

Monitoraggio Area C

EMISSIONI ATMOSFERICHE DA TRAFFICO IN AREA C

PERIODO GENNAIO - DICEMBRE 2014

<i>elaborato:</i>		RELAZIONE		<i>codifica:</i>	150470020
				<i>revisione:</i>	00
<i>data:</i>	<i>redatto:</i>	<i>verificato:</i>	<i>approvato:</i>		
05 / 08 / 2015	Marco Bedogni	Marco Bedogni	Bruno Villavecchia		

Agenzia Mobilità Ambiente e Territorio Srl

Sede Legale e Uffici: Via Tommaso Pini, 1 – 20134 Milano

Telefono +39 02 8846 7298

Fax + 39 02 8846 7349

e-mail: 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

<u>1. SINTESI.....</u>	<u>5</u>
<u>2. PREMESSA METODOLOGICA.....</u>	<u>5</u>
<u>3. RIPARTIZIONE DELLE EMISSIONI PER CLASSE VEICOLARE.....</u>	<u>8</u>
3.1 <i>PM10 ALLO SCARICO</i>	8
3.2 <i>PM10 TOTALE – SCARICO E ATTRITI.....</i>	8
3.3 <i>CARBONIO ELEMENTARE E CARBONIO ORGANICO.....</i>	9
3.4 <i>AMMONIACA</i>	10
3.5 <i>OSSIDI TOTALI D'AZOTO.....</i>	10
3.6 <i>BIOSSIDO D'AZOTO.....</i>	10
3.7 <i>COMPOSTI ORGANICI VOLATILI NON METANICI E BENZENE.....</i>	11
3.8 <i>ANIDRIDE CARBONICA</i>	12
3.9 <i>METANO E PROTOSSIDO D'AZOTO.....</i>	12
3.10 <i>BENZO(A)PIRENE E METALLI.....</i>	13
<u>4. SERIE STORICA DELLA RIPARTIZIONE VEICOLARE IN 'AREA C'</u>	<u>13</u>
<u>5. SERIE STORICA DELLE EMISSIONI.....</u>	<u>18</u>
5.1 <i>PM10 ALLO SCARICO</i>	18
5.2 <i>PM10 TOTALE – SCARICO E ATTRITI.....</i>	19
5.3 <i>CARBONIO ELEMENTARE – SCARICO E ATTRITI</i>	20
5.4 <i>CARBONIO ORGANICO – SCARICO E ATTRITI.....</i>	20
5.5 <i>AMMONIACA</i>	21
5.6 <i>OSSIDI TOTALI D'AZOTO.....</i>	21
5.7 <i>BIOSSIDO D'AZOTO.....</i>	22
5.8 <i>COMPOSTI ORGANICI VOLATILI NON METANICI</i>	22
5.9 <i>BENZENE</i>	23
5.10 <i>BENZO(A)PIRENE</i>	23

5.11	<i>METALLI PESANTI</i>	24
5.12	<i>ANIDRIDE CARBONICA</i>	24
5.13	<i>METANO</i>	25
5.14	<i>PROTOSSIDO D'AZOTO</i>	25
5.15	<i>POTENZIALE CLIMALTERANTE</i>	26
6.	<u>RIEPILOGO EMISSIONI MENSILI DA TRAFFICO IN AREA C</u>	27

1. SINTESI

Il presente documento riassume i risultati ottenuti a seguito delle stime di emissione atmosferica dovuta al traffico circolante in 'Area C' nel periodo gennaio – dicembre 2014.

Gli indicatori di inquinamento atmosferico legati al traffico veicolare circolante in 'Area C' sono in diminuzione: in 'Area C' con provvedimento vigente stanno continuando a diminuire le emissioni di PM10 allo scarico (-61% rispetto al 2010), PM10 totale (-39% rispetto al 2010), Carbonio Elementare (-66% rispetto al 2010), Carbonio Organico (-31% rispetto al 2010), Ammoniaca (-39% rispetto al 2010), Ossidi di Azoto (-30% rispetto al 2010), Biossido di Azoto (-36% rispetto al 2010), Composti Organici Volatili Non Metanici e Benzene (-31% rispetto al 2010), Benzo(a)pirene (-46% rispetto al 2010), metalli pesanti (-26% rispetto al 2010).

In 'Area C' con provvedimento vigente sono in diminuzione, rispetto al 2010, anche le emissioni di gas climalteranti dovute al traffico stradale (-33% per l'anidride carbonica, -14% per il metano, -31% per il protossido d'azoto).

2. PREMESSA METODOLOGICA

Il presente documento riassume i dati di stima delle emissioni atmosferiche dovute al traffico circolante in 'Area C' nel periodo gennaio – dicembre 2014.

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 11.3 (giugno 2015), implementazione informatica della *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook*, aggiornata al 2013 (EEA Technical report No 12/2013).

Le versioni 10.x e 11.x di COPERT4 hanno progressivamente 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 dette versioni introducono una distinzione tra i fattori di emissione dei ciclomotori a due e a quattro tempi, e cominciano 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 2014, che potrebbero pertanto discostarsi leggermente 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 CO₂ del parco auto venduto dal 2005 al 2020) nonché della riduzione effettiva delle emissioni unitarie di CO₂ 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 CO₂ (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 dal numero di 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 a 2 tempi. Lo IARC (International Agency for Research on Cancer - Centro Internazionale di Ricerca sul Cancro, che è parte dell'Organizzazione Mondiale della Sanità delle Nazioni Unite) ha classificato, nel 2012, i gas di scarico dei motori diesel come cancerogeni per l'uomo;
- 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. Nel luglio 2014 la Commissione Europea ha nuovamente aperto una procedura di infrazione contro l'Italia per il superamento dei valori limite di PM10 (messa in mora con procedura n° 2014_2147);
- c) l'ammoniaca atmosferica (NH₃), 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_x), in generale rilasciati da qualsiasi motore a combustione interna ma, a parità di condizioni (età del veicolo, cilindrata ..), emessi soprattutto dai veicoli diesel. Le emissioni di biossido di azoto (NO₂) da traffico, in particolare, hanno visto negli ultimi anni un progressivo aumento a motivo degli autoveicoli leggeri a gasolio delle ultime generazioni, a partire dalla classe Euro 3, i cui fattori di emissione di NO₂ sono più alti di quelli 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 (C₆H₆). 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 (CO₂), un inquinante ad effetto serra legato ai consumi di carburante. Secondo i dati pubblicati dalla Commissione Europea per il monitoraggio delle Direttive sulla riduzione dell'anidride carbonica dal settore dei trasporti, escludendo i veicoli elettrici che hanno emissioni allo scarico nulle, le autovetture di prima immatricolazione vendute nel 2013 nei Paesi dell'Unione

Europea aventi le minori emissioni specifiche di CO₂ sono quelle dotate di tecnologia ibrida (cioè dotate di un motore a combustione interna accoppiato ad un motore elettrico) *plug-in*, seguite dalle auto alimentate a GPL o metano, e infine dalle auto a gasolio e benzina. Per queste ultime due motorizzazioni, se in passato i motori a gasolio erano caratterizzati da emissioni specifiche di CO₂ decisamente inferiori rispetto ai motori a benzina, col passare degli anni la differenza si è sempre più assottigliata ed ora, per le auto vendute del 2013, la differenza media tra le due tecnologie è ormai inferiore ai 2 g/km;

- h) il metano (CH₄) e il protossido d'azoto (N₂O), altri due importanti gas climalteranti;
- i) il benzo(a)pirene (BaP), un Idrocarburo Policiclico Aromatico classificato dallo IARC 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'analogia 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 i suddetti inquinanti è di seguito riportata un'analisi relativa alla ripartizione delle emissioni atmosferiche in sette classi veicolari 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 viene riportata, ove disponibile, la serie storica delle emissioni atmosferiche.

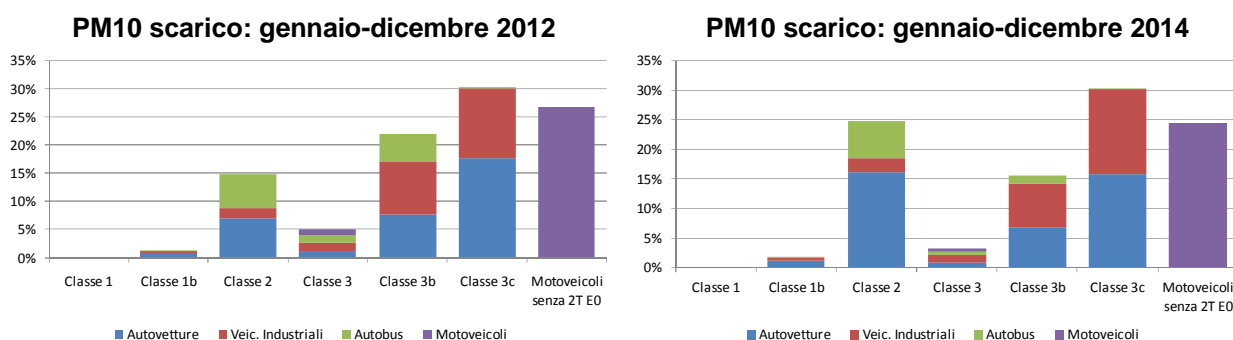
Si precisa che, nell'ambito della presente relazione, con il termine "giorno prefestivo" si intendono non solamente i giorni di sabato non festivi, ma anche i giorni feriali di non applicazione del provvedimento 'Area C' che presentano caratteristiche simili a quelle di un sabato (per esempio, periodi 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. RIPARTIZIONE DELLE EMISSIONI PER CLASSE VEICOLARE

I seguenti grafici riportano la ripartizione percentuale, sul periodo gennaio – dicembre 2014, 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, primo anno di attuazione del provvedimento.

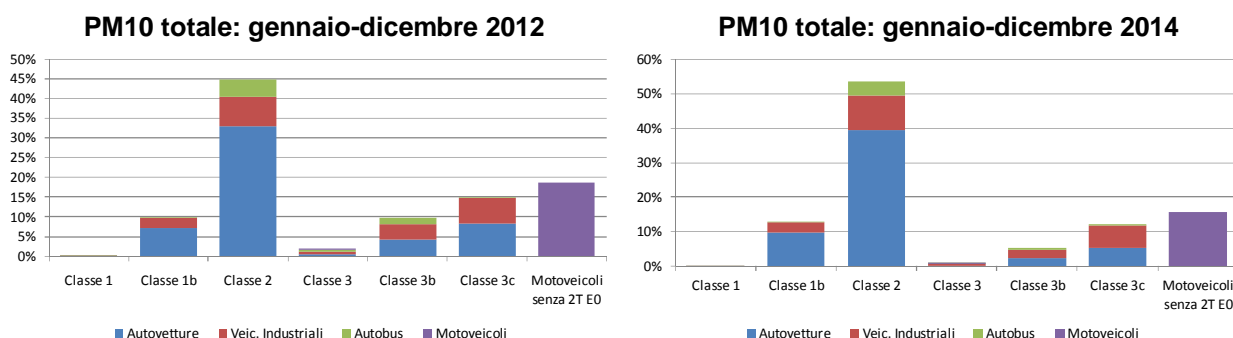
3.1 PM10 allo scarico



Circa 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 2 e la classe dei motoveicoli diversi dalle moto 2 tempi Euro 0 contribuiscono entrambi per circa il 25%. La Classe 3b (autoveicoli diesel Euro 3 o equivalenti) contribuisce per il 15% circa delle emissioni complessive di PM10 allo scarico da traffico in 'Area C'.

