica di Milano durante un anno, come un indicatore sintetico di pressione "in senso lato", in quanto condizioni meteorologiche particolarmente sfavorevoli (es. periodi di siccità, lunghi periodi in condizioni di subsidenza anticiclonica con calme di vento) verificatesi durante un anno, possono influenzare le concentrazioni di alcuni inquinanti registrate nello stesso periodo, in particolare la durata e l'intensità degli episodi acuti. In tal caso si tratta di un fattore di pressione di tipo "naturale" (non antropico) in grado comunque di influire, al pari dei fattori di pressione "antropici", sugli indicatori di stato adottati per la valutazione della*

*qualità dell'aria (si vedano Schede da 1.1 a 1.6). I parametri qui considerati come indicatori delle condizioni meteorologiche sono:*

- *condizioni di stabilità atmosferica (percentuale di ore appartenenti a ciascuna categoria di stabilità secondo le Classi di Pasquill);*
- *piovosità (regime pluviometrico annuale e difetto del regime pluviometrico annuale rispetto a quello del decennio precedente);*
- *velocità del vento al suolo (percentuale di ore di velocità del vento < 1 - 1,5 - 2 m/s e velocità del vento media annua);*
- *altezza dello strato rimescolato (percentuale di ore appartenenti a diverse classi determinate con quote di riferimento);*
- *pressione atmosferica (pressione media annua e differenza del valor medio rispetto a quello del decennio precedente).*

### Inquadramento meteoclimatico della città di Milano

Milano è situata nel settore centro-occidentale della Pianura Padana ad una quota compresa tra i 100 m s.l.m. (zona sud) e i 150 m s.l.m. (zona nord). Il centro di Milano risulta distante circa 40 km dalle Prealpi a nord e circa 60 km dall'Appennino (Oltrepo Pavese) a sud; la città si sviluppa attorno al centro in una sorta di circonferenza abbastanza omogenea con un raggio di circa 7-8 km. Da un punto di vista climatico la città di Milano risulta caratterizzata dal clima tipico della Pianura Padana occidentale, separata da quella orientale da una sorta di linea immaginaria che collega verticalmente Bergamo a Piacenza; ad est di questa linea infatti la valle tende ad aprirsi verso sud est lungo la dorsale Appenninica Tosco-Emiliana e a risentire maggiormente della presenza del vicino Mar Adriatico e delle correnti atmosferiche che da questo risalgono verso ovest.

La posizione centrale della città all'interno della Pianura Padana, a sua volta chiusa per tre lati da catene montuose elevate (le Alpi a nord e ad ovest, gli Appennini a sud), la distanza dal Mar Adriatico e la presenza delle Alpi Marittime che la separano dal Mar Ligure, determinano a Milano un clima tipicamente continentale (caratterizzato da inverni freddi e avari di precipitazioni, estati calde e afose) ma attenuato sia dall'influenza mitigatrice del Mar Mediterraneo che

dalla catena alpina, che la ripara dalle correnti fredde provenienti dall'Europa Settentrionale.

Le Alpi influiscono sulla circolazione generale dell'atmosfera bloccando le perturbazioni provenienti dall'Atlantico Settentrionale, facilitando la formazione di minimi barici secondari mediterranei che, innescando circolazioni cicloniche, determinano la risalita verso la pianura di masse d'aria umida provenienti dall'Adriatico il cui deflusso verso il Mar Ligure (ove spesso si situa il minimo barico secondario) risulta rallentato dallo sbarramento orografico alpino. Un'altra peculiarità meteoclimatica della Pianura Padana centro-occidentale indotta dalla presenza della catena alpina risulta la ventilazione di caduta (anche detta "di föhn" o favonio): quando le correnti in quota si dispongono da nord o nord-ovest il sollevamento orografico della massa d'aria, forzato dalla presenza del massiccio alpino, determina nuvolosità e precipitazioni sul versante settentrionale e un successivo scivolamento della massa d'aria lungo i pendii del versante meridionale; la massa d'aria, dopo aver scaricato il suo carico di vapore acqueo sul versante settentrionale, "cadendo" verso la Pianura Padana subisce una compressione adiabatica e l'avvezione così generata assume le tipiche caratteristiche di ventilazione secca e calda, di intensità moderata o forte. Al contrario, quando le correnti risultano sciroccali (con provenienza dai

quadranti meridionali e sudorientali), l'azione di sbarramento della catena alpina determina copiose precipitazioni sulla Pianura Padana centro-occidentale e in particolar modo sulla fascia prealpina.

Durante l'inverno spesso l'Anticiclone delle Azzorre si espande verso il Mediterraneo centrale determinando anche a Milano tempo stabile, scarsa ventilazione e limitato rimescolamento dei bassi strati atmosferici. In caso di persistenza per più giorni di questa configurazione barica, il raffreddamento dei bassi strati atmosferici, dovuto all'irraggiamento dal suolo, dà luogo alla formazione di uno strato d'aria fredda favorevole alla formazione di foschie dense e banchi di nebbia, indicatori della presenza di inversioni termiche con base al suolo o nelle prime centinaia di metri di quota, tipiche delle ore notturne, più fredde. La persistenza di una configurazione barica anticiclonica può portare anche alla formazione di inversioni termiche in quota (con base a circa 800-1500 m di quota) dovute alla subsidenza, ossia a lenti movimenti discendenti delle masse d'aria (1-2 cm/s) che danno luogo al progressivo riscaldamento dei bassi strati atmosferici per compressione adiabatica (Figura 1.26 e Figura 1.27).

Quando, in un contesto invernale, le inversioni in quota si saldano con quelle da irraggiamento con base al suolo si genera la situazione peggiore dal punto di vista della qualità dell'aria in quanto i moti diffusivi verticali e i moti dispersivi orizzontali delle masse d'aria vengono quasi del tutto annullati, spesso per periodi prolungati.

Durante la stagione invernale le precipitazioni risultano rare, spesso intermittenti, talvolta nevose; ingressi in Val Padana di aria di matrice continentale o di masse d'aria di origine artica marittima, alla scala sinottica, possono determinare un completo ricambio della massa d'aria in Val Padana, favorendo anche a Milano un netto miglioramento della qualità dell'aria.

Durante l'estate la configurazione barica più frequente è quella anticiclonica: tipicamente l'Anticiclone delle Azzorre garantisce periodi stabili con cielo sereno, scarsa ventilazione e temperature massime prossime ai 30 °C anche per più settimane consecutive. Tuttavia sempre più spesso, negli ultimi anni, si assiste alla saldatura tra l'Anticiclone delle Azzorre e l'Anticiclone Subtropicale Africano, una figura barica continentale caratterizzata da aria molto calda e secca (a differenza dell'Anticiclone delle Azzorre cui risultano associate masse d'aria di origine oceanica) che, convogliata da correnti meridionali sul Nord Italia, si carica di umidità sul Mediterraneo Centrale e determina condizioni afose particolarmente disagianti con temperature

massime prossime anche ai 40°C.

In queste condizioni spesso la qualità dell'aria risulta scarsa per via dell'intensa attività fotochimica, tuttavia, anche in assenza di sostenuta ventilazione orizzontale, i moti convettivi verticali indotti dalla forte radiazione solare favoriscono la diffusione degli inquinanti fino a quote superiori ai 1.000-1.500 m, a differenza del periodo invernale quando, con un'analoga configurazione barica, le inversioni termiche impediscono un efficace rimescolamento dei bassi strati atmosferici.

### Analisi dei parametri meteorologici stimati

Una definizione sintetica delle capacità dell'atmosfera di dispersione degli inquinanti viene fornita da due parametri calcolabili a partire dalle variabili meteorologiche misurate: le categorie di stabilità di Pasquill e l'altezza dello strato rimescolato (si veda glossario).

In Tabella 1.21 si riporta la definizione delle diverse categorie di Pasquill, determinabili a livello orario in funzione della velocità del vento, della deviazione standard della direzione del vento, della radiazione netta e della radiazione globale solare.

In Figura 1.28 è rappresentata la ripartizione delle ore nelle diverse classi di stabilità di Pasquill a Milano nell'anno 2006 (elaborazioni ottenute su dati rilevati presso la stazione ARPA di Milano-Juvara), durante il quale si è registrata una percentuale di ore/anno in condizioni di atmosfera stabile pari a circa il 40%, di cui 38% di ore/anno nella classe di forte stabilità (classe F). In Figura 1.29 è rappresentata la ripartizione delle ore/anno nelle diverse macroclassi di stabilità nel periodo 1999-2006. I dati ottenuti per le singole classi di Pasquill sono stati aggregati per tre categorie: stabile, neutra, instabile.

L'altezza dello strato rimescolato rappresenta quella parte della troposfera direttamente influenzata, nelle sue caratteristiche e nella sua evoluzione, dalla presenza della superficie terrestre: l'importanza che la conoscenza di questo parametro riveste nello studio della dispersione degli inquinanti consta nel fatto che la maggior parte delle emissioni avviene al suo interno e che la loro dispersione resta in esso confinata, causando spesso fenomeni di inquinamento acuto. Quindi, l'altezza dello strato rimescolato può essere considerato un indicatore diretto del volume d'aria disponibile per la diffusione e dispersione in atmosfera degli inquinanti.

In Tabella 1.22 si riporta una classificazione qualitativa di alcune classi di altezza dello strato rimescolato indicative

di una diversa capacità dispersiva atmosferica. L'altezza dello strato rimescolato (elaborazione ottenuta da Agenzia Mobilità e Ambiente su dati rilevati presso la stazione ARPA di Milano-Juvara) è stata considerata in termini di distribuzione dei valori orari nelle diverse classi proposte: in Figura 1.30 e in Figura 1.31 si riportano rispettivamente le frequenze annuali e le frequenze nel periodo gennaio-febbraio (i due mesi più sfavorevoli per quanto concerne la capacità atmosferica di dispersione degli inquinanti) per il periodo 1999 – 2006.

Dal confronto degli andamenti di questi due parametri nel periodo 1999 – 2006 si nota negli ultimi anni una tendenza all'aumento della frequenza delle categorie stabili sia in termini di categorie di Pasquill (per le quali spicca il periodo 2003 – 2006) sia di classi di altezza dello strato rimescolato (periodo 2004 – 2006 per quanto concerne le frequenze annuali, 2005-2006 per quanto riguarda le frequenze nei mesi di gennaio-febbraio).

#### Analisi delle variabili meteorologiche misurate

Per meglio comprendere la tendenza assunta negli ultimi anni dai trend dei parametri meteorologici calcolati (in questo caso le categorie di Pasquill e l'altezza dello strato rimescolato) è necessaria l'analisi dei dati meteorologici tramite i quali i parametri vengono stimati, dati che spesso risultano essi stessi indicatori diretti della qualità dell'aria. In seguito si riportano analisi degli andamenti relativi alle variabili velocità del vento, precipitazione cumulata e pressione atmosferica misurate presso la stazione ARPA di Milano-Juvara nel periodo 1989 - 2006. La velocità del vento e la pressione atmosferica vengono utilizzate per il calcolo dei due parametri sopra citati e risultano indicatori rispettivamente della capacità dispersiva dell'atmosfera e della stabilità a livello meteorologico; le precipitazioni comportano il fenomeno del dilavamento dei composti inquinanti in atmosfera e risultano quindi un parametro importante nella determinazione della qualità dell'aria. Per quanto concerne le precipitazioni si riporta in Figura 1.32 l'andamento del regime pluviometrico annuale a confronto con il regime pluviometrico del decennio precedente: si nota una netta inclinazione alla diminuzione dell'accumulo annuale delle precipitazioni

(confermata dall'importante deficit pluviometrico evidenziato in Figura 1.33) a partire dal 2003, anno in cui si è rilevato un anomalo e prolungato periodo siccitoso con temperature ben al di sopra delle medie. La diminuzione delle precipitazioni è direttamente correlabile ad un aumento della pressione atmosferica media annua, il cui trend risulta in netta ascesa a partire appunto dal 2003 (Figura 1.34 e Figura 1.35), anno dal quale, per quanto concerne le dinamiche sinottiche, si è sempre più accentuata da parte degli anticicloni (figure bariche sinonimo di alta pressione e forte stabilità atmosferica) la tendenza ad interessare l'area del Mediterraneo Centrale.

In Figura 1.36 e Figura 1.37 si riporta un *focus* sugli andamenti della pressione rilevata nei mesi di gennaio e febbraio, caratterizzati mediamente dalle condizioni più sfavorevoli per la dispersione degli inquinanti in atmosfera: si nota una tendenza all'aumento, meno decisa rispetto ai trend relativi alle medie annuali, comunque evidente negli ultimi due anni (2005 - 2006). Dall'analisi dei dati di intensità del vento (Figura 1.38) si rileva una tendenza alla diminuzione della velocità media e all'aumento della frequenza dei casi di velocità del vento inferiore alle soglie di 1 e 1,5 m/s a partire dal 2004. Ciò è coerente con gli andamenti rilevati per le categorie di Pasquill, l'altezza dello strato rimescolato, la precipitazione cumulata e la pressione, tutti concordi nell'evidenziare una propensione alla riduzione dell'instabilità meteorologica cui consegue una riduzione della turbolenza meccanica indotta dagli spostamenti delle masse d'aria.

Da una valutazione comparativa degli andamenti delle concentrazioni degli inquinanti in atmosfera (si vedano Schede da 1.1 1.6) è possibile osservare una certa correlazione tra un evidente aumento (o brusca diminuzione) della percentuale di ore di stabilità registrata in un anno e un incremento (o riduzione) delle concentrazioni misurate per taluni inquinanti. In particolare nel 2006 l'aumento delle concentrazioni medie di PTS, PM10, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> e benzene (per cui è corrisposta addirittura un'inversione dei trend che da anni risultavano in decrescita o stazionari) è da contestualizzarsi con un evidente aumento della stabilità atmosferica.

Figura 1.26 Diagramma aerologico di Stüve. A destra il profilo di temperatura, a sinistra il profilo di temperatura di rugiada - Milano Linate, 14 gennaio 2006 ore 00 UTC – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità Ambiente su grafico tratto da <http://weather.uwyo.edu> (2007)

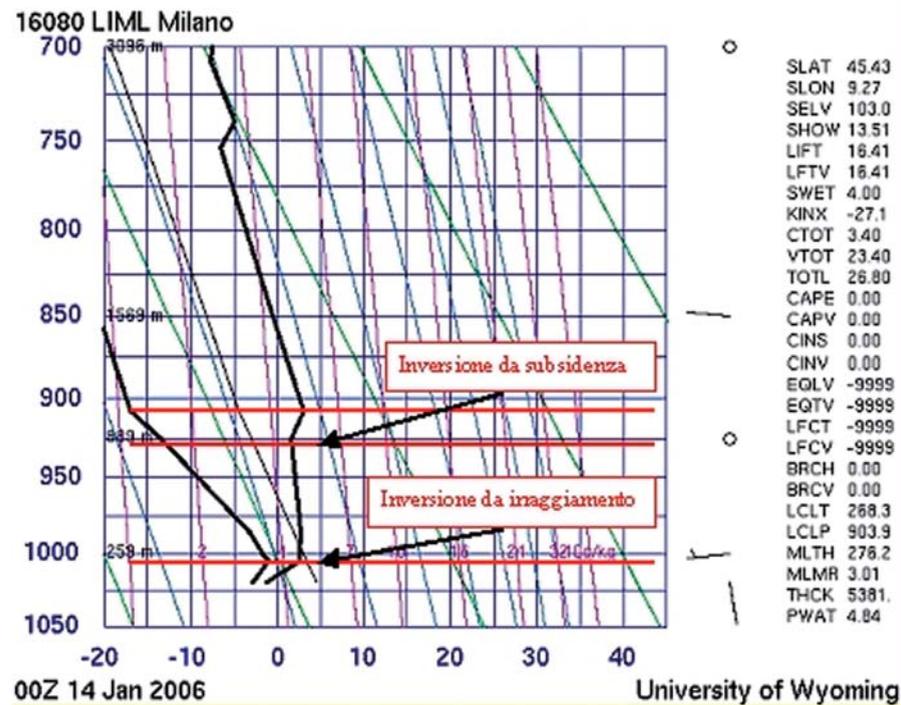
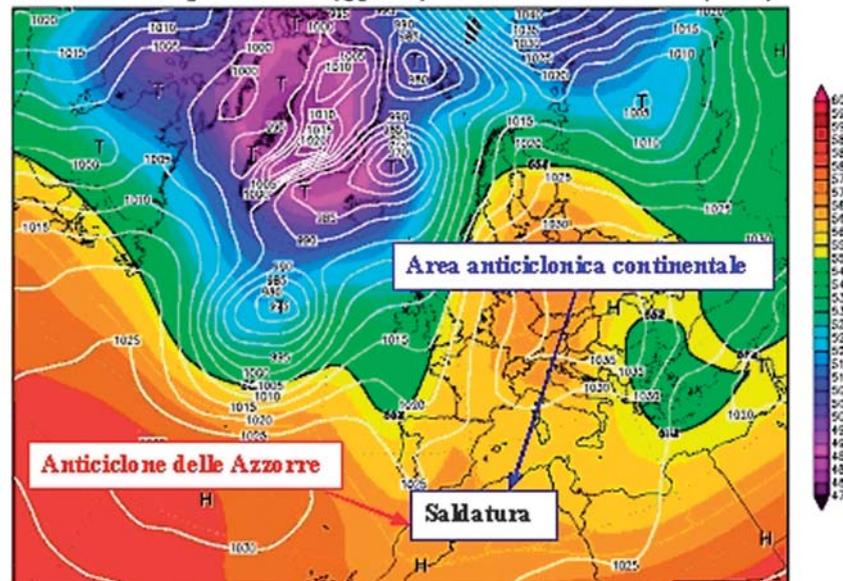


Figura 1.27 Configurazione barica rilevata il 14 gennaio 2006 ore 00 UTC. Si nota la saldatura tra due imponenti figure anticicloniche – Fonte: Agenzia Mobilità Ambiente su mappa tratta da [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de) (2007)

14.JAN2006 00Z  
500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: Reanalysis des NCEP  
(C) Wetterzentrale  
[www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)

Tabella 1.21 **Classi di stabilità di Pasquill** – Fonte: Pasquill, 1961

**Classe** Definizione

<b>A</b>	condizioni fortemente instabili
<b>B</b>	condizioni moderatamente instabili
<b>C</b>	condizioni debolmente instabili
<b>D</b>	condizioni di neutralità
<b>E</b>	condizioni moderatamente stabili
<b>F</b>	condizioni fortemente stabili

Figura 1.28 **Distribuzione delle classi di stabilità di Pasquill. Stazione di Milano-Juvara, anno 2006** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

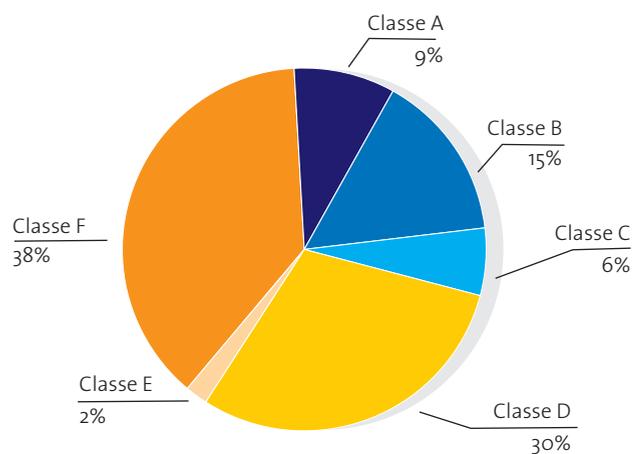


Figura 1.29 **Distribuzione delle classi di stabilità di Pasquill. Stazione di Milano-Juvara, anno 2006** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

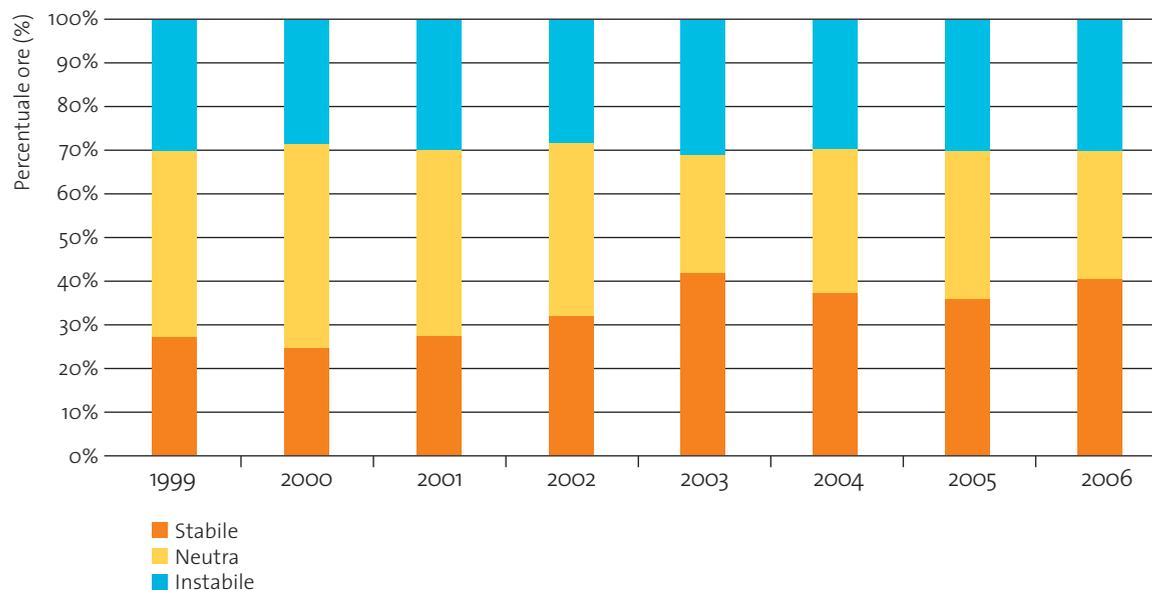


Tabella 1.22 **Classi di altezza dello strato rimescolato** – Fonte: Agenzia Mobilità Ambiente (2007)

Classe altezza dal suolo (m)	Capacità dispersiva degli inquinanti
0-100	Pessima
100-300	Scarsa
300-500	Debole
500-1.000	Buona
>1.000	Ottima

Figura 1.30 **Distribuzione delle classi di altezza dello strato rimescolato: percentuale di ore/anno. Stazione di Milano-Juvara** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

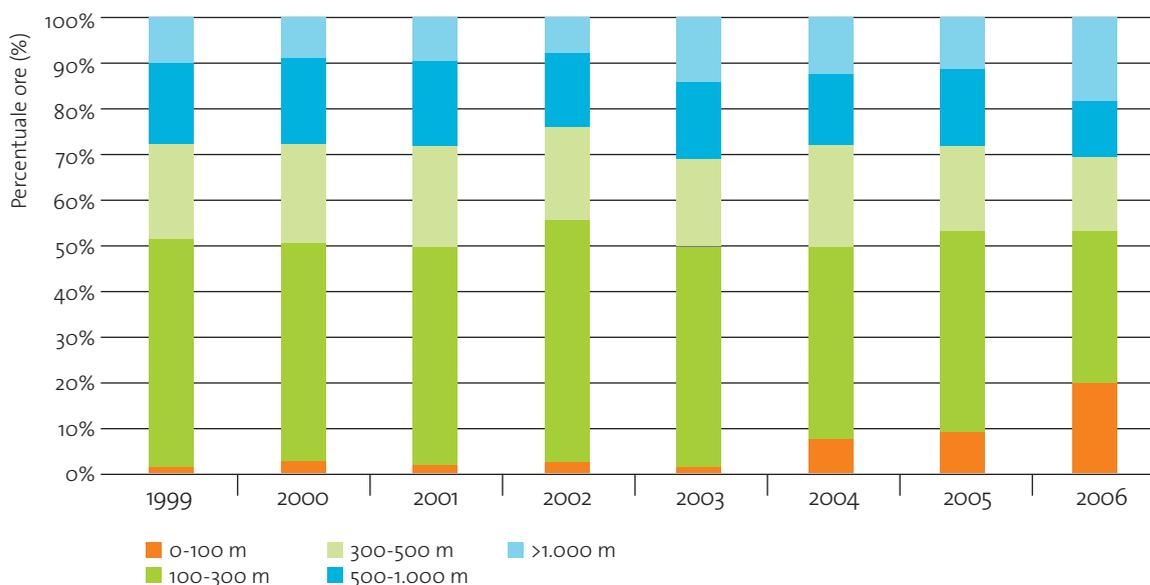


Figura 1.31 **Distribuzione delle classi di altezza dello strato rimescolato: percentuale di ore/mesi di gennaio-febbraio. Stazione di Milano-Juvara** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

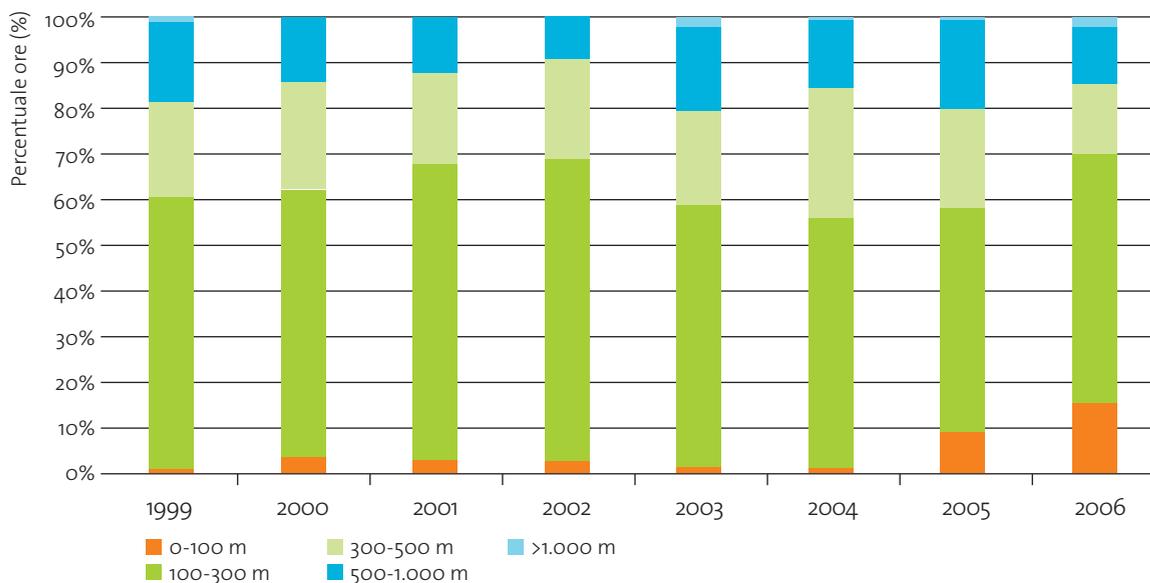


Figura 1.32 **Regime pluviometrico annuale a confronto con il regime pluviometrico del decennio precedente. Stazione di Milano-Juvara** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

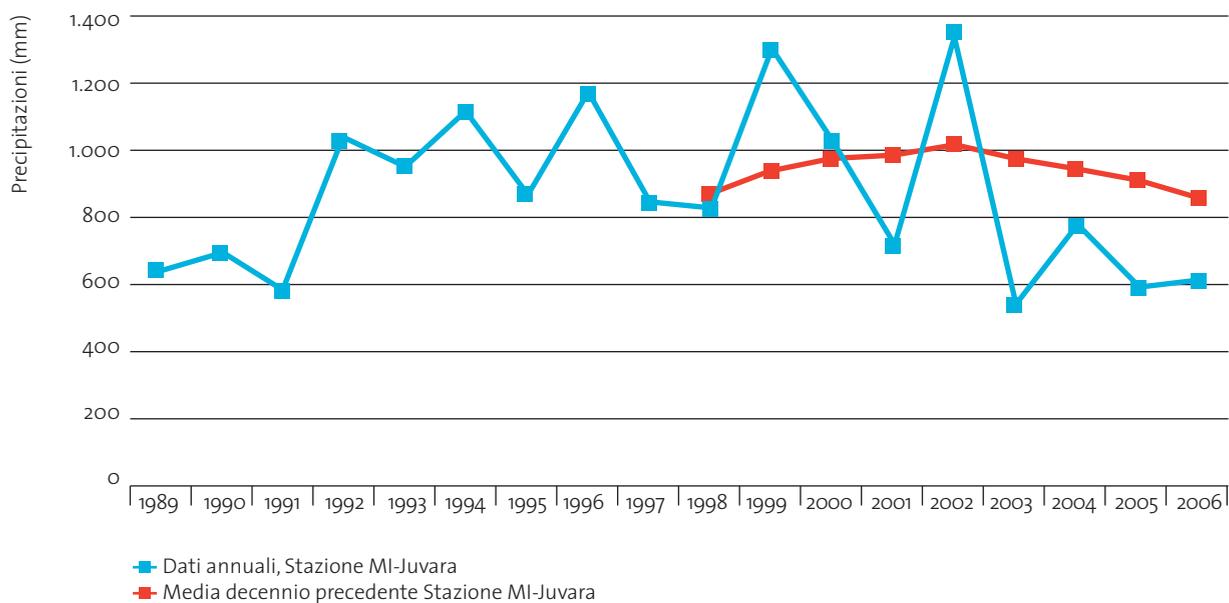


Figura 1.33 **Difetto del regime pluviometrico annuale rispetto al regime del decennio precedente. Stazione di Milano-Juvara** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

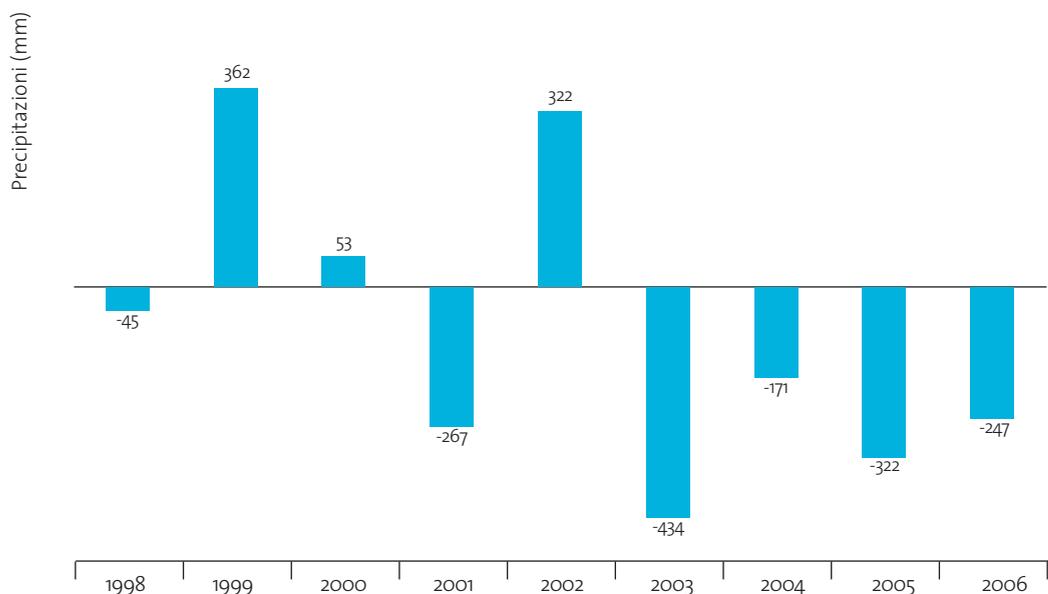


Figura 1.34 **Andamento della pressione media annua e confronto con il valor medio del decennio precedente. Stazione di Milano-Juvara** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

