

## Monitoraggio Area C

# EMISSIONI ATMOSFERICHE NELLA CITTA' DI MILANO

**PERIODO GENNAIO - GIUGNO 2013**

<i>elaborato:</i>		<b>RELAZIONE</b>		<i>codifica:</i>	130540055_00
				<i>revisione:</i>	<b>00</b>
<i>data:</i>		<i>redatto:</i>		<i>verificato:</i>	<i>approvato:</i>
03 / 12 / 2013		Marco Bedogni		Marco Bedogni	Bruno Villavecchia

**Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio Srl**

Sede Legale e Uffici: Via G. Deledda, 9/A – 20127 Milano

Telefono +39 02 8846 7298

Fax + 39 02 8846 7349

e-mail: [info@amat-mi.it](mailto:info@amat-mi.it)

*Amministratore Unico*

Arch. Maria Berrini

**Tutti i diritti sono riservati**

Tutti i diritti di riproduzione e rielaborazione anche parziale dei testi sono riservati;  
l'eventuale utilizzo e pubblicazione anche di parti di testo, delle tavole o delle tabelle dovrà prevedere la citazione della fonte.

## SOMMARIO

<b><u>1. SINTESI.....</u></b>	<b><u>6</u></b>
<b><u>2. PREMESSA METODOLOGICA.....</u></b>	<b><u>6</u></b>
<b><u>3. ANDAMENTO GIORNALIERO DELLE EMISSIONI.....</u></b>	<b><u>9</u></b>
3.1 <i>PM10 ALLO SCARICO .....</i>	9
3.2 <i>PM10 TOTALE – SCARICO E ATTRITI.....</i>	10
3.3 <i>AMMONIACA .....</i>	10
3.4 <i>OSSIDI TOTALI DI AZOTO.....</i>	11
3.5 <i>BIOSSIDO D'AZOTO.....</i>	11
3.6 <i>COMPOSTI ORGANICI VOLATILI NON METANICI .....</i>	12
3.7 <i>ANIDRIDE CARBONICA .....</i>	12
<b><u>4. RIPARTIZIONE DELLE EMISSIONI PER CLASSE VEICOLARE.....</u></b>	<b><u>12</u></b>
4.1 <i>PM10 ALLO SCARICO .....</i>	13
4.2 <i>PM10 TOTALE – SCARICO E ATTRITI.....</i>	13
4.3 <i>CARBONIO ELEMENTARE E CARBONIO ORGANICO.....</i>	14
4.4 <i>AMMONIACA .....</i>	15
4.5 <i>OSSIDI TOTALI D'AZOTO.....</i>	15
4.6 <i>BIOSSIDO D'AZOTO.....</i>	15
4.7 <i>COMPOSTI ORGANICI VOLATILI NON METANICI E BENZENE.....</i>	16
4.8 <i>ANIDRIDE CARBONICA .....</i>	17
4.9 <i>METANO E PROTOSSIDO D'AZOTO.....</i>	17
4.10 <i>BENZO(A)PIRENE E METALLI.....</i>	18
<b><u>5. SERIE STORICA DELLA RIPARTIZIONE VEICOLARE IN 'AREA C' .....</u></b>	<b><u>18</u></b>
<b><u>6. SERIE STORICA DELLE EMISSIONI.....</u></b>	<b><u>20</u></b>
6.1 <i>PM10 ALLO SCARICO .....</i>	21
6.2 <i>PM10 TOTALE – SCARICO E ATTRITI.....</i>	22

6.3	<i>CARBONIO ELEMENTARE – SCARICO E ATTRITI</i> .....	23
6.4	<i>CARBONIO ORGANICO – SCARICO E ATTRITI</i> .....	23
6.5	<i>AMMONIACA</i> .....	24
6.6	<i>OSSIDI TOTALI D'AZOTO</i> .....	25
6.7	<i>BIOSSIDO D'AZOTO</i> .....	25
6.8	<i>COMPOSTI ORGANICI VOLATILI NON METANICI</i> .....	26
6.9	<i>BENZENE</i> .....	26
6.10	<i>BENZO(A)PIRENE</i> .....	27
6.11	<i>METALLI PESANTI</i> .....	27
6.12	<i>ANIDRIDE CARBONICA</i> .....	28
6.13	<i>METANO</i> .....	28
6.14	<i>PROTOSSIDO D'AZOTO</i> .....	29
6.15	<i>POTENZIALE CLIMALTERANTE</i> .....	29
<b>7.</b>	<b><u>RIEPILOGO EMISSIONI MENSILI DA TRAFFICO IN AREA C</u></b> .....	<b>30</b>
<b>8.</b>	<b><u>EMISSIONI DA TRAFFICO IN 'AREA C' E IN MILANO</u></b> .....	<b>33</b>
8.1	<i>PM10 ALLO SCARICO</i> .....	34
8.2	<i>PM10 TOTALE – SCARICO E ATTRITI</i> .....	35
8.3	<i>CARBONIO ELEMENTARE – SCARICO E ATTRITI</i> .....	36
8.4	<i>CARBONIO ORGANICO – SCARICO E ATTRITI</i> .....	37
8.5	<i>AMMONIACA</i> .....	38
8.6	<i>OSSIDI TOTALI D'AZOTO</i> .....	39
8.7	<i>BIOSSIDO D'AZOTO</i> .....	39
8.8	<i>COMPOSTI ORGANICI VOLATILI NON METANICI</i> .....	41
8.9	<i>BENZENE</i> .....	42
8.10	<i>BENZO(A)PIRENE</i> .....	42
8.11	<i>METALLI PESANTI (AS+CD+NI+PB)</i> .....	43

8.12	<i>ANIDRIDE CARBONICA</i> .....	43
8.13	<i>METANO</i> .....	44
8.14	<i>PROTOSSIDO D'AZOTO</i> .....	44
8.15	<i>POTENZIALE CLIMALTERANTE</i> .....	45
<b>9.</b>	<b><u>EMISSIONI DA IMPIANTI PER IL RISCALDAMENTO DOMESTICO IN 'AREA C' E IN MILANO</u></b> .....	<b>46</b>
9.1	<i>PM10 TOTALE</i> .....	46
9.2	<i>CARBONIO ELEMENTARE</i> .....	46
9.3	<i>OSSIDI TOTALI DI AZOTO</i> .....	47
9.4	<i>BENZO(A)PIRENE</i> .....	47
9.5	<i>METALLI PESANTI</i> .....	48
9.6	<i>ANIDRIDE CARBONICA</i> .....	48

## 1. SINTESI

Il presente documento riassume i risultati ottenuti a seguito delle stime di emissione atmosferica dovuta al traffico circolante ed agli impianti di combustione per il riscaldamento domestico (con esclusione di quelli alimentati a biomasse), in 'Area C' e in tutta la città, nel periodo gennaio – giugno 2013.

Per quanto riguarda il traffico veicolare circolante in 'Area C', gli indicatori di inquinamento atmosferico sono prevalentemente in diminuzione. Infatti, in 'Area C' con provvedimento vigente stanno continuando a diminuire le emissioni di PM10 allo scarico (-56% rispetto al 2010), PM10 totale (-38% rispetto al 2010), Carbonio Elementare (-60% rispetto al 2010), Carbonio Organico (-32% rispetto al 2010), Ammoniaca (-47% rispetto al 2010), Composti Organici Volatili Non Metanici (-26% rispetto al 2010), Benzene (-30% rispetto al 2010). Sempre rispetto al 2010 risultano in calo anche le emissioni di ossidi di azoto, di benzo(a)pirene e di metalli pesanti, tuttavia nel primo semestre 2013 viene segnalata una modesta crescita delle emissioni di biossido d'azoto rispetto al primo semestre 2012 e una sostanziale stabilizzazione delle emissioni di NOx (a motivo della maggior diffusione di autoveicoli diesel leggeri di nuova generazione) nonché delle emissioni di metalli pesanti.

In 'Area C' con provvedimento vigente sono in diminuzione, rispetto al 2010, anche le emissioni di gas climalteranti dovute al traffico stradale (-29% per l'anidride carbonica, -15% per il metano, -23% per il protossido d'azoto), che nel primo semestre 2013 appaiono sostanzialmente stabili rispetto all'analogo periodo del 2012 o in leggero aumento per quanto riguarda il protossido d'azoto.

Sostanzialmente in decrescita le emissioni atmosferiche da traffico veicolare anche a livello urbano, con una diminuzione più lenta per il biossido d'azoto e dei metalli pesanti. L'anidride carbonica e l'indice di potenziale climalterante sono diminuiti del 5% dal 2010 al 2013.

Il peso percentuale delle emissioni atmosferiche rilasciate dal traffico stradale circolante in 'Area C', rispetto alla totalità delle emissioni da traffico di Milano, varia dal 2% al 6% a seconda dell'inquinante: il contributo è minore per gli inquinanti per i quali sono stati previsti disincentivi o limitazioni alla circolazione per i veicoli maggiormente responsabili delle relative emissioni.

Infine, considerando anche gli impianti di combustione per il riscaldamento domestico, l'importanza delle emissioni da traffico veicolare circolante in 'Area C' varia a seconda dell'inquinante.

## 2. PREMESSA METODOLOGICA

Il presente documento riassume i dati di stima delle emissioni atmosferiche dovute al traffico circolante in 'Area C' nel periodo gennaio – giugno 2013.

La metodologia adottata per la stima delle emissioni atmosferiche si è basata sul numero di transiti rilevati dai varchi elettronici di controllo degli accessi di 'Area C' nonché sull'applicazione del modello europeo pubblico COPERT4, aggiornato alla versione 10.0 (novembre 2012), implementazione informatica della *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook* che è stata recentemente aggiornata al 2013 (EEA Technical report No 12/2013).

La versione 10.0 di COPERT4 ha introdotto alcune modifiche sostanziali rispetto alle precedenti versioni, soprattutto per quanto riguarda i fattori di emissione di ossidi di azoto dei veicoli diesel di nuova generazione, di anidride carbonica, di composti organici volatili, di metano e di metalli. Inoltre detta versione introduce una distinzione tra i fattori di emissione dei ciclomotori a due e a quattro tempi, e comincia a fornire informazioni più specifiche circa le emissioni dei veicoli alimentati a metano.

Per questo motivo le procedure di calcolo delle emissioni atmosferiche da traffico sono state aggiornate e sono state riviste anche le stime relative agli anni antecedenti il 2013, che potrebbero pertanto differenziarsi da quelli pubblicati in precedenza.

Tra gli input forniti al modello COPERT, sono stati utilizzati i valori medi mensili delle temperature minime e massime giornaliere rilevate dalle stazioni meteorologiche posizionate in centro città, mentre Unione Petrolifera ha gentilmente fornito le caratteristiche dei carburanti per autotrazione. Per quanto riguarda i consumi unitari (e quindi anche le emissioni di anidride carbonica) degli autoveicoli leggeri Euro 5 ed Euro 6, sono stati introdotti dei fattori correttivi (attualmente ancora non previsti da COPERT 10.0) rispetto ai fattori di consumo delle tecnologie Euro 4 che tengono conto degli obiettivi prefissati a livello comunitario (riduzione del 36% delle emissioni specifiche di CO<sub>2</sub> del parco auto venduto dal 2005 al 2020) nonché della riduzione effettiva delle emissioni unitarie di CO<sub>2</sub> da parte delle autovetture nuove vendute negli ultimi anni (fonte: report periodici di monitoraggio della Commissione Europea sul rispetto delle Direttive sulla riduzione dell'anidride carbonica dal settore dei trasporti). Sono stati anche adottati fattori di emissione di CO<sub>2</sub> (indiretta) per i veicoli elettrici, sulla base delle attuali conoscenze disponibili a livello nazionale.

La composizione del parco veicolare circolante, distinta in circa 250 differenti tipologie, è stata dedotta direttamente a partire dai rilevamenti ai varchi elettronici di accesso. Per ogni veicolo in transito, a partire dalla targa vengono ricavate dal database della Motorizzazione Civile le informazioni necessarie per una classificazione dei veicoli in funzione della tipologia, dell'alimentazione, della classe Euro e della disponibilità di sistemi di riduzione della massa di particolato, al fine di caratterizzare il veicolo nell'ambito di una delle classi definite dal provvedimento.

Gli inquinanti atmosferici qui esaminati sono i seguenti:

- a) il PM10 allo scarico, un inquinante principalmente dovuto ai veicoli diesel privi di sistemi di abbattimento della massa di particolato, in particolare mezzi pesanti e veicoli datati, ma anche ai motoveicoli con motore 2 tempi;
- b) il PM10 totale, dovuto sia al rilascio di particolato atmosferico allo scarico sia ai fenomeni di attrito meccanico. Nella presente relazione i fenomeni di attrito quantificati sono l'usura degli pneumatici e dei freni nonché l'abrasione del manto stradale al transito dei veicoli;
- c) l'ammoniaca atmosferica (NH<sub>3</sub>), un inquinante dovuto, in ambito urbano, principalmente agli autoveicoli a benzina di classe tecnologica Euro 1 ed Euro 2;
- d) gli ossidi totali di azoto (NO<sub>x</sub>), in generale rilasciati da qualsiasi motore a combustione interna ma, a parità di condizioni (età del veicolo, cilindrata ..), emessi soprattutto dai veicoli diesel. Il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>), in particolare, ha visto negli ultimi anni un progressivo aumento a motivo degli autoveicoli leggeri a gasolio da Euro 3 in avanti, il cui fattore di emissione di NO<sub>2</sub> è più alto di quello degli autoveicoli diesel di precedente tecnologia o alimentati con altri carburanti;
- e) i composti organici volatili non metanici (COVNM), rilasciati soprattutto dai veicoli a benzina o miscela più datati, tra i quali si annoverano sostanze cancerogene come il benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>). Nelle presenti stime sono inclusi sia i COVNM emessi allo scarico sia quelli dovuti all'evaporazione dalle varie parti del veicolo;
- f) il Carbonio Elementare (EC, i cui fattori di emissione per il traffico stradale sono posti dall'Emission Inventory Guidebook del 2013 uguali a quelli del Black Carbon –

BC) ed il Carbonio Organico (OC), ovvero la frazione carboniosa del particolato atmosferico primario. In particolare sono qui fornite le stime di EC e OC contenuto nel PM10 totale da traffico stradale (scarico + attrito meccanico);

- g) l'anidride carbonica (CO<sub>2</sub>), un inquinante ad effetto serra legato ai consumi di carburante: a parità di condizioni (età del veicolo, cilindrata, potenza ..) tra i veicoli in circolazione a maggiore diffusione sono quelli alimentati a GPL e a gasolio ad avere la minore emissione specifica di CO<sub>2</sub> seguiti dai veicoli a metano, mentre quelli alimentati a benzina sono caratterizzati dall'emissione unitaria maggiore;
- h) il metano (CH<sub>4</sub>) e il protossido d'azoto (N<sub>2</sub>O), altri due importanti gas climalteranti;
- i) il benzo(a)pirene (BaP), un Idrocarburo Policiclico Aromatico classificato dallo IARC (International Agency for Research on Cancer) come cancerogeno per l'uomo e come tale soggetto a limiti normativi di concentrazione in aria. Per questo inquinante la metodologia COPERT4 attualmente non prevede una differenza tra i fattori di emissione di BaP di autoveicoli diesel con e senza dispositivi antiparticolato, ma dato che alcuni lavori pubblicati evidenziano come il filtri antiparticolato abbiano un'alta efficienza di abbattimento degli IPA ad alto peso molecolare, nelle stime qui presentate è stata adottata l'ipotesi per la quale i veicoli diesel con DPF abbiano un fattore di emissione di BaP ridotto del 90% rispetto all'analoga tecnologia senza DPF (si veda, per esempio, Tsai et al., *The Influences of Diesel Particulate Filter Installation on Air Pollutant Emissions for Used Vehicles*, Aerosol and Air Quality Research, 11: 578–583, 2011);
- j) l'arsenico (As), il cadmio (Cd), il nichel (Ni) e il Piombo (Pb) sono tra i metalli pesanti più rappresentativi a causa della loro tossicità, e per questo la normativa vigente prevede che essi debbano essere monitorati. Lo IARC classifica l'arsenico, il cadmio, i composti del nichel come cancerogeni per l'uomo, e i composti inorganici del piombo come probabili cancerogeni per l'uomo

Per la maggior parte dei suddetti inquinanti sono qui riportati l'andamento delle emissioni giornaliere sul periodo temporale considerato e un'analisi relativa alla ripartizione delle stesse in classi veicolari. In particolare, le emissioni atmosferiche sono ripartite in sei macroclassi così definite:

- ✓ Classe 1 - autoveicoli elettrici
- ✓ Classe 1b - autoveicoli ibridi (termici/elettrici) e alimentati a GPL o metano
- ✓ Classe 2 - autoveicoli alimentati a benzina Euro 1 e successivi, autoveicoli alimentati a gasolio Euro 5 o Euro 6 ed equivalenti dal punto di vista delle emissioni della massa di particolato atmosferico
- ✓ Classe 3 – autoveicoli alimentati a benzina Euro 0, autoveicoli alimentati a gasolio Euro 0, Euro 1 o Euro 2, motoveicoli a due tempi Euro 0
- ✓ Classe 3b - autoveicoli alimentati a gasolio Euro 3 ed equivalenti dal punto di vista delle emissioni della massa di particolato atmosferico
- ✓ Classe 3c - autoveicoli alimentati a gasolio Euro 4 ed equivalenti dal punto di vista delle emissioni della massa di particolato atmosferico
- ✓ Motoveicoli (con esclusione dei motoveicoli a due tempi Euro 0)

Inoltre, per gli inquinanti per i quali è disponibile la serie storica, viene presentato un confronto tra le emissioni atmosferiche stimate per il periodo esaminato e quelle relative allo stesso periodo degli anni precedenti.

Infine viene fornita una contestualizzazione delle emissioni atmosferiche da traffico in 'Area C' rispetto alle emissioni dovute al traffico stradale circolante su tutta la città nonché a quelle dovute agli impianti di riscaldamento domestico alimentati con combustibili liquidi o gassosi (sono esclusi quelli alimentati a biomassa).

Si precisa che, nell'ambito della presente relazione, con il termine "giorno prefestivo" si intendono non solamente i giorni di sabato non festivi, ma anche i giorni feriali di non applicazione del provvedimento 'Area C' che presentano caratteristiche simili a quelle di un sabato (per esempio, periodi di ponte tra festività). Si precisa, inoltre, che con il termine "fascia oraria diurna" si intende la fascia oraria 07:30 – 19:30 per tutti i giorni ad eccezione dei giovedì da settembre 2012 in avanti, per i quali la fascia di riferimento è 07:30 – 18:00.

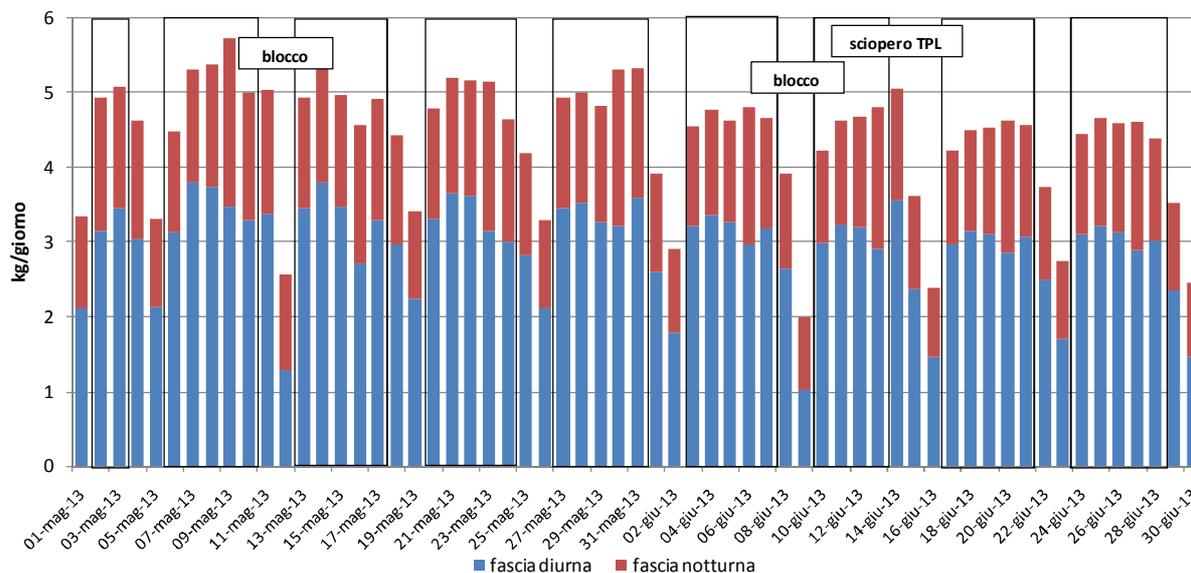
### 3. ANDAMENTO GIORNALIERO DELLE EMISSIONI

Nei seguenti grafici è riportato l'andamento giornaliero delle emissioni atmosferiche dei principali inquinanti qui esaminati e dovuti al traffico stradale in 'Area C' sul periodo maggio – giugno 2013. Il grafico riporta un istogramma relativo alle emissioni giornaliere, suddivise in emissioni nella fascia oraria diurna (in blu) e nella fascia oraria notturna (in rosso). Gli inquinanti non mostrati nel presente capitolo hanno andamenti giornalieri del tutto analoghi a quelli qui presentati.

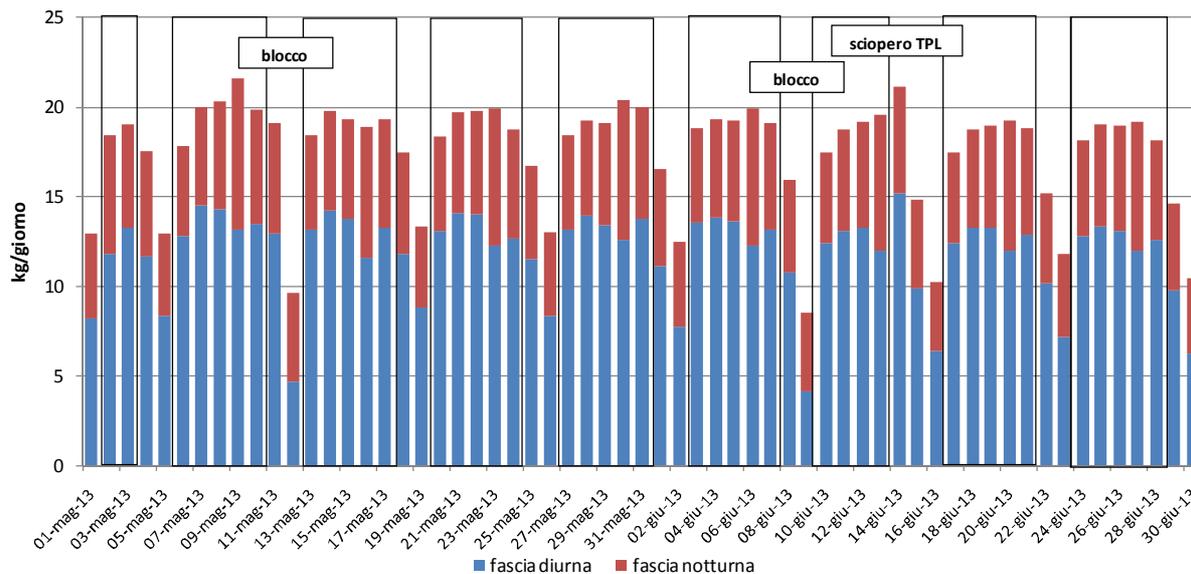
I giorni di applicazione del provvedimento 'Area C' sono evidenziati nell'istogramma da rettangoli. Nel bimestre maggio – giugno 2013 il provvedimento 'Area C' è stato sospeso solo il giorno 14 giugno a motivo del concomitante sciopero del trasporto pubblico locale.

