

INDICE

INDICE	1
---------------	----------

INTRODUZIONE	3
---------------------	----------

CAPITOLO 1 – METODO E MATERIALI	15
----------------------------------------	-----------

1.1 PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DEL MODELLO COPERT III

1.2 INPUT RICHIESTI DAL MODELLO

1.3 MODIFICHE AL MODELLO

1.3.1 I VEICOLI A METANO

1.3.2 LE POLVERI PM10

CAPITOLO 2 – RISULTATI	34
-------------------------------	-----------

2.1 IL BILANCIO DEL CARBURANTE

2.2 I FATTORI DI EMISSIONE

2.3 LE EMISSIONI

CAPITOLO 3 – SCENARIO FUTURO	59
-------------------------------------	-----------

3.1 LE AUTOVETTURE

3.2 I VEICOLI TRASPORTO MERCI

3.3 GLI AUTOBUS

3.4I MOTOCICLI

3.5 EMISSIONI DEL PARCO VEICOLARE 2010

DISCUSSIONE **94**

CONCLUSIONI **105**

BIBLIOGRAFIA E SITI INTERNET CONSULTATI **108**

ALLEGATO A

FATTORI DI EMISSIONI **I**

ALLEGATO B

EMISSIONI 2004/2010 **XXIII**

ALLEGATO C

FATTORI DI EMISSIONE ED EMISSIONI DELLE MODIFICHE AL MODELLO **LXXIII**

INTRODUZIONE

Nel corso della storia l'uomo ha sempre utilizzato le risorse a propria disposizione in modo pressoché indiscriminato, senza curarsi minimamente delle particolari ricadute ambientali che poteva avere la sua presenza nell'ambito dei vari cicli naturali. L'inquinamento ambientale è sempre andato di pari passo con l'evoluzione della cosiddetta civiltà. Un tempo la popolazione umana era comunque molto meno rappresentata e l'impatto ambientale risultava praticamente ininfluenza, almeno in ambito globale. Ora, purtroppo, l'enorme incremento demografico e l'addensamento abitativo in alcune specifiche zone comporta un'azione inquinante a livello locale e mondiale notevolmente più elevata, estremamente preoccupante e spesso particolarmente nociva sia per l'uomo che per l'ambiente. L'inquinamento atmosferico maggiore è quello che l'uomo produce per soddisfare le proprie necessità civili ed industriali. I vari processi di combustione utilizzati per cuocere i cibi, per riscaldarsi, per alimentare i veicoli a motore e i macchinari producono gli inquinanti più diffusi. L'inquinamento dell'aria di origine antropogenica si sprigiona dalle grandi sorgenti fisse (industrie, impianti per la produzione di energia elettrica ed inceneritori), da piccole sorgenti fisse (impianti per il riscaldamento domestico) e da sorgenti mobili (il traffico veicolare). Quando si parla di inquinamento urbano la componente legata al traffico veicolare assume

un peso sempre maggiore. Secondo una serie di studi e valutazioni condotte dalle agenzie ambientali europee e nazionale, il trasporto su strada contribuisce mediamente in Europa al 51% delle emissioni degli ossidi di azoto, al 34% di quelle dei composti organici volatili e al 65% di quelle del monossido di carbonio. I due principali inquinanti secondari, le polveri fini e l'ozono, che sono prodotti attraverso una serie complessa di reazioni chimiche dai tre inquinanti prima citati, sono imputabili anch'essi in misura preponderante al traffico su strada. Un'analisi dello scenario mondiale della mobilità passa necessariamente attraverso elementi molto diversi tra loro (ambientali, socio-politici, energetici, ecc.). In particolare il problema principale nelle città italiane è legato soprattutto al numero di veicoli per abitante: infatti 587 veicoli ogni 1000 abitanti (contro i 457 della media europea) pongono l'Italia ai vertici della motorizzazione mondiale e indicano un futuro in cui le vendite serviranno sostanzialmente a coprire il ricambio fisiologico del parco auto. In particolare, il processo di rinnovamento sta garantendo, già dal 1993, una riduzione dei principali inquinanti convenzionali come ossidi di azoto, anidride solforosa e monossido di carbonio, ma questo non risulta sufficiente al raggiungimento di una buona qualità della vita urbana.

Visto il crescente riscontro da parte della popolazione e degli organi politici in materia di inquinamento atmosferico da traffico veicolare in ambiti urbani, sono necessari interventi atti al miglioramento della qualità dell'aria. Tra i diversi settori dell'attività umana, il trasporto presenta le maggiori sfide e difficoltà rispetto agli obiettivi posti da un approccio sostenibile allo sviluppo, non a caso rappresentando il principale fattore

di pressione in termini di emissioni in atmosfera per molti inquinanti, oltre ad essere all'origine di fenomeni di congestione. D'altro canto, è altresì noto che la gestione ambientale della mobilità presenta difficoltà aggiuntive rispetto a quelle legate a "gruppi bersaglio" più accessibili (ad esempio i grandi impianti industriali), per i quali i tradizionali strumenti dell'approccio command and control sono stati applicati con successo in quanto chiaramente individuabili e ben distinti dal contesto che ne subisce le pressioni ambientali. Per questi motivi è necessario applicare al comparto del traffico strumenti diversi che, in qualche modo, superino le difficoltà legate ad una maggiore dispersione sul territorio, una minore facilità di reperire informazioni ed una forte difficoltà di controllo. Prima di poter pianificare delle azioni d'intervento è necessario conoscere quella che è l'entità reale del problema da affrontare; quando si parla di inquinamento atmosferico dovuto al traffico è necessario quindi conoscere le caratteristiche del parco veicolare, le emissioni dei principali inquinanti prodotti da esso ed in particolare le classi veicolari che contribuiscono maggiormente alla totalità delle emissioni. In questo ambito si inserisce la mia tesi, nella quale analizzerò il parco veicolare del Comune di Forlì e le relative emissioni inquinanti. Questo studio è stato realizzato grazie all'utilizzo del modello COPERT III, il quale è in grado di stimare le emissioni del parco veicolare a partire da una serie di dati di attività, ambientali e sul carburante. Nel capitolo 3 verrà poi analizzato il possibile scenario futuro (anno 2010) del parco veicolare del Comune di Forlì e le relative emissioni. Questa analisi è stata fatta applicando il modello COPERT III ad un ipotetico parco veicolare stimato

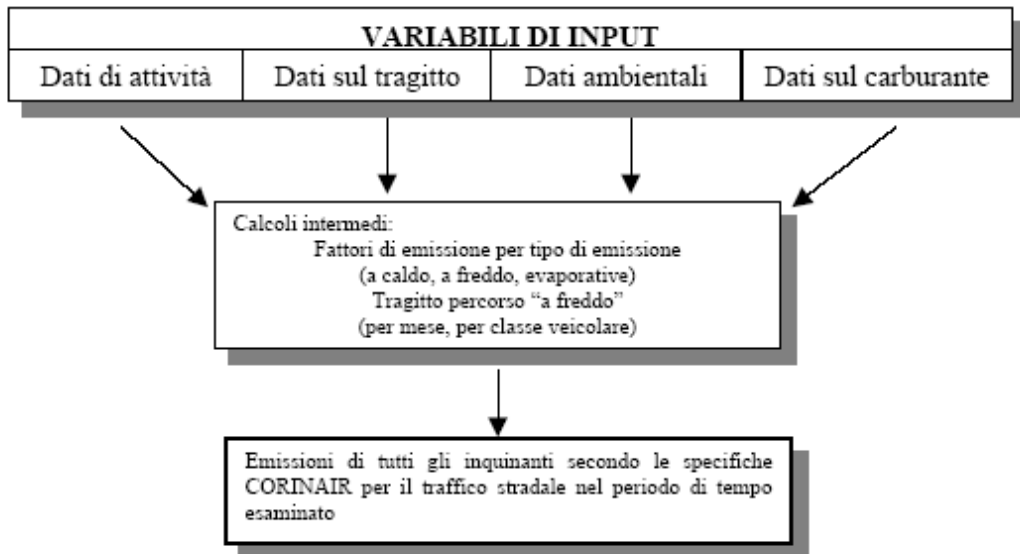
sulla base di un attendibile scenario evolutivo per ciascuna categoria veicolare.

COS'E' COPERT III.

COPERT III (Computer Programme to calculate Emissions from Road Traffic) è stato indicato dall'EEA (European Environment Agency) nell'ambito del programma di ricerca Europeo CORINAIR (CooRdination INformation AIR) per la realizzazione dell'inventario nazionale delle emissioni. CORINAIR è un progetto che rientra all'interno del programma sperimentale CORINE (Coordinated Information on the Environment in the European Community), intrapreso dalla Comunità Economica Europea in seguito alla decisione del Consiglio del 27 giugno 1985, con l'obiettivo di raccogliere ed organizzare le informazioni sullo stato dell'ambiente dei Paesi appartenenti alla Comunità. Il risultato conclusivo di questo progetto, finalizzato a rendere operativa la metodologia CORINAIR, è stato quello di elaborare un programma di calcolo specifico per computer, denominato COPERT. Questo programma è stato aggiornato più volte nel corso degli anni, fino alla sua terza e più recente edizione denominata COPERT III (la stessa che ho utilizzato per la realizzazione della mia tesi).

La metodologia COPERT si basa su una procedura in cui è possibile distinguere tre fasi principali: l'individuazione delle variabili di input, uno stato intermedio di calcolo che riguarda principalmente i fattori di emissione ed infine la fase di calcolo delle emissioni delle varie tipologie

di inquinanti. La Figura sottostante schematizza la Metodologia COPERT per il calcolo delle emissioni da traffico.



Dati di attività:	numero di veicoli per categoria; classi dei veicoli (in base alla legislazione); percorrenza totale per classi di veicoli; chilometraggio (medio) percorso per tipologia di tragitto (urbano, extraurbano, autostradale); velocità media per tipo di veicolo e tragitto.
Dati ambientali:	Condizioni climatiche (temperature minime e massime per ciascun mese).
Dati sul carburante:	Consumi; caratteristiche del carburante (volatilità, composizione).

Variabili di input del modello COPERT III

Il punto di forza della metodologia COPERT, al fine di un corretto calcolo delle emissioni di inquinanti, è stato quello di suddividere il parco circolante per tipologia di veicolo (autovetture, veicoli commerciali leggeri, veicoli commerciali pesanti, autobus e motoveicoli), combustibile utilizzato (benzina, diesel e G.P.L.), cilindrata (per autovetture e motocicli) o peso complessivo (per i veicoli commerciali) o per tipologia d'uso (per gli autobus) e standard legislativi. Lo standard legislativo

indica l'età del veicolo in rapporto alle direttive europee che prevedono l'utilizzo di dispositivi per la riduzione delle emissioni allo scarico in fase di omologazione.

Classe veicolare	Periodo di riferimento normativo	Note
AUTOVETTURE BENZINA <1400 cm³		
PRE ECE	fino al 31/3/73	
ECE 15/00-01	fino al 31/9/78	
ECE 15/02	fino al 31/12/81	
ECE 15/03	fino al 31/12/84	
ECE 15/04	fino al 31/12/92	
91/441/ECC Euro1	dal 1/1/93 al 31/12/96	
94/12/EC Euro2	dal 1/1/97	
98/69/EC Euro3	dal 1/1/2001	In vigore dal 1/1/2000 per i veicoli di nuova omologazione, dal 1/1/2001 per le nuove immatricolazioni
98/69/EC Euro4	dal 1/1/2006	In vigore dal 1/1/2005 per i veicoli di nuova omologazione, dal 1/1/2006 per le nuove immatricolazioni
1401cm³ - 2000cm³	Come per le autovetture benzina <1400 cm ³	
> 2000cm³	Come per le autovetture benzina <1400 cm ³	
DIESEL < 2000cm³		
Conventional	fino al 30/6/94	
91/441/ECC Euro1	dal 1/7/94 al 31/12/96	
94/12/EC Euro2	dal 1/1/97	
98/69/EC Euro3	dal 1/1/2001	In vigore dal 1/1/2000 per i veicoli di nuova omologazione, dal 1/1/2001 per le nuove immatricolazioni
98/69/EC Euro4	dal 1/1/2006	In vigore dal 1/1/2005 per i veicoli di nuova omologazione, dal 1/1/2006 per le nuove immatricolazioni
> 2000cm³	come per le autovetture diesel < 2000cm ³	
G.P.L		
Conventional	fino al 31/12/92	
91/441/ECC Euro1	dal 1/1/93 al 31/12/96	
94/12/EC Euro2	dal 1/1/97	
98/69/EC Euro3	dal 1/1/2001	In vigore dal 1/1/2000 per i veicoli di nuova omologazione, dal 1/1/2001 per le nuove immatricolazioni
98/69/EC Euro4	dal 1/1/2006	In vigore dal 1/1/2005 per i veicoli di nuova omologazione, dal 1/1/2006 per le nuove immatricolazioni
VEICOLI MERCI LEGGERI		
BENZINA < 3,5 t		
Conventional	fino al 30/9/94	

93/59/ECC Euro1	dal 1/10/94 al 30/9/98	
96/69/EC Euro2	dal 1/10/98	
98/69/EC Euro3	dal 1/1/2001	In vigore dal 1/1/2000 per i veicoli di nuova omologazione, dal 1/1/2001 per le nuove immatricolazioni
98/69/EC Euro4	dal 1/1/2006	In vigore dal 1/1/2005 per i veicoli di nuova omologazione, dal 1/1/2006 per le nuove immatricolazioni
DIESEL < 3,5 t	come per i veicoli commerciali leggeri benzina	
VEICOLI MERCI PESANTI		
BENZINA > 3,5 t		
Conventional		
DIESEL 3,6 t - 7.5 t		
Conventional	fino al 30/9/93	
91/542 Stage 1	dal 1/10/93 al 30/9/96	
91/542 Stage 2	dal 1/10/96	
98/69/EC Euro3	dal 1/1/2001	In vigore dal 1/1/2000 per i veicoli di nuova omologazione, dal 1/1/2001 per le nuove immatricolazioni
98/69/EC Euro4	dal 1/1/2006	In vigore dal 1/1/2005 per i veicoli di nuova omologazione, dal 1/1/2006 per le nuove immatricolazioni
7,6 t - 16 t	come per i veicoli commerciali pesanti 3,6 t - 7.5 t	
16,1 t - 32 t	come per i veicoli commerciali pesanti 3,6 t - 7.5 t	
> 32 t	come per i veicoli commerciali pesanti 3,6 t - 7.5 t	
AUTOBUS URBANI		
Conventional	fino al 30/9/93	
91/542 Stage 1	dal 1/10/93 al 30/9/96	
91/542 Stage 2	dal 1/10/96	
99/96 Euro3	dal 1/1/2001	In vigore dal 1/1/2000 per i veicoli di nuova omologazione, dal 1/1/2001 per le nuove immatricolazioni
Euro 4	dal 1/1/2006	In vigore dal 1/1/2005 per i veicoli di nuova omologazione, dal 1/1/2006 per le nuove immatricolazioni
EXTRAURBANI	Come per gli autobus urbani	
MOTOCICLI < 125 cm³		
Conventional	fino al 30/6/99	
97/24	oltre al 1/7/99	
126 cm ³ - 250 cm ³	Come per i motocicli < 125 cm ³	
251 cm ³ - 750 cm ³	Come per i motocicli < 125 cm ³	
> 750 cm ³	Come per i motocicli < 125 cm ³	

Come si può notare dalla tabella sopra, la classificazione COPERT non prende in considerazione i veicoli a metano; considerata però la loro crescente importanza sia dal punto di vista economico che ambientale,

ho inserito nel mio studio i veicoli a metano apportando delle modifiche al modello (paragrafo 1.3-Modifiche al modello). A ciascuna categoria veicolare è associata una ben precisa percorrenza annuale (km/anno*veicolo) e una data velocità media (km/h) per ciascun ciclo di guida (percorso urbano, extraurbano e autostradale). COPERT fornisce come risultato intermedio i fattori di emissione (FE) in g/km*veicolo di ogni inquinante per ciascuna categoria veicolare e ciclo di guida. I fattori di emissione sono molto importanti poiché consentono di effettuare confronti quantitativi tra le diverse categorie veicolari, oltre che permettere il calcolo finale delle emissioni. I dati forniti come output dal modello COPERT III sono le stime delle emissioni (t/anno) per nove inquinanti e/o gas serra: ossidi di zolfo (SO_x), ossidi di azoto (NO_x), NMVOC (alcani, alcheni, aldeidi, chetoni, idrocarburi aromatici, dei quali il più rilevante è il benzene, e gli IPA o idrocarburi policiclici aromatici), metano (CH_4), monossido di carbonio (CO), anidride carbonica (CO_2), protossido di azoto (N_2O), ammoniaca (NH_3) e materiale particolato (PM). Inoltre vengono anche fornite le stime delle emissioni di sette metalli pesanti: cadmio, cromo, rame, nickel, piombo, selenio e zinco. Le emissioni da traffico veicolare fornite dal modello sono suddivise in quattro categorie: emissioni a caldo, emissioni a freddo, emissioni evaporative ed emissioni totali.

Le emissioni a caldo rappresentano le sostanze inquinanti prodotte dai veicoli stradali quando i motori hanno raggiunto la temperatura di esercizio, quelle a freddo vengono rilasciate dall'accensione fino al riscaldamento del motore (temperatura dell'acqua di circa 70°C), le

emissioni evaporative riguardano essenzialmente i veicoli ad accensione comandata ed hanno origine dalla volatilità delle frazioni più leggere del carburante che tendono a sfuggire in atmosfera ed infine le emissioni totali sono la somma dei contributi delle tre tipologie di emissioni.

I PRINCIPALI INQUINANTI DA TRAFFICO VEICOLARE E I LORO EFFETTI SULLA SALUTE.

La relazione diretta tra inquinamento atmosferico e salute è ormai accertata e lunga sarebbe la lista degli studi che lo documentano. Una valutazione complessiva dell' "effetto urbano" è stato effettuato dall'Istituto Nazionale per la ricerca sul cancro, che ha rilevato per chi vive in città un aumento del rischio di contrarre un tumore ai polmoni pari al 20-40% a causa delle alte concentrazioni di inquinanti atmosferici (Fonte: Lega Ambiente Italia). L'Osservatorio epidemiologico della Regione Lazio ha puntato la sua attenzione sui più piccoli rilevando un raddoppio del rischio di contrarre patologie respiratorie per bambini che vivono in strade ad alto traffico veicolare, rispetto a quelli che vivono in aree meno trafficate. Uno studio recente condotto in Austria, Francia e Svizzera ha evidenziato che il numero dei casi annui di bronchite nei bambini attribuibili all'inquinamento atmosferico sono ben 543.300, di cui 300.000 dovuti allo smog generato dal traffico veicolare (Fonte: Lega Ambiente Italia). Inoltre, secondo l'Istituto Superiore della Sanità, il rischio di contrarre leucemie per i bambini che vivono in aree trafficate (5.000 veicoli al giorno) è del 270% in più rispetto ai bambini residenti in zone poco trafficate (500 veicoli al giorno). E' di fatto innegabile l'esistenza di una relazione tra inquinamento urbano, di cui la maggior parte è dovuto al traffico veicolare, e la salute del cittadino. Quando vengono studiate le emissioni di inquinanti dovute al traffico è anche importante conoscere le loro caratteristiche e i loro effetti sulla salute dell'uomo.

Monossido di Carbonio (CO): è un gas incolore, inodore, insapore, poco più leggero dell'aria; la sua concentrazione di fondo nell'aria non inquinata è inferiore a 0,1 mg/Nm³. E' un prodotto della combustione incompleta (cioè in carenza di ossigeno) delle sostanze organiche. La principale fonte antropica è costituita dagli autoveicoli, soprattutto quelli alimentati a benzina. E' un vero e proprio veleno poiché a contatto con l'emoglobina del sangue dà origine alla carbossiemoglobina, composto stabile che inibisce la fondamentale funzione di scambio dell'ossigeno, provocando una sindrome di asfissia. I suoi effetti sono soprattutto a carico dell'apparato cardiovascolare (ipertensione, infarto), del sistema nervoso (obnubilamento fino alla morte nei casi di intossicazione grave) e del feto (ridotto accrescimento).

Anidride carbonica (CO₂): è presente nell'atmosfera in una concentrazione di circa 0,04% ed è il risultato della combustione completata, cioè con adeguato apporto di ossigeno, delle sostanze organiche. Le fonti sono tutti i processi di combustione in cui sono coinvolti composti del carbonio (produzione di energia elettrica, impianti di riscaldamento, traffico veicolare, varie attività industriali, ecc.). Non ha effetti tossici in condizioni normali, anzi è necessaria in molti processi fisiologici. Possono intervenire difficoltà respiratorie in ambienti chiusi saturi di CO₂. E' uno tra i gas serra più importanti e il suo interesse è legato soprattutto alle modificazioni climatiche che può causare.

Ossidi di Azoto(NO_x): è un gas rosso bruno di odore pungente, poco solubile in acqua. Gli ossidi di azoto sono un gruppo di gas reattivi che contengono azoto e ossigeno in quantità variabile. In particolare il

biossido di azoto (NO_2) si forma per combinazione tra l'ossigeno e monossido d'azoto (NO), il quale si forma per combinazione diretta dell'azoto e dell'ossigeno in presenza di elevate temperature (processi di combustione, scariche elettriche, ecc). Oltre a essere un inquinante primario, gli ossidi di azoto intervengono nella formazione dell'ozono in bassa atmosfera. Le fonti principali sono il traffico veicolare, gli impianti termici, le centrali termoelettriche e diverse attività industriali. Gli effetti sulla salute sono la riduzione della funzionalità respiratoria e dei meccanismi di difesa polmonari, più evidenti nei soggetti bronchitici, asmatici, negli anziani e nei bambini. L'esposizione di breve durata favorisce anche l'insorgenza di fatti infiammatori delle mucose delle vie aeree superiori; l'esposizione protratta facilita le infezioni respiratorie profonde (alveoli).

Biossido di zolfo (SO_2): denominato anche anidride solforosa, è un gas incolore dall'odore pungente e irritante. È solubile in acqua originando soluzioni fortemente acide (da cui le piogge acide). È prodotto dalla combustione di combustibili fossili (oli combustibili, gasolio, benzina) che, in varia misura, contengono come impurezza lo zolfo, il quale viene ossidato a SO_2 e, in misura minore, a SO_3 . Negli ultimi 10 anni si è osservata una netta tendenza alla diminuzione delle emissioni di SO_2 , attribuibile ad un minor contenuto di zolfo nei combustibili. Ha un effetto fortemente irritante sulle vie respiratorie e di tutte le mucose in genere e può provocare broncocostrizione, ipersecrezione e lesioni della mucosa.

Idrocarburi (HC): comprendono un gran numero di composti gassosi, liquidi e solidi; il più semplice idrocarburo è il metano che è presente

naturalmente in atmosfera in concentrazioni maggiori rispetto agli altri idrocarburi. Per questo motivo vengono determinati gli Idrocarburi non metanici (composti organici volatili, NMVOC): nascono da processi di combustione incompleta oppure vengono emessi da molti prodotti chimici. Il grado di nocività varia, secondo la composizione chimica, da sostanze non particolarmente tossiche a sostanze di accertata cancerogenicità quali gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e il benzene. La produzione media di idrocarburi da parte di un motore a benzina in buono stato, nel traffico cittadino, corrisponde a circa il 3% della benzina consumata. Quantità più elevate sono prodotte dai motori in cattivo stato. Il benzene è un idrocarburo aromatico, liquido a temperatura ambiente, dal particolare odore, molto volatile e quindi facilmente presente sotto forma di vapore. Viene emesso quasi integralmente dal trasporto su strada, per lo più direttamente (85%) e in parte per evaporazione durante il rifornimento di benzina o dai serbatoi delle automobili. Penetra nell'organismo soprattutto per inalazione ed è assorbito dal sangue in percentuale tra il 28 e il 50% della parte inalata. E' classificato fra le sostanze di accertata cancerogenicità dall'Agenzia Internazionale di Ricerca sul Cancro (I.A.R.C.). Gli effetti sulla salute sono di natura cronica (disturbi ematici con induzione della leucemia) dovuti alla sostanza stessa e/o a sostanze prodotte nell'organismo (metabolici, come il benzenepossido), che risultano mutagene, cioè capaci di provocare alterazioni cromosomiche a livello del midollo osseo, con conseguente alterazione dei precursori dei globuli bianchi e rossi. L'intossicazione acuta provoca effetti anche sul Sistema Nervoso

Centrale e può dare, a seconda della concentrazione dell'inquinante, stordimento, sonnolenza, perdita della coscienza fino alla morte. Gli effetti tossici del benzene colpiscono anche altri apparati come quello cardiovascolare e quello cutaneo. Numerosi studi effettuati su persone esposte a benzene hanno dimostrato un'aumentata incidenza di leucemia. Un'altra classe particolarmente importante di idrocarburi emessi sono gli Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA); gli IPA, in particolare la norma italiana cita esplicitamente il benzo(a)pirene, vengono assorbiti dai polmoni e metabolizzati dal fegato in vari composti, molti dei quali sono in grado di indurre mutazioni e trasformazioni cellulari. L'Epa (Environmental Protection Agency) ha calcolato che il rischio di insorgenza di tumori è di 9 casi su un milione in soggetti esposti per lungo tempo a 1 nanogrammo/metrocubo d'aria di benzo(a)pirene (Fonte: Lega Ambiente Italia).

Materiale Particolato: nelle aree urbane l'aerosol atmosferico è costituito dal 30% circa di particelle naturali e dal 60% di particelle derivanti dalla combustione (delle quali più del 50% attribuibili al traffico). La composizione del particolato è estremamente variabile in base all'origine delle particelle (piombo, nichel, zinco, rame, cadmio, fibre di amianto, solfati, nitrati, idrocarburi policiclici pesanti, polvere di carbone e cemento). La frazione di polveri considerata più pericolosa per l'uomo è quella in grado di superare le barriere delle vie aeree superiori ovvero le PM10 (da Particulate Matter < 10 µm) e le PM2,5, particelle di polvere con diametro inferiore a 10 e a 2,5 micron rispettivamente. E' stato dimostrato da vari studi che le PM10 che si originano soprattutto dalla

combustione, permangono nell'aria qualche giorno e la loro concentrazione viene abbattuta solo per dilavamento da parte della pioggia. Questo inquinante può reagire chimicamente nell'atmosfera con altre sostanze. I danni addebitabili alle particelle inalate sono dovuti al fatto che tali particelle, raggiungendo gli alveoli polmonari, rilasciano sostanze tossiche o possono ostruire gli alveoli stessi. Ne consegue un effetto irritante per le vie respiratorie e la possibilità di indurre alterazioni nel sistema immunitario.

Metalli pesanti: il metallo "storicamente" più importante fra gli inquinanti atmosferici è il piombo, presente nei gas di scarico dei veicoli a motore alimentati a benzina. Nelle benzine infatti sono contenuti additivi antidetonanti (piombo tetrametile, piombo tetraetile) la cui combustione dà luogo a numerosi composti del piombo. Il crescente utilizzo della benzina verde priva degli additivi contenenti piombo, ha ridotto sensibilmente la concentrazione del piombo nell'atmosfera. Altri metalli sono venuti ad affiancare il piombo nella più recente normativa: arsenico, cadmio, nichel e mercurio. Si tratta di sostanze altamente tossiche, anche a basse concentrazioni, e con effetti cancerogeni.

CAPITOLO 1

METODO E MATERIALI

1.1- PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DEL MODELLO COPERT III

Come ogni tipo di emissioni, anche quelle da traffico vengono calcolate secondo la formula generale:

$$E = FE * I$$

dove:

FE rappresenta il fattore di emissione, fornito per tipo di inquinante e di veicolo nell'unità di tempo;

I rappresenta un indicatore di attività.

Purtroppo nella pratica non ci si può limitare a questo; infatti i fattori di emissione non sono costanti, ma in realtà dipendenti sia dalla tipologia del mezzo, dal tempo (per esempio l'età del veicolo, il tempo a partire dalla messa in moto del veicolo fino al suo spegnimento), dal tipo di guida (dalla guida sportiva alla guida regolare con le varie sfumature intermedie), sia dal tipo di tragitto che compie il veicolo e dalle condizioni ambientali. In questo paragrafo vengono descritti nel dettaglio i principi su cui si basa il funzionamento del modello.

Le emissioni totali da trasporto stradale calcolate dal modello COPERT III sono il risultato della somma di tre contributi:

$$E_{total} = E_{hot} + E_{cold} + E_{evap}$$

dove:

E_{hot} sono le emissioni a caldo (hot emissions), ovvero le emissioni dal momento in cui i veicoli hanno raggiunto la temperatura di regime (stimate per tutte le tipologie di veicoli).

E_{cold} sono le emissioni a freddo (cold over-emissions), ovvero le emissioni durante il riscaldamento del veicolo (la temperatura del liquido di raffreddamento è per convenzione inferiore a 70°C); questa tipologia di emissione risulta rilevante nel caso di veicoli catalizzati durante cicli di guida urbani caratterizzati da brevi spostamenti, poiché le marmitte catalitiche risultano poco efficienti nei primi minuti di marcia. La stima delle emissioni a freddo fornita dal modello è però una sovra emissione e viene applicata per i soli veicoli leggeri (autovetture e veicoli merci leggeri).

E_{evap} sono le emissioni evaporative a cui contribuiscono i soli NMVOC (Composti Organici Volatili Non Metanici) e vengono calcolate per i veicoli a benzina.

La formula utilizzata dal modello per il calcolo delle emissioni a caldo è la seguente:

$$E_{hot;i,j,k} = N_j * Perc_{j,k} * FE_{hot;i,j,k}$$

dove:

$E_{hot;i,j,k}$ rappresenta le emissioni a caldo dell'inquinante i , per la categoria veicolare j sul percorso K (espressa in grammi/anno).

N_j è il numero dei veicoli appartenenti alla classe j nell'anno di riferimento.

$Perc_{j,k}$ è la percorrenza media annua del veicolo appartenente alla classe j sul percorso k (espressa in km/anno).

$FE_{hot;i,j,k}$ rappresenta il fattore di emissione a caldo dell'inquinante i , per la categoria veicolare j sul percorso k (espresso in g/veicolo*km).

COPERT assume che le emissioni a caldo dipendano solo dalla velocità media: la dipendenza dei fattori di emissione a caldo dalla velocità è data da particolari funzioni (speed-dependent) per ogni classe di veicolo e per ciascun inquinante; queste curve sono il risultato di varie prove realizzate nei Paesi europei e prendono il nome di curve medie di emissione.

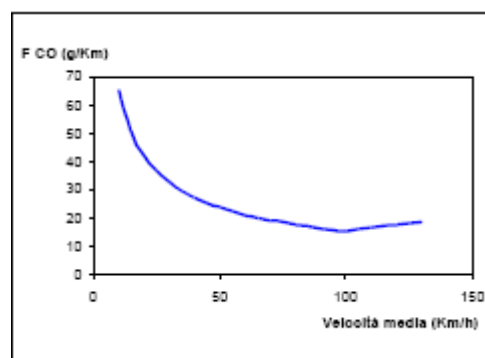


Figura 1: dipendenza del fattore di emissione FE_{hot} per il monossido di carbonio (nel caso di autovetture pre-ECE) dalla velocità. (Fonte: ANPA - Linee Guida agli Inventari Locali di Emissioni in Atmosfera)

La formula utilizzata dal modello per il calcolo delle emissioni a freddo è la seguente:

$$E_{\text{cold};i,j} = \beta_{i,j} * N_j * \text{Perc}_j * FE_{\text{hot};i,j} * [(FE_{\text{cold};i,j} / FE_{\text{hot};i,j}) - 1]$$

dove:

$E_{\text{cold};i,j}$ rappresenta le emissioni a freddo dell'inquinante i , per la classe veicolare j (espressa in g/anno).

$\beta_{i,j}$ è la frazione delle distanze mensili percorse prima che il motore abbia raggiunto la temperatura di regime (dipende dalla temperatura ambientale e dalla Distanza Media di Viaggio, l_{trip}).

N_j è il numero dei veicoli appartenenti alla classe j nell'anno di riferimento.

Perc_j è la percorrenza media annua del veicolo appartenente alla classe j (espressa in km/anno).

$FE_{\text{cold};i,j} / FE_{\text{hot};i,j}$ è il rapporto dei fattori di emissione a freddo e a caldo dell'inquinante i , per la categoria veicolare j .