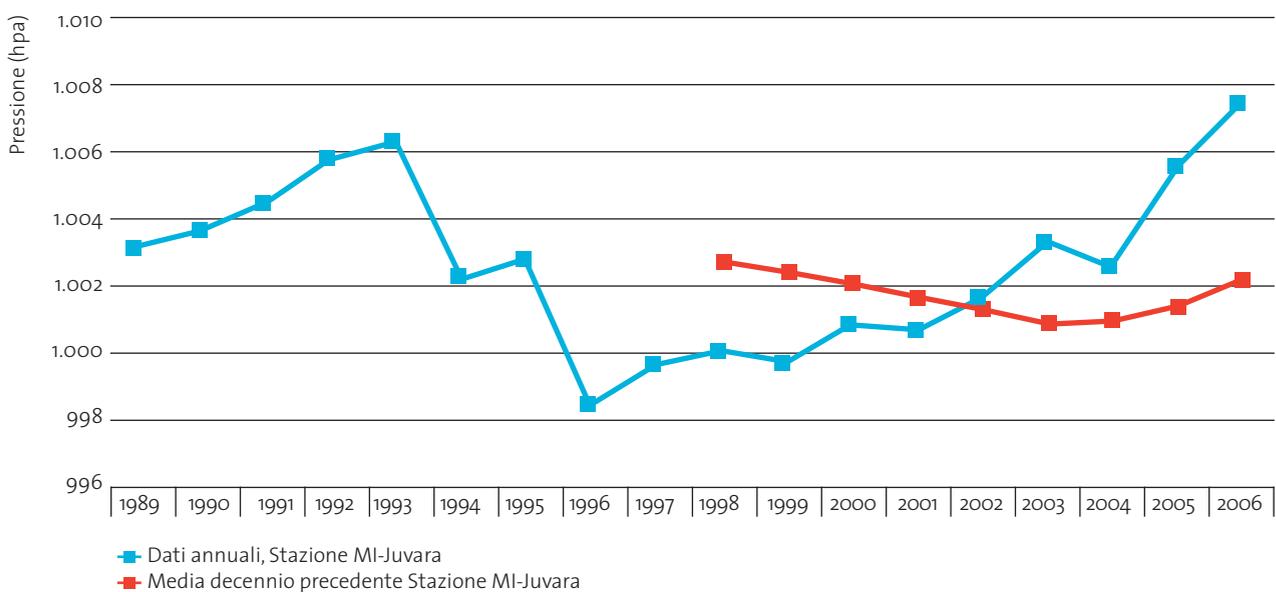


Figura 1.35 **Andamento della differenza della pressione media annua rispetto al valor medio del decennio precedente. Stazione di Milano-Juvara** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

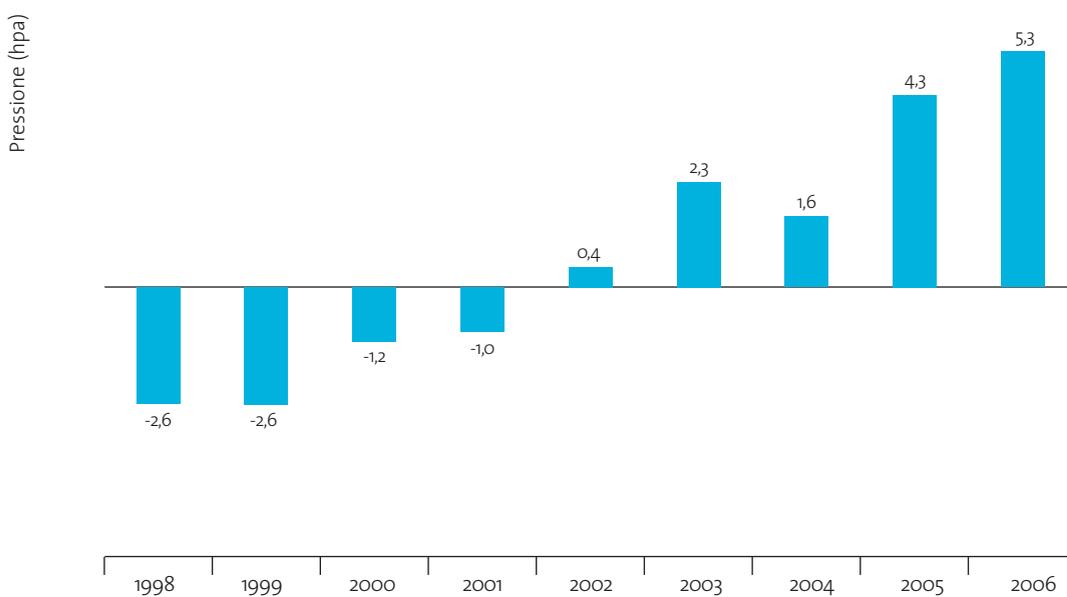


Figura 1.36 **Andamento della pressione media di gennaio e febbraio e confronto con il valor medio del decennio precedente. Stazione di Milano-Juvara** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

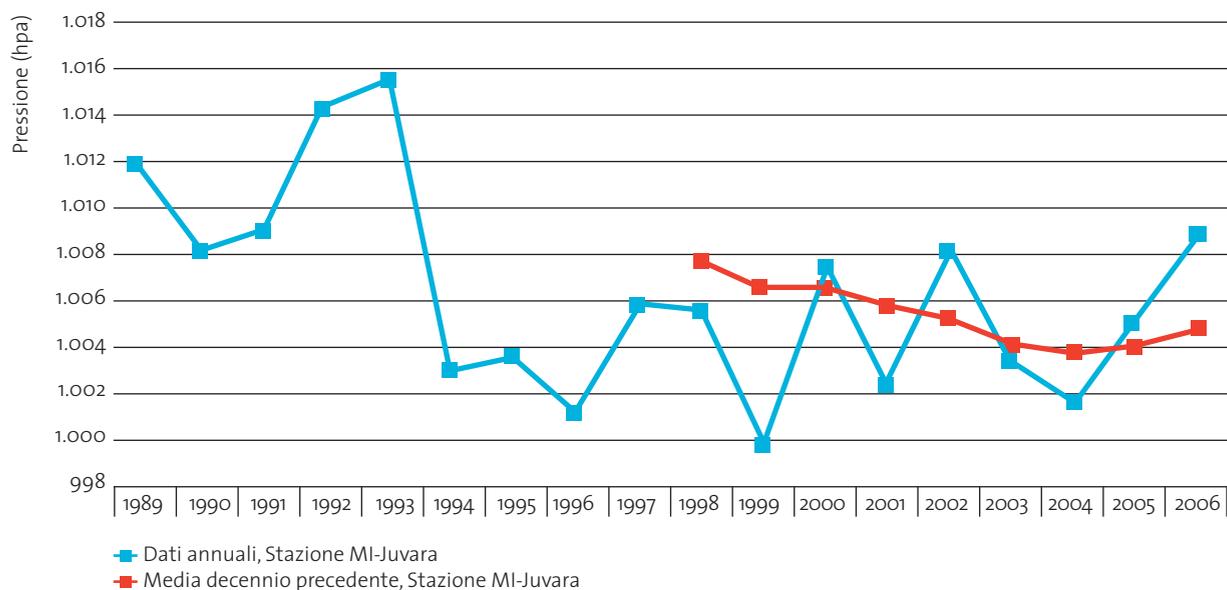


Figura 1.37 **Andamento della differenza della pressione media di gennaio e febbraio rispetto al valor medio del decennio precedente. Stazione di Milano-Juvara** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)

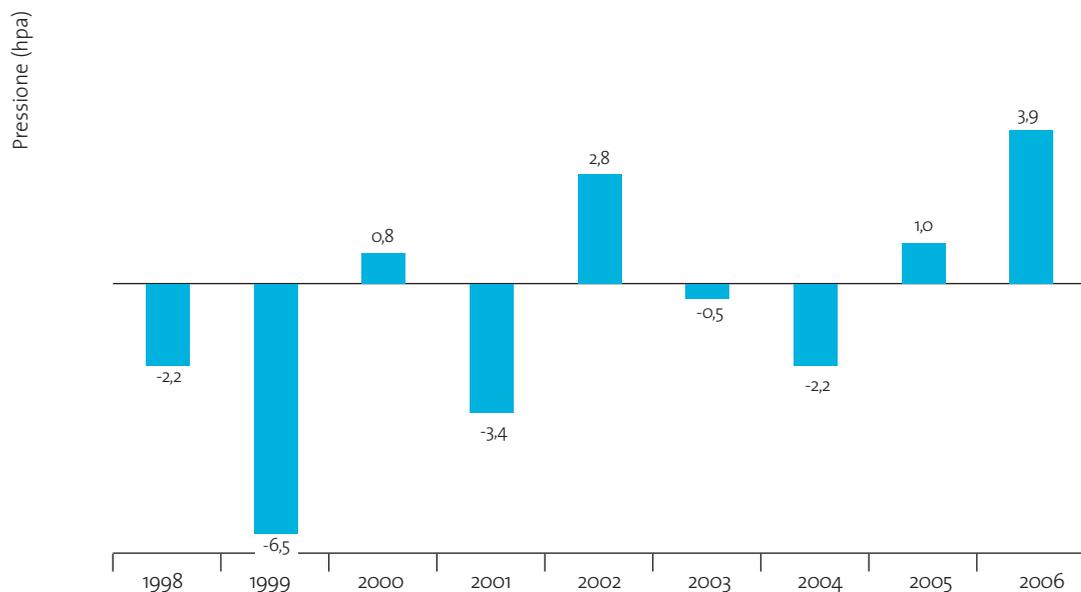
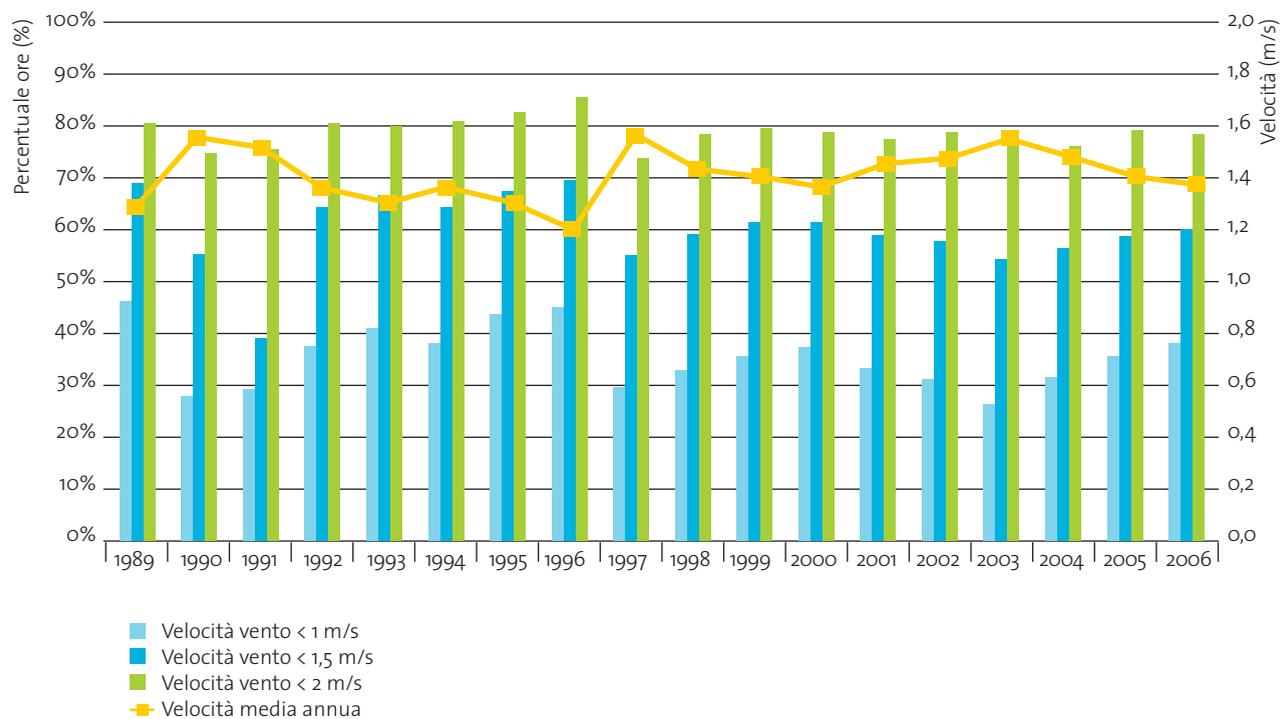


Figura 1.38 **Percentuale di ore di calma di vento (< 1, 1,5 e 2 m/s) e velocità del vento media annua urbana** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità Ambiente su dati orari ARPA Lombardia (2007)



# Monitoraggio dell'inquinamento atmosferico

## QUADRO DI RIFERIMENTO

Direttiva 96/62/CE del 27 settembre 1996.  
 Direttiva 1999/30/CE del 22 aprile 1999.  
 Decisione 2001/752/CE.  
 Decisione 2004/224/CE.  
 Decisione 2004/461/CE.  
 Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 261 del 1 ottobre 2002.  
 Decreto del Ministero dell'Ambiente del 16 maggio 1996.  
 Decreto del Ministero dell'Ambiente del 6 maggio 1992.  
 Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 60 del 2 aprile 2002.  
 Decreto Legislativo n. 183 del 21 maggio 2004.  
 Decreto Legislativo n. 351 del 4 agosto 1999.  
 Decreto Legislativo n. 183 del 21 maggio 2004.  
 Legge Regionale n. 24 del 11 dicembre 2006.  
 Delibera della Giunta Regionale n. VII/6501 del 19 ottobre 2001  
 Delibera della Giunta Regionale n. VII/11485 del 6 dicembre 2002.  
 Delibera della Giunta Regionale n. VII/13856 del 29 luglio 2003.  
 Decreto della Giunta Regionale n. 5290 del 2 agosto 2007.

*L'analisi della qualità dell'aria viene realizzata mediante una rete pubblica di rilevamento di proprietà di ARPA Lombardia e gestita dal Dipartimento città di Milano. Il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico gestito attraverso tale sistema è qui illustrato attraverso i seguenti strumenti:*

- analizzatori fissi per inquinante;
- rendimento strumentale dei sensori della rete fissa;
- campagne di monitoraggio effettuate con laboratorio mobile per tipologia e localizzazione;
- Rapporto Giornaliero Qualità dell'Aria;
- Rapporto Annuale Qualità dell'Aria e Relazione sullo Stato dell'Ambiente.

*Il Comune di Milano dispone di un proprio*

*laboratorio mobile per il monitoraggio dell'inquinamento atmosferico con cui esegue campagne di rilievo nell'ambito delle attività di indagine, controllo e verifica delle scelte di pianificazione territoriale, urbanistica e viabilistica, verificando gli aspetti ambientali, ante e post operam.*

*Il Comune di Milano, inoltre, sta sviluppando una rete di misura dell'inquinamento atmosferico in parallelo agli strumenti di misurazione automatica del traffico veicolare, nell'ambito del progetto della Centrale Operativa di Controllo del Traffico gestita dal Corpo di Polizia Municipale attraverso alcune postazioni di rilevamento multiparametriche ETL.*

In Figura 1.39 è rappresentata graficamente la localizzazione delle 8 postazioni fisse della rete pubblica di monitoraggio attive sul territorio del Comune di Milano nell'anno 2006. Si segnala che nel corso dell'anno 2005 è stata dismessa la stazione di via Messina; dal mese di giugno 2007 è stata dismessa la stazione di rilevamento in via Juvara ed è stata messa in funzione la nuova in via Pascal. In Tabella 1.23 si riporta

una descrizione in termini di tipologia di destinazione urbana e la quota s.l.m. a cui sono posizionate le diverse stazioni di rilevamento. Le tabelle successive (Tabella 1.24 e Tabella 1.25) illustrano gli inquinanti monitorati da ogni stazione ed i valori dei rendimenti annuali degli analizzatori delle postazioni fisse per ciascun inquinante monitorato.

Figura 1.39 **Localizzazione delle stazioni fisse di misura nel Comune di Milano, anno 2006** – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente (2007)

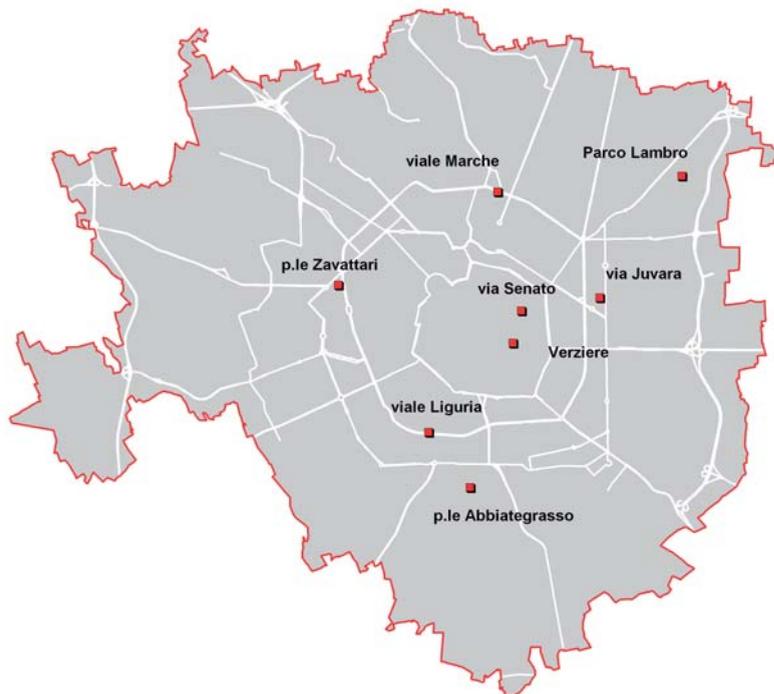


Tabella 1.23 Stazioni fisse di misura della qualità dell'aria nel territorio del Comune di Milano, anno 2006 – Fonte: ARPA Lombardia, 2007

NOME STAZIONE	TIPO ZONA DECISIONE 2001/752/CE	TIPO STAZIONE		QUOTA S.L.M. (METRI)
		DM 20/5/91	DECISIONE 2001/752/CE	
<b>MI – V.le Marche</b>	URBANA	C	TRAFFICO	127
<b>MI – Via Juvara</b>	URBANA	B	TRAFFICO	117
<b>MI – P.le Zavattari</b>	URBANA	C	TRAFFICO	124
<b>MI – V.le Liguria</b>	URBANA	C	TRAFFICO	114
<b>MI – Verziere</b>	URBANA	C	TRAFFICO	118
<b>MI – Via Senato</b>	URBANA	C	TRAFFICO	119
<b>MI – P.le Abbiategrasso</b>	URBANA	B	FONDO	109
<b>MI – Parco Lambro</b>	SUBURBANA	D	FONDO	124

**Legenda**
**Tipo zona (Decisione 2001/752/CE):**

URBANA: centro urbano di consistenza rilevante per le emissioni atmosferiche, con più di 3000-5000 abitanti.

SUBURBANA: periferia di una città o area urbanizzata residenziale posta fuori dall'area urbana principale).

RURALE: all'esterno di una città, ad una distanza di almeno 3 km.

**Tipo stazione (DM 20/5/91):**

A: stazione urbana localizzata in area non direttamente interessata da sorgenti di emissione urbane (parchi, isole pedonali, ecc.).

B: stazione urbana situata in zona ad elevata densità abitativa.

C: stazione urbana situata in zona ad elevato traffico.

D: stazione situata in periferia o in area suburbana.

**Tipo stazione (Decisione 2001/752/CE):**

TRAFFICO: se la fonte principale di inquinamento è costituita dal traffico.

INDUSTRIALE: se la fonte principale di inquinamento è costituita dall'industria.

FONDO: misura il livello di inquinamento determinato dall'insieme delle sorgenti di emissione non localizzate nelle immediate vicinanze della stazione; può essere localizzata indifferentemente in area urbana, suburbana o rurale.

Tabella 1.24 Stazioni fisse di misura e inquinanti monitorati nel territorio del Comune di Milano, anno 2006 – Fonte: ARPA Lombardia, 2007

INQUINANTI	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PTS	PM10	PM 2.5	O <sub>3</sub>	CO	BTX
<b>MI – V.le Marche</b>	-	X	-	-	-	-	X	-
<b>MI – Via Juvara</b>	X	X	-	(**) X	(°) X	X	-	-
<b>MI – P.le Zavattari</b>	-	X	-	-	(**) X	-	X	X
<b>MI – V.le Liguria</b>	-	X	X	-	-	-	X	-
<b>MI – Verziere</b>	-	X	-	(°) X	-	X	X	-
<b>MI – Via Senato</b>	-	X	-	-	-	-	X	X
<b>MI – P.le Abbiategrasso</b>	-	X	-	(**) X	-	-	-	-
<b>MI – P.co Lambro</b>	-	X	-	-	-	X	-	-

(\*) Campionatore Gravimetrico (\*\*) Microbilancia Oscillante (°) Raggi Beta

Tabella 1.25 **Rendimenti annuali degli analizzatori delle postazioni fisse espressi in (%), anno 2006** – Fonte: ARPA Lombardia, 2007

INQUINANTI	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	PTS	PM10	PM 2.5	O <sub>3</sub>	CO	BTX
<b>MI – V.le Marche</b>	-	94,8	-	-	-	-	95,4	-
<b>MI – Via Juvara</b>	88,1	99,3	-	95,9	87,7	95,4	-	-
<b>MI – P.le Zavattari</b>	-	94,3	-	12,2	83,6	-	94,5	25,8
<b>MI – V.le Liguria</b>	-	99,1	97,8	-	-	-	95,4	-
<b>MI – Verziere</b>	-	95,6	-	92,2	-	91,5	96,4	-
<b>MI – Via Senato</b>	-	95,8	-	-	-	-	96,2	91,9
<b>MI – P.le Abbiategrasso</b>	-	61,8	-	10,6	-	-	-	-
<b>MI – P.co Lambro</b>	-	90,6	-	-	-	-	-	-

La Tabella 1.26 riassume le caratteristiche delle campagne di monitoraggio effettuate con il laboratorio mobile da ARPA Lombardia presso i siti di Milano – V.le Lampedusa, dal 7 aprile 2004 al 21 aprile 2004 e di Milano – P.le Accursio dal 30 novembre 2004 al 14 dicembre 2004.

Le concentrazioni medie rilevate degli inquinanti monitorati ed i corrispondenti rendimenti strumentali nei due siti sono riportati in Tabella 1.27. A differenza degli anni precedenti nel 2005 e 2006 le campagne con strumentazione mobile di ARPA Lombardia hanno interessato siti all'esterno del territorio del Comune di Milano.

Agenzia Mobilità e Ambiente ha avviato nel corso dell'anno 2004 la realizzazione di campagne di monitoraggio con il laboratorio mobile del Comune di Milano. La finalità delle campagne è quella di coadiuvare l'Amministrazione Comunale nelle attività di indagine, controllo e verifica, in termini di inquinamento atmosferico, delle scelte di pianificazione territoriale, urbanistica e viabilistica, verificando gli aspetti ambientali, ante e post operam, degli interventi previsti. In particolare, i dati raccolti vogliono favorire utili sinergie con gli strumenti di progettazione urbanistica, di riqualificazione del territorio e di riorganizzazione stradale. Le campagne, della durata di circa un mese ciascuna, consentono di rilevare accanto ai parametri chimici, dati meteorologici e di traffico alla microscala.

In Tabella 1.28 è riportato l'elenco delle campagne di monitoraggio svolte con il laboratorio mobile del Comune di Milano. Durante l'anno 2004, all'avvio delle attività con il laboratorio mobile, sono state effettuate due campagne di *testing* e *intercomparison* con la strumentazione della rete fissa ARPA, posizionando il laboratorio mobile nei pressi della postazione fissa di Verziere. Nel corso dell'anno 2005 sono state eseguite tre campagne presso l'area interessata dal Programma Integrato di Intervento "Ex scalo ferroviario di Porta Vittoria". Per ulteriori dettagli si veda il precedente Rapporto sulla qualità dell'aria del Comune di Milano (AMA, 2005).

In Tabella 1.29 è riportato l'elenco dei parametri misurati durante alcune campagne di misura e la relativa disponibilità dei dati.

Il laboratorio mobile del Comune di Milano risponde agli standard tecnologici e qualitativi previsti dalla normativa vigente. I dati rilevati mediante tale laboratorio sono allineati con quelli rilevati da ARPA Lombardia e mostrano andamenti concordi con questi ultimi, anche per quanto riguarda il rilevamento dei superamenti dei limiti di legge.

È previsto l'utilizzo del laboratorio mobile del Comune di Milano presso siti interessati da Programmi Integrati di Intervento, in altre Aree di Trasformazione, Isole Ambientali e aree verdi cittadine. Il laboratorio mobile sarà infine utilizzato anche per campagne finalizzate alla validazione di modelli matematici di dispersione degli inquinanti atmosferici su scala urbana.

 Tabella 1.26 **Campagne di monitoraggio effettuate con laboratorio mobile di ARPA Lombardia nell'anno 2004** – Fonte: ARPA Lombardia (2005)

NOME STAZIONE	TIPO ZONA DECISIONE 2001/752/CE	TIPO STAZIONE		QUOTA S.L.M. (METRI)
		DM 20/5/91	DECISIONE 2001/752/CE	
<b>MI – V.le Lampedusa</b>	URBANA	C	TRAFFICO	120
<b>MI – P.le Accursio</b>	URBANA	C	TRAFFICO	112

Tabella 1.27 **Campagne di monitoraggio effettuate con laboratorio mobile di ARPA Lombardia nell'anno 2004. Concentrazioni medie e rendimenti strumentali** – Fonte: ARPA Lombardia (2005)

NOME STAZIONE	CO		NO <sub>x</sub>		O <sub>3</sub>		SO <sub>2</sub>		PM10	
	mg/m <sup>3</sup>	%	µg/m <sup>3</sup>	%						
Milano – V.le Lampedusa	1,5	100	65	100	29	100	10	100	49	76,9
Milano – P.le Accursio	2,4	100	89	100	3	100	4	100	102	87,0

Tabella 1.28 **Campagne di misura effettuate con il laboratorio mobile del Comune di Milano. Periodi di riferimento** – Fonte: Agenzia Mobilità Ambiente, 2005

UBICAZIONE	PERIODO
Verziere 1	15.03.2004 – 15.04.2004
Verziere 2	28.06.2004 – 30.07.2004
Via Monte Ortigara	31.01.2005 – 07.03.2005
Via Cena 36	07.03.2005 – 18.04.2005
Via Cena 15	18.04.2005 – 23.05.2005

Tabella 1.29 **Campagne di misura effettuate con il laboratorio mobile del Comune di Milano. Rendimenti strumentali in (%)** – Fonte: Agenzia Mobilità Ambiente, 2005

Inquinanti	Disponibilità dati		
	VERZIERE 1	VERZIERE 2	Via Monte Ortigara
CO	99,7 %	98,9 %	82,0 %
NO	99,5 %	99,1 %	96,3 %
NO <sub>2</sub>	99,5 %	99,1 %	96,3 %
NO <sub>x</sub>	99,5 %	99,1 %	96,3 %
O <sub>3</sub>	99,5 %	99,2 %	99,6 %
PM10	98,5 %	98,8 %	27,2 %
BTX	0,0 %	18,9 %	93,5 %

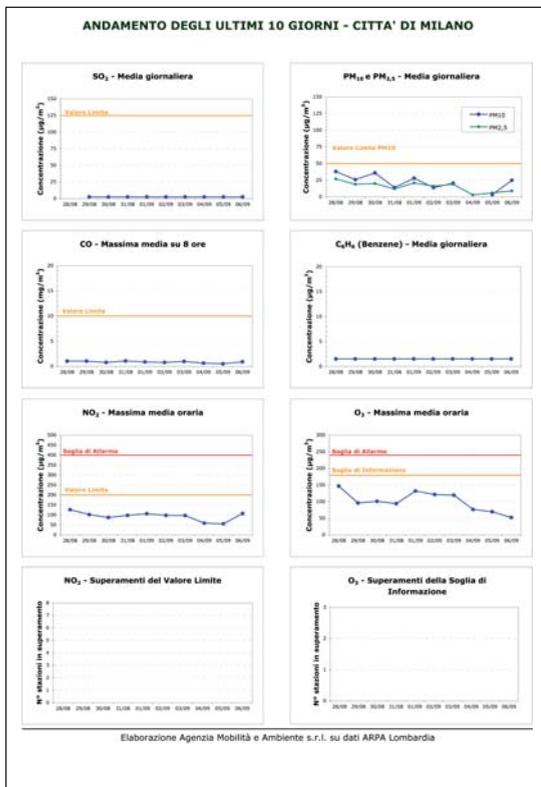
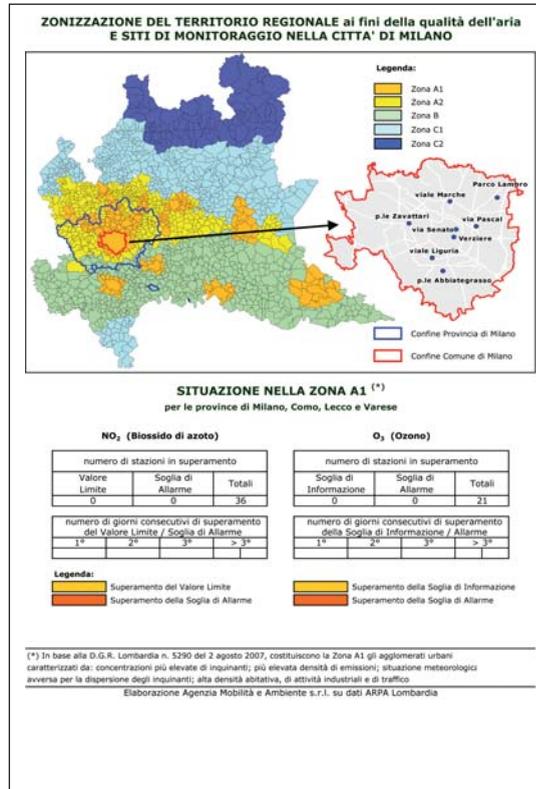
Per rendere più efficace la comunicazione riguardo agli episodi acuti di inquinamento atmosferico, il Comune di Milano si avvale a partire dall'anno 2001 del "Rapporto Giornaliero sulla Qualità dell'Aria" (Figura 1.40), redatto ogni giorno da Agenzia Mobilità e Ambiente e distribuito da essa attraverso il sito web del Comune, sulla base dei dati validati da ARPA Lombardia. Tale rapporto descrive la situazione attuale, l'andamento negli ultimi dieci giorni e le previsioni in materia di inquinamento atmosferico e connessi fenomeni meteorologici e viene aggiornato in base alla vigente normativa comunitaria, nazionale e regionale. Sulla base dei dati di qualità dell'aria raccolti e validati da ARPA Lombardia e di informazioni acquisite presso l'Amministrazione Comunale relativamente alle attività di contrasto ai problemi di inquinamento atmosferico, Agenzia ha elaborato nel corso degli anni 2000 e 2001 i relativi Rapporti Annuali sulla Qualità dell'Aria a Milano che si presentano come uno

strumento indispensabile per inquadrare la problematica inquinamento atmosferico a scala locale per il Comune di Milano.

Nell'anno 2003 Agenzia ha redatto, per conto dell'Amministrazione e in collaborazione con la Fondazione Lombardia per l'Ambiente e l'Associazione MeglioMilano, nell'ambito del processo di Agenda 21 Locale, la prima Relazione sullo Stato dell'Ambiente del Comune di Milano, in cui ha predisposto un set di indicatori significativi per rappresentare lo stato del comparto Aria, assieme ai relativi fattori di pressione e di risposta.

Nell'anno 2005 ha effettuato il primo aggiornamento della Relazione sullo Stato dell'Ambiente del Comune di Milano (AMA 2003), focalizzando l'attenzione sulle problematiche relative all'inquinamento atmosferico; è stato così redatto il 'Rapporto sulla Qualità dell'Aria del Comune di Milano' in cui sono riportate statistiche, politiche e strumenti per Aria, Energia e Mobilità.

Figura 1.40 Esempio di Rapporto Giornaliero sulla Qualità dell'Aria – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente



Decaduto l'obbligo attribuito ai Sindaci in base al DM n. 163/99 di redigere annualmente il Rapporto sulla qualità dell'Aria, il Comune di Milano intende così mantenere il proprio impegno alla rendicontazione ambientale.