Inoltre va segnalato che le domeniche 12 maggio e 9 giugno sono state oggetto del blocco totale della circolazione dalle 10:00 alle 18:00 in città e in diversi comuni limitrofi.

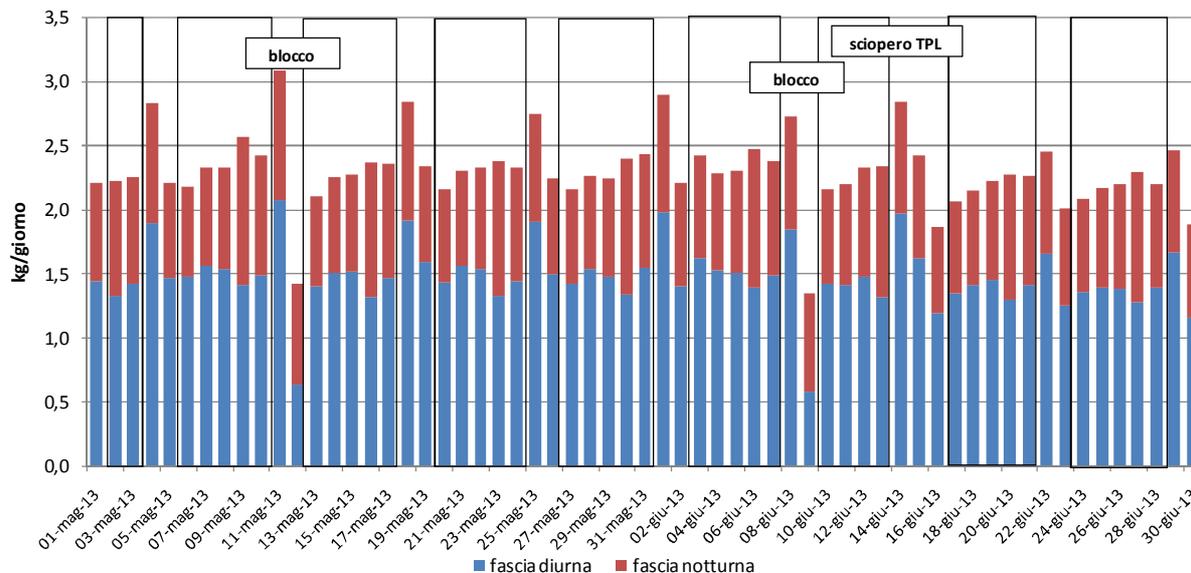
#### 3.1 PM10 allo scarico



### 3.2 PM10 totale – scarico e attriti

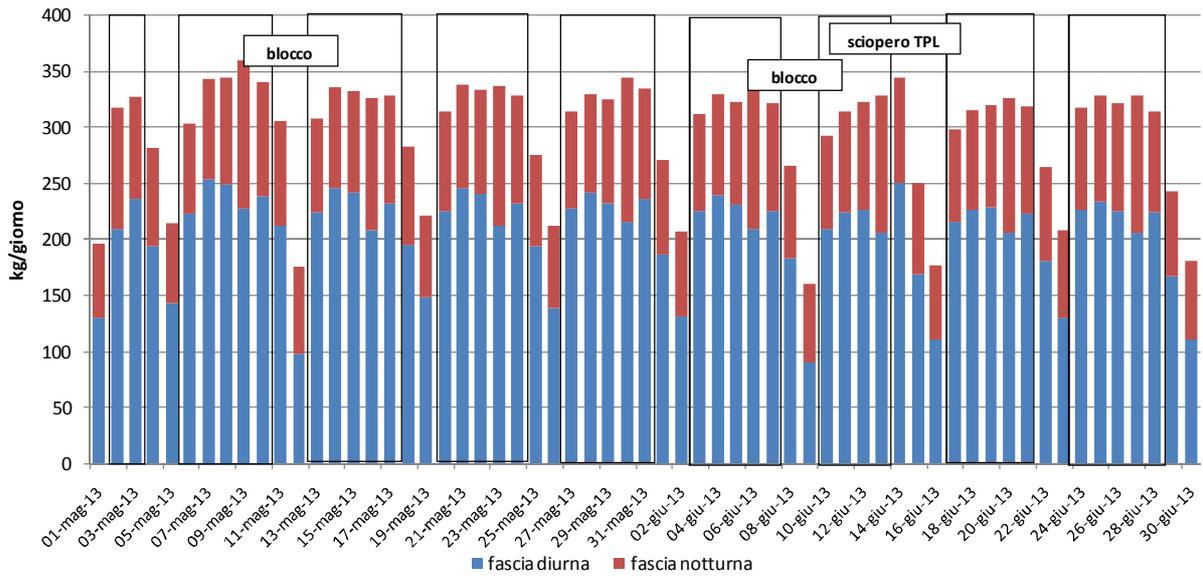


### 3.3 Ammoniaca

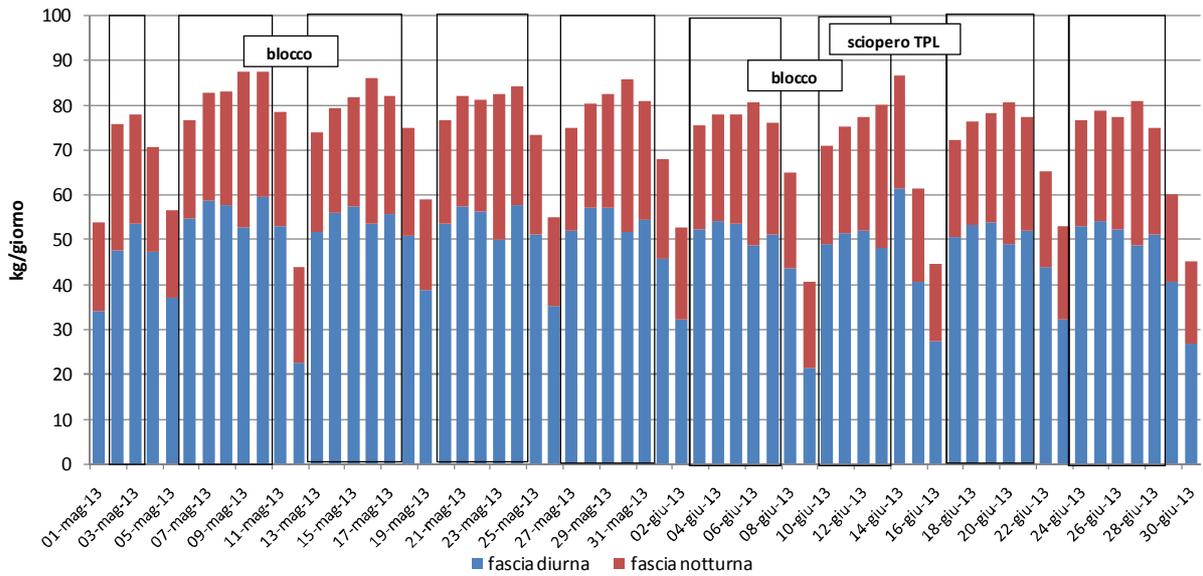


A differenza della maggior parte degli altri inquinanti, le emissioni di ammoniaca presentano tipicamente un valore massimo nei giorni di sabato (escludendo il giorno di sciopero del trasporto pubblico). Ciò è dovuto al fatto che l'ammoniaca è, in ambito urbano, un inquinante molto strettamente legato alle tecnologie a benzina Euro 1 ed Euro 2; questi autoveicoli sono soggetti a pagamento con il provvedimento 'Area C' attivo, mentre il sabato possono entrare liberamente nella ZTL Bastioni.

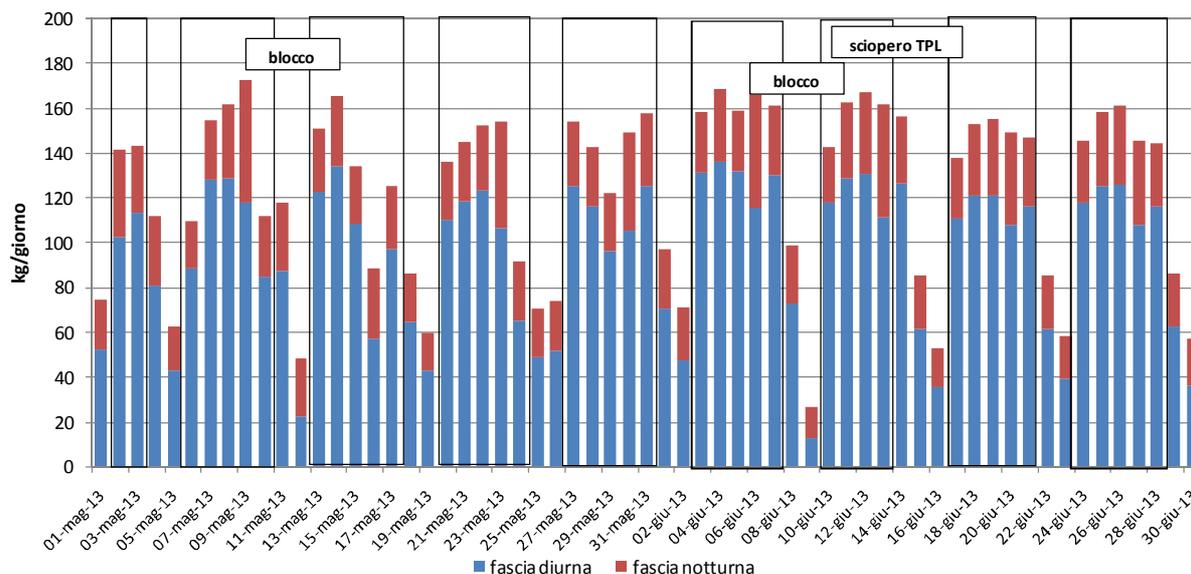
### 3.4 Ossidi totali di azoto



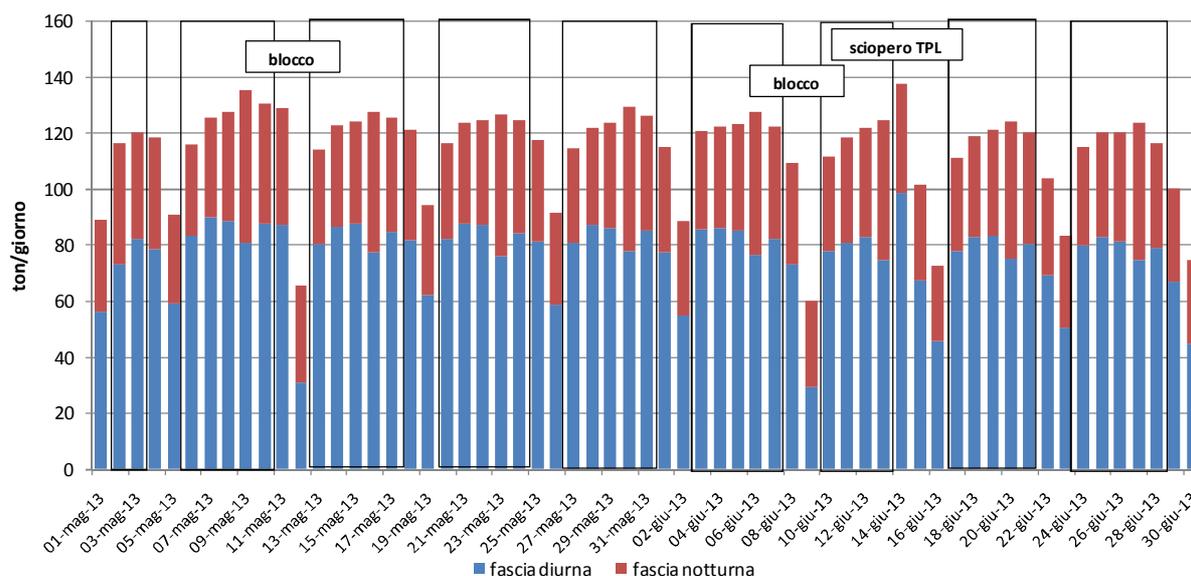
### 3.5 Biossido d'azoto



### 3.6 Composti organici volatili non metanici



### 3.7 Anidride carbonica

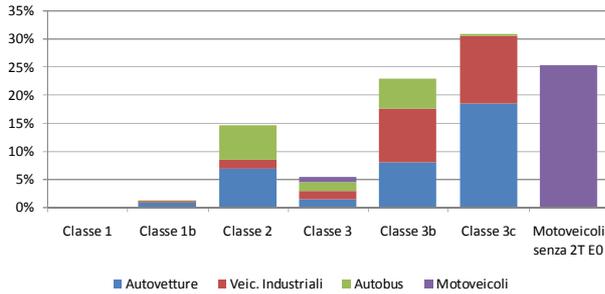


## 4. RIPARTIZIONE DELLE EMISSIONI PER CLASSE VEICOLARE

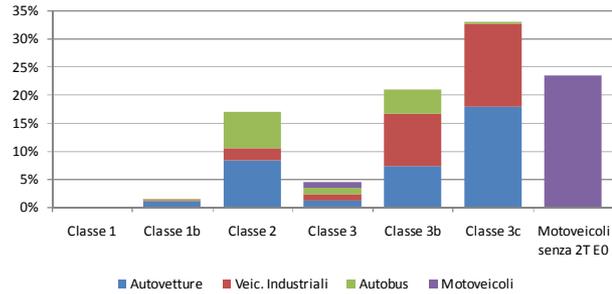
I seguenti grafici riportano la ripartizione percentuale, sul periodo gennaio – giugno 2013, delle emissioni atmosferiche prodotte dal traffico stradale circolante in 'Area C' durante la fascia oraria di vigenza del provvedimento (fascia diurna dei giorni feriali) e il confronto sull'analogo periodo del 2012.

## 4.1 PM10 allo scarico

PM10 scarico: gennaio-giugno 2012



PM10 scarico: gennaio-giugno 2013

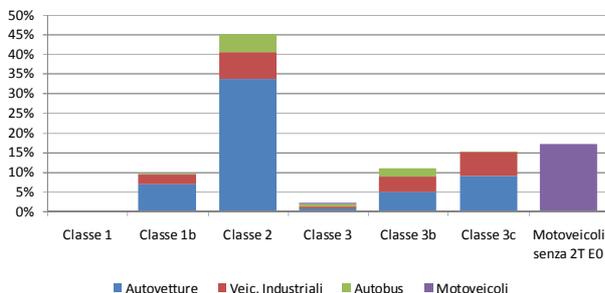


Oltre il 30% del contributo emissivo complessivo di PM10 allo scarico è dovuto ai veicoli appartenenti alla Classe 3c (autoveicoli a gasolio Euro 4 o equivalenti dal punto di vista delle emissioni di particolato), mentre i veicoli appartenenti alla Classe 3b (autoveicoli diesel Euro 3 o equivalenti) e la classe dei motoveicoli diversi dalle moto 2 tempi Euro 0 contribuiscono ciascuna per oltre il 20% delle emissioni complessive di PM10 allo scarico da traffico in 'Area C'.

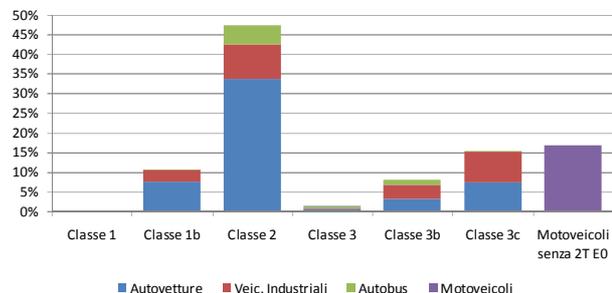
Rispetto al 2012 le variazioni sono molto limitate e vedono un leggero aumento delle Classi 3c e 2, ed una diminuzione delle altre.

## 4.2 PM10 totale – scarico e attriti

PM10 totale: gennaio-giugno 2012



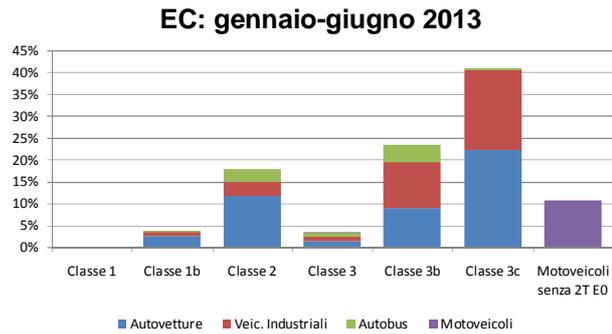
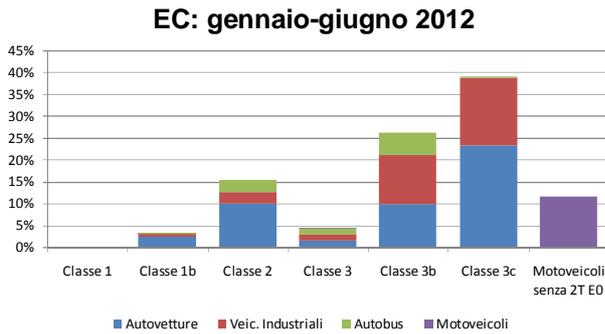
PM10 totale: gennaio-giugno 2013



Quasi il 50% del contributo emissivo complessivo in 'Area C' di PM10 totale (scarico, usura pneumatici, usura sistema frenante, abrasione manto stradale) è dovuto ai veicoli appartenenti alla Classe 2 (in sostanza autoveicoli benzina Euro 1 e successivi nonché autoveicoli diesel Euro 5 e successivi o equivalenti dal punto di vista delle emissioni di particolato). Il restante contributo emissivo è dovuto principalmente ai motoveicoli nonché ai veicoli appartenenti alle Classi 3c, 1b e 3b.

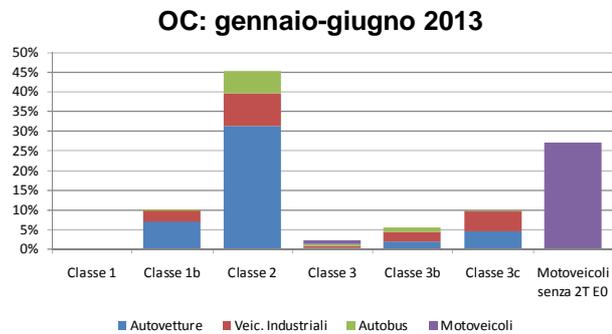
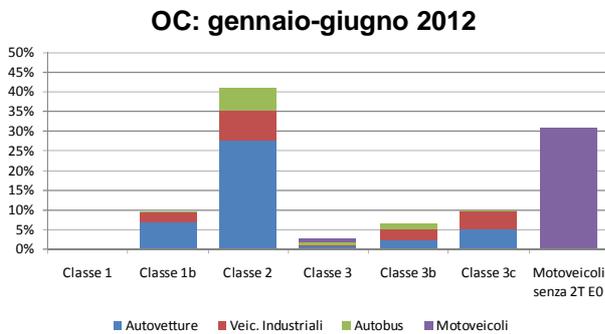
Rispetto al 2012 è leggermente cresciuto il peso relativo ai veicoli di Classe 2, dovuto al fatto che, con il ricambio del parco veicolare, diminuiscono gli autoveicoli appartenenti alle altre Classi a favore di un aumento degli autoveicoli di Classe 2 le cui percorrenze complessive sono dunque percentualmente in aumento. Per la stessa ragione è in calo il contributo emissivo di PM10 totale della Classe 3b (autoveicoli diesel Euro 3 ed equivalenti).

### 4.3 Carbonio Elementare e Carbonio Organico

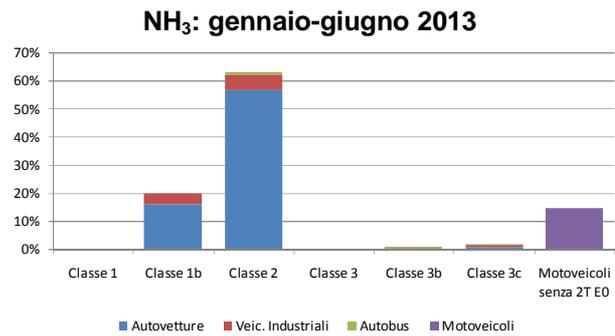
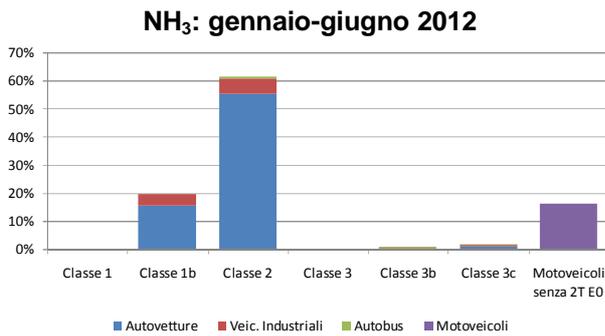


Per quanto riguarda le emissioni atmosferiche in 'Area C' della frazione carboniosa del PM10 totale, il contributo prevalente è legato ai veicoli appartenenti alle Classi 3c e 3b per quanto riguarda il Carbonio Elementare (*grafici sopra*), quindi autoveicoli diesel Euro 3 ed Euro 4 privi di sistemi di riduzione della massa di particolato, mentre per il Carbonio Organico (*grafici sotto*) le Classi più importanti sono la 2 e quella dei motoveicoli, per questi ultimi soprattutto ciclomotori e motocicli a due tempi.

Nel caso del Carbonio Elementare si nota nel 2013 una minore importanza della Classe 3b rispetto all'analogo periodo del 2012, a motivo della progressiva sostituzione degli autoveicoli diesel Euro 3 in circolazione, mentre per il Carbonio Organico si osserva una contenuta diminuzione del contributo dei motocicli, prevalentemente dovuta al loro minor numero complessivo di ingressi in 'Area C'.