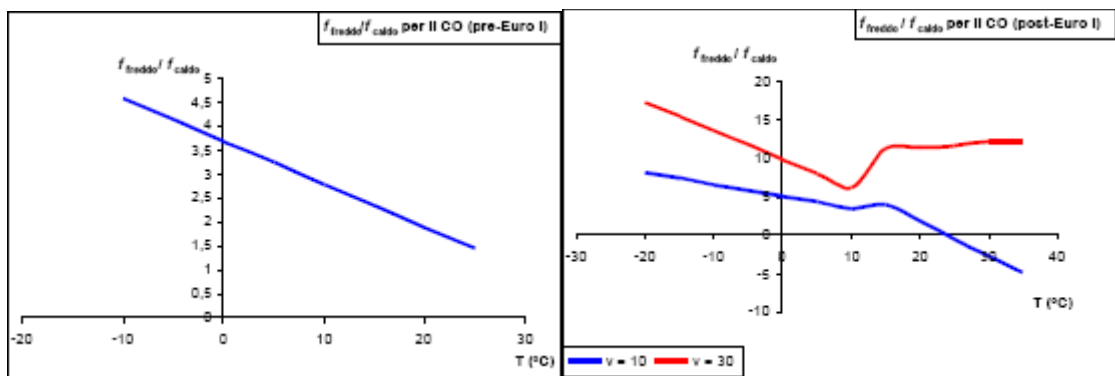


Figura 2 e 3: nella figura a sinistra viene mostrata la dipendenza di FE_{cold}/FE_{hot} dalla temperatura per i veicoli immatricolati anteriormente all'entrata in vigore della normativa EURO I, mentre nella figura a destra per i veicoli immatricolati posteriormente all'entrata in vigore della normativa EURO I (nel caso del monossido di carbonio per autoveicoli e piccoli veicoli commerciali a benzina). (Fonte: ANPA - Linee Guida agli Inventari Locali di Emissioni in Atmosfera)

Il terzo componente delle emissioni, quelle evaporative, sono tipiche dei veicoli alimentati a benzina; questa tipologia di emissione dipende in maniera significativa dalla temperatura ambiente e dalla volatilità della benzina utilizzata (RVP). Per questo motivo le emissioni evaporative sono suddivise in tre componenti:

- ✓ Emissioni diurne: sono legate alle variazioni termiche giornaliere dell'ambiente che influiscono sulla pressione di vapore nel serbatoio dei veicoli quando sono spenti o con il motore freddo.
- ✓ Emissioni "Hot Soak": sono dovute allo spegnimento del motore caldo.
- ✓ "Running Losses": avvengono quando il veicolo è in movimento e soprattutto quando ci sono temperature ambientali elevate.

Le equazioni fondamentali per il calcolo delle emissioni evaporative sono:

$$E_{\text{evap;NMVOC},j} = 365 * N_j * (FE_d + S_c + S_{fi}) + R$$

$$S_c = (1 - q) * (p * x * FE_{s,hot} + w * x * FE_{s,warm})$$

$$S_{fi} = q * FE_{fi} * x$$

$$R = M_j * (p * FE_{r,hot} + w * FE_{r,warm}).$$

dove:

$E_{\text{evap;NMVOC},j}$ rappresenta le emissioni degli NMVOC per la classe veicolare j.

FE_d è il fattore medio di emissione per le perdite diurne da veicoli con serbatoio metallico (dipende dalla temperatura media mensile e dalla RVP).

S_c è il fattore di emissione “hot and warm soak” per veicoli a benzina dotati di carburatore.

S_{fi} è il fattore di emissione “hot and warm soak” per veicoli a benzina con fuel injection.

R sono le “hot and warm running losses”.

q è la frazione di veicoli a benzina con iniettore.

p è la frazione di viaggi terminati con motore caldo (dipende dalla temperatura media mensile).

w è la frazione di viaggi terminati con motore freddo o con la marmitta catalitica che non ha raggiunto la temperatura ottimale per svolgere la sua funzione.

x è il numero medio di viaggi che un veicolo compie al giorno; questo valore viene mediato sull'anno: $x = M_j / (365 * I_{\text{trip}})$.

M_j è la percorrenza annuale totale dei veicoli a benzina appartenenti alla classe veicolare j.

FE_{s,hot} è il fattore di emissione medio per le emissioni “hot soak” (dipende da RVP).

FE_{s,warm} è il fattore di emissione medio per le emissioni “cold and warm soak” (dipende dalla temperatura media mensile e dalla RVP).

FE_{fi} è il fattore di emissione medio per le emissioni “hot soak” per veicoli a benzina con iniezione.

FE_{r,hot} è il fattore medio di emissione per le “hot running losses” per i veicoli a benzina (dipende dalla temperatura media mensile e dalla RVP).

FE_{r,warm} è il fattore medio di emissione per le “warm running losses” per i veicoli a benzina (dipende dalla temperatura media mensile e dalla RVP).

Per quanto riguarda la stima delle emissioni di Anidride Carbonica (CO₂), Anidride Solforosa (SO₂) e dei vari metalli pesanti il calcolo viene effettuato partendo dai consumi statistici di carburante che COPERT richiede come input:

$$E_{corr;i,jm} = E_{calc;i,jm} * (FC_{stat;m} / \sum_{jm} FC_{calc;jm})$$

dove:

E_{corr;i,jm} rappresenta il valore corretto delle emissioni dell'inquinante i per la classe veicolare j alimentata dal carburante m.

E_{calc;i,jm} rappresenta il valore delle emissioni dell'inquinante i stimato sulla base del consumo di carburante della classe veicolare jm.

$FC_{stat;m}$ è il consumo totale statistico del carburante m (benzina, diesel o GPL).

$\sum_{jm} FC_{calc;jm}$ è il consumo totale calcolato di tutte le classi veicolari alimentate dal carburante m.

In particolare per la stima delle emissioni di CO₂ si utilizza il rapporto fra atomi di Carbonio e atomi di Idrogeno (H:C) nel carburante (≈ 1.8 per la benzina e ≈ 2.0 per il diesel), per quella della SO₂ il contenuto in peso di Zolfo nel carburante di tipo m (Kg/Kg), per quella del Piombo si assume che il 75% di quello presente nel carburante viene emesso in atmosfera ed infine per la stima dei rimanenti metalli pesanti si assume che tutto il loro contenuto nel carburante venga emesso in atmosfera.

1.2 – INPUT RICHIESTI DAL MODELLO

Le variabili di input, cioè i dati circostanziali necessari per l'applicazione di COPERT, sono suddivise in tre categorie di dati: dati di attività (numero di veicoli per classe veicolare, chilometraggio medio percorso per tipologia di percorso e velocità media per tipologia di veicolo e percorso), dati ambientali (condizioni climatiche e valore di percorrenza media) e dati sul carburante (consumi e caratteristiche del carburante). Tra i dati di attività sicuramente quello fondamentale per il funzionamento del modello COPERT III è rappresentato dal parco circolante. La fonte di riferimento per la raccolta di questi dati è l'ACI di Forlì, che ha fornito il numero di veicoli secondo la classificazione prevista dal modello. Per quanto concerne il numero di veicoli

appartenenti alla macroclasse degli autobus la fonte di riferimento è la E-bus S.p.a (Municipalizzata degli autobus per la provincia di Forlì-Cesena).

Classe veicolare	Popolazione
AUTOVETTURE	
BENZINA	48761
<1400 cm ³	37121
PRE ECE	1244
ECE 15/00-01	493
ECE 15/02	290
ECE 15/03	427
ECE 15/04	7614
91/441/ECC Euro1	6843
94/12/EC Euro2	11298
98/69/EC Euro3	8912
1401cm³ - 2000cm³	10734
PRE ECE	144
ECE 15/00-01	95
ECE 15/02	88
ECE 15/03	93
ECE 15/04	1979
91/441/ECC Euro1	2829
94/12/EC Euro2	3434
98/69/EC Euro3	2072
> 2000cm ³	906
PRE ECE	58
ECE 15/00-01	34
ECE 15/02	32
ECE 15/03	19
ECE 15/04	110
91/441/ECC Euro1	89
94/12/EC Euro2	229
98/69/EC Euro3	335
DIESEL	14868
< 2000cm ³	11333
Conventional	489
91/441/ECC Euro1	367
94/12/EC Euro2	3307
98/69/EC Euro3	7170
> 2000cm ³	3535
Conventional	475
91/441/ECC Euro1	232
94/12/EC Euro2	1066

98/69/EC Euro3	1762
G.P.L	4150
Conventional	1788
91/441/ECC Euro1	1101
94/12/EC Euro2	873
98/69/EC Euro3	388
VEICOLI MERCI LEGGERI	8214
BENZINA < 3,5 t	527
Conventional	288
93/59/ECC Euro1	78
96/69/EC Euro2	71
98/69/EC Euro3	90
DIESEL < 3,5 t	7687
Conventional	2451
93/59/ECC Euro1	1328
96/69/EC Euro2	1366
98/69/EC Euro3	2542
VEICOLI MERCI PESANTI	1687
BENZINA > 3,5 t	9
Conventional	9
DIESEL 3,6 t - 7.5 t	438
Conventional	278
91/542 Stage 1	29
91/542 Stage 2	74
99/96 Euro3	57
7,6 t - 16 t	450
Conventional	262
91/542 Stage 1	32
91/542 Stage 2	98
99/96 Euro3	58
16,1 t - 32 t	538
Conventional	258
91/542 Stage 1	58
91/542 Stage 2	117
99/96 Euro3	105
> 32 t	252
Conventional	93
91/542 Stage 1	41
91/542 Stage 2	79
99/96 Euro3	39
AUTOBUS URBANI	156
Conventional	58
91/542 Stage 1	13
91/542 Stage 1	13

91/542 Stage 2	24
99/96 Euro3	8
EXTRAURBANI	98
Conventional	40
91/542 Stage 1	15
91/542 Stage 2	6
99/96 Euro3	37
MOTOCICLI	10236
< 125 cm ³	3198
Conventional	1632
97/24	1566
126 cm ³ - 250 cm ³	2575
Conventional	1006
97/24	1569
251 cm ³ - 750 cm ³	3167
Conventional	1707
97/24	1460
> 750 cm ³	1296
Conventional	631
97/24	665

Tabella 1: dati del parco circolante aggiornati al 31/12/2004 relativi all'area urbana di Forlì.

A completamento dei dati di attività è necessario introdurre per ciascuna microclasse definita dal modello i dati relativi alla percorrenza media annuale (km/anno*veicolo) e alla velocità media stimata (km/h) in base al ciclo di guida (distribuzione % del percorso, cioè la percentuale stimata di percorso urbano, extraurbano e autostradale che ciascuna categoria di veicolo compie). Questi dati sono disponibili nella Pubblicazione ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) "Emissioni in atmosfera da trasporto stradale", Serie Stato dell'Ambiente n.12/2000.

In questa pubblicazione non vengono forniti i dati relativi ai veicoli classificati come Euro 3, perciò ho fatto riferimento a quelli dei veicoli

Euro 2, ipotizzando che le tecnologie, seppur differenti, non influiscono sulle percorrenze, velocità medie e cicli di guida.

Classe veicolare	Percorrenza	Ciclo di Guida			Velocità Media (km/h)		
		Zona Urbana	Zona Extraurbana	Autostrada	Zona Urbana	Zona Extraurbana	Autostrada
AUTOVETTURE BENZINA <1400 cm³							
PRE ECE	3000	46	45	9	25	45	95
ECE 15/00-01	5000	46	45	9	25	55	100
ECE 15/02	6500	46	45	9	25	60	100
ECE 15/03	9200	46	45	9	25	60	105
ECE 15/04	10000	46	45	9	25	60	105
91/441/ECC Euro1	10000	46	45	9	25	65	110
94/12/EC Euro2	12000	46	45	9	25	65	110
98/69/EC Euro3	12000	46	45	9	25	65	110
1401cm³ - 2000cm³							
PRE ECE	6000	25	50	25	25	50	105
ECE 15/00-01	8000	25	50	25	25	60	110
ECE 15/02	12000	25	50	25	25	60	115
ECE 15/03	13500	25	50	25	25	60	115
ECE 15/04	15100	25	50	25	25	60	120
91/441/ECC Euro1	15100	25	50	25	25	65	120
94/12/EC Euro2	16000	25	50	25	25	65	120
98/69/EC Euro3	16000	25	50	25	25	65	120
> 2000cm³							
PRE ECE	7000	20	50	30	25	55	105
ECE 15/00-01	9500	20	50	30	25	60	110
ECE 15/02	13500	20	50	30	25	60	115
ECE 15/03	14700	20	50	30	25	65	115
ECE 15/04	17200	20	50	30	25	65	120
91/441/ECC Euro1	17200	20	50	30	25	65	120
94/12/EC Euro2	20000	20	50	30	25	65	120
98/69/EC Euro3	20000	20	50	30	25	65	120
DIESEL < 2000cm³							
Conventional	20500	25	50	25	25	60	110
91/441/ECC Euro1	20500	25	50	25	25	60	110
94/12/EC Euro2	22000	25	50	25	25	60	110
98/69/EC Euro3	22000	25	50	25	25	60	110
> 2000cm³							
Conventional	22000	20	50	30	25	65	120
91/441/ECC Euro1	22000	20	50	30	25	65	120
94/12/EC Euro2	24000	20	50	30	25	65	120
98/69/EC Euro3	24000	20	50	30	25	65	120
G.P.L							
Conventional	20500	30	50	20	25	65	110
91/441/ECC Euro1	20500	30	50	20	25	65	110

94/12/EC Euro2	24000	30	50	20	25	65	110
98/69/EC Euro3	24000	30	50	20	25	65	110
VEICOLI MERCI LEGGERI							
BENZINA < 3,5 t							
Conventional	15500	25	50	25	25	60	95
93/59/ECC Euro1	15500	25	50	25	25	60	95
96/69/EC Euro2	15500	25	50	25	25	60	95
98/69/EC Euro3	15500	25	50	25	25	60	95
DIESEL < 3,5 t							
Conventional	16500	25	50	25	25	60	95
93/59/ECC Euro1	16500	25	50	25	25	60	95
96/69/EC Euro2	16500	25	50	25	25	60	95
98/69/EC Euro3	16500	25	50	25	25	60	95
VEICOLI MERCI PESANTI							
BENZINA > 3,5 t							
Conventional	5000	20	50	30	22	60	90
DIESEL 3,6 t - 7.5 t							
Conventional	33000	20	50	30	22	60	85
91/542 Stage 1	33000	20	50	30	22	60	85
91/542 Stage 2	33000	20	50	30	22	60	85
99/96 Euro3	33000	20	50	30	22	60	85
7,6 t - 16 t							
Conventional	34000	20	50	30	22	60	85
91/542 Stage 1	34000	20	50	30	22	60	85
91/542 Stage 2	34000	20	50	30	22	60	85
99/96 Euro3	34000	20	50	30	22	60	85
16,1 t - 32 t							
Conventional	58000	20	50	30	22	60	80
91/542 Stage 1	58000	20	50	30	22	60	80
91/542 Stage 2	58000	20	50	30	22	60	80
99/96 Euro3	58000	20	50	30	22	60	80
> 32 t							
Conventional	61000	20	50	30	22	60	75
91/542 Stage 1	61000	20	50	30	22	60	75
91/542 Stage 2	61000	20	50	30	22	60	75
99/96 Euro3	61000	20	50	30	22	60	75
AUTOBUS URBANI							
Conventional	42500	90	10	0	22	60	85
91/542 Stage 1	42500	90	10	0	22	60	85
91/542 Stage 2	42500	90	10	0	22	60	85
99/96 Euro3	42500	90	10	0	22	60	85
EXTRAURBANI							
Conventional	44000	15	75	10	22	60	85

91/542 Stage 1	44000	15	75	10	22	60	85
91/542 Stage 2	44000	15	75	10	22	60	85
99/96 Euro3	44000	15	75	10	22	60	85
MOTOCICLI							
< 125 cm ³							
Conventional	5100	70	30	0	25	60	/
97/24	5100	70	30	0	25	60	/
126 cm ³ - 250 cm ³							
Conventional	5100	30	60	10	25	60	100
97/24	5100	30	60	10	25	60	100
251 cm ³ - 750 cm ³							
Conventional	5400	30	50	20	25	65	105
97/24	5400	30	50	20	25	65	105
> 750 cm ³							
Conventional	6000	30	50	20	25	70	110
97/24	6000	30	50	20	25	70	110

Tabella 2: percorrenza media annua, velocità media e ciclo di guida per ciascuna classe
veicolare

Per quanto riguarda i dati ambientali è necessario inserire i valori della temperatura media mensile minima e massima (°C) nel Comune di Forlì. Il modello suggerisce dei valori di temperature per ciascun Paese in cui viene effettuato lo studio, però è preferibile indicare valori riferiti all'area di studio al fine di avere stime più precise. La fonte di riferimento per questi dati è l'Ufficio agricolo della Provincia di Forlì-Cesena che ha raccolto i valori delle temperature rilevati dalla stazione meteorologica dell'aeroporto di Forlì.

Mese	Temperatura minima	Temperatura massima
Gennaio	-1,2	8,4
Febbraio	-0,7	10,7
Marzo	2,1	13,1
Aprile	6,8	17,2
Maggio	8,8	21,4
Giugno	14,4	26,8
Luglio	16,7	30,1
Agosto	18,5	30,1
Settembre	13,2	25,4

Ottobre	12,1	20,5
Novembre	3,8	13,6
Dicembre	1,3	9,1

Tabella 3: Temperature minime e massime annuali nel Comune di Forlì (Anno 2004)

L'ultima categoria di dati richiesti come input dal modello sono quelli relativi al carburante. La prima variabile di input da inserire riguarda il consumo di carburante (benzina, diesel e G.P.L.) nel Comune di Forlì. Per i dati provinciali del venduto ho fatto riferimento ai "Quaderni di statistica 2005" redatti dall'Ufficio studi della Camera di Commercio I.A.A. di Forlì-Cesena; il dato comunale è stato calcolato facendo il rapporto tra il numero di veicoli del parco auto provinciale e il numero di veicoli del parco auto comunale. Per utilizzare questi dati ho ipotizzato che il carburante venduto sia pari al consumato.

Carburante	Consumo annuale (t)
Benzina	42438
Diesel	66082
G.P.L.	11978

Tabella 4: Consumi di carburante nel Comune di Forlì (Anno 2004).

L'ultimo dato da inserire riguarda le caratteristiche del carburante nelle singole tipologie considerate (benzina, diesel e G.P.L.). Il modello richiede la composizione del carburante per quanto riguarda il contenuto di Piombo (g/l) e quello di Zolfo (%wt), mentre fornisce di "default" i valori relativi al contenuto di metalli pesanti come rame, nickel, cadmio, cromo, selenio e zinco e al rapporto H:C (Fonte: sito www.combustibile.it).

Benzina	
Contenuto di Zolfo (%wt)	0,015
Contenuto di Piombo (g/l)	0,005
Diesel	

Contenuto di Zolfo (%wt)	0,032
Contenuto di Piombo (g/l)	0
G.P.L.	
Contenuto di Zolfo (%wt)	0
Contenuto di Piombo (g/l)	0

Tabella 5: Contenuto medio di Zolfo e Piombo nei carburante

Come indicato nel paragrafo 1.1 il modello utilizza altre variabili per stimare le emissioni; questi dati non vengono richiesti come input, ma vengono direttamente suggeriti dal modello stesso:

- ✓ Frazione dei veicoli ad iniezione (Fuel-Injection) per ciascuna classe veicolare;
- ✓ Frazione dei veicoli catalizzati per ogni categoria veicolare;
- ✓ Distribuzione delle emissioni evaporative (Evaporation share) per ciascuna classe veicolare e ciclo di guida;
- ✓ Valori mensili di Fuel Reid Vapour Pressure (RVP, cioè la pressione di vapore del carburante a 37.8 °C);
- ✓ Valori mensili del parametro β ; questo parametro indica la frazione delle distanze percorse per ciascun mese prima che il motore raggiunga la temperatura di regime;
- ✓ Distanza media di viaggio (l_{trip} , per l'Italia questo valore è uguale a 12km).

1.3 – MODIFICHE AL MODELLO.

Il modello COPERT III, nonostante sia un programma recente e molto affidabile nella valutazione delle emissioni da traffico veicolare, presenta comunque dei limiti intrinseci. Per prima cosa non permette di stimare le

emissioni dovute a veicoli appartenenti a classi diverse da quelle COPERT, tra le quali l'importante categoria dei veicoli a metano. In secondo luogo non permette il calcolo delle emissioni di materiale particolato per veicoli diversi da quelli diesel. Inoltre il materiale particolato viene calcolato nella sua totalità (PTS), senza analizzare la componente più fine delle polveri (PM10 e PM2,5), che risulta essere quella più interessante dal punto di vista della salute del cittadino. In questo paragrafo spiegherò le modifiche che ho apportato al modello al fine di avere la valutazione delle emissioni per i veicoli a metano e le emissioni di PM10 per ciascuna classe veicolare prevista da COPERT.

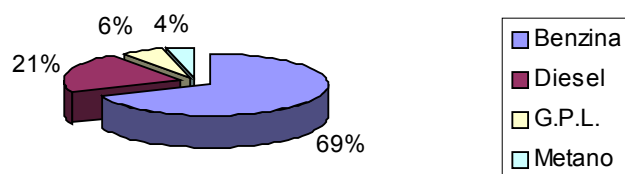
1.3.1 – I VEICOLI A METANO

Il metano, o gas naturale, è un idrocarburo semplice e, per le sue proprietà chimico fisiche, costituisce una fonte di energia pulita e direttamente pronta all'uso (viene estratto e trasportato dove è necessario attraverso una fitta rete di metanodotti). Il metano non viene solamente utilizzato come combustibile per gli autoveicoli, ma anche per il riscaldamento domestico e in minor misura nei grandi impianti industriali e per la produzione di energia.

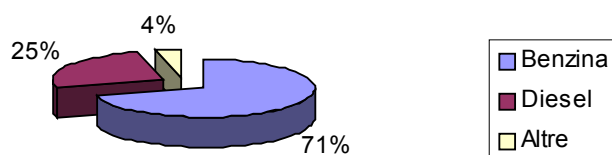
Quando viene utilizzato come carburante per alimentare i veicoli, il metano prende il nome di CNG (Compressed Gas Natural); fra i vantaggi legati all'utilizzo del metano vi è il contenuto di zolfo prossimo a zero, con conseguente trascurabilità delle emissioni di ossidi di zolfo, le emissioni evaporative e a freddo molto basse e la sua composizione non tossica. Inoltre, in casi di perdite e fuoriuscite, il metano si disperde

velocemente in atmosfera senza produrre accumuli al suolo poiché risulta più leggero dell'aria. Fra gli svantaggi legati all'utilizzo del metano vi è innanzi tutto la difficoltà dell'accumulo nei serbatoi: infatti può essere immagazzinato allo stato gassoso in serbatoi con pressioni di 200 bar oppure allo stato liquido in serbatoi con temperature di -162°C e pressioni da 2 a 6 bar. Non di minor importanza risulta essere lo svantaggio di utilizzare una tecnologia di combustione più complessa (per questo risulta anche maggiore la spesa iniziale per l'acquisto di un impianto a metano). Infine le emissioni del metano, che è un gas serra, risultano essere maggiori rispetto a quelle prodotte dai veicoli alimentati con gli altri combustibili. Molti sono i Paesi che attualmente stanno cercando di aumentare l'utilizzo del metano per cercare di dipendere sempre meno dal petrolio. Questa volontà però non sempre si concretizza in un reale tentativo di valorizzare l'utilizzo del metano; infatti ancora oggi la rete distributiva del gas naturale è scarsamente sviluppata rispetto a quella dei carburanti tradizionali. Questo scarso sviluppo è in linea con il numero di veicoli che al 31/12/2004 utilizzano come carburante il metano; infatti nel Comune di Forlì gli autoveicoli a metano sono ancora pochi al confronto con quelli a benzina e a diesel, anche se questi dati sono in linea con quelli nazionali. Questo aspetto è visibile nei due grafici seguenti, dove vengono riportati il numero di veicoli suddivisi per alimentazione.

Distribuzione autovetture per alimentazione (dato comunale)



Distribuzione autoveicoli per alimentazione (dato nazionale)



Il calcolo delle emissioni dei veicoli a metano è stato fatto per quattro tipologie di inquinanti: CO, NO_x, PM e CH₄. Il numero di veicoli a metano del Comune di Forlì al 31/12/2004 è stato ricavato dai dati ACI.

Classe veicolare	Popolazione
AUTOVETTURE BENZINA	2716
<1400 cm ³	1565
Conventional	659
91/441/ECC Euro1	269
94/12/EC Euro2	420
98/69/EC Euro3	217
1401cm ³ - 2000cm ³	1136
Conventional	335
91/441/ECC Euro1	256
94/12/EC Euro2	237
98/69/EC Euro3	308
> 2000cm ³	15
91/441/ECC Euro1	10
94/12/EC Euro2	4
98/69/EC Euro3	1

Tabella 6: Veicoli a metano nel Comune di Forlì (Anno 2004).

Per quanto riguarda i valori standard di percorrenza e i cicli di guida per gli autoveicoli a metano appartenenti alle classi indicate nella tabella sopra si è fatto riferimento ai veicoli alimentati con G.P.L., ipotizzando che gli impianti a metano vengano fatti su veicoli che hanno una elevata percorrenza media annua per una questione di convenienza economica; per gli autobus ho considerato i corrispondenti valori dei mezzi diesel (i valori sono presenti nella Tabella 2). Purtroppo stime specifiche di questi valori per i veicoli a metano non sono disponibili. A questo punto il modello calcolerebbe come passaggio intermedio i fattori di emissione, ma questi non si riferiscono ai veicoli a metano, bensì alle relative classi veicolari a benzina o diesel; perciò è necessario inserire come input i fattori di emissione relativi ai veicoli a metano per ottenere le reali stime delle emissioni. Per i fattori di emissione si è fatto riferimento ai documenti presenti in bibliografia (Ref.1 e Ref.2). Dalle tabelle presenti nel primo documento (Ref.1) sono stati ricavati i fattori di emissione per CO, NO_x e PM per le categorie di auto EURO II, III, IV e per i veicoli merci leggeri; i valori per le auto EURO I e Conventional sono stati ottenuti come tendenza dai precedenti. I fattori di emissione per il CH₄ sono stati ottenuti dai dati presenti nel secondo documento (Ref.2); in questo documento vengono considerati degli intervalli di valori, tra i quali ho considerato come rappresentativo della classe veicolare l'estremo maggiore.

Classe veicolare	FATTORI DI EMISSIONE			
	CO	NO _x	PM	CH ₄
AUTOVETTURE METANO <1400 cm³				
Conventional	1,92	0,206	0,008	2,48
91/441/ECC Euro1	1,6	0,168	0,007	2,48
94/12/EC Euro2	1,28	0,126	0,006	2,48
98/69/EC Euro3	0,96	0,101	0,005	2,48
98/69/CE Euro4	0,64	0,05	0,004	2,48
1401cm³ - 2000cm³				
Conventional	1,92	0,206	0,008	2,48
91/441/ECC Euro1	1,6	0,168	0,007	2,48
94/12/EC Euro2	1,28	0,126	0,006	2,48
98/69/EC Euro3	0,96	0,101	0,005	2,48
98/69/CE Euro4	0,64	0,05	0,004	2,48
> 2000cm³				
91/441/ECC Euro1	1,6	0,168	0,007	2,48
94/12/EC Euro2	1,28	0,126	0,006	2,48
98/69/EC Euro3	0,96	0,101	0,005	2,48
98/69/CE Euro4	0,64	0,05	0,004	2,48
VEICOLI MERCI LEGGERI	1,28	0,126	0,006	3,48
AUTOBUS	0,3	0,1	0,01	3,977

Tabella 7: Fattori di emissione di CO, NO_x, PM e CH₄ per i vicoli a metano.

Confrontando i fattori di emissione dei veicoli a metano con quelli dei veicoli a benzina e diesel si nota immediatamente una significativa differenza: il valore delle polveri è sensibilmente ridotto (riduzione stimata dal 92 al 95% per le auto, del 99% per gli autobus e dal 90 al 95% per i veicoli merci leggeri), risultano bassi anche i valori per gli ossidi di azoto (riduzione fino al 90% per le auto, fino al 95% per i veicoli merci leggeri e del 99% per gli autobus) e per il monossido di carbonio (riduzione dal 55 al 86% per le auto a benzina, dal 70 al 95% per i veicoli merci leggeri ed intorno al 93% per gli autobus), mentre risulta rilevante l'emissione del metano che aumenta fino a tre ordini di grandezza. Questa differenza è giustificata dal fatto che il metano è una molecola

molto semplice, che si ossida molto bene (quindi brucia bene) arrivando più facilmente allo stato finale dell'ossidazione, cioè all'anidride carbonica. Inoltre non forma particelle diverse dal metano poiché difficilmente può formare molecole di dimensioni superiori rispetto a quelle del gas originale.

1.3.2 – LE POLVERI PM10.

Il modello COPERT III, come ho spiegato all'inizio del paragrafo 1.3, calcola le PM nella loro totalità, senza fare alcuna distinzione quantitativa tra i diametri delle particelle; considerata la grande importanza che ha la frazione più fine delle polveri ed in particolare le PM10 (particelle con diametro minore o uguale a 10 micron) ho deciso di integrare lo studio con la stima delle emissioni delle PM10. Ho applicato questa integrazione non solo ai veicoli diesel, come prevede invece COPERT per la stima delle PM, ma anche ai veicoli alimentati a benzina; questo perché anche le classi veicolari a benzina emettono PM, anche se in quantità relativamente basse rispetto a quelle che utilizzano come carburante il diesel. Il calcolo delle emissioni di PM10 viene fatto a partire da fattori di emissione noti delle classi veicolari.

I fattori di emissione che ho utilizzato sono quelli indicati dall'APAT (Agenzia Nazionale Protezione Ambiente e Servizi Tecnici). A questi dati fanno eccezione quelli per i veicoli EURO III, ottenuti da quelli EURO II attraverso le percentuali di riduzione stabilite dalla normativa (tutti i valori sono contenuti nella tabella corrispondente nell'allegato C), e quelli delle auto a diesel, per i quali ho utilizzato i fattori di emissione indicati dalla

IIASA (International Institute for Applied System Analysis). Per il calcolo delle emissioni di PM10 ho utilizzato la formula per la stima delle emissioni a caldo presente nel paragrafo 1.1, “Principi di funzionamento modello COPERT III”, applicandola per tutte le classi veicolari nei vari cicli di guida.

CAPITOLO 2

RISULTATI

2.1 – IL BILANCIO DEL CARBURANTE

Il modello COPERT III permette di stabilire un confronto fra il consumo di carburante immesso come input e quello calcolato dal programma. Il dato in input è stato ricavato dal carburante venduto (quello comunale è stato ricavato dal dato provinciale), mentre il valore ricavato da COPERT è stato calcolato in base ai dati di traffico introdotti (parco veicolare, velocità media e ciclo di guida per ciascuna classe di veicoli). Nella seguente tabella vengono riportati i consumi immessi come input e quelli calcolati dal modello.

Carburante	Venduto (t)	Calcolato (t)	Deviazione (%)
Benzina	42438	38377,3	-9,6
Diesel	66082	47677,1	-27,9
G.P.L.	11978	6016,5	-49,8

Come si nota dalla tabella, i dati relativi alla benzina risultano avere una deviazione bassa, mentre quelli relativi al diesel ed al G.P.L. hanno una discrepanza maggiore. Questa significativa differenza può essere dovuta al fatto che i dati relativi al venduto non tengono conto che veicoli non registrati all'interno del Comune possano circolare nell'area considerata dallo studio e comprare qui il carburante e viceversa. Quindi la

discrepanza può essere dovuta ai flussi in entrata ed in uscita dalla città di Forlì. In particolare per il diesel ed il G.P.L. la deviazione è negativa: ciò significa che veicoli non appartenenti al Comune di Forlì fanno carburante in questa area. Soprattutto per il G.P.L. questa deviazione può essere dovuta al fatto che in pochi piccoli comuni esistono distributori policarburante e quindi questi veicoli sono costretti a fare rifornimento in comuni più grandi e con maggiori servizi come risulta essere quello di Forlì.

2.2 – I FATTORI DI EMISSIONE.