Rispetto al 2012 è diminuito il contributo percentuale degli autoveicoli diesel Euro 3 ed è aumentato quello delle autovetture di Classe 2 a motivo del 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.

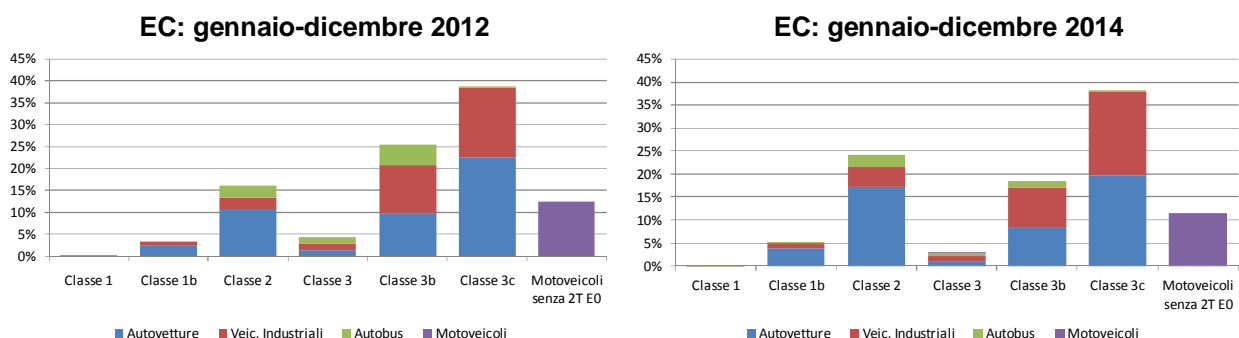
3.2 PM10 totale – scarico e attriti



Oltre 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, nell'ordine, ai veicoli appartenenti alle Classi 3c, 1b e 3b.

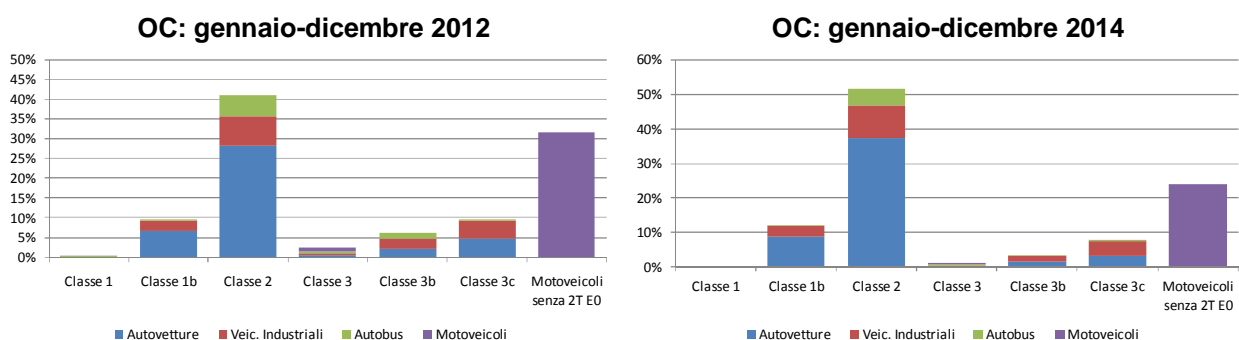
Rispetto al 2012 è cresciuto il peso relativo ai veicoli di Classe 2, dovuto al fatto che, con il ricambio del parco veicolare, diminuiscono gli autoveicoli appartenenti alle altre Classi a favore di un aumento degli autoveicoli di Classe 2 le cui percorrenze complessive sono dunque percentualmente in aumento. Per la stessa ragione è in calo il contributo emissivo di PM10 totale della Classe 3b (autoveicoli diesel Euro 3 ed equivalenti) e 3c (autoveicoli diesel Euro 4 ed equivalenti).

3.3 Carbonio Elementare e Carbonio Organico

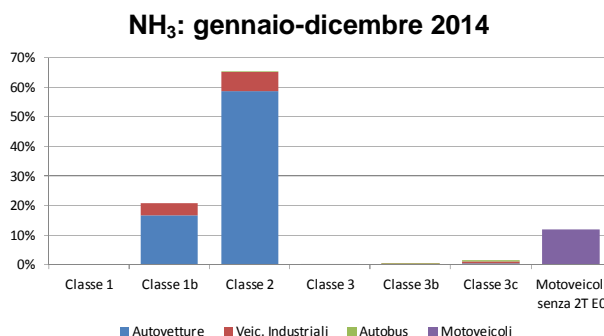
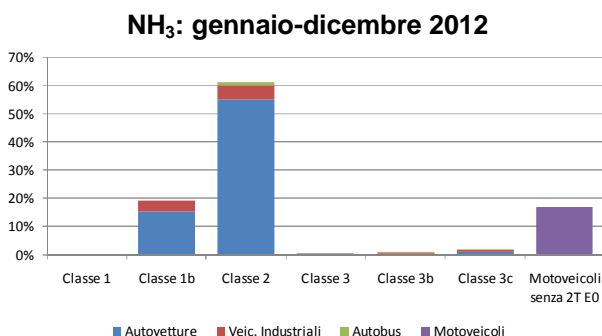


Per le emissioni atmosferiche in 'Area C' della frazione carboniosa del PM10 totale, il contributo prevalente è legato ai veicoli appartenenti alla Classe 3c per quanto riguarda il Carbonio Elementare (*grafici sopra*), quindi autoveicoli diesel Euro 4 privi di sistemi di riduzione della massa di particolato, mentre per il Carbonio Organico (*grafici sotto*) la più importante è la Classe 2.

Nel caso del Carbonio Elementare si nota, nel 2014, una minore importanza della Classe 3b rispetto al 2012, a motivo della progressiva sostituzione degli autoveicoli diesel Euro 3 in circolazione, mentre per il Carbonio Organico si osserva una diminuzione del contributo dei motoveicoli, prevalentemente dovuta al loro minor numero complessivo di ingressi in 'Area C'.

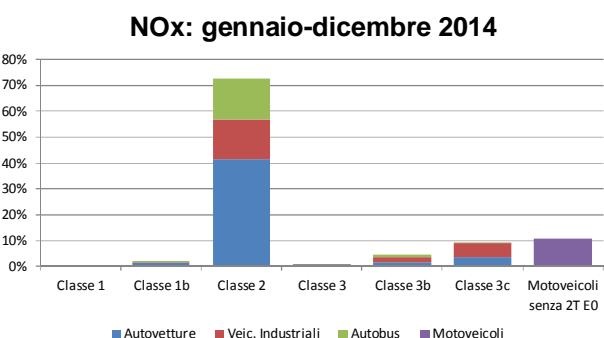
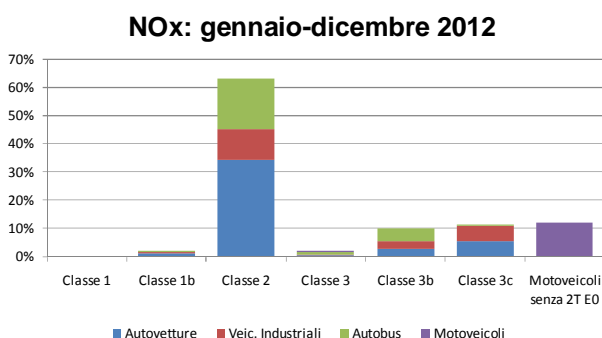


3.4 Ammoniaca



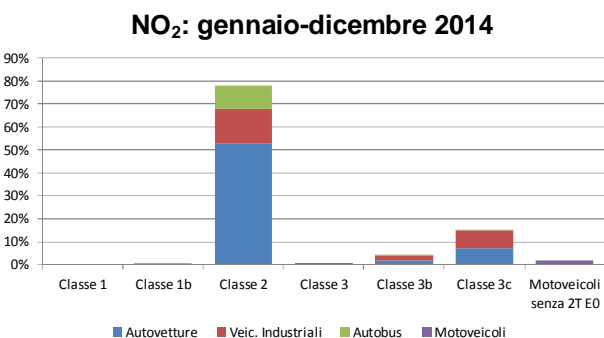
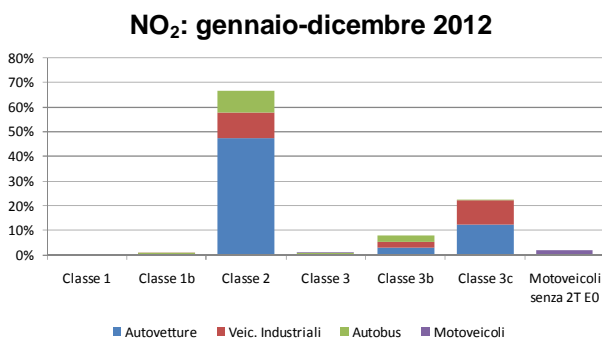
Il contributo emissivo complessivo di ammoniaca atmosferica da traffico in 'Area C' è dovuto prevalentemente alle autovetture a benzina Euro 1 ed Euro 2, appartenenti alla Classe 2. Non si rilevano sostanziali differenze con la ripartizione percentuale del 2012.

3.5 Ossidi totali d'azoto



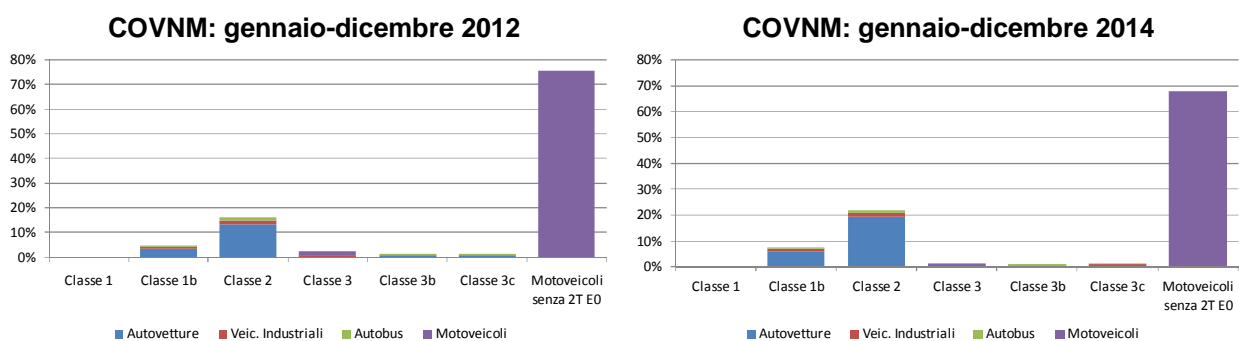
Il contributo emissivo complessivo di ossidi totali di azoto da traffico in 'Area C' è dovuto prevalentemente ai veicoli appartenenti alla Classe 2, all'interno della quale contribuiscono tutte le macrotipologie veicolari (soprattutto autovetture, ma anche veicoli industriali e autobus). Rispetto al 2012 il contributo emissivo della Classe 2 è percentualmente in aumento e quello della Classe 3b in diminuzione.