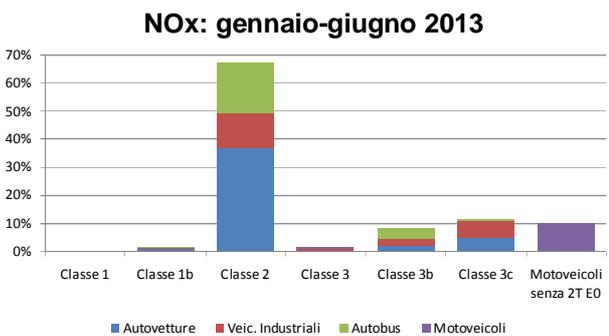
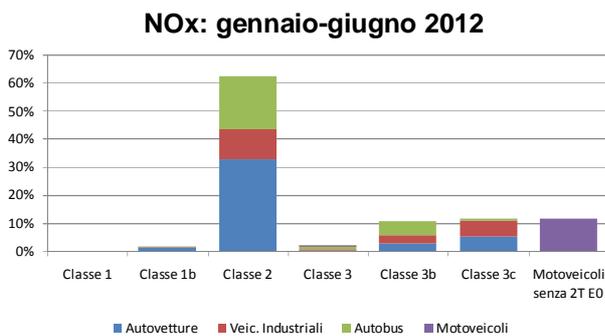


#### 4.4 Ammoniaca



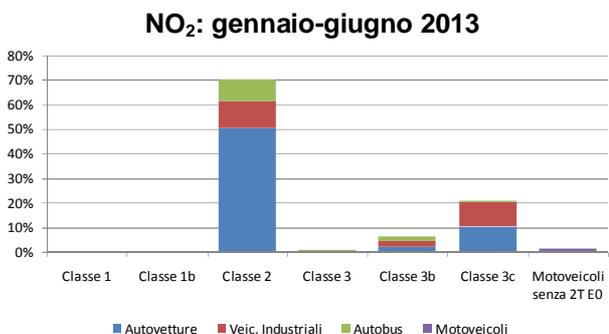
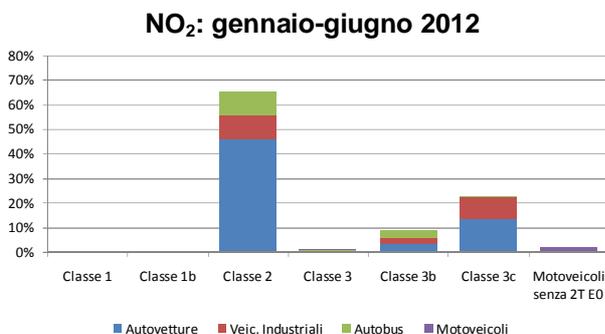
Il contributo emissivo complessivo di ammoniaca atmosferica da traffico in 'Area C' è dovuto prevalentemente alle autovetture a benzina Euro 1 ed Euro 2, appartenenti alla Classe 2. Non si rilevano sostanziali differenze con la ripartizione percentuale dell'analogo periodo del 2012.

#### 4.5 Ossidi totali d'azoto



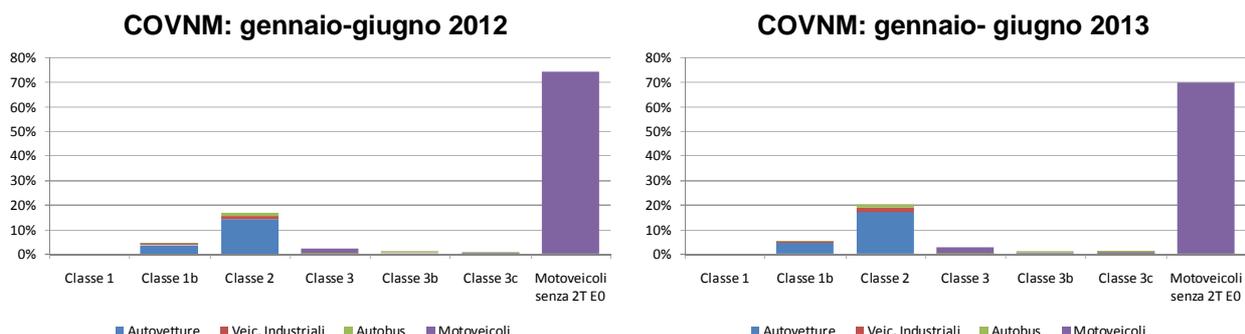
Il contributo emissivo complessivo di ossidi totali di azoto da traffico in 'Area C' è dovuto prevalentemente ai veicoli appartenenti alla Classe 2, all'interno della quale contribuiscono tutte le macrotipologie veicolari (autovetture, veicoli industriali, autobus). Rispetto al 2012 il contributo emissivo della Classe 2 è percentualmente in leggero aumento.

#### 4.6 Biossido d'azoto



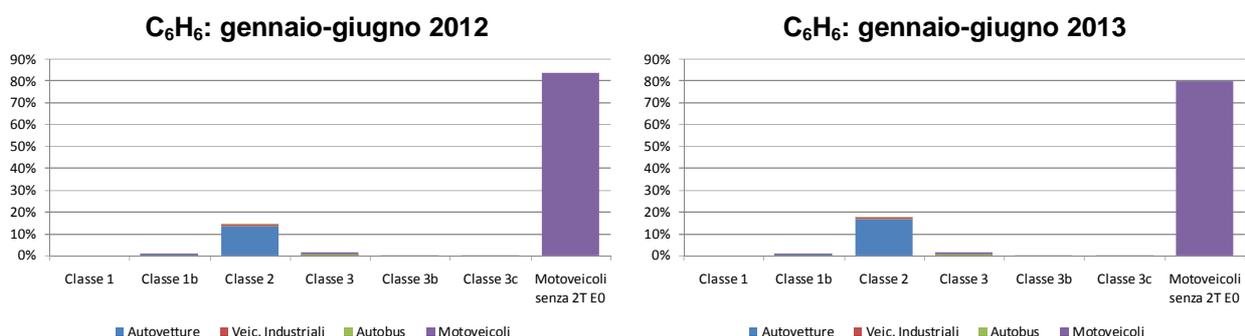
Il contributo emissivo di biossido d'azoto da traffico in 'Area C' è dovuto per la maggior parte ai veicoli appartenenti alla Classe 2, all'interno della quale contribuiscono soprattutto le autovetture e, in seconda battuta, i veicoli industriali. Il contributo principale è dovuto agli autoveicoli diesel, in particolare quelli di nuova generazione per quanto riguarda i veicoli leggeri, e per questo motivo la ripartizione percentuale del primo semestre 2013 è leggermente più sbilanciata verso la Classe 2 rispetto all'analogo periodo del 2012.

#### 4.7 Composti organici volatili non metanici e benzene

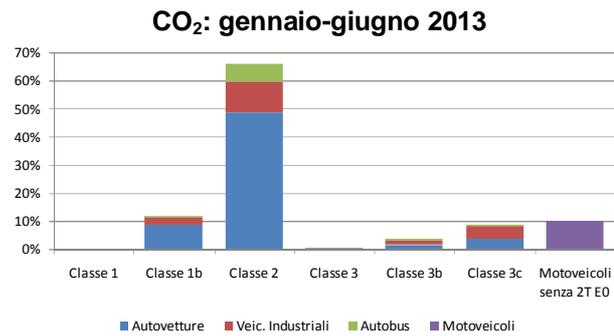
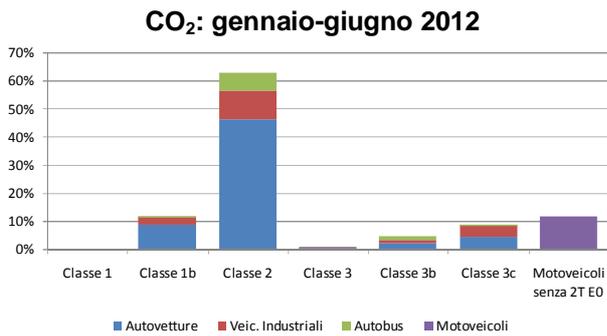


Il contributo emissivo complessivo di composti organici volatili non metanici da traffico in 'Area C' (*grafici sopra*) è dovuto prevalentemente ai motoveicoli e, in seconda battuta, agli autoveicoli appartenenti alla Classe 2, soprattutto a quelli alimentati a benzina. Non vi sono sostanziali differenze con la ripartizione percentuale dell'analogo periodo del 2012, la leggera diminuzione del contributo percentuale dei motoveicoli è prevalentemente dovuto al loro minor numero complessivo di ingressi in 'Area C'.

Analoga la situazione per quanto riguarda il benzene (*grafici sotto*), ad eccezione del fatto che è meno importante il contributo della Classe 1b in quanto i veicoli alimentati a GPL rilasciano in atmosfera meno benzene dei veicoli alimentati a benzina.

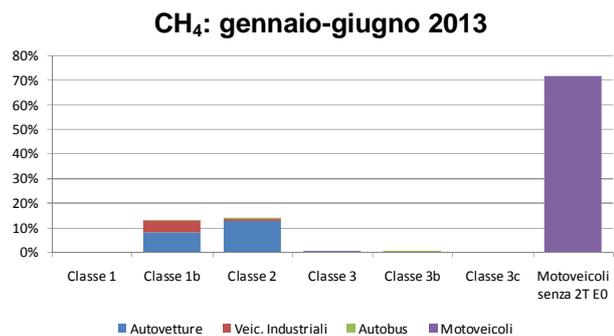
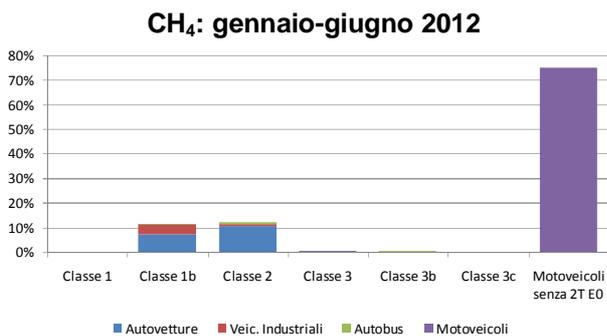


#### 4.8 Anidride carbonica

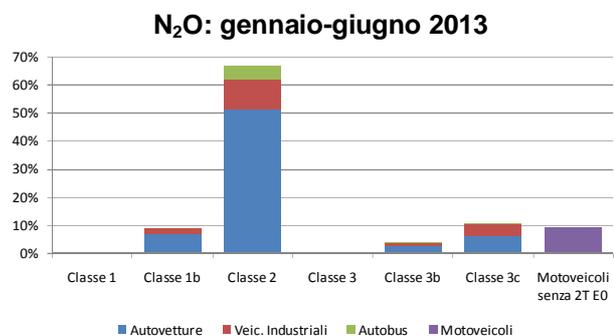
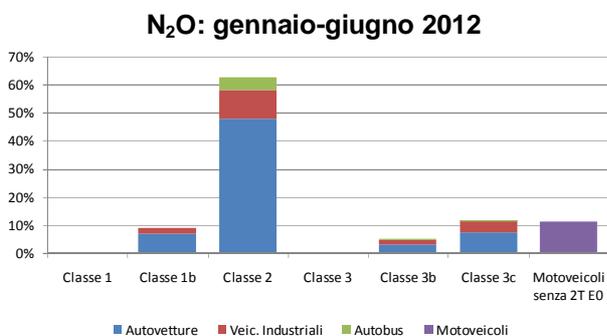


Il contributo emissivo complessivo di anidride carbonica da traffico in 'Area C' è dovuto prevalentemente ai veicoli appartenenti alla Classe 2, all'interno della quale contribuiscono soprattutto le autovetture a motivo delle maggiori percorrenze complessive rispetto alle altre tipologie veicolari. Non vi sono sostanziali differenze con la ripartizione percentuale dell'analogo periodo del 2012.

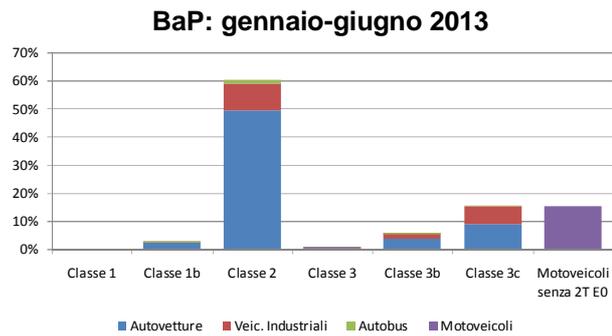
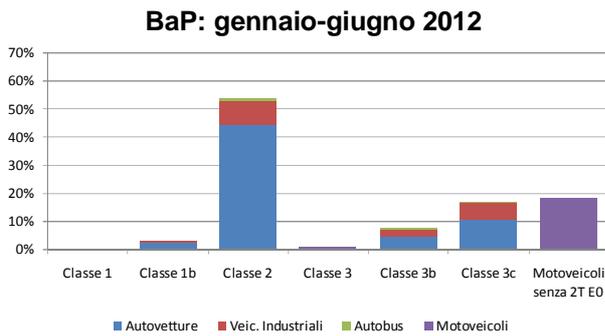
#### 4.9 Metano e protossido d'azoto



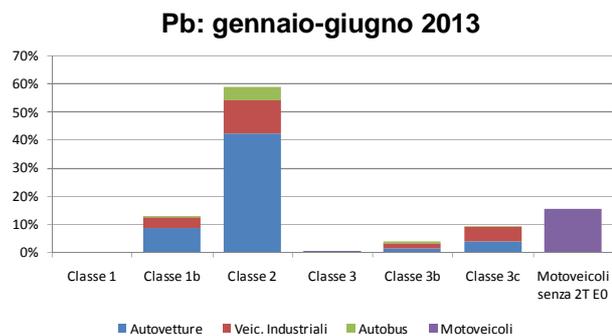
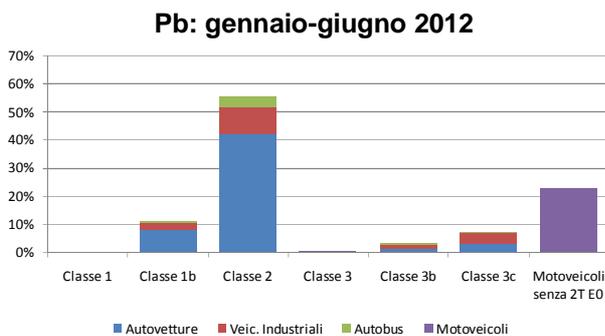
Per quanto riguarda le emissioni atmosferiche in 'Area C' degli altri due gas climalteranti qui esaminati, il contributo prevalente è dovuto ai motocicli nel caso del metano (*grafici sopra*) e ai veicoli appartenenti alla Classe 2, soprattutto autovetture, nel caso del protossido d'azoto (*grafici sotto*). Non si notano sostanziali differenze con la ripartizione percentuale dell'analogo periodo del 2012.



#### 4.10 Benzo(a)pirene e metalli



La ripartizione percentuale del contributo emissivo sia di benzo(a)pirene (*grafici sopra*) che dei metalli pesanti (*grafici sotto, ove viene riportata la situazione del piombo, ma per gli altri metalli la situazione è del tutto analoga*) vede prevalere come importanza la Classe 2 a motivo delle alte percorrenze complessive in 'Area C' dei veicoli di questa Classe. Non si notano sostanziali differenze con la ripartizione percentuale dell'analogo periodo del 2012.

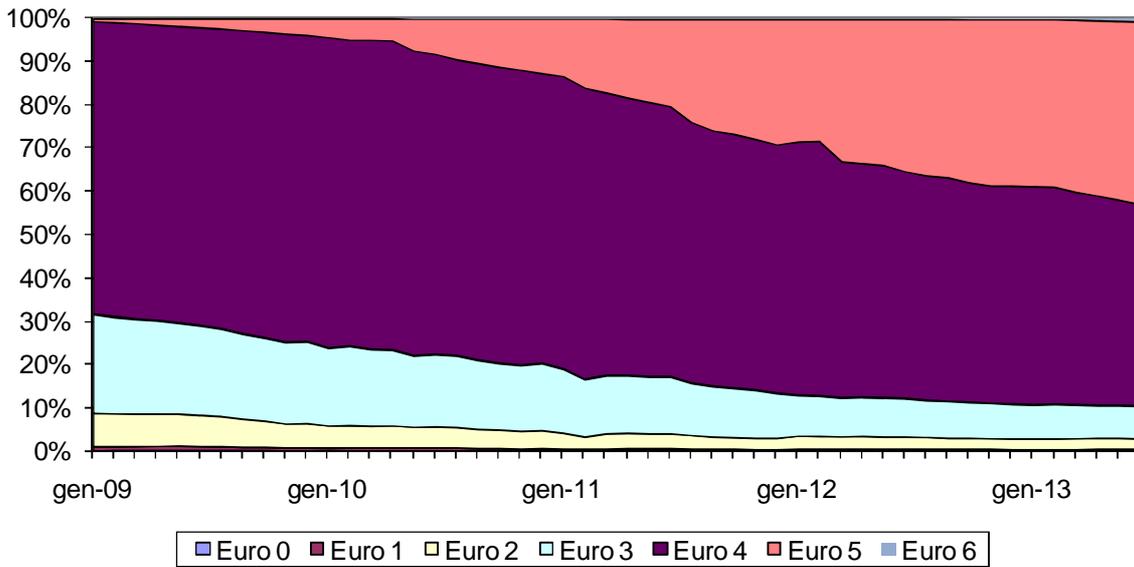


### 5. SERIE STORICA DELLA RIPARTIZIONE VEICOLARE IN 'AREA C'

I successivi capitoli saranno dedicati alle serie storiche delle emissioni atmosferiche da traffico stradale, tuttavia prima di affrontare tale aspetto sarà qui sinteticamente riportato, per completezza, l'andamento storico della ripartizione percentuale della composizione autoveicolare del traffico in ingresso alla ZTL Bastioni. Infatti, le emissioni atmosferiche dipendono sia dalle percorrenze complessive del traffico stradale nell'area considerata, sia dall'alimentazione e dalla tecnologia adottata dai veicoli.

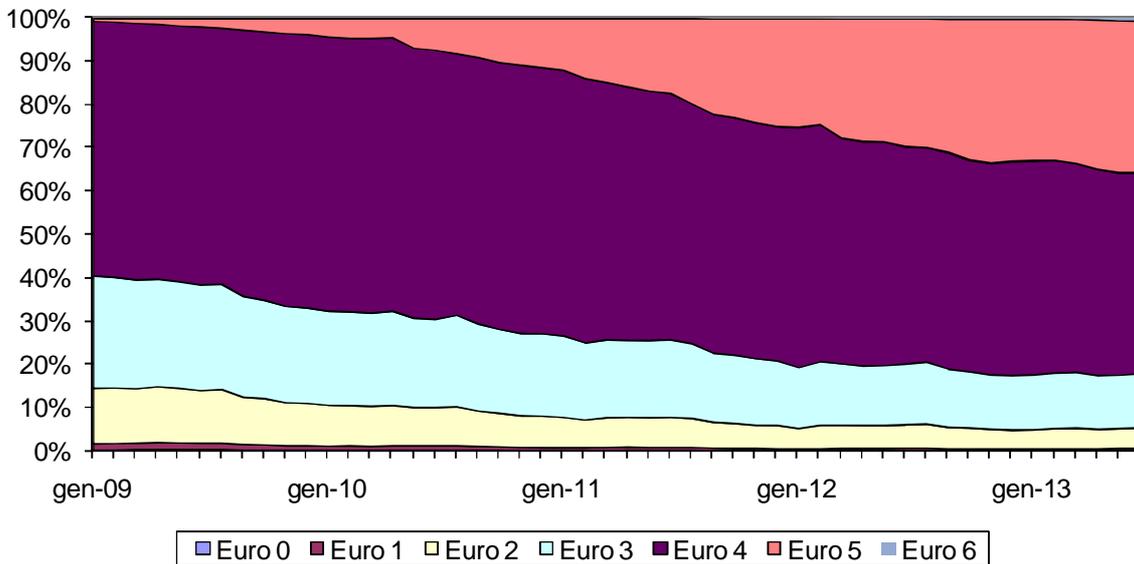
Nella sottostante figura è riportato l'andamento temporale della ripartizione percentuale degli accessi alla ZTL Bastioni, suddivisi per classe tecnologica Euro. L'andamento si riferisce alla fascia oraria diurna dei giorni feriali con provvedimenti di limitazione della circolazione vigenti. Si può vedere come gli autoveicoli Euro 5 abbiano fatto la loro prima comparsa all'inizio del 2009 e come la loro presenza sia notevolmente aumentata a partire dal 2010 fino a divenire, ben presto, la seconda classe tecnologica maggiormente diffusa dopo Euro 4. Negli ultimi mesi si cominciano a notare anche gli autoveicoli Euro 6, il cui numero di accessi è superiore sia agli Euro 0 che agli Euro 1.

### RIPARTIZIONE ACCESSI AUTOVEICOLI ZTL BASTIONI - FASCIA DIURNA



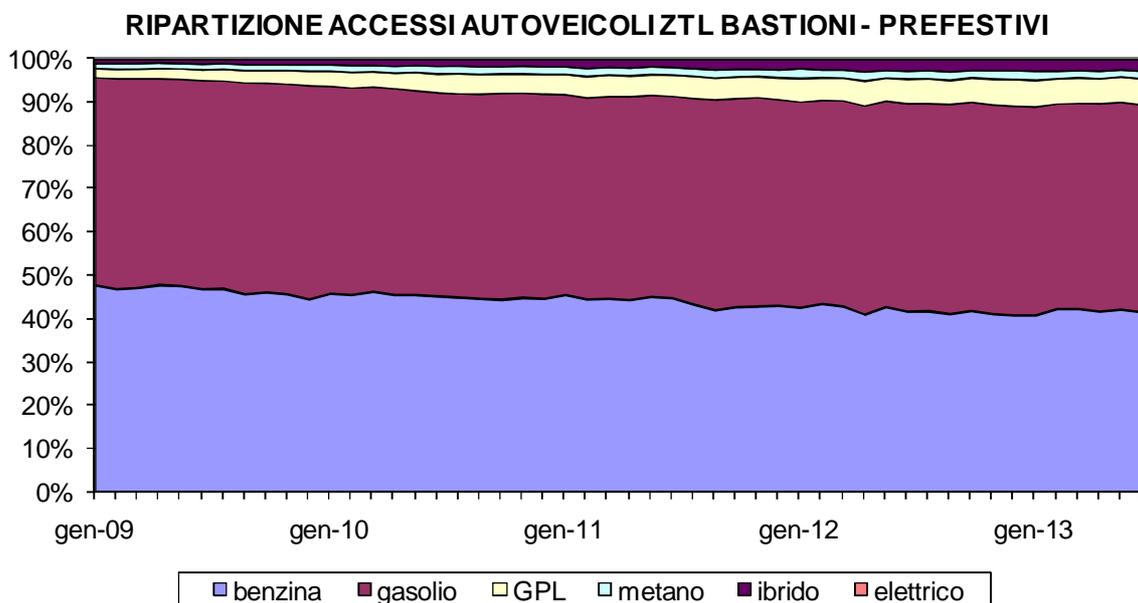
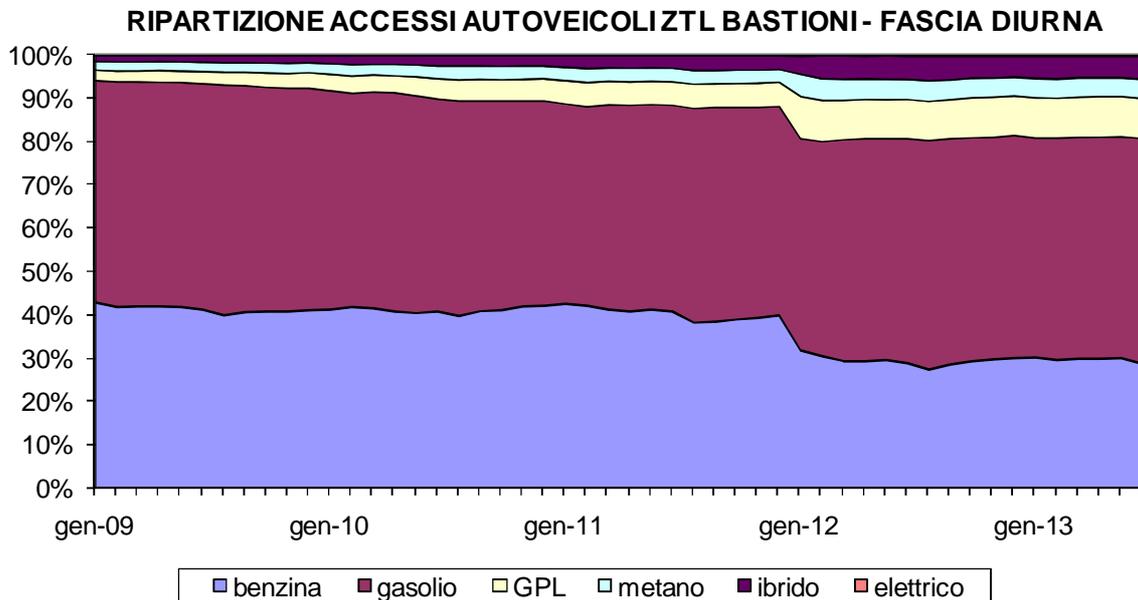
Lo stesso grafico, riferito ai giorni prefestivi invece che ai feriali, mostra come, in assenza di provvedimenti di limitazione della circolazione nella ZTL Bastioni, la percentuale di autoveicoli di classe tecnologica ante Euro 5 sia inferiore rispetto a quella rilevata nella fascia diurna dei giorni feriali.