Come anticipato nei capitoli precedenti, COPERT calcola come passaggio intermedio i fattori di emissione, espressi in g/km*veicolo, per ciascun inquinante. Questi dati vengono poi utilizzati dal modello stesso per il calcolo finale delle emissioni. I fattori di emissione per ciascuna classe veicolare sono stati calcolati per i seguenti inquinanti: monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NOx), particolato (PM), componenti organici volatili (VOC), metano (CH₄), protossido di azoto (N₂O), ammoniaca (NH₃) e componenti organici non metanici (NMVOC). Per il monossido di carbonio, il particolato, gli ossidi di azoto e i componenti organici volatili il modello COPERT calcola sia i fattori di emissione a caldo che quelli a freddo (per ciascun mese), mentre per il metano, il protossido di azoto e l'ammoniaca calcola solo i fattori di emissione a caldo ed infine per gli NMVOC calcola i fattori di emissione evaporativi. Al fine di non appesantire troppo il corpo principale della tesi ho deciso

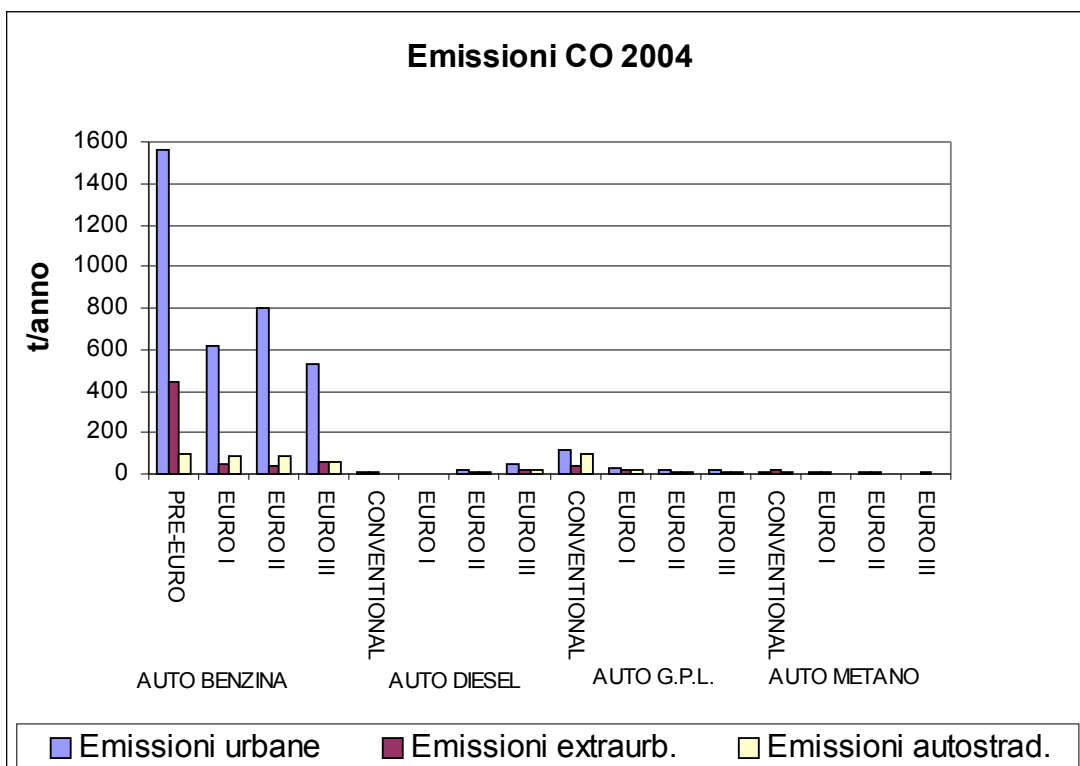
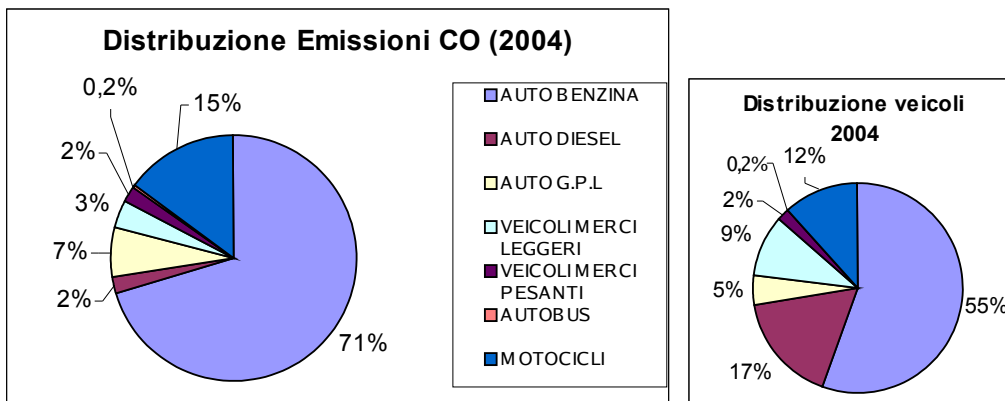
di inserire tutti i valori relativi ai fattori di emissione nelle tabelle poste nell'allegato A (Fattori di emissione).

2.3 – LE EMISSIONI

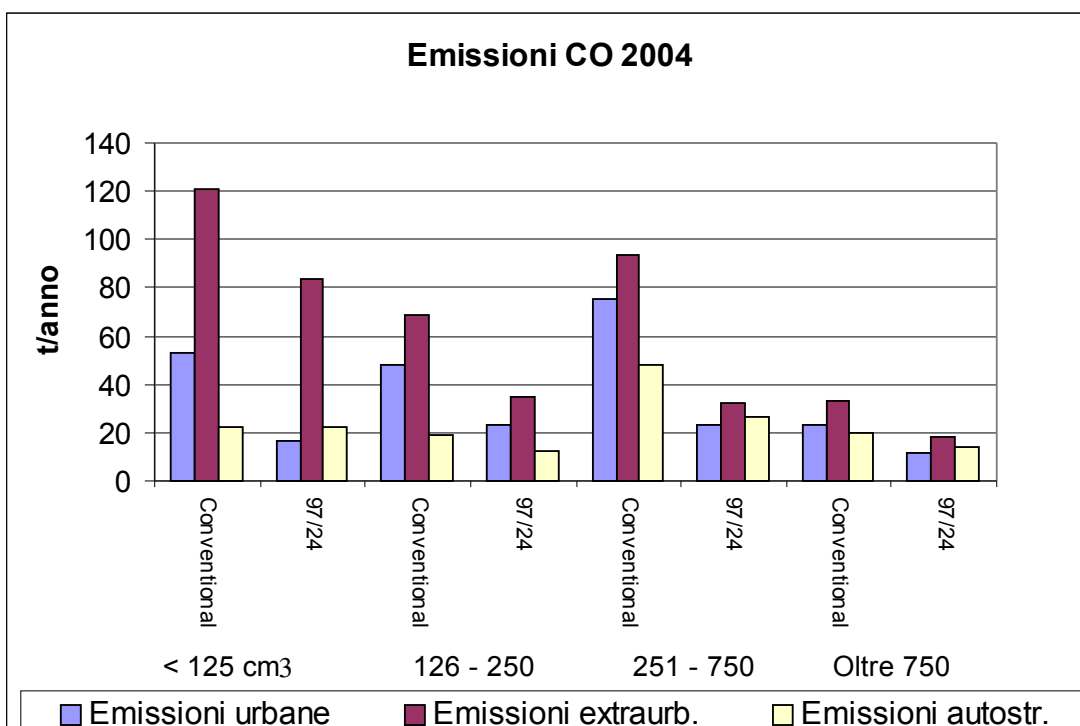
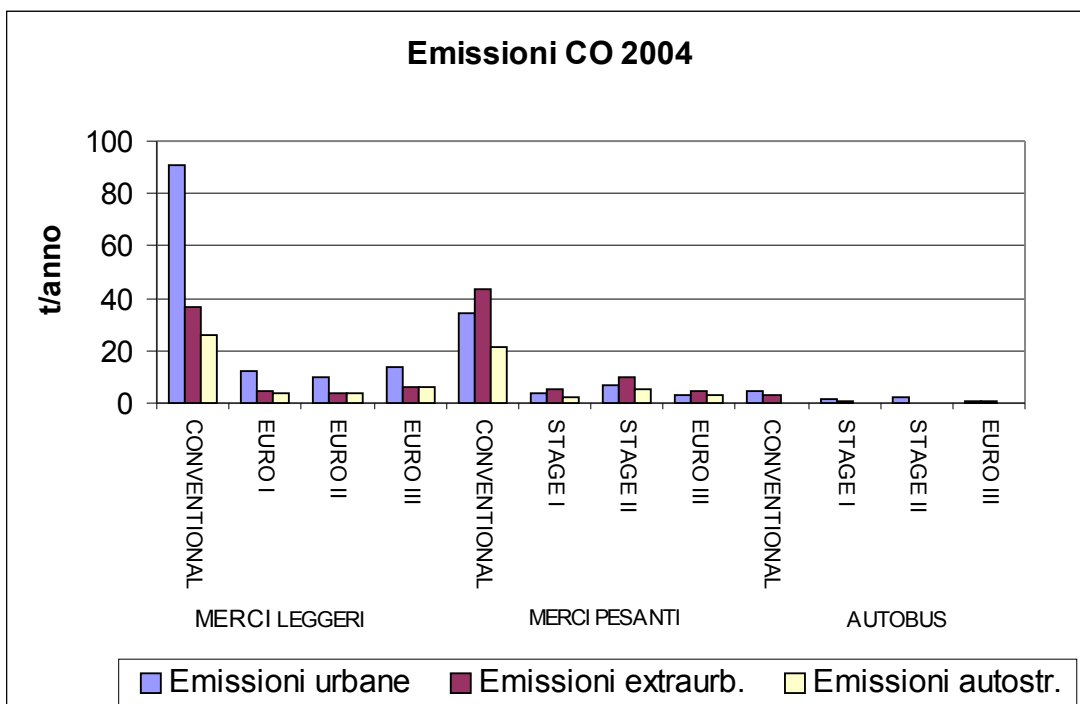
Il risultato finale del modello COPERT III è il valore delle emissioni in tonnellate nell'anno 2004 per ciascuno degli inquinanti considerati. In questo paragrafo riporto graficamente le emissioni totali di ciascun inquinante suddivise per macroclasse (auto benzina, diesel, G.P.L., veicoli merci leggeri e pesanti, autobus e motocicli), standard legislativo (Pre-EURO, EURO I, EURO II ed EURO III) e ciclo di guida (urbano, extraurbano ed autostradale). Tutti i valori delle emissioni (a caldo, a freddo, evaporative e totali) suddivise per classe veicolare, standard legislativo, classe di cilindrata/portata e ciclo di guida a motore caldo e freddo sono riportati nelle tabelle dell'Allegato B.

➤ MONOSSIDO DI CARBONIO (CO).

Tra le auto, le maggiori fonti emissive di CO sono i veicoli a benzina (71%) ed in particolare i veicoli pre-EURO. La seconda fonte emissiva è rappresentata dai motocicli (15%), soprattutto i motoveicoli fino a 750 cm³. Come è possibile osservare dai grafici a torta, i veicoli diesel (auto e veicoli merci) danno un contributo assai ridotto alle emissioni di CO rispetto al loro numero.



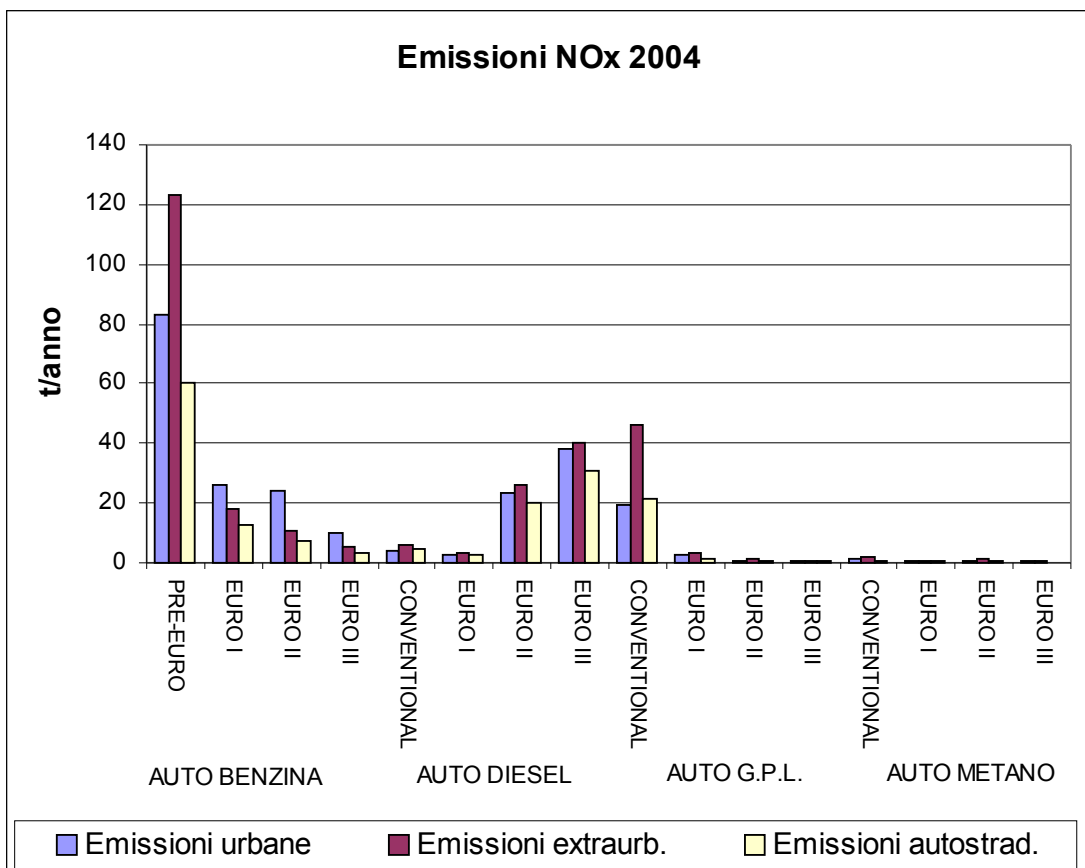
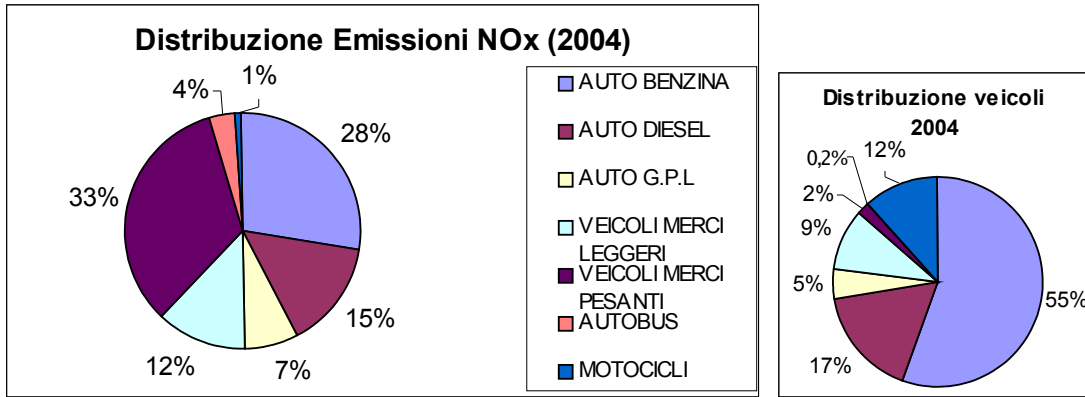
La produzione di CO è la conseguenza della combustione incompleta del carburante e avviene in condizioni di miscele ricche oppure di temperature non sufficientemente alte. E' utile sottolineare che la maggiore produzione di monossido di carbonio avviene durante i regimi transitori (riscaldamento, accelerazione e decelerazione) e quindi durante il ciclo urbano. Anche in prossimità delle pareti fredde risulta favorita la combustione incompleta e quindi la produzione di CO.



➤ OSSIDI DI AZOTO (NO_x)

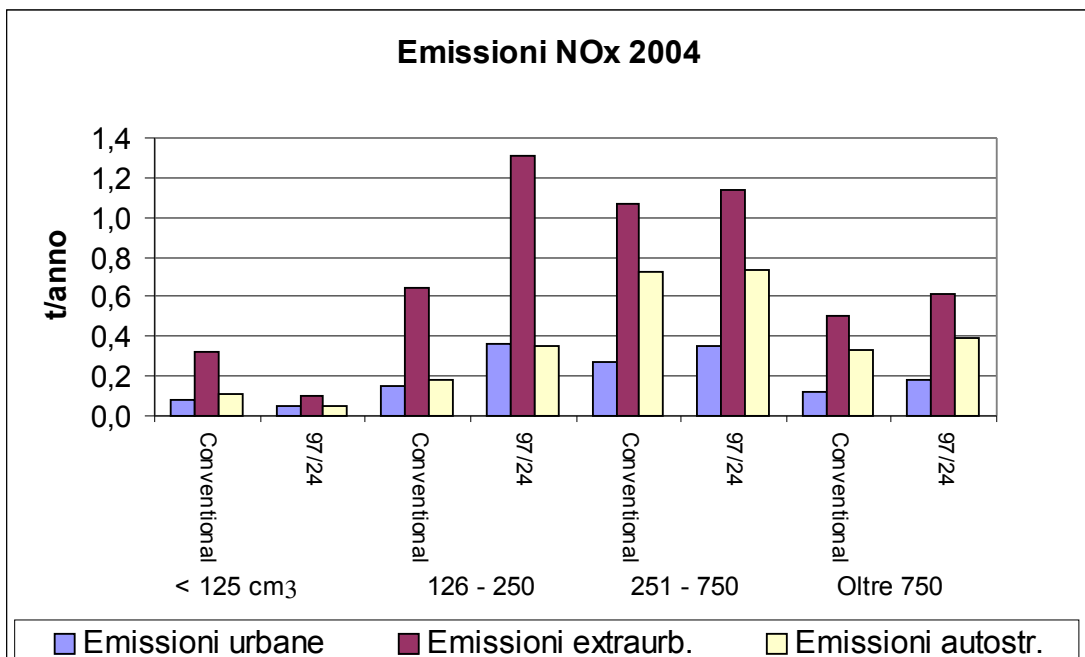
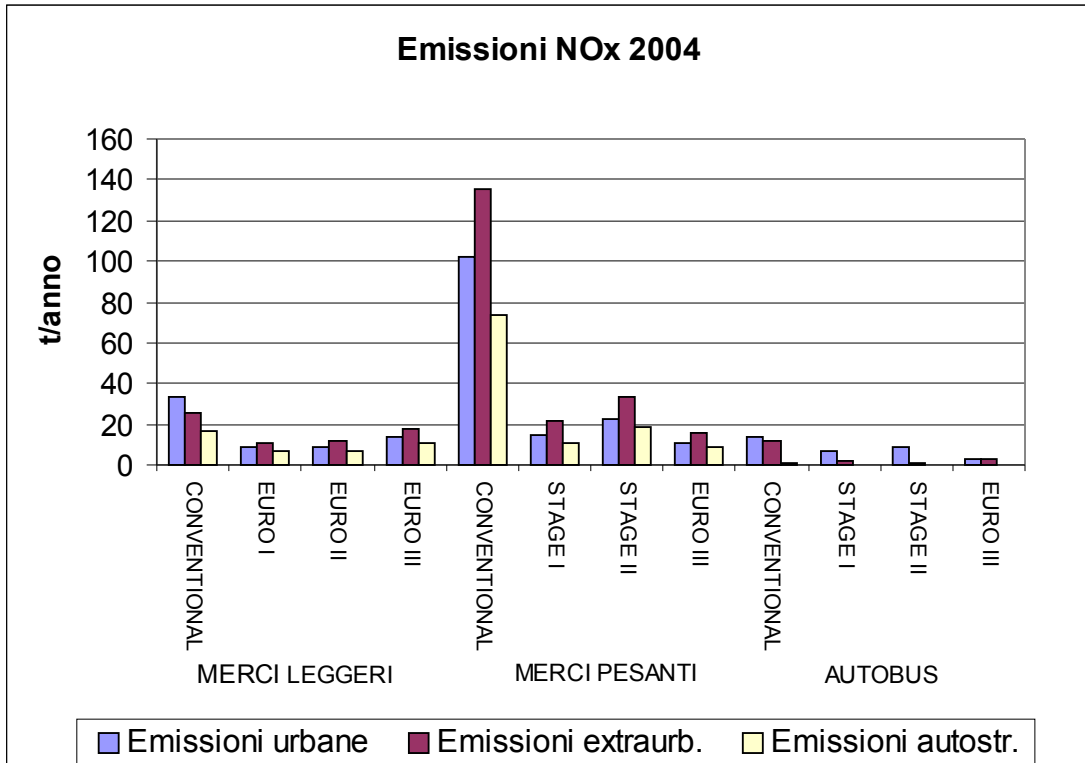
Anche in questo caso spiccano, dal punto di vista quantitativo, tra le fonti emissive maggiori di ossidi di azoto le auto, in particolare quelle a benzina pre-EURO, quelle a diesel EURO II e III e quelle a G.P.L. conventional. Il dato più interessante riguarda però i veicoli merci che,

nonostante rappresentino solo il 2% del parco veicolare emettono il 33% degli NOx. In questa macroclasse i veicoli convenzionali risultano essere quelli più inquinanti. Lo stesso discorso vale per gli autobus: lo 0,2% del parco veicolare emette il 4% degli ossidi di azoto



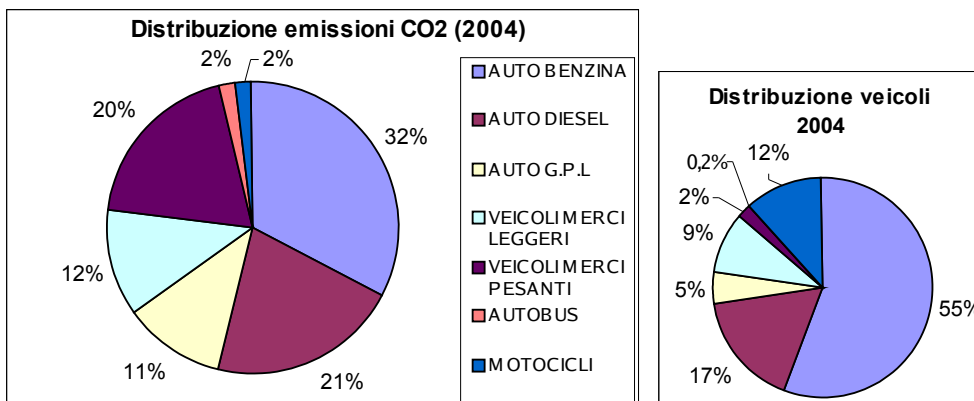
Le maggiori emissioni di ossidi di azoto si hanno durante i percorsi extraurbani. Questo è dovuto al fatto che la reazione di produzione di NO è fortemente endotermica e pertanto risulta favorita nelle condizioni

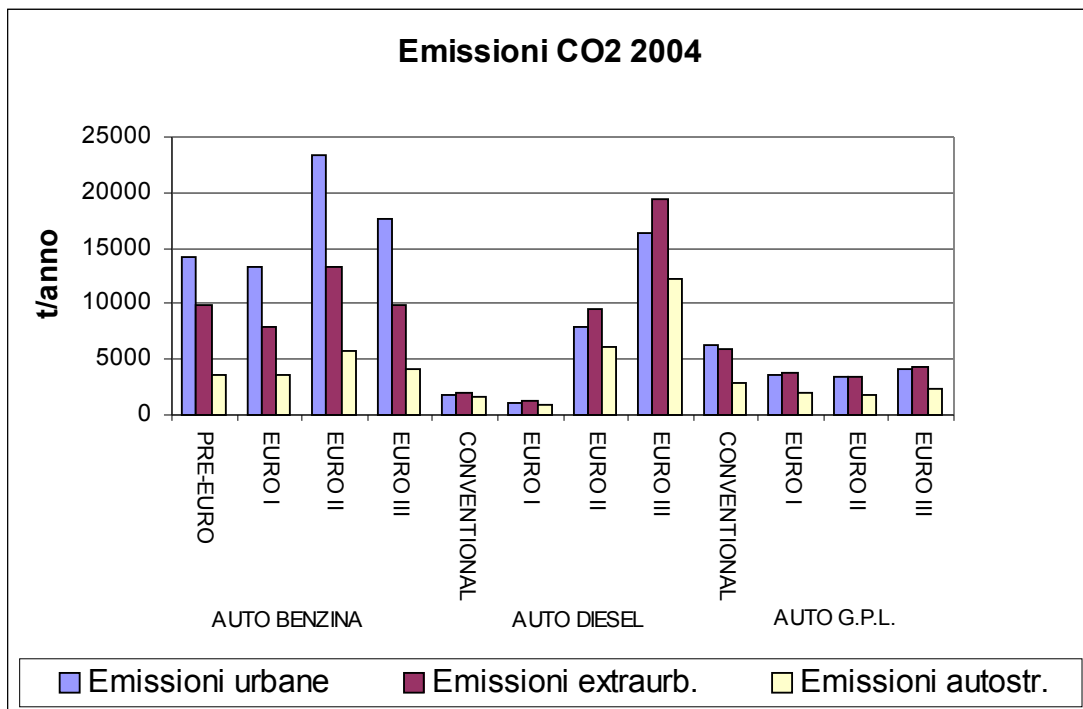
che producono le massime temperature di combustione (miscele stechiometriche o leggermente magre). La formazione di NO è inoltre fortemente influenzata dai tempi di permanenza dei gas di reazione alle alte temperature.



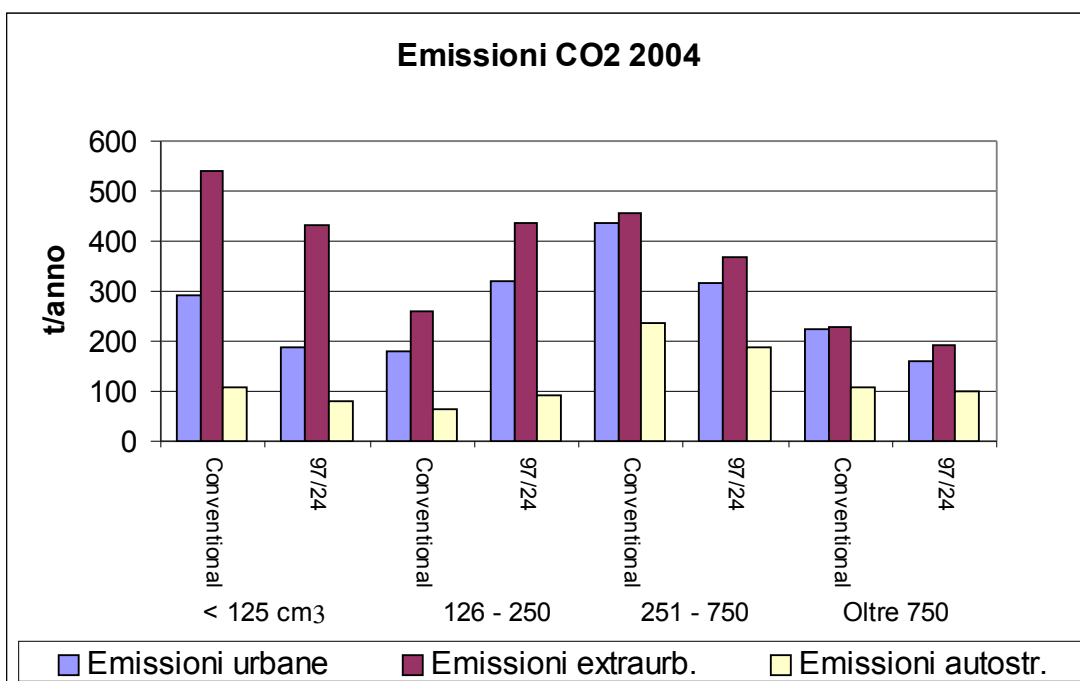
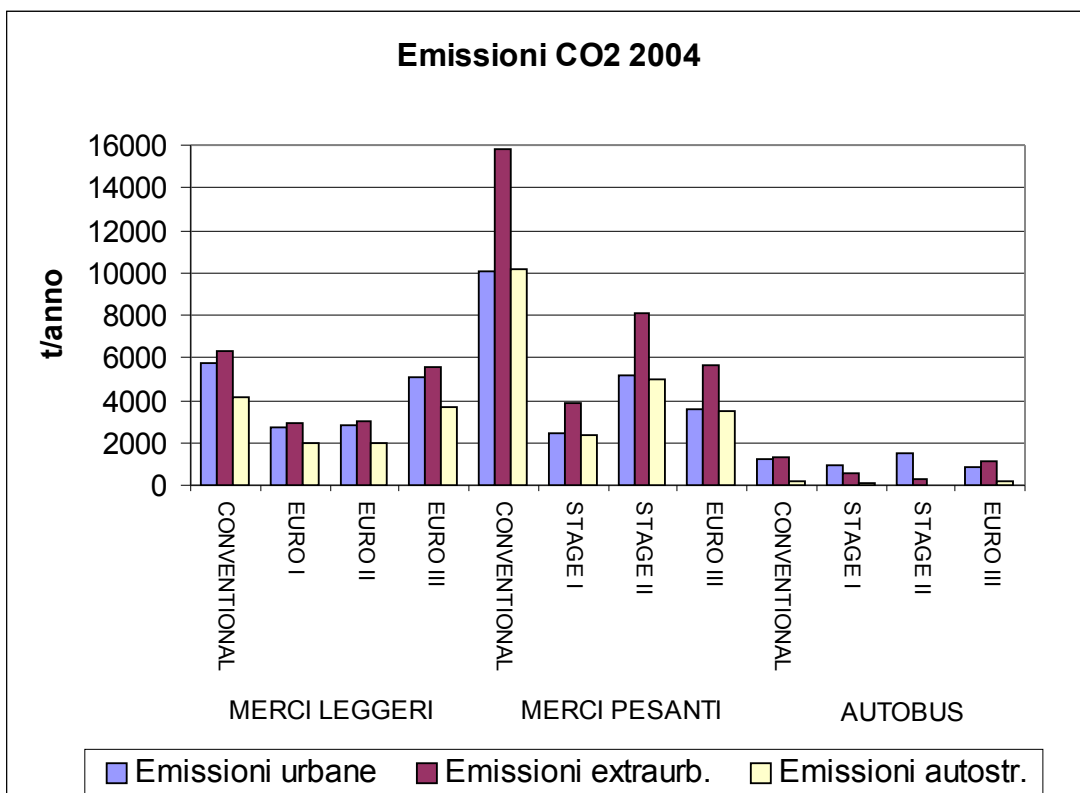
➤ ANIDRIDE CARBONICA (CO₂)

Le maggiori fonti emissive sono ancora una volta rappresentate dalle autovetture, in particolare quelle a benzina e diesel durante il ciclo di guida urbano, mentre inferiore risulta il contributo di quelle alimentate con G.P.L.. Tra i veicoli merci, che rappresentano la seconda fonte emissiva di CO₂, spiccano di nuovo i pesanti convenzionali, ma risultano significativi i contributi di tutti i veicoli appartenenti a questa macroclasse e a quella degli autobus, soprattutto in ambito extraurbano. I motocicli sono il terzo contributo in termini totali, ma rappresentano comunque una fonte emissiva importante; le emissioni dei motocicli sono distribuite con maggiore omogeneità tra le varie classi rispetto alle alte categorie veicolari.





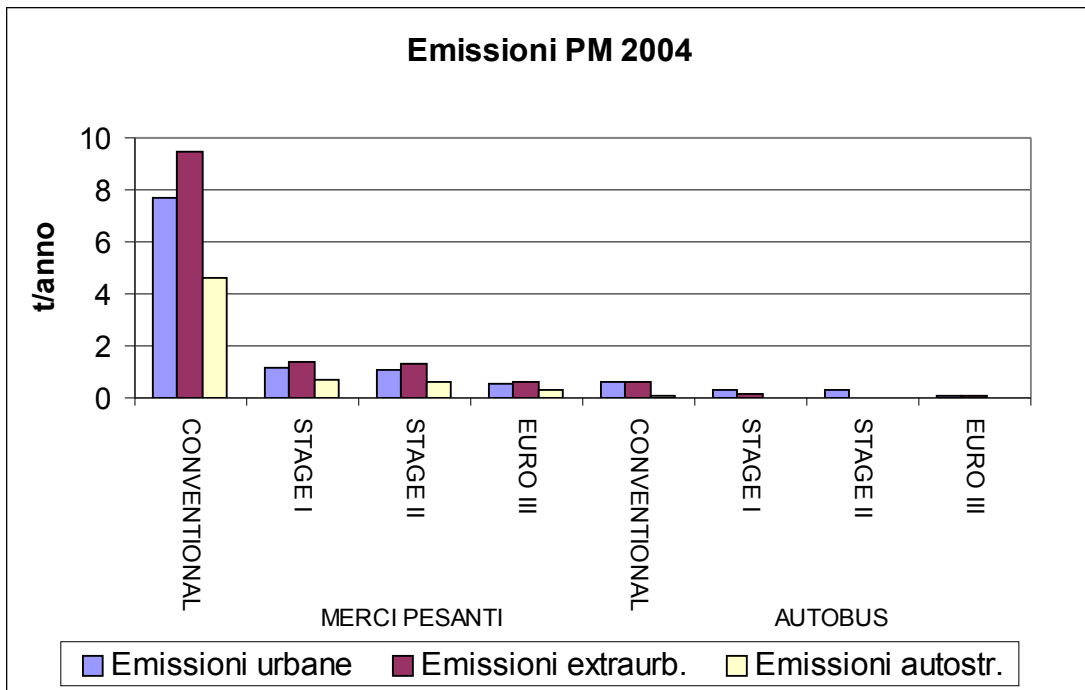
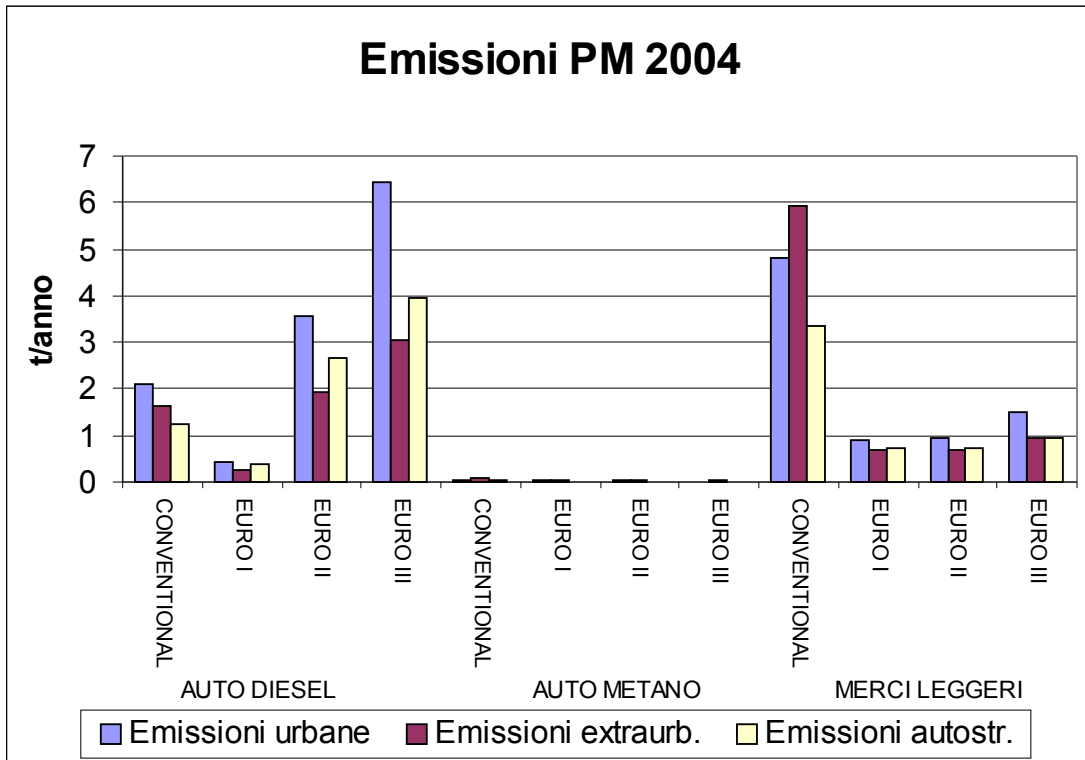
Le emissioni di anidride carbonica sono in relazione ai consumi di carburante; infatti la CO₂ è il prodotto finale della combustione in condizioni di miscele stechiometriche (aria/carburante =1). Le tipologie di percorso dove avvengono le maggiori emissioni sono quindi quelle dove avvengono i maggiori consumi e cioè quello urbano (per le auto a benzina) e quello extraurbano (per i veicoli diesel).