3.6 Biossido d'azoto



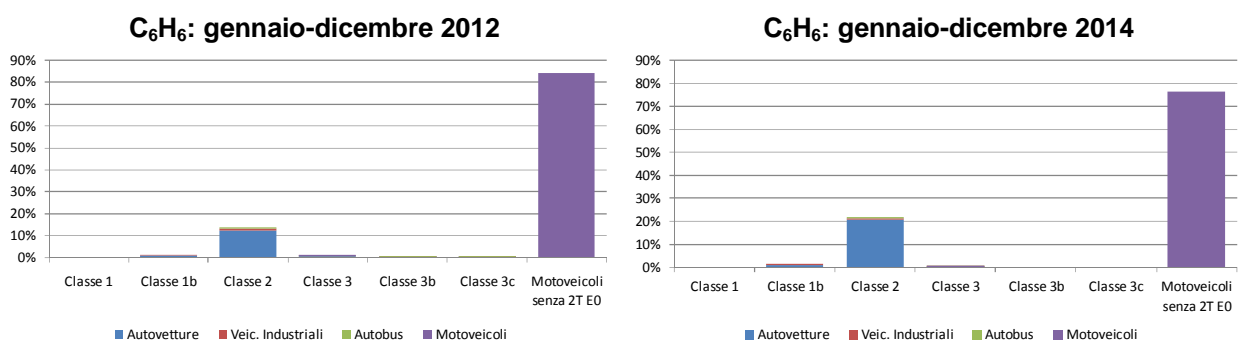
Il contributo emissivo di biossido d'azoto da traffico in 'Area C' è dovuto per la maggior parte ai veicoli appartenenti alla Classe 2, all'interno della quale contribuiscono soprattutto le autovetture e, in seconda battuta, i veicoli industriali. Il contributo principale è dovuto agli autoveicoli diesel, in particolare gli autoveicoli leggeri di nuova generazione, e per questo motivo la ripartizione percentuale del 2014 è più sbilanciata verso la Classe 2 rispetto al 2012.

3.7 Composti organici volatili non metanici e benzene

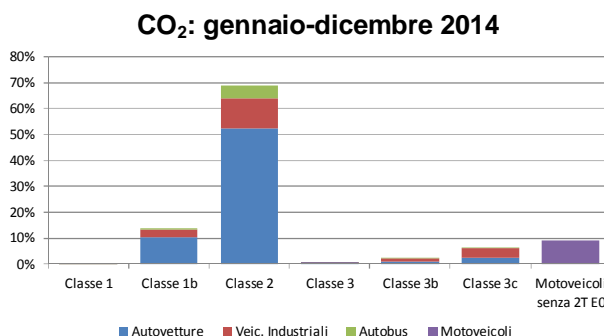
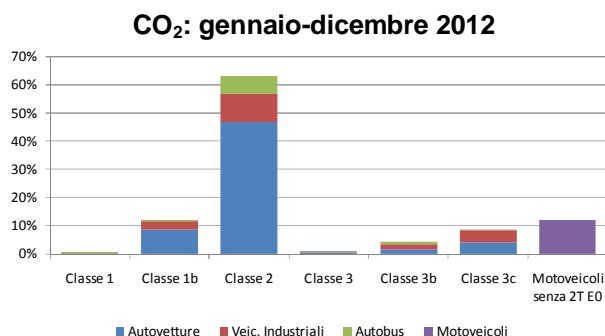


Il contributo emissivo complessivo di composti organici volatili non metanici da traffico in 'Area C' (*grafici sopra*) è dovuto prevalentemente ai motoveicoli e, in seconda battuta, agli autoveicoli appartenenti alla Classe 2, soprattutto quelli alimentati a benzina. Non vi sono sostanziali differenze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

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.

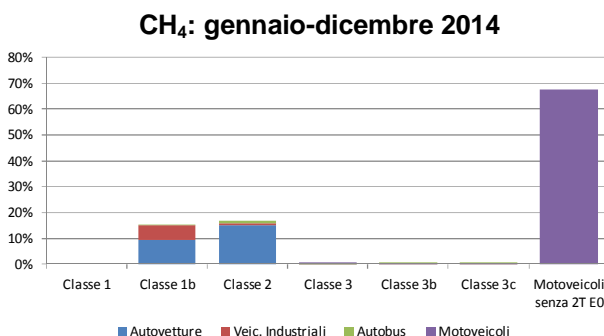
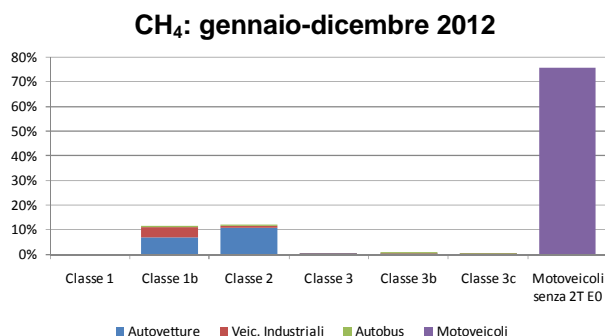


3.8 Anidride carbonica

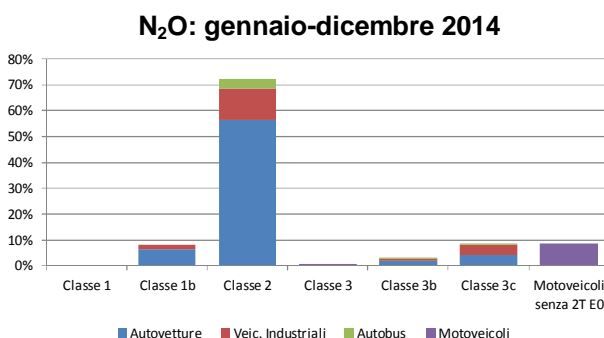
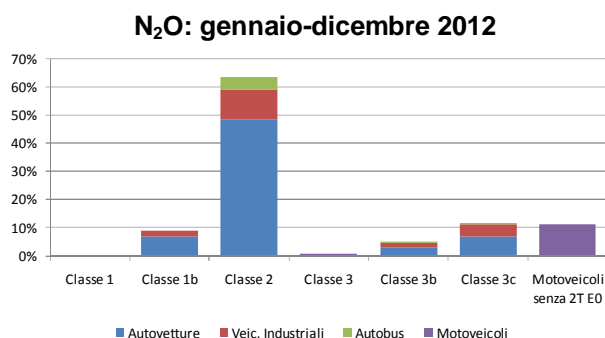


Il contributo emissivo complessivo di anidride carbonica da traffico in 'Area C' è dovuto prevalentemente ai veicoli appartenenti alla Classe 2, all'interno della quale contribuiscono soprattutto le autovetture a motivo delle maggiori percorrenze complessive rispetto alle altre tipologie veicolari. Non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

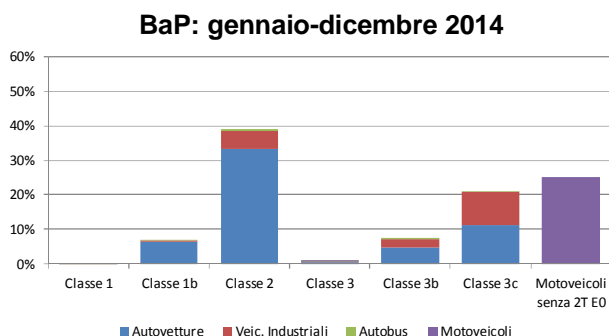
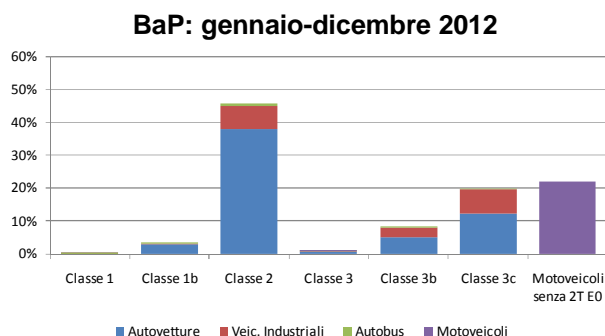
3.9 Metano e protossido d'azoto



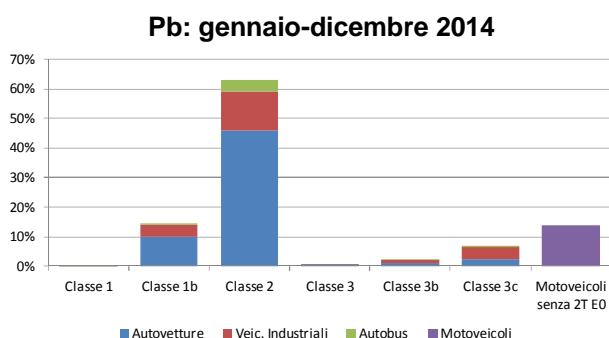
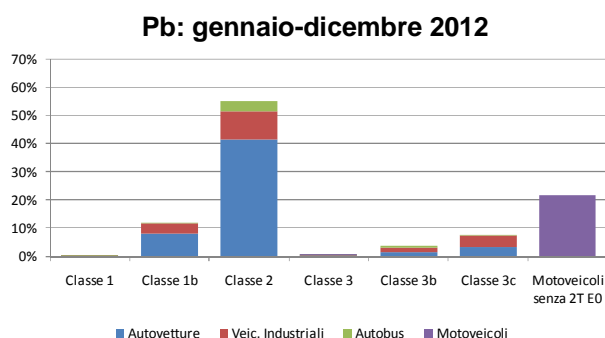
Per quanto riguarda le emissioni atmosferiche in 'Area C' degli altri due gas climalteranti qui esaminati, il contributo prevalente è dovuto ai motocicli nel caso del metano (*grafici sopra*) e ai veicoli appartenenti alla Classe 2, soprattutto autovetture, nel caso del protossido d'azoto (*grafici sotto*).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



3.10 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 appartenenti a questa categoria. Rispetto alla ripartizione percentuale del 2012 non si notano sostanziali differenze.

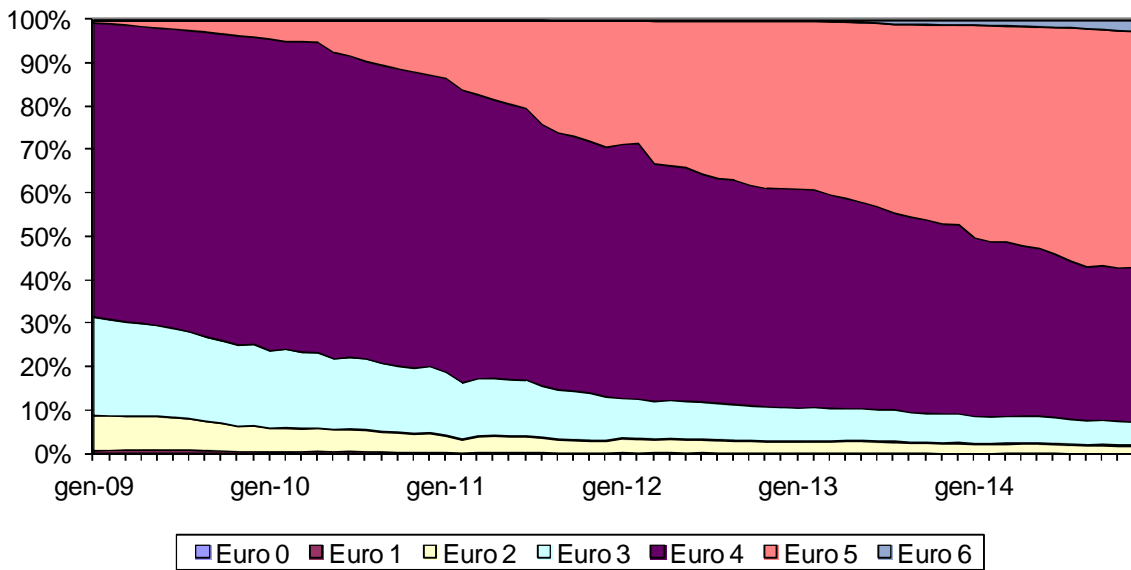


4. SERIE STORICA DELLA RIPARTIZIONE VEICOLARE IN 'AREA C'

Prima di affrontare le successive analisi sulle emissioni atmosferiche da traffico stradale 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.