### RIPARTIZIONE ACCESSI AUTOVEICOLI ZTL BASTIONI - PREFESTIVI



Nei due grafici sottostanti, infine, sono riportati gli andamenti temporali della ripartizione percentuale degli accessi alla ZTL Bastioni, suddivisi per alimentazione, e relativi rispettivamente alla fascia diurna dei giorni feriali e ai giorni prefestivi. Nel primo è evidente l'effetto dell'introduzione di 'Area C', che ha inciso sugli autoveicoli a benzina e

a gasolio, ma non sulle altre trazioni le quali, pertanto, hanno assunto da gennaio 2012 un peso percentuale maggiore. In ogni caso, è evidente una lenta ma continua espansione della presenza degli autoveicoli a trazione alternativa, soprattutto GPL e ibrido, che sembra tuttavia essersi stabilizzata negli ultimi mesi.



## 6. SERIE STORICA DELLE EMISSIONI

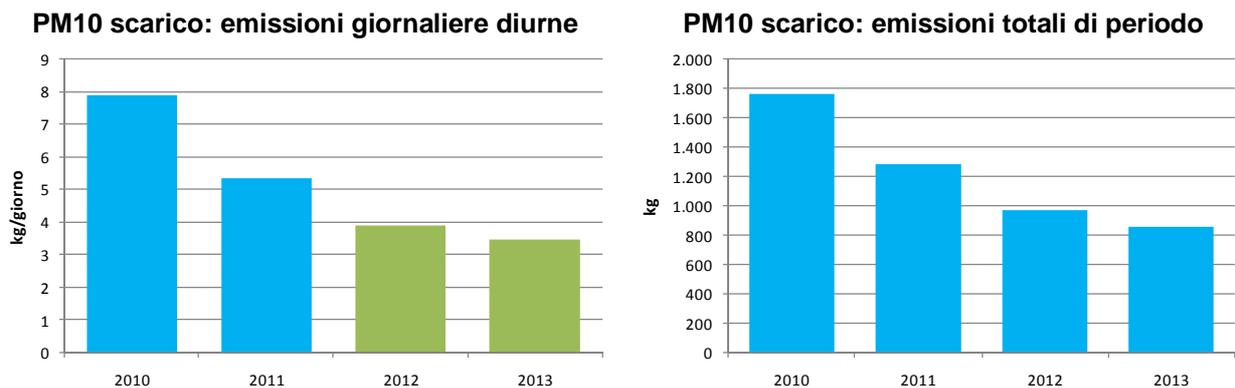
In questo capitolo sono riportati i grafici relativi all'andamento storico delle emissioni atmosferiche prodotte dal traffico stradale circolante nella ZTL Bastioni nel periodo

gennaio – giugno. I grafici si riferiscono sia alle emissioni atmosferiche medie giornaliere della sola fascia oraria di vigenza del provvedimento (fascia diurna dei giorni feriali), sia alle emissioni totali di periodo (intendendo con tale termine la totalità delle emissioni generate dal traffico stradale nella ZTL Bastioni per i mesi considerati, ivi inclusi i periodi notturni, i giorni prefestivi e festivi nonché le eventuali giornate soggette al blocco della circolazione stradale).

La serie storica è fornita a partire dal 2010, anno per il quale la stima delle emissioni mensili totali è stata stabilmente inserita nelle procedure di calcolo degli indicatori di monitoraggio della ZTL Bastioni. Le emissioni atmosferiche sono espresse in chilogrammi, tranne per l'anidride carbonica e per gli indicatori di potenziale climalterante che sono espressi in tonnellate, e per il Benzo(a)pirene ed i metalli pesanti espressi in grammi.

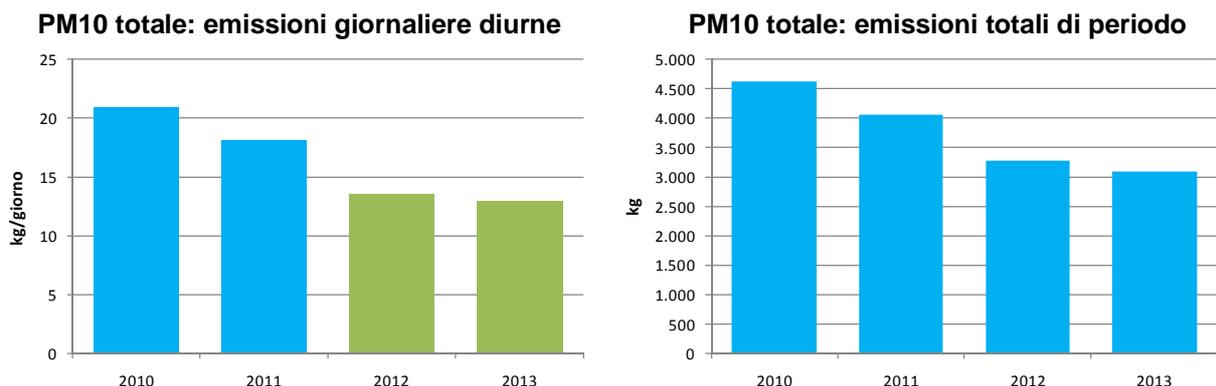
Nei grafici delle emissioni medie giornaliere diurne, i dati relativi al periodo di applicazione di 'Area C' sono riportati in colore verde.

### 6.1 *PM10 allo scarico*



Le emissioni di PM10 allo scarico stanno continuando a decrescere, sia come media giornaliera diurna sia come totale di periodo, dimezzandosi nel giro di quattro anni: rispetto al 2010, infatti, le emissioni medie giornaliere diurne di PM10 allo scarico si sono ridotte del 56% e le emissioni totali di periodo del 51%. Il progressivo ricambio del parco veicolare circolante e le politiche di limitazione della circolazione di veicoli caratterizzati da alte emissioni di particolato atmosferico fanno sì che il trend di decrescita stia continuando anche al secondo anno di adozione del provvedimento 'Area C'.

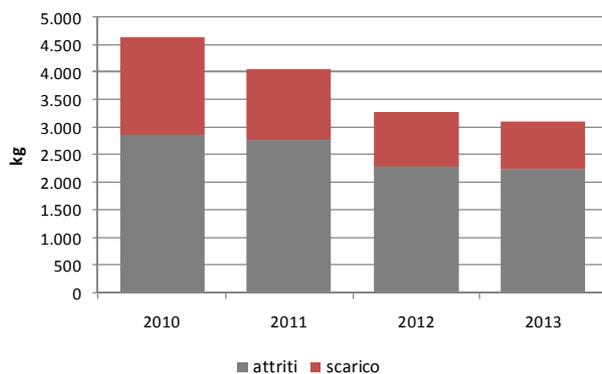
## 6.2 PM10 totale – scarico e attriti



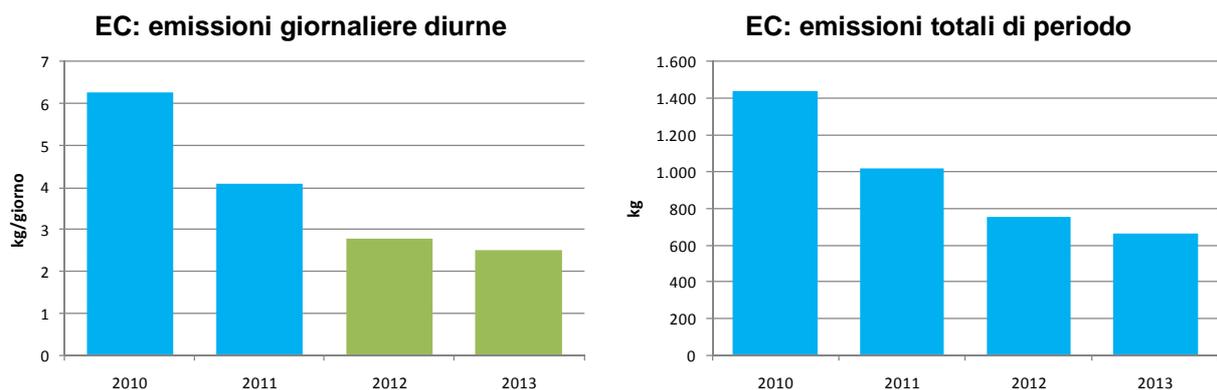
Le emissioni di PM10 totale da traffico (scarico e attriti) stanno continuando a decrescere, sia come media giornaliera diurna sia come totale di periodo: rispetto al 2010, infatti, le emissioni medie giornaliere diurne di PM10 totale si sono ridotte del 38% e le emissioni totali di periodo del 33%.

A differenza del PM10 allo scarico, il trend del PM10 totale mostra un'evidente discontinuità nel 2012, in concomitanza con l'introduzione del provvedimento 'Area C' che ha indotto una forte diminuzione del numero di autoveicoli in ingresso alla ZTL Bastioni. Poiché la maggior parte del PM10 totale da traffico è ormai dovuto ai fenomeni di attrito meccanico (si veda a tal proposito la figura sottostante), la riduzione delle percorrenze veicolari complessive in centro città a partire dal 2012 ha fatto sì che da quell'anno vi sia stata una forte riduzione delle emissioni di PM10 totale (incluso il contributo dovuto ai fenomeni di attrito meccanico, per le quali negli anni precedenti 'Area C' non erano state riscontrate variazioni significative) ed una meno marcata riduzione del 2013, quest'ultima legata esclusivamente alla diminuzione delle emissioni di particolato allo scarico.

**Ripartizione PM10 totale in scarico e attriti: emissioni totali di periodo**

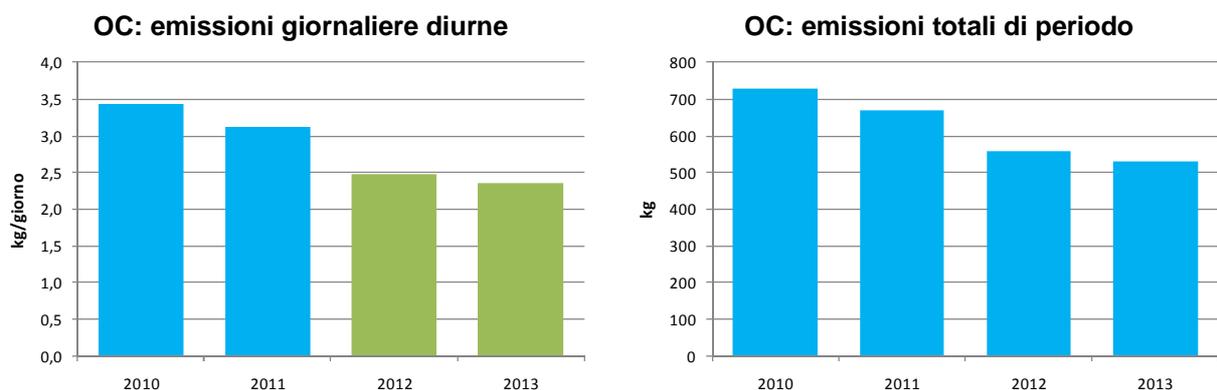


### 6.3 Carbonio Elementare – scarico e attriti



Le emissioni di Carbonio Elementare contenuto nel PM10 totale da traffico (scarico e attriti meccanici) presentano un trend di decrescita del tutto simile a quello del PM10 allo scarico, con percentuali di riduzione anche superiori. Ciò è dovuto al fatto che la maggior parte di Carbonio Elementare dovuto al traffico stradale è emesso allo scarico, soprattutto da veicoli diesel. Rispetto al 2010, le emissioni medie giornaliere diurne di EC si sono ridotte del 60% e le emissioni totali di periodo del 54%.

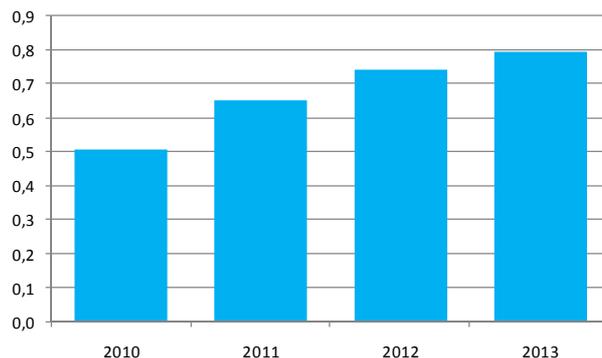
### 6.4 Carbonio Organico – scarico e attriti



Le emissioni di Carbonio Organico contenuto nel PM10 totale da traffico (scarico e attriti meccanici) presentano un trend di decrescita simile a quello del PM10 totale. Ciò è dovuto al fatto che il Carbonio Organico dovuto al traffico stradale è contenuto sia nei gas di scarico sia nel particolato dovuto ai fenomeni di attrito meccanico. Rispetto al 2010, le emissioni medie giornaliere diurne di OC si sono ridotte del 32% e le emissioni totali di periodo del 27%.

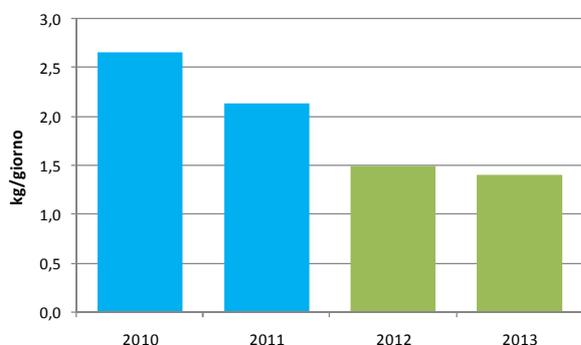
Il fatto che le emissioni di Carbonio Organico si stiano riducendo meno velocemente di quelle di Carbonio Elementare fa sì che il rapporto OC/EC primario, calcolato sulle emissioni da traffico in 'Area C' e legate allo scarico e agli attriti meccanici, stia progressivamente crescendo nel tempo (si veda figura sottostante).

### Rapporto OC/EC primario (scarico e attriti): emissioni totali di periodo

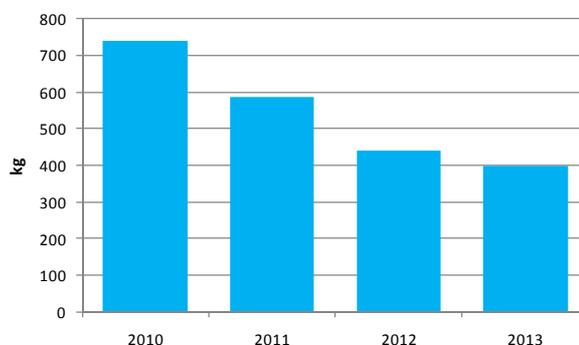


## 6.5 Ammoniaca

### NH<sub>3</sub>: emissioni giornaliere diurne

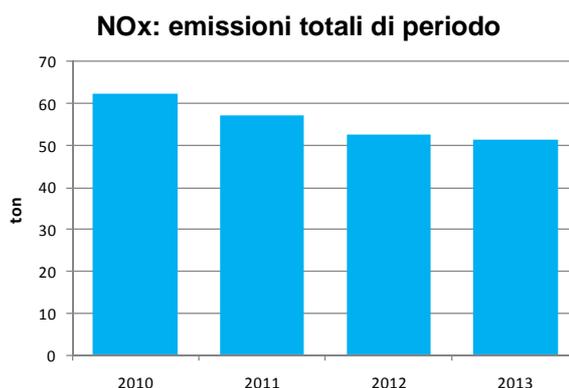
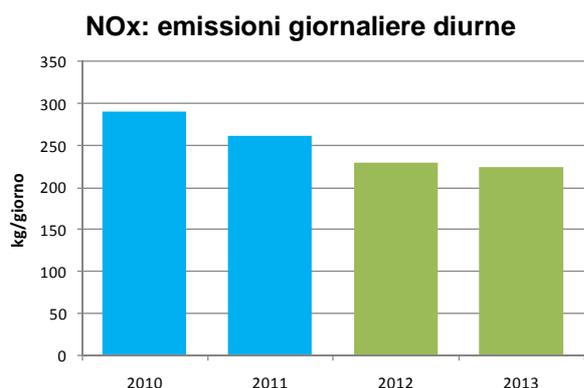


### NH<sub>3</sub>: emissioni totali di periodo



Le emissioni di ammoniaca atmosferica dovute al traffico circolante stanno continuando a decrescere, sia come media giornaliera diurna sia come totale di periodo, dimezzandosi nel giro di quattro anni: rispetto al 2010, infatti, le emissioni medie giornaliere diurne di ammoniaca si sono ridotte del 47% e le emissioni totali di periodo del 46%. Il progressivo ricambio del parco veicolare circolante e le politiche di disincentivazione dell'utilizzo nella ZTL Bastioni di veicoli caratterizzati da alte emissioni di ammoniaca fanno sì che il trend di decrescita stia continuando anche al secondo anno di adozione del provvedimento 'Area C', anche se in maniera meno marcata rispetto agli anni precedenti.

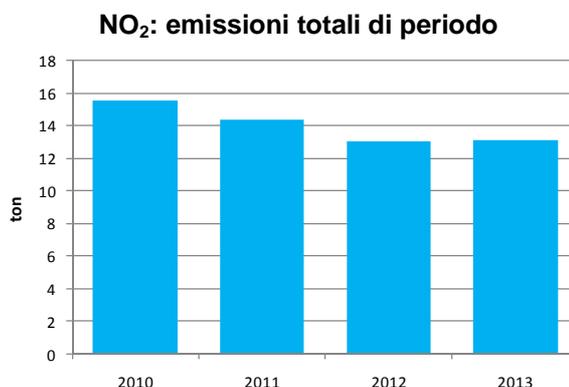
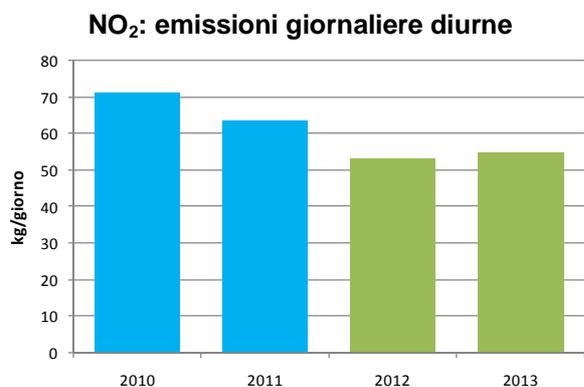
## 6.6 Ossidi totali d'azoto



Le emissioni di ossidi totali d'azoto dovute al traffico circolante in 'Area C' nel 2013 sembrano essersi stabilizzate sui livelli del 2012, con una leggera diminuzione (-2% sia sulle emissioni medie giornaliere diurne che sulle emissioni totali di periodo). Ciò è dovuto al fatto che le percorrenze veicolari complessive in 'Area C' si sono sostanzialmente stabilizzate, ma il ricambio delle flotte stradali non sta favorendo la riduzione delle emissioni di NOx. Infatti gli ossidi di azoto sono emessi da tutti i veicoli a combustione interna, ma soprattutto da quelli alimentati a gasolio anche di recente tecnologia.

Rispetto al 2010, le emissioni medie giornaliere diurne di NOx si sono ridotte del 22% e le emissioni totali di periodo del 18%.

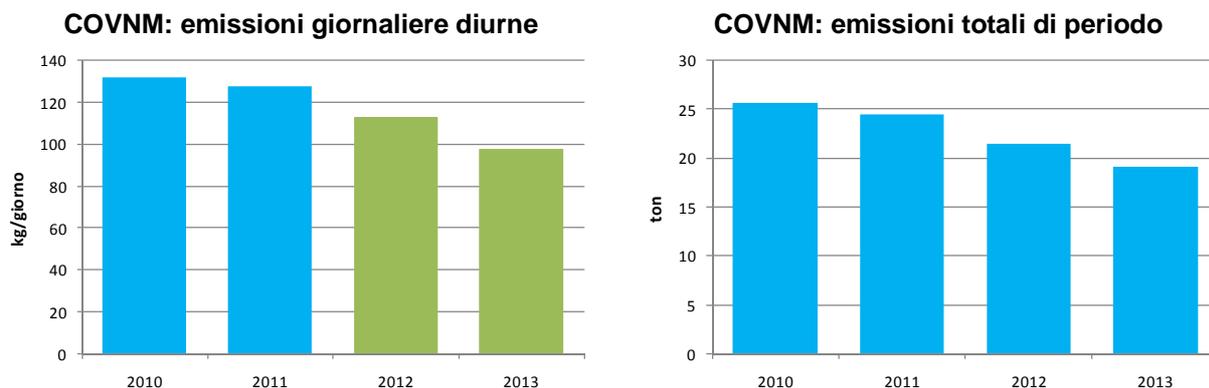
## 6.7 Biossido d'azoto



Le emissioni di biossido d'azoto dovute al traffico circolante in 'Area C' nel 2013 presentano un andamento analogo a quello degli ossidi totali di azoto, con una modesta tendenza alla crescita dal 2012 al 2013 (+3% sulle emissioni medie giornaliere diurne). Le motivazioni sono le medesime già illustrate per gli NOx, alle quali va aggiunto anche il fatto che le emissioni specifiche di NO<sub>2</sub> di autoveicoli leggeri diesel Euro 4 e Euro 5 sono (a parità di tipologia di veicolo) più alte di qualsiasi altra tecnologia e motorizzazione.