PARTICOLATO (PM)

Come spiegato nel Capitolo 1, COPERT calcola le emissioni di particolato per i soli veicoli diesel. Tra questi le maggiori fonti emissive sono dovute alle auto EURO II e III ed ai veicoli merci leggeri e pesanti

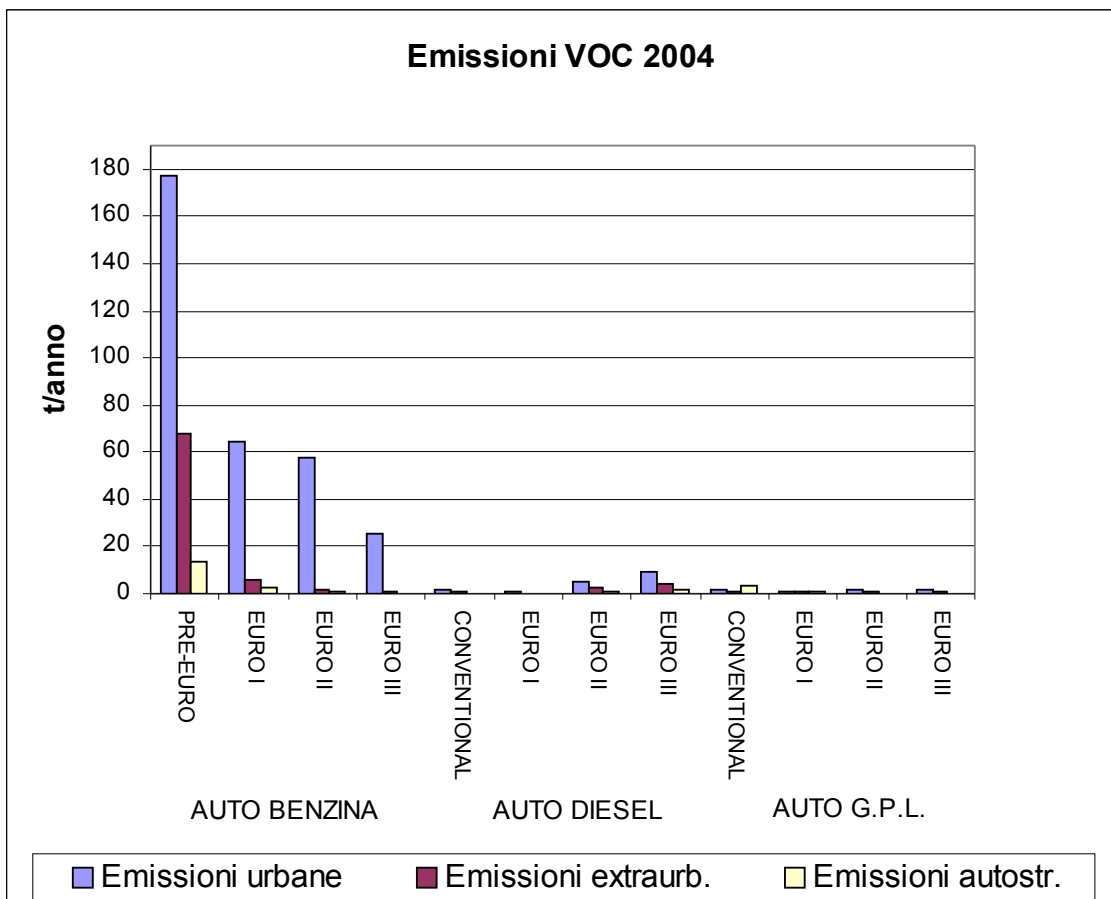
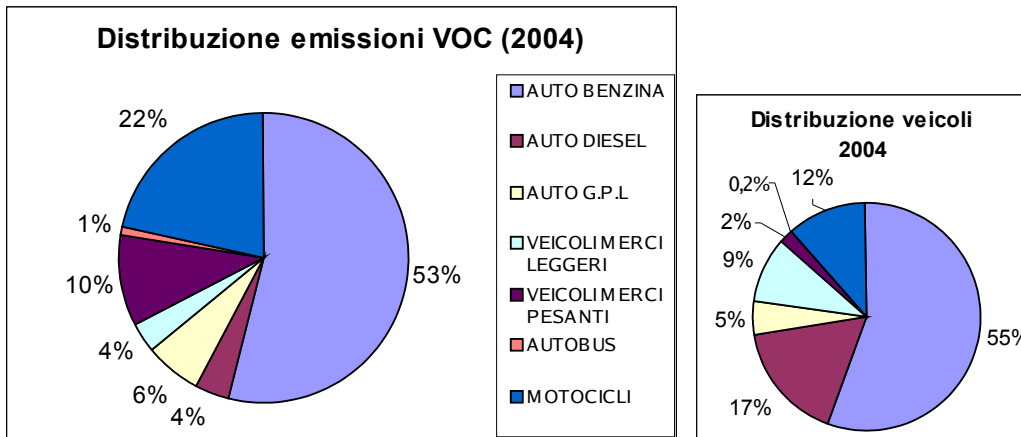
convenzionali. Le maggiori emissioni vengono comunque prodotte nei percorsi urbani ed extraurbani.



➤ **COMPOSTI ORGANICI VOLATILI (VOC)**

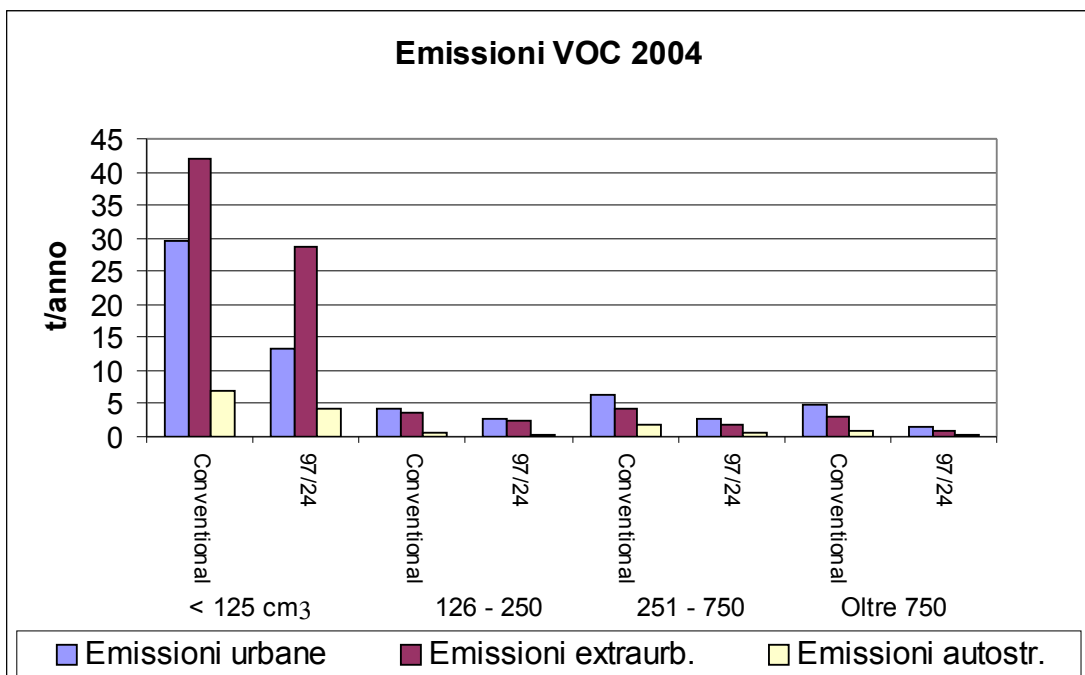
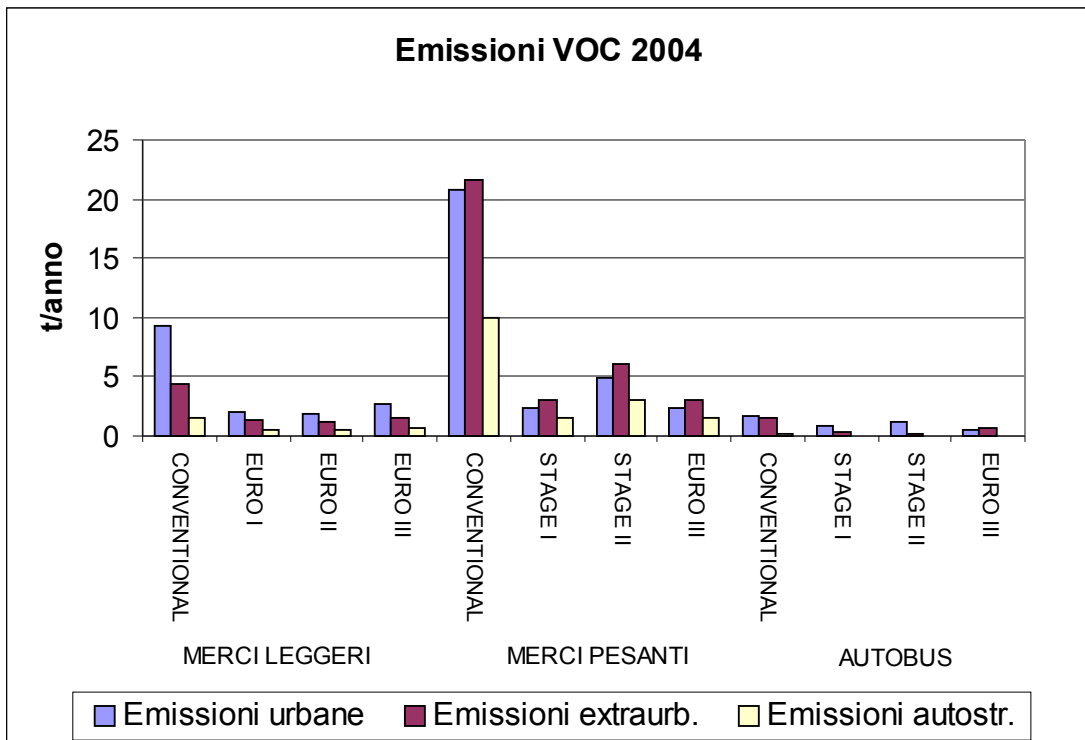
La macroclasse che contribuisce in maggior misura alle emissioni dei VOC è quella delle auto a benzina ed in particolare quelle classificate

come pre-EURO. Anche i motocicli, soprattutto quelli < 125 cm³, contribuiscono ad incrementare le emissioni di questa specie di inquinante, seppure in maniera minore. Tra i veicoli merci risulta rilevante il contributo emesso dai veicoli industriali pesanti convenzionali.



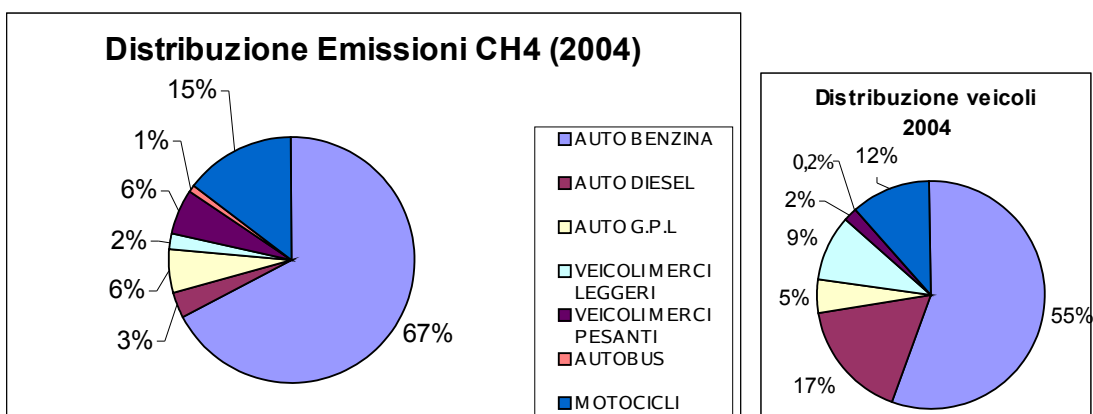
Le emissioni dei composti organici volatili sono una conseguenza della volatilità dei carburanti. Le maggiori emissioni di VOC si hanno durante il

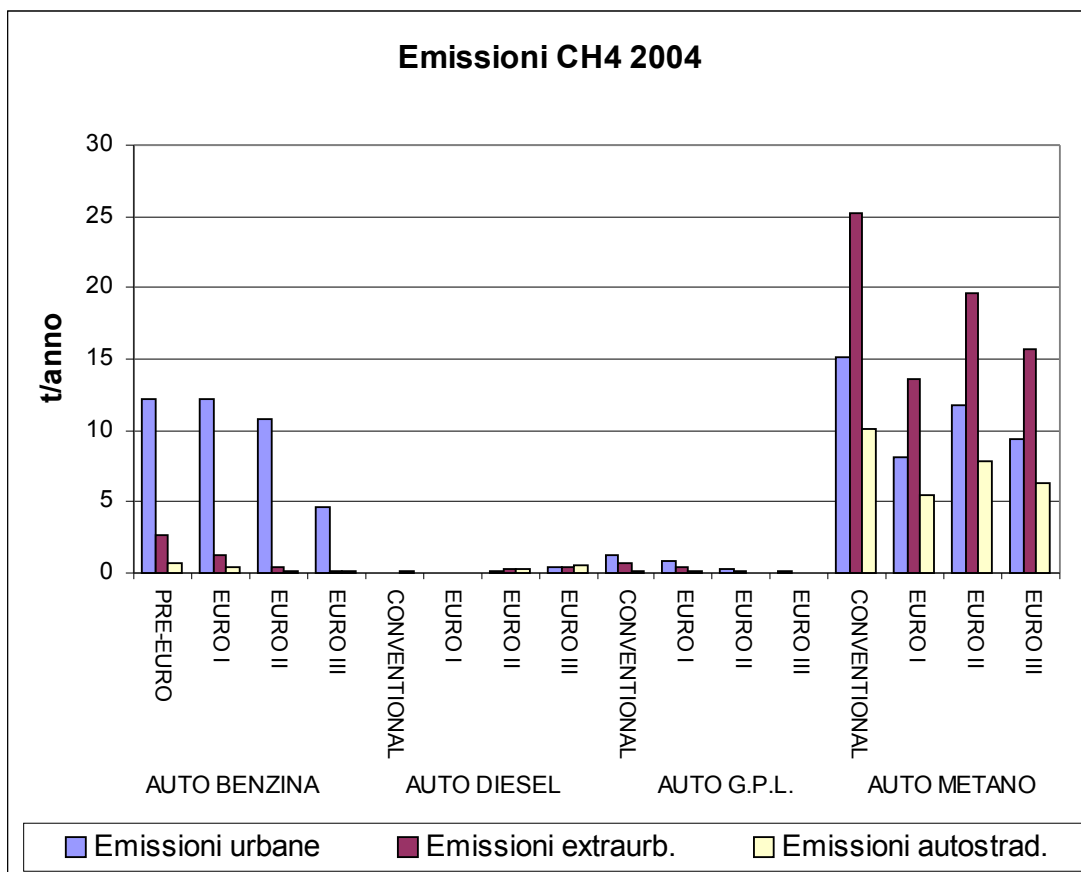
percorso urbano, quando cioè il motore non ha ancora raggiunto la temperatura di regime. I VOC vengono rilasciati principalmente per effetto del carburante che si deposita sulle pareti fredde e che stenta a partecipare alla combustione, soprattutto a causa della bassa temperatura alla quale si trova.



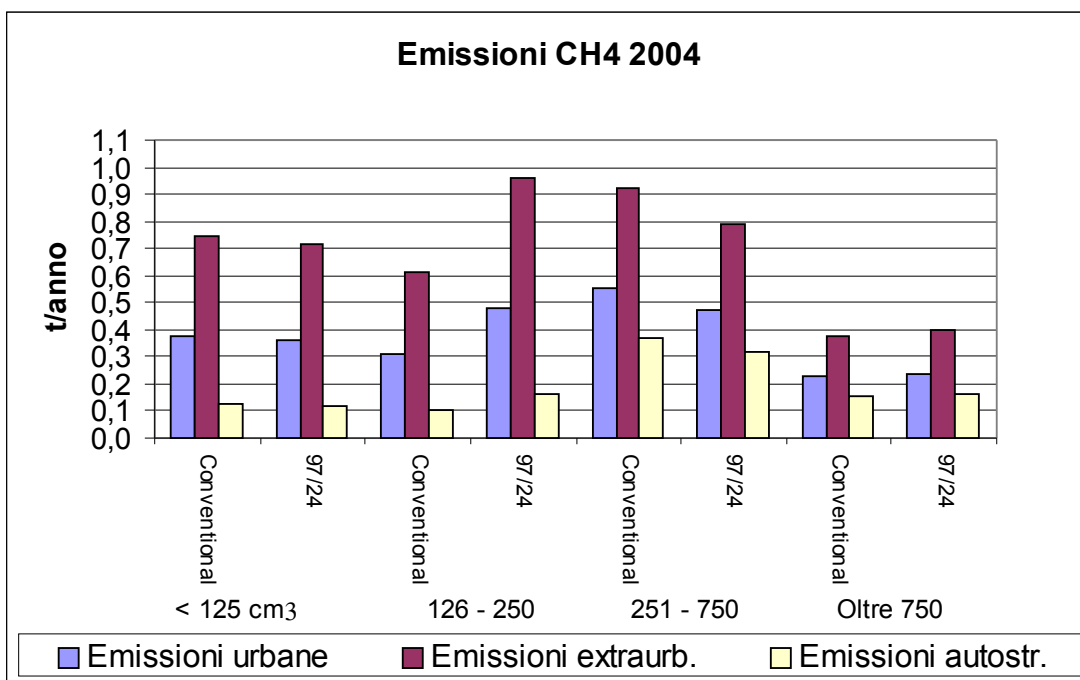
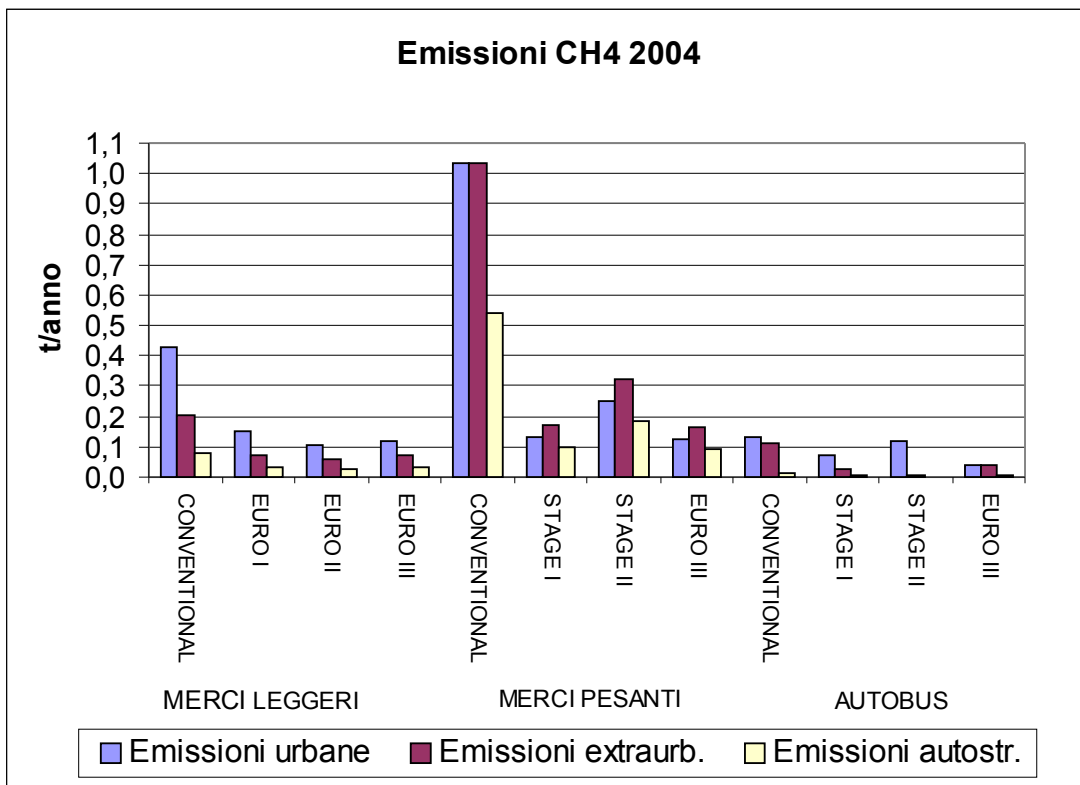
➤ METANO (CH₄)

Le principali fonti emissive di metano sono rappresentate dalle auto metano, con particolare riferimento a quelle pre-EURO. Come si può notare nei seguenti grafici, le emissioni di metano avvengono principalmente nei percorsi extraurbani. I veicoli a benzina e diesel (auto, veicoli merci ed autobus) emettono un quantitativo piuttosto basso di CH₄. I motocicli contribuiscono quanto i veicoli diesel, nonostante utilizzino come carburante la benzina.





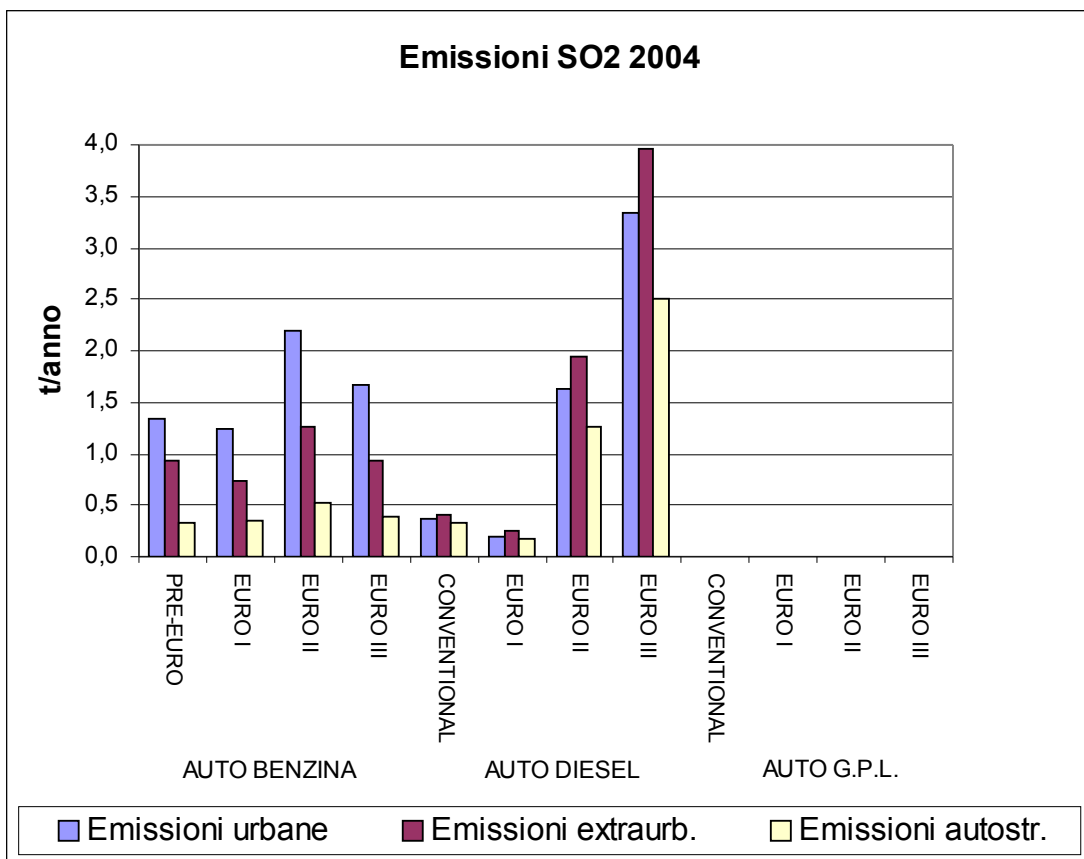
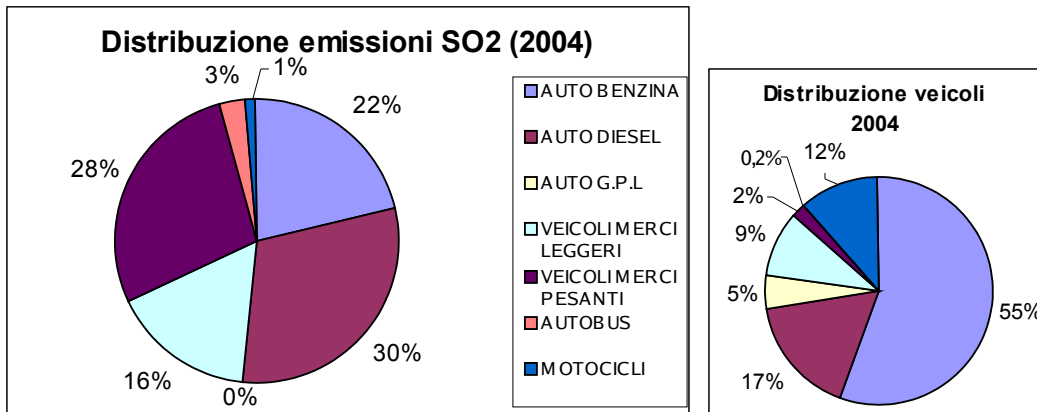
I veicoli a metano, nonostante emettano pochissimo CO, NO_x e PM e siano numericamente inferiori rispetto alle altre macroclassi, risultano essere la principale fonte di CH₄. Questo è dovuto al fatto che il metano è un gas piuttosto semplice ed è difficile che i composti derivanti dalla sua combustione siano molecole diverse dal CH₄.



➤ ANIDRIDE SOLFOROSA (SO2)

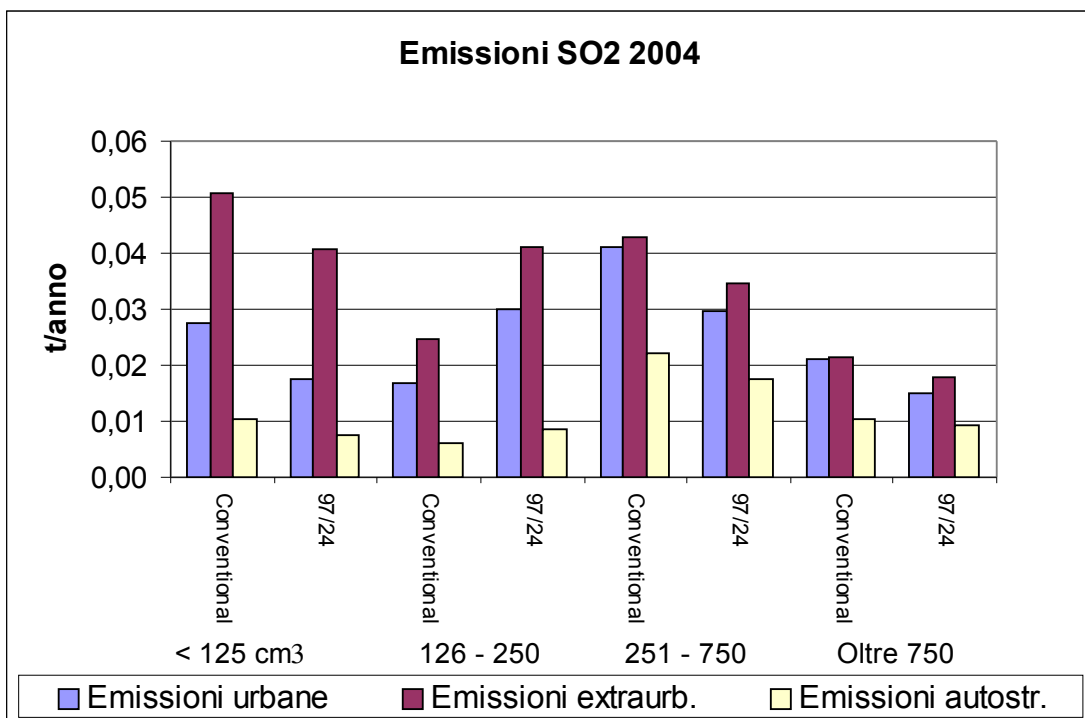
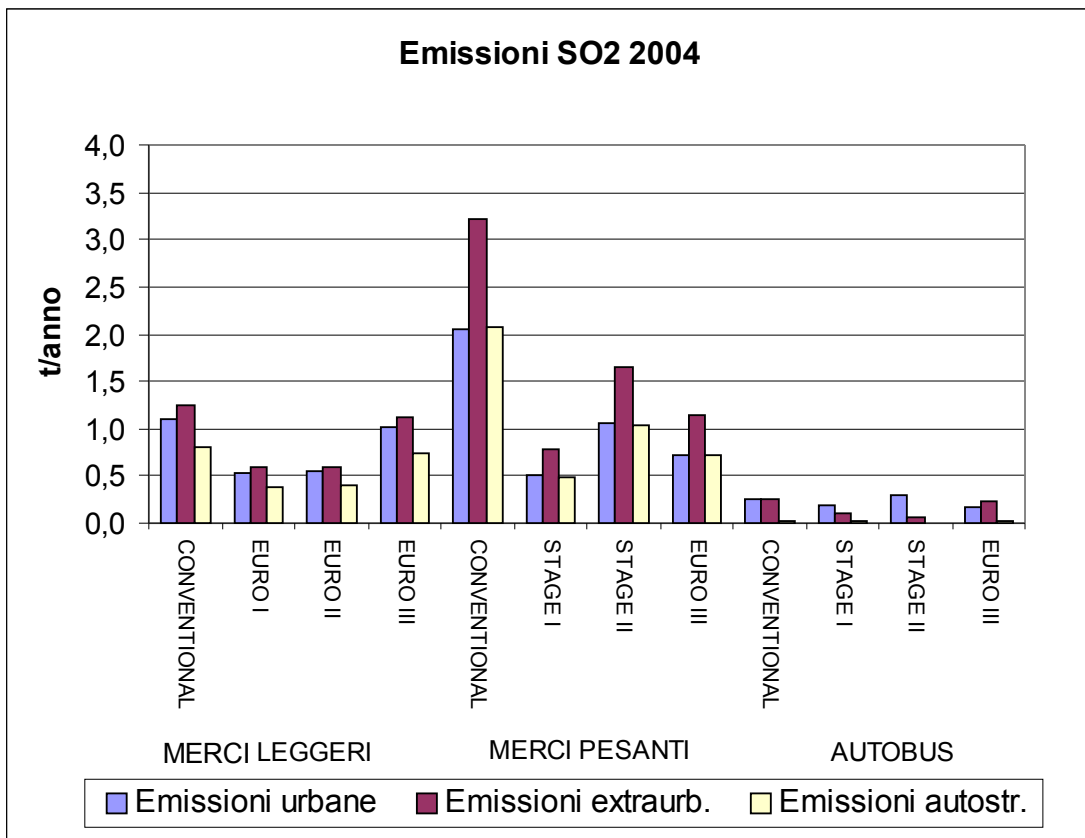
Le emissioni di anidride solforosa sono causate principalmente dalle auto diesel e dai veicoli merci pesanti. Tra le auto diesel le componenti più importanti risultano prodotte dalle vetture EURO II e III. Per quanto riguarda i veicoli merci, i valori delle emissioni si attestano a circa 1

t/anno, tranne per i veicoli pesanti convenzionali che producono emissioni doppie rispetto alle altre categorie veicolari appartenenti alla stessa macroclasse. Quantitativamente motocicli e autobus producono emissioni assai ridotte rispetto alle altre tipologie di veicoli.