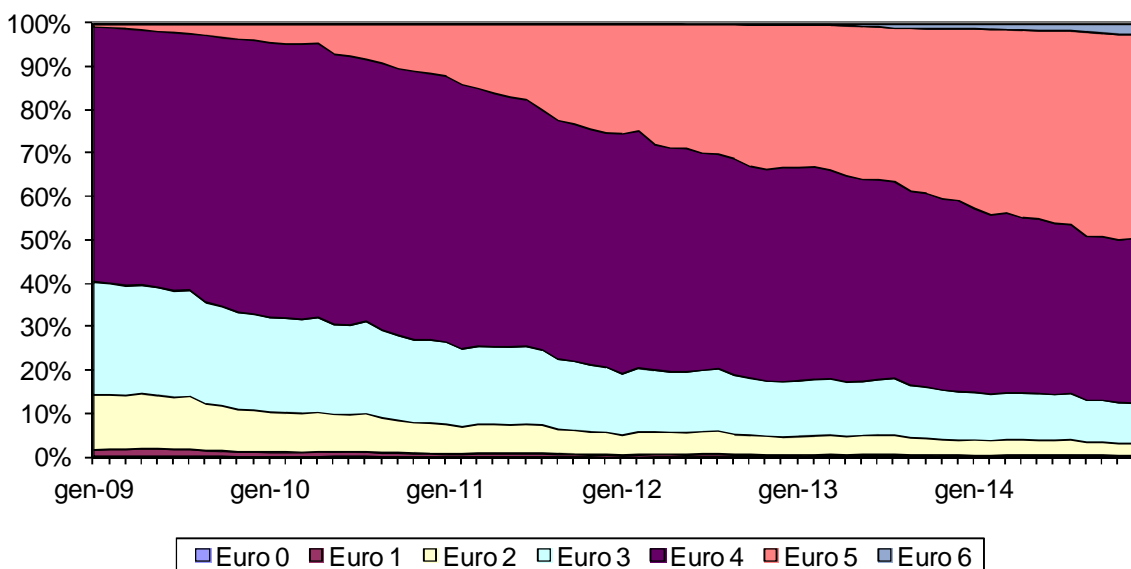
Nella sottostante figura è riportato l'andamento temporale della ripartizione percentuale degli accessi alla ZTL Bastioni, suddivisi per classe tecnologica Euro. L'andamento si riferisce alla fascia oraria diurna dei giorni feriali con provvedimenti di limitazione della circolazione vigenti. Si può vedere 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, da ottobre 2013, la classe tecnologica maggiormente diffusa. Dal 2013 compaiono anche gli autoveicoli Euro 6, il cui numero di accessi nel 2014 è in decisa crescita e a dicembre risulta già superiore alla totalità degli accessi di Euro 0, Euro 1 ed Euro 2.

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 presenza di autoveicoli di classe tecnologica Euro 5 o Euro 6 sia inferiore rispetto a quanto rilevato durante la fascia diurna dei giorni feriali.

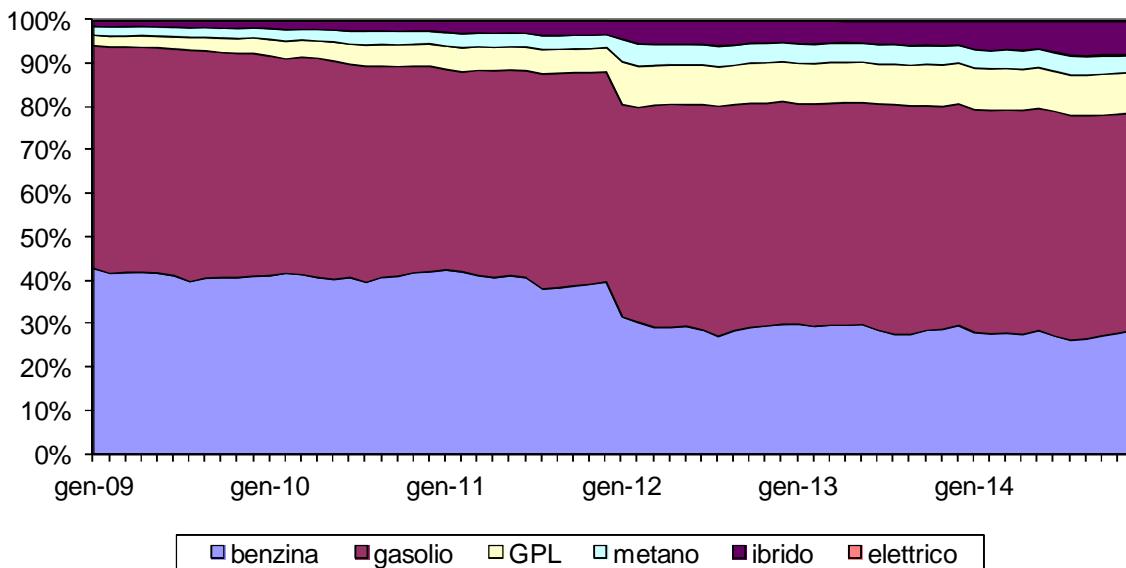
RIPARTIZIONE ACCESSI AUTOVEICOLI ZTL BASTIONI - PREFESTIVI



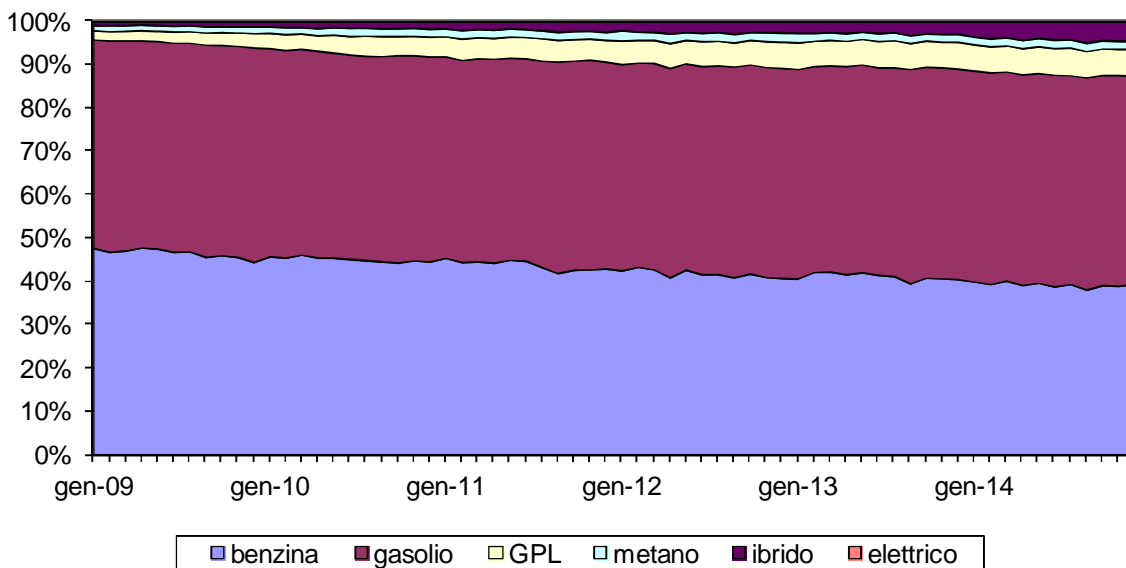
Nei due grafici sottostanti, infine, sono riportati gli andamenti temporali della ripartizione percentuale degli accessi alla ZTL Bastioni, suddivisi per alimentazione, e relativi

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 ibrido e GPL, a scapito principalmente degli autoveicoli endotermici a benzina.