Rispetto al 2010, le emissioni medie giornaliere diurne di NO<sub>2</sub> si sono ridotte del 23% e le emissioni totali di periodo del 16%.

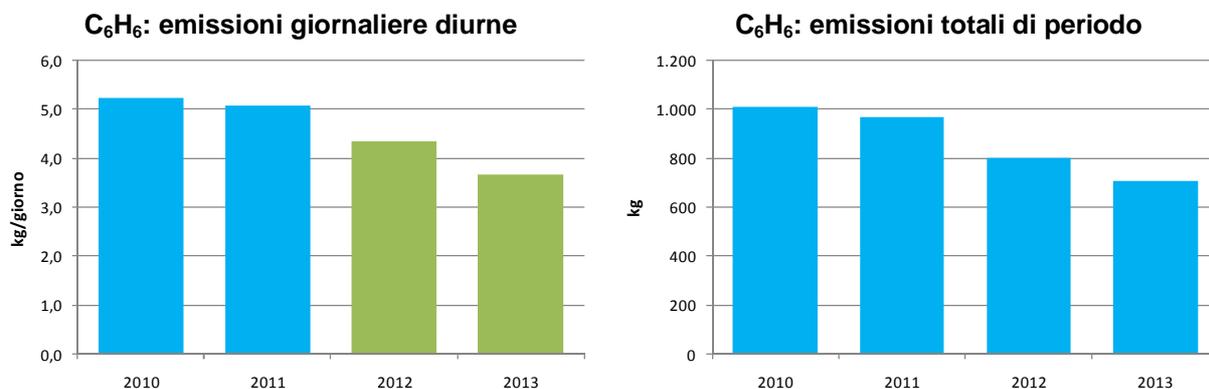
## 6.8 Composti Organici Volatili Non Metanici



Le emissioni di composti organici volatili non metanici dovute al traffico circolante in 'Area C' nel 2013 sono risultate in diminuzione rispetto al 2012 (-14% sulle emissioni medie giornaliere diurne e -11% sulle emissioni totali di periodo) legata prevalentemente alle fluttuazioni delle percorrenze dei motoveicoli e alla riduzione delle percorrenze degli autoveicoli a benzina, soprattutto quelli più vecchi, che costituiscono la seconda fonte emissiva più importante di COVNM e la cui regolamentazione ha determinato la forte riduzione delle emissioni all'introduzione di 'Area C' nel 2012.

Rispetto al 2010, le emissioni medie giornaliere diurne di COVNM si sono ridotte del 26% e le emissioni totali di periodo del 25%.

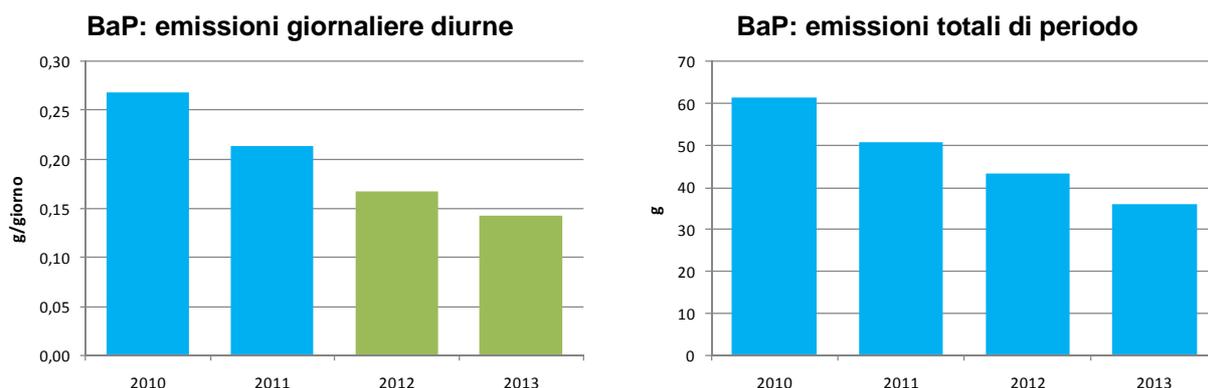
## 6.9 Benzene



Le emissioni di benzene dovute al traffico circolante in 'Area C' presentano un andamento del tutto analogo a quello dei composti organici volatili non metanici (-15% sulle emissioni medie giornaliere diurne e -12% sulle emissioni totali di periodo). Le motivazioni sono le medesime già illustrate per i COVNM.

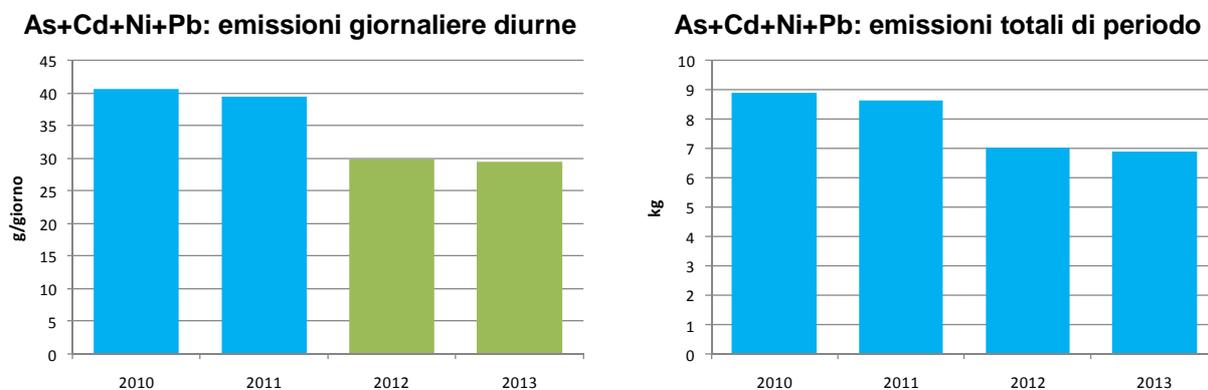
Rispetto al 2010, sia le emissioni medie giornaliere diurne che le emissioni totali di periodo di benzene si sono ridotte del 30%.

## 6.10 Benzo(a)pirene



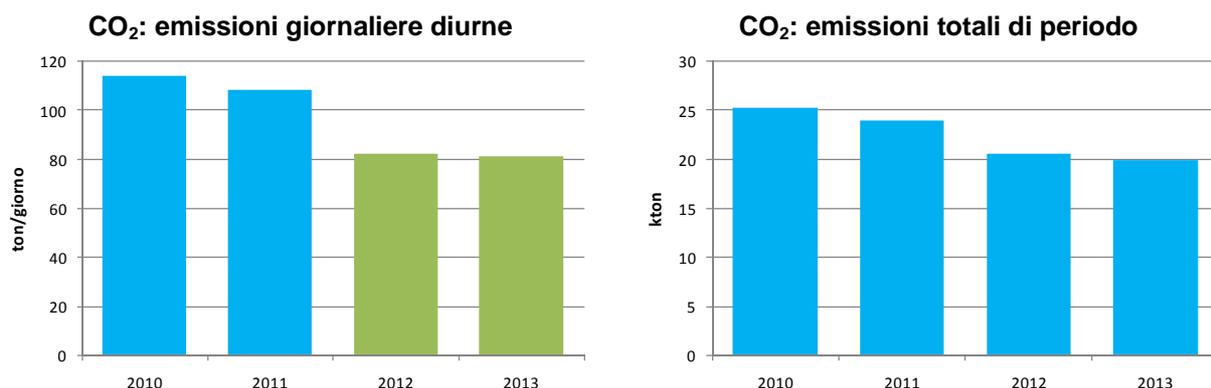
Le emissioni di benzo(a)pirene dovute al traffico circolante stanno continuando a decrescere, sia come media giornaliera diurna sia come totale di periodo, dimezzandosi nel giro di quattro anni: rispetto al 2010, infatti, le emissioni medie giornaliere diurne di benzo(a)pirene si sono ridotte del 47% e le emissioni totali di periodo del 41%. Il progressivo ricambio del parco veicolare circolante e le politiche di disincentivazione dell'utilizzo nella ZTL Bastioni di veicoli caratterizzati da alte emissioni di benzo(a)pirene (soprattutto diesel senza sistemi di riduzione della massa di particolato) fanno sì che il trend di decrescita stia continuando anche al secondo anno di adozione del provvedimento 'Area C'.

## 6.11 Metalli pesanti



Per quanto riguarda i metalli pesanti assoggettati a controllo dalla normativa vigente (Arsenico, Cadmio, Nickel, Piombo, ma per gli altri metalli la situazione è del tutto analoga), si può vedere come le relative emissioni siano sostanzialmente costanti nel tempo ad eccezione del passaggio dal 2011 al 2012. Ciò è dovuto al fatto che le emissioni di metalli pesanti sono ormai quasi esclusivamente dovute ai fenomeni di attrito, e una loro significativa diminuzione (-28% sulle emissioni medie giornaliere diurne e -22% sulle emissioni totali di periodo rispetto al 2010) si è avuta solo a seguito dell'introduzione di 'Area C'.

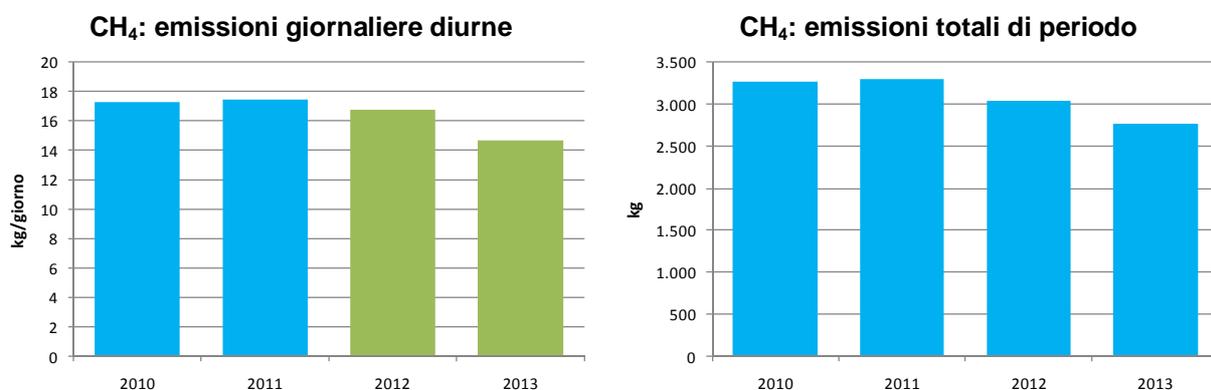
## 6.12 Anidride carbonica



Le emissioni di anidride carbonica dovute al traffico circolante in 'Area C' nel 2013 appaiono abbastanza simili a quelle del 2012, con una diminuzione (-3%) sulle emissioni totali di periodo. La riduzione delle emissioni totali di periodo è legata alla maggiore presenza di veicoli a tecnologia più recente che, in generale, presentano emissioni unitarie di anidride carbonica inferiori rispetto a quelle di veicoli più datati.

Rispetto al 2010, le emissioni medie giornaliere diurne di CO<sub>2</sub> si sono ridotte del 29% e le emissioni totali di periodo del 21%.

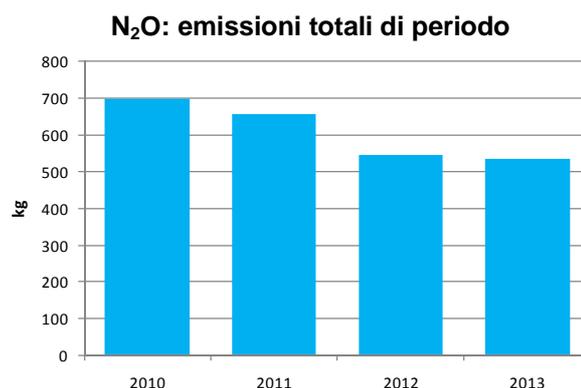
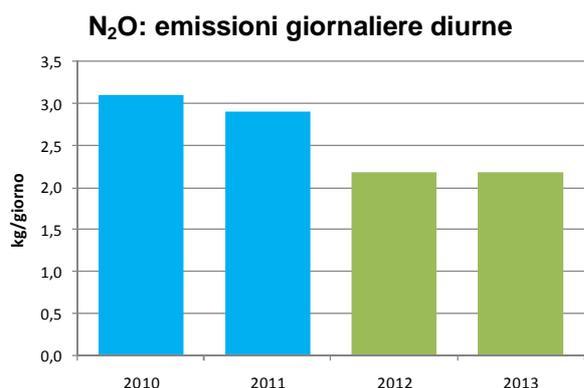
## 6.13 Metano



Le emissioni di metano dovute al traffico circolante in 'Area C' nel 2013 appaiono in leggera diminuzione rispetto a quelle del 2012. L'aumento delle emissioni di metano nel 2011 è legato ad un incremento dell'utilizzo di autoveicoli (soprattutto commerciali) alimentati a metano. L'introduzione, nel 2012, del provvedimento 'Area C' ha compensato il fenomeno grazie alla riduzione complessiva delle percorrenze delle altre tipologie veicolari che, pur presentando emissioni unitarie di CH<sub>4</sub> inferiori rispetto a quelle dei veicoli alimentati a metano, rappresentano complessivamente un maggiore contributo emissivo.

Rispetto al 2010, sia le emissioni medie giornaliere diurne che le emissioni totali di periodo di metano si sono ridotte del 15%.

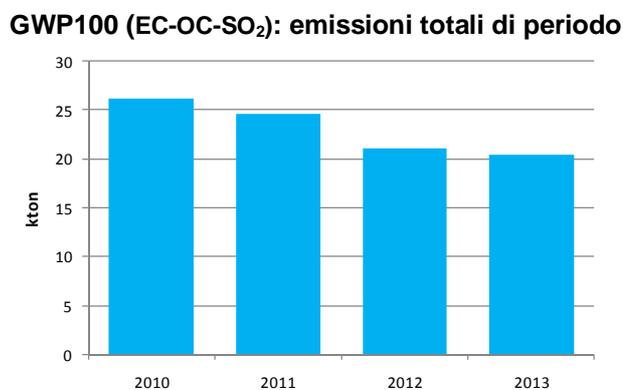
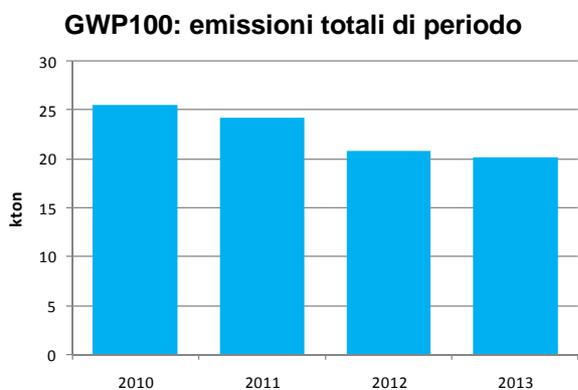
## 6.14 Protossido d'azoto



Le emissioni di protossido d'azoto dovute al traffico circolante in 'Area C' nel 2013 sono simili a quelle del 2012, con una leggera diminuzione (-2%) sulle emissioni totali di periodo. Le motivazioni sono del tutto analoghe a quelle già illustrate per l'anidride carbonica, alle quali va aggiunto anche il fatto che le emissioni specifiche di N<sub>2</sub>O di autoveicoli diesel di recente tecnologia sono più alte degli analoghi veicoli diesel più datati.

Rispetto al 2010, le emissioni medie giornaliere diurne di protossido d'azoto si sono ridotte del 29% e le emissioni totali di periodo del 23%.

## 6.15 Potenziale climalterante



L'indice relativo al potenziale climalterante complessivo (GWP, *Global Warming Potential*) esprime il contributo all'effetto serra delle emissioni atmosferiche degli inquinanti qui esaminati. Per ciascun inquinante è definito un potenziale climalterante in relazione alla molecola di anidride carbonica, che pertanto per definizione ha un potenziale pari a 1. L'indice è qui espresso in tonnellate di CO<sub>2eq</sub>.

Facendo riferimento al 4<sup>th</sup> Assessment Report dell'IPCC (*International Panel on Climate Change*), il potenziale climalterante a 100 anni (GWP100) relativo a metano e protossido d'azoto, due gas tipicamente considerati nelle valutazioni di questo tipo, è pari rispettivamente a 25 e 298. Calcolando dunque il trend relativo al potenziale climalterante complessivo delle emissioni atmosferiche dovute al traffico veicolare circolante in 'Area C', si può notare (*figura sopra, a sinistra*) che l'andamento è del tutto

simile a quello dell'anidride carbonica, con percentuali di variazione identiche al caso della CO<sub>2</sub>: rispetto al 2010, riduzione del 21% sulle emissioni totali equivalenti di periodo.

Inoltre, è ben noto nel mondo scientifico che anche la frazione carboniosa del particolato ha degli effetti dal punto di vista dei cambiamenti climatici. L'IPCC non ha ancora fornito esplicitamente un valore di riferimento di GWP per la frazione carboniosa del particolato, tuttavia alcuni autori (si veda per esempio la pubblicazione del 2010 dell'International Council on Clean Transportation sulle strategie controllo delle emissioni di *Black Carbon*) utilizzando le informazioni presenti nel 4<sup>th</sup> Assessment Report dell'IPCC e, in particolare, gli stessi modelli dell'IPCC (Forester et al., 2007), stimano un GWP100 pari a 460 per il *Black Carbon*, a -69 per il Carbonio Organico e a -40 per gli Ossidi di Zolfo. Questi valori sono cautelativi, in quanto tengono conto solo degli effetti diretti della frazione carboniosa e non includono gli effetti indiretti né la variazione dell'albedo delle superfici innevate, tuttavia rappresentano dei primi riferimenti congruenti con i GWP forniti per gli altri gas climalteranti sopra esaminati.

Sulla base di queste ipotesi, l'indice relativo al potenziale climalterante complessivo a 100 anni delle emissioni atmosferiche dovute al traffico veicolare circolante in 'Area C', tenendo conto anche di Carbonio Elementare, Carbonio Organico e Biossido di Zolfo (*figura sopra, a destra*), presenta comunque un andamento del tutto simile a quello dell'anidride carbonica, con una riduzione delle emissioni totali equivalenti di periodo leggermente più accentuata della sola CO<sub>2</sub>: -22% dal 2010 al 2013.

## 7. RIEPILOGO EMISSIONI MENSILI DA TRAFFICO IN AREA C

Nelle seguenti tabelle sono riportate, per i principali inquinanti sopra esaminati, la serie storica delle emissioni atmosferiche mensili totali da traffico stradale in 'Area C'. Si ribadisce che per "emissioni mensili totali" si intende la totalità delle emissioni generate dal traffico stradale in 'Area C' per il mese considerato, ivi inclusi i periodi notturni, i giorni prefestivi e festivi nonché le giornate soggette al blocco della circolazione stradale.

La serie storica è fornita a partire dal 2010, anno per il quale la stima delle emissioni mensili totali è stato stabilmente inserito nelle procedure di calcolo degli indicatori di monitoraggio della ZTL Bastioni.

<b>PM10 allo scarico (kg)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Gennaio</b>	326	254	179	157
<b>Febbraio</b>	322	211	178	149
<b>Marzo</b>	337	238	174	160
<b>Aprile</b>	293	206	148	130
<b>Maggio</b>	271	203	167	145
<b>Giugno</b>	221	172	129	117
<b>TOTALE</b>	<b>1.769</b>	<b>1.283</b>	<b>977</b>	<b>858</b>

<b>PM10 totale (kg)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Gennaio</b>	765	705	552	528
<b>Febbraio</b>	790	658	534	497
<b>Marzo</b>	847	728	592	555
<b>Aprile</b>	769	672	504	486
<b>Maggio</b>	775	694	595	560
<b>Giugno</b>	689	612	497	485
<b>TOTALE</b>	<b>4.635</b>	<b>4.068</b>	<b>3.274</b>	<b>3.110</b>

<b>Carbonio Elementare nel PM10 totale (kg)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Gennaio</b>	272	209	144	125
<b>Febbraio</b>	268	172	145	119
<b>Marzo</b>	276	193	133	127
<b>Aprile</b>	235	160	117	101
<b>Maggio</b>	218	156	124	111
<b>Giugno</b>	173	136	94	86
<b>TOTALE</b>	<b>1.440</b>	<b>1.026</b>	<b>757</b>	<b>670</b>

<b>Carbonio Organico nel PM10 totale (kg)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Gennaio</b>	114	110	90	88
<b>Febbraio</b>	120	105	85	82
<b>Marzo</b>	132	117	103	93
<b>Aprile</b>	124	115	84	84
<b>Maggio</b>	126	120	107	98
<b>Giugno</b>	117	104	91	88
<b>TOTALE</b>	<b>732</b>	<b>671</b>	<b>561</b>	<b>532</b>

<b>Ammoniaca (kg)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Gennaio</b>	122	105	76	68
<b>Febbraio</b>	126	85	71	62
<b>Marzo</b>	131	102	79	71
<b>Aprile</b>	120	97	68	63
<b>Maggio</b>	125	104	79	73
<b>Giugno</b>	116	93	69	64
<b>TOTALE</b>	<b>741</b>	<b>587</b>	<b>442</b>	<b>401</b>

<b>Ossidi totali di azoto (kg)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Gennaio</b>	9.513	9.149	8.448	8.410
<b>Febbraio</b>	10.286	9.334	8.269	8.080
<b>Marzo</b>	11.209	10.072	9.631	9.157
<b>Aprile</b>	10.514	9.621	8.367	8.078
<b>Maggio</b>	10.971	10.026	9.751	9.442
<b>Giugno</b>	9.835	8.988	8.187	8.226
<b>TOTALE</b>	<b>62.328</b>	<b>57.190</b>	<b>52.653</b>	<b>51.392</b>

<b>Biossido d'azoto (kg)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Gennaio</b>	2.509	2.358	2.141	2.219
<b>Febbraio</b>	2.618	2.377	2.145	2.128
<b>Marzo</b>	2.833	2.596	2.367	2.376
<b>Aprile</b>	2.579	2.369	2.105	2.053
<b>Maggio</b>	2.681	2.451	2.341	2.355
<b>Giugno</b>	2.326	2.230	1.954	2.005
<b>TOTALE</b>	<b>15.547</b>	<b>14.380</b>	<b>13.054</b>	<b>13.136</b>

<b>Composti organici volatili non metanici (kg)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Gennaio</b>	3.739	3.944	3.167	2.989
<b>Febbraio</b>	3.893	3.643	2.720	2.709
<b>Marzo</b>	4.511	4.060	4.139	3.088
<b>Aprile</b>	4.518	4.498	2.792	2.959
<b>Maggio</b>	4.550	4.757	4.616	3.773
<b>Giugno</b>	4.534	3.682	4.061	3.680
<b>TOTALE</b>	<b>25.745</b>	<b>24.584</b>	<b>21.496</b>	<b>19.199</b>