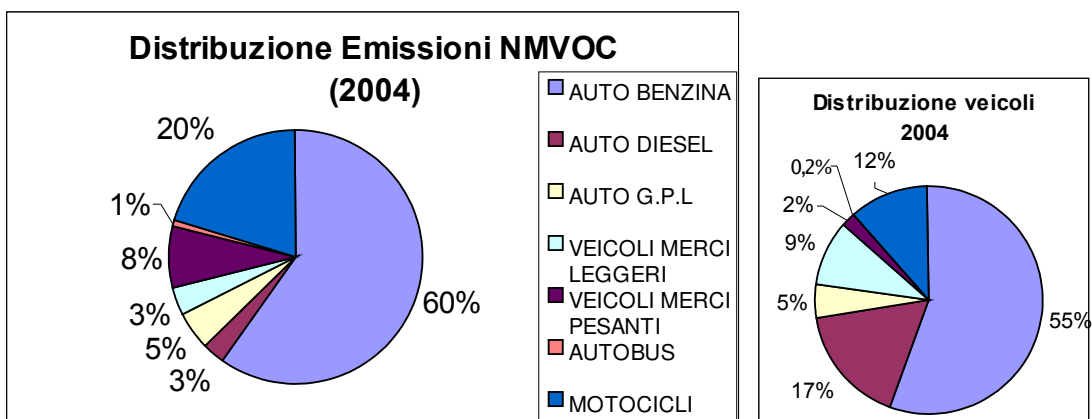
La produzione di SO₂ è dovuta alle impurità di zolfo presenti nei carburanti. I veicoli diesel producono le maggiori emissioni poiché il

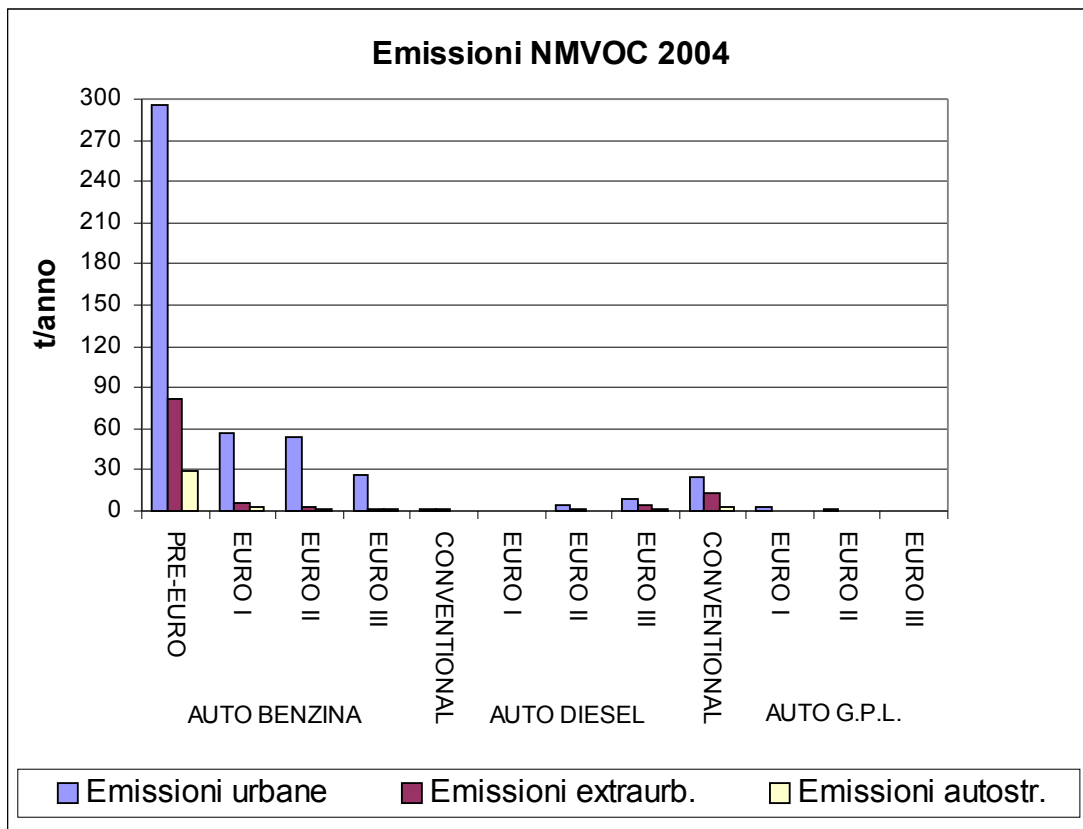
contenuto di zolfo in questa tipologia di carburante è pari a 0,032%wt, contro lo 0,015 della benzina e la completa assenza nel G.P.L.



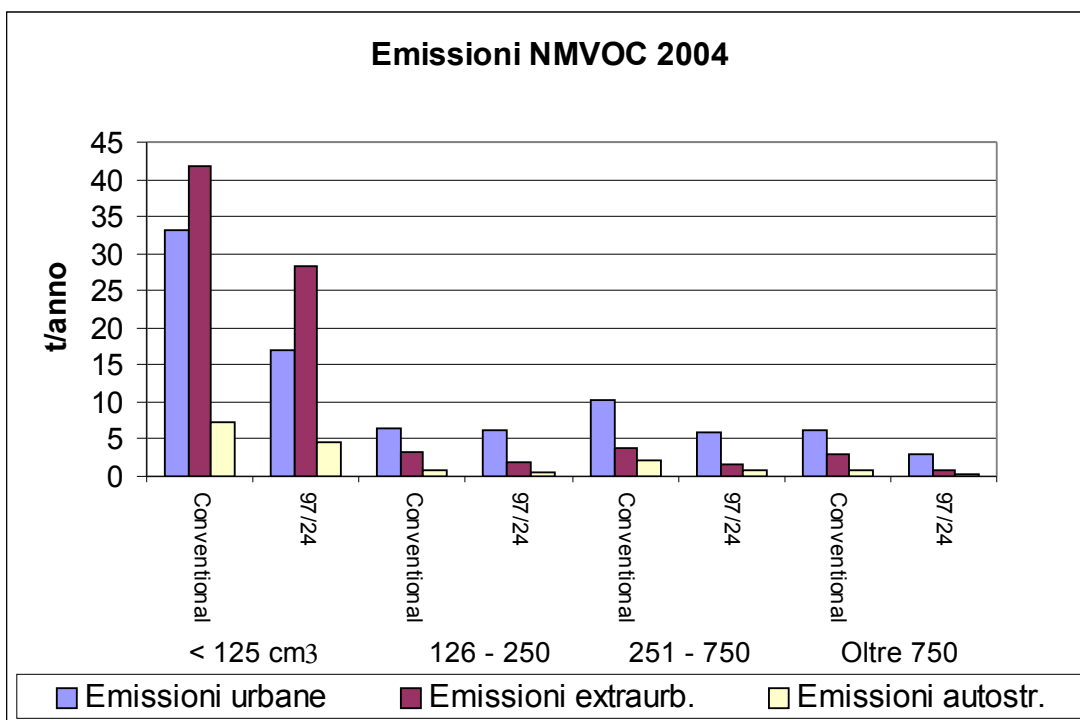
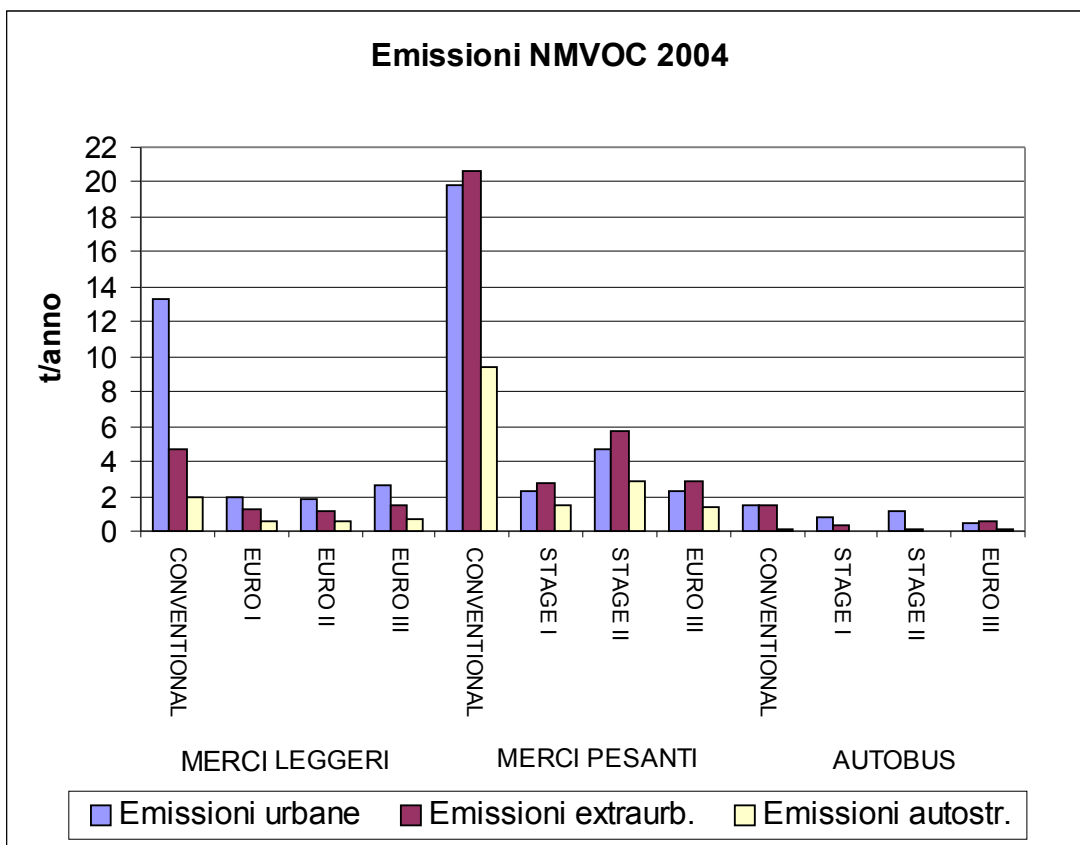
➤ COMPOSTI ORGANICI VOLATILI NON METANICI (NMVOC)

Il contributo maggiore alle emissioni di NMVOC è dato dalle autovetture a benzina, in particolare quelle pre-EURO che hanno prodotto nel 2004 quasi 300 tonnellate. I motocicli, soprattutto quelli < 125 cm³, contribuiscono in modo rilevante sul totale delle emissioni di NMVOC, anche se emettono un quantitativo inferiori rispetto alle auto a benzina. Le altre categorie veicolari contribuiscono in maniera assai minore all'emissione dei composti organici volatili non metanici. Le maggiori emissioni si hanno durante il percorso urbano.





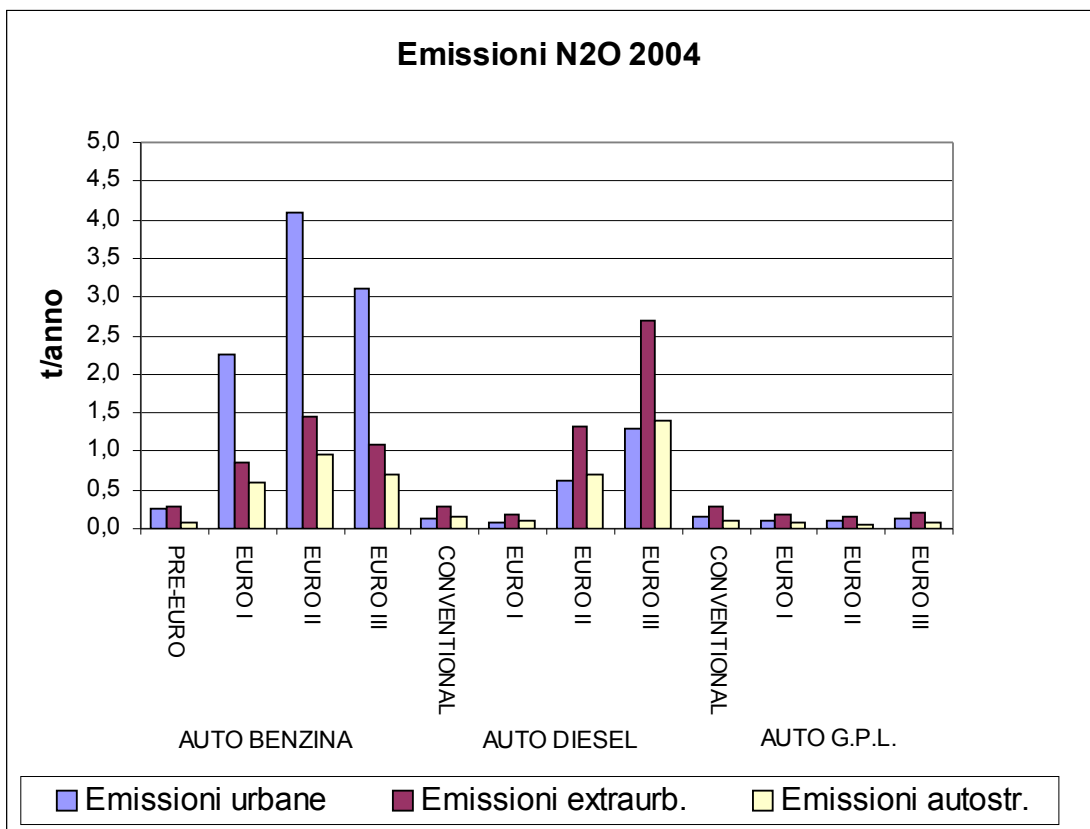
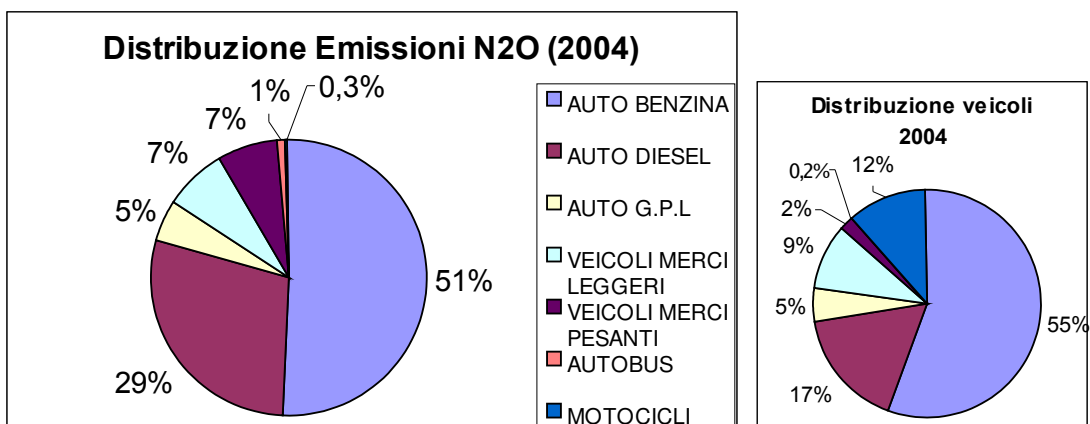
Tra le emissioni di NMVOC vengono calcolate anche quelle evaporative. Queste avvengono durante l'accensione e lo spegnimento del motore, quando ci sono condizioni ambientali caratterizzate da temperature elevate ed infine durante il rifornimento di carburante.



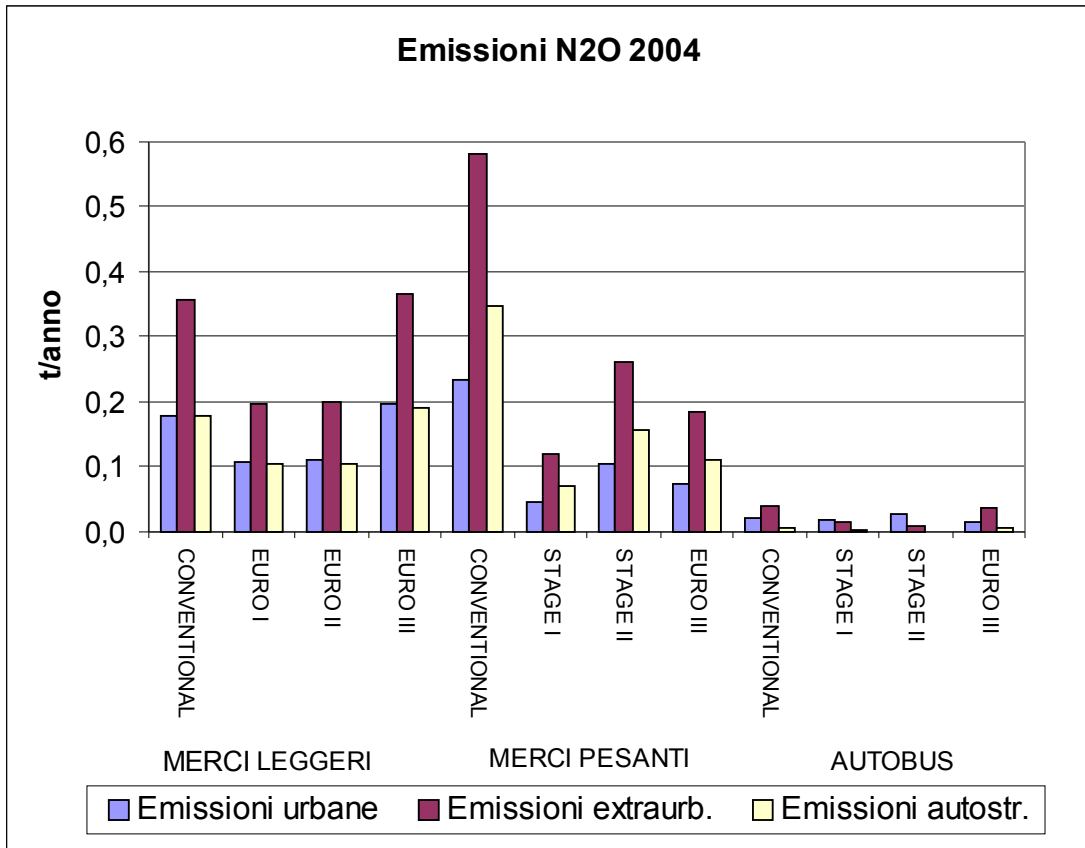
➤ PROTOSSIDO DI AZOTO (N2O)

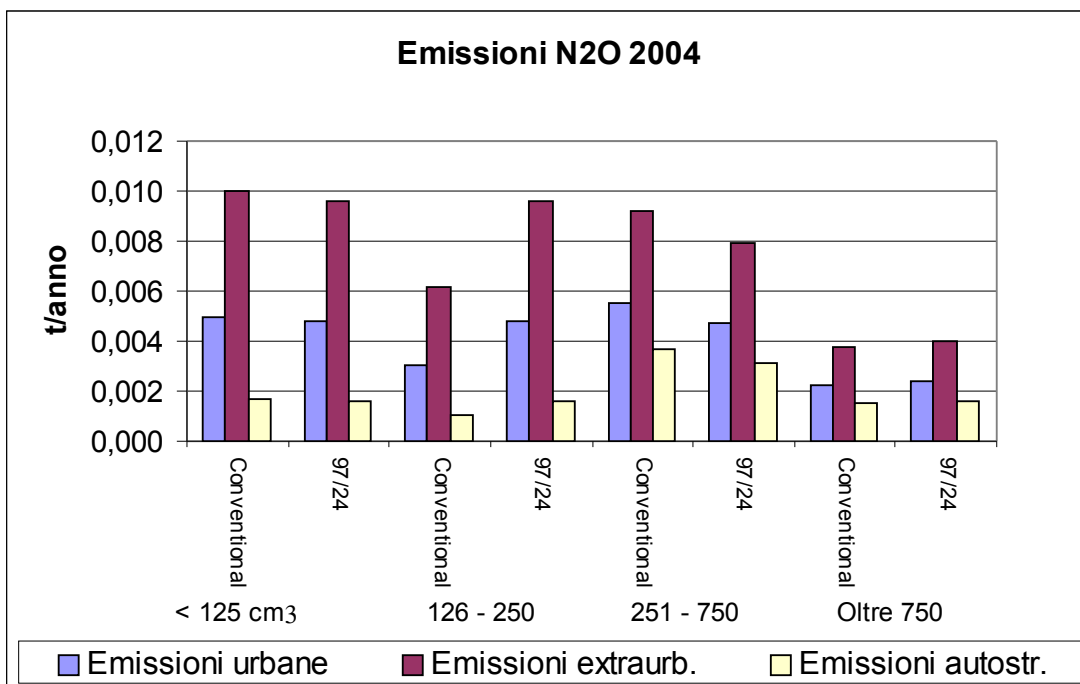
Le emissioni di N2O sono prodotte essenzialmente dalle auto a benzina e diesel, in particolare quelle EURO I, II e III. Ciascuna categoria

appartenente a questa macroclasse ha prodotto dalle 2 alle 4 tonnellate di N₂O nel 2004. I veicoli merci e gli autobus, considerando le singole classi veicolare, hanno prodotto un quantitativo di protossido di azoto che al massimo non raggiunge la tonnellata. Nettamente inferiore risultano essere le emissioni prodotte dai motocicli. I percorsi in cui vengono prodotte le maggiori quantità di N₂O sono quelli urbani (auto benzina) ed extraurbani (auto diesel e veicoli merci).



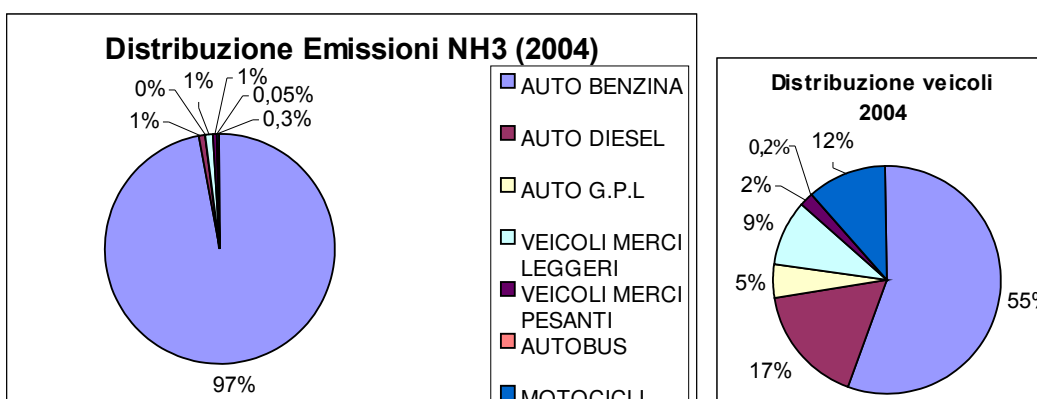
Le emissioni di N₂O non dipendono dalla tipologia di percorso, ma da condizioni di miscele magre ed elevate temperature. I fattori di emissione, infatti, risultano essere uguali nelle tre tipologie di percorso e quindi nella stima delle emissioni svolgono un ruolo fondamentale la percorrenza media ed il ciclo di guida stimato per ciascuna categoria.

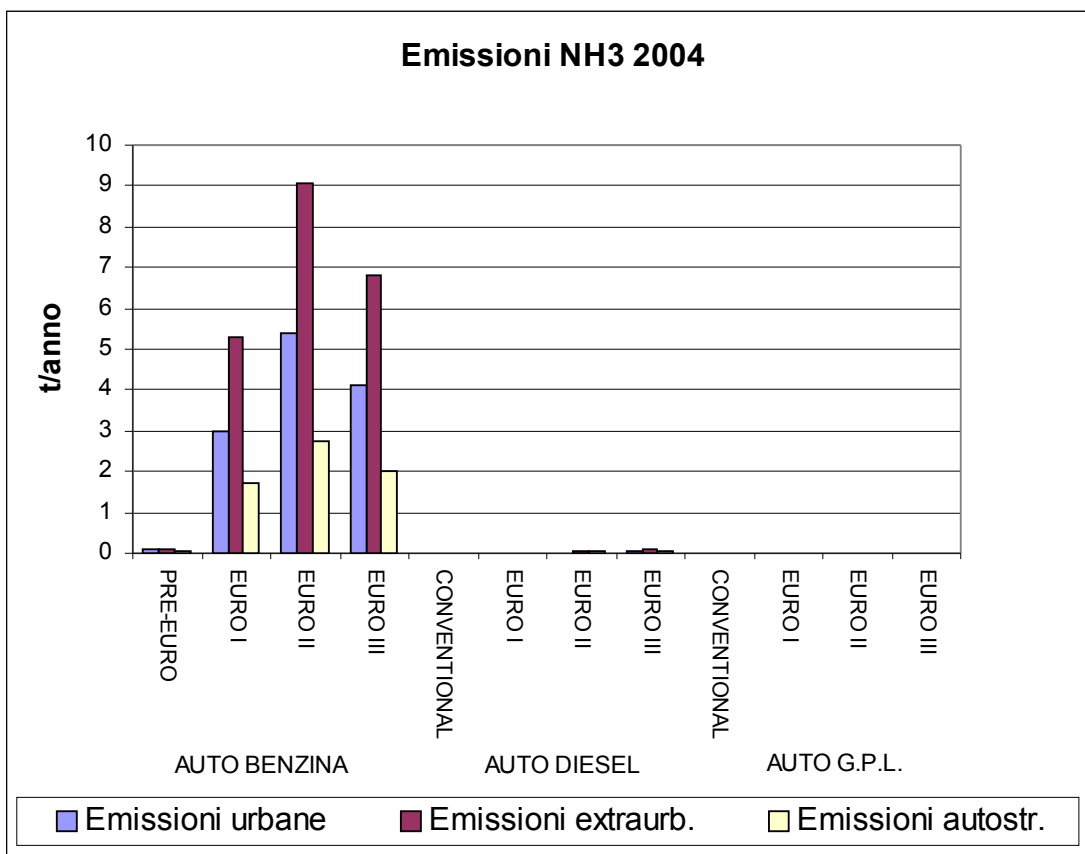




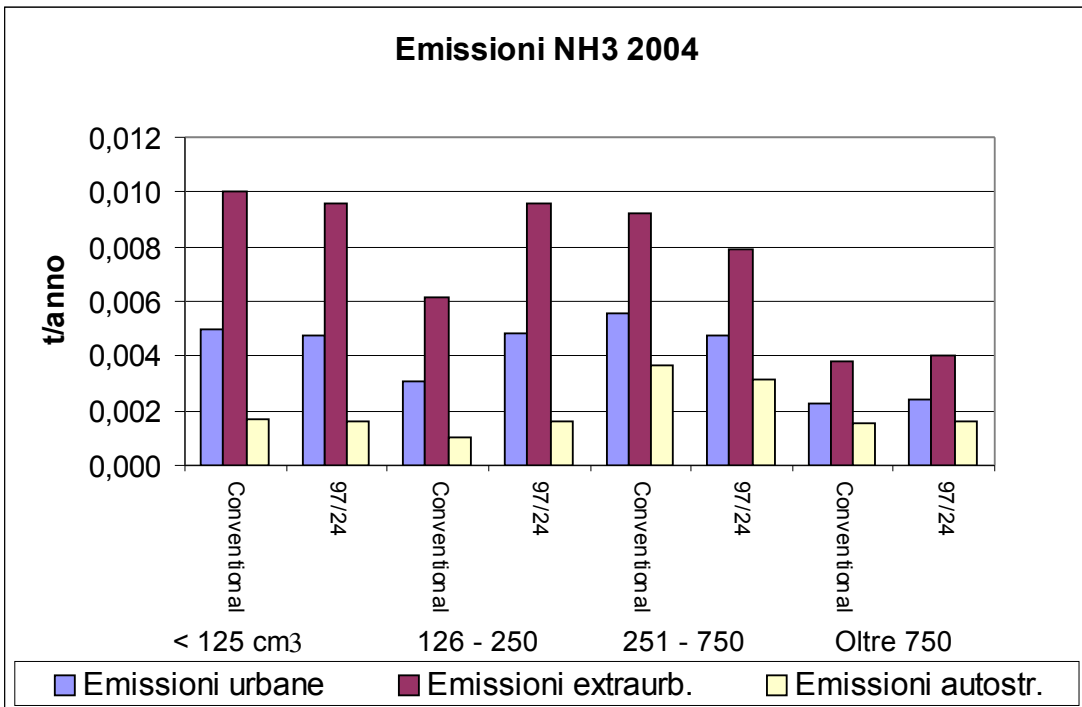
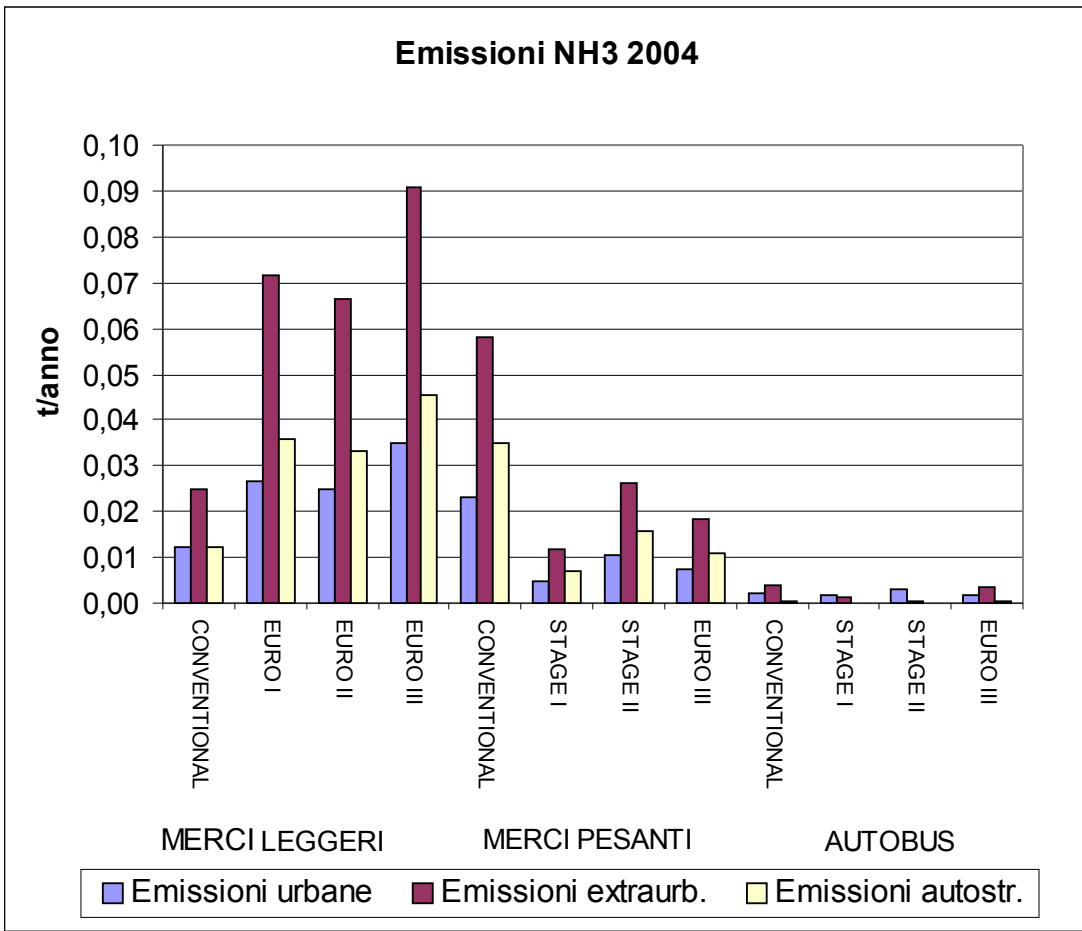
➤ AMMONIACA (NH3)

La maggiore fonte emissiva è rappresentata dalle autovetture a benzina, che producono la quasi totalità di ammoniaca, in particolare quelli indicati con lo standard legislativo EURO. Infatti le emissioni dei veicoli merci, degli autobus e dei motocicli sono decisamente inferiori rispetto a quelle prodotte dalle auto a benzina. La tipologia di percorso dove avvengono le maggiori emissioni di NH3 risulta essere quella extraurbana.