RIPARTIZIONE ACCESSI AUTOVEICOLI ZTL BASTIONI - FASCIA DIURNA



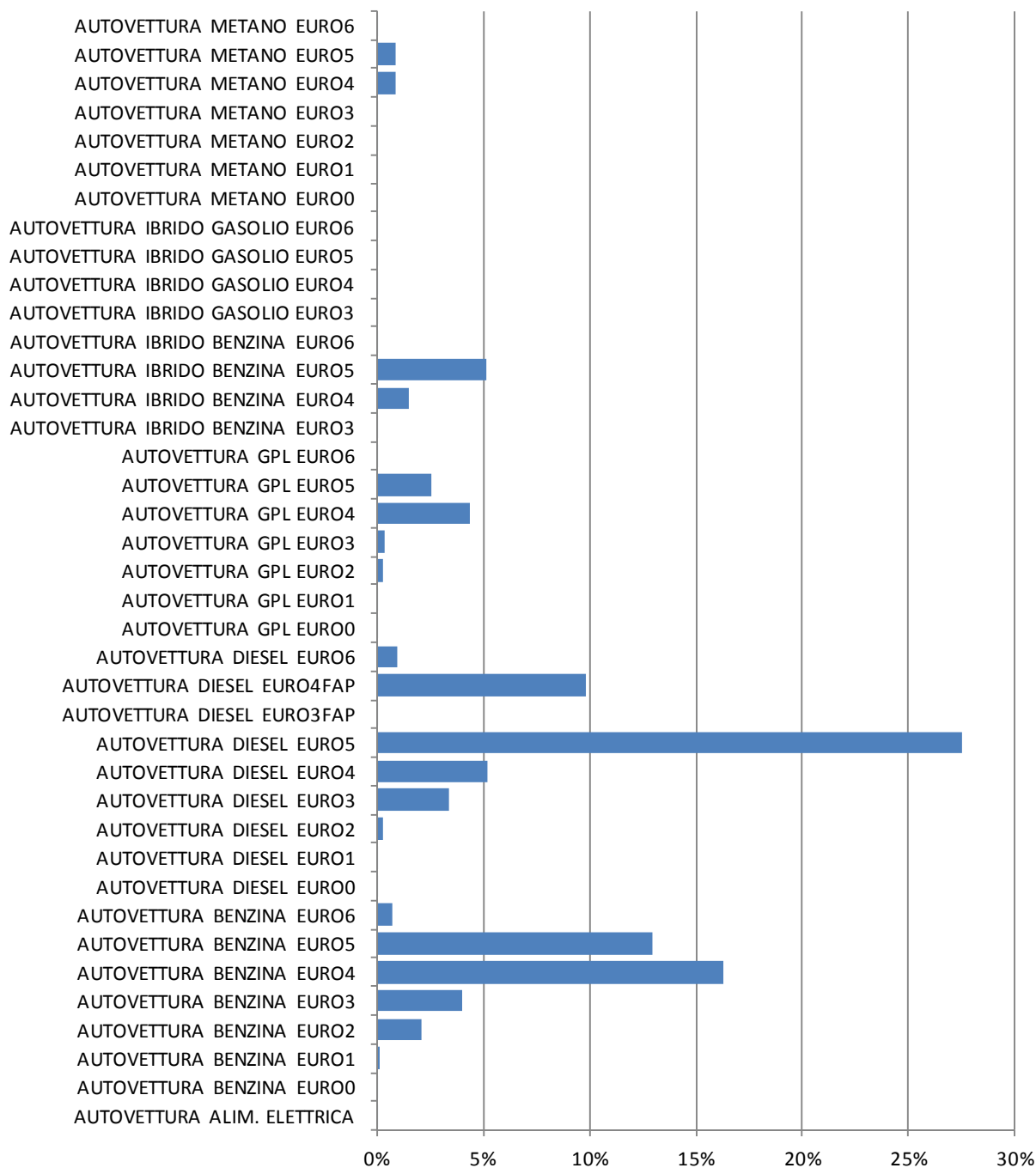
RIPARTIZIONE ACCESSI AUTOVEICOLI ZTL BASTIONI - PREFESTIVI



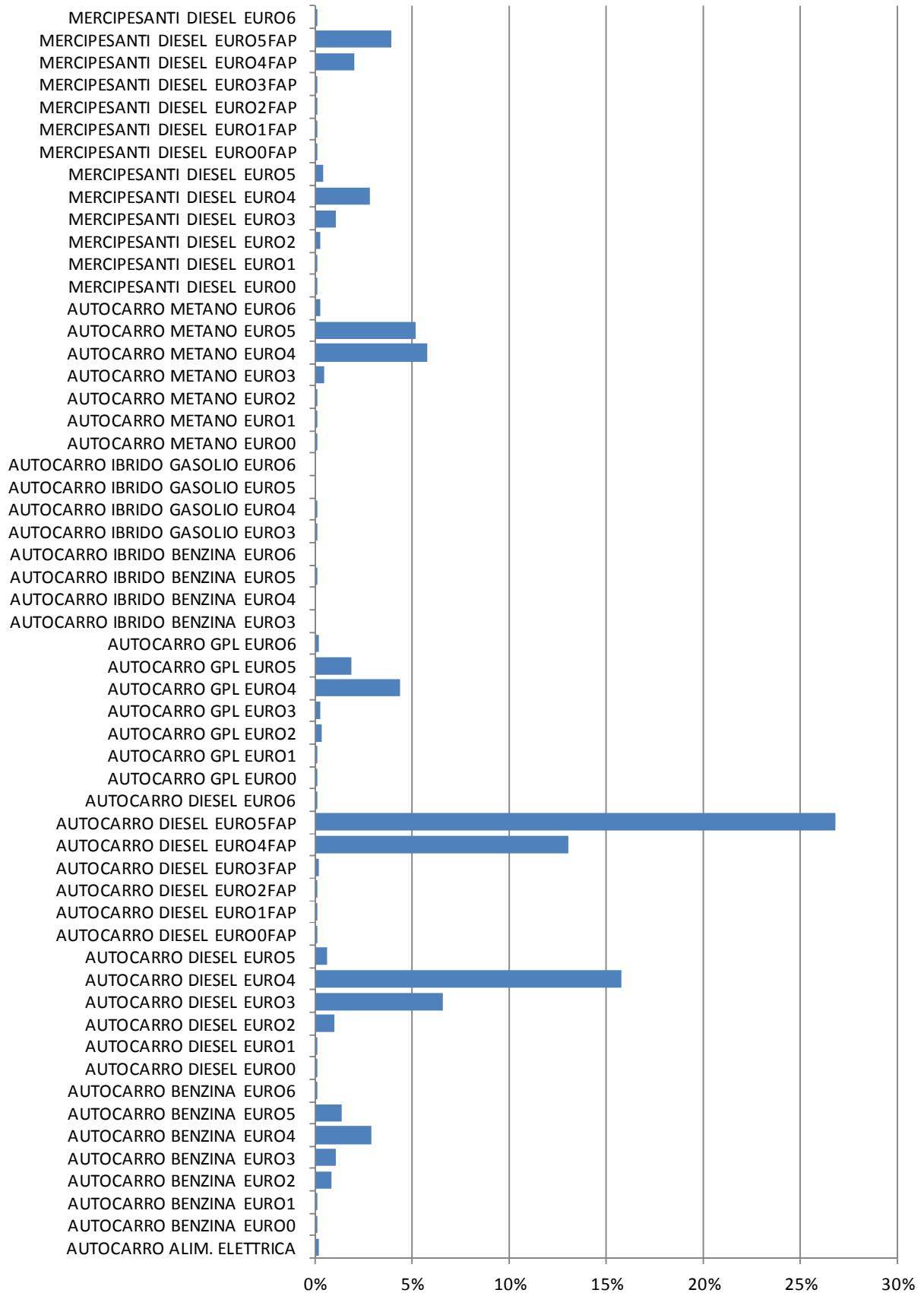
Dal punto di vista delle classi veicolari di dettaglio, mediamente nel corso dell'intero anno 2014 è stata la tecnologia diesel Euro 5 ad essere risultata, tra le autovetture, la più frequente ai varchi di 'Area C', seguita dai motori a benzina Euro 4.

Tra i veicoli industriali, invece, la tecnologia più frequente è il diesel Euro 5 con dispositivo antiparticolato, seguita dal diesel Euro 4.

Autovetture - frequenza media di accesso ai varchi Area c nel 2014



Autocarri - frequenza media di accesso ai varchi Area c nel 2014



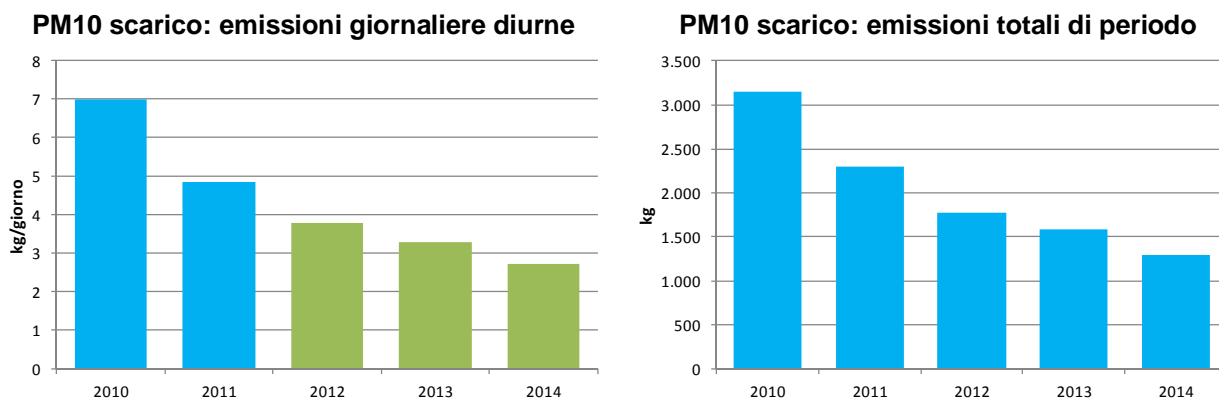
5. SERIE STORICA DELLE EMISSIONI

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 – dicembre. 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, le cui emissioni sono espresse in tonnellate, e per il Benzo(a)pirene ed i metalli pesanti, le cui emissioni sono espresse in grammi.

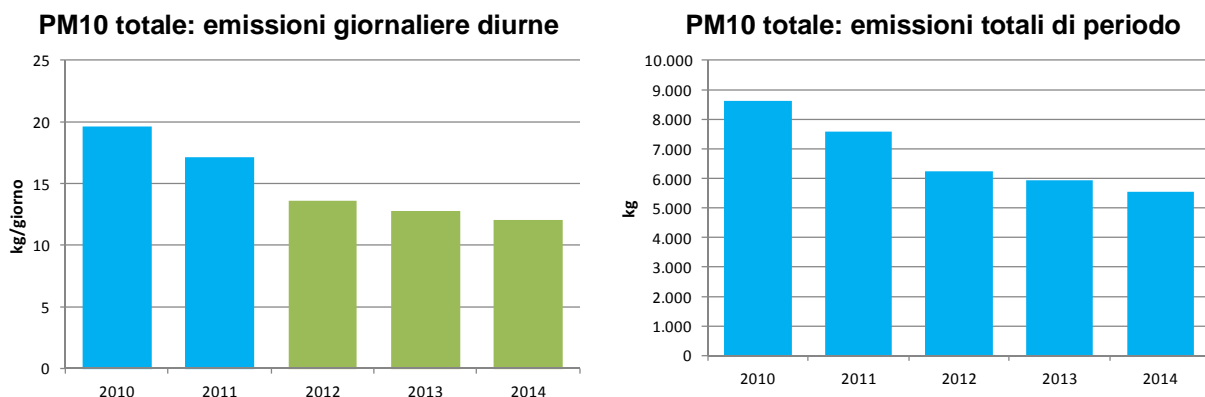
Nei grafici delle emissioni medie giornaliere diurne, i dati relativi al periodo di applicazione di 'Area C' sono riportati in colore verde.

5.1 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 61% e le emissioni totali di periodo del 59%. Il progressivo ricambio del parco veicolare circolante e le politiche di limitazione della circolazione di veicoli caratterizzati da alte emissioni di particolato atmosferico allo scarico fanno sì che il trend di decrescita sia continuato anche nel 2014.

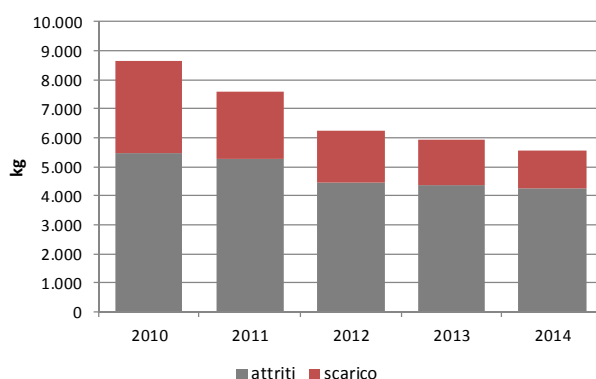
5.2 PM10 totale – scarico e attriti



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 39% e le emissioni totali di periodo del 36%.

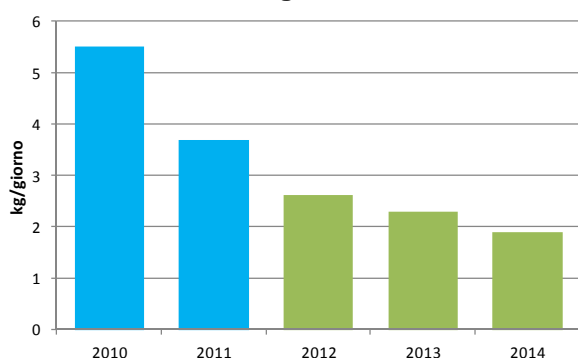
A differenza del PM10 allo scarico, il trend del PM10 totale mostra un'evidente discontinuità nel 2012, in concomitanza con l'introduzione del provvedimento 'Area C' che ha indotto una forte diminuzione del numero di autoveicoli in ingresso alla ZTL Bastioni. Poiché la maggior parte del PM10 totale da 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 nel 2013 e nel 2014, quest'ultima legata esclusivamente alla diminuzione delle emissioni di particolato allo scarico.