Il Comune di Milano sta sviluppando una rete di misura dell'inquinamento atmosferico in parallelo agli strumenti di misurazione automatica del traffico veicolare, nell'ambito del progetto della Centrale Operativa di Controllo del Traffico gestita dal Corpo di Polizia Municipale.

In corrispondenza di punti strategici per la gestione del traffico urbano sono state collocate dieci unità multiparametriche (ETL) per la misurazione di alcuni parametri di inquinamento atmosferico, di alcuni parametri meteorologici e del livello di rumore.

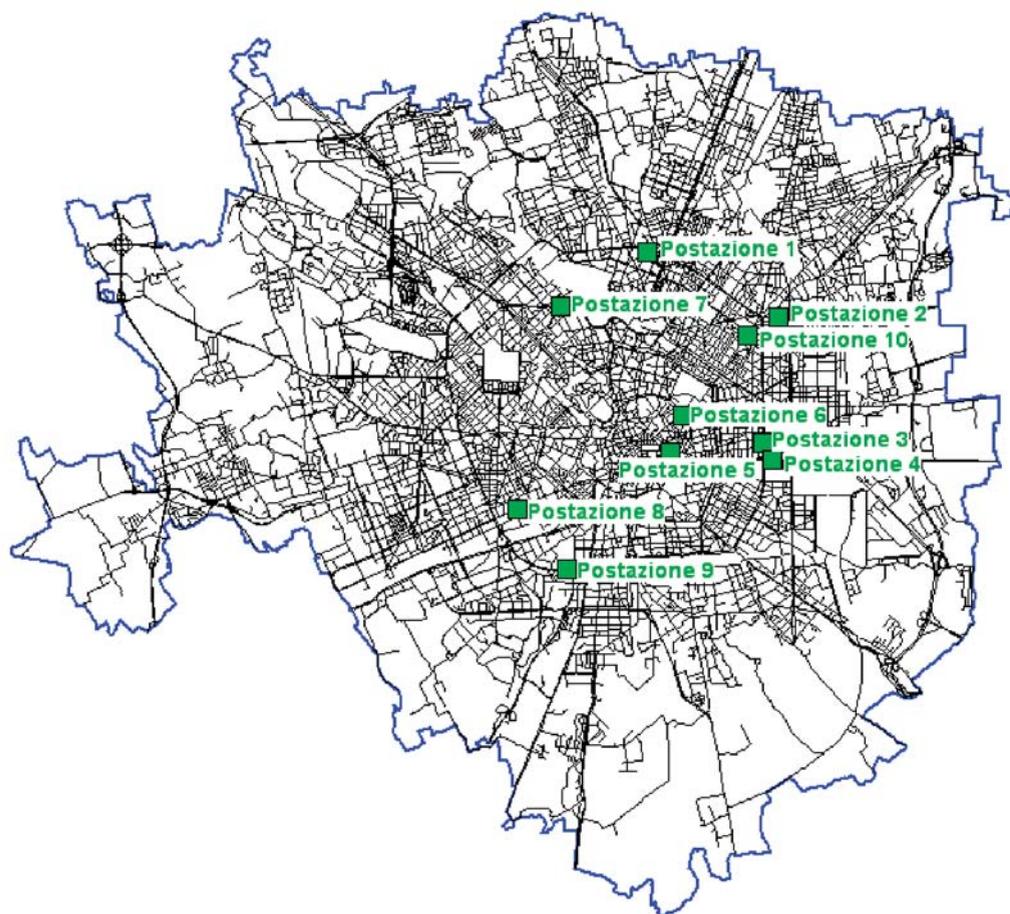
La tecnologia utilizzata per la misurazione dell'inquinamento atmosferico è costituita da sensori

allo stato solido a film spesso che hanno la caratteristica di consentire la realizzazione di postazioni molto compatte e di minimo ingombro.

In Figura 1.41 è riportata la localizzazione delle postazioni ETL nel Comune di Milano, utilizzate per la misura in continuo di CO, NO<sub>x</sub> e O<sub>3</sub> oltre a temperatura, umidità relativa e livello di rumore.

Tale rete di misura, tuttora in fase di messa a punto, consentirà all'Amministrazione Comunale di ottimizzare gli strumenti di controllo della circolazione veicolare, attraverso una gestione unitaria e integrata della variabile traffico e delle problematiche ambientali ad essa connesse. Sarà infatti possibile disporre di informazioni sulle singole intersezioni, a livello di microscala, e verificare le correlazioni esistenti tra le variabili traffico, qualità dell'aria, livello di rumore.

Figura 1.41 Localizzazione delle postazioni ETL nel Comune di Milano – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente



# Attività di controllo delle fonti emissive

## QUADRO DI RIFERIMENTO

### Provvedimenti di limitazione all'utilizzo di specifici combustibili

#### per il riscaldamento civile:

Deliberazione della Giunta Regionale della Lombardia n. 10203 del 6 agosto 2002: "Limitazione all'utilizzo dei combustibili previsti all'art. 11, comma 1, lettere dalla a) alla f), del Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri dell'8 marzo 2002 nei comuni inseriti nelle 'zone critiche', come individuate dalla Deliberazione della Giunta Regionale della Lombardia n. VII/6501 del 19 ottobre 2001"; Deliberazione della Giunta Regionale della Lombardia n. VII/13858 del 29 luglio 2003: "Limitazione all'utilizzo di specifici combustibili per il riscaldamento civile nei 'comuni critici', nelle 'zone critiche' e negli 'agglomerati', come individuati ai fini della zonizzazione del territorio regionale, nell'ambito del Piano Regionale per la Qualità dell'Aria (PRQA)"; Deliberazione della Giunta Regionale della Lombardia n. VII/17533 del 17 maggio 2004: "Limitazione all'utilizzo di specifici combustibili per il riscaldamento civile nei 'comuni critici', nelle 'zone critiche' e negli 'agglomerati', come individuati ai fini della zonizzazione del territorio regionale, nell'ambito del Piano Regionale per la Qualità dell'Aria; Progetto di Legge n. 0036 del 18/05/2005 "Limitazione all'utilizzo di specifici combustibili per il riscaldamento civile nei 'comuni critici' nelle 'zone critiche' e negli 'agglomerati' come individuati ai fini della zonizzazione del territorio regionale, nell'ambiente del Piano Regionale

*Questa Scheda sintetizza le informazioni relative ai diversi strumenti presenti nel territorio del Comune di Milano, attivati dall'Amministrazione Comunale e non, che contribuiscono alla riduzione delle emissioni in atmosfera, derivanti dalle principali attività antropiche in ambito urbano, attraverso un'attività di controllo alle fonti emissive. Sono descritti i seguenti provvedimenti:*

### Provvedimenti e campagne di controllo degli impianti termici ad uso civile

Per la trattazione di questo argomento si rimanda al Cap. 2 – "Campagna di controllo degli impianti termici".

### Provvedimenti di limitazione all'utilizzo di specifici combustibili per il riscaldamento civile

Nell'ambito di un organico insieme di azioni per contrastare l'inquinamento atmosferico, in particolare quello da polveri sottili, la Regione Lombardia ha disposto delle limitazioni all'utilizzo di alcuni combustibili per il riscaldamento civile.

Attraverso la DGR n. 10203 del 6 agosto 2002 la Regione Lombardia ha applicato la limitazione dell'utilizzo di specifici combustibili nei comuni "critici", come il Comune di Milano, ed in tutti quelli inseriti nelle "zone critiche" (si veda glossario), in quanto misura idonea al contenimento delle emissioni e coerente con le finalità del Piano Regionale per la Qualità dell'Aria. Tale limitazione è stata diversificata, in ordine a considerazioni di tipo tecnico ed ambientale, in funzione della potenza complessiva degli impianti e del combustibile impiegato. L'applicazione del dispositivo regionale si è rivelata tuttavia estremamente difficoltosa.

Il divieto di utilizzo di specifici combustibili per il riscaldamento civile nei comuni, nelle zone e negli agglomerati critici ha trovato finalmente piena efficacia con la DGR n. 17533 del 17 maggio 2004, che ribadisce le motivazioni ambientali che avevano portato alla precedente limitazione, supportandole con un'ampia relazione tecnico-scientifica, predisposta da ARPA Lombardia. In tale relazione si rileva infatti come la combustione dell'olio e dei suoi derivati comporti emissioni specifiche maggiori rispetto ad altri combustibili, in particolare gasolio e gas naturale, con riferimento a tutti gli inquinanti, ad eccezione del CO.

- campagne di controllo degli impianti termici ad uso civile;
- limitazione all'utilizzo di specifici combustibili per il riscaldamento civile;
- attività di controllo delle emissioni effettuata presso le aziende produttive;
- attività di controllo dei gas di scarico degli autoveicoli in circolazione;
- provvedimenti di blocco della circolazione veicolare.

Quest'evidenza giustifica quindi definitivamente la decisione di impedirne l'utilizzo, salvo casi specifici, nelle zone più "sensibili" dal punto di vista della qualità dell'aria. In seguito alla DGR n. 2839 del 27 giugno 2006, la misura di limitazione dell'utilizzo dell'uso di olio combustibile e degli altri distillati pesanti di petrolio è estesa anche alle altre zone di "risanamento" e di "mantenimento".

La Legge Regionale n. 24 dell'11 dicembre 2006 stabilisce il divieto dell'utilizzo dell'olio combustibile su tutto il territorio regionale per gli impianti di riscaldamento. Questo divieto ha un importante effetto sulle emissioni di particolato derivanti dall'utilizzo di tale combustibile in ambito civile (si veda la Scheda 1.7).

A livello nazionale, la parte V del D.Lgs. n.152 del 3 aprile 2006 disciplina le caratteristiche merceologiche dei combustibili, disponendo che l'olio combustibile pesante utilizzato negli impianti debba avere un contenuto di zolfo:

- non superiore all'1% in massa negli impianti con potenza termica nominale uguale o superiore a 0,3 MW;
- non superiore allo 0,3% in massa negli impianti con potenza termica nominale complessiva non superiore a 3 MW e autorizzati dopo il 24 marzo 1996.

### Attività di controllo delle emissioni effettuata presso le aziende produttive

La normativa nazionale vigente (D.Lgs. n. 59 del 18/02/2005 che ha abrogato il D.Lgs. N. 372 del 4 agosto 1999 con cui era stata recepita la Direttiva 96/61/CE) relativa alla "Prevenzione e Riduzione Integrate dell'inquinamento" – IPPC *Integrated Prevention Pollution and Control* – prevede di ottenere un alto livello di protezione dell'ambiente nel suo complesso. Il D.Lgs. n.59 regola il rilascio, il rinnovo ed il riesame

per la qualità dell'aria.

Deliberazione della Giunta Regionale della Lombardia n. 2839 del 27 giugno 2006:

“Determinazione per la limitazione all'utilizzo di specifici combustibili per il riscaldamento civile nelle zone di 'risanamento', e nelle zone di 'mantenimento' della Regione Lombardia, come individuate dalla D.G.R. n.6501/2001;

Legge Regionale n.24 dell'11 dicembre 2006: “Norme per la prevenzione e la riduzione delle emissioni in atmosfera a tutela della salute e dell'ambiente”.

#### Attività di controllo delle emissioni effettuata presso le aziende produttive:

Direttiva 96/61/CE del 24 settembre 1996 e successivi aggiornamenti (Direttiva 2003/35/CE; Direttiva 2003/87/CE);  
 Direttiva 1999/13/CE;  
 Legge n. 306 del 31 ottobre 2003;  
 Decreto Legislativo n. 351 del 4 agosto 1999;  
 Decreto Legislativo del Presidente della Repubblica n. 59 del 18 febbraio 2005;  
 Decreto Legislativo del Presidente della Repubblica n. 152 del 3 aprile 2006;  
 Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio n. 60 del 2 aprile 2002;  
 Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 44 del 16 gennaio 2004;  
 Decreto della Giunta della Regione Lombardia n. VII/73509 dell'11/12/2001;  
 Deliberazione della Giunta Regionale della Lombardia n.VII/19046 del 15 ottobre 2004;  
 Deliberazione della Giunta Regionale della Lombardia n.VII/19902 del 16 dicembre 2004;  
 Decreto della Giunta della Regione Lombardia n. 4614 del 24 marzo 2005;  
 Decreto della Giunta della Regione Lombardia n. 11648 del 19 ottobre 2006;

dell'Autorizzazione Integrata Ambientale (AIA), una procedura autorizzatoria unica cui è tenuto un impianto industriale per il proprio esercizio al fine di evitare o ridurre le emissioni nell'aria, nell'acqua e nel suolo.

Il campo di applicazione dell'AIA è stato esteso agli impianti nuovi e alle modifiche sostanziali apportate agli impianti esistenti.

Scopo del decreto è perseguire il più alto livello di protezione dell'ambiente, attraverso:

- l'adozione delle migliori tecniche disponibili (*Best Available Techniques* cosiddette BAT), incluse le pratiche gestionali specifiche per ogni impianto produttivo, determinate secondo criteri di migliore efficienza ambientale;
- un approccio integrato del coordinamento tra i vari soggetti pubblici e privati coinvolti nel processo istruttorio e autorizzativo e nella valutazione dei diversi aspetti ambientali;
- la messa a punto di un piano di monitoraggio da parte dell'azienda durante la validità dell'autorizzazione (5-7 anni);
- la trasparenza del procedimento amministrativo e il coinvolgimento del pubblico e di tutti i portatori d'interesse.

Il decreto prevede una chiara ripartizione di competenze fra Stato e Regioni (o Province autonome); "autorità competente" al rilascio dell'AIA è:

- il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare per tutti gli impianti esistenti e nuovi indicati in un apposito allegato (Allegato V - Categorie di impianti soggetti ad AIA statale);
- "l'autorità individuata dalla Regione o dalla Provincia autonoma" per gli impianti non indicati in tale Allegato V.

In Lombardia l'ente preposto al rilascio delle autorizzazioni è la Regione stessa, che ha attivato presso la Direzione Generale Qualità dell'Ambiente della Giunta Regionale uno sportello IPPC al quale i gestori degli impianti devono inviare le domande per il rilascio dell'autorizzazione integrata ambientale. La Provincia esprime un parere rilevante ai fini dell'AIA, fornendo il proprio contributo attraverso anche prescrizioni di natura territoriale ed ambientale strettamente connesse alle proprie competenze e a partire dall'1/01/2008 la Provincia sarà responsabile del rilascio, del rinnovo e del riesame dell'autorizzazione integrata ambientale.

ARPA Lombardia collabora attivamente con i gestori degli impianti IPPC non solo nella fase di monitoraggio e controllo, ma anche nella fase di istruttoria tecnica dell'autorizzazione.

Per quanto riguarda le autorizzazioni alle emissioni in atmosfera, previste e disciplinate dal D.Lgs. 152/2006,

parte quinta (autorizzazioni ordinarie e autorizzazioni per le attività in deroga/ex ridotto inquinamento atmosferico o R.I.A.), la Legge Regionale n. 24 dell'11 dicembre 2006 individua la Provincia quale autorità competente al rilascio, al rinnovo e al riesame della autorizzazione alle emissioni in atmosfera dal 01/01/2007 (ad esclusione delle autorizzazioni relative agli impianti di incenerimento dei rifiuti di competenza regionale ex art. 17.1 Legge Regionale 26/2003). Per gli impianti ed attività in deroga ad inquinamento scarsamente rilevante di cui all'art. 272, comma 1, del D.Lgs 152/2006 (ex attività ad inquinamento poco significativo di cui all'allegato 1 al D.P.R. 25/07/1991 più i piccoli allevamenti) i titolari interessati devono comunicare al Comune competente, nella forma dell'autocertificazione, la sussistenza delle condizioni di "poca significatività" dell'inquinamento prodotto (si veda: [www.ambiente.regione.lombardia.it](http://www.ambiente.regione.lombardia.it)). L'attività di controllo delle emissioni svolta da ARPA Lombardia, Dipartimento città di Milano – U.O. Aria si concentra soprattutto sulle attività che possono avere un maggiore contributo sull'inquinamento dell'aria e dell'ambiente in generale e, di conseguenza sugli impianti di maggiore impatto emissivo.

In particolare, per il Comune di Milano si tratta delle seguenti attività:

- inceneritori Zama (chiuso nel dicembre 2001), Silla 1 (attualmente chiuso), Silla 2;
- impianti di cogenerazione (Famagosta, Tecnocity);
- grandi centrali termiche (a servizio di centri ospedalieri e di grandi quartieri);
- industrie di produzione vernici;
- industrie farmaceutiche.

Il resto dei controlli ARPA riguarda in massima parte attività amministrativa svolta dall'U.O. Servizio Territoriale.

In Figura 1.42, si riporta il numero di autorizzazioni concesse ai nuovi impianti risultanti dall'archivio ARPA Lombardia, Dipartimento città di Milano – U.O. Aria, dalla Regione Lombardia e dalla Provincia di Milano; una stessa attività produttiva in base all'attività, alle lavorazioni in atto e ai cambiamenti produttivi avvenuti nel corso degli anni, può aver richiesto negli anni più di una autorizzazione. Nell'anno 2002 si osserva un notevole incremento delle autorizzazioni per nuovi impianti, probabilmente per effetto di una semplificazione del regime autorizzatorio.

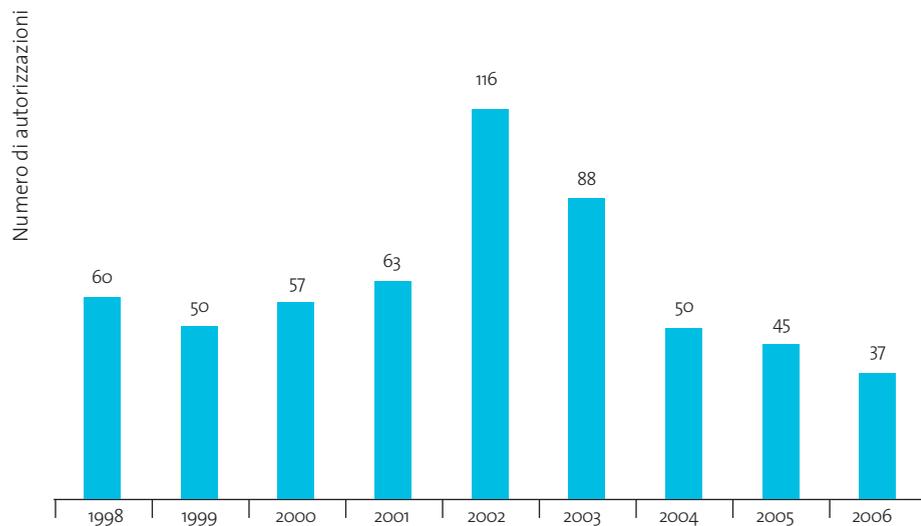
In pratica annualmente i controlli effettuati da ARPA costituiscono circa il 20% dei nuovi impianti autorizzati; solo il 5% dei casi di non conformità è relativo a superamento dei limiti di emissione, mentre per la restante parte è dovuto a inadempienze amministrative.

Nei casi di non conformità delle emissioni misurate, così come per il riscontro di non conformità di altra natura, viene data informazione all'Autorità Giudiziaria e si

trasmette notifica di informativa all'Amministrazione competente per i provvedimenti del caso.

Legge Regionale n. 24 dell'11 dicembre 2006: "Norme per la prevenzione e la riduzione delle emissioni in atmosfera a tutela della salute e dell'ambiente".

Figura 1.42 **Numero delle autorizzazioni concesse ai nuovi impianti nel territorio del Comune di Milano** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati Provincia di Milano e Regione Lombardia (2007)



**Attività di controllo dei gas di scarico degli autoveicoli in circolazione**

Le emissioni degli autoveicoli, che all'atto dell'omologazione devono essere conformi a determinati standard di legge, possono subire con il passare del tempo delle variazioni, generalmente in senso peggiorativo, a causa dell'invecchiamento delle parti motore e per il deterioramento dei sistemi di abbattimento delle emissioni.

Risulta, pertanto, di estrema importanza sottoporre i veicoli durante la loro vita utile a periodiche ispezioni tecniche mirate a stabilire l'eventuale necessità di messe a punto o interventi di manutenzione più spinta. Il Comune di Milano ha interdetto fin dall'anno 1994, attraverso apposite ordinanze, il transito nel suo territorio di tutti i veicoli che non si siano sottoposti e non abbiano superato con esito favorevole la prova cosiddetta "Bollino Blu", di valenza annuale. Tale prova è prevista nell'ambito della omonima campagna di controllo istituita dalla Regione Lombardia, in ottemperanza alla normativa nazionale, con proprie delibere (si veda il box "Quadro di riferimento"). Le tipologie di veicoli soggetti a controllo (veicoli pubblici e privati di proprietà e in uso ai residenti in Lombardia,

adibiti al trasporto di merci e/o persone, con qualsiasi tipo di alimentazione, catalizzati e non) sono definite nelle delibere regionali e vengono aggiornate annualmente in base al progressivo invecchiamento di ciascuna classe di immatricolazione. Le modalità tecniche della prova sono definite a livello europeo e richiamate nella relativa normativa nazionale e locale di recepimento. Dal 1999 risulta accettato anche il risultato della prova di controllo delle emissioni effettuata in sede di revisione del veicolo, dato che avviene con le medesime modalità tecniche.

La gestione dell'organizzazione della campagna di controllo presso le autofficine è affidata alle amministrazioni provinciali, mentre il compito di vigilanza sul rispetto delle ordinanze relativamente alla circolazione veicolare nel territorio comunale spetta al Corpo di Polizia Municipale. È prevista l'intensificazione dei controlli da parte della vigilanza nei giorni di episodi acuti di inquinamento atmosferico.

Dall'anno 2004 la materia è stata regolata con la DGR n. VII/13857 del 29 luglio 2003 che, fra le principali novità, ha introdotto l'obbligo per le autofficine ed i centri di revisione di utilizzare apparecchiature dotate di libretto metrologico. Ciò dovrebbe comportare una maggiore qualità del dato rilevato in sede di controllo delle emissioni.

**Attività di controllo dei gas di scarico degli autoveicoli in circolazione:**

Direttiva 92/55/CEE;  
Decreto Legislativo n. 285 del 30 aprile 1992; Decreto del Ministero dei Trasporti e della Navigazione del 5 febbraio 1996; Direttiva del Ministero dei Lavori Pubblici del 7 luglio 1998;  
Legge regionale n. 24 dell'11 dicembre 2006: "Norme per la prevenzione e la riduzione delle emissioni in atmosfera a tutela della salute e dell'ambiente";  
Delibera della Giunta Regionale della Lombardia n. 5276 del 2 agosto 2007: "Controllo obbligatorio delle emissioni da gas di scarico dei veicoli a motore di residenti in Regione Lombardia. Bollino Blu - Campagna 2007" e precedenti.

**Provvedimenti di blocco della circolazione veicolare:**

Ordinanze sindacali in ottemperanza alle Deliberazioni della Giunta Regionale ("Piano di azione per il contenimento e la prevenzione degli episodi acuti di inquinamento atmosferico relativamente alle zone critiche ed agli agglomerati della Regione Lombardia" e relative attuazioni);  
DGR Lombardia n. 4035 del 24 gennaio 2007, DGR Lombardia n. 5291 del 2 agosto 2007, DGR Lombardia n. 5546 del 10 ottobre 2007 e precedenti; .  
Ordinanze sindacali in ottemperanza a singoli Decreti del Presidente della Regione Lombardia ("Provvedimenti contingibili e urgenti per il contenimento dell'inquinamento atmosferico nelle Aree Omogenee/Zone Critiche e negli agglomerati della Regione Lombardia"); Decreto n. 1869

dell'11 febbraio 2005 e precedenti.

Decreti del Ministero dell'Ambiente del 31/01/2001, del 29/03/2001, del 25/07/2001, del 15/04/2002: "Domeniche ecologiche".

La Legge Regionale n. 24 dell'11 dicembre 2006 prevede che la Provincia rilasci alle autofficine l'autorizzazione di idoneità all'esercizio delle attività di controllo di gas di scarico. Le autorizzazioni sono perciò soggette a rinnovo, revoca, sospensione, decadenza.

In Figura 1.43 si riporta il numero di contrassegni (Bollini Blu) rilasciati dalle autofficine autorizzate nel territorio del Comune di Milano dall'anno 1998 all'anno 2006. Si osserva come, fino all'anno 2001, si sia verificato un calo del numero di contrassegni rilasciati dalle autofficine. Un fattore che può avere contribuito alla diminuzione del numero di contrassegni rilasciati dalle autofficine nel territorio del Comune di Milano dopo l'anno 1999 può essere costituito dall'entrata in vigore del provvedimento legislativo per cui viene accettato anche il risultato della prova di controllo delle emissioni effettuata in sede di revisione del veicolo, occasione in cui il rilascio del contrassegno "Bollino Blu" non sempre è avvenuta, almeno nei primi anni di applicazione.

In corrispondenza dell'anno 2002 è possibile osservare il massimo valore, nel periodo analizzato del numero di contrassegni rilasciati, a conferma dell'efficacia della campagna di controllo gratuito dei gas di scarico degli

autoveicoli presso 20 officine milanesi convenzionate, promossa dal Comune di Milano.

Nell'anno 2006 sono state rilasciate 1612 contravvenzioni per circolazione senza contrassegno Bollino Blu mentre sono state accertate 8509 infrazioni all'art. 80 del Codice della Strada (Figura 1.44), che impone la revisione dei veicoli, nel corso della quale viene effettuato anche il controllo dei gas di scarico (fonte: Polizia Municipale del Comune di Milano).

Purtroppo non sono disponibili dati statistici ufficiali relativi all'esito delle prove di controllo delle emissioni quali, ad esempio, la percentuale di veicoli che superano il test senza necessità di intervento (veicoli conformi) e quanti invece (veicoli non conformi) vengono sottoposti ad una messa a punto o a un intervento più spinto (es. sostituzione catalizzatore). Queste informazioni potrebbero, unitamente ad una conoscenza precisa di come l'operazione di regolazione per il superamento della prova possa influire sulle emissioni specifiche del ciclo di guida, consentire una valutazione quantitativa dell'efficacia di tale misura di controllo sulle emissioni complessive nell'area urbana.

Figura 1.43 **Numero di contrassegni (Bollini Blu) rilasciati dalle autofficine nel territorio del Comune di Milano** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati Provincia di Milano – Ufficio Bollino Blu (2007)

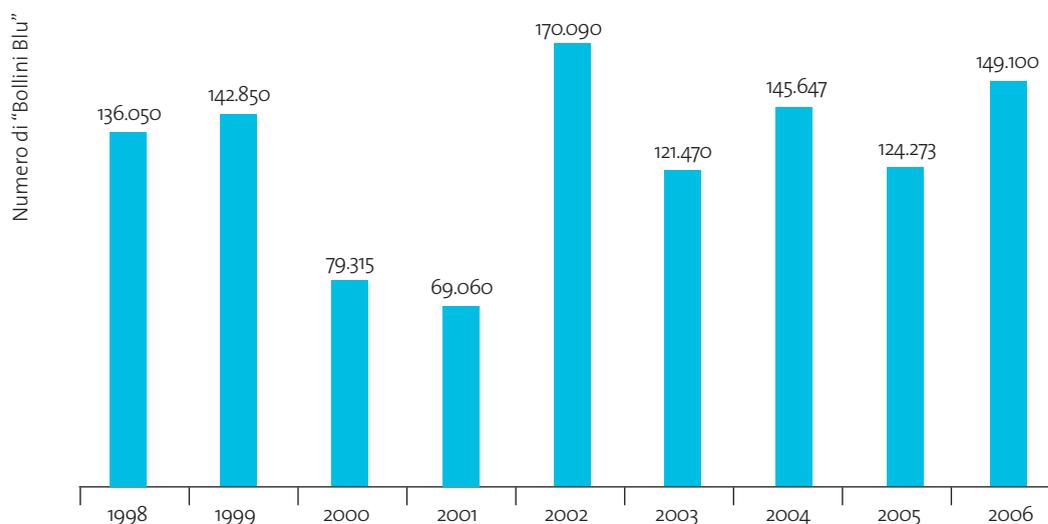
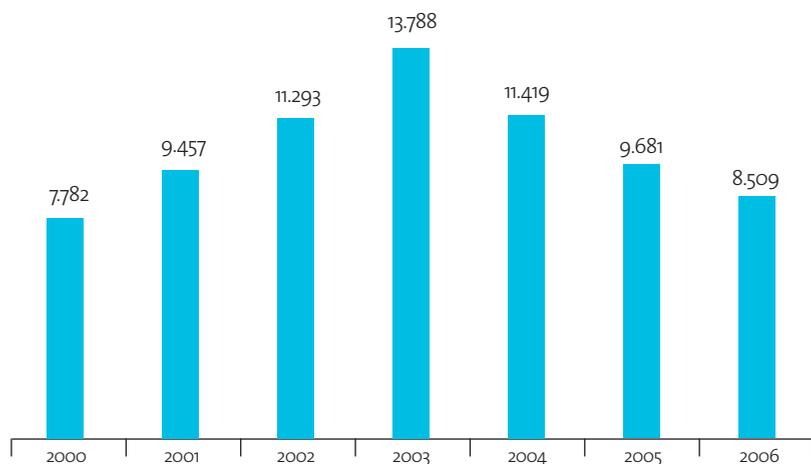


Figura 1.44 **Numero di contravvenzioni per mancata revisione del veicolo (art. 80 del Codice della Strada)** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati Polizia Municipale (2007)



### Provvedimenti di blocco della circolazione veicolare

I blocchi del traffico hanno costituito fino al mese di luglio 2003 uno strumento di controllo delle emissioni da traffico veicolare utilizzato dall'Amministrazione Comunale quale provvedimento "contingibile ed urgente" al verificarsi di episodi acuti di inquinamento atmosferico (si veda glossario), nell'ambito dei piani di intervento previsti in ottemperanza alle Delibere della Giunta della Regione Lombardia. In particolare, Milano appartiene alla Zona A1 (si veda glossario).

Gli inquinanti che, secondo la normativa vigente fino al luglio 2003, hanno determinato l'adozione del blocco del traffico veicolare sono il biossido di azoto, il monossido di carbonio e il PM10. È soprattutto sulla base del superamento delle soglie di riferimento di quest'ultimo inquinante che sono stati presi provvedimenti di blocco del traffico negli ultimi anni, costituendo l'inquinamento da PM10 uno dei principali problemi di inquinamento atmosferico dell'area milanese e delle grandi aree urbane in generale.

Negli anni successivi al 2003, la Regione Lombardia ha introdotto un nuovo approccio di tipo "preventivo" per affrontare il problema della riduzione degli episodi acuti nel periodo invernale (il più critico per i superamenti dei limiti di riferimento per la protezione della salute, in particolare per il PM10) adottando la DGR Lombardia n. VII/13856 del 29 luglio 2003. Per il periodo autunno-inverno 2006/2007 (DGR Lombardia

n. VIII/3024 del 27 luglio 2006 e n. VIII/3398 del 26 ottobre 2006), è stato programmato il fermo della circolazione degli autoveicoli e motoveicoli più inquinanti con alimentazione a gasolio e a benzina dal 1 novembre 2006 al 31 marzo 2007 nelle fasce orarie 8:00-12:00 e 16:00-20:00 dei giorni feriali (incrementando il fermo di un mese rispetto al medesimo periodo dell'anno 2005).

Con la stagione invernale 2007/2008 (DGR n. 5291 del 2 agosto 2007 e DGR Lombardia n. 5546 del 10 ottobre 2007) il fermo del traffico è stato esteso al periodo dal 15 ottobre 2007 al 15 aprile 2008 e all'intera giornata (dalle ore 7:30 alle ore 19:30 senza interruzioni).

In Figura 1.45 si riportano i dati dei giorni di blocco del traffico diversificati per tipologia di provvedimento al solo scopo di illustrare la realtà dei fatti, ma non vanno considerati nel confronto tra i diversi anni (trend), in quanto scaturiti da piani d'azione basati su criteri diversi tra loro.