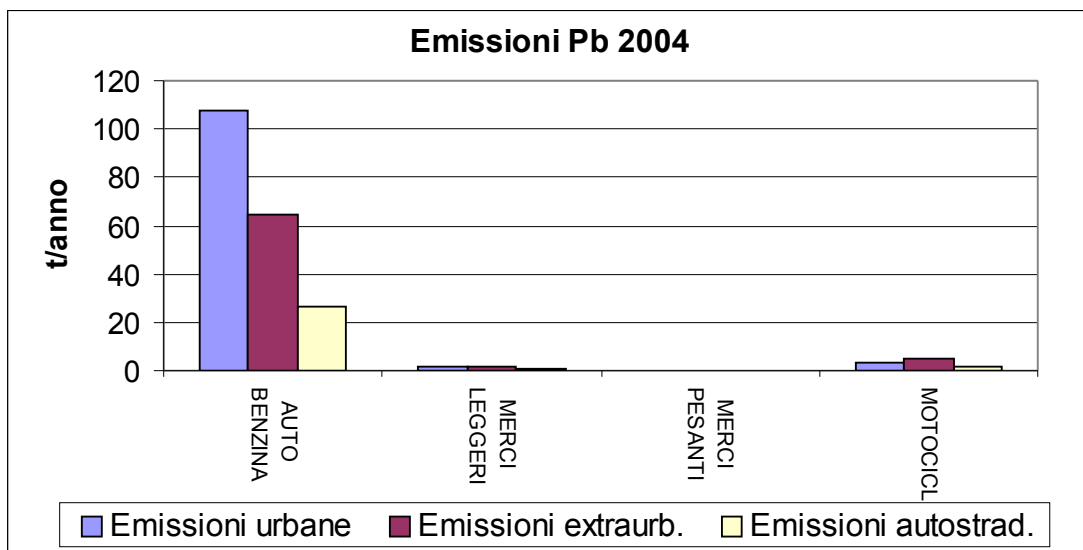


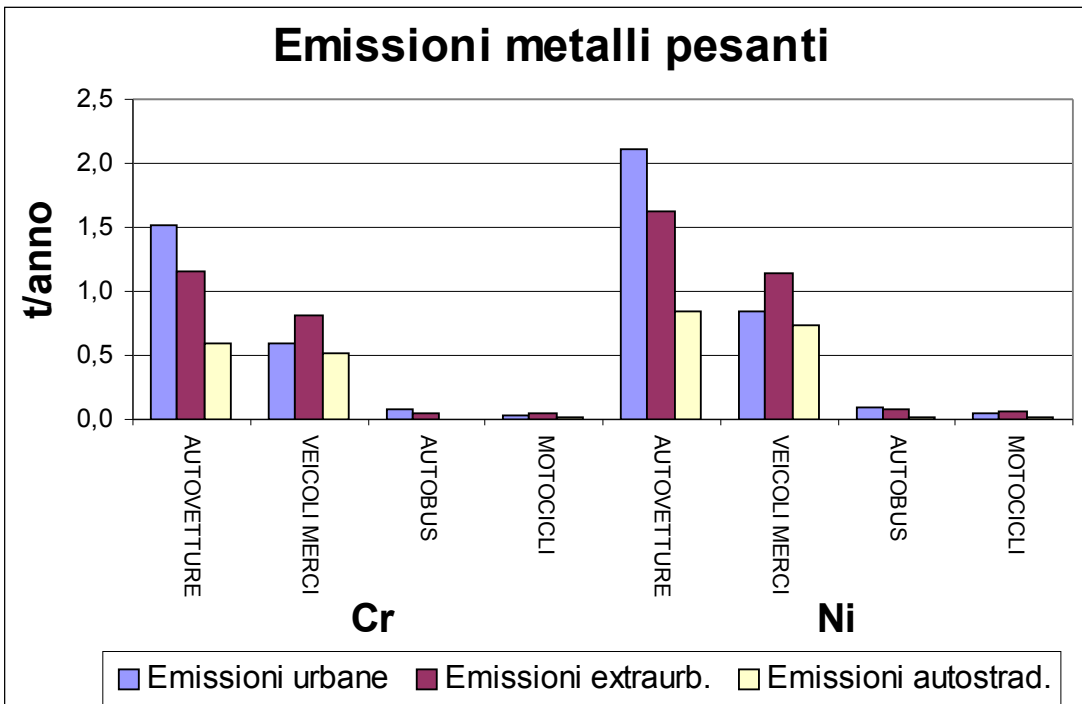
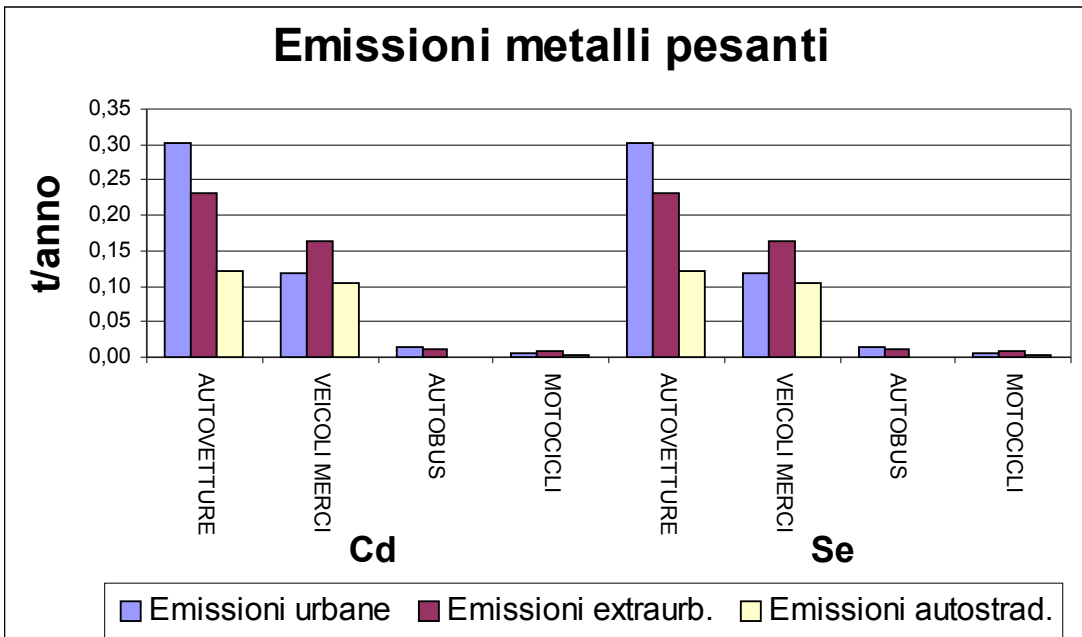
In particolare le emissioni di NH3 prodotte dalle auto a benzina sono maggiori di due grandezze rispetto a quelle prodotte dai veicoli merci, dagli autobus e dai motocicli.

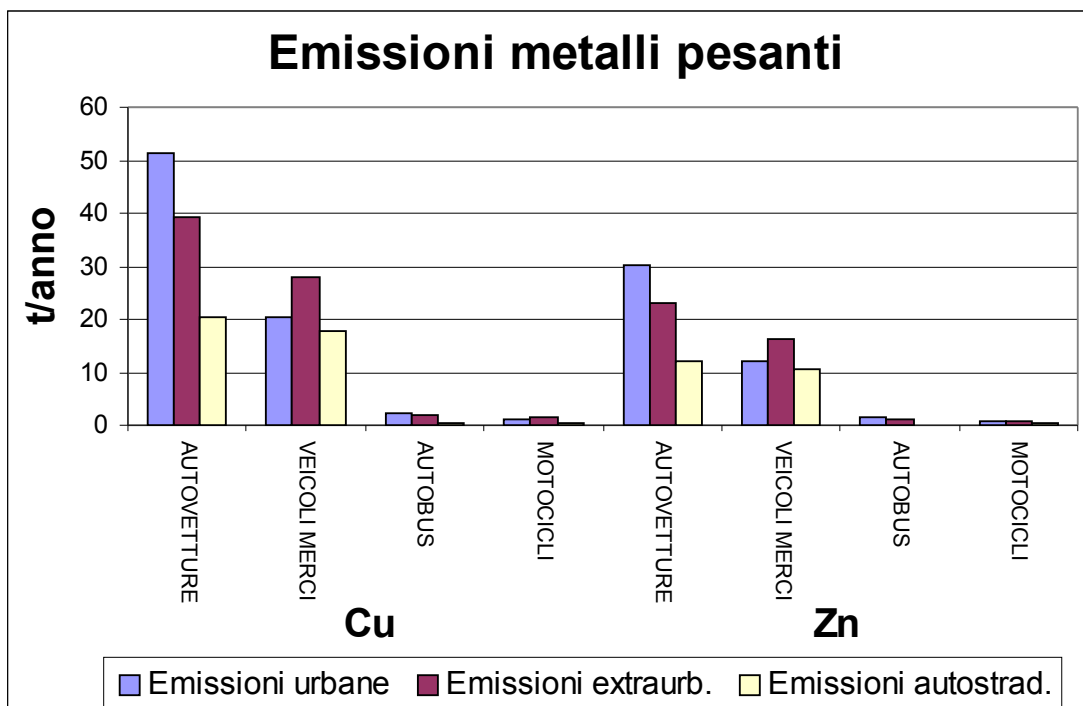


➤ METALLI PESANTI

Il modello COPERT III calcola le emissioni di sette metalli pesanti tra cui il piombo (queste emissioni sono proprie dei veicoli a benzina), il cadmio (Cd), il nichel (Ni), il cromo (Cr), il rame (Cu), il selenio (Se) e lo zinco (Zn). Le maggiori fonti di emissione di metalli pesanti sono le auto a benzina (in particolare quelle pre-EURO) e quelle diesel. A seguire ci sono i veicoli merci, gli autobus ed infine i motocicli, che contribuiscono in maniera molto limitata alle emissioni di metalli pesanti. Di seguito riporto i grafici relativi alle emissioni totali dei sette metalli pesanti stimati dal modello suddivisi secondo la stessa classificazione adottata per rappresentare gli inquinanti trattati in questo paragrafo.



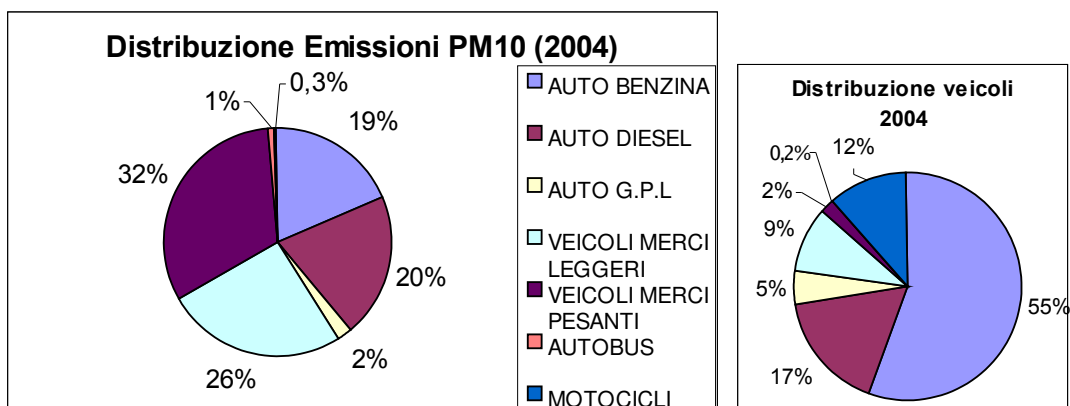


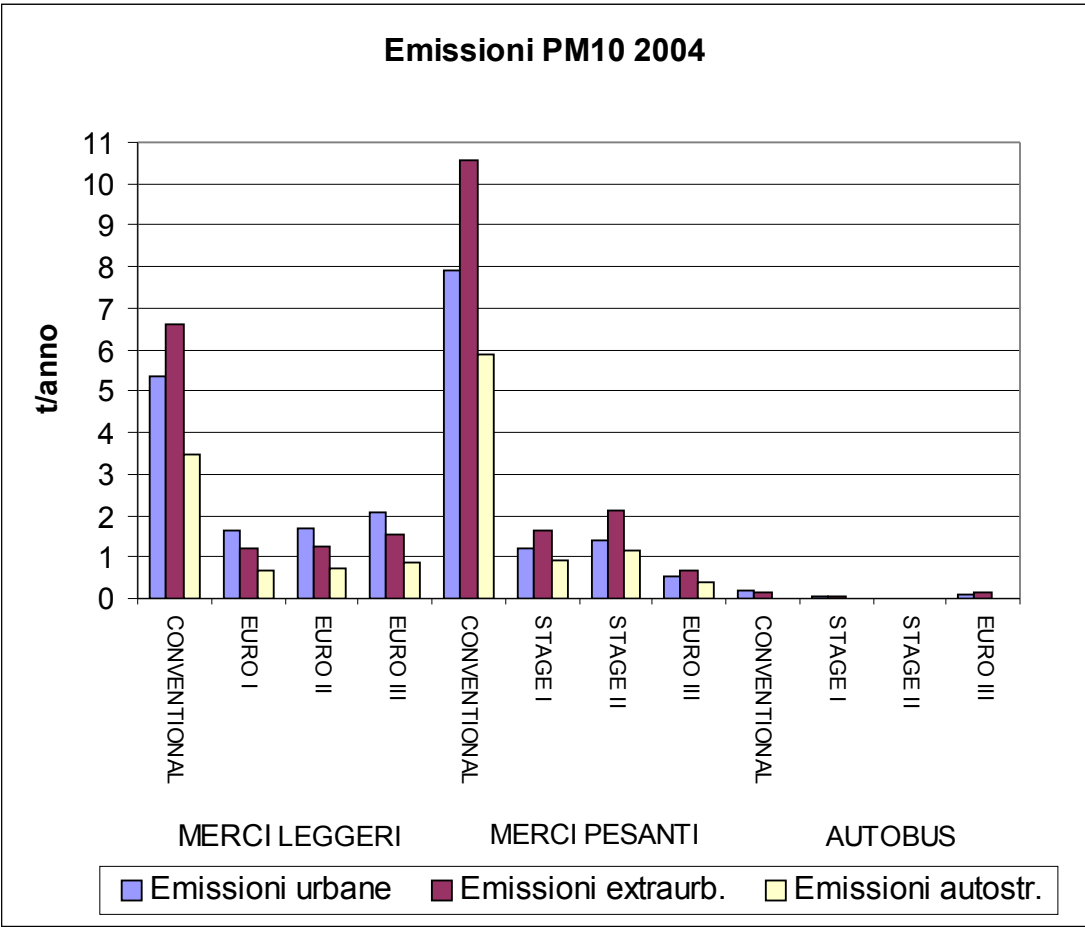
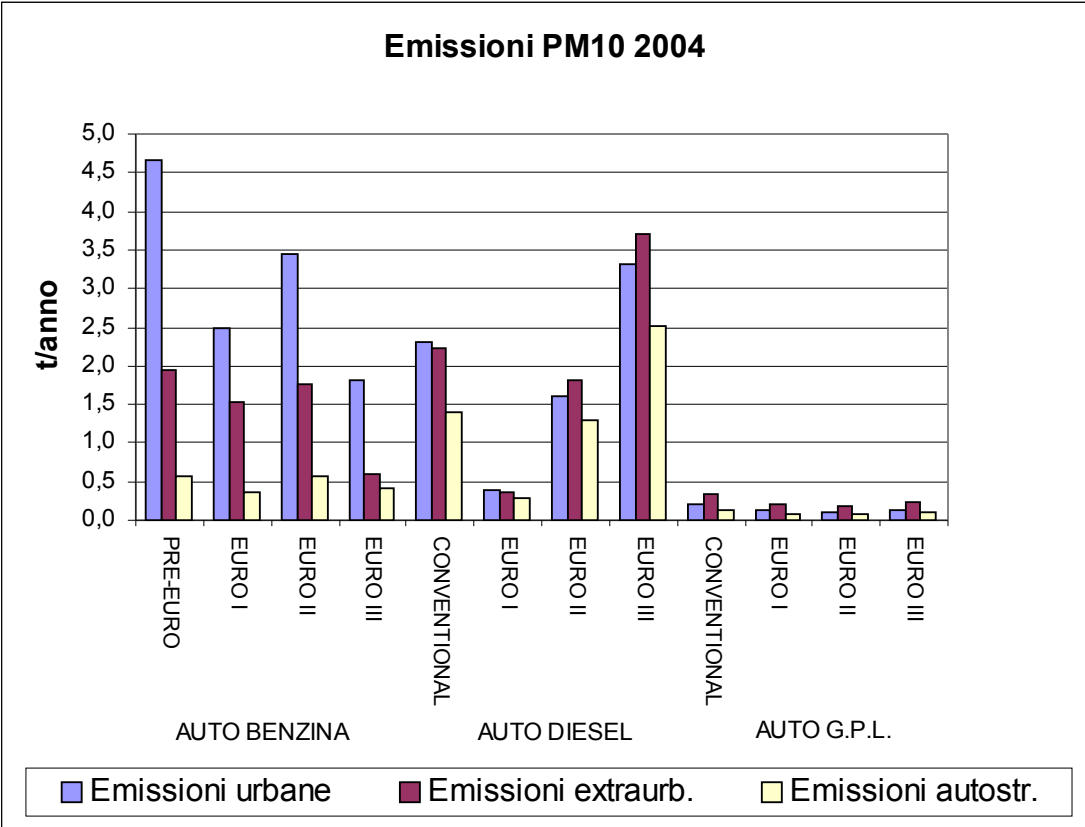


➤ EMISSIONI DI PM10

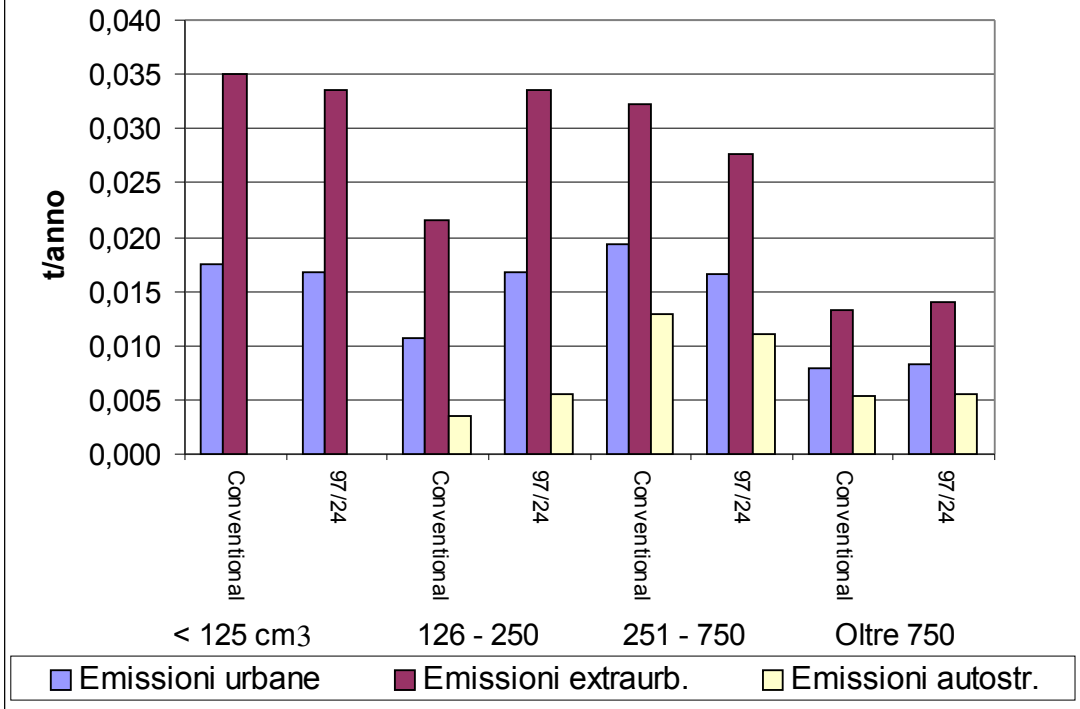
La seconda modifica apportata al modello ha come fine il calcolo delle PM10 per tutte le categorie veicolari (paragrafo 1.3.2 – le PM10). Tutte le classi con i rispettivi valori delle emissioni di PM10 sono contenute nelle tabelle presenti nell'Allegato C.

Qui di seguito mi limiterò a discuterli con l'uso di opportuni grafici. Le categorie veicolari che producono le maggiori quantità di PM10 sono i merci pesanti e poi quelli leggeri. La seconda fonte emissiva in termini quantitativi è rappresentata dalle auto diesel e da quelle a benzina. Più basse risultano essere quelle prodotte dagli autobus e quelle prodotte dai motocicli. E' importante notare come l'avvento delle tecnologie EURO abbiano diminuito le emissioni di particolato in generale, ma anche della frazione più fine.





Emissioni PM10 2004

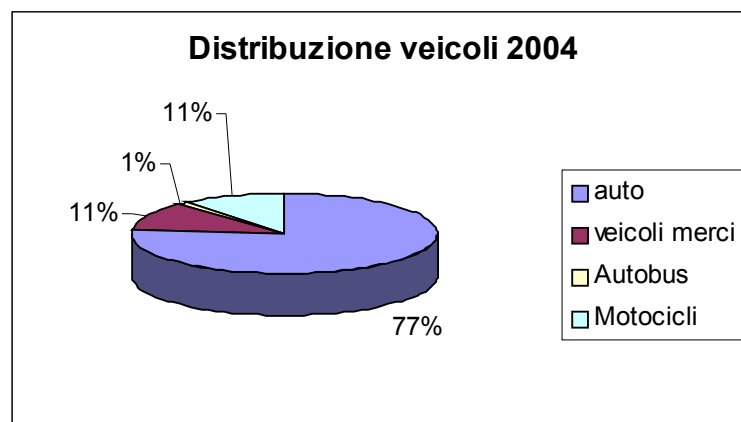


CAPITOLO 3

SCENARIO FUTURO

Nel precedente capitolo ho analizzato le emissioni dovute al traffico veicolare nel Comune di Forlì relative all'anno 2004; i risultati sono stati ottenuti a partire da dati reali. Variando in modo opportuno il parco veicolare, il modello COPERT III permette di calcolare le emissioni di scenari ipotetici. In questo capitolo analizzerò un possibile scenario emissivo relativo al parco veicolare nell'anno 2010. Quando si parla di evoluzione del parco veicolare è molto importante analizzare le variazioni passate per capire verso quale direzione si deve proiettare lo scenario attuale. La prima scelta da compiere è quindi relativa a due diverse ipotesi evolutive: consistenza veicolare "statica" oppure "dinamica". Ipotizzare una consistenza veicolare "statica" significa che il numero totale dei veicoli rimane circa costante e che le uniche variazioni possono avvenire nel numero dei veicoli appartenenti alle microclassi (per esempio autoveicoli a benzina, a diesel, a G.P.L. e a metano); in uno scenario di questo tipo le nuove vetture immatricolate modificano qualitativamente il parco auto, che si rinnova, ma non quantitativamente. Ipotizzare invece una consistenza veicolare "dinamica" significa che il numero totale di veicoli subisce una significativa variazione, positiva o negativa. Come sarà illustrato nei paragrafi successivi, dall'analisi dei dati forniti da ACI (Autoritratti e Annuari statistici) e da E-bus s.p.a.,

risulta che gli autoveicoli e gli autobus rientrano in uno scenario statico, mentre i veicoli trasporto merci e i motocicli hanno un trend positivo e quindi rientrano in uno scenario dinamico. I dati sull'evoluzione del parco veicolare comunale sono in linea con i trend provinciali, regionali e nazionali. Nel grafico seguente emerge la distribuzione dei veicoli nel Comune di Forlì relativa all'anno 2004.

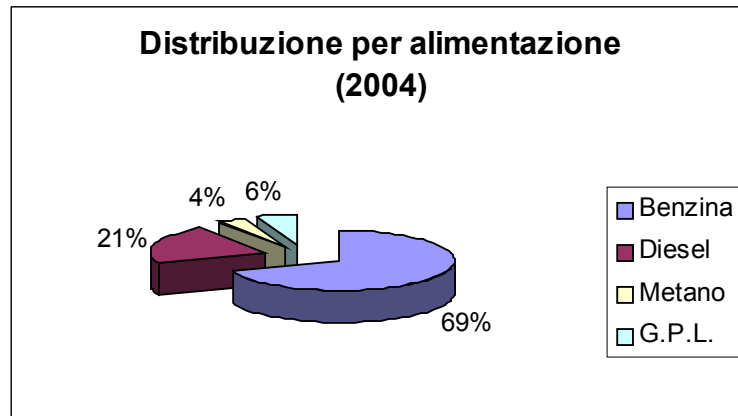


Per la costruzione dello scenario 2010, ciascuna macroclasse sarà considerata singolarmente.

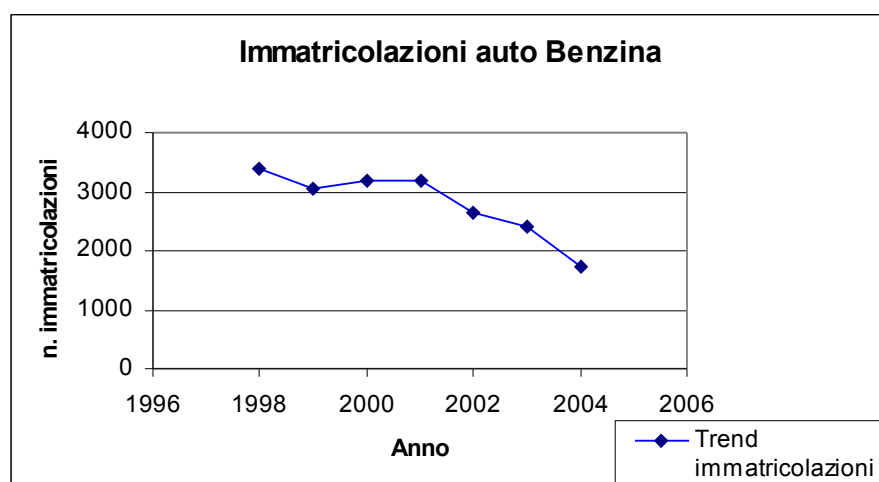
3.1 – LE AUTOVETTURE.

La macroclasse delle autovetture rappresenta il 77% del parco veicolare del Comune di Forlì e quindi necessita di un'analisi evolutiva approfondita. Partendo dall'ipotesi di uno scenario statico, è importante capire come può variare la distribuzione dei veicoli nelle varie microclassi in base al rinnovamento del parco auto. I fattori che influiscono sulla distribuzione delle auto sono la tipologia di alimentazione (benzina, diesel, G.P.L. e metano), lo standard legislativo

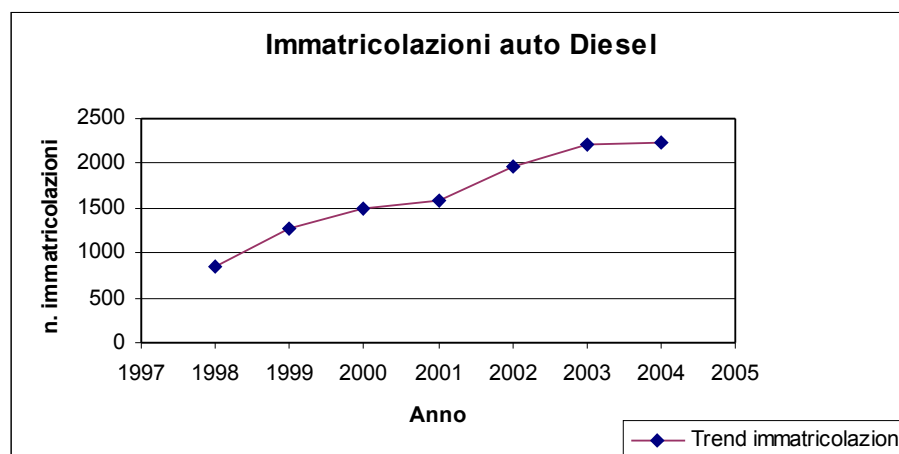
a cui sono soggette (Pre-Euro, Euro I, II, III e IV) e la cilindrata (fino a 1400 cm³, da 1401 a 2000 cm³ e oltre 2000 cm³). La distribuzione delle auto secondo la tipologia di alimentazione nel Comune di Forlì relativa all'anno 2004 è schematizzata nel seguente grafico.



Per capire come evolverà questa distribuzione è importante analizzare il trend delle immatricolazioni; infatti guardando quale scelta fanno i cittadini del Comune di Forlì quando acquistano una nuova auto è possibile capire verso quale direzione si sta evolvendo il parco auto. La fonte di riferimento per le auto immatricolate dal 1998 al 2004 è l'ACI di Forlì, che mi ha fornito i dati suddivisi anche per tipologia di alimentazione.

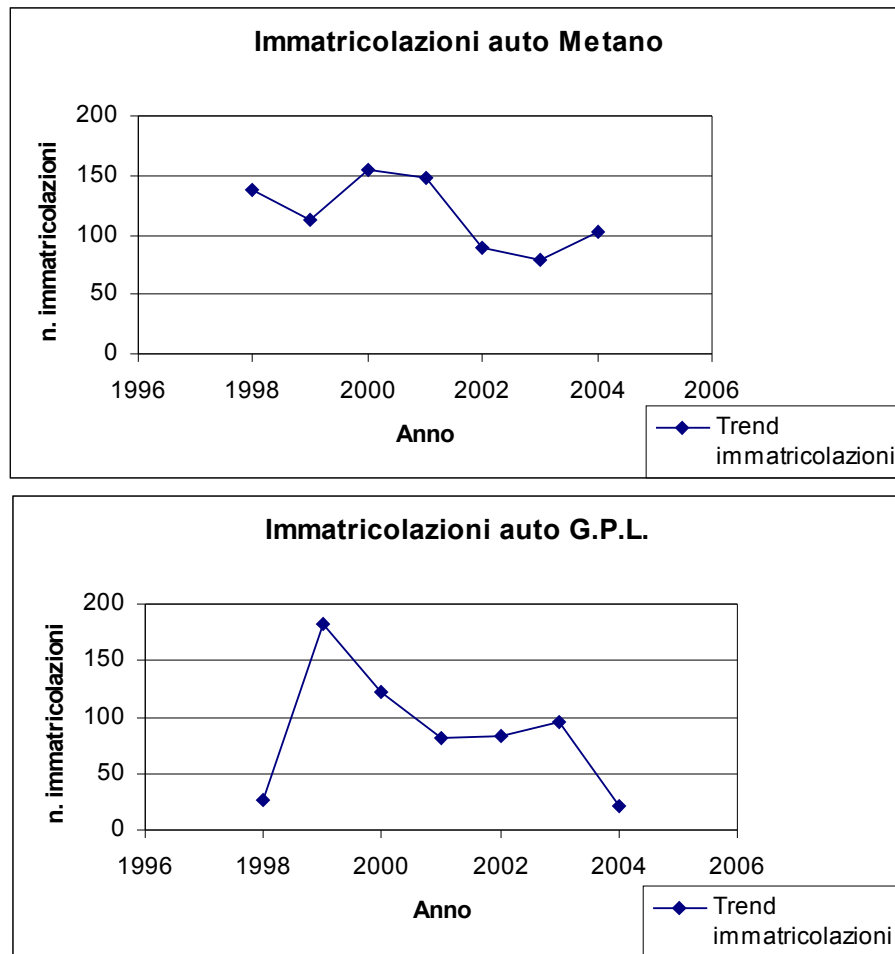


Come risulta visibile nel grafico le immatricolazioni delle nuove auto a benzina nel Comune di Forlì hanno subito dal 2001 un calo significativo; questo trend negativo è dovuto soprattutto a fattori economici, come ad esempio il caro petrolio che ha portato la benzina a prezzi record oppure l'aumento del costo della vita e non ultimo il successo del diesel che utilizza un carburante più economico e promette consumi più bassi. Infatti, dall'analisi fatta, risulta essere il diesel ad avere il trend con la maggiore crescita annua ed in particolare dal 2004 per la prima volta nella storia delle immatricolazioni le auto a diesel superano il 50% del mercato. Questo dato comunale è pienamente in linea con i dati nazionali elaborati dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti al 31/12/2004.



Mentre i trend delle immatricolazioni delle auto a benzina e diesel mostrano una evoluzione ben precisa, è necessario fare un discorso a parte per i veicoli a G.P.L. e a metano. La loro evoluzione dal 1998 al 2004 presenta delle fluttuazioni legate soprattutto alle scelte di mercato delle case costruttrici e ad incentivi statali. Basti pensare che qualche decennio fa alle autovetture a metano veniva applicata una sovrattassa,

mentre oggi si cerca di incentivare l'utilizzo di questa tecnologia. Tuttora i servizi riservati a coloro che utilizzano queste vetture non sono molto sviluppati, considerando che la maggior parte dei distributori non è del tipo "policarburante".