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

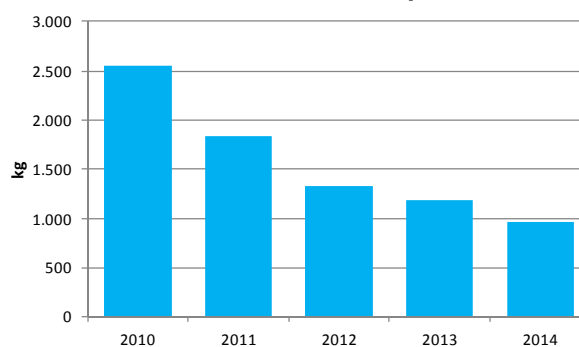


5.3 Carbonio Elementare – scarico e attriti

EC: emissioni giornaliere diurne



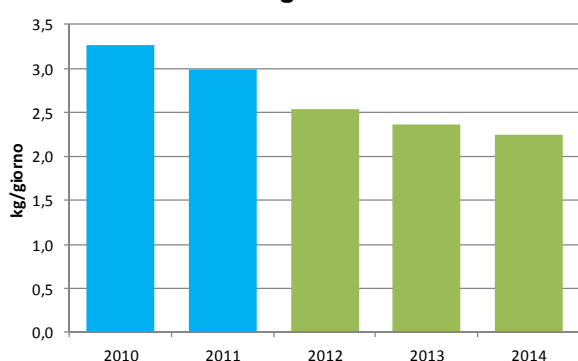
EC: emissioni totali di periodo



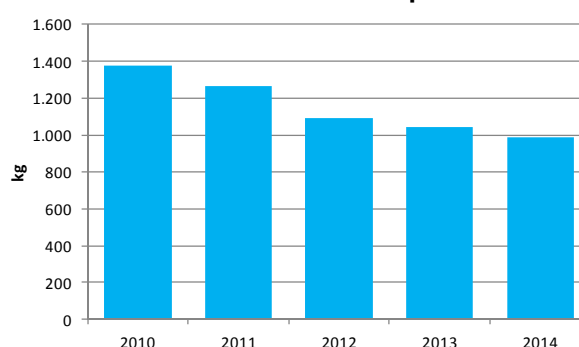
Le emissioni di Carbonio Elementare contenuto nel PM10 totale da traffico (scarico e attriti meccanici) presentano un trend di decrescita del tutto simile a quello del PM10 allo scarico, con percentuali di riduzione anche superiori. Ciò è dovuto al fatto che la maggior parte di Carbonio Elementare dovuto 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 66% e le emissioni totali di periodo del 62%.

5.4 Carbonio Organico – scarico e attriti

OC: emissioni giornaliere diurne



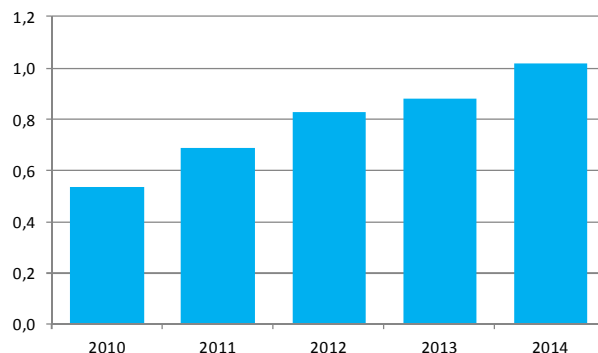
OC: emissioni totali di periodo



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 di OC si sono ridotte del 31% e le emissioni totali di periodo del 28%.

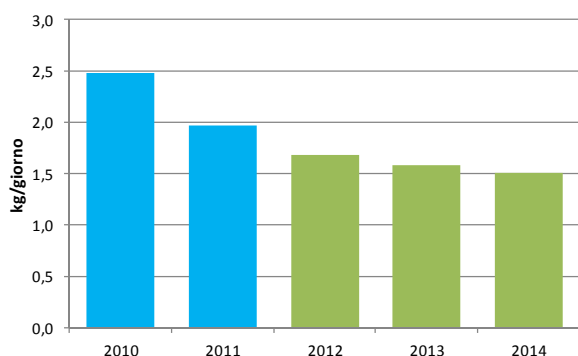
Il fatto che le emissioni di Carbonio Organico si stiano riducendo meno velocemente di quelle di Carbonio Elementare fa sì che il rapporto OC/EC primario, calcolato sulle emissioni da traffico in 'Area C' e legate allo scarico e agli attriti meccanici, stia progressivamente crescendo nel tempo (si veda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

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

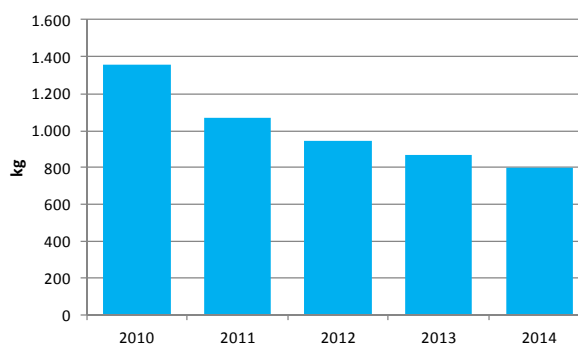


5.5 Ammoniaca

NH₃: emissioni giornaliere diurne



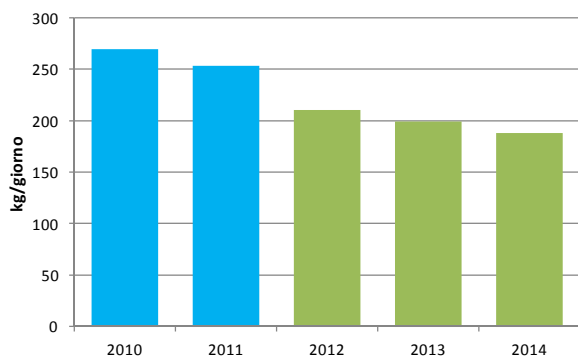
NH₃: emissioni totali di periodo



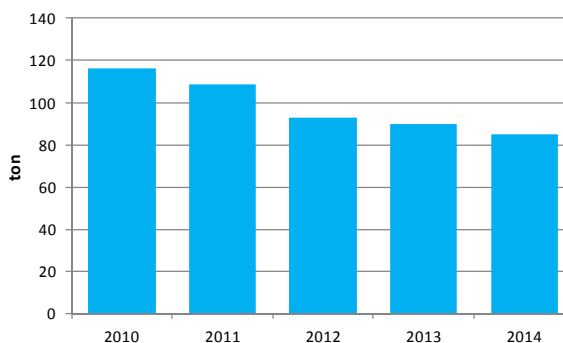
Le emissioni di ammoniaca atmosferica dovute al traffico circolante stanno continuando a decrescere, sia come media giornaliera diurna sia come totale di periodo: rispetto al 2010, infatti, le emissioni medie giornaliere diurne di ammoniaca si sono ridotte del 39% e le emissioni totali di periodo del 41%. Il progressivo ricambio del parco veicolare circolante e le politiche di razionalizzazione dell'utilizzo nella ZTL Bastioni di veicoli caratterizzati da alte emissioni di ammoniaca fanno sì che il trend di decrescita sia continuato anche nel 2014.

5.6 Ossidi totali d'azoto

NO_x: emissioni giornaliere diurne

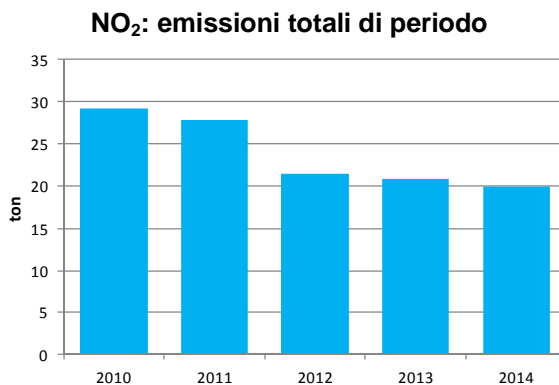
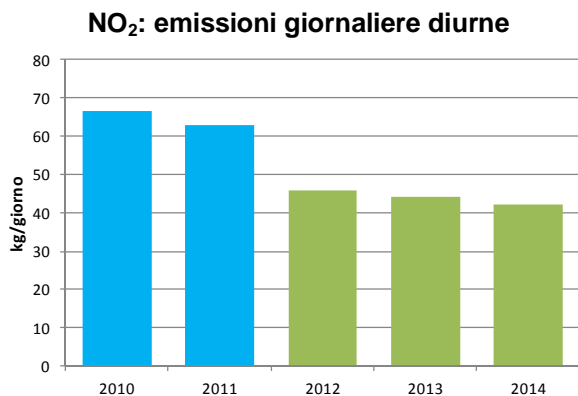


NO_x: emissioni totali di periodo



Anche le emissioni di ossidi totali d'azoto dovute al traffico circolante in 'Area C' stanno diminuendo, anche se in maniera un po' meno marcata rispetto ad altri inquinanti rilasciati allo scarico: rispetto al 2010, infatti, le emissioni medie giornaliere diurne di NOx si sono ridotte del 30% e le emissioni totali di periodo del 27%. Ciò è dovuto al fatto che il ricambio delle flotte stradali sta favorendo più lentamente la riduzione delle emissioni di NOx, emessi soprattutto dai veicoli a combustione interna alimentati a gasolio di recente tecnologia.

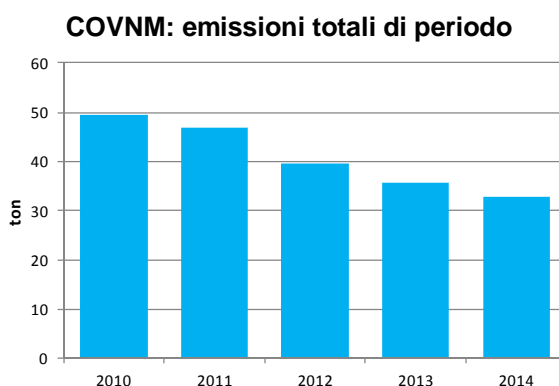
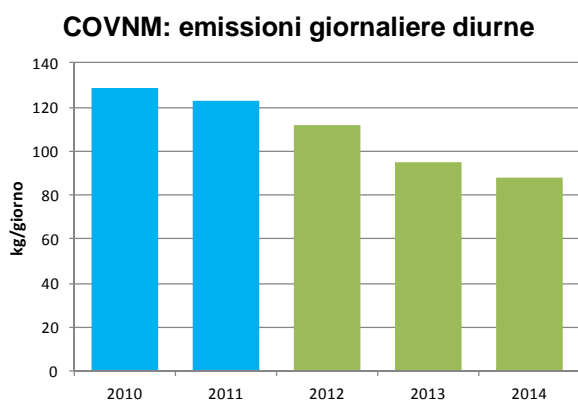
5.7 *Biossido d'azoto*



Ancora più lenta rispetto agli NOx risulta la riduzione delle emissioni di biossido d'azoto dovute al traffico circolante in 'Area C' negli ultimi tre anni (-7% sulle emissioni totali di periodo dal 2012 al 2014). Le motivazioni sono le medesime già illustrate per gli NOx, alle quali va aggiunto anche il fatto che le emissioni specifiche di NO₂ di autoveicoli leggeri diesel, soprattutto di tecnologia Euro 4 ma anche Euro 3 ed 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 NO₂ si sono ridotte del 36% e le emissioni totali di periodo del 32%.