I "provvedimenti contingibili ed urgenti" per il contenimento dell'inquinamento atmosferico durante gli episodi acuti si sono tradotti, negli anni analizzati, in diverse tipologie di blocco del traffico (non adibito a servizio pubblico) a seconda della gravità dello stato di qualità dell'aria: blocco totale, blocco dei soli veicoli pre-Euro o blocco dei veicoli pre-Euro con circolazione a targhe alterne degli altri veicoli.

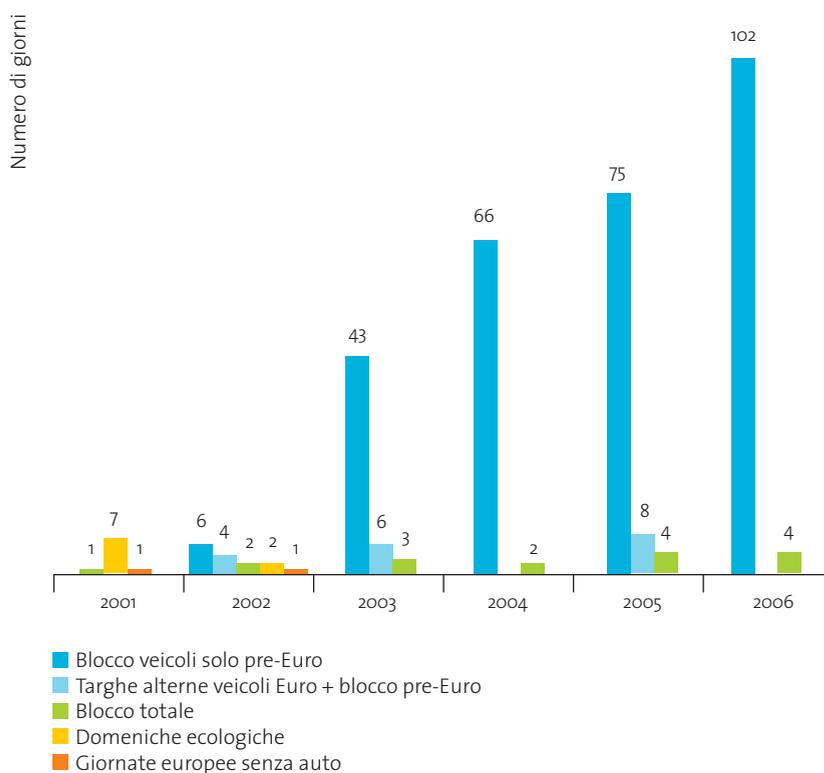
I blocchi del traffico relativi ad iniziative quali le "Domeniche ecologiche" e la "Giornata europea senz'auto" e i blocchi totali domenicali vengono qui

riportati perché, pur avendo una finalità principalmente rivolta a sensibilizzare la popolazione ad un contenimento dell'uso dell'auto privata, possono avere avuto per le rispettive giornate, anche un certo effetto in termini di riduzione delle emissioni in atmosfera provenienti da questa fonte.

I blocchi del traffico dei veicoli pre-Euro di tipo preventivo hanno indubbiamente un ruolo maggiore, rispetto a quelli contingenti, nella riduzione delle emissioni complessive in quanto, essendo caratterizzati da una durata di diversi mesi consentono una riduzione permanente delle emissioni in atmosfera di una importante fonte nell'area di intervento.

Agenzia Mobilità e Ambiente ha svolto nell'anno 2002 per conto del Comune di Milano uno studio sulla potenziale efficacia dell'applicazione dello strumento di limitazione della circolazione dei veicoli pre-Euro sul territorio comunale adottando diverse ipotesi di scenario e ampliando ipoteticamente l'estensione temporale del provvedimento alle 24 ore (Agenzia, 2005). Agenzia Mobilità e Ambiente ha effettuato inoltre una valutazione dell'efficacia degli interventi di blocco totale e di circolazione a targhe alterne (abbinata al blocco dei veicoli pre-euro) di cui si riportano i risultati nella Scheda 1.14.

Figura 1.45 **Provvedimenti di blocco del traffico suddivisi per tipologia (n. di giornate)** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati Comune di Milano (2007)



# Sistemi di supporto alle decisioni e modellistica ambientale

## QUADRO DI RIFERIMENTO

Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 60 del 2 aprile 2002 "Recepimento della Direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 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".

Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 261 dell'1 ottobre 2002 "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 artt. 8 e 9 del Decreto Legislativo n. 351 del 4 agosto 1999".

*Il Comune di Milano, avvalendosi della collaborazione di Agenzia Mobilità e Ambiente, promuove da tempo attività di ricerca finalizzate allo sviluppo di una modellistica ambientale in grado di assolvere funzioni sia di previsione locale dei fenomeni di inquinamento atmosferico sia di supporto alla valutazione ed alla pianificazione ambientale. Ciascun modulo matematico viene sottoposto ad una fase sperimentale di test durante la quale il modello viene applicato a specifici casi di studio e, se possibile, di intercomparazione con altri strumenti affini. In base ai risultati del test, viene deciso se il modello oggetto di sperimentazione deve essere adottato quale strumento "standard" dell'Amministrazione Comunale.*

*Alcuni di questi strumenti vengono già utilizzati dal Comune di Milano per supportare le attività decisionali e di pianificazione con riferimento agli aspetti ambientali relativi alla qualità dell'aria, in particolare i modelli statistici per la previsione a*

*breve periodo in tempo reale dei livelli di inquinamento atmosferico, i moduli per la stima delle emissioni atmosferiche da traffico veicolare, i modelli matematici di chimica e trasporto ed i modelli di dispersione a scala urbana.*

*L'insieme delle attività condotte negli ultimi anni in tal senso hanno trovato, di recente, una collocazione di più ampio respiro nell'ambito di un progetto cofinanziato dal Comune di Milano e dal Ministero dell'Ambiente dedicato all'implementazione di "Sistemi modellistici per la sostenibilità urbana". Obiettivo del progetto è l'integrazione di basi dati e modelli matematici con la finalità di realizzare un unico sistema di supporto alle decisioni per le politiche e le strategie di sostenibilità urbana in Milano.*

*Si descrivono i principali strumenti di supporto alle decisioni sviluppati nell'ambito dei progetti di ricerca e si illustrano alcuni esempi di applicazione.*

## Progetto "Sistemi modellistici per la sostenibilità urbana"

Il progetto "Sistemi modellistici per la sostenibilità urbana", cofinanziato dal Ministero dell'Ambiente ed il cui sviluppo (attualmente in corso) è in carico ad Agenzia Mobilità e Ambiente, ha come obiettivo l'integrazione di database e strumenti modellistici diversi in un unico sistema di supporto alle decisioni, da utilizzare nell'ambito delle valutazioni (sia in tempo reale che di lungo periodo) di strategie e politiche locali sostenibili.

Per "integrazione" si intende che le basi dati ed i modelli non necessariamente devono risiedere sulla stessa piattaforma hardware, infatti si tratta spesso di database e di applicazioni installati in ambienti diversi (quali Oracle / PostgreSQL, Windows / Unix ecc.) per i quali una reale integrazione "fisica" non sarebbe possibile. Inoltre i dati sono sovente gestiti da Enti o Uffici diversi, e dal punto di vista amministrativo, nonché informatico, potrebbero sussistere difficoltà di non semplice soluzione. Perciò nell'ambito di questo progetto il termine integrazione significa permettere il dialogo e lo scambio dati anche tra sottosistemi

distinti, salvaguardando dunque l'operatività del sistema principale e l'autonomia dei sottosistemi.

In questo contesto sono confluiti in maniera naturale dati e strumenti modellistici che Agenzia ha implementato e sviluppato, per conto del Comune di Milano, nel corso degli ultimi anni.

Il progetto "Sistemi modellistici" nasce principalmente dall'idea di integrare dati e modelli che riguardano i principali settori di competenza di Agenzia, ovvero la mobilità urbana e gli aspetti collegati a carattere ambientale. Per questo l'asse portante del sistema in corso di implementazione è costituito da (Figura 1.46):

- i dati di traffico, tra cui quelli rilevati dalla rete di monitoraggio del traffico del Comune di Milano;
- i risultati prodotti dal modello di assegnazione del traffico sulla rete stradale di Milano;
- i modelli di stima delle emissioni atmosferiche dovute al traffico veicolare e agli impianti di riscaldamento domestico;
- l'inventario delle emissioni atmosferiche della città di Milano;
- il modello per lo studio dell'impatto acustico del traffico veicolare a Milano;

- i dati meteorologici acquisiti da Agenzia o da essa direttamente rilevati;
  - i modelli per lo studio dei fenomeni di chimica, trasporto e dispersione degli inquinanti atmosferici.
- Come già accennato in precedenza, non tutte le parti che compongono questo sistema sono state sviluppate nell'ambito del progetto "Sistemi modellistici"; diversi moduli sono talmente complessi che il loro sviluppo ha richiesto un progetto specifico. Ciò che però è interamente peculiare del progetto "Sistemi modellistici" è la filosofia di base dell'integrazione tra i diversi componenti.

Nel seguito vengono descritte le principali componenti del sistema già operative o in corso di completamento relativamente agli strumenti modellistici per la qualità dell'aria, rimandando ad altre Schede la descrizione delle rimanenti parti (si vedano Scheda 1.8, Scheda 1.9 e Scheda 1.15). Inoltre per ognuno dei componenti qui illustrati saranno riassunte le attività di test e di intercomparazione con altri strumenti affini, eseguite per l'analisi delle prestazioni dello strumento, nonché l'eventuale documentazione scientifica prodotta in merito.

#### **Emissioni da traffico veicolare**

Per la valutazione delle emissioni da traffico sono impiegati strumenti modellistici che implementano in modo completo la metodologia di riferimento COPERT IV. Tale metodologia costituisce il riferimento europeo ed è parte integrante dell'EMEP/CORINAIR *Emission Inventory Guidebook* (EEA, 2006), guida di riferimento per la compilazione degli inventari delle emissioni redatta da esperti di tutta Europa.

La metodologia COPERT, giunta ormai al suo quarto aggiornamento, fornisce i fattori di emissione dei veicoli circolanti in Europa suddivisi per tipo di veicolo (auto, merci, autobus, ciclomotori, motocicli, etc.), classe di età di prima immatricolazione, classe di cilindrata (per auto e moto) o di portata (per i veicoli commerciali) e tipo di carburante, per un totale di oltre 200 distinte classi veicolari.

Le classi di anno d'immatricolazione individuate dalla metodologia COPERT IV si basano sulle Direttive europee riguardanti i limiti delle emissioni allo scarico. In questo modo la metodologia offre la possibilità di valutare l'evoluzione delle emissioni da traffico nel corso del tempo, in accordo al fatto che, in generale, i veicoli di produzione più recente rilasciano meno inquinanti in aria rispetto ai veicoli a tecnologia più vecchia.

Nell'ambito del sistema modellistico in uso presso Agenzia vengono usati sia il programma COPERT IV (Gkatzoflias et al., 2006), il cui sviluppo è patrocinato

dall'Agenzia Europea dell'Ambiente e viene pubblicamente distribuito dal Dipartimento di Termodinamica Applicata dell'Università "Aristotele" di Salonicco (Grecia), sia altri moduli di calcolo messi a punto da Agenzia che includono anche i fattori di emissione di particolari classi veicolari non previste nell'ambito della metodologia COPERT (quali i veicoli alimentati con biodiesel, gasolio emulsionato, ecc.) ma che per la città di Milano assumono una certa importanza. L'insieme degli strumenti così a disposizione possono elaborare dati di mobilità sia in modo aggregato (percorrenze complessive, velocità medie, profili medi giornalieri o orari) sia in maniera dettagliata, ossia riferiti ad uno specifico grafo di rete completamente caratterizzato. Il tipico approccio adottato da Agenzia si basa sul confronto tra stime eseguite a partire dagli stessi dati utilizzati però a un diverso grado di aggregazione; esso è già stato sottoposto all'attenzione della comunità scientifica internazionale (Bedogni e Moroni, 2004) e positivamente giudicata dai curatori della metodologia COPERT.

Per ulteriori dettagli sulla metodologia, ed alcuni esempi di valutazione delle emissioni da traffico, nell'ambito delle attività di Inventario delle emissioni svolte dall'Agenzia Mobilità e Ambiente per il Comune di Milano, sono riportati nella Scheda 1.7.

#### **Modelli per lo studio della dispersione degli inquinanti atmosferici**

Per quanto riguarda lo studio della dispersione degli inquinanti atmosferici, il sistema di Agenzia prevede l'adozione di un set di diversi modelli matematici di tipo deterministico, ciascuno dei quali ha il proprio ambito di applicazione in termini di ampiezza del dominio, tipologia di simulazione ecc. Questi modelli sono in grado di stimare i livelli di concentrazione sul territorio comunale a partire dai dati di emissione, forniti dall'Inventario comunale (si veda Scheda 1.7), dai dati meteorologici (si vedano Scheda 1.9 e 1.15) e dalle informazioni relative alla struttura urbanistica dell'area in studio.

In particolare la catena di dispersione prevede un modello a scala regionale, per le simulazioni che coinvolgono la chimica dell'atmosfera, un modello a scala urbana per lo studio della dispersione sull'intera città, e un modello a microscala per le simulazioni su limitate zone della città descritte con un grande dettaglio spaziale.

Per quanto riguarda la modellistica di chimica e trasporto a scala regionale Agenzia ha partecipato, tra il 2003 e il 2006, a diversi esercizi di intercomparazione modellistica di lungo periodo a scala regionale:

- City-Delta fasi 1 e 2, un'attività europea di

intercomparazione modellistica coordinata dal *Joint Research Centre* di Ispra (<http://aqm.jrc.it/citydelta/>) e attivata a supporto del programma comunitario CAFE (*Clean Air For Europe*, COM(2001)245 del 04.05.2001) con la finalità di valutare le risposte, soprattutto per quanto concerne i livelli di concentrazione di ozono e particolato fine, del maggior numero possibile di modelli matematici a diversi scenari futuri di riduzione delle emissioni su alcuni domini europei di (300 x 300) km<sup>2</sup>, tra cui quello di Milano;

- ESCOMPTE, intercomparazione modellistica internazionale dedicata a simulazioni di breve periodo sul dominio di Marsiglia (Pirovano et al., 2007);
- intercomparazione modellistica nazionale sul Bacino Padano, organizzata dal CTN-ACE (Centro Tematico Nazionale Aria, Clima e Emissioni in atmosfera, che opera come supporto operativo all'APAT, l'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente);
- City-Delta fase 3, un'ulteriore attività di analisi modellistica coordinata dal JRC e dallo IIASA (*International Institute for Applied Systems Analysis* di Laxenburg, Austria) ristretta a pochissimi team tra cui quello costituito da Agenzia e CESI Ricerca S.p.A. In questo contesto sono state eseguite simulazioni che hanno riguardato sette domini europei di circa (300x300) km<sup>2</sup> (Berlino, Cracovia, Lisbona, Londra, Milano, Parigi e Praga), per un totale di oltre 40 scenari di lungo periodo (Figura 1.47).

La partecipazione a questi esercizi ha avuto lo scopo di testare le performance del modello di chimica e trasporto di tipo euleriano CAMx (*Comprehensive Air quality Model with eXtensions*) realizzato e pubblicamente distribuito da *ENVIRON International Corporation* (Environ Corp, 2006). La sua applicazione all'area della Val Padana, che a livello europeo si è dimostrata essere una delle più difficili da simulare tra tutte quelle prese in considerazione, ha dato buoni risultati sia per l'ozono che per il particolato fine (Bedogni et al., 2005a; Minguzzi et al., 2005; Vautard et al., 2007; Cuvelier et al., 2007; Thunis et al., 2007; Angelino et al., 2007) e ha evidenziato come il modello sia allineato alle migliori conoscenze scientifiche attualmente disponibili. Inoltre gli algoritmi di analisi del ruolo delle fonti emissive sui valori di concentrazione degli inquinanti atmosferici, attualmente implementati in pochissimi modelli chimici a livello internazionale, lo rendono uno strumento di analisi estremamente efficace e prezioso. Per maggiori informazioni su quest'ultimo punto si veda la Scheda 1.13.

Come modelli di dispersione a scala urbana il sistema di Agenzia prevede la possibilità di utilizzare due tipologie di modelli matematici: una relativa ai consolidati modelli EPA (U.S. *Environmental Protection Agency*) di tipo gaussiano o a "puff", di semplice applicazione ma per lo più incapaci di tenere in conto la struttura urbanistica della città, la seconda invece relativa a un modello di ricerca di tipo misto deterministico – semiempirico in grado di trattare un'intera città e di ottenere risultati in brevi tempi di calcolo tenendo conto delle principali caratteristiche dell'edificato urbano.

Per quanto riguarda i modelli EPA, Agenzia ha partecipato ad una intercomparazione modellistica a scala urbana organizzata dal CTN-ACE applicando i "classici" modelli di dispersione CALINE e CALPUFF, inseriti nella lista A della *Guideline on Air Quality Models* dell'EPA, su un dominio di calcolo urbano di 12 x 12 km<sup>2</sup> (Bedogni et al. 2005b).

Per lo sviluppo di strumenti modellistici che invece tengano conto della struttura urbanistica della città, Agenzia ha recentemente concluso una sperimentazione riguardante l'applicazione a Milano del modello SIRANE (Soulhac et al., 2001), sviluppato dall'*École Centrale* di Lione (Francia). Questo modello utilizza schemi di calcolo semiempirici semplificati per trattare la dispersione all'interno del volume delimitato dalla strada e dagli edifici adiacenti e permette di eseguire delle stime di concentrazione in aria di inquinanti primari includendo anche gli effetti dell'edificato urbano. La sperimentazione ha riguardato l'applicazione del modello su un'area di (4 x 4) km<sup>2</sup> della città di Milano (Biemmi e Gaveglio, 2007) e i risultati ottenuti sono attualmente in studio (Figura 1.48).

Infine dal punto di vista dei modelli di dispersione a microscala per lo studio della dispersione di inquinanti primari a scala locale sono in corso applicazioni sperimentali di diversi modelli che adottano approcci più o meno complessi alla realtà da simulare (Figura 1.49). Come per le altre tipologie di modelli, le sperimentazioni sono condotte, ove possibile, anche nell'ambito di intercomparazioni modellistiche (si veda per esempio l'intercomparazione europea SEC – *Street Emission Ceiling exercise*, <http://aix.meng.auth.gr/sec/>). Al termine dei test saranno valutati le performance dei codici e la loro applicabilità nel contesto generale del sistema modellistico in fase di implementazione.

### Progetto Sentinella dell'Aria

Il Progetto Sentinella dell'Aria, cofinanziato dal Ministero dell'Ambiente e sviluppato da parte di Agenzia Mobilità e

Ambiente, si pone l'obiettivo di controllare la qualità dell'aria sul territorio comunale attraverso la previsione in tempo reale degli episodi acuti.

Sono stati testati diversi approcci modellistici per il calcolo della previsione delle concentrazioni di inquinanti nell'area urbana milanese grazie al collegamento in tempo reale alle reti di monitoraggio e ad altre fonti dati di tipo meteorologico.

I tipi di modelli considerati nello sviluppo del progetto includono regressori lineari, reti neurali e modelli *lazy learning*. I regressori lineari costituiscono una metodologia tradizionale semplice e robusta; comunque, la letteratura scientifica più recente privilegia approcci basati su reti neurali, per la loro maggiore capacità di rappresentare fenomeni non lineari. Il *lazy learning*, un metodo di approssimazione lineare locale, ha mostrato in diversi lavori sperimentali (Bontempi et al, 1999) capacità predittive equivalenti a quelle delle reti neurali, disponendo però di procedure di apprendimento e aggiornamento significativamente più rapide. Si è quindi optato per l'utilizzo di quest'ultima metodologia, riducendo significativamente i costi di manutenzione dei modelli sviluppati.

Dopo una prima sperimentazione sulle stazioni urbane di Milano Juvara e Verziere, la metodologia di calcolo è stata estesa alla stazione di Limite di Pioltello a partire dall'anno 2005. La flessibilità degli algoritmi utilizzati ha permesso inoltre una ricalibrazione dei modelli resasi necessaria dopo la sostituzione delle tipologia degli strumenti di misura delle polveri sottili a partire dal novembre 2004.

I modelli sviluppati per la previsione delle concentrazioni di polveri su un orizzonte temporale di 24 ore sono basati soprattutto sull'utilizzo di informazioni relative alle concentrazioni di inquinanti e alle variabili meteorologiche e micrometeorologiche nelle ore immediatamente precedenti la previsione, in differenti combinazioni e su finestre temporali ottimizzate per ogni singolo modello.

In Figura 1.50 è mostrato a titolo di esempio l'andamento delle concentrazioni effettivamente misurate insieme alle previsioni formulate con 24 ore di anticipo con i modelli *lazy learning*, in riferimento alla stazione di Milano Juvara per il mese di dicembre 2005. Le previsioni ottenute dai modelli a 24 ore presentano buoni livelli di affidabilità, con una correlazione tra dati veri e previsti superiore all'80%.

Per la previsione di PM10 a due giorni in avanti sono state inserite ulteriori variabili in ingresso ai modelli, in modo da migliorare l'accuratezza delle previsioni, che naturalmente tende a diminuire con l'utilizzo di un orizzonte temporale più esteso. A tale scopo sono state selezionate alcune variabili micrometeorologiche, necessarie per meglio caratterizzare le condizioni di dispersione atmosferica (Corani e Barazzetta, 2005) e previsioni meteorologiche ad alta affidabilità, fornite da un modello prognostico locale. Anche in questo caso le variabili in ingresso e le relative aggregazioni temporali sono state ottimizzate per ogni modello sviluppato.

In Figura 1.51 si presenta il risultato di una simulazione compiuta a dicembre 2006 per la stazione di Milano Verziere, con un orizzonte previsionale di 48 ore. Come atteso, l'affidabilità delle previsioni a 48 ore è minore di quella dei modelli a 24 ore, con correlazioni vero/previsto che superano comunque il 70%.

Il progetto ha quindi consentito di sviluppare una metodologia rapida ed efficace per la previsione a 24 e 48 ore per le concentrazioni medie giornaliere di PM10, sfruttando le informazioni provenienti da diverse reti di rilevamento dati.

Con l'implementazione del progetto "Sentinella dell'aria", il Comune di Milano tende a passare dall'approccio tradizionale, di intervento al momento dell'emergenza, ad un approccio di tipo preventivo, sostenuto da basi scientifiche e da adeguati supporti tecnologici. I modelli sviluppati, inoltre, possono essere integrati in sistemi modellistici più estesi, fornendo informazioni aggiuntive utilizzabili nei sistemi di supporto alle decisioni messi a punto dal Comune di Milano.

Figura 1.46 Schema logico del progetto "Sistemi modellistici per la sostenibilità urbana" – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente

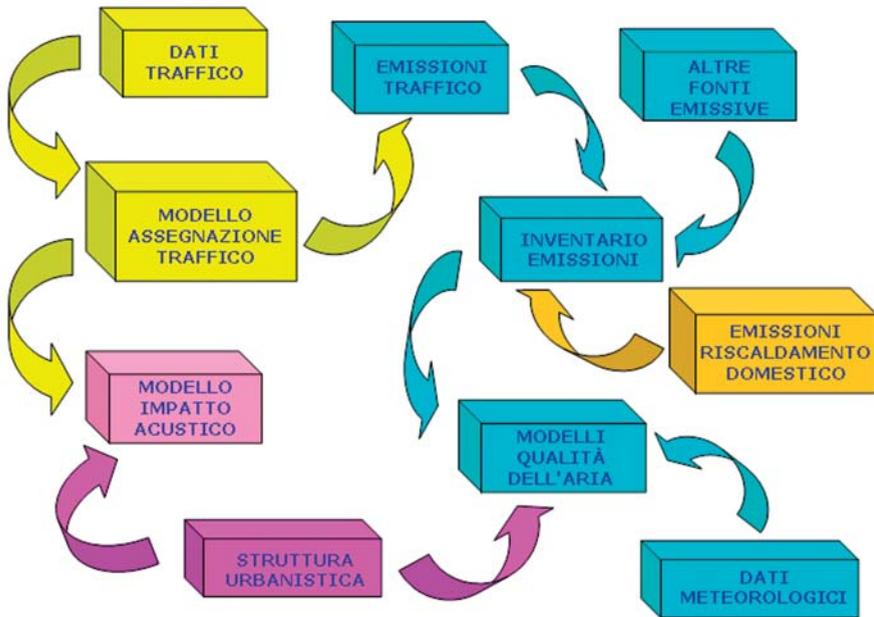


Figura 1.47 Aree di simulazione prese in considerazione nell'ambito del Programma Europeo di intercomparazione modellistica CITY-DELTA – Fonte: Joint Research Centre, Ispra



Figura 1.48 Esempi di mappe di concentrazione media oraria di monossido di carbonio calcolate dal modello di dispersione SIRANE su un quartiere di Milano – Fonte: S. Biemmi e R. Gaveglia, 2007

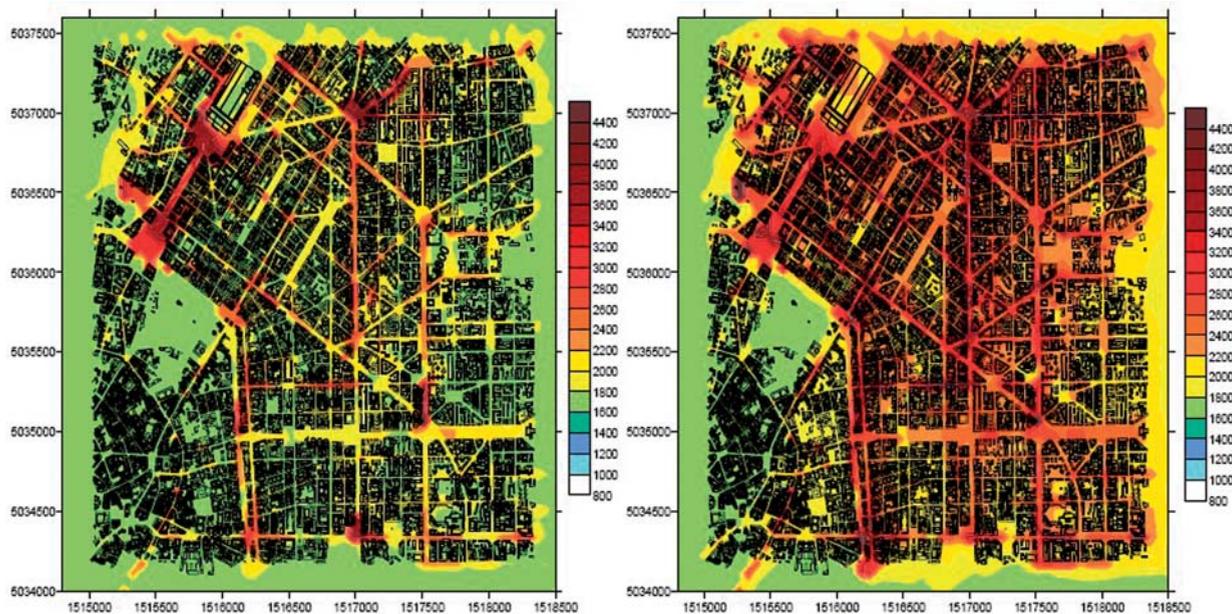


Figura 1.49 Esempio di ricostruzione tridimensionale della concentrazione media oraria di NOx ad un incrocio di Milano ottenuta con il modello MicroSpray – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente

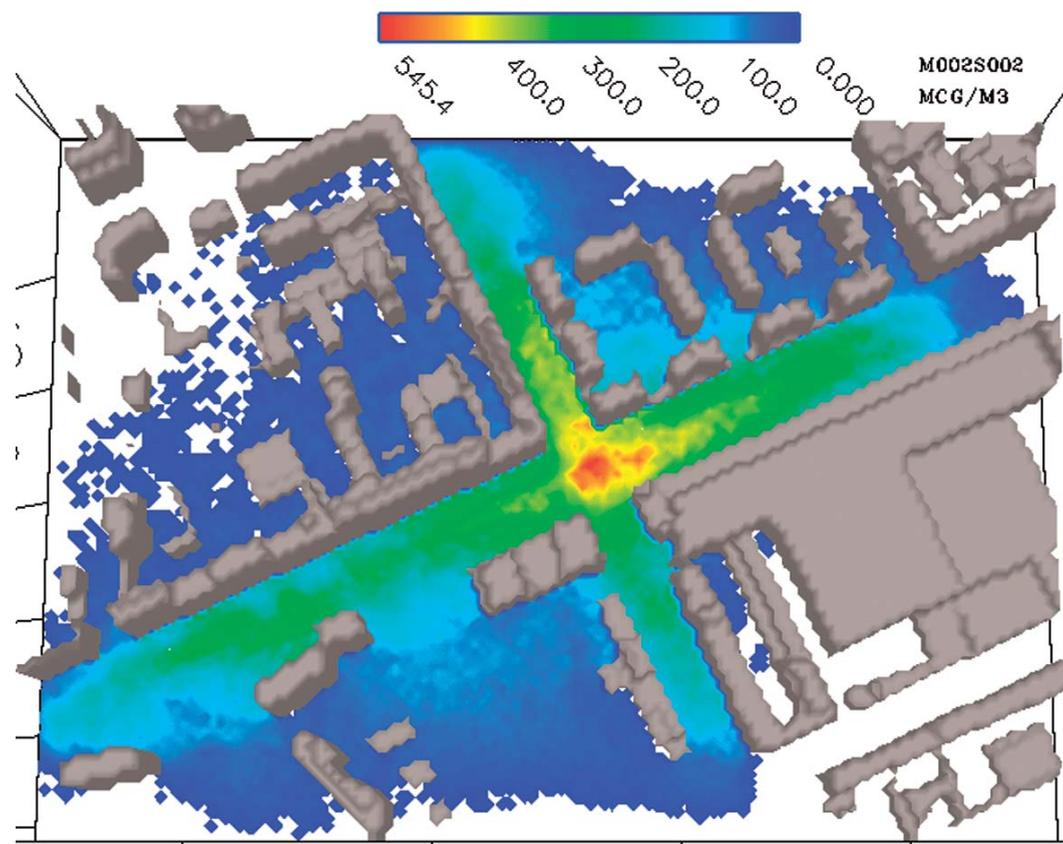


Figura 1.50 **Progetto Sentinella dell'Aria: esempio di applicazione del predittore a 24 ore delle concentrazioni di PM10 – simulazione del mese di dicembre 2005, stazione di Milano-Juvara** – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente (2006)

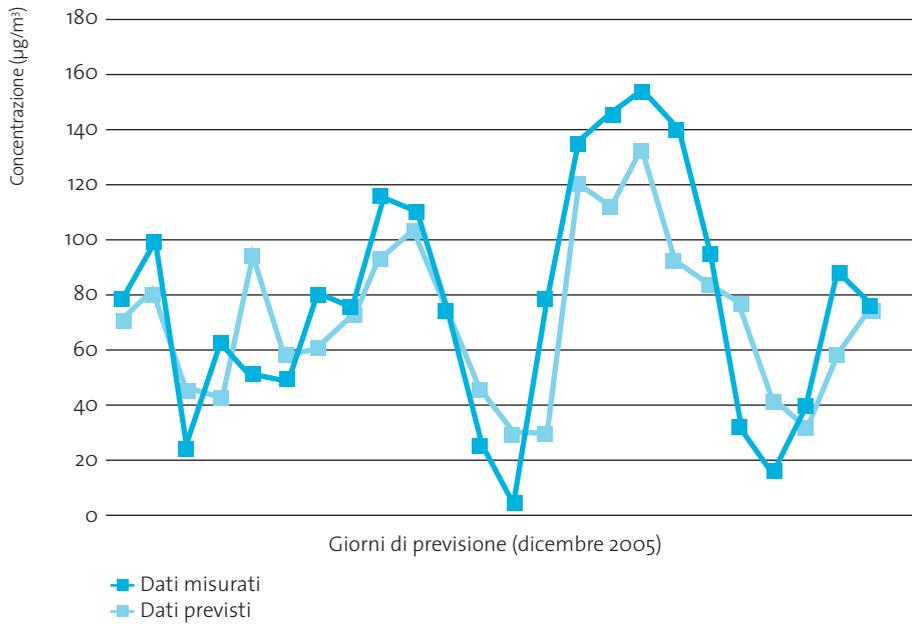
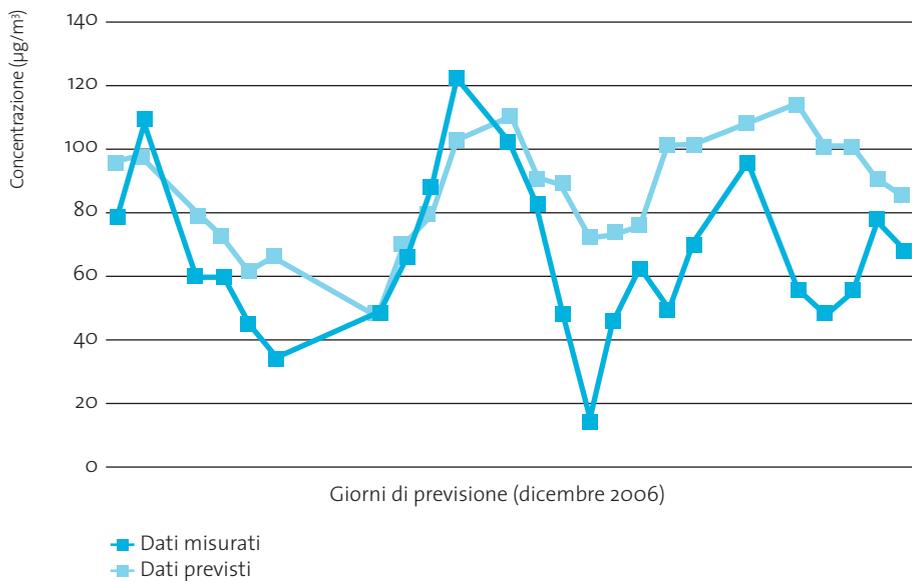


Figura 1.51 **Progetto Sentinella dell'Aria: esempio di applicazione del predittore a 48 ore delle concentrazioni di PM10 – simulazione del mese di dicembre 2006, stazione di Milano-Verziere** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente (2007)



## Analisi del ruolo delle fonti emissive sulle concentrazioni di inquinanti in atmosfera (*source apportionment*)

### QUADRO DI RIFERIMENTO

Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 60 del 2 aprile 2002 "Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 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".