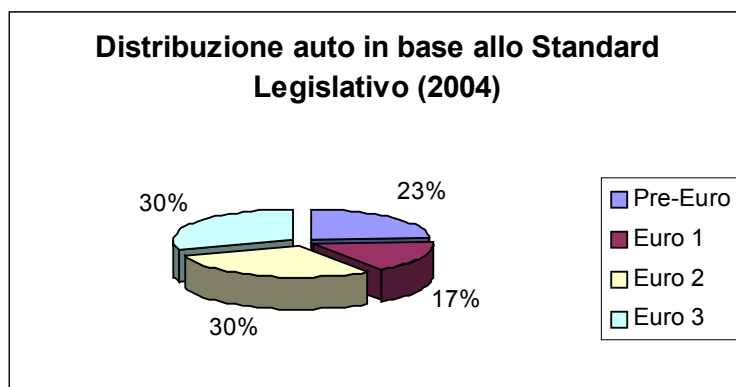


Per quanto concerne l'evoluzione futura delle auto a G.P.L. e a metano ci sono fattori che mi portano ad ipotizzare che le immatricolazioni di queste autovetture possano aumentare. Questi fattori sono legati soprattutto a scelte politiche che vanno ad incentivare l'acquisto di auto a metano e la trasformazione di autovetture a gas. In particolare ci sono due iniziative nazionali a cui ha aderito la regione Emilia Romagna

meritevoli di menzione: il “Progetto Metano” e l’iniziativa “ICBI”. Il “Progetto Metano” riguarda l’incentivazione, mediante l’erogazione di contributi, all’acquisizione in leasing di veicoli nuovi con alimentazione a metano e alla realizzazione di nuovi impianti policarburante per ampliare la rete distributiva del metano. Il Comune di Forlì risulta essere uno dei Comuni dell’Emilia Romagna che meno ha usufruito di questo tipo di agevolazione, poiché è stato utilizzato 1 contributo ogni 1360 abitanti (veicoli venduti da aprile 2003, anno di adesione al progetto, ad aprile 2005: 81), mentre Reggio-Emilia è stato il Comune che più ha usufruito dei contributi con 1 incentivo ogni 411 abitanti. Questo risultato mi fa pensare che il Comune di Forlì abbia ampi margini di miglioramento nell’utilizzo futuro di questi contributi al fine di aumentare i mezzi a basso impatto ambientale. L’iniziativa “ICBI” riguarda l’erogazione di incentivi a privati cittadini per la trasformazione a gas delle auto non catalizzate immatricolate fra il 1988 ed il 1995. Il Comune di Forlì in questo caso risulta invece essere uno dei Comuni che più ha usufruito di questa iniziativa, avendo erogato 1 contributo ogni 527 abitanti, per un totale di 209 veicoli venduti da novembre 2001 (adesione al progetto) a gennaio 2003. Un altro fattore che può permettere un ampliamento del parco auto a G.P.L. e a metano è il prezzo inferiore di questi carburanti, che abbassa notevolmente il costo del trasporto privato; unica nota negativa di queste tecnologie risulta essere il costo iniziale ancora relativamente alto.

A questo punto è importante analizzare anche la distribuzione dei veicoli in base alla loro età; ho condotto questa analisi basandomi sullo

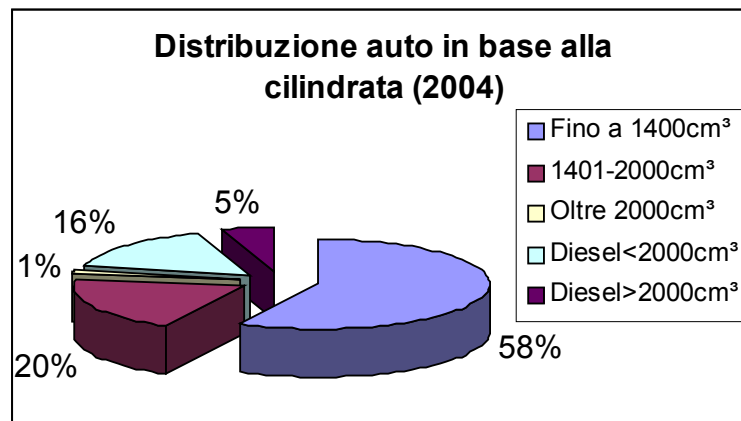
standard legislativo (indica l'età del veicolo in rapporto alle direttive europee che prevedono l'utilizzo di dispositivi per la riduzione delle emissioni allo scarico in fase di omologazione). La situazione al 2004 nel Comune di Forlì è riportata nel seguente grafico.



Dal grafico emerge che la maggior parte del parco auto del Comune di Forlì è rappresentata da veicoli EURO II ed EURO III, ma risulta consistente anche la componente pre-EURO, cioè quei veicoli che sono stati immatricolati prima del 1992. Si ricorda che il piano del traffico del Comune di Forlì nell'ambito della campagna "Liberiamo l'aria 2004/05" prevede la limitazione della circolazione privata nelle aree urbane (identificate dai Comuni) dei veicoli ad accensione comandata e ad accensione spontanea pre-EURO, nonché dei ciclomotori e dei motocicli a due tempi pre-EURO. A questi provvedimenti fanno eccezione le auto elettriche e ibride, le auto a gas metano e GPL, le auto con almeno 3 persone a bordo (car pooling) e l'auto condivisa (car sharing). E' lecito prevedere che, nel caso in cui questi provvedimenti vengano confermati in futuro, essi saranno estesi anche ai veicoli EURO I. Alla luce dei

provvedimenti di limitazione della circolazione previsti dal piano del traffico e del fisiologico rinnovo del parco auto, è prevedibile una graduale sostituzione dei veicoli pre-EURO ed EURO I. Ho avanzato l'ipotesi che questa sostituzione sia totale per i veicoli pre-EURO e parziale per i veicoli EURO I. La sostituzione di questi veicoli porterà ad un aumento significativo di veicoli che rispondono allo standard legislativo EURO IV, che è entrato in vigore il 01/01/2005.

Ultimo fattore da considerare per lo scenario evolutivo del parco auto è la cilindrata. Il modello COPERT prevede tre categorie per i veicoli a benzina, a G.P.L. e a metano (fino a 1400 cm³, da 1401 a 2000 cm³ e oltre 2000 cm³) e due categorie per i veicoli a diesel (<2000 cm³ e >2000 cm³). La distribuzione dei veicoli in base alla cilindrata nel Comune di Forlì relativa all'anno 2004 è rappresentata nel grafico seguente.



Nello scenario ipotizzato la distribuzione dei veicoli all'interno di queste categorie rimane costante.

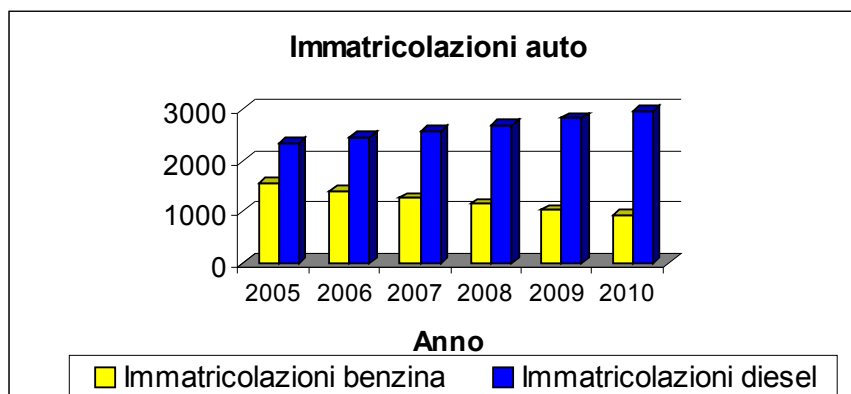
In conclusione l'evoluzione del parco auto del Comune di Forlì, sulla base delle ipotesi avanzate in questo paragrafo, prevede le seguenti variazioni percentuali delle nuove immatricolazioni (su scala annuale):

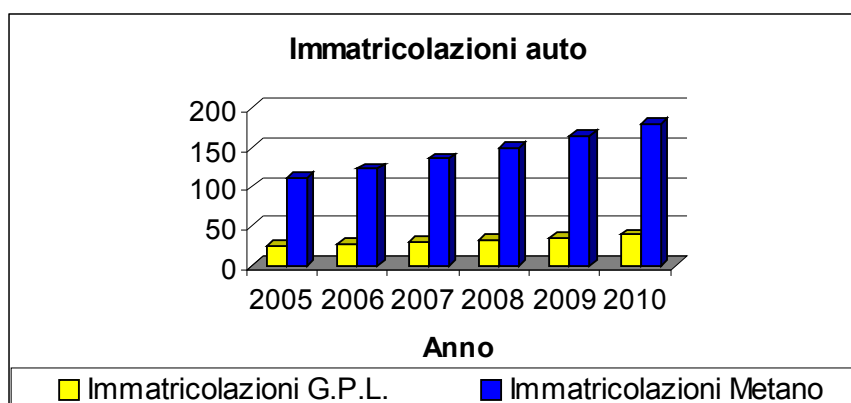
- Autovetture alimentate a benzina: -10%;
- Autovetture alimentate a diesel: +5%;
- Autovetture alimentate a G.P.L.: +10%;
- Autovetture alimentate a metano: +10%.

In base a tali percentuali il numero delle nuove auto immatricolate in ciascun anno (dal 2005 al 2010) è riportato nella Tabella seguente.

Anno	benzina	Diesel	G.P.L.	Metano
2005	1571	2336	24	112
2006	1413	2453	27	123
2007	1272	2576	29	136
2008	1145	2705	32	149
2009	1030	2840	35	164
2010	927	2982	39	181
Tot da 05	7359	15891	187	866

L'andamento delle immatricolazioni è illustrato nelle seguenti figure.



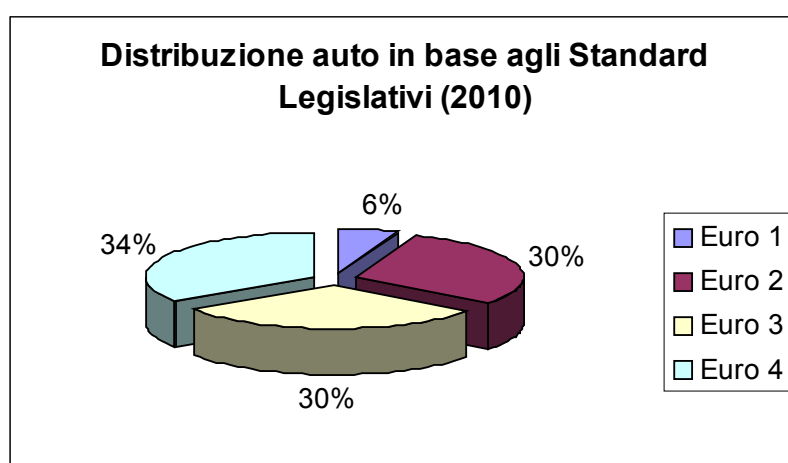
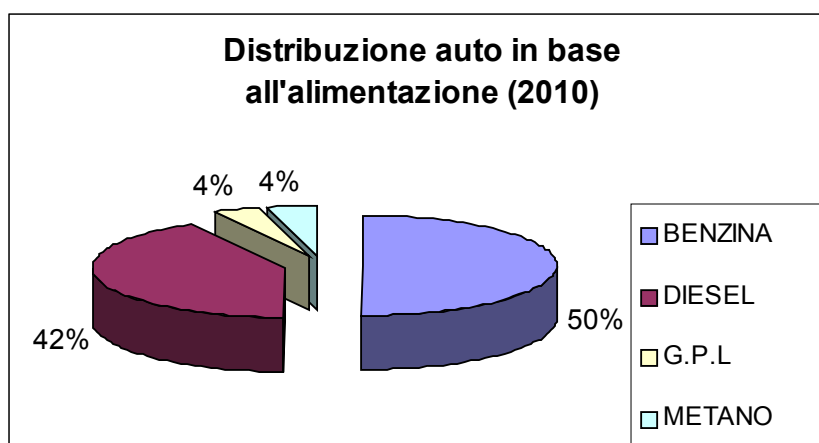


Il numero totale delle autovetture immatricolate nell'intervallo temporale compreso tra il 2005 ed il 2010 è circa 24000. Avendo ipotizzato uno scenario statico, ciascuna autovettura nuova ne sostituirà un'altra ed è lecito pensare che le auto sostituite saranno per lo più quelle più vecchie. Quindi le 24000 nuove immatricolazioni porteranno all'eliminazione totale dei veicoli pre-EURO e a quella parziale dei veicoli EURO I. Tra i veicoli EURO I maggiormente sostituiti troviamo le auto a benzina e quelle a diesel, mentre per le auto a G.P.L. e a metano ho ipotizzato che il loro numero rimarrà invariato. Inoltre ho ipotizzato la trasformazione a gas di 600 veicoli a benzina EURO I (300 a G.P.L. e 300 a metano) sulla base di eventuali progetti che finanzino la conversione dei veicoli più vecchi in quelli a basso impatto ambientale. Il parco auto del Comune di Forlì secondo lo scenario che ho ipotizzato per il 2010 è riportato nella seguente tabella.

Classe veicolare	Popolazione 2004	Popolazione 2010	Variazione (%)
AUTOVETTURE			
BENZINA			
<1400 cm ³	48761	35418	-27
	37121	26974	-27
PRE ECE	1244	0	-100
ECE 15/00-01	493	0	-100
ECE 15/02	290	0	-100
ECE 15/03	427	0	-100
ECE 15/04	7614	0	-100

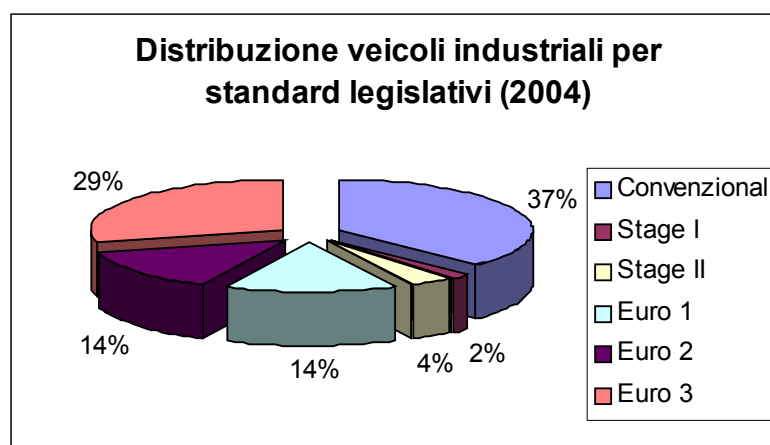
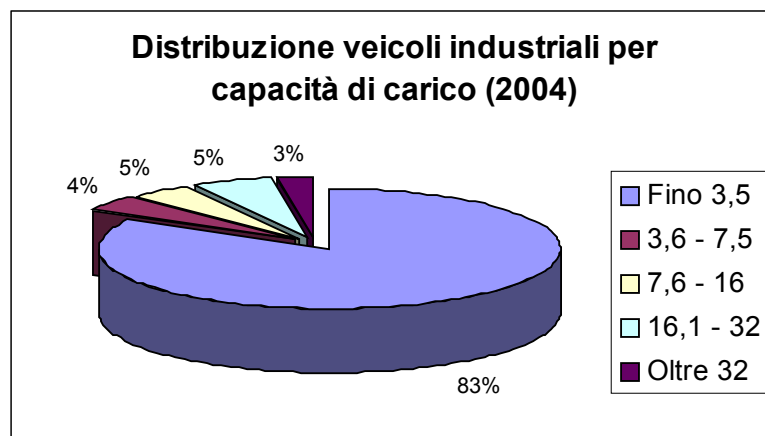
91/441/ECC Euro1	6843	1245	-82
94/12/EC Euro2	11298	11298	0
98/69/EC Euro3	8912	8912	0
98/69/EC Euro4	0	5519	/
1401cm³ - 2000cm³	10734	7714	-28
PRE ECE	144	0	-100
ECE 15/00-01	95	0	-100
ECE 15/02	88	0	-100
ECE 15/03	93	0	-100
ECE 15/04	1979	0	-100
91/441/ECC Euro1	2829	516	-82
94/12/EC Euro2	3434	3434	0
98/69/EC Euro3	2072	2072	0
98/69/EC Euro4	0	1692	/
> 2000cm³	906	730	-19
PRE ECE	58	0	-100
ECE 15/00-01	34	0	-100
ECE 15/02	32	0	-100
ECE 15/03	19	0	-100
ECE 15/04	110	0	-100
91/441/ECC Euro1	89	18	-80
94/12/EC Euro2	229	229	0
98/69/EC Euro3	335	335	0
98/69/EC Euro4	0	148	/
DIESEL	14868	29350	97
< 2000cm³	11333	22966	103
Conventional	489	0	-100
91/441/ECC Euro1	367	94	-74
94/12/EC Euro2	3307	3307	0
98/69/EC Euro3	7170	7170	0
98/69/EC Euro4	0	12395	/
> 2000cm³	3535	6384	81
Conventional	475	0	-100
91/441/ECC Euro1	232	60	-74
94/12/EC Euro2	1066	1066	0
98/69/EC Euro3	1762	1762	0
98/69/EC Euro4	0	3496	/
G.P.L	4150	2848	-31
Conventional	1788	0	-100
91/441/ECC Euro1	1101	1401	27
94/12/EC Euro2	873	873	0
98/69/EC Euro3	388	388	0
98/69/EC Euro4	0	186	/
METANO	2717	2881	6
Conventional	1002	0	-100
91/441/ECC Euro1	528	828	57
94/12/EC Euro2	661	661	0
98/69/EC Euro3	526	526	0
98/69/EC Euro4	0	866	/

La nuova distribuzione del parco auto del Comune di Forlì è rappresentata nei seguenti grafici.



3.2 – I VEICOLI TRASPORTO MERCI.

La macroclasse dei veicoli trasporto merci, che comprende autocarri, autoveicoli speciali/specifici e trattori stradali, rappresenta l'11% del parco veicolare del Comune di Forlì. La distribuzione nel 2004 dei veicoli industriali per capacità di carico e per standard legislativi è rappresentata nei seguenti grafici.

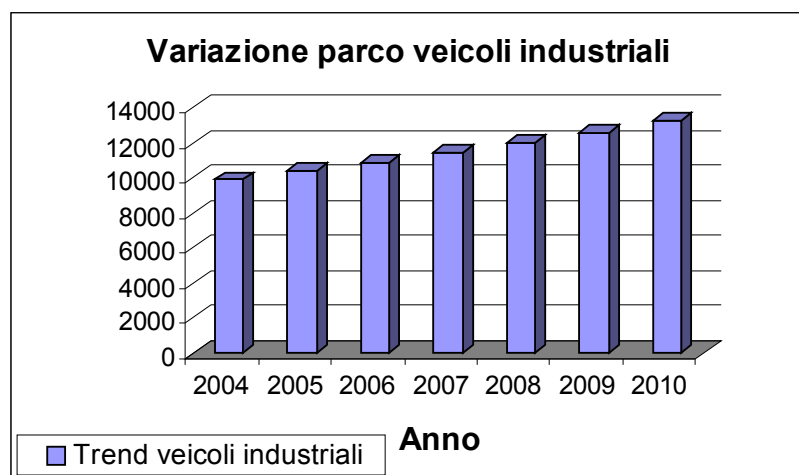


Come accennato all'inizio di questo capitolo, i veicoli trasporto merci rientrano in uno scenario dinamico; quindi è importante capire quantitativamente la variazione percentuale annua dei veicoli appartenenti a questa classe. Per fare questa analisi ho utilizzato i dati nazionali e regionali sulla variazione annua dei veicoli industriali che mi è stata fornita dall'ACI e che ho riportato nelle tabelle seguenti.

Emilia Romagna		
Anno	Numero	Var. %
1998	272.723	
1999	283.684	4
2000	295.751	4
2001	310.322	5
2002	330.262	6
2003	348.428	6
2004	361.724	4
	Media:	5

Italia		
Anno	Numero	Var. %
1998	3.090.070	
1999	3.221.335	4
2000	3.377.573	5
2001	3.541.545	5
2002	3.751.700	6
2003	3.933.930	5
2004	4.015.612	2
	Media:	4

Sulla base di questi dati ho ipotizzato una crescita media annua del 5%. Questo tasso di crescita trova un riscontro anche a livello provinciale. Mantenendo questa percentuale l'andamento del numero di veicoli industriali dal 2005 al 2010 è quello rappresentato nel seguente istogramma.



Per quanto riguarda il rinnovo dei mezzi ho ipotizzato, come per le autovetture, la completa sostituzione al 2010 dei veicoli convenzionali, cioè immatricolati prima del 1992 (entrata in vigore della normativa EURO I), e la parziale sostituzione dei veicoli EURO I (rispondono a questa normativa i veicoli fino a 3,5t) e Stage I (rispondono a questa normativa i veicoli oltre 3,5t). Sulla base di queste ipotesi ho calcolato un rinnovo del parco veicoli industriali pari al 6% annuo.

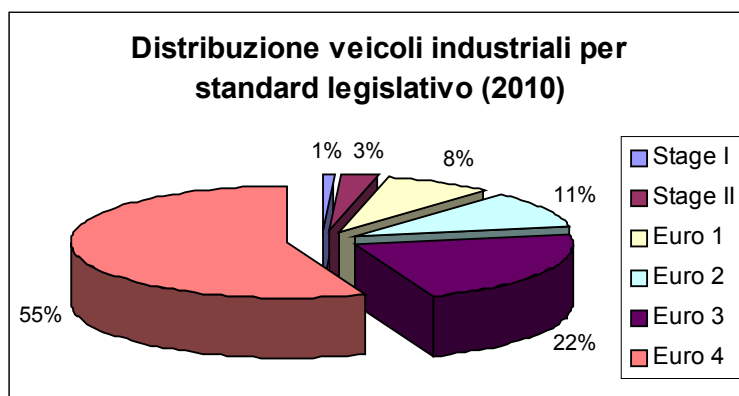
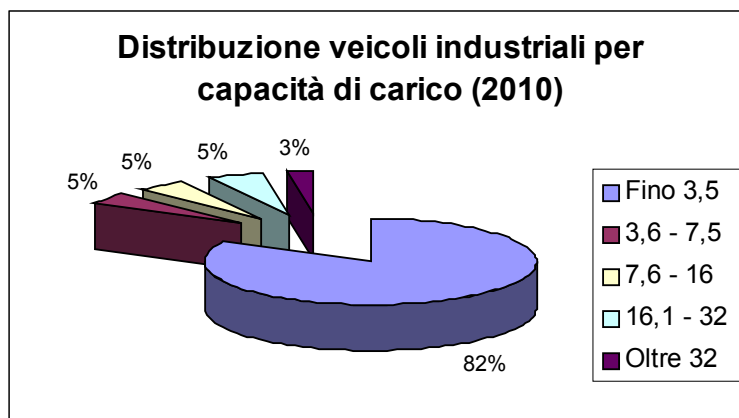
totale veicoli	%rinnovo	n. rinnovo
9903	/	/
10398	6	594
10918	6	624
11464	6	655
12037	6	688
12639	6	722
13271	6	758

Ho inoltre ipotizzato che la distribuzione percentuale dei nuovi veicoli EURO IV all'interno delle singole microclassi rimanesse costante fino al 2010. L'ipotetico scenario sulla base delle ipotesi avanzate prevede un parco veicolare al 2010 per il Comune di Forlì che viene riportato nella seguente Tabella.

Classi veicolari	2004	2010	Variazione %
VEICOLI MERCI LEGGERI			
BENZINA < 3,5 t	8214	10981	34
Conventional	527	727	38
93/59/ECC Euro1	288	0	-100
96/69/EC Euro2	78	56	-28
98/69/EC Euro3	71	71	0
Euro 4	90	90	0
DIESEL < 3,5 t	0	510	/
Conventional	7687	10254	33
	2451	0	-100

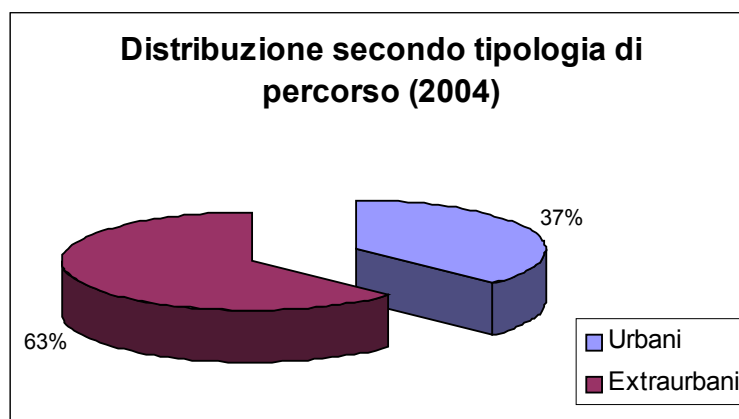
93/59/ECC Euro1	1328	988	-26
96/69/EC Euro2	1366	1366	0
98/69/EC Euro3	2542	2542	0
Euro 4	0	5358	/
VEICOLI MERCI PESANTI	1687	2287	36
BENZINA > 3,5 t	9	0	-100
Conventional	9	0	-100
DIESEL 3,6 t - 7.5 t	438	598	37
Conventional	278	0	-100
91/542 Stage 1	29	22	-24
91/542 Stage 2	74	74	0
99/96 Euro3	57	57	0
Euro 4	0	445	/
7,6 t - 16 t	450	610	36
Conventional	262	0	-100
91/542 Stage 1	32	24	-25
91/542 Stage 2	98	98	0
99/96 Euro3	58	58	0
Euro 4	0	430	/
16,1 t - 32 t	538	730	36
Conventional	258	0	-100
91/542 Stage 1	58	43	-26
91/542 Stage 2	117	117	0
99/96 Euro3	105	105	0
Euro 4	0	465	/
> 32 t	252	349	38
Conventional	93	0	-100
91/542 Stage 1	41	30	-27
91/542 Stage 2	79	79	0
99/96 Euro3	39	39	0
Euro 4	0	201	/

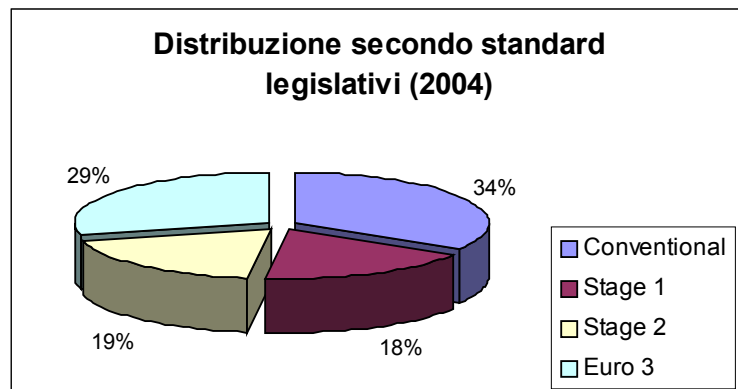
Quindi la distribuzione del parco autocarri secondo la capacità di carico e lo standard legislativo nel 2010 è graficamente riportata sotto.



3.3 – GLI AUTOBUS.

Gli autobus ricoprono circa l'1% della totalità del parco veicolare del Comune di Forlì. La distribuzione degli autobus nel Comune di Forlì secondo la tipologia di percorso che compiono e secondo gli standard legislativi per l'anno 2004 è rappresentata nei due grafici seguenti.

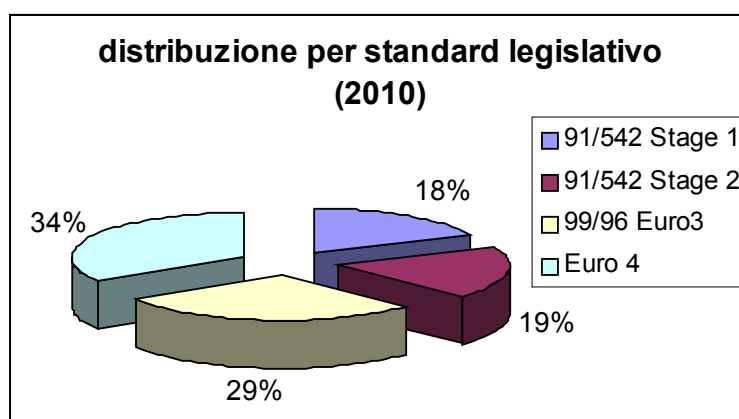
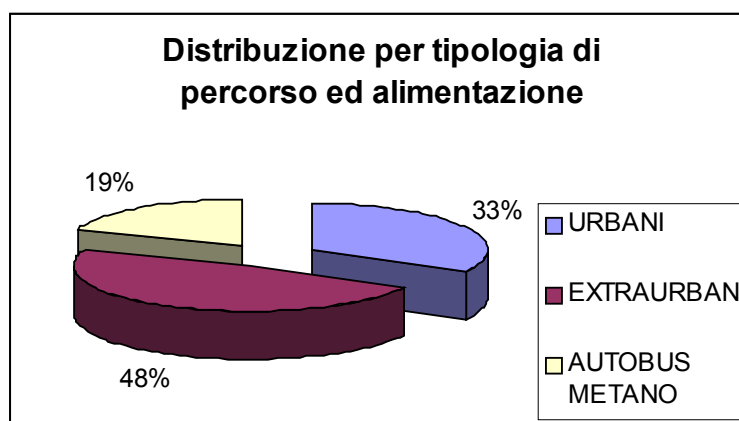




Alla luce della presente situazione è difficile ipotizzare una forte espansione del parco autobus del Comune di Forlì, vuoi per motivi sociali che limitano l'uso del trasporto pubblico da parte del cittadino che lo vede ancora come una limitazione alla propria libertà di muoversi, vuoi per motivi economici che obbligano ad attuare scelte politiche che non valorizzano il TPL. Queste considerazioni mi portano a pensare che il parco autobus rimarrà invariato nei prossimi anni. Dai colloqui intercorsi con il responsabile della E-bus s.p.a. è emerso che la politica della municipalizzata è quella di puntare sul metano. E' infatti già prevista l'immatricolazione di 6 autobus a metano per il 2006 e 3 per il 2007. Sulla base di queste informazioni ho ipotizzato che dal 2006 al 2010 verranno sostituiti sei autobus convenzionali all'anno con altrettanti autobus EURO IV a metano. Inoltre, come per le altre macroclassi, ho ipotizzato la sostituzione totale dei veicoli convenzionali a favore di un graduale rinnovamento. Sulla base di queste ipotesi il possibile parco autobus del Comune di Forlì per il 2010 è riportato nella seguente tabella.

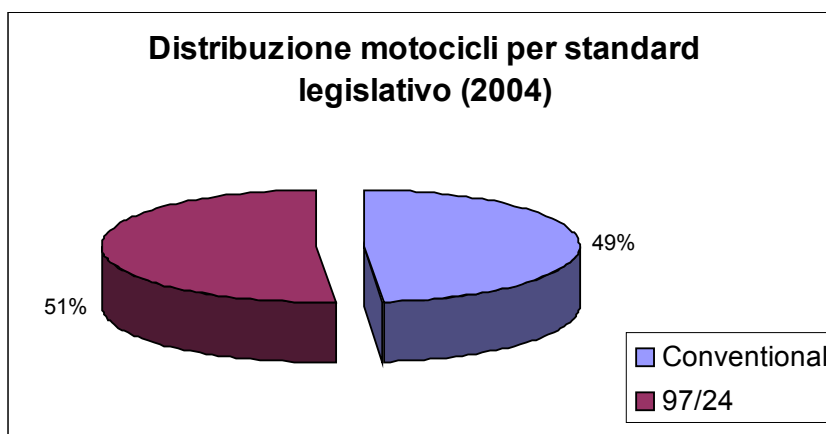
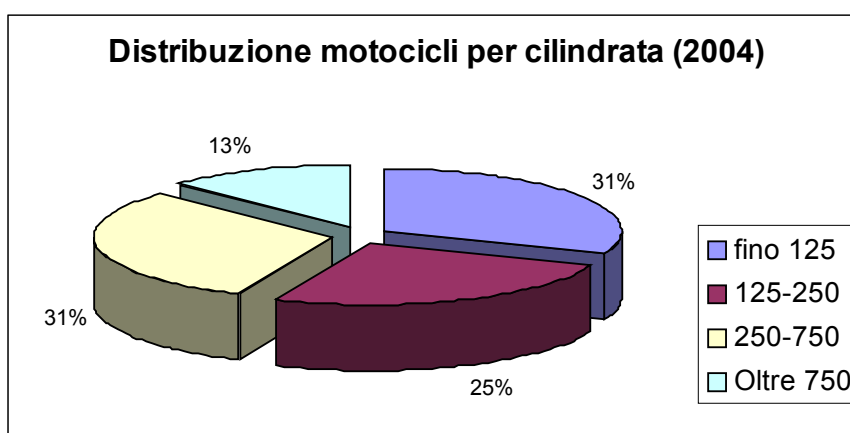
Classi veicolari	2004	2010	Var. %
AUTOBUS URBANI	156	156	0
Conventional	13	0	-100
91/542 Stage 1	13	13	0
91/542 Stage 2	24	24	0
99/96 Euro3	8	8	0
Euro 4	0	6	/
EXTRAURBANI	98	75	-23
Conventional	40	0	-100
91/542 Stage 1	15	15	0
91/542 Stage 2	6	6	0
99/96 Euro3	37	37	0
Euro 4	0	17	/
AUTOBUS METANO	0	30	/

La distribuzione degli autobus secondo tipologia di percorso, alimentazione e standard legislativo è rappresentata nei due seguenti grafici.