5.8 *Composti Organici Volatili Non Metanici*

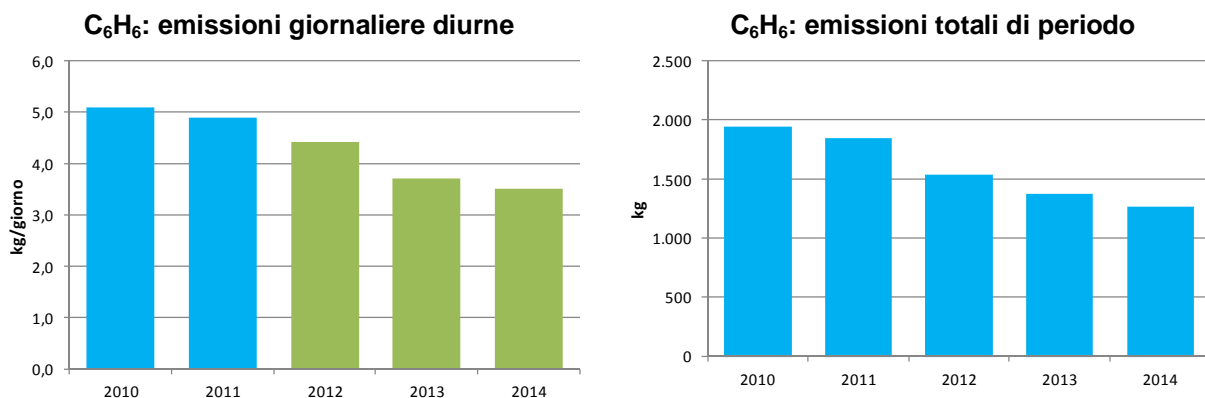


Le emissioni di composti organici volatili non metanici dovute al traffico circolante in 'Area C' nel 2014 sono risultate in diminuzione rispetto al 2012 a motivo delle fluttuazioni delle percorrenze dei motoveicoli e della riduzione delle percorrenze degli

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 31% e le emissioni totali di periodo del 34%.

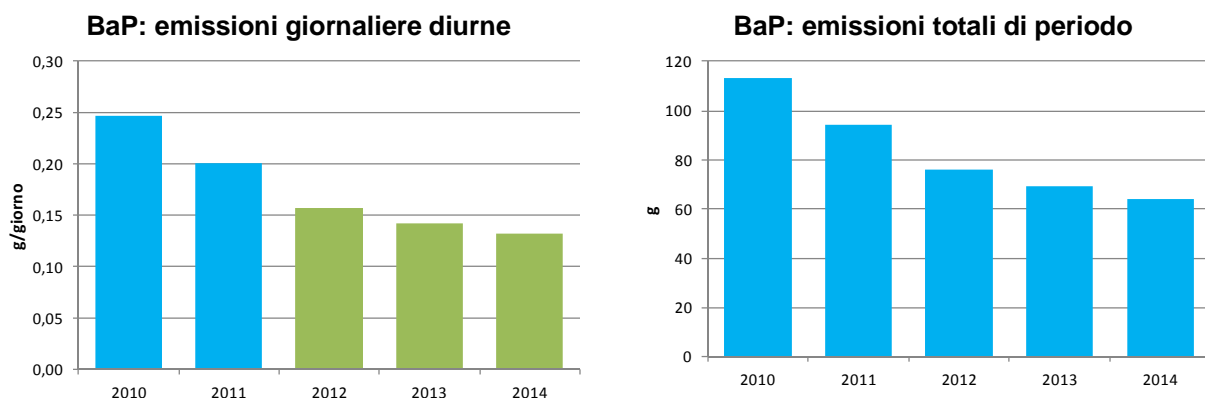
5.9 Benzene



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, per le medesime motivazioni.

Rispetto al 2010, le emissioni medie giornaliere diurne di benzene si sono ridotte del 31% e le emissioni totali di periodo del 35%.

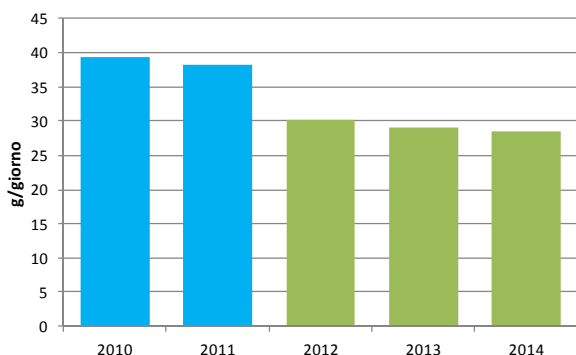
5.10 Benzo(a)pirene



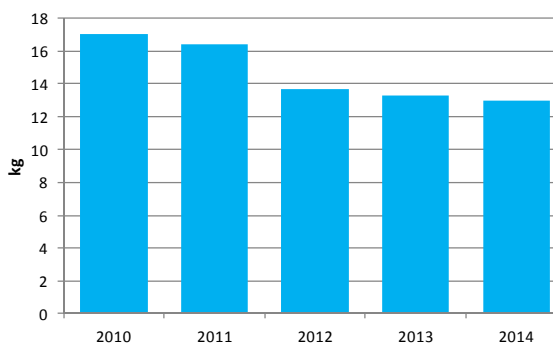
Le emissioni di benzo(a)pirene dovute al traffico circolante stanno continuando a decrescere, sia come media giornaliera diurna sia come totale di periodo: rispetto al 2010, infatti, le emissioni medie giornaliere diurne di benzo(a)pirene si sono ridotte del 46% e le emissioni totali di periodo del 43%. 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.

5.11 Metalli pesanti

As+Cd+Ni+Pb: emissioni giornaliere diurne



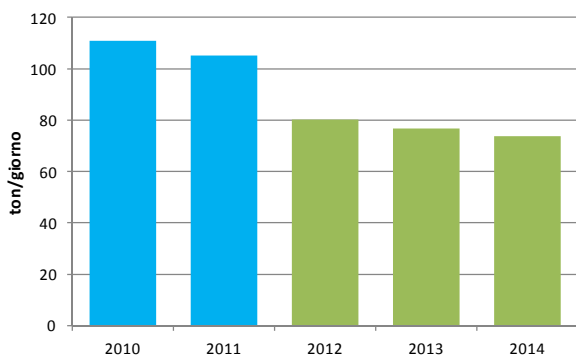
As+Cd+Ni+Pb: emissioni totali di periodo



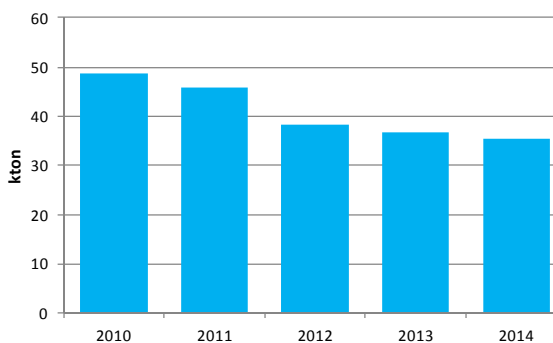
Per quanto riguarda i metalli pesanti assoggettati a controllo dalla normativa vigente (Arsenico, Cadmio, Nickel, Piombo, ma per gli altri metalli la situazione è del tutto analoga), si può vedere come le relative emissioni siano solo in leggera diminuzione negli ultimi tre anni, con una brusca diminuzione solo dal 2011 al 2012. Ciò è dovuto al fatto che le emissioni di metalli pesanti sono prevalentemente dovute ai fenomeni di attrito, e una loro significativa diminuzione (-26% sulle emissioni medie giornaliere diurne e -24% sulle emissioni totali di periodo rispetto al 2010) si è avuta solo a seguito dell'introduzione di 'Area C'.

5.12 Anidride carbonica

CO₂: emissioni giornaliere diurne



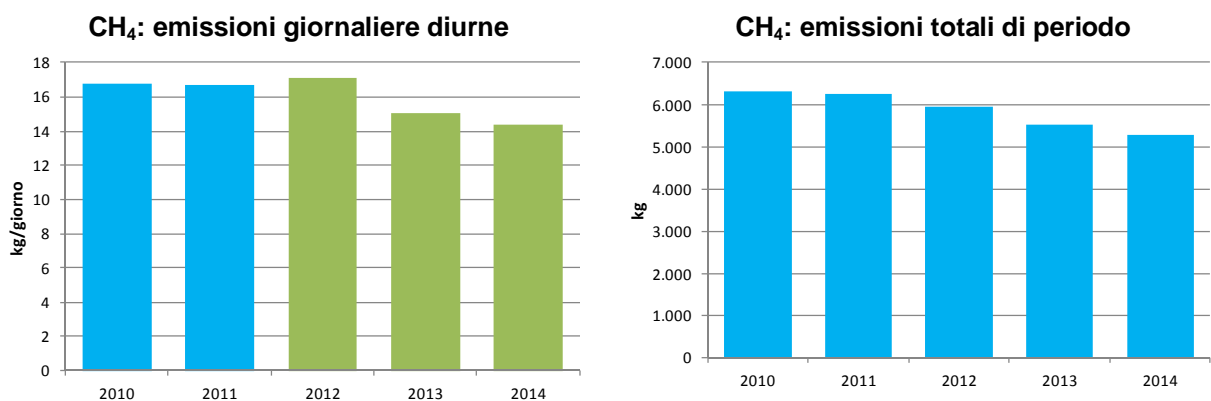
CO₂: emissioni totali di periodo



Le emissioni di anidride carbonica dovute al traffico circolante in 'Area C' sono in leggera diminuzione anche dal 2012 in avanti. La riduzione 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 CO₂ si sono ridotte del 33% e le emissioni totali di periodo del 28%.

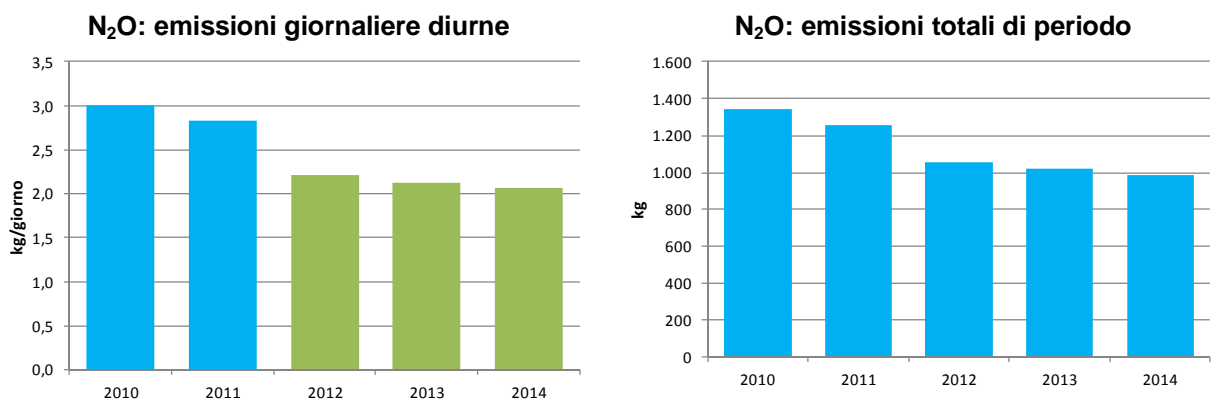
5.13 Metano



Le emissioni di metano dovute al traffico circolante in 'Area C' appaiono in diminuzione rispetto a quelle del 2012. L'aumento delle emissioni di metano nel 2012 è legato ad un incremento dell'utilizzo di autoveicoli (soprattutto commerciali) alimentati a metano ed un utilizzo superiore alla media degli altri anni di motoveicoli.