<b>Benzene (kg)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Gennaio</b>	147	156	116	108
<b>Febbraio</b>	152	143	98	99
<b>Marzo</b>	178	159	154	111
<b>Aprile</b>	179	179	104	112
<b>Maggio</b>	179	187	179	143
<b>Giugno</b>	178	143	156	140
<b>TOTALE</b>	<b>1.013</b>	<b>968</b>	<b>806</b>	<b>712</b>

<b>Benzo(a)pirene (g)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Gennaio</b>	9,8	8,6	8,5	6,0
<b>Febbraio</b>	10,2	7,9	8,1	5,5
<b>Marzo</b>	11,0	8,9	7,2	6,3
<b>Aprile</b>	10,3	8,6	6,0	5,7
<b>Maggio</b>	10,6	9,0	7,4	6,6
<b>Giugno</b>	9,6	7,9	6,3	6,0
<b>TOTALE</b>	<b>61,6</b>	<b>51,0</b>	<b>43,6</b>	<b>36,2</b>

<b>Metalli pesanti As+Cd+Ni+Pb (kg)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Gennaio</b>	1,36	1,40	1,15	1,14
<b>Febbraio</b>	1,45	1,38	1,09	1,07
<b>Marzo</b>	1,58	1,52	1,28	1,21
<b>Aprile</b>	1,48	1,45	1,09	1,09
<b>Maggio</b>	1,57	1,52	1,32	1,27
<b>Giugno</b>	1,46	1,37	1,13	1,13
<b>TOTALE</b>	<b>8,90</b>	<b>8,63</b>	<b>7,06</b>	<b>6,91</b>

<b>Anidride carbonica (ton)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Gennaio</b>	3.963	3.976	3.490	3.360
<b>Febbraio</b>	4.186	3.863	3.314	3.154
<b>Marzo</b>	4.504	4.238	3.711	3.553
<b>Aprile</b>	4.115	3.913	3.202	3.126
<b>Maggio</b>	4.449	4.202	3.727	3.640
<b>Giugno</b>	4.064	3.816	3.173	3.162
<b>TOTALE</b>	<b>25.281</b>	<b>24.007</b>	<b>20.616</b>	<b>19.996</b>

<b>Metano (kg)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Gennaio</b>	445	514	436	424
<b>Febbraio</b>	482	495	371	380
<b>Marzo</b>	561	534	594	440
<b>Aprile</b>	593	611	407	441
<b>Maggio</b>	590	638	660	548
<b>Giugno</b>	602	506	576	538
<b>TOTALE</b>	<b>3.274</b>	<b>3.296</b>	<b>3.045</b>	<b>2.771</b>

<b>Protossido d'azoto (kg)</b>				
	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Gennaio</b>	110	108	90	89
<b>Febbraio</b>	116	107	86	84
<b>Marzo</b>	125	117	100	95
<b>Aprile</b>	115	110	86	85
<b>Maggio</b>	123	114	101	99
<b>Giugno</b>	110	102	85	84
<b>TOTALE</b>	<b>700</b>	<b>658</b>	<b>548</b>	<b>537</b>

## 8. EMISSIONI DA TRAFFICO IN 'AREA C' E IN MILANO

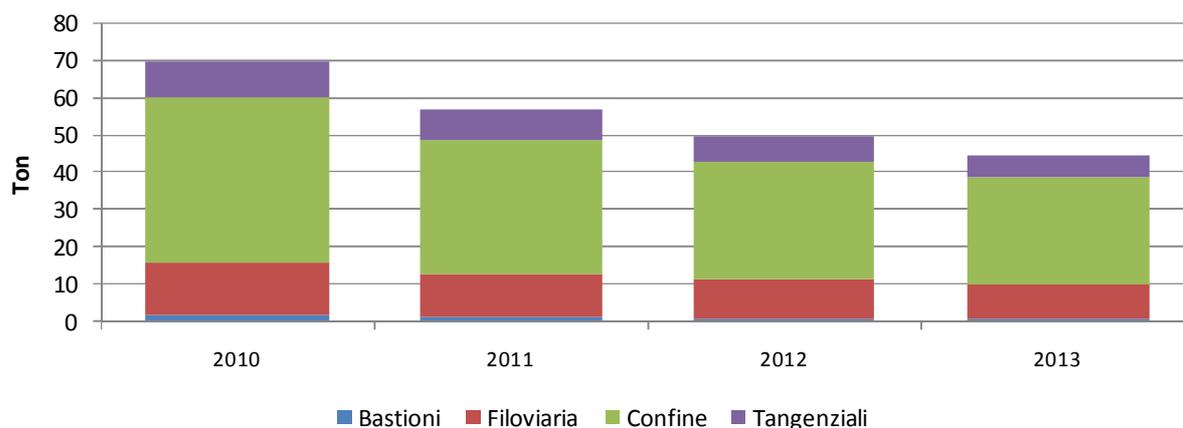
In questo capitolo vengono riportati i grafici relativi all'andamento storico delle emissioni atmosferiche prodotte dal traffico stradale circolante sull'intera città di Milano nel periodo gennaio – giugno. I grafici riportano le emissioni suddivise per le seguenti aree: 1) entro la cerchia dei Bastioni; 2) tra i Bastioni e la cerchia filoviaria; 3) tra la cerchia filoviaria e il confine comunale; 4) sui tratti urbani delle tangenziali. I dati riportati si riferiscono alle emissioni totali di periodo, intendendo con tale termine la totalità delle emissioni generate dal traffico stradale per i mesi considerati, ivi inclusi i periodi notturni, i giorni prefestivi e festivi nonché le eventuali giornate soggette al blocco della circolazione stradale.

Le emissioni da traffico sulla città sono state stimate a partire dai dati prodotti nell'ambito del PGU 2012 (Piano Generale del Traffico Urbano) del Comune di Milano, aggiornati sulla base dei conteggi di traffico prodotti dai sistemi di rilevamento

in Milano e, per quanto riguarda le tangenziali, degli indicatori pubblicati da AISCAT (Associazione Italiana Società Concessionarie Autostrade e Trafori).

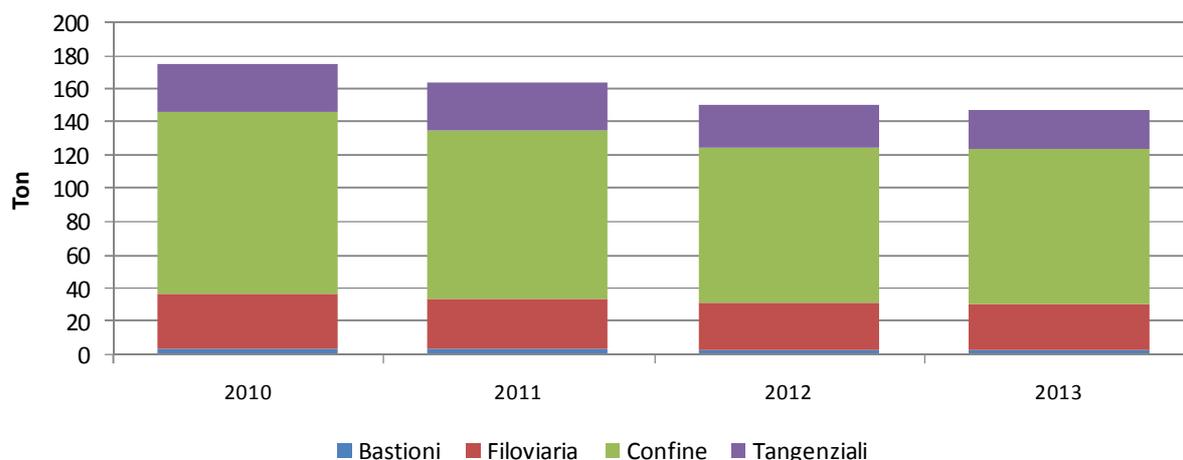
Analogamente a quanto riportato nei precedenti capitoli, la serie storica è fornita a partire dal 2010. Le emissioni atmosferiche sono espresse in tonnellate, tranne per l'anidride carbonica e per gli indicatori di potenziale climalterante che sono espressi in chilotonnellate, per il benzo(a)pirene espresso in grammi e per i metalli pesanti espressi in chilogrammi.

### 8.1 PM10 allo scarico



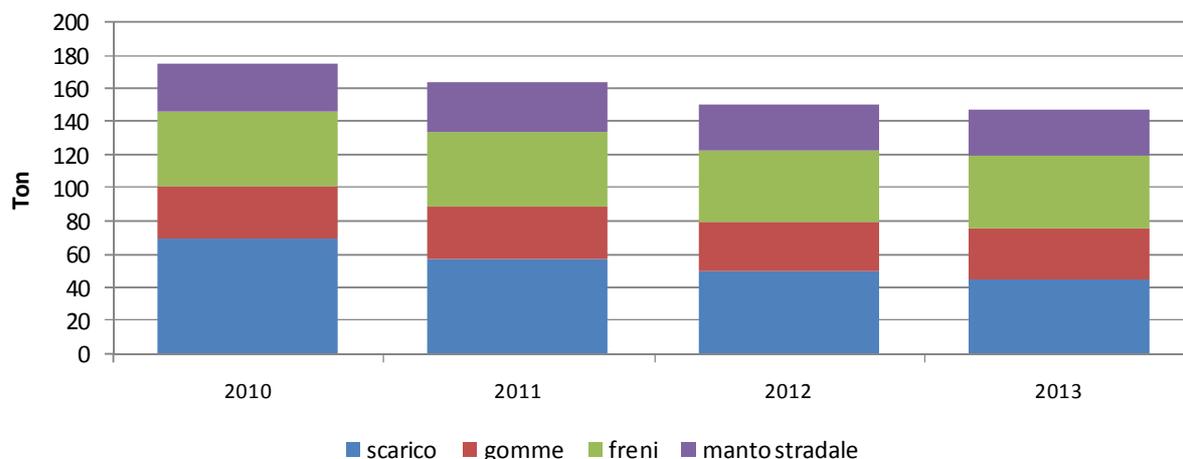
Le emissioni di PM10 allo scarico dovuto al traffico stradale circolante a Milano sono drasticamente diminuite. Dal 2010 al 2013 esse si sono ridotte del 36% grazie soprattutto ai provvedimenti di disincentivazione dell'utilizzo dei veicoli caratterizzati dalle maggiori emissioni specifiche di particolato atmosferico allo scarico nonché al progressivo ricambio del parco veicolare circolante: infatti, sull'analogo periodo temporale il fattore di emissione medio di PM10 allo scarico a Milano si è ridotto del 34%. Rispetto alla totalità delle emissioni di PM10 allo scarico, il contributo dei veicoli circolanti nella ZTL Bastioni è pari al 2% circa, leggermente inferiore alla percentuale di percorrenze veicolari complessive a motivo dei provvedimenti di limitazione della circolazione dei veicoli maggiormente inquinanti.

## 8.2 PM10 totale – scarico e attriti

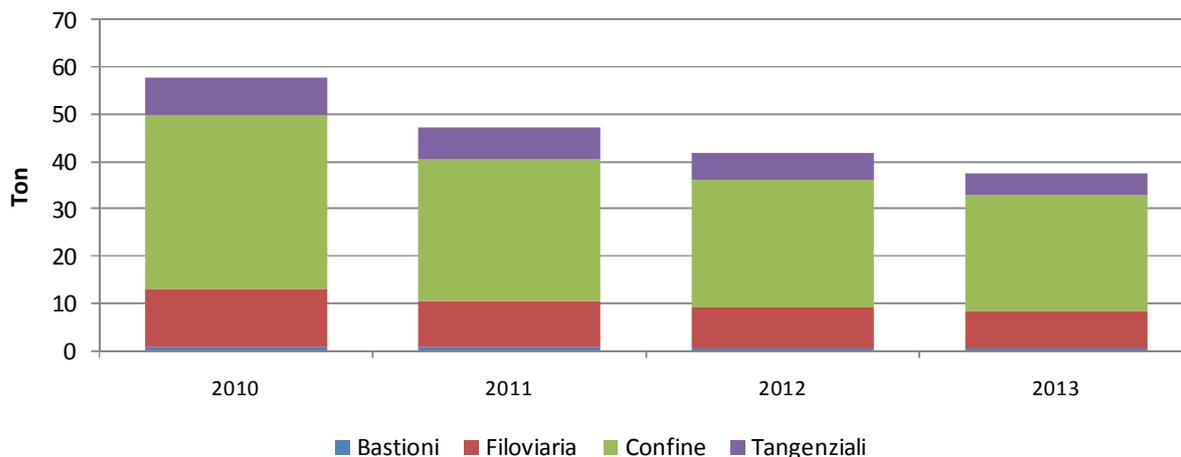


Le emissioni di PM10 totale (scarico + attriti) dovuto al traffico stradale circolante a Milano sono diminuite in maniera importante, anche se meno consistente rispetto al PM10 allo scarico: infatti, dal 2010 al 2013 esse si sono ridotte del 16%, grazie soprattutto ai provvedimenti di disincentivazione dell'utilizzo dei veicoli caratterizzati dalle maggiori emissioni specifiche di particolato atmosferico allo scarico nonché al progressivo ricambio del parco veicolare circolante e alla riduzione delle percorrenze complessive in città. Rispetto alla totalità delle emissioni di PM10 totale da traffico, il contributo dei veicoli circolanti nella ZTL Bastioni è pari al 2% circa.

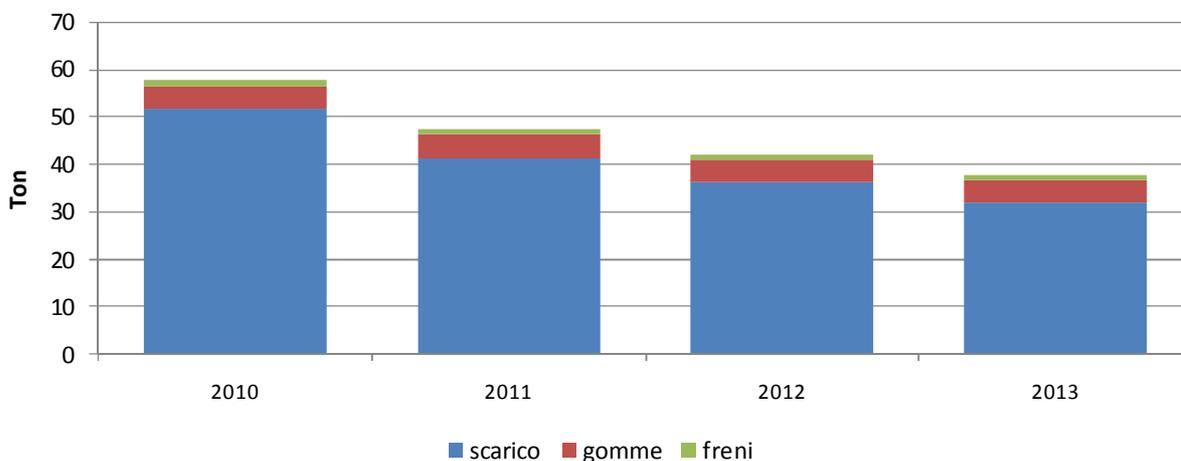
Il trend del PM10 totale evidenzia una diminuzione meno marcata rispetto al PM10 allo scarico in quanto quest'ultimo è stato ridotto anche grazie alla diffusione di tecnologie di abbattimento della massa di particolato allo scarico sui veicoli diesel, mentre il particolato atmosferico generato dagli attriti meccanici dipende quasi esclusivamente dalle percorrenze complessive dei veicoli. Ad oggi la maggior parte del PM10 totale da traffico è ormai dovuto ai fenomeni di attrito meccanico, in particolare all'usura dei sistemi frenanti (si veda la figura sottostante).



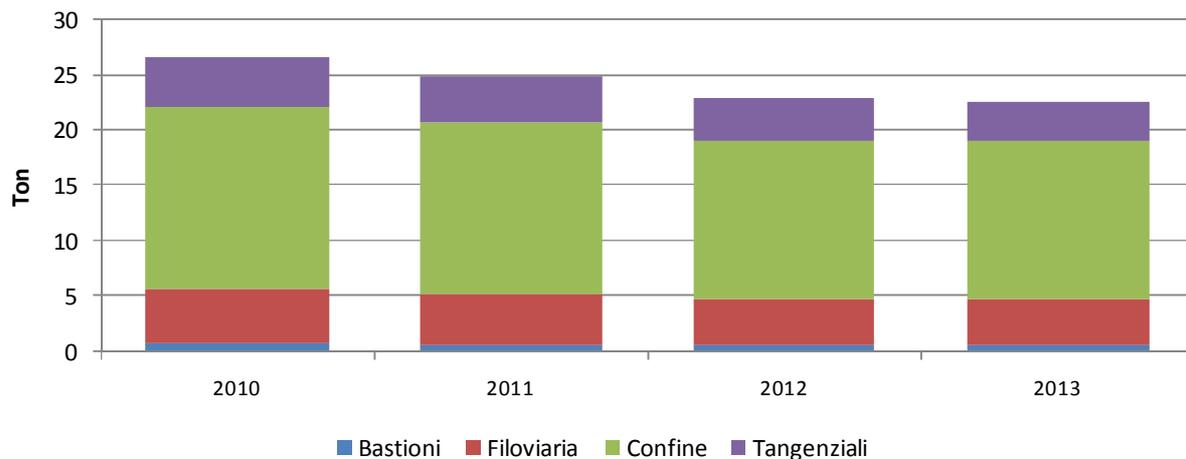
### 8.3 Carbonio Elementare – scarico e attriti



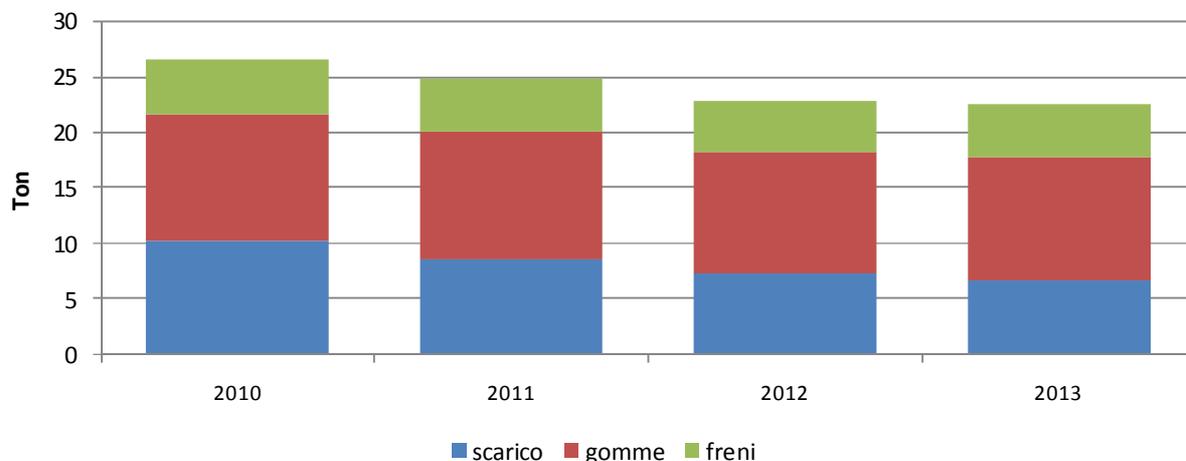
Le emissioni di Carbonio Elementare contenuto nel PM10 totale da traffico (scarico e attriti meccanici) presentano un trend di decrescita del tutto simile a quello del PM10 allo scarico: dal 2010 al 2013 esse si sono ridotte del 34%. Ciò è dovuto al fatto che la maggior parte di Carbonio Elementare dovuto al traffico stradale è emesso allo scarico (si veda figura sotto). Rispetto alla totalità delle emissioni di EC, il contributo dei veicoli circolanti nella ZTL Bastioni è pari al 2% circa, inferiore rispetto a quello di altri inquinanti grazie anche ai provvedimenti di limitazione della circolazione adottati in centro città nei confronti dei veicoli maggiormente responsabili delle emissioni di Carbonio Elementare.



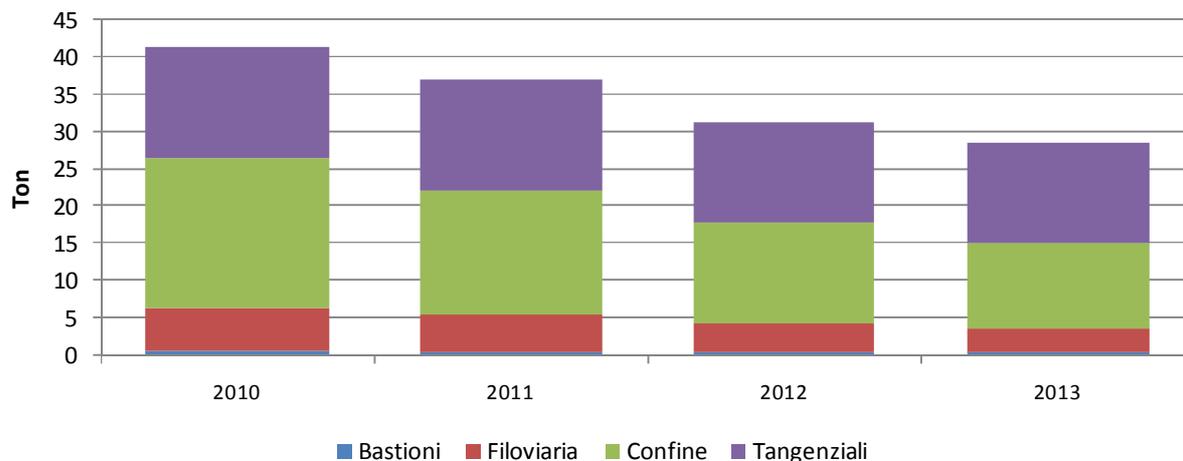
## 8.4 Carbonio Organico – scarico e attriti



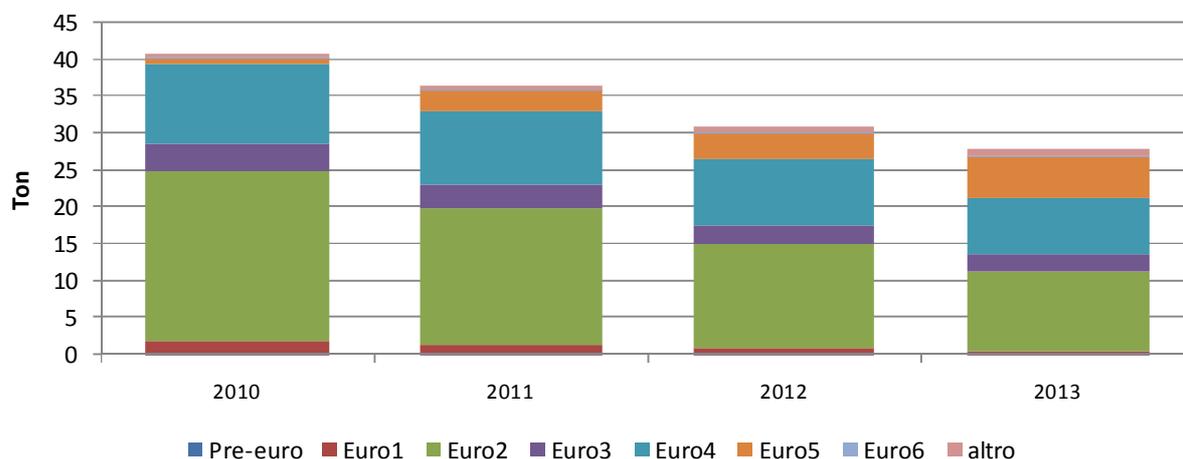
Le emissioni di Carbonio Organico contenuto nel PM10 totale da traffico (scarico e attriti meccanici) presentano un trend di decrescita simile a quello del PM10 totale: dal 2010 al 2013 esse si sono ridotte del 15%. Ciò è dovuto al fatto che il Carbonio Organico dovuto al traffico stradale è contenuto sia nei gas di scarico sia nel particolato atmosferico dovuto ai fenomeni di attrito meccanico (si veda figura sotto). Rispetto alla totalità delle emissioni di PM10 allo scarico, il contributo dei veicoli circolanti nella ZTL Bastioni è pari al 3% circa.