Decreto del Ministero dell'Ambiente n. 261 del 1° ottobre 2002 "Regolamento recante le direttive tecniche per la valutazione preliminare della qualità dell'aria ambiente, i criteri per l'elaborazione del piano e dei programmi i cui agli artt. 8 e 9 del Decreto Legislativo n. 351 del 4 agosto 1999".

Direttiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 27 giugno 2001 concernente la valutazione degli effetti di determinati piani e programmi sull'ambiente (relativa alla VAS – Valutazione Ambientale Strategica).

*Tra gli strumenti modellistici ambientali utilizzati da Agenzia Mobilità e Ambiente quali strumenti di supporto alle decisioni per il Comune di Milano, il modello di chimica e trasporto attualmente adottato (CAMx) sta assumendo sempre più importanza. Esso infatti è, attualmente, uno dei pochi strumenti matematici in grado di eseguire una corretta analisi del ruolo delle fonti emissive sui valori di concentrazione degli inquinanti atmosferici. In altre parole, riferendosi alle*

*concentrazioni di inquinanti relative ad una determinata zona del dominio di calcolo CAMx può stimare il contributo dei diversi comparti emissivi relativi a differenti aree geografiche. Dunque tale strumento, applicato al comprensorio milanese per l'analisi dei contributi emissivi sui livelli di PM10, può dare informazioni molto importanti dal punto di vista della pianificazione per il risanamento ambientale e per gli interventi da adottare.*

In continuità con le attività intraprese negli ultimi anni nel campo della modellistica ambientale e già descritte nel Rapporto sulla Qualità dell'Aria del Comune di Milano (AMA 2005), Agenzia Mobilità e Ambiente ha continuato ad applicare, in cooperazione con CESI Ricerca, il modello di chimica e trasporto CAMx (*Comprehensive Air quality Model with extensions*, ENVIRON, 2006) al fine di migliorare la comprensione dell'origine dell'inquinamento atmosferico nell'area di Milano e, quindi, di meglio supportare le scelte relative a politiche di risanamento.

Più in particolare, il gruppo di lavoro costituito da Agenzia Mobilità e Ambiente e CESI Ricerca è stato recentemente coinvolto da JRC (*Joint Research Centre* di Ispra) e IIASA (*International Institute for Applied Systems Analysis*, Austria) per partecipare alla terza fase di CityDelta, attività europea di intercomparazione modellistica di lungo periodo a supporto del programma comunitario CAFE (*Clean Air For Europe*, COM(2001)245 del 4 maggio 2001). Questa fase, ristretta a pochi gruppi modellistici tra tutti quelli che avevano partecipato alle precedenti due fasi (AMA, 2005; Bedogni et al., 2005; Minguzzi et al., 2005; Vautard et al., 2007; Cuvelier et al., 2007; Thunis et al., 2007), ha riguardato l'analisi di scenario di sette domini europei urbani (Berlino, Cracovia, Lisbona, Londra, Milano, Parigi, Praga) di circa (300 x 300) km<sup>2</sup> ciascuno (Figura 1.47) per un totale di oltre 40 simulazioni di lungo periodo, con il caso base riferito all'anno 2004. Per quanto riguarda il dominio di Milano (Figura 1.52), al termine delle attività relative a CityDelta3 Agenzia ha proseguito gli studi modellistici sostituendo i dati di

emissione sulla Lombardia, originariamente forniti da EMEP (*Cooperative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-range Transmission of Air Pollutants in Europe*), con quelli pubblicamente forniti da INEMAR2003 (ARPA Lombardia, 2003). Su questo dataset, costituito dunque da emissioni INEMAR sulla Lombardia, da emissioni EMEP per la parte di dominio esterna alla Lombardia nonché da dati meteorologici e di concentrazioni al bordo relativi al programma CityDelta3 e riferiti al 2004, è stato applicato un particolare algoritmo del modello CAMx versione 4.42 denominato PSAT.

La metodologia PSAT (*Particulate Source Apportionment Technology*), implementata in CAMx, permette di effettuare valutazioni sul contributo delle fonti emissive distribuite in specifiche aree geografiche ai valori di concentrazione stimati dal modello (*source apportionment*). In altre parole questa metodologia, applicata al caso del PM10, permette di discriminare in modo quantitativo il ruolo di aree e categorie emissive che contribuiscono allo sviluppo di particolato (sia primario che secondario) in una certa area di indagine. La tecnica PSAT permette di effettuare valutazioni di *source apportionment* in maniera più corretta rispetto a quanto si possa fare con un modello matematico privo di tale algoritmo. In quest'ultimo caso, infatti, l'unico approccio possibile è quello della "rimozione della sorgente" (o *zero-out modelling*, spesso utilizzato in passato fino alla comparsa della tecnica PSAT), dove il contributo di una certa sorgente viene determinato effettuando una specifica simulazione nella quale si rimuove la sorgente stessa e confrontando i risultati

ottenuti con quelli della simulazione base. Tuttavia questo approccio presenta una grave lacuna teorica dovuta al fatto che i processi di trasformazione chimica sono tipicamente non lineari, quindi la risposta del modello fornita, rimuovendo la sorgente emissiva, potrebbe essere significativamente differente da quella ottenuta da una vera analisi di *source apportionment*.

I valori di concentrazione di PM10 totale così stimati per Milano dal modello di chimica e trasporto CAMx 4.42 sono risultati abbastanza in linea con quanto misurato dalle stazioni di monitoraggio della qualità dell'aria dell'ARPA Lombardia, pur evidenziando una sottostima non trascurabile (-27% sulla media annua di PM10 dei valori misurati dalle stazioni dell'area milanese, ovvero quelle di Milano Juvara, Milano Verziere e Limite). Va tuttavia sottolineato come, allo stato attuale della modellistica ambientale, è ragionevole che i valori simulati risultino sottostimati per almeno due motivi:

a) non tutti i fenomeni di emissione in aria di particolato primario sono completamente noti e, quindi, non sono riproducibili modellisticamente. Si pensi, per esempio, al risollevarsi delle polveri già depositate sul terreno dovuto sia al vento sia al transito dei veicoli su strada;

b) dal punto di vista del particolato secondario, mentre la chimica della frazione inorganica sembra ormai sufficientemente nota per poter essere implementata negli algoritmi del modello in maniera abbastanza soddisfacente, non sono ancora totalmente conosciuti i dettagli dei processi di formazione della frazione organica secondaria che dunque risulta spesso sottostimata dai modelli.

Con queste premesse i risultati di PM10 ottenuti con la simulazione precedentemente descritta, pur essendo ovviamente perfezionabili, appaiono tuttavia sufficientemente buoni per poter applicare l'algoritmo PSAT per il *source apportionment* e trarre qualche prima considerazione sull'origine del particolato misurato nell'area milanese. Il dominio di calcolo di cui alla Figura 1.52 è stato perciò suddiviso in tre aree geografiche:

1) Milano e gli altri 39 comuni appartenenti alla ex-Zona Critica di Milano (Allegato A della D.G.R. VII/6501 del 19/10/2001);

2) la parte restante della Lombardia;

3) la parte del dominio di calcolo esterna alla Lombardia, che include parte della Val d'Aosta, del Piemonte, della Liguria, dell'Emilia-Romagna, del Veneto, del Trentino Alto-Adige e della Svizzera.

Dal punto di vista delle fonti emissive, sono stati tracciati i contributi dei seguenti settori:

a) riscaldamento domestico degli edifici (macrosettore 02);

b) comparto produttivo e manifatturiero (macrosettori 03 e 04);

c) traffico stradale (macrosettore 07);

d) agricoltura (macrosettore 10);

e) tutte le altre fonti emissive.

La sintesi dei risultati ottenuti con questa configurazione modellistica è riportata nei grafici rappresentati in Figura 1.53, Figura 1.54 e Figura 1.55, relativi alle concentrazioni medie annuali e stagionali di PM10 totale stimato da CAMx per la città di Milano. La Figura 1.53 evidenzia come il modello stimi che il contributo dell'area milanese contribuisca, ai livelli di concentrazione di PM10 totale di Milano, per una frazione di circa il 30%, mentre il resto della Lombardia contribuisca per un 40% circa. Il contributo locale è più importante d'inverno, quando le condizioni meteorologiche risultano meno favorevoli alla dispersione e al trasporto degli inquinanti, mentre d'estate assume maggiore importanza il contributo delle aree esterne alla Lombardia che può arrivare fino al 35%. Dal punto di vista dei comparti emissivi (Figura 1.54), il traffico stradale sembra essere quello più importante nel corso di tutto l'anno, mentre il contributo degli impianti per il riscaldamento domestico degli edifici è ovviamente più importante nei mesi invernali. Per nulla trascurabile appare anche il contributo del settore agricolo. L'insieme di questi tre settori sarebbe responsabile mediamente di oltre la metà delle concentrazioni totali di PM10 di Milano. Non va dimenticato, inoltre, che probabilmente il contributo del traffico stradale è sottostimato, per le ragioni citate in precedenza.

Se infine incrociamo le informazioni relative ai contributi dei singoli settori emissivi con quelli delle aree geografiche (Figura 1.55) si osserva che il traffico stradale locale dovrebbe essere la fonte più importante di PM10 a Milano nel corso di tutto l'anno, seguita dal traffico stradale nel resto della Lombardia, contributo quest'ultimo che è più variabile nel corso delle stagioni a causa delle differenti condizioni meteorologiche che causano sia un diverso apporto di particolato primario sulla città sia diverse condizioni per la formazione di particolato secondario (CAMx stima che il traffico stradale nel resto della Lombardia sia la fonte principale del nitrato contenuto nel PM10 di Milano, Figura 1.56, che a sua volta costituisce tra il 10 e il 20% circa del particolato fine misurato a Milano, si veda a questo proposito Perrone et al., 2004). A seguire, confermano la loro importanza il comparto agricolo lombardo (stimato come la principale fonte di ione ammonio contenuto nel PM10 di Milano, Figura 1.56, che costituisce tra il 5 e il 10% circa del particolato fine misurato a Milano), il settore del riscaldamento degli edifici (il cui contributo è ovviamente variabile a

seconda della stagione) e infine quello manifatturiero lombardo.

In conclusione, questa prima analisi di *source apportionment* sull'area di Milano eseguita con tecniche modellistiche avanzate conferma quanto evidenziato in altri recentissimi lavori (Sghirlanzoni e Zandoni, 2007) ed indica che il problema del PM10 nella nostra città è di carattere multisettoriale: data la natura sia primaria che secondaria di questo inquinante, sono molti i settori emissivi interessati nella produzione di PM10 atmosferico e varie sono anche le aree geografiche coinvolte, anche se sembra confermato che il traffico veicolare sia comunque la fonte principale di particolato primario e secondario. Ricordiamo anche, come già accennato, che il contributo del traffico stradale potrebbe in realtà risultare maggiore rispetto a quanto stimato in questa analisi. Inoltre, come già sottolineato in precedenza, le analisi

modellistiche eseguite dovranno essere (e saranno nel prossimo futuro) oggetto di ulteriori perfezionamenti onde giungere alla migliore rappresentazione possibile della realtà fotografata dai sistemi di monitoraggio, pur tenendo conto delle oggettive limitazioni dovute alla non completa padronanza scientifica dei fenomeni che stanno alla base della produzione del particolato fine. Tuttavia le prime analisi modellistiche di tal genere condotte nell'ambito di esercizi differenti, pur relativi sempre al bacino padano, sembrano indicare (Pirovano et al., 2007) che la diversità dei dati di base, utilizzati per le simulazioni modellistiche (ad es. emissioni, condizioni meteorologiche) influenzi i valori assoluti di PM10 simulati dal modello ma non in maniera significativa i contributi relativi delle diverse fonti emissive, che invece sembrerebbero rimanere confrontabili fra loro. Ciò confermerebbe la robustezza della tecnica di analisi che fornirebbe dunque risultati sufficientemente affidabili.

Figura 1.52 **Area di studio del dominio CityDelta3 di Milano (delimitata dal riquadro nero)** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati JRC

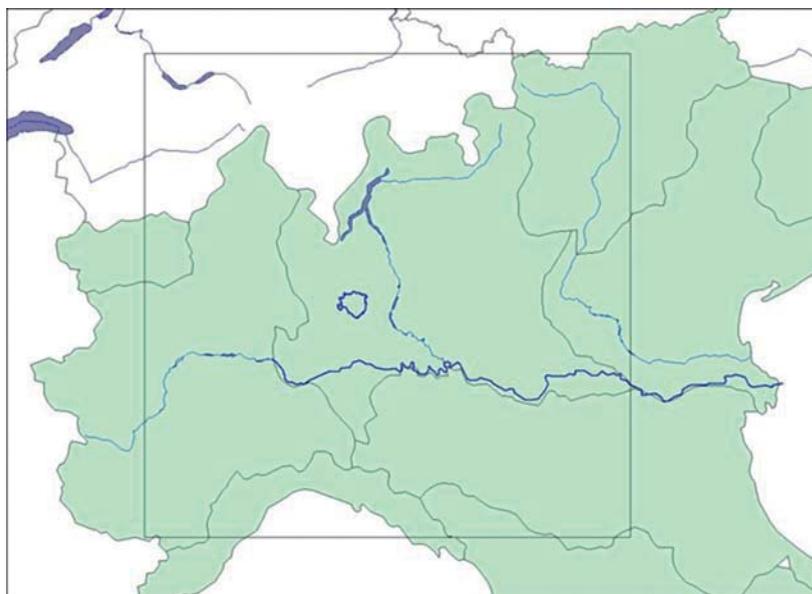


Figura 1.53 **Stima del contributo percentuale delle fonti emissive ai livelli medi, annuali e stagionali, di concentrazione di PM10 a Milano in funzione dell'area geografica. Anno di riferimento: 2004** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati CityDelta3 e INEMAR2003 (2007)

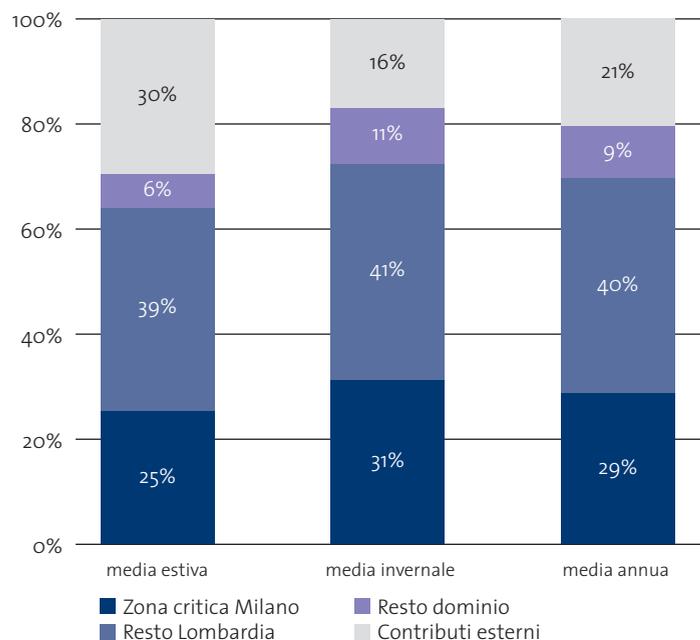


Figura 1.54 **Stima del contributo percentuale delle fonti emissive ai livelli medi, annuali e stagionali, di concentrazione di PM10 a Milano in funzione del settore emissivo. Anno di riferimento: 2004** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati CityDelta3 e INEMAR2003 (2007)

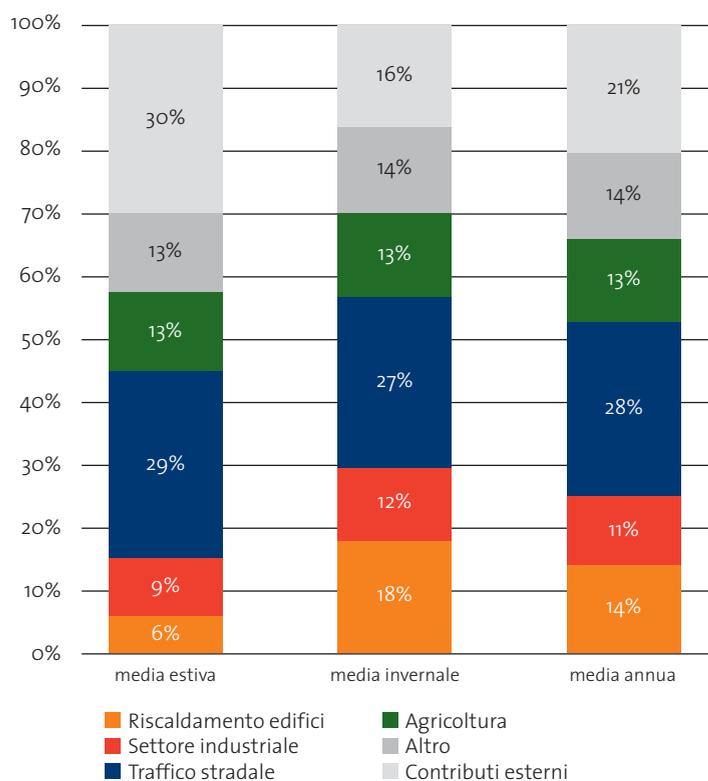


Figura 1.55 **Stima del contributo percentuale delle principali fonti emissive ai livelli medi, annuali e stagionali, di concentrazione di PM10 a Milano in funzione dell'area geografica e del settore emissivo. Anno di riferimento: 2004 –**  
*Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati CityDelta3 e INEMAR2003 (2007)*

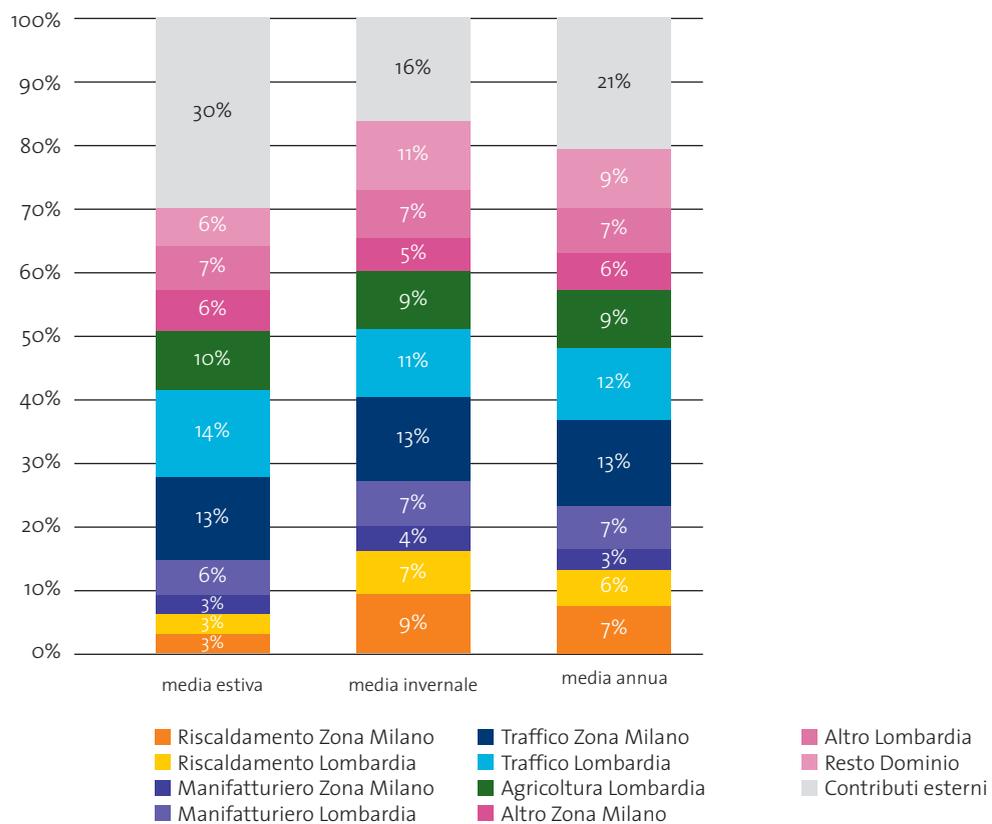
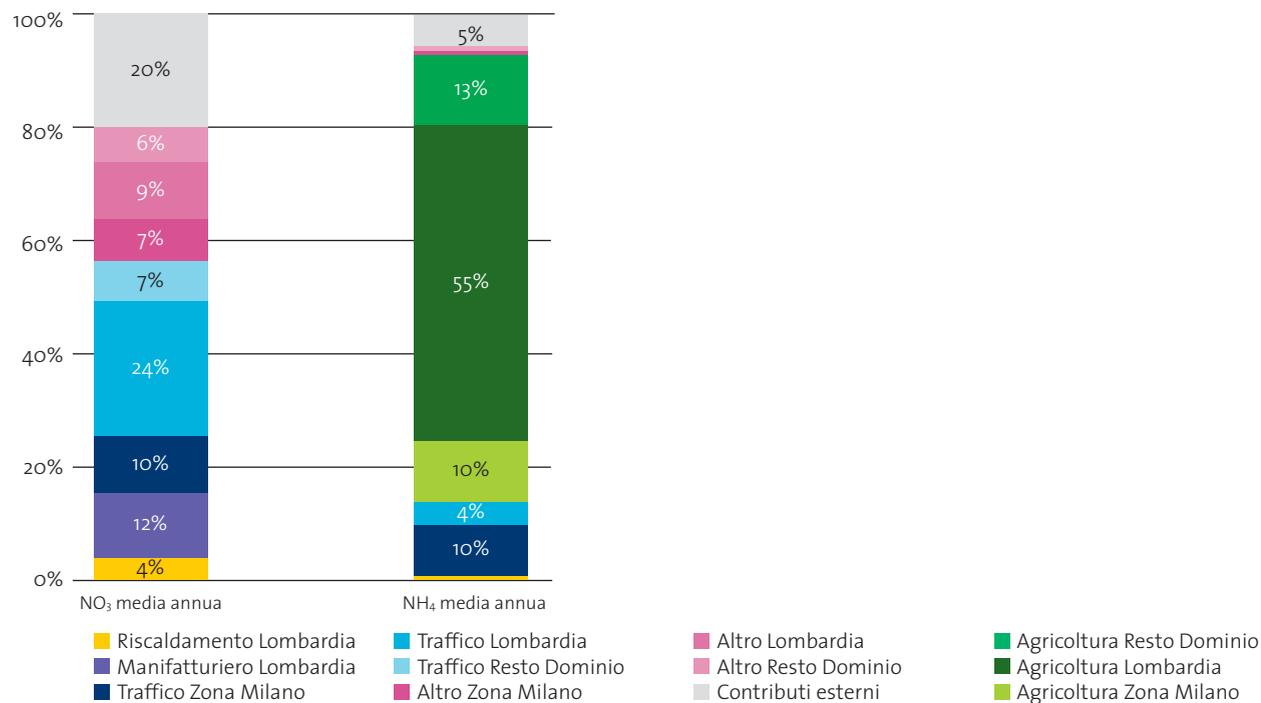


Figura 1.56 **Stima del contributo percentuale delle fonti emissive ai livelli medi annui di concentrazione di ione nitrato e ione ammonio a Milano in funzione dell'area geografica e del settore emissivo. Anno di riferimento: 2004**– Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati CityDelta3 e INEMAR2003 (2007)



## QUADRO DI RIFERIMENTO

Decreto della Regione Lombardia n.668 del 21/01/2002

"Provvedimento contingibile ed urgente per il contenimento dell'inquinamento atmosferico da PM10 nella zona critica di Milano sulla base della serie dei dati rilevati a partire dal 4 gennaio 2002".

Ordinanza del Presidente della Regione Lombardia n.525 del 17/01/2002 "Provvedimento contingibile ed urgente per il contenimento dell'inquinamento atmosferico da PM10 nella zona critica di Milano sulla base della serie dei dati rilevati a partire dal 4 gennaio 2002".

DGR n. 7/11485 del 6/12/2002

"Zonizzazione del territorio regionale per il conseguimento degli obiettivi di qualità dell'aria ambiente-Individuazione, in via preliminare, dell'agglomerato di Brescia".

DGR n. VII/20217 del 14/01/2005

"Ulteriori disposizioni in ordine alla circolazione dei veicoli, ad integrazione del piano d'azione (anno 2005) per il contenimento e la prevenzione degli episodi acuti di inquinamento atmosferico, con particolare riferimento al traffico veicolare, relativamente alle zone critiche ed agli agglomerati della Regione Lombardia".

DGR n.VII/20303 del 21/01/2005

Integrazioni delle disposizioni regionali di cui alla DGR n.20217 del 14/01/2005 in ordine alla circolazione dei veicoli a targhe alterne.

DGR n. 1869 del 11/02/2005

"Provvedimento contingibile e urgente per il contenimento dell'inquinamento atmosferico da PM10 nelle Zone Critiche e negli agglomerati della Regione Lombardia".

DGR n. 5291 del 2/08/2007

"Piano d'Azione per il periodo 15 ottobre-15 aprile 2008 ai fini del contenimento e della prevenzione degli episodi acuti di inquinamento atmosferico".

## Efficacia dei provvedimenti a breve termine di limitazione della circolazione veicolare

*Sul territorio del Comune di Milano sono stati applicati negli anni passati provvedimenti di limitazione della circolazione sul breve periodo al fine del contenimento degli episodi acuti di inquinamento atmosferico. Tali provvedimenti hanno avuto origine dall'applicazione di Decreti della Giunta Regionale per le ex-Zone Critiche e i principali agglomerati della Regione Lombardia, che il Comune di Milano ha recepito mediante opportune ordinanze (si veda Scheda 1.11). Agenzia Mobilità e Ambiente ha effettuato uno studio sulla valutazione dell'efficacia degli interventi di limitazione della circolazione veicolare a breve termine che sono stati adottati negli anni 2001-2006 sul territorio del Comune di Milano. In tale studio si sono analizzati i seguenti tipi di provvedimento:*

- **blocco totale del traffico**, ossia il divieto di circolazione esteso a tutti i veicoli non adibiti a servizio pubblico sulla quasi totalità delle strade urbane, in generale nella fascia oraria dalle 8:00 alle 20:00. Tale provvedimento ha presentato caratteri di 'contingibilità e urgenza' – ossia veniva adottato solo in caso del verificarsi di episodi critici di inquinamento atmosferico con previsione di ulteriore durata – fino alla stagione invernale 2003/2004, mentre a partire da quest'ultima sono stati introdotti i 'Piani di azione per il contenimento e la prevenzione degli episodi acuti di inquinamento atmosferico, con particolare riferimento al traffico veicolare...' che programmavano a priori (fino alla stagione invernale 2006/2007 compresa) le date delle domeniche in cui si sarebbe effettuato un blocco totale della circolazione. Il Piano di azione per il periodo dal 15 ottobre 2007 – 15 aprile 2008, definito dalla DGR n. 5291 del 2/8/07, non ne prevede più lo svolgimento programmato in anticipo.

- **circolazione a targhe alterne**, ossia il divieto di circolazione, in alcune giornate, dei veicoli che hanno l'ultima cifra della targa pari/dispari tra le 8:00 e le 20:00. Tale provvedimento di carattere 'contingibile e urgente' si è sempre sovrapposto, nel periodo analizzato, al contemporaneo blocco dei veicoli pre-euro, caratterizzati dai fattori di emissione specifici più elevati. Tale tipo di provvedimento è stato adottato fino alla stagione invernale 2004/2005.

Non potendo la valutazione dell'efficacia delle misure di limitazione alla circolazione veicolare prescindere dalla considerazione delle condizioni meteorologiche, che favoriscono o contrastano i processi di dispersione degli inquinanti in atmosfera, in questa analisi sono stati confrontati gli andamenti delle concentrazioni di PM10, e degli altri principali inquinanti legati alle emissioni da traffico veicolare (NO<sub>2</sub>, CO e benzene), con quelli dei parametri meteorologici. L'andamento di questi ultimi può, infatti, accentuare la riduzione dei valori delle concentrazioni in atmosfera degli inquinanti rilevate nei giorni di interesse portando a sovrastime della efficacia potenziale del provvedimento di limitazione della circolazione; al contrario, un andamento dei parametri meteorologici, che ostacoli la dispersione degli inquinanti, può mascherare l'effetto indubbio che un provvedimento di limitazione della circolazione veicolare apporta in termini di riduzione delle emissioni da traffico sulle concentrazioni risultanti.

### Blocco totale della circolazione veicolare

Per quanto concerne i giorni di blocco totale della circolazione veicolare applicati nelle ex-Zone Critiche e i principali agglomerati della Regione Lombardia l'analisi effettuata ha consentito di verificare che su 15 giornate di blocco totale esaminate, in 11 si registrano valori di concentrazione medi di PM10 inferiori a quelli del giorno precedente (in Figura 1.57 si riportano alcuni casi di esempio tra quelli analizzati). In circa la metà dei casi in cui si ottengono riduzioni delle concentrazioni in concomitanza dei blocchi totali si è potuto verificare un ruolo determinante da parte delle condizioni meteorologiche nella riduzione dei livelli d'inquinamento. In questi ultimi casi, caratterizzati da eventi meteorologici particolarmente favorevoli alla dispersione o rimozione degli inquinanti, quali ingresso di perturbazioni, venti intensi e precipitazioni, si verificano riduzioni delle concentrazioni di PM10 anche superiori al 50%.