Rispetto al 2010, le emissioni medie giornaliere diurne di metano si sono ridotte del 14% e le emissioni totali di periodo del 16%.

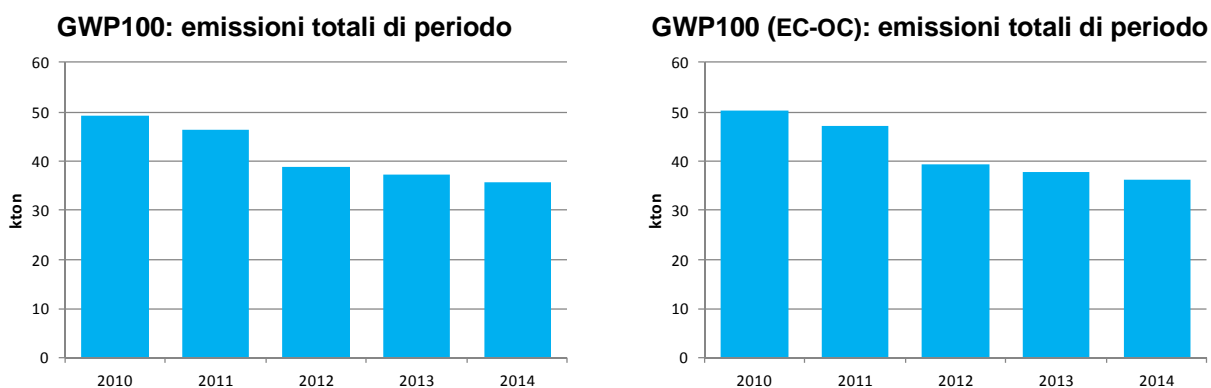
5.14 Protossido d'azoto



Le emissioni di protossido d'azoto dovute al traffico circolante in 'Area C' sono solo in leggera diminuzione rispetto a quelle del 2012. 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 N₂O 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 31% e le emissioni totali di periodo del 26%.

5.15 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_{2eq}.

Facendo riferimento al 5th 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 34 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 CO₂: rispetto al 2010, riduzione del 28% 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 4th 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 ed 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 e Carbonio (*figura sopra, a destra*), presenta un andamento ancora del tutto simile a quello dell'anidride carbonica, con un'analogia riduzione delle emissioni totali equivalenti di periodo (-28% dal 2010 al 2014).

6. RIEPILOGO EMISSIONI MENSILI DA TRAFFICO IN AREA C

Nelle seguenti tabelle sono riportate le serie storiche delle emissioni atmosferiche mensili totali da traffico stradale circolante in 'Area C' per i principali inquinanti sopra esaminati. 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. Eventuali lievi scostamenti del totale annuo rispetto alla somma dei valori mensili sono dovuti ad arrotondamenti numerici.

PM10 allo scarico (kg)					
	2010	2011	2012	2013	2014
Gennaio	326	254	177	159	136
Febbraio	322	211	171	150	124
Marzo	337	238	170	160	126
Aprile	293	206	143	142	107
Maggio	271	203	174	146	118
Giugno	221	172	130	118	97
Luglio	197	161	125	112	97
Agosto	107	104	72	63	43
Settembre	233	162	148	126	109
Ottobre	265	193	145	127	107
Novembre	260	200	167	142	120
Dicembre	316	199	154	142	114
TOTALE	3.146	2.304	1.775	1.586	1.298

PM10 totale (kg)					
	2010	2011	2012	2013	2014
Gennaio	765	705	550	530	504
Febbraio	790	658	527	497	480
Marzo	847	728	588	554	520
Aprile	769	672	499	497	451
Maggio	775	694	602	561	521
Giugno	689	612	497	486	450
Luglio	647	599	506	485	462
Agosto	356	355	279	261	199
Settembre	721	621	578	526	512
Ottobre	768	666	527	505	482
Novembre	721	652	577	528	522
Dicembre	789	638	508	503	462
TOTALE	8.637	7.599	6.237	5.935	5.565

Carbonio Elementare nel PM10 totale (kg)					
	2010	2011	2012	2013	2014
Gennaio	272	209	137	121	105
Febbraio	268	172	134	114	96
Marzo	276	193	127	124	95
Aprile	235	160	111	106	78
Maggio	218	156	124	107	85
Giugno	173	136	92	84	69
Luglio	152	125	88	78	70
Agosto	84	79	53	46	33
Settembre	184	125	109	90	78
Ottobre	216	153	104	93	78
Novembre	214	163	124	106	92
Dicembre	265	163	118	108	88
TOTALE	2.556	1.834	1.323	1.179	968

Carbonio Organico nel PM10 totale (kg)					
	2010	2011	2012	2013	2014
Gennaio	114	110	92	89	85
Febbraio	120	105	86	84	82
Marzo	132	117	103	93	91
Aprile	124	115	85	86	81
Maggio	126	120	109	100	95
Giugno	117	104	92	89	83
Luglio	112	103	94	90	84
Agosto	59	62	49	46	35
Settembre	121	108	103	96	94
Ottobre	123	112	95	90	87
Novembre	112	105	100	92	90
Dicembre	117	101	85	85	79
TOTALE	1.376	1.262	1.093	1.040	985

Ammoniaca (kg)					
	2010	2011	2012	2013	2014
Gennaio	122	105	83	76	72
Febbraio	126	85	77	69	67
Marzo	131	102	88	81	76
Aprile	120	97	77	72	65
Maggio	125	104	88	84	77
Giugno	116	93	76	73	66
Luglio	112	88	79	73	66
Agosto	58	63	52	44	32
Settembre	114	86	90	77	71
Ottobre	116	86	77	72	67
Novembre	102	80	84	74	74
Dicembre	109	80	75	72	66
TOTALE	1.352	1.069	945	866	799

Ossidi totali di azoto (kg)					
	2010	2011	2012	2013	2014
Gennaio	9.513	9.149	7.800	7.666	7.532
Febbraio	10.286	9.334	7.585	7.356	7.286
Marzo	11.209	10.072	8.865	8.369	7.855
Aprile	10.514	9.621	7.671	7.440	6.997
Maggio	10.971	10.026	9.305	8.588	8.047
Giugno	9.835	8.988	7.525	7.501	6.986
Luglio	9.025	8.899	7.649	7.546	7.139
Agosto	5.401	4.972	4.534	4.440	3.243
Settembre	9.922	9.335	8.707	8.049	7.948
Ottobre	10.406	9.868	7.830	7.625	7.424
Novembre	9.461	9.512	8.448	7.829	7.891
Dicembre	9.863	9.221	7.250	7.310	6.624
TOTALE	116.405	108.997	93.169	89.716	84.973

Biossido d'azoto (kg)					
	2010	2011	2012	2013	2014
Gennaio	2.509	2.358	1.828	1.842	1.842
Febbraio	2.618	2.377	1.815	1.766	1.784
Marzo	2.833	2.596	2.002	1.980	1.860
Aprile	2.579	2.369	1.778	1.734	1.603
Maggio	2.681	2.451	2.080	1.956	1.817
Giugno	2.326	2.230	1.656	1.666	1.582
Luglio	2.185	2.242	1.698	1.660	1.633
Agosto	1.293	1.188	995	955	737
Settembre	2.441	2.371	1.982	1.809	1.810
Ottobre	2.636	2.562	1.774	1.759	1.705
Novembre	2.460	2.558	1.982	1.865	1.908
Dicembre	2.658	2.525	1.771	1.777	1.648
TOTALE	29.219	27.826	21.362	20.771	19.928

Composti organici volatili non metanici (kg)					
	2010	2011	2012	2013	2014
Gennaio	3.739	3.944	3.056	2.870	2.530
Febbraio	3.893	3.643	2.563	2.585	2.368
Marzo	4.511	4.060	3.954	2.958	3.014
Aprile	4.518	4.498	2.706	2.911	2.822
Maggio	4.550	4.757	4.653	3.435	3.452
Giugno	4.534	3.682	3.771	3.394	3.038
Luglio	4.458	3.936	3.937	3.715	2.998
Agosto	2.110	2.719	1.504	1.455	949
Settembre	4.575	4.124	3.671	3.586	3.355
Ottobre	4.467	4.304	3.721	3.149	3.088
Novembre	4.015	3.717	3.504	2.937	2.701
Dicembre	4.265	3.582	2.641	2.606	2.406
TOTALE	49.635	46.967	39.680	35.601	32.721

Benzene (kg)					
	2010	2011	2012	2013	2014
Gennaio	147	156	117	109	96
Febbraio	152	143	95	98	89
Marzo	178	159	154	112	116
Aprile	179	179	102	113	111
Maggio	179	187	185	134	136
Giugno	178	143	148	133	118
Luglio	172	153	152	143	116
Agosto	81	105	56	54	36
Settembre	180	160	143	141	132
Ottobre	175	171	146	123	121
Novembre	157	148	136	114	104
Dicembre	165	143	100	100	93
TOTALE	1.944	1.847	1.536	1.373	1.267

Anidride carbonica (ton)					
	2010	2011	2012	2013	2014
Gennaio	3.963	3.976	3.379	3.269	3.212
Febbraio	4.186	3.863	3.208	3.066	3.070
Marzo	4.504	4.238	3.512	3.461	3.242
Aprile	4.115	3.913	3.024	3.039	2.776
Maggio	4.449	4.202	3.734	3.430	3.202
Giugno	4.064	3.816	3.000	2.988	2.866
Luglio	3.865	3.713	3.166	3.063	2.977
Agosto	2.136	2.112	1.807	1.692	1.324
Settembre	4.243	3.899	3.600	3.266	3.222
Ottobre	4.528	4.084	3.185	3.122	3.021
Novembre	4.266	4.063	3.516	3.269	3.387
Dicembre	4.413	4.016	3.151	3.165	2.994
TOTALE	48.733	45.894	38.281	36.829	35.295

Metano (kg)					
	2010	2011	2012	2013	2014
Gennaio	445	514	453	440	401
Febbraio	482	495	385	395	381
Marzo	561	534	596	454	481
Aprile	593	611	409	451	458
Maggio	590	638	655	540	559
Giugno	602	506	572	534	480
Luglio	580	531	573	548	480
Agosto	285	344	233	231	158
Settembre	610	558	574	572	547
Ottobre	571	563	570	500	498
Novembre	506	497	543	472	445
Dicembre	486	466	398	407	389
TOTALE	6.312	6.255	5.962	5.545	5.278

Protossido d'azoto (kg)					
	2010	2011	2012	2013	2014
Gennaio	110	108	91	91	90
Febbraio	116	107	88	85	87
Marzo	125	117	99	96	92
Aprile	115	110	86	85	79
Maggio	123	114	99	96	91
Giugno	110	102	83	83	79
Luglio	104	101	86	82	81
Agosto	57	57	48	44	35
Settembre	116	106	99	90	90
Ottobre	124	113	89	87	85
Novembre	116	112	99	92	94
Dicembre	124	111	88	88	83
TOTALE	1.341	1.257	1.055	1.019	986