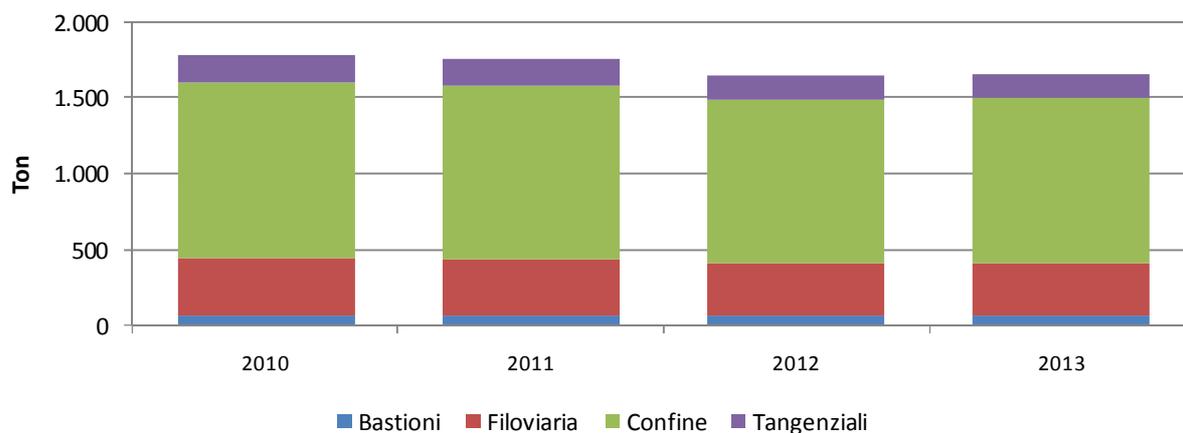
## 8.5 Ammoniaca



Le emissioni di ammoniaca atmosferica dovute al traffico stradale circolante a Milano sono drasticamente diminuite: infatti, dal 2010 al 2013 esse si sono ridotte del 31% grazie soprattutto al progressivo ricambio del parco veicolare circolante, in particolare alla sostituzione degli autoveicoli a benzina Euro 2 il cui contributo emissivo si è più che dimezzato (si veda figura sottostante). Sull'analogo periodo temporale il fattore di emissione medio di  $\text{NH}_3$  da traffico a Milano si è ridotto del 29%. Rispetto alla totalità delle emissioni di ammoniaca atmosferica dovute al traffico, il contributo dei veicoli circolanti nella ZTL Bastioni è pari all'1-2%, inferiore rispetto a quello della maggior parte degli altri inquinanti grazie anche ai provvedimenti di disincentivazione della circolazione adottati in centro città nei confronti dei veicoli maggiormente responsabili delle emissioni di ammoniaca.

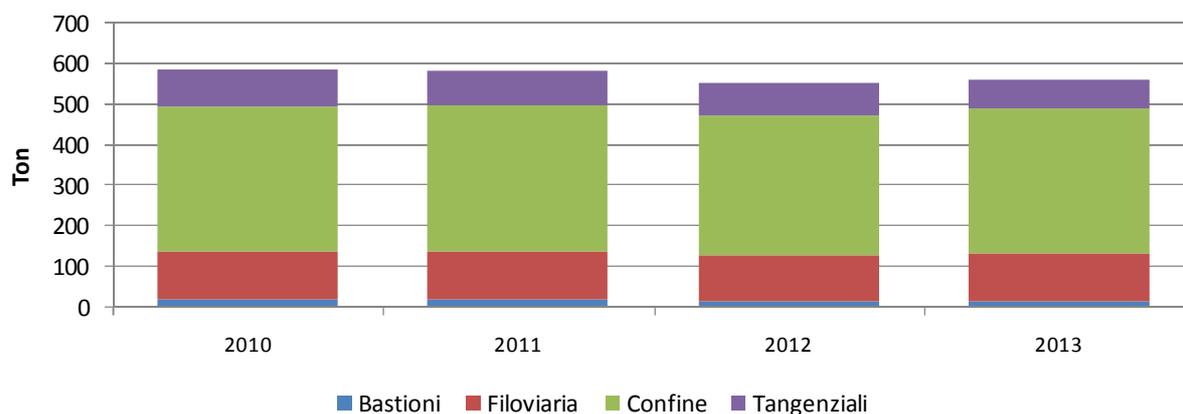


## 8.6 Ossidi totali d'azoto



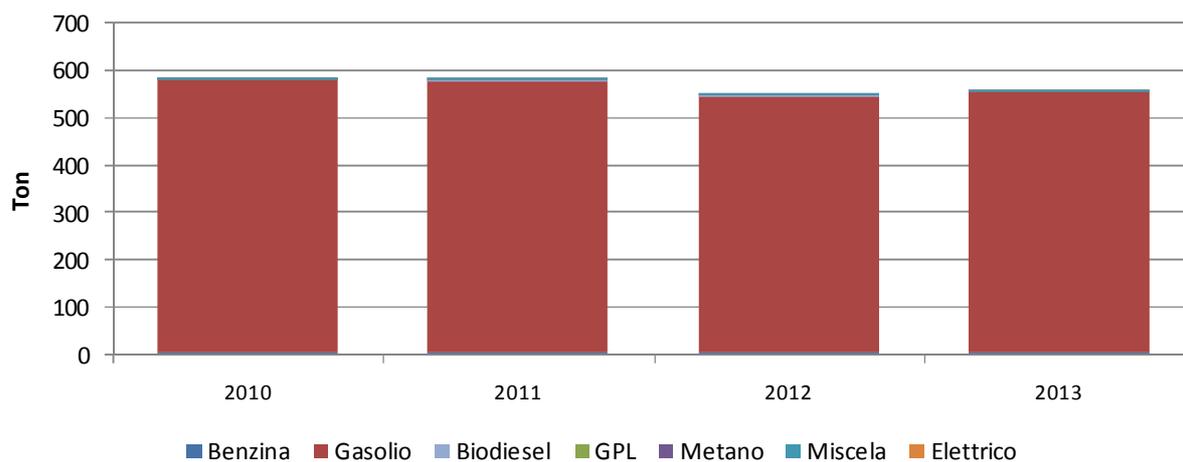
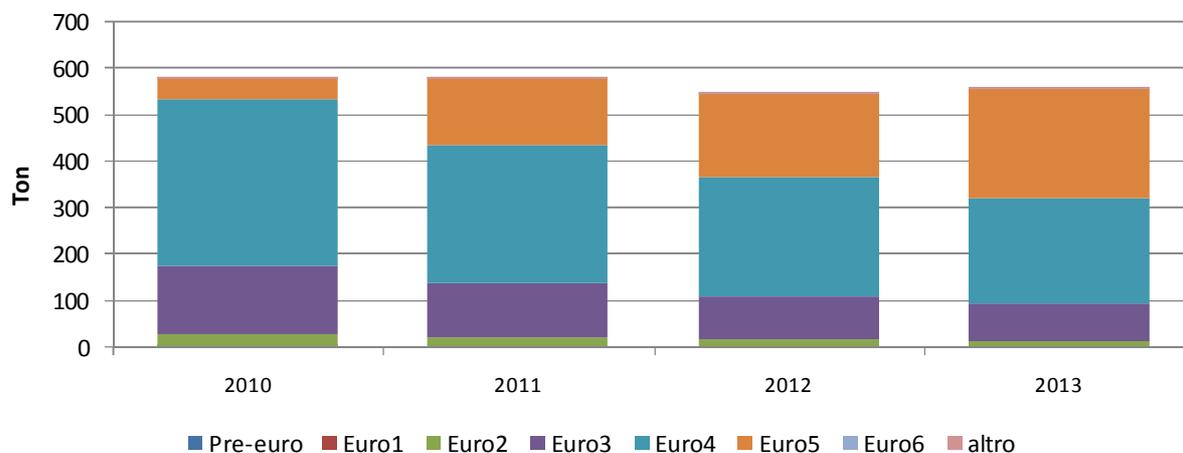
Le emissioni di ossidi totali d'azoto da traffico stradale circolante a Milano sono diminuite, dal 2010 al 2013, del 7% grazie sia al progressivo ricambio del parco veicolare circolante (infatti, sull'analogo periodo temporale il fattore di emissione medio di NOx da traffico a Milano si è ridotto del 5%) sia alla riduzione delle percorrenze veicolari. Rispetto alla totalità delle emissioni di ossidi totali d'azoto da traffico, il contributo dei veicoli circolanti nella ZTL Bastioni è pari al 4%. Questo inquinante è in controtendenza rispetto alla maggior parte degli altri, in quanto nel primo semestre 2013 le emissioni da traffico di NOx sono leggermente cresciute rispetto al primo semestre 2012.

## 8.7 Biossido d'azoto



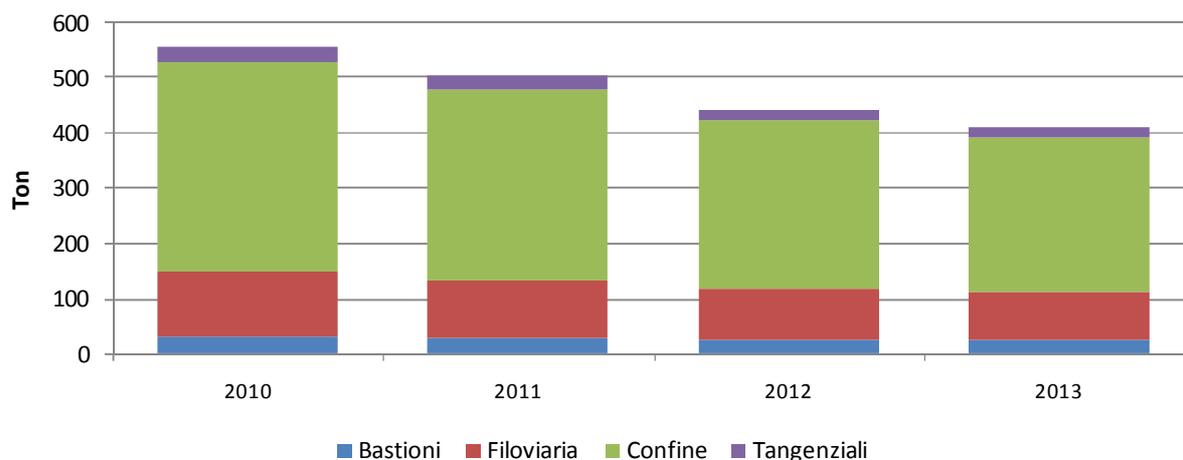
Le emissioni di biossido d'azoto da traffico stradale circolante a Milano sono diminuite più lentamente rispetto agli NOx (-4% dal 2010 al 2013). Ciò è dovuto al fatto che il ricambio del parco veicolare circolante sta favorendo in maniera più marginale la riduzione delle emissioni di biossido d'azoto (sull'analogo periodo temporale il fattore di emissione medio di NO<sub>2</sub> da traffico a Milano è diminuito solo dell'1%) in quanto gli autoveicoli leggeri caratterizzati dalle maggiori emissioni specifiche di NO<sub>2</sub> sono di gran lunga i veicoli diesel di recente generazione (Euro 4 e Euro 5). A questo proposito si vedano i due grafici sottostanti che mostrano come già oggi le emissioni di biossido

d'azoto siano dovute prevalentemente ai veicoli appartenenti alla classe tecnologica Euro 5 (quella attualmente sul mercato), e siano dovute quasi esclusivamente ai veicoli diesel.



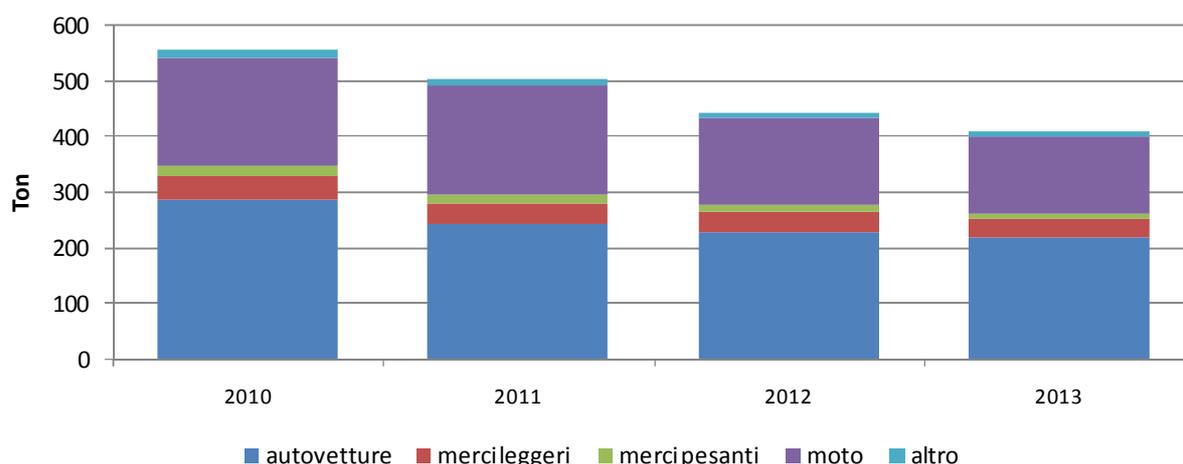
Rispetto alla totalità delle emissioni di biossido d'azoto da traffico a Milano, il contributo dei veicoli circolanti nella ZTL Bastioni è pari al 3% circa. Analogamente agli ossidi totali di azoto, l'NO<sub>2</sub> è in controtendenza rispetto alla maggior parte degli altri inquinanti: nel primo semestre 2013 le emissioni da traffico di biossido d'azoto sono leggermente cresciute rispetto al primo semestre 2012 (+2%).

## 8.8 Composti Organici Volatili Non Metanici

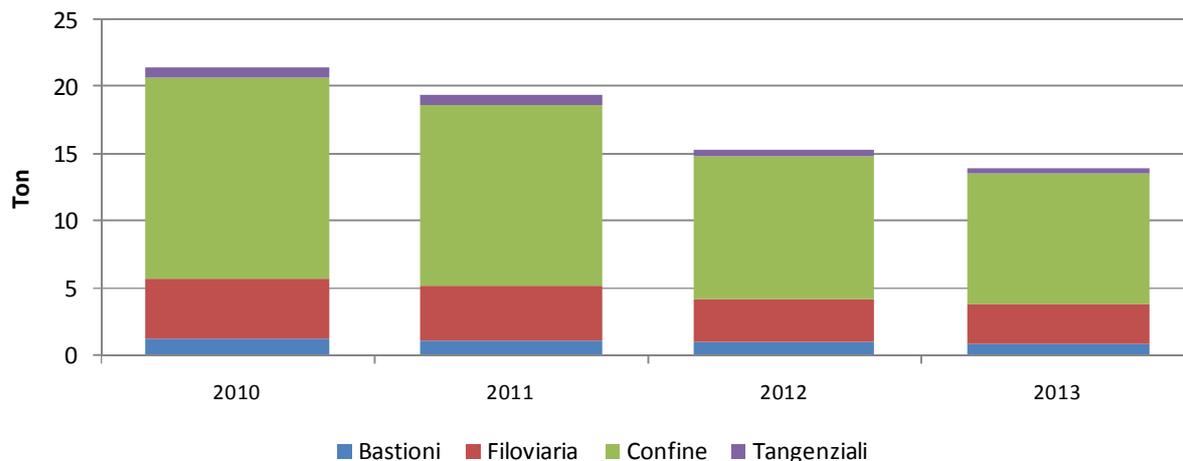


Le emissioni di composti organici volatili non metanici totali (inclusi quelli dovuti ai fenomeni di evaporazione) dovute al traffico circolante a Milano sono diminuite del 26% dal 2010 al 2013, grazie soprattutto al progressivo ricambio del parco veicolare circolante e alla riduzione delle percorrenze dei veicoli a benzina più vecchi. Infatti, sull'analogo periodo temporale il fattore di emissione medio di composti organici volatili non metanici da traffico a Milano si è ridotto del 24%.

Rispetto alla totalità delle emissioni di composti organici volatili non metanici totali da traffico, il contributo dei veicoli circolanti nella ZTL Bastioni è pari al 6%, una percentuale superiore rispetto a quello della maggior parte degli altri inquinanti. Ciò è dovuto al consistente utilizzo in centro città dei motocicli, che a Milano costituiscono una delle principali fonti emissive di NMVOC da traffico (si veda figura sottostante).



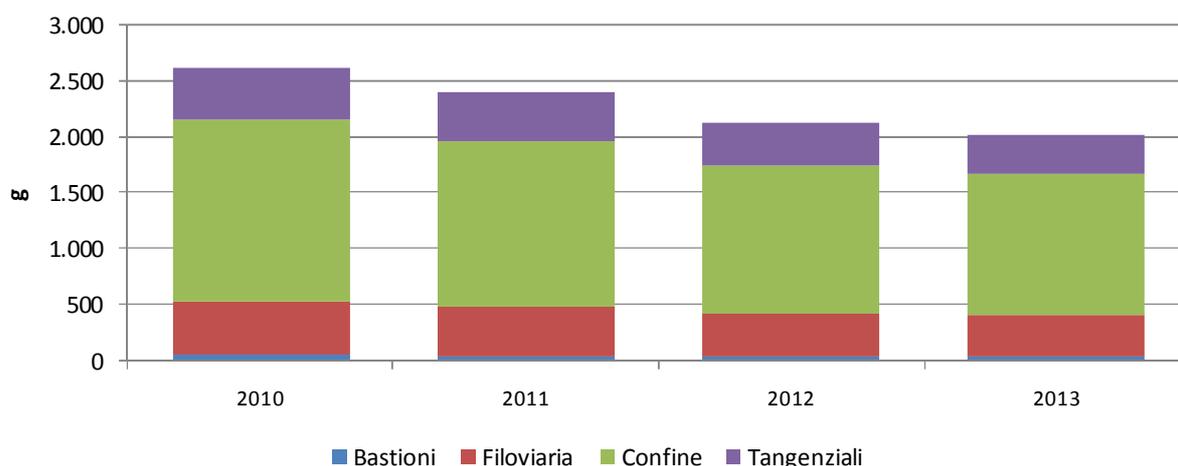
## 8.9 Benzene



Le emissioni di benzene dovute al traffico circolante a Milano presentano una decrescita più accentuata rispetto a quella dei composti organici volatili non metanici: dal 2010 al 2013 esse sono diminuite del 35%, quasi esclusivamente a motivo del ricambio del parco veicolare (infatti, il fattore di emissione medio di benzene da traffico a Milano si è ridotto sullo stesso periodo del 33%).

Rispetto alla totalità delle emissioni di benzene da traffico, il contributo dei veicoli circolanti nella ZTL Bastioni è superiore rispetto quello degli altri inquinanti e simile a quello degli NMVOC (6%), per le stesse motivazioni riportate nel precedente paragrafo.

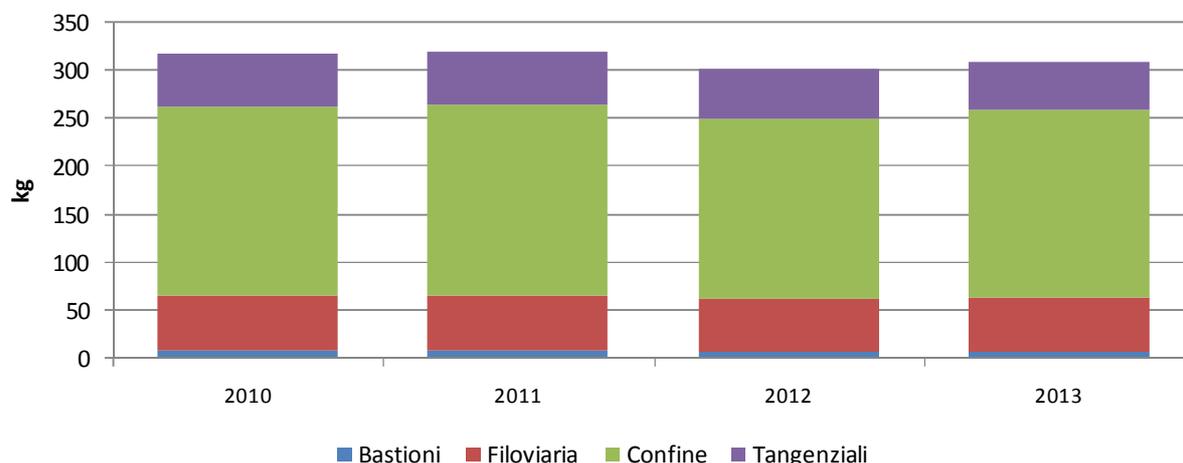
## 8.10 Benzo(a)pirene



Le emissioni di benzo(a)pirene dovute al traffico circolante a Milano presentano anch'esse una sostanziale decrescita: dal 2010 al 2013 esse sono diminuite del 23%, quasi esclusivamente a motivo del ricambio del parco veicolare diesel (il fattore di emissione medio di benzo(a)pirene da traffico a Milano si è ridotto sullo stesso periodo del 21%).