In assenza di tali condizioni meteorologiche, la riduzione dei livelli di concentrazione di PM10 nelle domeniche di blocco del traffico rispetto al giorno precedente appare più contenuta, variando dal -29% al -8%.

Purtroppo l'effetto sulla qualità dell'aria è breve e non è possibile estenderlo alla giornata successiva al blocco, in quanto appaiono nuovamente determinanti sulle variazioni delle concentrazioni registrate le variabili meteorologiche e, probabilmente, la ripresa delle attività antropiche che costituiscono la causa delle emissioni.

Si verificano però, talvolta, episodi in cui si ottengono riduzioni delle concentrazioni degli inquinanti anche in corrispondenza di condizioni meteorologiche a sfavore della dispersione degli stessi (aumento della pressione e diminuzione della velocità del vento). Si intravede in tali casi la possibilità che le riduzioni delle concentrazioni siano da attribuirsi effettivamente ad una riduzione della sorgente emissiva costituita dal traffico veicolare. L'adozione del blocco totale della circolazione porta, infatti, a conteggi di traffico veicolare giornalieri inferiori del 43% rispetto a una domenica con circolazione libera nello stesso periodo invernale. Si tenga presente che la riduzione del traffico nel giorno di domenica è comunque fisiologica al ridursi delle attività lavorative ed è stimata pari al 36% rispetto ai giorni feriali (AMA, 2006).

Va comunque considerato che sulla riduzione delle concentrazioni rilevata nelle giornate di domenica ha un ruolo anche la riduzione/cessazione delle attività di altre fonti emmissive diverse dal traffico veicolare, legate alle attività produttive e di servizi sul territorio del Comune di Milano e al di fuori di esso.

### Circolazione a targhe alterne

Una particolare attenzione nello studio sopra citato è stata dedicata all'analisi delle giornate con circolazione a targhe alterne.

Se si analizzano i dati relativi ai provvedimenti di circolazione a targhe alterne limitati a singole giornate (es. in Figura 1.57: quattro giovedì consecutivi nel periodo 20/01/05 – 10/02/05) è possibile verificare che le concentrazioni di PM10 risultano sempre in aumento rispetto al giorno precedente, talvolta anche in corrispondenza di elementi meteorologici a favore di una maggiore dispersione degli inquinanti, quale l'aumento della velocità media giornaliera del vento e dell'altezza massima dello strato rimescolato – Hmix max (es. 20/01/05). La circolazione a targhe alterne applicata a singole giornate non è quindi in grado di contrastare l'aumento delle concentrazioni di PM10, anche nei casi in cui la meteorologia giochi un ruolo a favore di una riduzione dei livelli di inquinamento atmosferico.

Per quanto concerne l'applicazione di provvedimenti di circolazione a targhe alterne su più giorni consecutivi si può verificare che gli episodi rappresentati in Figura 1.57 costituiscono due casi opposti in termini di ruolo giocato dalla meteorologia: nel primo caso durante il provvedimento si sono verificate condizioni meteorologiche a favore della dispersione degli inquinanti, mentre nel secondo caso la meteorologia si è dimostrata favorevole all'accumulo delle sostanze emesse.

Nel caso riportato in Figura 1.57 in corrispondenza dell'applicazione del provvedimento di targhe alterne su quattro giorni feriali consecutivi (da martedì 22/01/02 a venerdì 25/01/02) si può osservare un calo delle concentrazioni rispetto ai giorni precedenti (-14% sulla media giornaliera il primo giorno), ma l'analisi dei dati meteorologici consente di rilevare che esattamente in corrispondenza delle quattro giornate del provvedimento si verificano condizioni favorevoli alla dispersione degli inquinanti, per effetto del transito di un fronte perturbato atlantico. È da notare che la durata del passaggio di questa perturbazione, che porta precipitazioni (le uniche del periodo) nelle prime tre giornate, coincide esattamente con la durata del provvedimento; nei giorni precedenti allo stesso vigevano condizioni anticicloniche che avevano procurato un notevole accumulo di inquinanti, in corrispondenza di basse velocità del vento e altezze massime dello strato rimescolato contenute. Anche la dinamica delle concentrazioni nell'ambito dei quattro giorni del provvedimento sembra seguire l'effetto dominante delle variabili meteorologiche: un calo di

PM10 più evidente in corrispondenza delle maggiori precipitazioni del terzo giorno e una variazione nei restanti giorni fortemente connessa alla variazione della velocità media del vento, analogamente a quanto accade per gli altri inquinanti. Infine, l'incremento delle concentrazioni di PM10 nell'ultimo giorno del provvedimento (25/01/02) sembra corrispondere perfettamente all'aumento della pressione che testimonia il ritorno ad un miglioramento della situazione meteorologica e a conseguenti minori capacità dispersive dell'atmosfera. Si specifica che in tal caso l'aumento registrato nel parametro Hmix max è fuorviante in quanto il modello PBL (*Planetary Boundary Layer*) utilizzato per calcolarlo, basandosi su misure di variabili meteorologiche al suolo, determina una stima inattendibile dell'inversione che si genera alla media o bassa quota nel giorno considerato. Il fatto che le concentrazioni di PM10 (e degli altri inquinanti) risalgano dopo quattro giorni consecutivi di applicazione del provvedimento a valori superiori al Valore Limite di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , nonostante il verificarsi di una consistente precipitazione (più di 30 mm di pioggia), induce a concludere che i margini di efficacia del provvedimento considerato sulle concentrazioni medie giornaliere possa essere stato minimo.

Anche l'analisi dei dati orari (Figura 1.58) non consente di individuare una sistematica riduzione della concentrazione di PM10 in concomitanza delle ore di limitazione del traffico. Anzi, valori orari tra i più elevati nella settimana di applicazione del provvedimento - superiori a  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  - sono relativi proprio alle ore pomeridiane del secondo giorno di circolazione a targhe alterne (tra le 14:00 e le 16:00 del giorno 23/01). E' interessante osservare come, piuttosto, una riduzione di circa  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di PM10 sia ottenibile attraverso l'evento di precipitazione che si verifica durante l'applicazione del provvedimento, in cui in circa 30 ore cadono più di 30 mm di pioggia.

L'analisi delle concentrazioni medie riferite alle ore interessate dal provvedimento evidenzia una riduzione delle concentrazioni di PM10 pari al 6% nel primo giorno. Se si considera che solitamente il primo giorno di applicazione del provvedimento è quello per cui vi è un maggiore rispetto del divieto alla circolazione (si veda nel seguito) e vi si aggiunge l'importante contributo giocato dalla meteorologia (precipitazioni e vento sostenuto) a favore della riduzione delle concentrazioni degli inquinanti nei giorni considerati si può dedurre la limitatezza del margine di efficacia attribuibile al provvedimento stesso.

Per quanto concerne il provvedimento di circolazione a targhe alterne su più giorni consecutivi adottato nel

periodo 15/02/05-18/02/05 (Figura 1.57) si osserva che le concentrazioni medie giornaliere di PM10 sono in progressivo aumento a partire dal primo giorno (+32% rispetto al giorno precedente).

Nell'arco dei quattro giorni di applicazione del provvedimento le concentrazioni medie giornaliere aumentano di circa tre volte: si passa dai  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del giorno 15/02 ai  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del giorno 18/02. Si tratta di valori comunque contenuti per il periodo invernale in Pianura Padana, imputabili al completo ricambio della massa d'aria nei bassi strati avvenuto per effetto dell'intenso episodio favonico (con raffiche anche di 60 km/h e velocità media giornaliera pari a 3,8 m/s) che ha preceduto l'entrata in vigore del provvedimento e che ha interessato anche il primo giorno del provvedimento (velocità media del vento del giorno 15/02 pari a 2,8 m/s). Il ritorno a condizioni dispersive più tipiche dell'area milanese (con velocità del vento attorno a 1 m/s) e il contemporaneo graduale aumento della pressione che si registrano proprio in corrispondenza dei giorni di applicazione del provvedimento, determinano gli incrementi di concentrazione rilevati. Questi ultimi sembrano non essere contrastati in modo evidente dall'applicazione del provvedimento di targhe alterne, anche se replicato per più giorni consecutivi.

In Figura 1.59, in cui si rappresentano le concentrazioni medie rilevate durante le ore di vigenza e non del provvedimento (fascia oraria 8:00-20:00 indicata come 'diurna' e 20:00-8:00 come 'notturna'), è possibile osservare - tra il 17/02/05 e il 19/02/05 - il fenomeno del reinstaurarsi delle inversioni termiche notturne tipiche della stagione invernale in Pianura Padana, con il conseguente aumento delle concentrazioni durante la notte, poco o per nulla contrastato dall'applicazione del provvedimento durante le rispettive ore diurne.

I risultati di un'indagine svolta da Agenzia sul periodo 2004-2005 riportano per il Comune di Milano riduzioni dei flussi di traffico misurati dal sistema SMTCC (Sistema di Monitoraggio del Traffico al Confine Comunale) pari al 15% nei giorni di targhe alterne rispetto agli altri giorni feriali nello stesso periodo, in cui è vigente il blocco dei veicoli pre-euro (AMA, 2006). Dai primi dati disponibili dalla rete di monitoraggio interna al confine comunale, dedicata alla regolamentazione semaforica, si rilevano riduzioni più contenute che si attestano al 10,5% (AMA e Comune di Milano, 2006b).

A proposito della reiterazione del provvedimento su più giorni (15-18/02/05) vi è da considerare il netto trend di crescita nei conteggi dei veicoli circolanti registrato, nel caso specifico, tra il primo e l'ultimo giorno del

provvedimento (venerdì traffico superiore del 4,5% rispetto al martedì) dal sistema di rilevamento con spire induttive ubicate all'interno del territorio comunale. La perdita di efficacia del divieto di circolazione si sovrappone comunque ad un aumento dei flussi di traffico che si registra in condizioni di libera circolazione tra il martedì e il venerdì pari allo 0,8% (AMA e Comune di Milano, 2006b). Si può dedurre che durante le giornate di applicazione del provvedimento vi sia stato un rispetto della limitazione alla circolazione via via più contenuto, fino a giungere a percentuali di riduzione dei flussi di traffico interni al territorio comunale pari al 7,9% nella giornata di venerdì.

L'eventuale effetto del provvedimento di circolazione a targhe alterne va ricercato nella possibilità che lo stesso, procurando una riduzione delle emissioni da traffico, possa aver determinato un aumento delle concentrazioni inferiore a quello che sarebbe avvenuto in caso di mancata applicazione dello stesso ma, a tal proposito, va anche considerato il contributo relativo che hanno le emissioni da traffico interessate dal provvedimento di targhe alterne analizzato (vigente su tutta la ex-Zona Critica Unica di Milano-Como-Sempione, la Zona Critica di Bergamo e nell'agglomerato sovracomunale di Brescia) rispetto alle emissioni complessive che contribuiscono alle concentrazioni medie comunali, oggetto di questo studio.

Un'indicazione di tale valore può essere ricercata nei risultati delle analisi di *Source Apportionment* che riguardano un recettore posto nel territorio del Comune di Milano. Un primo risultato ottenuto da Agenzia Mobilità e Ambiente con il modello di chimica e trasporto CAMx (si veda Scheda 1.13) permette di stimare il contributo delle emissioni da traffico di particolato (anche di buona parte dei precursori del particolato secondario) delle aree interessate dal provvedimento nel 15% (primo trimestre dell'anno 2004) rispetto alle emissioni complessive che hanno un ruolo sulle concentrazioni dell'area urbana. Va, infatti, considerato il contributo che deriva alle concentrazioni di particolato nell'area milanese dalle emissioni prodotte dalle sorgenti diverse dal traffico, oltre che di tutte le emissioni prodotte nel resto del Bacino Padano e ivi trasportate dai meccanismi diffusivi dell'atmosfera. Tali risultati presentano un margine di incertezza legato alla attuale difficoltà della modellistica ambientale di considerare in tali stime tutte le fonti di particolato primario (es. fenomeni di risollevarimento delle polveri) e di particolato secondario per quanto concerne la frazione organica secondaria, tuttora sottostimata, ma costituiscono quanto di meglio è attualmente stimabile per l'area milanese.

Alla luce di tali incertezze si può pensare che il contributo del traffico locale sia leggermente sottostimato, ma al fine di pervenire ad una valutazione dell'efficacia del provvedimento di targhe alterne, ai risultati che derivano dall'analisi di *Source Apportionment*, va comunque aggiunta l'informazione relativa alla riduzione dei flussi di traffico e delle correlate emissioni ottenibile mediante questo tipo di provvedimenti. La riduzione delle emissioni da traffico di PM10 nel Comune di Milano, corrispondente ad una riduzione di circa il 10% (AMA e Comune di Milano, 2006b) dei volumi di traffico, è stimata nel 13% per il Comune di Milano per l'episodio considerato (AMA, 2007). Combinando queste informazioni con quelle risultanti dalla simulazione di *Source Apportionment* si può dedurre una prima valutazione della potenziale efficacia del provvedimento di circolazione a targhe alterne in termini di riduzione delle concentrazioni giornaliere di PM10 che raggiunge percentuali attorno al 2% (AMA, 2007).

Vi è comunque da considerare la difficoltà di ottenere per il particolato una riduzione delle concentrazioni in atmosfera attraverso una limitazione delle emissioni primarie limitata nel tempo, in quanto questo inquinante è caratterizzato - in particolar modo nelle condizioni meteorologiche in cui si trova spesso il Bacino Padano durante la stagione invernale - da una notevole componente secondaria, dovuta a reazioni da parte di inquinanti precursori emessi da diverse fonti anche lontane. In tali casi il particolato secondario diviene la frazione prevalente del particolato rilevato su grandi estensioni, riducendo il ruolo degli interventi locali di limitazione delle fonti. Una maggiore efficacia nella riduzione delle concentrazioni atmosferiche di provvedimenti di limitazione della circolazione si può prevedere per inquinanti primari emessi direttamente dalla fonte traffico (quali CO, NO e benzene), tenendo presenti comunque le considerazioni relative al ruolo della meteorologia che scaturiscono dall'analisi sopra riportata.

Dallo studio è emerso che, a livello giornaliero, si verifica una riduzione delle concentrazioni di PM10 ed in generale degli altri inquinanti legati al traffico, nel caso di adozione di blocchi totali della circolazione, mentre nelle giornate in cui sono stati adottati i provvedimenti di circolazione a targhe alterne non emergono evidenti risultati positivi nella riduzione di tali inquinanti.

Dall'analisi dei valori orari effettuata risulta evidente come alcune condizioni meteorologiche (precipitazioni e venti sostenuti) favoriscano in modo determinante l'abbattimento delle concentrazioni di PM10 in

atmosfera, talvolta in maniera molto più evidente dei provvedimenti sulla circolazione stradale attuati.

Anche i risultati dell'analisi dei dati diurni e notturni alla ricerca di eventuali benefici sulle ore immediatamente consecutive al provvedimento ribadiscono l'incapacità dello stesso di contrastare l'accumulo di inquinanti che si crea durante i periodi in cui si generano le tipiche inversioni notturne invernali in Pianura Padana.

Nel caso in cui i provvedimenti di circolazione a targhe alterne siano stati attuati in giornate caratterizzate da condizioni meteorologiche nettamente favorevoli all'abbattimento della concentrazione del PM10, risulta difficile determinare il peso di questa limitazione alla circolazione stradale nel miglioramento della qualità dell'aria.

In assenza dei fattori meteorologici favorevoli all'abbattimento delle concentrazioni non si rileva una significativa riduzione della concentrazione di PM10 in concomitanza delle ore di limitazione del traffico. In alcuni casi i valori orari più elevati si rilevano proprio all'interno del periodo di targhe alterne. Questo si spiega anche alla luce dei recenti dati resi disponibili dalle analisi di *Source Apportionment* che consentono di dedurre una prima valutazione della potenziale efficacia del provvedimento di circolazione a targhe alterne in termini di riduzione delle concentrazioni giornaliere di PM10 che raggiunge percentuali attorno al 2% (AMA, 2007).

L'analisi delle variazioni sulla qualità dell'aria indotte dal provvedimento rispetto a quelle procurate dalle variabili meteorologiche porta a concludere che la concentrazione in atmosfera del PM10 non dipende in maniera diretta dai volumi di traffico che pur influenzano le emissioni da traffico locali, ma è fortemente influenzata dall'evoluzione delle condizioni meteorologiche in atto oltre che dal contributo degli apporti esterni all'area di Milano.

Interventi di limitazione del traffico relativi a un numero ristretto di giornate o comunque limitati nel tempo non appaiono quindi in grado di influenzare da soli in modo significativo le concentrazioni in atmosfera.

L'utilità di provvedimenti così strutturati può eventualmente concretizzarsi nel limitare l'incremento delle concentrazioni degli inquinanti previsto in corrispondenza del verificarsi di condizioni meteorologiche particolarmente sfavorevoli alla dispersione degli inquinanti. A tale scopo è necessario disporre di sistemi di previsione meteorologici e di qualità dell'aria affidabili e organizzare una corretta e rapida informazione alla cittadinanza. Questo è forse l'unico modo in cui provvedimenti di questo tipo possono effettivamente procurare una riduzione delle concentrazioni in atmosfera e quindi ridurre i costi esterni legati all'esposizione della popolazione alle sostanze inquinanti, con benefici in termini di salute dei cittadini.

Figura 1.57 **Analisi dell'influenza dei parametri meteorologici negli episodi acuti di inquinamento: periodo dal 09/01/2002 al 29/01/2002 e periodo dal 12/01/2005 al 24/02/2005 (dati medi giornalieri) – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati ARPA Lombardia (2007)**

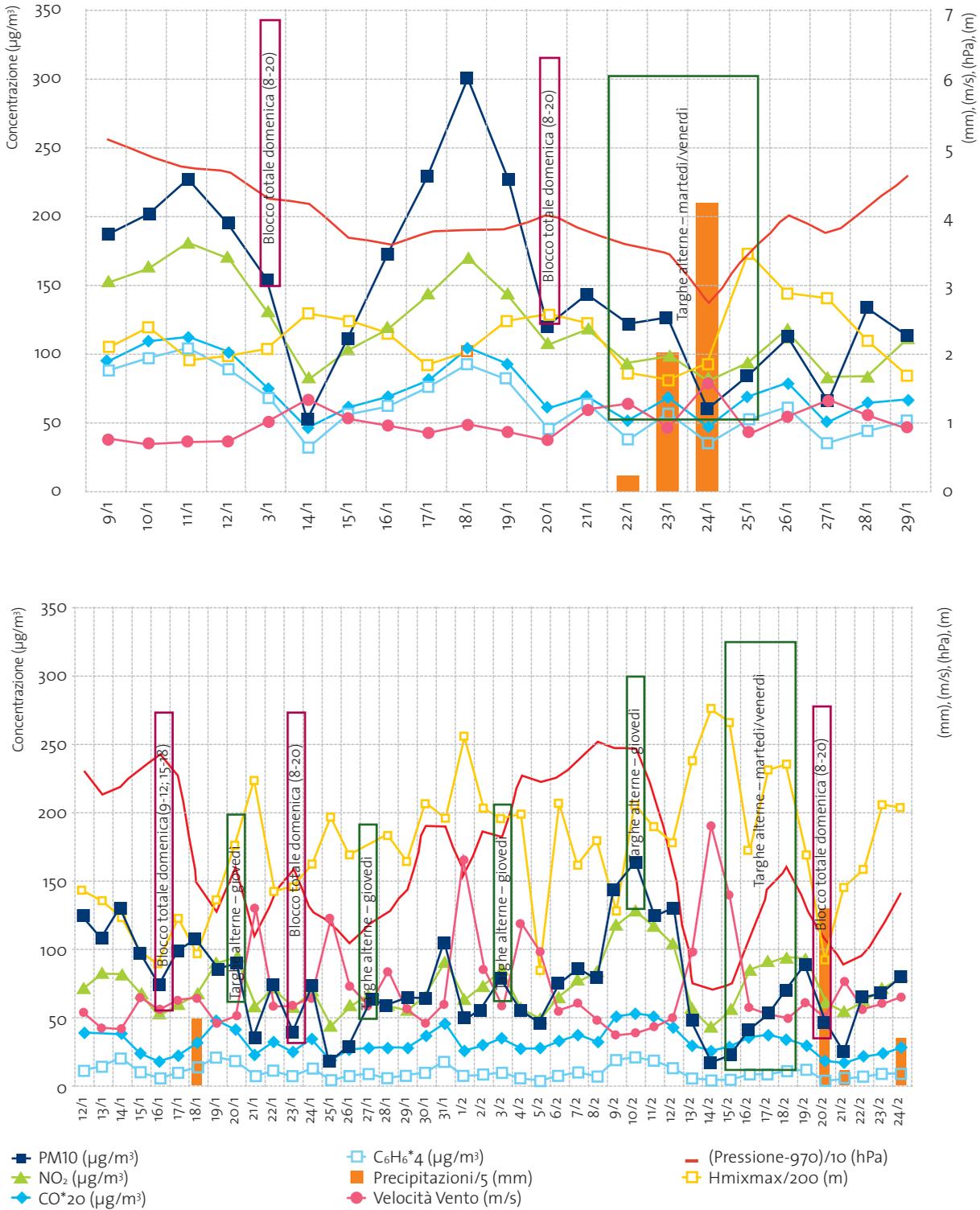


Figura 1.58 **Analisi dell'influenza dei parametri meteorologici negli episodi acuti di inquinamento: periodo dal 20/01/2002 al 27/01/2002 (dati medi orari)** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati ARPA Lombardia (2007)

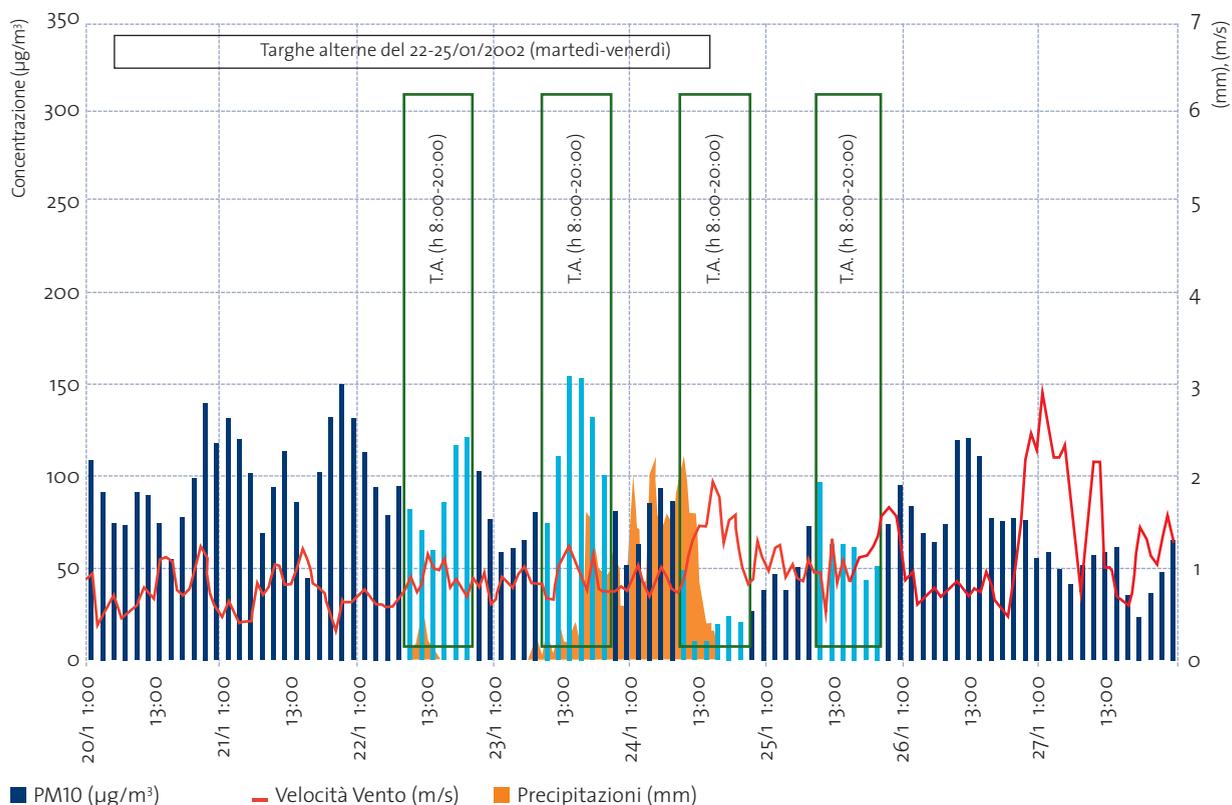
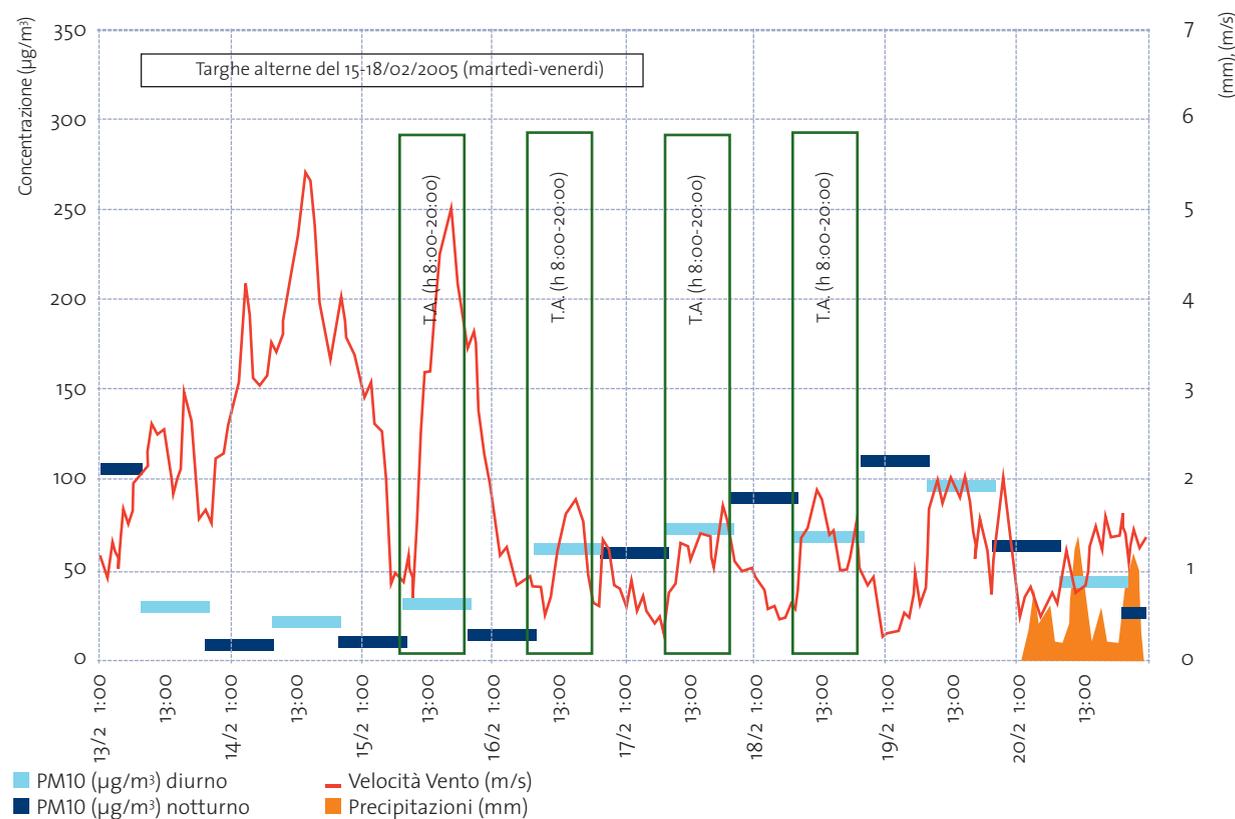


Figura 1.59 **Esempio di influenza dei parametri meteorologici negli episodi acuti di inquinamento: periodo dal 13/02/2005 al 20/02/2005 - Dati medi diurni/notturni** – Fonte: elaborazione Agenzia Mobilità e Ambiente su dati ARPA Lombardia (2007)



## Progetto “Sentinella dell’aria”

### QUADRO DI RIFERIMENTO

Decreto del Ministero dell’Ambiente n. 261 del 1° ottobre 2002 “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 artt. 8 e 9 del decreto legislativo n. 351 del 4 agosto 1999”

*Il Comune di Milano promuove progetti di ricerca ambientale finalizzati ad una migliore conoscenza dei fenomeni di inquinamento atmosferico e allo sviluppo di modelli per la loro previsione, avvalendosi della collaborazione di Agenzia Mobilità e Ambiente, della Regione Lombardia, di ARPA e di altri istituti di ricerca.*

Il sistema, schematizzato in Figura 1.60, acquisisce in continuo i dati di qualità dell’aria rilevati dalla rete di monitoraggio urbana dell’ARPA, i dati meteorologici dei radiosondaggi compiuti presso l’aeroporto di Linate e le previsioni meteorologiche sviluppate specificatamente per l’area milanese fino a 48 ore in avanti attraverso il modello *Lokal Model* del Cineca di Bologna.

Presso un’opportuna postazione sopraelevata sul terrazzo della galleria Vittorio Emanuele, in piazza del Duomo, è stata inoltre installata un’apparecchiatura per il telerilevamento a impulsi sonori, chiamata SODAR (*SOund Detection And Ranging*) (Figura 1.61), al fine di raccogliere profili verticali di velocità del vento e altre grandezze atmosferiche d’interesse; partendo da questi dati è possibile stimare, tramite opportuni algoritmi, grandezze come l’altezza dello strato di rimescolamento e le classi di stabilità atmosferica. Il SODAR è stato successivamente affiancato da un anemometro ultrasonico (Figura 1.62), che consente di completare i profili di vento del sodar con misure prese al suolo, e quindi di formulare ipotesi sui fenomeni turbolenti che si instaurano nei bassi strati dell’atmosfera.

Il SODAR e l’anemometro ultrasonico, acquistati e gestiti da Agenzia, costituiscono un Centro Meteorologico all’avanguardia nel rilevamento e nell’analisi dei dati relativi alla stabilità e alla turbolenza atmosferica in ambiente urbano, integrato con strumenti meteorologici di tipo convenzionale per la misura di temperatura, radiazione solare, umidità e precipitazione.

Tutti gli strumenti sono collegati in tempo reale attraverso un collegamento dedicato in fibra ottica tra la stazione meteo e la sede di Agenzia, che permette un accesso in tempo reale ai dati e ai sistemi di acquisizione.

I dati acquisiti dal sistema vengono validati e quindi raccolti all’interno di un database ORACLE, che può essere interrogato per calcolare statistiche sulle serie storiche di dati, o per ottenere dati in tempo reale

*Fra i principali progetti è stato sviluppato da parte di Agenzia Mobilità e Ambiente il Progetto Sentinella dell’Aria, cofinanziato dal Ministero dell’Ambiente, che si pone l’obiettivo di controllare la qualità dell’aria sul territorio comunale attraverso la previsione in tempo reale dei livelli di inquinamento dei principali inquinanti.*

necessari alle previsioni, oltre che per la memorizzazione delle previsioni stesse allo scopo di monitorare le prestazioni globali del sistema.

Il sistema di acquisizione dati, database e calcolo è interamente implementato in ambiente UNIX.

Dal punto di vista applicativo, la piattaforma descritta ha consentito l’implementazione di diversi software e modelli di calcolo per la previsione delle concentrazioni di sostanze inquinanti e per la stima di grandezze che influenzano le dinamiche di accumulo e dispersione. Le applicazioni sviluppate nel corso del progetto sono le seguenti:

- un insieme di modelli per la previsione delle concentrazioni di inquinanti a 72 ore sviluppati da ENEA all’interno del sistema software ATMOSFERA, che consente anche un’analisi visuale dei dati presenti all’interno del sistema;
- un insieme di modelli per la previsione delle concentrazioni delle polveri sottili, sviluppati internamente da Agenzia Mobilità e Ambiente. I modelli sono stati sviluppati per le stazioni di Milano-Juvara, Milano-Verziere e Limite di Pioltello, con orizzonti previsionali di 24 e 48 ore. Per i modelli citati è stato inoltre implementato un sistema di calcolo automatico, che quotidianamente elabora le previsioni per le 3 stazioni;
- un modello di stima di alcune grandezze micrometeorologiche a partire da misure rilevate al suolo. Tali grandezze possono essere considerate come dei parametri che descrivono le condizioni di dispersività dell’atmosfera e che sono quindi rilevanti nell’analisi delle dinamiche di dispersione e accumulo degli inquinanti;
- un sistema intranet di visualizzazione dei dati prodotti dai modelli previsionali sviluppati internamente ad Agenzia e dal modello micrometeorologico, oltre che dello stato di acquisizione delle fonti dati collegate al sistema (Figura 1.64).

Figura 1.60 **Sistema informativo del progetto Sentinella dell'aria** – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente

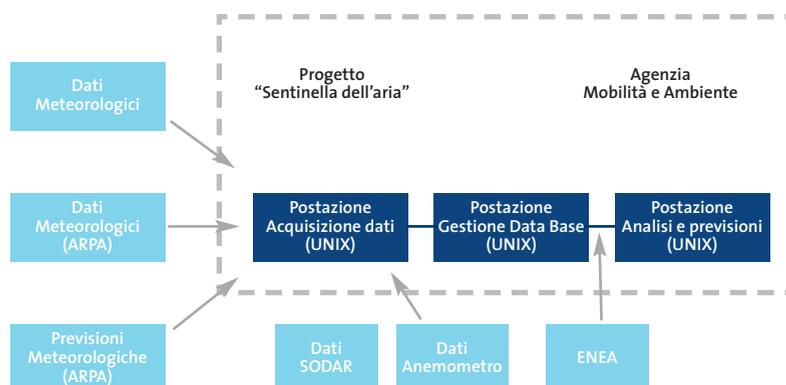


Figura 1.61 **Progetto Sentinella dell'aria: il Sodar installato sopra il terrazzo della galleria Vittorio Emanuele** – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente



Figura 1.62 **Progetto Sentinella dell'Aria: l'anemometro ultrasonico e i sensori meteorologici installati sopra il terrazzo della galleria Vittorio Emanuele** – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente



Figura 1.63 **Progetto Sentinella dell'Aria: piattaforma di analisi e previsione atmosfera, sviluppata da ENEA per Agenzia Mobilità e Ambiente** – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente

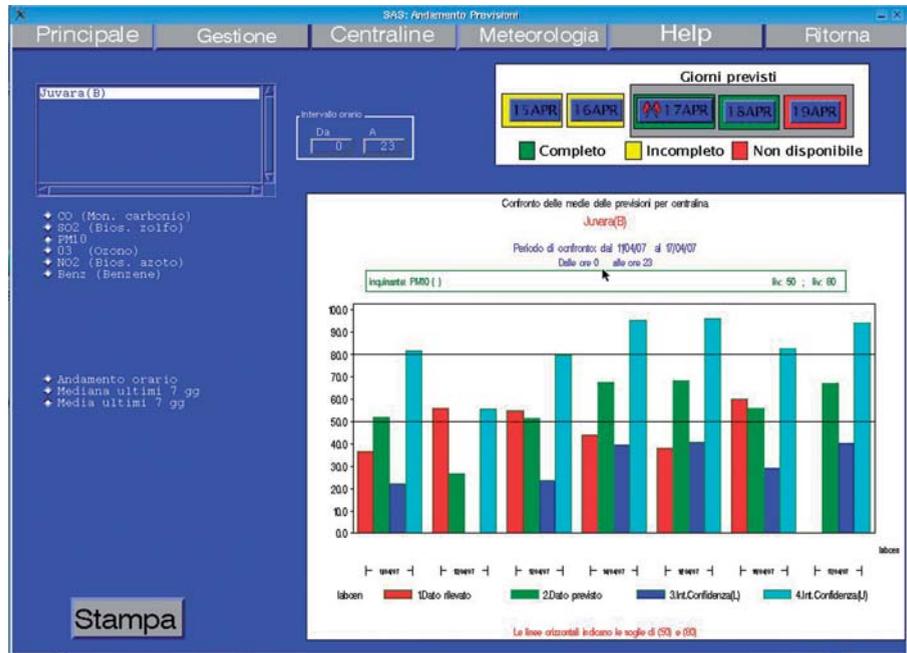


Figura 1.64 **Progetto Sentinella dell'Aria: piattaforma intranet sviluppata da Agenzia Mobilità e Ambiente** – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente



## Ecopass

### QUADRO DI RIFERIMENTO

Il Piano Generale del Traffico Urbano 2003-2005 introduce, nella prospettiva di lungo periodo, l'ipotesi di attuazione di interventi, sul modello di pianificazione europeo, di regolazione del traffico e di riduzione della congestione quali il *road pricing* e il *park pricing*, vale a dire di sistemi di tariffazione per l'accesso o la sosta in zone maggiormente soggette a congestione o a fenomeni di inquinamento atmosferico.

L'applicazione di un sistema di *road pricing* a Milano era stata già oggetto di uno studio di fattibilità, condotto da Agenzia Mobilità e Ambiente nel marzo 2002, che ha rappresentato un valido elemento orientativo per la predisposizione del provvedimento Ecopass. In tale documento veniva effettuata un'analisi di *benchmarking* su altre realtà urbane che hanno realizzato o progettato sistemi di questo tipo (a.e. Tromsheim, Hong Kong, Oslo, Singapore, Londra) e su alcuni casi studio.

Ecopass è applicato all'area compresa dalla Cerchia dei Bastioni, che coincide con una Zona a Traffico Limitato (ZTL), già sottoposta quindi ai provvedimenti di limitazione del traffico previsti per la riduzione della congestione e dell'inquinamento dovuti al trasporto merci.

*L'introduzione dell'Ecopass si inserisce fra le azioni che il Comune di Milano sta adottando nell'ambito dell'Accordo quadro fra Comune, Provincia, Regione e Presidenza del Consiglio dei Ministri per la "realizzazione di un programma per la mobilità sostenibile e l'ambiente a difesa della salute nell'area milanese".*

*Gli obiettivi strategici dell'accordo sono stati individuati nel:*

1. *migliorare la mobilità sostenibile,*
2. *ridurre l'inquinamento originato dalle attività produttive, dagli impianti termici e dai trasporti,*
3. *disincentivare l'uso dei veicoli privati,*
4. *sviluppare il trasporto pubblico dell'area milanese.*

*L'Ecopass rappresenta un intervento strategico per concorrere al raggiungimento di tali obiettivi, per gli effetti diretti che ha:*

- *sulla riduzione delle emissioni di inquinanti da traffico,*
- *sul miglioramento dei livelli di congestione,*
- *sul trasferimento modale verso il mezzo pubblico,*
- *sull'accelerazione del rinnovo del parco auto*

L'ambito territoriale di attuazione del provvedimento, nella sua fase sperimentale, è stato individuato nella Cerchia dei Bastioni, così come riportato nella Figura 1.65.

L'area identificata assicura la compatibilità viabilistica del provvedimento, senza necessità di interventi strutturali rilevanti, e garantisce da subito un elevato livello del servizio di trasporto pubblico, in grado di supportare il trasferimento modale atteso.

Tutto ciò la rende ideale per un'applicazione sperimentale del provvedimento, garantendo la sostenibilità urbanistica dello stesso e limitando i costi di investimento necessari per la sua attuazione. La verifica dell'efficacia del provvedimento in quest'ambito territoriale e il costante monitoraggio degli effetti sinergici con altri provvedimenti di governo della mobilità e di *pricing* (regolamentazione della sosta) consentirà anche di valutare l'opportunità di possibili ampliamenti futuri ad ambiti territoriali più estesi in grado di produrre più significativi effetti ambientali diretti.

La superficie territoriale compresa nella ZTL è di circa 8,2 kmq, pari al 4,5 % del territorio comunale, e interessa

- *circolante verso segmenti meno inquinanti,*
- *sul reperimento delle risorse necessarie a sostenere lo sviluppo dell'intero piano.*

*Il provvedimento consiste nell'applicazione di una tariffa, variabile a seconda del fattore di emissione medio dei veicoli (inteso come grandezza funzione della velocità media di percorrenza e, per la parte "a freddo", della temperatura ambiente), per la circolazione all'interno di un'area, individuata quale Zona a Traffico Limitato (ZTL).*

*Il provvedimento sarà introdotto a partire da gennaio 2008, per un periodo sperimentale di un anno, volto a verificarne l'efficacia e a meglio calibrare lo stesso dal punto di vista:*

- *dell'area interessata,*
- *della fascia oraria di applicazione;*
- *della risposta ai livelli tariffari applicati;*
- *degli effetti sul traffico e sulle emissioni di inquinanti;*
- *degli effetti sul trasporto pubblico;*
- *dell'accettazione da parte della cittadinanza.*

una popolazione residente di circa 77.000 abitanti, pari al 6 % del totale dei residenti nel comune di Milano.

Il numero complessivo di autovetture immatricolate a persone fisiche residenti nella ZTL è stimato in circa 44.000 veicoli, pari a poco meno del 7 % del totale delle autovetture immatricolate a persone fisiche nel Comune di Milano.

L'area è interessata ogni giorno dal 13 % del totale degli spostamenti in auto con origine o destinazione interna al Comune di Milano, percentuale che sale al 24% se si considera il totale della mobilità con tutti i mezzi.

La fascia oraria di applicazione prevista è tra le ore 7:30 e le ore 19:30 di tutti i giorni feriali dal lunedì al venerdì. Si è optato di applicare le limitazioni della circolazione esclusivamente a questa fascia oraria per non precludere in alcun modo le possibilità di spostamento, assicurando sempre una valida alternativa di viaggio con i mezzi del trasporto pubblico.

La tariffazione della circolazione nella ZTL è articolata in relazione ad una classificazione dei veicoli in 5 classi a seconda dello specifico contributo all'emissione allo scarico di polveri sottili, calcolato in base alla

metodologia COPERT IV (*Emission Inventory Guidebook, Road Transport, European Environmental Agency*, settembre 2006), come riportato in Tabella 1.30.

Va sottolineato che le ultime tre classi, la cui circolazione nel centro storico sarà sottoposta a tariffazione, sono complessivamente responsabili di circa il 90% del totale delle emissioni di particolato allo scarico.

Al provvedimento di Ecopass si accompagna un significativo potenziamento delle linee di forza del trasporto pubblico destinato non solo a far fronte

all'atteso trasferimento modale indotto ma anche ad aumentare in modo generalizzato l'offerta, sia nelle ore di punta che durante le ore di morbida, in modo da aumentare l'efficienza complessiva del servizio di trasporto pubblico, anche attraverso l'estensione della rete di corsie preferenziali e protette.

Il provvedimento sarà sottoposto a monitoraggio costante sia nella fase sperimentale, sia nella fase a regime sulla base di specifici indicatori di risultato al fine di indirizzare l'introduzione di modifiche e correttivi atti ad aumentarne l'efficacia.

Figura 1.65 **Delimitazione ZTL Ecopass e individuazione dei varchi d'accesso** – Fonte: Agenzia Mobilità e Ambiente (2007)

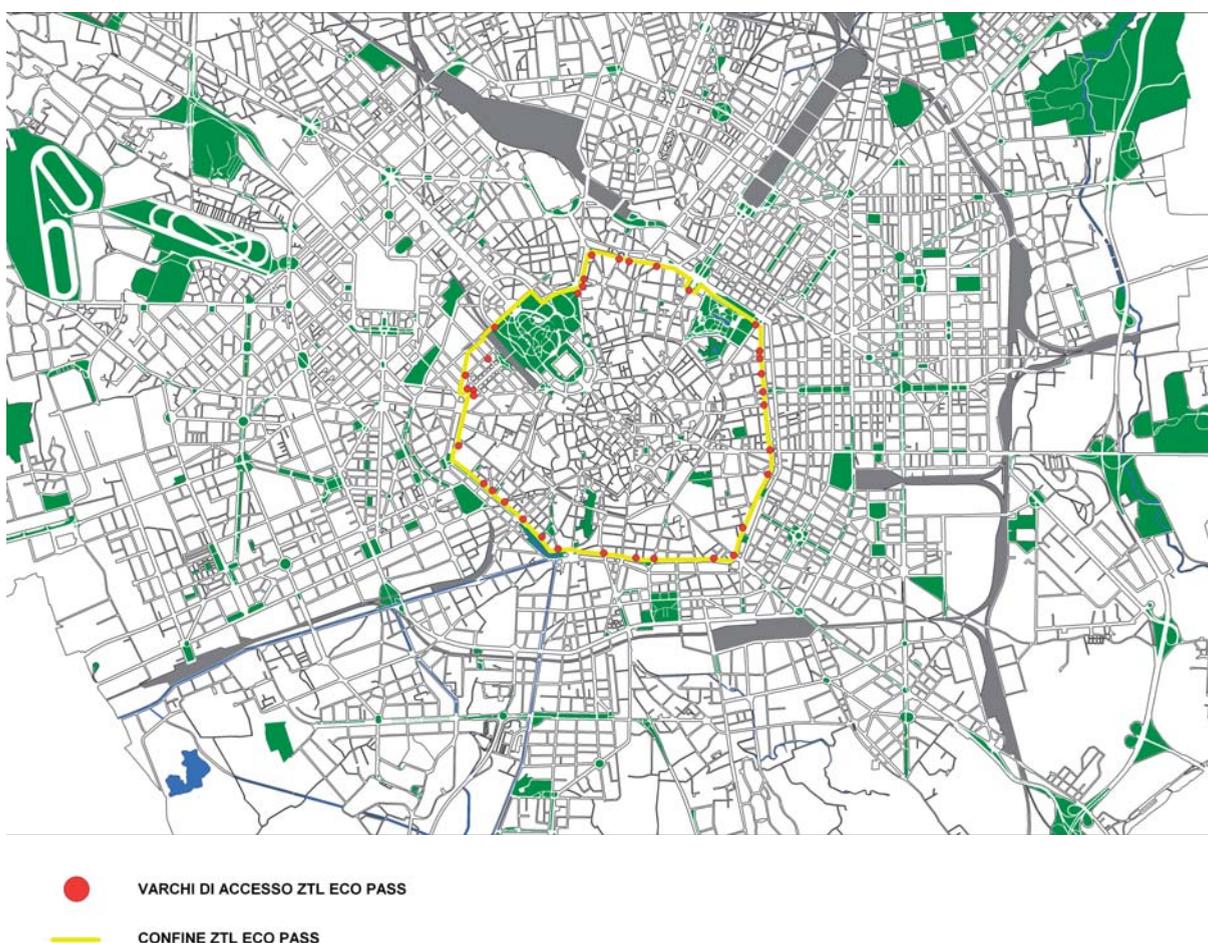


Tabella 1.30 **Classi e tariffe Ecopass** – Fonte: Comune di Milano (2007)

Classi	Veicoli	Ingresso giornaliero (€)	Ingresso multiplo agevolato (fino a 50 ingressi) (€)	Ingresso multiplo agevolato (da 51 a 100 ingressi) (€)	Abbonamento annuale facoltativo residenti ZTL Cerchia dei Bastioni (€)
1	Auto e merci GPL, metano, elettrici, ibridi	–	–	–	–
2	Auto e merci benzina Euro 3-Euro 4 o più recenti, auto e merci diesel Euro 4 o più recenti con filtro antiparticolato omologato, auto e merci diesel Euro 4 o più recenti senza filtro antiparticolato (*)	–	–	–	–
3	Auto e merci benzina Euro 1-Euro 2	2	50	60	50
4	Auto e merci benzina pre-Euro, auto diesel Euro 1-Euro2-Euro3, merci diesel Euro 3, autobus diesel Euro 4 e Euro 5	5	125	150	125
5	Auto e merci diesel pre- Euro, merci diesel Euro1-Euro2, autobus diesel pre-Euro,Euro1-Euro2-Euro3	10	250	300	250

(\*) Esentati per tre mesi a partire dal 2/1/2008

## Correlazione qualità dell'aria e salute umana – ProLife

### QUADRO DI RIFERIMENTO

Decreto Legislativo n.152 del 3 aprile 2006  
Legge Regionale della Lombardia n.24 dell'11 dicembre 2006

*L'aria delle grandi aree urbane è caratterizzata dalla presenza di sostanze inquinanti, che possono agire sia singolarmente che sinergicamente, con conseguenze a carico della salute umana, soprattutto quando si verificano un rapido aumento delle concentrazioni al di sopra dei valori limite consentiti.*

*Gli effetti sulla salute dell'inquinamento atmosferico sono distinti in:*

- *effetti a breve termine, osservabili a pochi giorni di distanza dai picchi di inquinamento;*
- *effetti a lungo termine riscontrabili in un periodo superiore a 10 anni e di cui non esistono studi epidemiologici italiani.*

*Per quanto riguarda gli effetti a breve termine, sono numerosi gli studi a livello internazionale e a livello nazionale (MISA: Metanalisi Italiana degli Studi sugli effetti a breve termine dell'inquinamento atmosferico”).*

*In questi studi si è osservato un aumento della mortalità giornaliera collegato a incrementi della concentrazione di inquinanti atmosferici; per un incremento di  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  di  $\text{NO}_2$ , l'incremento della mortalità è dello 0,6%, per il  $\text{PM}_{10}$  è dello 0,31%.*

*Il problema della qualità dell'aria che interessa la città di Milano è stato riconosciuto dalla Commissione Nazionale per l'Emergenza Inquinamento Atmosferico (rapporto conclusivo*

*CNEIA; marzo 2006) istituita dal Ministero dell'Ambiente nel 2005, e il Tribunale di Milano ha affermato il principio che il Comune è tenuto a garantire il diritto alla salute dei cittadini (art.32 della Costituzione). A tal proposito l'Amministrazione comunale ha elaborato un Piano per la salute, l'ambiente e la mobilità sostenibile, di durata triennale, condiviso da molte istituzioni locali e approvato dal Governo il 21 settembre 2007 per migliorare la qualità di vita dei cittadini dell'area metropolitana milanese. Il piano triennale 2007-2009 contiene 30 interventi per un costo totale di 3,5 miliardi di euro.*

*Nell'ambito degli interventi volti a diminuire l'impatto dell'inquinamento dell'aria sui cittadini si colloca il progetto ProLife, elaborato dalla Direzione Centrale Ricerca, Innovazione e Capitale Umano del Comune di Milano in collaborazione con le Direzioni Centrali “Salute” e “Mobilità, Trasporti e Ambiente”, un'indagine sugli effetti sanitari dell'inquinamento sui residenti della città di Milano al fine di valutare l'efficacia dei vari provvedimenti che l'Amministrazione Comunale si appresta ad attivare riguardo a questo rilevante problema. Agenzia Mobilità e Ambiente si pone a supporto della Direzione Centrale con una notevole esperienza nel campo della conoscenza dell'inquinamento atmosferico dell'area urbana.*

Il progetto ProLife è finalizzato a valutare l'impatto dell'inquinamento dell'aria sui cittadini e l'efficacia di interventi e provvedimenti di limitazione dell'attività delle fonti emissive (traffico, processi di produzione calore del settore civile, attività industriali, ecc.) sia sul breve (limitazione episodi acuti) che sul lungo periodo (pianificazione integrata) assunti dall'Amministrazione comunale per la tutela della salute dei milanesi.

Il progetto segue tre linee di sviluppo:

1. analisi delle concentrazioni degli inquinanti e rilevazione del loro andamento nel tempo;
2. caratterizzazione e studio delle interazioni

dell'inquinamento atmosferico con l'organismo umano;

3. rilevazione e valutazione dei parametri clinici significativi.

I dati relativi alle concentrazioni degli inquinanti atmosferici sono raccolti da Agenzia Mobilità e Ambiente.

Sono programmate una serie di campagne di misurazione allo scopo di determinare:

- la reale esposizione della popolazione ed in particolare di recettori sensibili (scuole, ospedali,

- case di cura, aree verdi e ricreative, ecc.);
- il perfezionamento dei modelli utilizzati per la valutazione della qualità dell'aria quali strumenti di supporto alle decisioni del Comune di Milano;
- la valutazione alla microscala degli effetti ambientali degli interventi urbanistici e viabilistici pianificati e in corso di realizzazione.

Per la determinazione di dati relativi alla presenza in atmosfera degli inquinanti atmosferici, Agenzia ha allestito in una posizione centrale della città (terrazzo della Galleria Vittorio Emanuele) una stazione di micrometeorologia che, a fianco dei parametri meteorologici convenzionali, rileva dati meteorologici con strumenti a livello avanzato (sodar, anemometro ultrasonico). Sono in fase di allestimento campionatori per la misurazione del Particolato fine (PM10, PM2.5 e PM1) che consentiranno sia la determinazione della concentrazione in massa (metodo gravimetrico), sia la determinazione della composizione chimica del particolato attraverso successive analisi di laboratorio (IPA – tra cui il benzo(a)pirene - e derivati, contenuto di metalli e ioni), che la determinazione della composizione per classi dimensionali (informazione importante per valutare il grado di penetrazione nell'organismo umano delle particelle e gli effetti sulla salute) oltre che dei principali inquinanti convenzionali (CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) e non convenzionali (BTX e precursori dell'ozono) (si vedano Schede da 1.1 a 1.6).

L'analisi dei dati meteorologici e delle concentrazioni rilevate consente l'analisi a posteriori degli episodi acuti di inquinamento atmosferico anche attraverso il supporto di modelli stocastici e diffusionali implementati da Agenzia (si veda Scheda 1.12).

Studi epidemiologici hanno dimostrato che un aumento transitorio di materiale particolato (PM) nell'aria è associato ad un'acutizzazione di pregresse malattie respiratorie e ad episodi di mortalità per cause cardiopolmonari.

Rimangono ancora diverse questioni irrisolte: non sono ancora noti con precisione la composizione, la

struttura, il comportamento biologico delle particelle di particolato ossia non si conosce con quali strutture del corpo umano interagiscano e quali effetti determinino.

Per determinare la composizione strutturale del particolato, il progetto prevede:

- la raccolta delle polveri provenienti dai filtri delle stazioni di rilevamento situate in almeno 4 diverse zone della città;
- analisi chimico-fisica mediante diverse tecniche fisiche (spettroscopia di elettroni a dispersione di energia e spettroscopie vibrazionali);
- analisi della struttura, della morfologia e dei possibili meccanismi di aggregazione delle particelle elementari;
- esperimenti di simulazione e modellistica allo scopo di prevedere i tipi di aggregazione più probabili tra le particelle elementari.

Il progetto si propone inoltre di:

- valutare "in vitro" gli effetti del PM e/o dei singoli componenti più rilevanti;
- valutare gli effetti "in vivo" del PM, a breve termine e nel medio-lungo periodo, in prelievi di tessuto.

Il progetto si svolge in parallelo ed in sinergia ad un progetto della Direzione Centrale "Salute", teso alla costituzione di un osservatorio degli effetti dell'inquinamento atmosferico sullo stato di salute dei cittadini tramite il monitoraggio del numero di accessi al pronto soccorso dei principali ospedali di Milano per patologie acute dell'apparato respiratorio in relazione all'andamento degli inquinanti.

Scopo dell'attività è quello di valutare l'effetto non solo dei picchi acuti di concentrazioni degli inquinanti atmosferici ma anche del perdurare nel tempo dei medesimi picchi per periodi prolungati. Le rilevazioni proposte permetteranno di migliorare la programmazione dei futuri provvedimenti in campo sanitario e di controllo ambientale ed i provvedimenti varati dall'Amministrazione comunale potranno essere adeguatamente monitorati e corretti.

# Bibliografia

- AGENZIA MOBILITÀ E AMBIENTE, *Analisi e Data Mining su Dati di Traffico Urbano*, Documento Sistema Qualità n. 20010115, 2006
- AGENZIA MOBILITÀ E AMBIENTE, *Efficacia provvedimenti a breve termine di limitazione della circolazione veicolare – Anni 2001/2006*, Documento Sistema Qualità n. 70190008, 2007a
- AGENZIA MOBILITÀ E AMBIENTE, *Inquadramento meteorologico della città di Milano. Documento Sistema Qualità n. 60200026*, 2007b
- AGENZIA MOBILITÀ E AMBIENTE, *Inventario delle emissioni del Comune di Milano – anno 2005. Relazione finale*, Documento Sistema Qualità n. 70190007, 2007c
- AGENZIA MOBILITÀ E AMBIENTE, *Inventario delle emissioni del Comune di Milano – anno 2005: Studio di dettaglio sui macrosettori 01, 02, 07 e 09*, Documento Sistema Qualità n. 70190005, 2007d.
- AGENZIA MOBILITÀ E AMBIENTE, *Inventario delle emissioni atmosferiche del Comune di Milano - anno 2005: Stima dei consumi di gas naturale di utenze allacciate alla rete di distribuzione di AEM GAS; Stima dei consumi di combustibili liquidi per riscaldamento centralizzato*, Documento Sistema Qualità n. 60200024, 2007e
- AGENZIA MOBILITÀ E AMBIENTE, *Progetto ATMOSFERA: Predittori lineari delle concentrazioni giornaliere di PM10*, Documento Sistema Qualità n. 012B0011, 2003a
- AGENZIA MOBILITÀ E AMBIENTE, *Rapporto sulla qualità dell'aria del Comune di Milano*, Milano, 2005
- AGENZIA MOBILITÀ E AMBIENTE, *Relazione sullo stato dell'ambiente del Comune di Milano*, Milano, ottobre 2003b
- AGENZIA MOBILITÀ E AMBIENTE, *Valutazione dell'efficacia del provvedimento di limitazione della circolazione dei veicoli più inquinanti nel Comune di Milano*, Documento Sistema Qualità n. 016P0002/06, 2002
- AGENZIA MOBILITÀ E AMBIENTE E COMUNE DI MILANO *Piano Generale del Traffico Urbano 2003*, dicembre 2004
- AGENZIA MOBILITÀ E AMBIENTE E COMUNE DI MILANO, *Rapporto sulla Mobilità Urbana 2003–2005*, 2006.
- E. ANGELINO, M. BEDOGNI, C. CARNEVALE, G. FINZI, E. MINGUZZI, E. PERONI, C. PERTOT, G. PIROVANO, M. VOLTA, *PM10 chemical model simulations over the Milan area in the frame of Citydelta exercise*, *Environmental Modeling and Assessment*, DOI 10.1007/s10666-007-9104-8, 2007
- ANPA/CTN-ACE, *Linee guida agli inventari locali di emissioni in atmosfera*, RTI CTN-ACE 3/2001
- APAT/CTN-ACE, *Manuale dei fattori di emissione nazionali*, Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, Centro Tematico Nazionale, Atmosfera Clima Emissioni, <http://www.apat.gov.it>, gennaio 2004
- APAT, *Qualità dell'ambiente urbano. III Rapporto APAT – Edizione 2006*, Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, Roma, dicembre 2006
- ARPA LOMBARDIA, *Rapporto sulla qualità dell'aria di Milano e provincia – Anno 2006*, [www.arpalombardia.it](http://www.arpalombardia.it), ottobre 2007
- ARPA LOMBARDIA e FONDAZIONE LOMBARDIA PER L'AMBIENTE, *Progetto PUMI – Il Particolato Fine nell'Atmosfera Urbana Milanese*. Relazione Finale, Dicembre 2002
- ARPA LOMBARDIA e REGIONE LOMBARDIA, *INEMAR INVENTARIO EMISSIONI IN ATMOSFERA: emissioni in regione Lombardia nell'anno 2005 public review*, ARPA Lombardia Settore Aria, Regione Lombardia DG Qualità Ambiente, [www.arpalombardia/inemar/inemarhome.it](http://www.arpalombardia/inemar/inemarhome.it), Ottobre 2007
- ARPA LOMBARDIA e REGIONE LOMBARDIA, *Segnali ambientali della Lombardia. Rapporto sullo Stato dell'ambiente*, novembre 2002

- A. BAKLANOV, J. BURZYNSKI, A. CHRISTEN, M. DESERTI, K. DE RIDDER, S. EMEIS, S. JOFFRE, A. KARPPINEN, P. MESTAYER, D. MIDDLETON M. PIRINGER, M. TOMBROU, *The urban surface energy budget and mixing height in european cities: data, models and challenge for urban meteorology and air quality*. Final Report of Working Group 2 of COST-715 Action, Piringer., Joffre S. 2004
- T.J. BARLOW, P.G. BOULTER, I.S. MCCRAE, P. SIVELL, R.M. HARRISON, D. CARRUTHERS, J. STOCKER, *Non-exhaust particulate matter emissions from road traffic: summary report, Published Project Report PPR231, TRL Limited, Wokingham (Gran Bretagna), 2007*
- M. BEDOGNI, V. GABUSI, G. FINZI, E. MINGUZZI, G. PIROVANO, *Sensitivity analysis of ozone long term simulations to grid resolution, International Journal Environment and Pollution, Vol. 24, No. 1/2/3/4, pp.51-63, 2005a*
- M. BEDOGNI, C. CARNEVALE, V.GABUSI, E. MINGUZZI, C. PERTOT, G. PIROVANO, *Ozone seasonal assessment of emission reduction scenarios over Northern Italy, Atti del 5th International Conference on Urban Air Quality, Valencia (Spagna), 2005b*
- M. BEDOGNI, G. MAFFEIS, C. PERTOT, A. TANZARELLA, *An application of CALPUFF and CALINE models on an urban area, comparison between three different approaches, Atti del 5th International Conference on Urban Air Quality, Valencia (Spagna), 2005c*
- M. BEDOGNI, S. MORONI, *COPERT traffic emission methodology in urban areas: the case of Milan, Atti del Workshop PM Emission Inventories, Pallanza (Vb), 2004*
- S. BIEMMI, R. GAVEGLIO, *Dispersione di inquinanti nella città di Milano, Tesi di laurea per la facoltà di Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Politecnico di Torino, 2007*
- M. BIRATTARI, G. BONTEMPI, H. BERSINI, *Lazy learning meets the recursive least-squares algorithm, M.J. Kearns, S.A. Solla and D.A. Cohn editors, Advances in Neural Information Processing Systems 11, pp. 375-381, The MIT Press, 1999*
- M. BULTRINI, M. COLAIEZZI, M. FATICANTI, M. PANTALEONI, E. TAURINO, C. SERAFINI, A. LEOPARDI, M.C CIRILLO, *Le emissioni in atmosfera degli inquinanti nelle 24 principali città italiane, APAT, Dip. Stato dell'ambiente e Metrologia Ambientale, Servizio Qualità dell'aria, 2006*
- S. CASADEI, M. GIUGLIANO, G. LONATI, F. PACIFICO, G. VALLI, R. VECCHI, *Valutazione dell'altezza dello strato rimescolato nell'area urbana di Milano nel biennio 2003-2004, Ingegneria Ambientale vol. xxxv n. 4 aprile 2006*
- CENTRO EPSON METEO, *Manuale di Meteorologia, Collana Meteo, Alpha Test, 2003*
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, *Communication from the Commission – the Clean Air for Europe (CAFE) programme: towards a thematic strategy for air quality, COM(2001) 245 Final, Brussels, 2001*
- COMUNE DI MILANO, *Rapporto sulla Qualità dell'aria a Milano – Anno 2000, Agenzia Mobilità e Ambiente srl, Milano, settembre 2001*
- COMUNE DI MILANO, *Rapporto 2001 sulla Qualità dell'aria a Milano. Dati e strategie del Comune di Milano, Agenzia Mobilità e Ambiente srl, Milano, settembre 2002*
- CTN-ACE, *Inventari Locali di emissioni in atmosfera: prima indagine conoscitiva, RTI CTN-ACE 1/2000, Centro Tematico Nazionale Atmosfera, Clima, Emissioni, 2000*
- G. CORANI, S. BARAZZETTA, *First results in the prediction of particulate matter in the Milan area, Atti del 9th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Garmisch (Germania), 2004*
- CSST, UNRAE, ANFIA, *Studio su mobilità ed inquinamento da PM10 in ambito urbano, 2006*
- C. CUVELIER, P. THUNIS, R. VAUTARD, M. AMMAN, B. BESSAGNET, M. BEDOGNI, G. PIROVANO ET AL., *Citydelta: A model intercomparison study to explore the impact of emission reductions in European cities in 2010, Atmospheric Environment, 41 (2007) 189-207*
- F. DE LEEUW, *A set of emission indicators for long-range transboundary air pollution,*