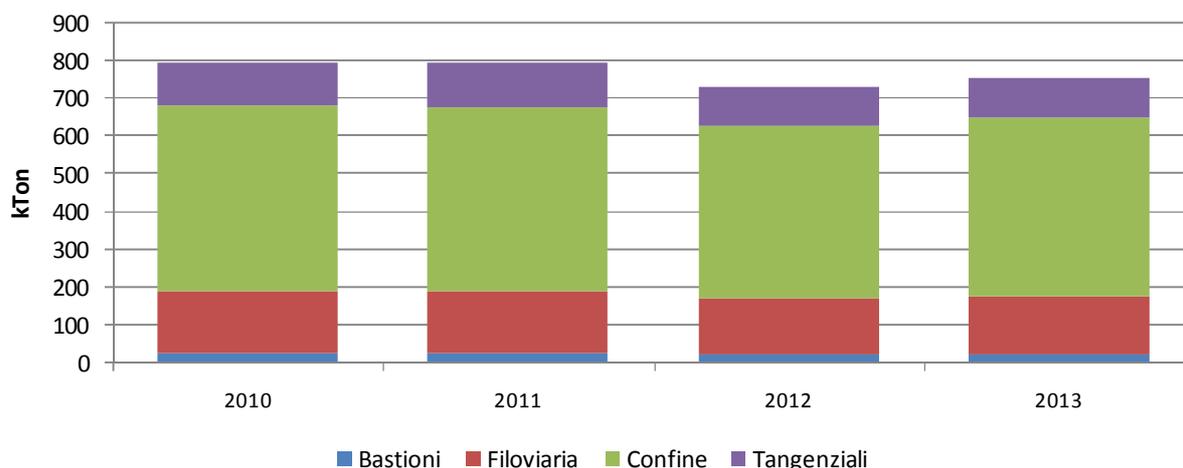
Rispetto alla totalità delle emissioni di benzo(a)pirene da traffico, il contributo dei veicoli circolanti nella ZTL Bastioni è inferiore rispetto quello di altri inquinanti (2%), a motivo dei provvedimenti di limitazione della circolazione dei veicoli maggiormente inquinanti.

### 8.11 Metalli pesanti (As+Cd+Ni+Pb)



La variazione delle emissioni di metalli pesanti dovute al traffico circolante a Milano è molto contenuta: dal 2010 al 2013 esse sono diminuite del 3%, quasi esclusivamente a motivo della riduzione delle percorrenze veicolari. Infatti l'emissione di metalli pesanti è dovuta quasi interamente ai fenomeni di attrito meccanico.

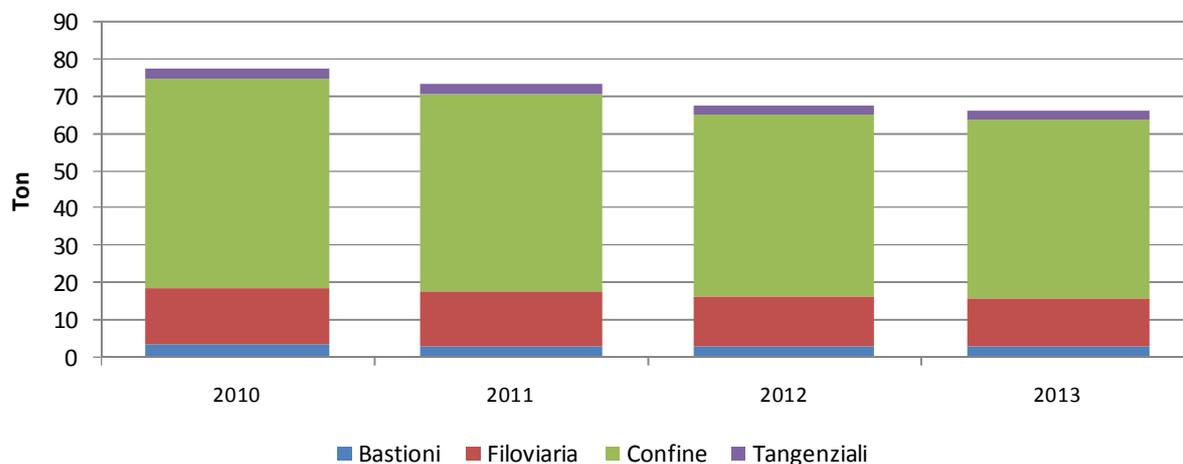
### 8.12 Anidride carbonica



Le emissioni di anidride carbonica dovute al traffico circolante a Milano sono diminuite del 5% dal 2010 al 2013, grazie sia alla riduzione delle percorrenze veicolari complessive sia progressivo ricambio del parco veicolare circolante (sull'analogo periodo temporale, il fattore di emissione medio di CO<sub>2</sub> si è ridotto del 2%). Rispetto

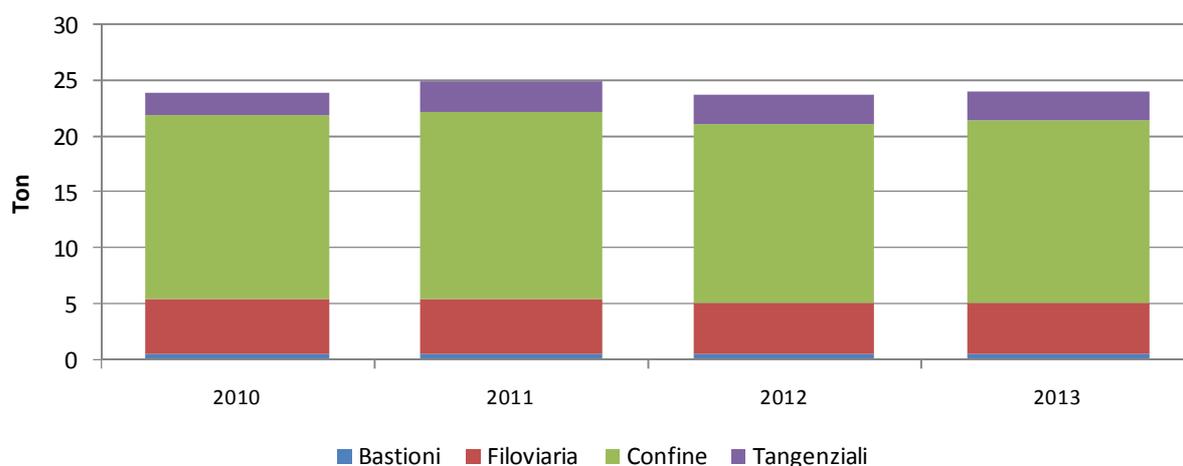
alla totalità delle emissioni di anidride carbonica da traffico, il contributo dei veicoli circolanti nella ZTL Bastioni è pari al 3%.

### 8.13 Metano



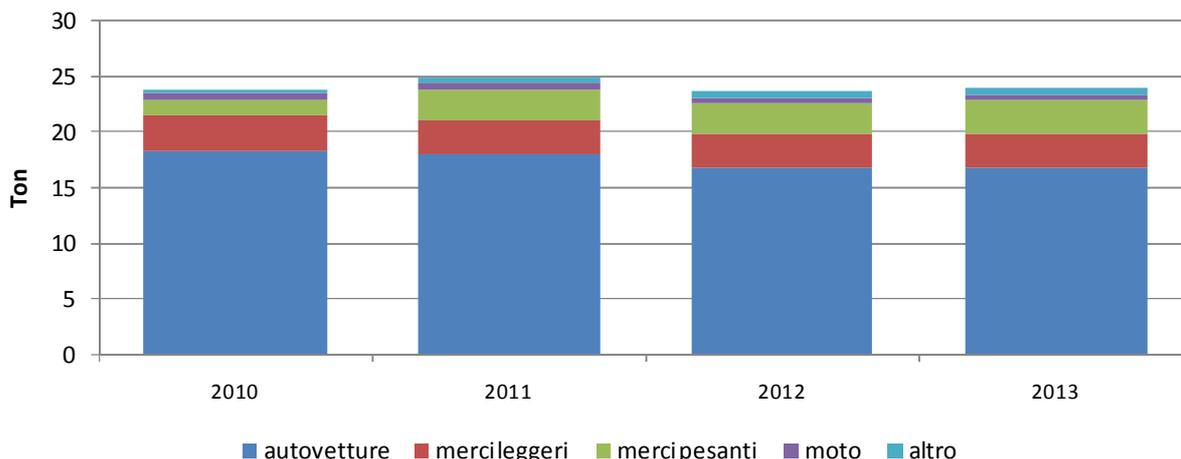
Le emissioni di metano dovute al traffico circolante a Milano sono diminuite del 15% dal 2010 al 2013, grazie soprattutto al progressivo ricambio del parco veicolare circolante (sull'analogo periodo temporale, il fattore di emissione medio di CH<sub>4</sub> si è ridotto del 12%). Rispetto alla totalità delle emissioni di metano da traffico a Milano, il contributo dei veicoli circolanti nella ZTL Bastioni è pari al 5%, superiore rispetto a quello della maggior parte degli altri inquinanti per la maggiore presenza su strada di veicoli alimentati a metano e di motocicli.

### 8.14 Protossido d'azoto

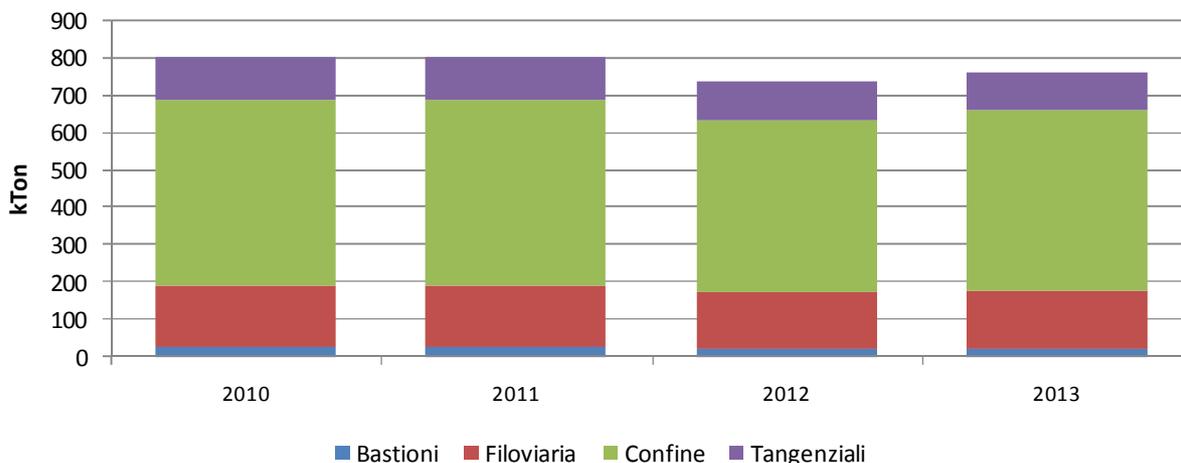


Le emissioni di protossido d'azoto dovute al traffico circolante a Milano appaiono sostanzialmente stabili negli quattro ultimi anni nonostante la diminuzione delle percorrenze. Ciò è dovuto al fatto che il fattore di emissione medio sta aumentando

(+4% dal 2010 al 2013), soprattutto a motivo del più alto fattore di emissione di N<sub>2</sub>O da parte dei veicoli diesel pesanti di nuova generazione. Si veda a questo proposito la figura sottostante, ove si può notare il crescente peso percentuale sulle emissioni di protossido d'azoto dei veicoli commerciali. Rispetto alla totalità delle emissioni di N<sub>2</sub>O da traffico a Milano, il contributo dei veicoli circolanti nella ZTL Bastioni è pari al 2%, leggermente inferiore rispetto alla maggioranza degli altri inquinanti per il vigente divieto di accesso di veicoli commerciali di lunghezza superiore a 7,5 metri.



### 8.15 Potenziale climalterante



L'indice relativo al potenziale climalterante complessivo GWP100, calcolato sulla base di anidride carbonica, metano e protossido d'azoto dovuti al traffico circolante a Milano e definito come specificato nel paragrafo 6.13, è diminuito del 5% dal 2010 al 2013. Del tutto analogo l'andamento del GWP100 tenendo conto anche di Carbonio Elementare, Carbonio Organico e Biossido di Zolfo, con una riduzione al 2013 leggermente più marcata (-6% rispetto al 2010). Rispetto all'indice GWP100 calcolato sulla totalità delle emissioni da traffico a Milano, il contributo dei veicoli circolanti nella ZTL Bastioni è pari al 3%.

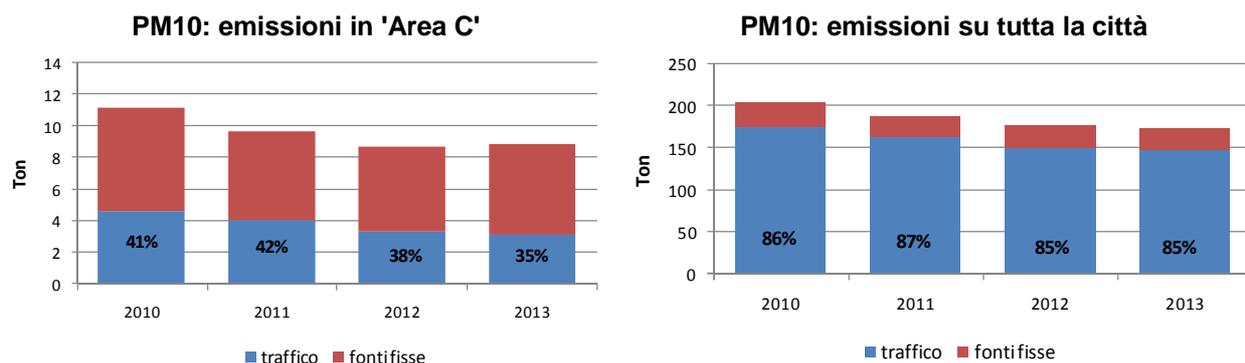
## 9. EMISSIONI DA IMPIANTI PER IL RISCALDAMENTO DOMESTICO IN 'AREA C' E IN MILANO

In questo capitolo vengono riportati i grafici relativi all'andamento storico delle emissioni atmosferiche prodotte sia dal traffico stradale circolante sia dagli impianti di combustione per il riscaldamento domestico (alimentati con combustibili liquidi o gassosi, sono esclusi quelli alimentati a biomassa) sull'intera città di Milano nel periodo gennaio – giugno. I grafici riportano le emissioni suddivise per 'Area C' e resto della città.

I dati riportati si riferiscono alle emissioni totali di periodo, intendendo con tale termine la totalità delle emissioni generate dal traffico stradale e da impianti di combustione per i mesi considerati, ivi inclusi i periodi notturni, i giorni prefestivi e festivi nonché le eventuali giornate soggette al blocco della circolazione stradale.

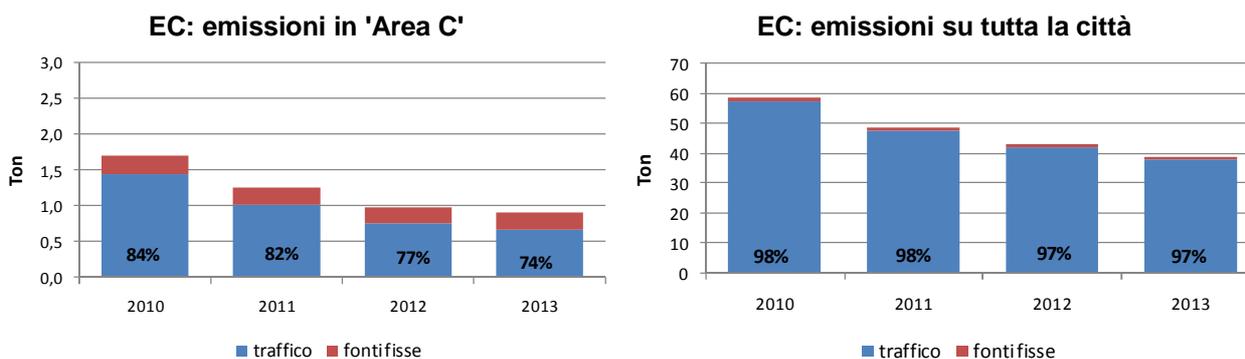
Gli inquinanti qui trattati non sono tutti quelli già esaminati nei precedenti capitoli, bensì solo quelli per i quali sono disponibili in letteratura scientifica fattori di emissione consolidati per quanto riguarda gli impianti di combustione per il riscaldamento domestico.

### 9.1 PM10 totale



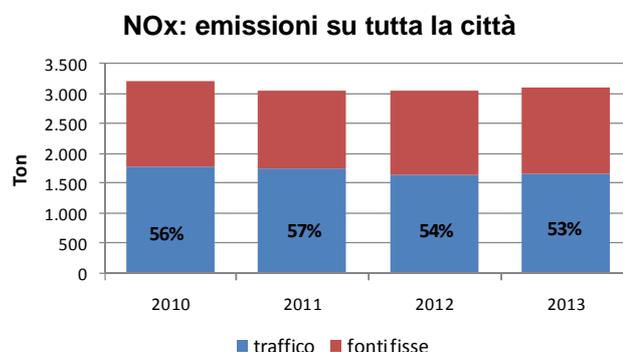
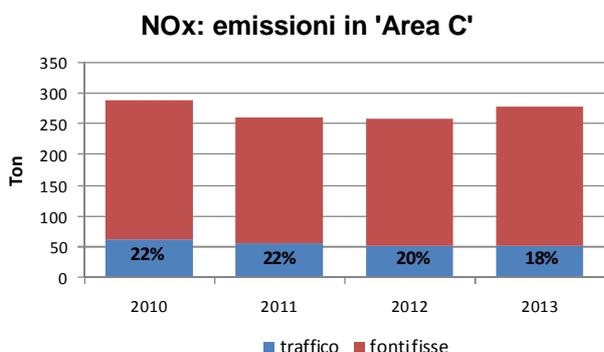
Le emissioni di PM10 in città (complessivamente in diminuzione: -15% dal 2010 al 2013) sono per la maggior parte dovute al traffico stradale circolante a Milano, tuttavia in 'Area C' gli impianti di combustione per il riscaldamento domestico rivestono ancora un ruolo importante.

### 9.2 Carbonio Elementare



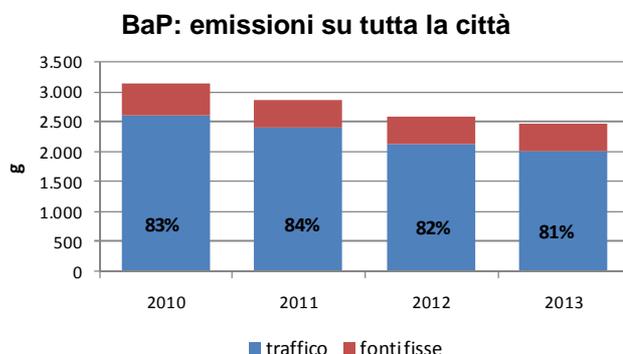
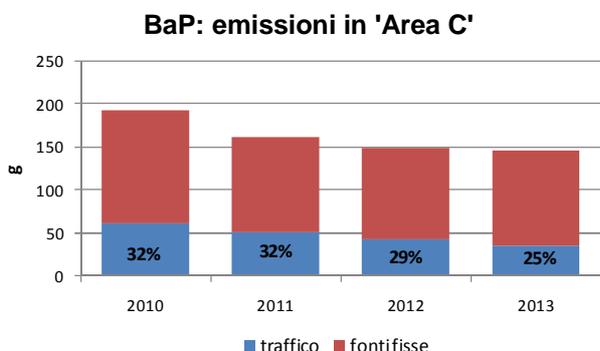
Le emissioni di Carbonio Elementare in città (in diminuzione: -34% dal 2010 al 2013) sono per la quasi totalità dovute al traffico stradale circolante a Milano. Il contributo emissivo di EC da parte degli impianti di combustione per il riscaldamento domestico in 'Area C' è percentualmente superiore rispetto alla media urbana.

### 9.3 Ossidi totali di azoto



Le emissioni di ossidi totali di azoto in città (complessivamente in leggera diminuzione: -3% dal 2010 al 2013) sono dovute sia al traffico stradale circolante a Milano sia agli impianti di combustione per il riscaldamento domestico, ma in 'Area C' questi ultimi rivestono un ruolo più importante.

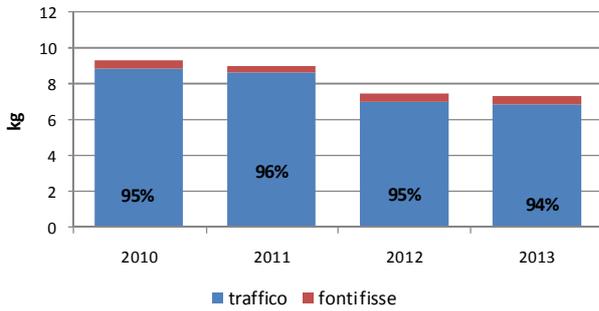
### 9.4 Benzo(a)pirene



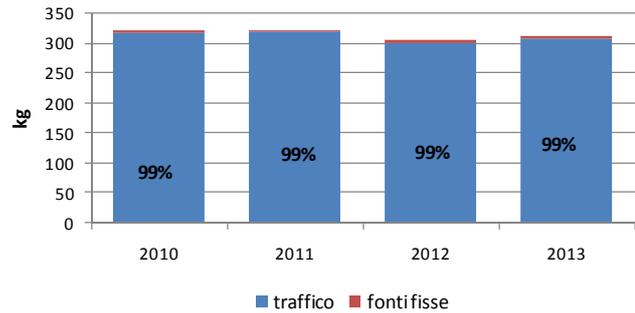
Le emissioni di Benzo(a)pirene in città (complessivamente in diminuzione: -21% dal 2010 al 2013) sono dovute prevalentemente al traffico stradale circolante a Milano, ma in 'Area C' il contributo emissivo percentuale maggiore è quello degli impianti di combustione per il riscaldamento domestico.

## 9.5 Metalli pesanti

As+Cd+Ni+Pb: emissioni in 'Area C'



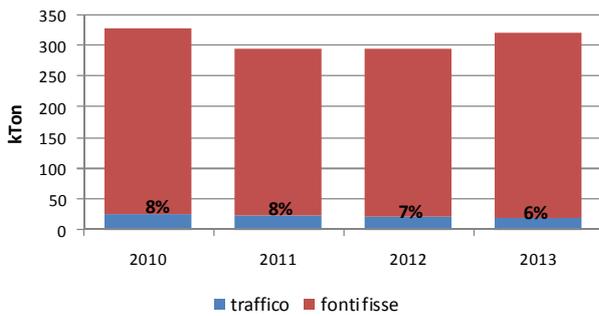
As+Cd+Ni+Pb: emissioni su tutta la città



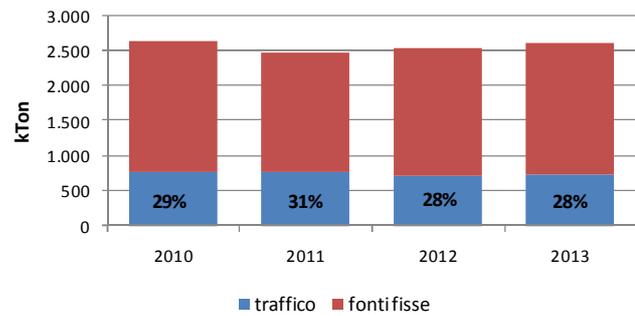
Le emissioni complessive di Arsenico, Cadmio, Nickel e Piombo in città (in leggera diminuzione: -3% dal 2010 al 2013) sono quasi totalmente dovute al traffico stradale circolante a Milano.

## 9.6 Anidride carbonica

CO<sub>2</sub>: emissioni in 'Area C'



CO<sub>2</sub>: emissioni su tutta la città



Le emissioni di anidride carbonica, sostanzialmente stabili (-1% dal 2010 al 2013), sono per la maggior parte dovute agli impianti di combustione per il riscaldamento domestico, soprattutto in 'Area C'.