- Environmental Science & Policy* 5 (2002) 135-145, 2002
- I. DUERING, E. SCHULZE, J. JACOB, W. REICHENBAECHER, A. LOHMEYER, *Estimation of the "non exhaust pipe" PM10 emissions of streets for practical traffic air pollution modelling*, Atti del 8th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Sofia (Bulgaria), 2002
- EEA, EMEP/CORINAIR, *Atmospheric Emission Inventory Guidebook, Third Edition*, European Environment Agency, Copenhagen, 2006
- EEA, *Air Pollution in Europe, 1990-2004*, European Environment Agency, report n 2, 2007
- ENVIRON INTERNATIONAL CORPORATION, *User's guide to the Comprehensive Air Quality Model with Extensions ver. 4.40*, Technical Report, Novato CA, U.S.A., 2006
- FONDAZIONE LOMBARDIA PER L'AMBIENTE, REGIONE LOMBARDIA E ARPA LOMBARDIA, *Indagine sull'utilizzo di legna per il riscaldamento domestico in Lombardia*, Relazione finale 2004-2005
- A. GIUDICI, G. LANZANI, S. CASERINI, *Il ruolo di Arpa Lombardia per il controllo delle sorgenti fisse. Interventi a breve termine: limitazione della circolazione dei veicoli, 60° Corso di Aggiornamento in Ingegneria Sanitaria-Ambientale*, Politecnico di Milano, 2006
- D. GKATZOFLIAS, C. KOURIDIS, L. NTZIACHRISTOS, Z. SAMARAS, COPERT 4, *Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport, User's manual (Version 3.0)*, EEA European Environment Agency, 2006
- R. GUALDI, O. CAZZULI, G. LANZANI, *Influenza dei provvedimenti assunti in emergenza sui dati di qualità dell'aria nelle città*, [www.arpalombardia.it](http://www.arpalombardia.it), Milano, 2002
- R. GUERRA LUCAS RAJÃO, *Analisi e Data Mining su Dati di Traffico Urbano*, Relazione della prova finale per la Laurea in Informatica, Università degli Studi Milano-Bicocca, 2005
- IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, J. T. Houghton, Y. Ding, M. Nogua, D. Griggs, P. Vander Linded, K. Maskell, Cambridge University Press, 2001
- A. LOHMEYER, W. BAECHLIN, I. DUERING, *Modelling of vehicle induced non exhaust PM10 emissions*, atti del Workshop PM Emission Inventories, Pallanza (Vb), 2004
- L. LUHANA, R. SOKHI, L. WARNER, H. MAO, P. BOULTER, I. MCCRAE, J. WRIGHT, D. OSBORN, *Particulates: Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles – Deliverable 8, Measurement of non-exhaust particulate matter*, Version 2.0, 2004
- A. LÜKEWILL, I. BERTOK, M. AMAN, J. COFALA, F. GYARFA, C. HEYES, N. KARVOSENOJA, Z. KLIMON AND W. SCHÖPP, *A Framework to Estimate the Potential and Costs for the Control of Fine Particulate Emissions in Europe*, IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis), <http://www.iiasa.ac.at/~rains/PM/docs/documentation.html>, 2002
- G. MARCAZZAN, F. PERSICO, *Valutazione dell'altezza dello strato rimescolato a Milano dall'andamento temporale della concentrazione di <sup>222</sup>Rn in atmosfera*, IA Ingegneria Ambientale, vol. xxvi n. 7-8 luglio-agosto, 1997
- G. MARCAZZAN, R. VECCHI, G. VALLI, M. CERIANI, *Misura della concentrazione e della composizione diurna e notturna del PM10 a Milano in relazione alle condizioni di stabilità atmosferica*, Rendiconti Scienze Chimiche e Fisiche, Geologiche, Biologiche e Mediche. B. Vol. 138, 2004
- J. MARK, C. MOREY, *Diesel Passenger Vehicles and the Environment*, Union of Concerned Scientists, Berkeley (CA, USA), 1999
- G. MARTINI, G. DE SANTI, *Le emissioni da sorgenti mobili e le tecnologie per il controllo, 60° corso di aggiornamento in Ingegneria Sanitaria-Ambientale*, Politecnico di Milano, 2006
- E. MINGUZZI, M. BEDOGNI, C. CARNEVALE, G. PIROVANO, *Sensitivity of long-term CTM simulations to meteorological input*, International Journal Environment and Pollution, Vol. 24, No. 1/2/3/4,

pp.36-50, 2005

S. MORONI, *Emissioni da traffico e qualità dell'aria: elementi per la gestione in una grande area urbana*, Tesi di dottorato di ricerca in Ingegneria Sanitaria-Ambientale del Politecnico di Milano, XIV ciclo, 1998-2001

S. MORONI, S. CASADEI, *Emission inventory of the City of Milan: first steps for the bottom-up approach*, 8th Joint Meeting of the EIONET (European Environment Information and Observation Network) and TFEIP (the Convention's Task Force on Emission Inventories and Projections); Workshop on Uncertainties in emission inventories and atmospheric models held jointly with the Task Force on Measurements and Modelling (TFMM), Dublin, 2007

L. NTZIACHRISTOS, Z. SAMARAS, *Copert III – Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport*, European Environment Agency, Copenhagen, novembre 2000

PARLAMENTO EUROPEO E CONSIGLIO EUROPEO, *Regolamento (CE) n. 166/2006 del 18 gennaio 2006 relativo all'istituzione di un registro europeo delle emissioni e dei trasferimenti di sostanze inquinanti e che modifica le direttive 91/689/CEE e 96/61/CE del Consiglio*

F. PASQUILL, *The estimation of the dispersion of windborne material*, The Meteorological Magazine, vol 90, No. 1063, pp 33-49, 1961

M.G. PERRONE, E. BOLZACCHINI, E. LIVERTA, V. GIANELLE, G. MOGNASCHI, M. BETTI, P. FERMO, *PM10 and PM2.5 in Milan: the inorganic fraction*, Atti PM2004, 1° Convegno Nazionale sul Particolato Atmosferico, Milano, maggio 2004

G. PIROVANO, M. BEDOGNI, S. CASADEI, G.A. SGHIRLANZONI, A. ZANON, *Application of advanced particulate matter source apportionment techniques in the Northern Italy basin*, Atti dell'itm 2007, 29th NATO/SPS International Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, Aveiro, Portogallo, 2007

G. PIROVANO, I. COLL, M. BEDOGNI, S. ALESSANDRINI, M.P. COSTA, V. GABUSI, F. LASRY, L. MENU, R. VAUTARD, *On the influence of meteorological input on photochemical modelling of a severe episode over a coastal area*, Atmospheric Environment 41, 6445-6464, 2007

PROVINCIA DI MILANO, *Inventario Provinciale delle Emissioni Atmosferiche – Anno 2000*, [http://www.provincia.milano.it/ambiente/aria/qualita\\_inventario\\_anno2000.shtml](http://www.provincia.milano.it/ambiente/aria/qualita_inventario_anno2000.shtml), 2002

G.A. SGHIRLANZONI, A. ZANONI, *Il particolato fine nel bacino padano: analisi modellistica del ruolo delle fonti*, Tesi di Laurea Specialistica in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Politecnico di Milano, 2007

L. SOULHAC, P. MÉJEAN, R.J. PERKINS, *Modelling vehicle-generated atmospheric pollution in a quartier of Lyon using the model SIRANE*, Atti del 7th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Belgirate (Vb), 2001

R. SOZZI, T. GEORGIADIS, M. VALENTINI, *Introduzione alla turbolenza atmosferica – Concetti Stime Misure*, 2002

R. STULL, *An introduction to Boundary Layer Meteorology*, Department of Meteorology, University of Wisconsin, Madison, U.S.A. 1988

P. THUNIS, L. ROUIL, C. CUVELIER, R. STERN, B. BESSAGNET, M. BEDOGNI, G. PIROVANO ET AL., *Analysis of model responses to emission-reduction scenarios within the citydelta project*, Atmospheric Environment, 41 (2007) 208-220

P. THUNIS, R. VALUTARD, C. CUVELIER, P.H.J. BUILTJES, M. BEDOGNI, G. PIROVANO ET AL., *Evaluation and intercomparison of Ozone and PM10 simulations by several chemistry transport models over four European cities within the Citydelta project*, Atmospheric Environment, 41 (2007) 173-188

TRANSPORT FOR LONDON, *Central London Congestion charging impacts monitoring, Fourth annual report*, June 2006

**Aldeidi:** composti organici carbonilici che contribuiscono allo smog fotochimico.

**Altezza dello strato rimescolato:** individua la quota dello strato limite planetario (anche detto PBL – *Planetary Boundary Layer*) ovvero quella parte della troposfera direttamente influenzata dalla presenza della superficie terrestre ed entro la quale avviene la maggior parte delle emissioni di inquinanti gassosi, la cui dispersione resta in essa confinata. L'altezza dello strato rimescolato è dunque un indicatore diretto del volume d'aria disponibile per la diffusione e dispersione in atmosfera degli inquinanti.

**Approccio bottom-up:** termine tecnico che sta ad indicare nell'ambito degli inventari delle emissioni in atmosfera la metodologia di valutazione delle emissioni basata su dati più dettagliati disponibili a livello locale.

**Approccio top-down:** termine tecnico che sta ad indicare nell'ambito degli inventari delle emissioni in atmosfera la metodologia di valutazione delle emissioni che ottiene il dato a livello territoriale inferiore partendo da un dato a livello territoriale più ampio, attraverso l'utilizzo di variabili 'proxy' o 'surrogato', quali ad es. la popolazione residente, gli addetti, le superfici dedicate a determinate attività.

**Atmosfera terrestre:** miscela di gas che avvolge la Terra, costituita da circa il 78% di azoto molecolare, circa il 21% di ossigeno e altri gas in tracce. L'atmosfera può essere suddivisa in una serie di strati sovrapposti sulla base della sua composizione o dei moti, generalmente determinati dalla temperatura. La fascia più vicina alla Terra è la Troposfera che raggiunge un'altezza di circa 8 km nelle regioni polari e di 15 km a livello dell'Equatore ed è caratterizzata dalla presenza di acqua allo stato solido, liquido ed aeriforme. I fenomeni di inquinamento dell'aria hanno luogo all'interno di questo strato. Al di sopra della Troposfera si trova la Stratosfera che ha uno spessore di circa 35 km. Nella Stratosfera è presente, a circa 25 km d'altezza, una grande concentrazione di ozono: il cosiddetto ozono stratosferico che ci protegge dalle radiazioni ultraviolette.

**Benzene:** idrocarburo, appartenente al gruppo dei Composti Organici Volatili Non Metanici (COVNM), che deriva da processi di combustione incompleta di combustibili fossili. La fonte di emissione principale di questo inquinante è costituita dal traffico veicolare, in particolare dai veicoli non catalizzati, da alcuni processi

industriali, dall'impiego di solventi e agenti sgrassanti. È cancerogeno per l'uomo se inalato o ingerito attraverso sostanze contaminate.

**Biossido di azoto:** gas tossico dall'odore forte e pungente, ossidante molto corrosivo. La sua presenza in atmosfera è dovuta ai processi di combustione.

**Biossido di zolfo:** gas dall'odore pungente, la cui presenza in atmosfera deriva dalla combustione di prodotti organici di origine fossile contenenti zolfo, quali carbone, petrolio e derivati. È immesso in atmosfera a seguito delle eruzioni vulcaniche, mentre le principali sorgenti antropiche sono costituite dagli impianti per il riscaldamento e la produzione di energia alimentati a gasolio, carbone e oli combustibili. Il traffico veicolare contribuisce alle emissioni complessive di biossido di zolfo solo in minima parte. L'esposizione a SO<sub>2</sub> – che peraltro è un inquinante caratterizzato da una soglia di percezione molto bassa - provoca nell'uomo irritazione e lesione al tratto superiore dell'apparato respiratorio e aumenta la predisposizione a episodi infettivi acuti e cronici (tracheiti, bronchiti, ecc.). I danni alla vegetazione (maculatura fogliare e arresto della crescita) e ai materiali (corrosione) sono dovuti essenzialmente alla partecipazione di questo inquinante nella formazione delle cosiddette "piogge acide".

**Classi di Pasquill:** insieme di classi che rappresentano il grado di stabilità atmosferica; vengono calcolate a partire da parametri meteorologici misurati e costituiscono un indice della capacità di dispersione degli inquinanti in atmosfera. La classificazione delle condizioni atmosferiche secondo le classi di Pasquill deriva dalle osservazioni empiriche effettuate durante gli anni '60 e '70 negli Stati Uniti (Pasquill, 1961).

**COPERT (Computer Program to calculate Emissions from Road Transport):** metodologia di riferimento dell'Unione Europea per il calcolo delle emissioni in atmosfera da trasporto su strada; è basata su un insieme di fattori di emissione, dipendenti dalla tipologia veicolare e dalla velocità di marcia dei veicoli.

**CORINAIR:** progetto promosso dall'Unione Europea con il fine di raccogliere e organizzare in forma di inventario le informazioni sulle emissioni di sostanze inquinanti disponibili nei Paesi dell'Unione Europea.

**COV:** composti organici volatili, di origine naturale o antropica, che si trovano nell'aria allo stato di vapore o di

gas. Provengono dal settore dei trasporti, da attività e processi industriali, dall'utilizzo e produzione di solventi e dagli impianti per il riscaldamento. Concorrono alla produzione dello smog fotochimico attraverso una complessa cinetica che coinvolge gli ossidi di azoto e porta alla formazione di perossidi organici molto reattivi e di ozono. I più importanti sono gli idrocarburi aromatici, tra i quali il benzene che ha accertato potere cancerogeno, e gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), alcuni dei quali sono cancerogeni.

**Episodi Acuti:** periodi di tempo in cui le concentrazioni in atmosfera di uno o più inquinanti risultano superiori in modo continuativo al Valore Limite (Soglia di Informazione per l'ozono) o alla Soglia di Allarme in una determinata area. Nel caso di episodi acuti sono previsti dalla normativa alcuni provvedimenti sulle fonti di emissione al fine di ricondurre le concentrazioni degli inquinanti in atmosfera al di sotto dei livelli stabiliti dalla normativa per la tutela della salute pubblica.

**Idrocarburi:** sostanze costituite da atomi di idrogeno e carbonio. Gli idrocarburi sono il costituente principale dei combustibili fossili. Ai fini dell'inquinamento atmosferico rivestono una notevole importanza gli idrocarburi più volatili (denominati COV). L'insieme dei composti organici volatili, escludendo il metano, prende il nome di Composti Organici Volatili Non Metanici. Tali composti sono caratterizzati da una notevole reattività nell'ambito dei processi di formazione dell'ozono troposferico e da una elevata tossicità per l'uomo. Il metano, composto poco reattivo e innocuo per l'uomo, è un importante gas a effetto serra.

**Inventario delle emissioni:** è costituito da una serie organizzata di dati relativi alla quantità degli inquinanti introdotti in atmosfera da attività antropiche e da sorgenti naturali. Tali dati sono localizzati sul territorio attraverso opportune tecniche di georeferenziazione. L'inventario è uno degli strumenti conoscitivi di base per la predisposizione dei piani e dei programmi in materia di risanamento della qualità dell'aria. Costituisce inoltre uno degli strumenti indispensabili per l'utilizzo dei modelli di diffusione e trasformazione in atmosfera degli inquinanti e per l'elaborazione di scenari di riduzione delle emissioni e delle concentrazioni nell'ambito dei medesimi piani o programmi. L'inventario delle emissioni va considerato come uno strumento dinamico; la sua evoluzione riguarda sia l'aggiornamento dell'informazione, sia il

miglioramento dell'affidabilità e del grado di dettaglio richiesti.

**Inversione termica:** formazione di uno strato di aria fredda sovrastato da uno strato di aria calda. L'inversione può formarsi sia in quota che al suolo, genera aria fortemente stabile e inibisce ogni rimescolamento verticale. L'inversione termica è più frequente nel corso della stagione invernale, durante i periodi di alta pressione e scarsa turbolenza atmosferica, quando può favorire l'accumulo degli inquinanti nei bassi strati atmosferici.

**Macroinquinanti:** sostanze le cui concentrazioni in atmosfera sono dell'ordine dei mg/m<sup>3</sup> (milligrammi per metro cubo) o dei µg/m<sup>3</sup> (microgrammi per metro cubo) come, ad esempio, CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, particolato.

**Metalli pesanti:** metalli con densità maggiore di 5 g/cm<sup>3</sup>. Fra questi, alcuni (piombo, cadmio, mercurio, rame, nichel, vanadio e altri) sono immessi nell'ambiente, sotto forma di ossidi o di solfuri, attraverso la combustione di olio combustibile, di carbone o rifiuti (che ne contengono tracce), oppure nel corso di processi industriali. Questi composti, dopo una certa permanenza in atmosfera possono entrare nella catena alimentare, dando luogo a pericolosi fenomeni di bioaccumulo negli organismi viventi.

**Microinquinanti:** sostanze le cui concentrazioni in atmosfera sono relativamente basse, ossia dell'ordine dei µg/m<sup>3</sup> (microgrammi per metro cubo) o dei ng/m<sup>3</sup> (nanogrammi per metro cubo) come, ad esempio, gli idrocarburi aromatici, gli IPA, i metalli pesanti e le diossine.

**Minimo barico secondario:** centro di bassa pressione che generalmente si forma sottovento ad una catena montuosa quando questa è esposta a correnti e masse d'aria alla scala sinottica, associate ad un minimo pressorio principale.

**Monossido di carbonio:** gas inodore e incolore, la cui presenza in atmosfera deriva dalla combustione incompleta di combustibili fossili. La sorgente principale è costituita dal traffico veicolare, ed in particolare dai veicoli a benzina non dotati di marmitta catalitica.

Le emissioni di CO dipendono dal rapporto aria-combustibile nella camera di combustione, dalle caratteristiche tecniche e dallo stato di usura del motore e dei sistemi di controllo delle emissioni, nonché dalle

condizioni di marcia del veicolo. Una minima parte delle emissioni di CO deriva dalla combustione in impianti termici con impiego di carbone, olio combustibile e legno, nonché dai processi industriali: produzione di ghisa e acciaio, raffinazione del petrolio, industria del legno e della carta.

L'esposizione a elevate concentrazioni di CO provoca effetti sul sistema nervoso, sull'apparato cardiaco e respiratorio. La sua dannosità è dovuta alla capacità di sostituirsi all'ossigeno nell'emoglobina, riducendo la capacità del sangue di trasportare ossigeno. Per quanto riguarda la vegetazione, il CO porta alla diminuzione, da parte dei batteri, della capacità di fissare l'azoto nelle radici delle piante.

**Obiettivo a lungo termine (per l'ozono):** 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 sull'ambiente nel suo complesso. Tale obiettivo è conseguito nel lungo periodo, sempre che sia realizzabile mediante misure proporzionate, al fine di fornire un'efficace protezione della salute umana e dell'ambiente.

**Ossidi di azoto:** costituiti per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico dal monossido e biossido di azoto. La presenza in atmosfera di NO (inquinante primario) e NO<sub>2</sub> (inquinante secondario) è dovuta essenzialmente ai processi di combustione; in particolare la loro formazione dipende dal tenore di ossigeno e dalla temperatura raggiunta in camera di combustione. Le principali sorgenti di ossidi di azoto sono costituite dal settore dei trasporti (in particolare dai motori diesel) e dagli impianti termici (centrali di potenza e impianti di riscaldamento).

L'esposizione ad alte concentrazioni di ossidi di azoto ha un'azione lesiva nei confronti delle vie respiratorie profonde e degli alveoli polmonari (edema polmonare), mentre a basse concentrazioni provoca irritazione alle mucose. Nella vegetazione gli ossidi di azoto diminuiscono la velocità di fotosintesi e causano la formazione di necrosi fogliari.

Gli NO<sub>x</sub> contribuiscono alla formazione delle cosiddette "piogge acide", che provocano danni alla vegetazione e accumulo di nitrati al suolo e nelle acque (eutrofizzazione), nonché alla formazione del cosiddetto "smog fotochimico", costituendo uno dei precursori per la formazione di ozono troposferico. È importante inoltre il

ruolo degli NO<sub>x</sub> come precursori del particolato secondario.

**Ozono:** inquinante di tipo "secondario", presente in prossimità del suolo (ozono troposferico), che si forma per effetto dell'azione dei raggi solari sugli ossidi di azoto e i Composti Organici Volatili (COV) presenti in atmosfera. In condizioni di intenso irraggiamento, venti deboli e stagnazione meteorologica, tipicamente d'estate, aumenta la produzione di ozono e di altri gas, quali biossido di azoto, acido nitroso, PerossiacetilNitrati (PAN) e aldeidi che, assieme ad esso, costituiscono il cosiddetto "smog fotochimico". Solitamente le concentrazioni di ozono risultano più elevate in zone rurali; nei grandi centri urbani, infatti, la presenza di fonti emissive di monossido di azoto (quali, ad esempio, il traffico veicolare) è in grado di contrastare l'accumulo di ozono in atmosfera attraverso l'innesco di reazioni che coinvolgono questo inquinante, dando luogo alla formazione di biossido di azoto e ossigeno. L'ozono, caratterizzato dall'assenza di colore e dall'odore pungente, è un potente ossidante che provoca nell'uomo irritazione ai tessuti delle vie respiratorie, in particolare degli alveoli polmonari, anche per esposizioni a breve termine. L'ozono, inoltre, danneggia le piante, creando sulle foglie delle zone necrotiche bianco/giallastre o favorendone l'invecchiamento precoce e la defogliazione; è in grado, inoltre, di compromettere la fotosintesi clorofilliana.

**Particolato (PTS, PM10, PM2.5 e PM1):** materiale particellare presente in atmosfera a causa di processi di combustione (particolato primario) o da reazioni chimiche di particolari composti gassosi (particolato secondario), ma anche processi naturali, quali le eruzioni vulcaniche e l'erosione dei suoli da parte degli agenti atmosferici. Con il termine PTS viene indicato il particolato totale, mentre con il termine PM10 si indica la frazione di particolato "inalabile", caratterizzata da diametro aerodinamico inferiore a 10 µm. Il PM2.5, caratterizzato da diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm, viene anche indicato come frazione "respirabile" in quanto è in grado di raggiungere gli alveoli polmonari, veicolando nell'organismo le sostanze che lo compongono. La composizione del particolato può essere molto variabile e da essa, oltre che dalle dimensioni, dipende la pericolosità della sua inalazione. Le particelle di origine naturale hanno un diametro superiore ai 10 µm, mentre il PM10 e le frazioni inferiori, che derivano essenzialmente dalle combustioni, possono contenere metalli pesanti (ad

es. il piombo) e Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA), noti per la loro tossicità nei confronti dell'organismo umano. Particelle ancora più sottili, su cui sono stati avviati recentemente studi e misure per il potenziale di dannosità ad esse associato, sono costituite dalle frazioni PM2.5 e PM1. Gli effetti sanitari conseguenti all'inalazione di particolato sono sia di tipo acuto (brevi esposizioni ad alte concentrazioni) che di tipo cronico (esposizione prolungata a concentrazioni non elevate) e si manifestano con affezioni dell'apparato respiratorio e cardiocircolatorio.

**Piombo:** metallo pesante che si può trovare adsorbito sul particolato. La concentrazione di piombo in atmosfera è dovuta al consumo di benzine con piombo, usato in passato come antidetonante. Il piombo danneggia i tessuti nervosi ed i tessuti emopoietici, causando anemia.

**Piogge acide:** processo di ricaduta dall'atmosfera di particelle, gas e precipitazioni acide sotto forma di pioggia, neve, nebbie e rugiade. Questo fenomeno è causato essenzialmente dagli ossidi di zolfo e dagli ossidi d'azoto presenti in atmosfera.

**Planetary Boundary Layer:** si veda altezza dello strato rimescolato.

**Smog fotochimico:** particolare inquinamento dell'aria che si produce nelle giornate caratterizzate da condizioni meteorologiche di stabilità e di forte insolazione. Gli ossidi di azoto e i composti organici volatili, emessi nell'atmosfera da molti processi naturali ed antropogenici, vanno incontro ad un complesso sistema di reazioni fotochimiche indotte dalla luce ultravioletta presente nei raggi del sole, con conseguente formazione di ozono, PAN, aldeidi e altre sostanze. Tali inquinanti secondari vengono indicati col nome collettivo di smog fotochimico perché sono generati da reazioni chimiche catalizzate dalla luce.

**Soglia di Allarme:** livello di concentrazione di un dato inquinante oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata e raggiunto il quale devono essere adottate le misure previste dalla normativa.

**Soglia di Informazione (per l'ozono):** livello di concentrazione di ozono oltre il quale vi è un rischio per la salute umana in caso di esposizione di breve durata per alcuni gruppi particolarmente sensibili della popolazione e raggiunto il quale devono essere adottate le misure previste dalla

normativa.

**Sorgenti diffuse:** sorgenti di emissioni atmosferiche che non è possibile o conveniente localizzare data la numerosità e la distribuzione alquanto uniforme sul territorio (es. impianti di riscaldamento domestici, piccole medie-imprese, utilizzo di prodotti contenenti solventi). Le emissioni di queste sorgenti vengono stimate mediante l'equazione:

$$E_i = FE_i * A$$

dove:

$E_i$  rappresenta l'emissione dell'inquinante  $i$

$A$  è un opportuno indicatore dell'attività correlato con le quantità emesse (es. consumi di combustibile per gli impianti di riscaldamento)

$FE_i$  è il fattore di emissione per l'inquinante  $i$  e l'attività espressa tramite  $A$ , ovvero la massa dell'inquinante emessa per una quantità unitaria dell'indicatore di attività.

**Valore Bersaglio (per l'ozono):** livello di concentrazione di ozono fissato al fine di evitare a lungo termine effetti nocivi sulla salute umana e sull'ambiente nel suo complesso, da conseguirsi per quanto possibile entro un dato periodo di tempo.

**Valore Limite:** valore di concentrazione in atmosfera di un inquinante fissato in base alle conoscenze scientifiche al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti dannosi alla salute umana o per l'ambiente nel suo complesso.

**Veicoli di tipo 'Euro':**

- autoveicoli conformi alla Direttiva Europea 91/441/CE e successive direttive;
- veicoli commerciali leggeri (< 3,5 t) diesel conformi alla Direttiva Europea 93/59/CE e successive direttive;
- veicoli commerciali pesanti (> 3,5 t) diesel conformi alla Direttiva Europea 91/542/CE e successive direttive;
- ciclomotori e motocicli a benzina conformi alla Direttiva Europea 97/24/CE e successive direttive.

**Veicoli di tipo pre-Euro:** tutti i veicoli non conformi alle Direttive Europee sopra citate.

**Zona A:** area caratterizzata da concentrazioni più elevate di PM10 primario, da più elevata densità di emissioni di PM10 primario, NO<sub>x</sub> e COV, da situazione meteorologica avversa per la dispersione degli inquinanti (velocità del

vento limitata, frequenti casi di inversione termica, lunghi periodo di stabilità atmosferica con alta pressione), alta densità abitativa, di attività industriali e di traffico.

**Zona A1-agglomerati urbani:** area a maggiore densità abitativa e con maggiore disponibilità di trasporto pubblico locale.

**Zona A2-zona urbanizzata:** area a minore densità abitativa ed emissiva rispetto alla zona A1.

**Zona B-zona di pianura:** area caratterizzata da concentrazioni elevate di PM10 secondario, da alta densità di emissioni di PM10 e NO<sub>x</sub>, inferiore a quella della Zona A, alta densità di emissione di NH<sub>3</sub>, da situazione meteorologica avversa per la dispersione degli inquinanti (velocità del vento limitata, frequenti casi di inversione termica, lunghi periodi di stabilità atmosferica con alta pressione), densità abitativa intermedia, con elevata presenza di attività agricole e di allevamento.

**Zona C:** area caratterizzata da concentrazioni più limitate di PM10, da minore densità di emissioni di PM10 primario,

NO<sub>x</sub>, COV antropico e NH<sub>3</sub>, da orografia montana, da situazione meteorologica più favorevole alla dispersione degli inquinanti, bassa densità abitativa intermedia, con elevata presenza di attività agricole e di allevamento.

**Zona C1-zona prealpina e appenninica:** fascia prealpina ed appenninica dell'Oltrepo, più esposta al trasporto di inquinanti provenienti dalla pianura.

**Zona C2-zona alpina:** fascia alpina.

**Zone Critiche:** zone del territorio regionale lombardo nelle quali i livelli delle concentrazioni in atmosfera di uno o più inquinanti comportino il superamento dei Valori Limite e delle Soglie di Allarme. In queste zone la Regione Lombardia definisce:

- piani d'azione che contengono le misure da attuare nel breve periodo affinché sia ridotto il rischio di superamento dei Valori Limite e delle Soglie di Allarme;
- piani integrati per il raggiungimento dei Valori Limite entro i termini stabiliti.

## RIPARTIZIONE IN ZONE PER AMBITI PROVINCIALI

PROVINCIA	ZONA	COMUNI (NUMERO)
<b>BERGAMO</b>	A1	36
	A2	75
	B	5
	C1	128
<b>TOTALE</b>		<b>244</b>
<b>BRESCIA</b>	A1	20
	A2	30
	B	56
	C1	88
	C2	12
<b>TOTALE</b>		<b>206</b>
<b>COMO</b>	A1	14
	A2	63
	C1	85
<b>TOTALE</b>		<b>162</b>
<b>CREMONA</b>	A1	10
	A2	1
	B	104
<b>TOTALE</b>		<b>115</b>
<b>LECCO</b>	A1	15
	A2	39
	C1	36
<b>TOTALE</b>		<b>90</b>
<b>LODI</b>	A1	8
	B	53
<b>TOTALE</b>		<b>61</b>
<b>MANTOVA</b>	A1	14
	B	56
<b>TOTALE</b>		<b>70</b>
<b>MILANO</b>	A1	70
	A2	95
	B	24
<b>TOTALE</b>		<b>189</b>
<b>PAVIA</b>	A1	13
	A2	1
	B	151
	C1	25
<b>TOTALE</b>		<b>190</b>
<b>SONDRIO</b>	C2	78
<b>TOTALE</b>		<b>78</b>
<b>VARESE</b>	A1	10
	A2	56
	C1	75
<b>TOTALE</b>		<b>141</b>

# Acronimi

**BTX:** Benzene, Toluene, Xileni

**CH<sub>4</sub>:** metano

**C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>:** benzene

**CO:** monossido di carbonio

**CO<sub>2</sub>:** anidride carbonica

**COV:** Composti Organici Volatili

**COVNM:** Composti Organici Volatili Non Metanici

**IPA:** Idrocarburi Policiclici Aromatici

**NH<sub>3</sub>:** ammoniaca

**NO:** monossido di azoto

**NO<sub>2</sub>:** biossido di azoto

**NO<sub>x</sub>:** ossidi di azoto

**N<sub>2</sub>O:** protossido di azoto

**O<sub>3</sub>:** ozono

**PAN:** PerossiAcetilNitrati

**Pb:** piombo

**PM<sub>1</sub>:** frazione di particolato con diametro aerodinamico inferiore a 1 µm

**PM<sub>2.5</sub>:** frazione di particolato con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm

**PM<sub>10</sub>:** frazione di particolato con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm

**PTS:** Polveri Totali Sospese

**SO<sub>2</sub>:** biossido di zolfo