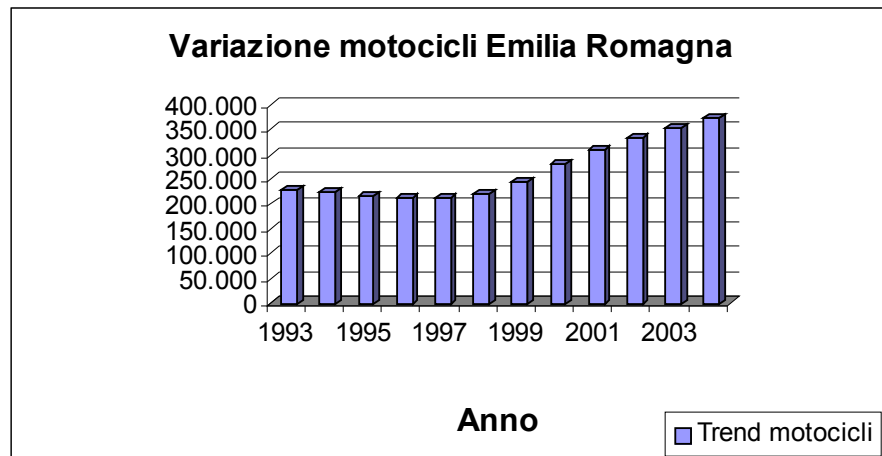
3.4 – I MOTOCICLI.

Attualmente la macroclasse dei motocicli è composta da circa 10200 veicoli a due ruote e rappresenta l'11% del parco veicolare del Comune di Forlì. La distribuzione secondo la cilindrata e gli standard legislativi al 2004 è rappresentata nei seguenti grafici.

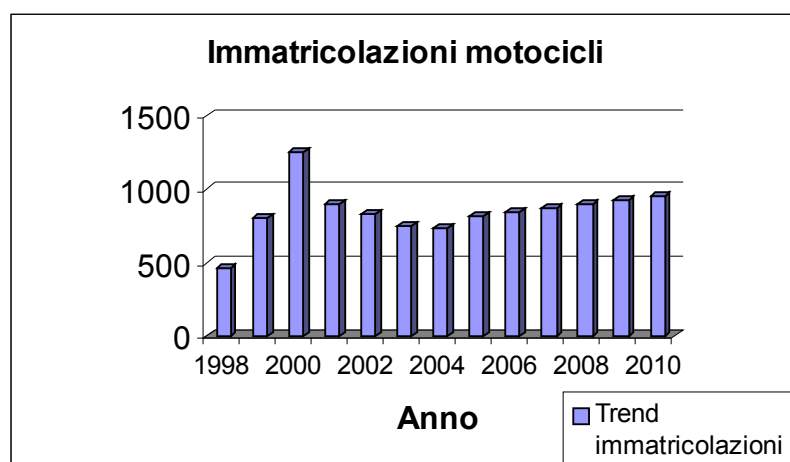


Nell'analisi dello scenario futuro è importante per prima cosa capire se il numero totale di motocicli è stabile e quindi l'andamento coincide con l'ipotesi statica oppure varia e quindi è necessario considerare l'ipotesi dinamica. Dall'elaborazione dei dati nazionali e regionali forniti dall'ACI di Forlì risulta che il parco motocicli è in leggera crescita. La tendenza

media risulta esattamente essere del 3% all'anno, pienamente in linea con i dati provinciali.



Per quanto riguarda il rinnovo del parco motocicli non risulta possibile, come per le altre macroclassi, uno scenario in cui tutti i mezzi convenzionali vengano sostituiti con altrettanti che utilizzano tecnologie meno inquinanti (che rispondono allo standard legislativo 97/24). Questo sia perché il loro numero risulta essere piuttosto elevato sia perché rientrano in questa categoria tutti i mezzi che sono stati immatricolati prima del 1999 (e non prima del 1992 come per le altre macroclassi). Sulla base di queste considerazioni e del numero delle nuove immatricolazioni dal 1998 al 2004 (dati comunali forniti da ACI Forlì) ho ipotizzato un rinnovo del 5% all'anno dal 2005 al 2010. Nel seguente grafico emerge il trend delle immatricolazioni di motocicli dal 1998 al 2010 ipotizzato per il Comune di Forlì.

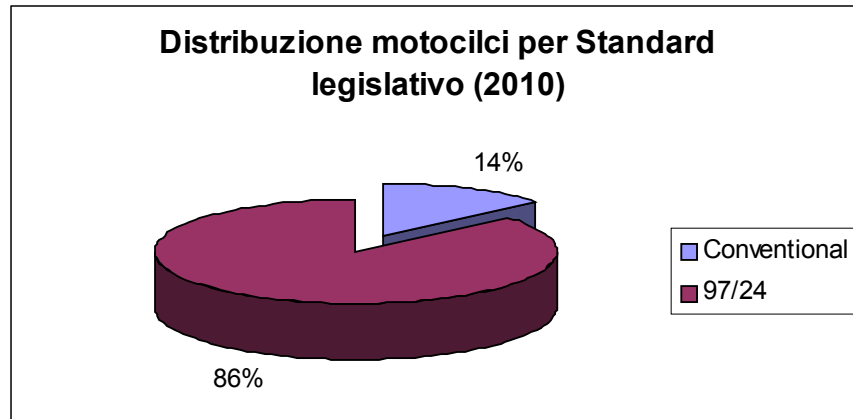


Con uno scenario di questo tipo il parco motocicli al 2010 nel Comune di Forlì risulta essere composto da circa 12200 mezzi. La distribuzione di questi secondo la classificazione COPERT è riportata nella tabella seguente.

Classe veicolare	2004	2010	Var. %
MOTOCICLI	10236	12222	19
< 125 cm ³	3198	3814	19
Conventional	1632	606	-63
97/24	1566	3208	105
126 cm ³ - 250 cm ³	2575	3071	19
Conventional	1006	178	-82
97/24	1569	2893	84
251 cm ³ - 750 cm ³	3167	3783	19
Conventional	1707	681	-60
97/24	1460	3102	112
> 750 cm ³	1296	1554	20
Conventional	631	200	-68
97/24	665	1354	104

La percentuale dei veicoli appartenenti alle categorie che rispondono alla classificazione secondo la cilindrata è rimasta la stessa del 2004, mentre chiaramente è cambiata quella che risponde agli standard legislativi poiché il parco motocicli si è rinnovato negli anni. E' possibile

vedere qualitativamente il rinnovo del parco confrontando il seguente grafico con il suo corrispondente (relativo al 2004) che si trova all'inizio di questo paragrafo.



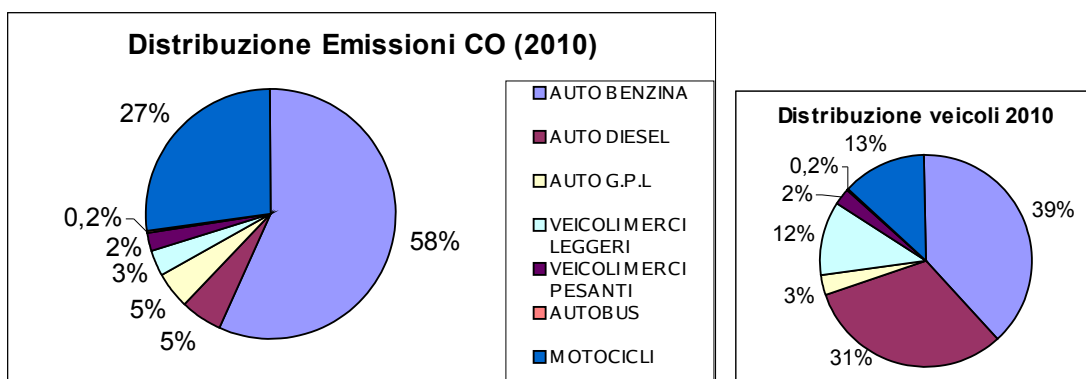
3.5 – EMISSIONI DEL PARCO VEICOLARE 2010

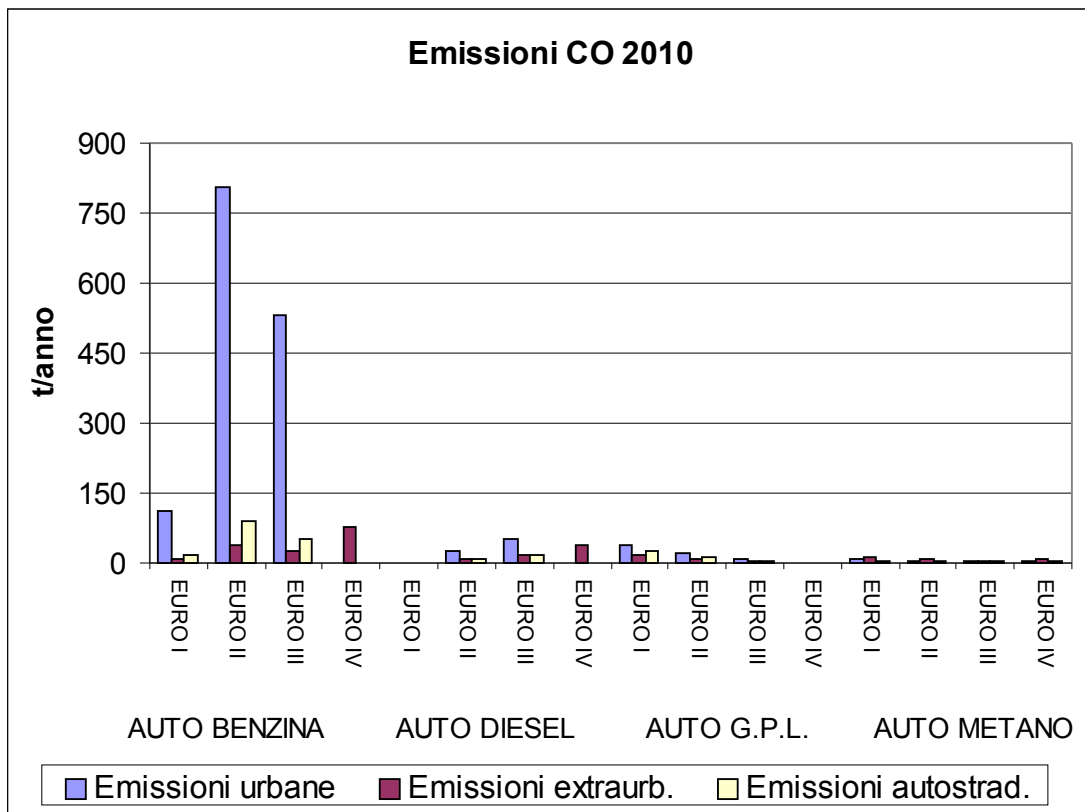
Il modello COPERT III è stato applicato all'ipotetico parco veicolare del Comune di Forlì dell'anno 2010 utilizzando la stessa metodologia adottata per il calcolo delle emissioni del 2004. A differenza del 2004 è stata introdotta la nuova categoria che risponde allo standard legislativo EURO IV, che è stata introdotta dal primo gennaio 2005. In mancanza dei valori di percorrenza, velocità medie e ciclo di guida delle categorie veicolari appartenenti a questa classe, si è fatto riferimento a quelli delle classi EURO III (Tabella 2, Capitolo 1). Anche per i valori delle temperature medie (massima e minima) mensili si è fatto riferimento ai dati di input per l'applicazione 2004. Per quanto riguarda le emissioni, non sono stati presi in esame i risultati relativi ad anidride carbonica, ossidi di zolfo e metalli pesanti perché questi dipendono da dati difficilmente stimabili per il 2010, come i consumi di carburante e il contenuto dei vari componenti che costituiscono i combustibili. In questo

paragrafo verranno analizzati graficamente i risultati per ciascun inquinante, mentre i valori esatti sono riportati nelle tabelle presenti nell'Allegato B.

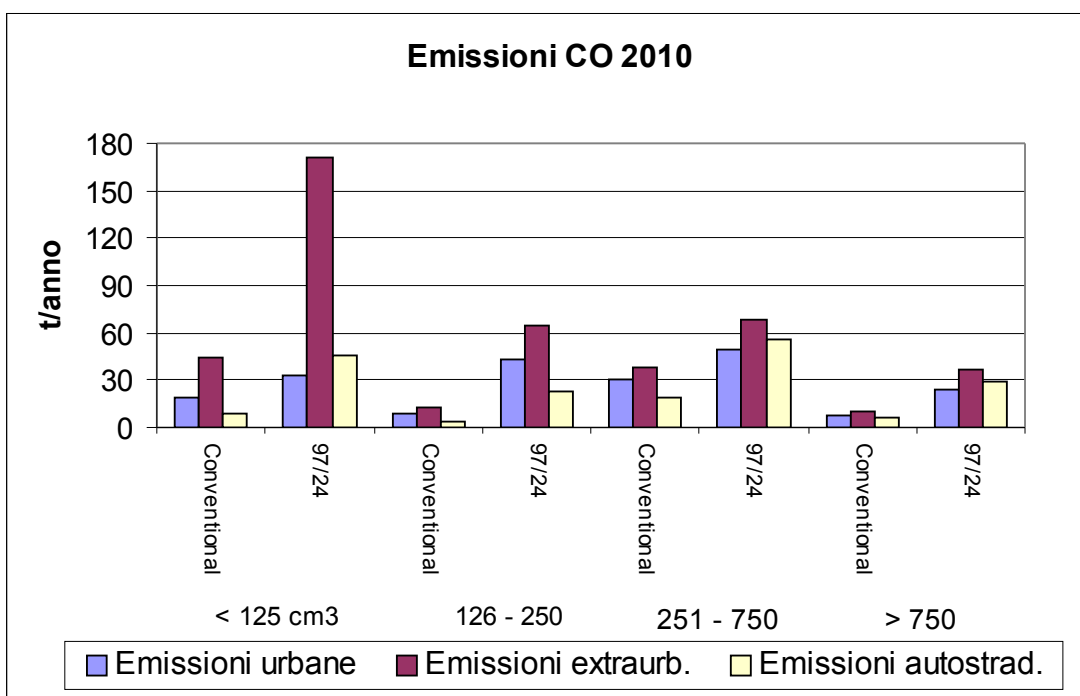
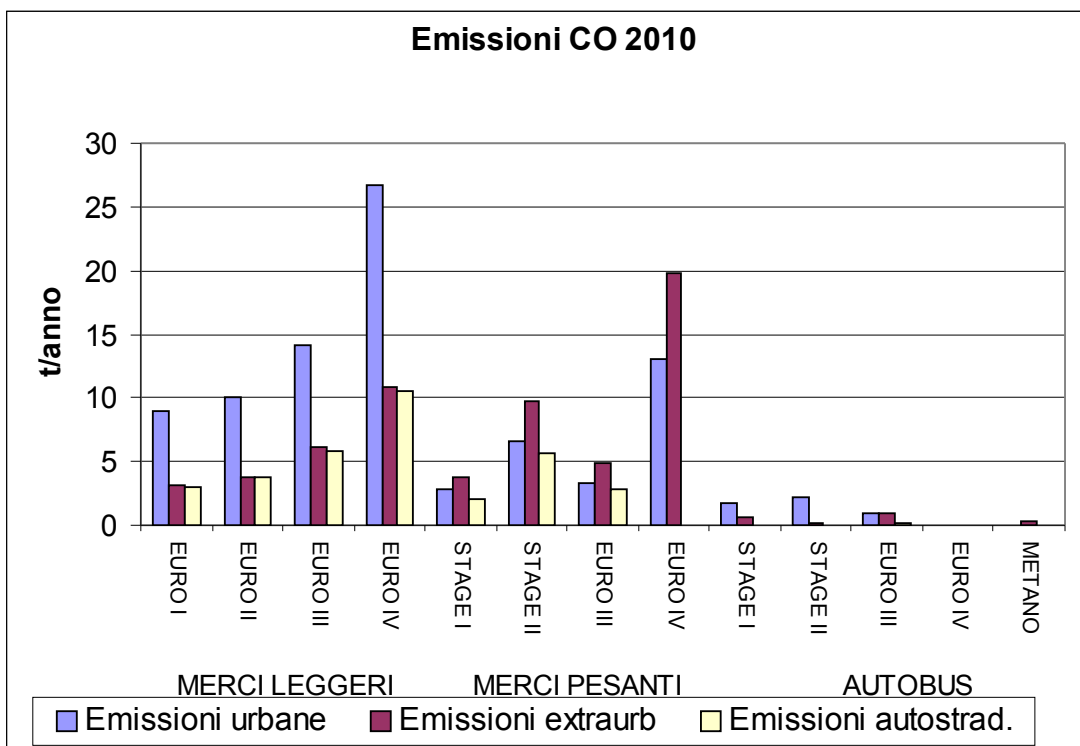
➤ MONOSSIDO DI CARBONIO (CO)

La maggiore fonte emissiva di CO è rappresentata dalle autovetture, in particolare quelle alimentate a benzina, che raggiungono picchi di 800 t nell'anno 2010. La seconda fonte emissiva in termini quantitativi è rappresentata dai motocicli, tra cui viene evidenziata una maggiore emissione durante il percorso extraurbano. Per ultimi in termini relativi, ma non per importanza delle quantità di CO emesso, risultano essere i veicoli merci e gli autobus. E' importante notare come i veicoli classificati come EURO IV producano emissioni notevolmente basse.





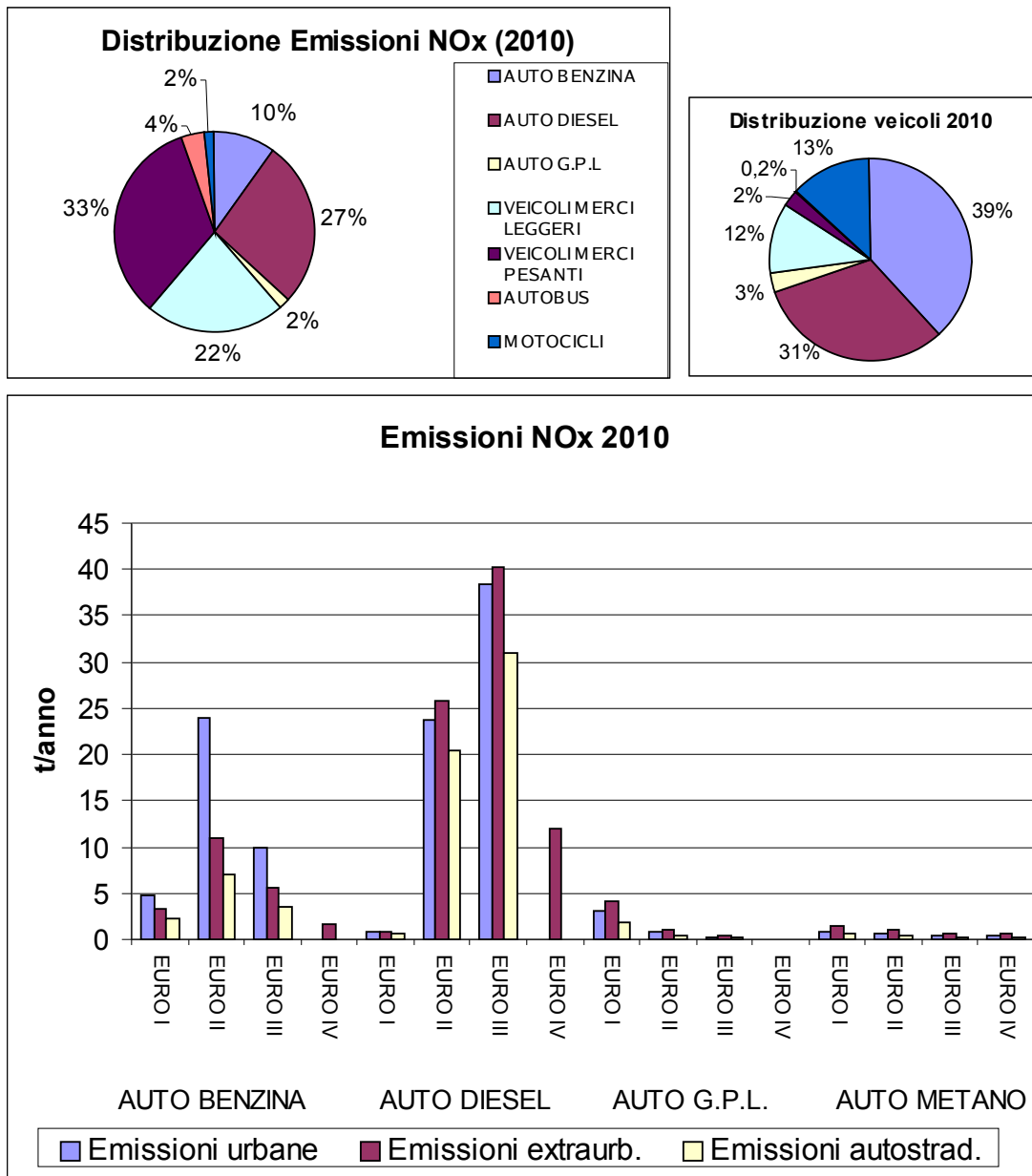
Un altro dato interessante è rappresentato dai veicoli a metano che, nonostante una crescita numerica importante, risultano produrre emissioni di monossido di carbonio notevolmente basse rispetto alle altre categorie veicolari. Infine gli autobus a metano rappresentano, insieme a quelli EURO IV, la minore fonte emissiva di questa macroclasse.



➤ OSSIDI DI AZOTO (NO_x)

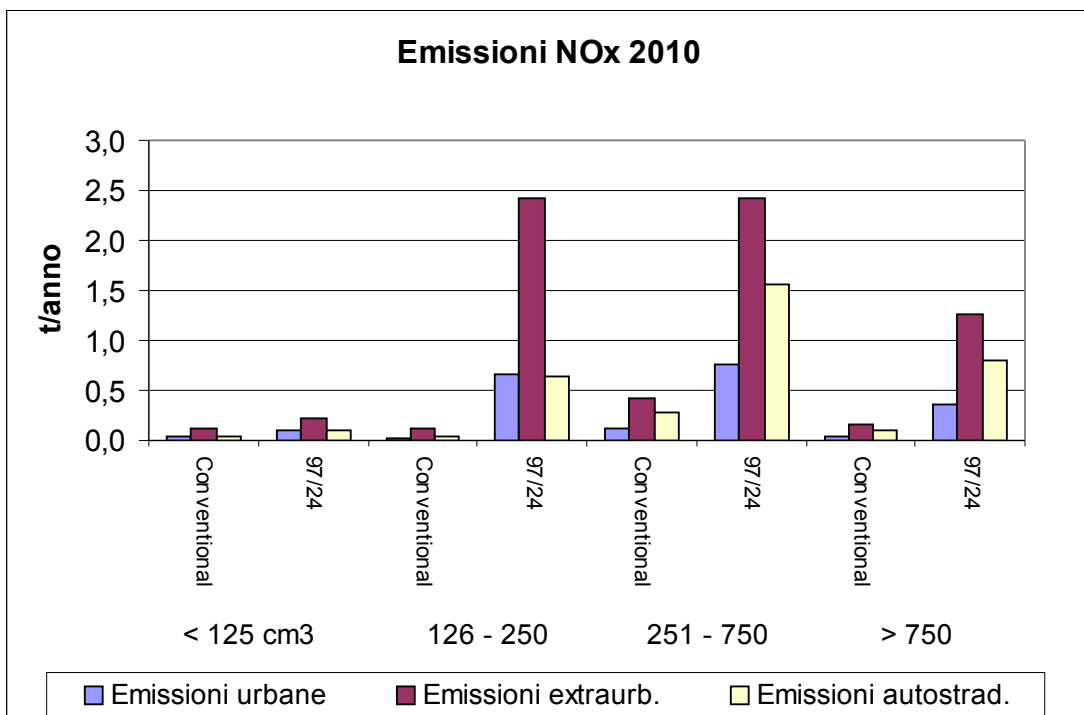
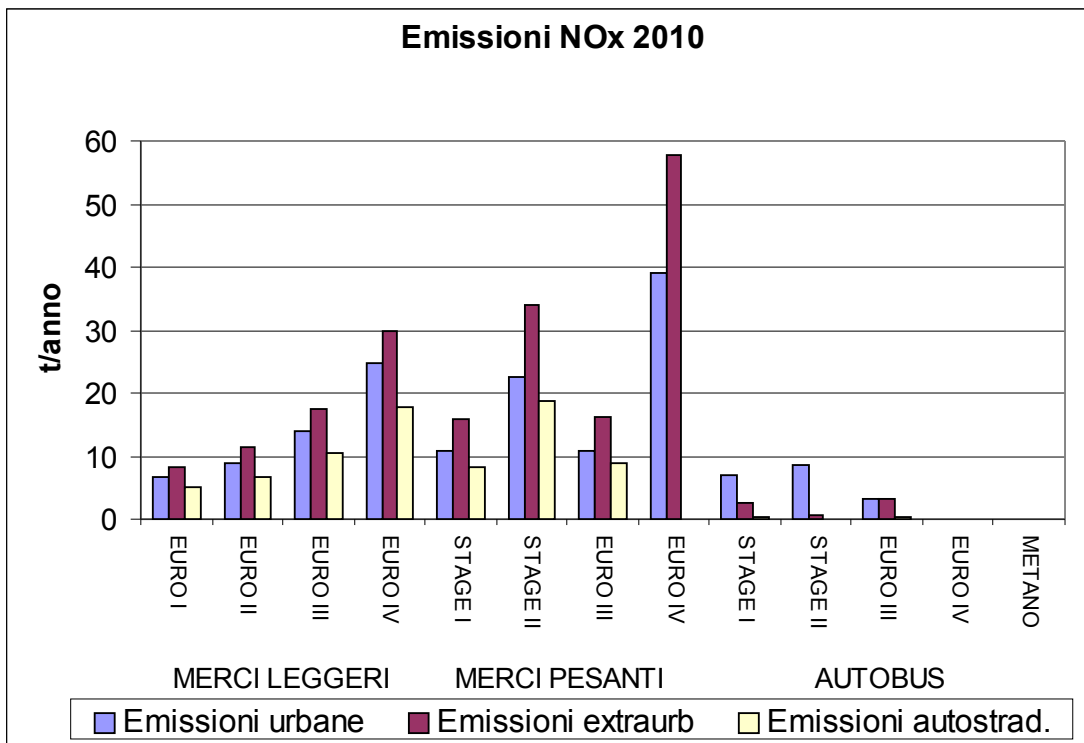
La maggiore fonte emissiva di NO_x è rappresentata dai veicoli merci sia leggeri che pesanti, con un trend positivo dagli EURO I agli EURO IV. Anche le auto, in particolare quelle diesel e benzina EURO II e III, producono quantitativi emissivi piuttosto elevati, seppure inferiori rispetto

ai veicoli merci. A seguire troviamo gli autobus, soprattutto quelli classificati come Stage I e II, e i motocicli, che risultano essere la minor fonte emissiva di monossido di carbonio insieme alle auto alimentate a G.P.L..



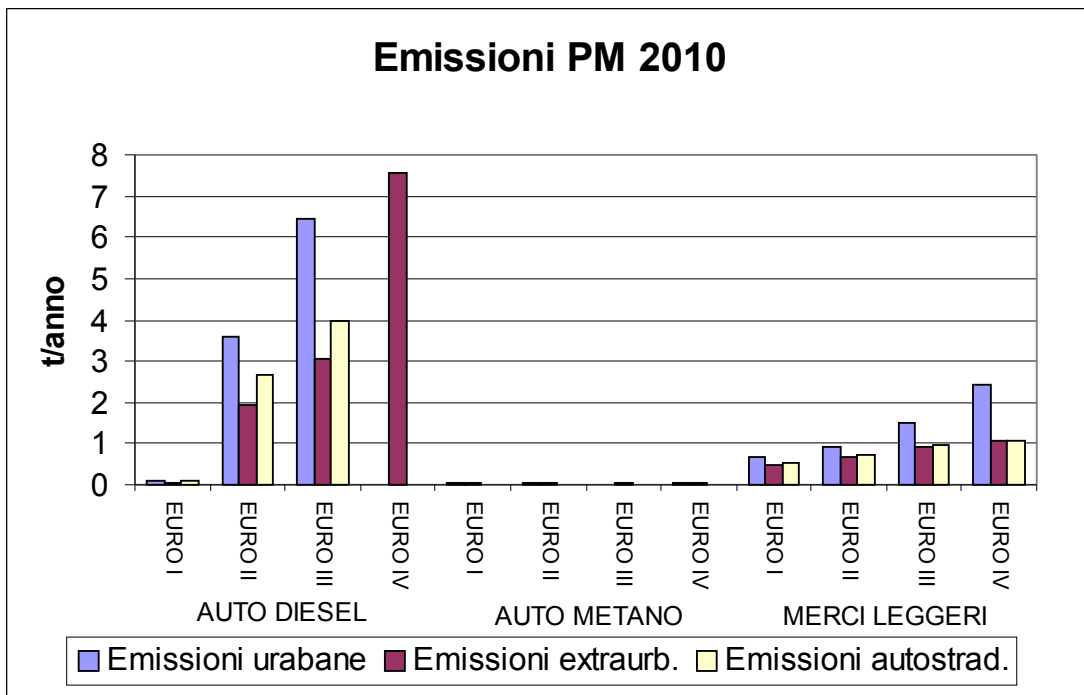
Anche per questo inquinante, come per il monossido di carbonio, i veicoli a metano rappresentano la minore fonte emissiva, nonostante il loro significativo aumento rispetto allo scenario base (2004). Dalle

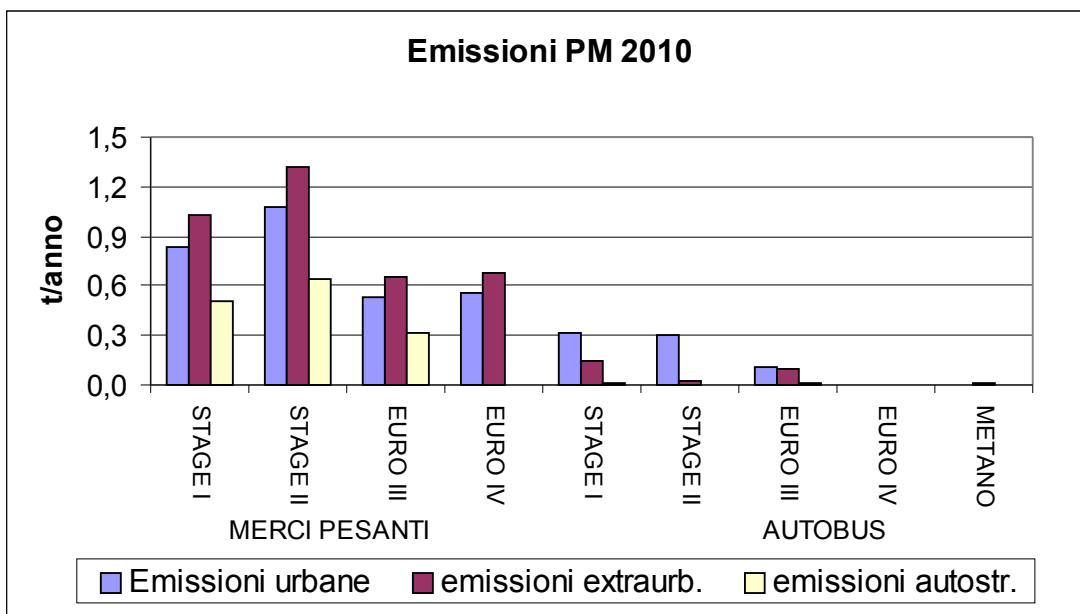
distribuzioni emissive è possibile notare come i veicoli merci pesanti, che rappresentano il 2% del parco veicolare, producono il 33% di NOx.



➤ PARTICOLARTO (PM)

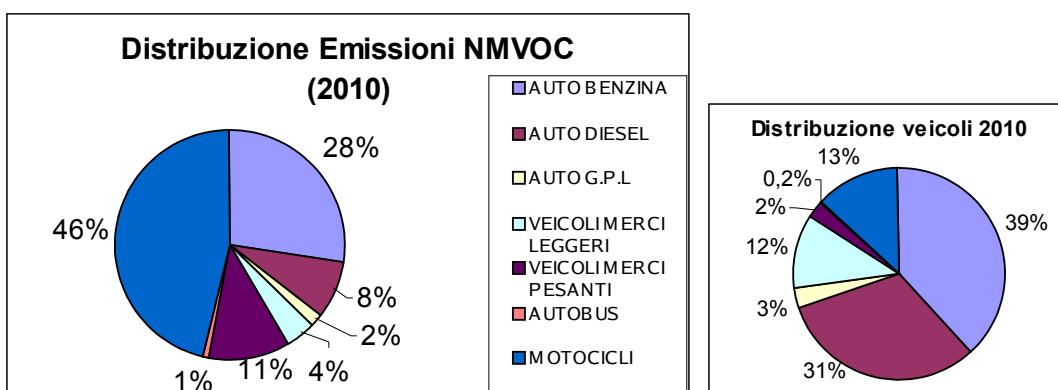
Le emissioni di PM vengono calcolate dal modello per i soli veicoli alimentati a diesel. La maggiore fonte emissiva è rappresentata dalle auto, in particolare quelle EURO II e III in ambito urbano e quelle EURO IV sul percorso extraurbano. Il secondo contributo in termini emissivi risulta essere prodotto dai veicoli merci leggeri e pesanti, le cui emissioni risultano essere distribuite omogeneamente all'interno delle due macroclassi. La minor quantità emissiva risulta essere quella prodotta dagli autobus, significativamente più bassa rispetto alle altre.

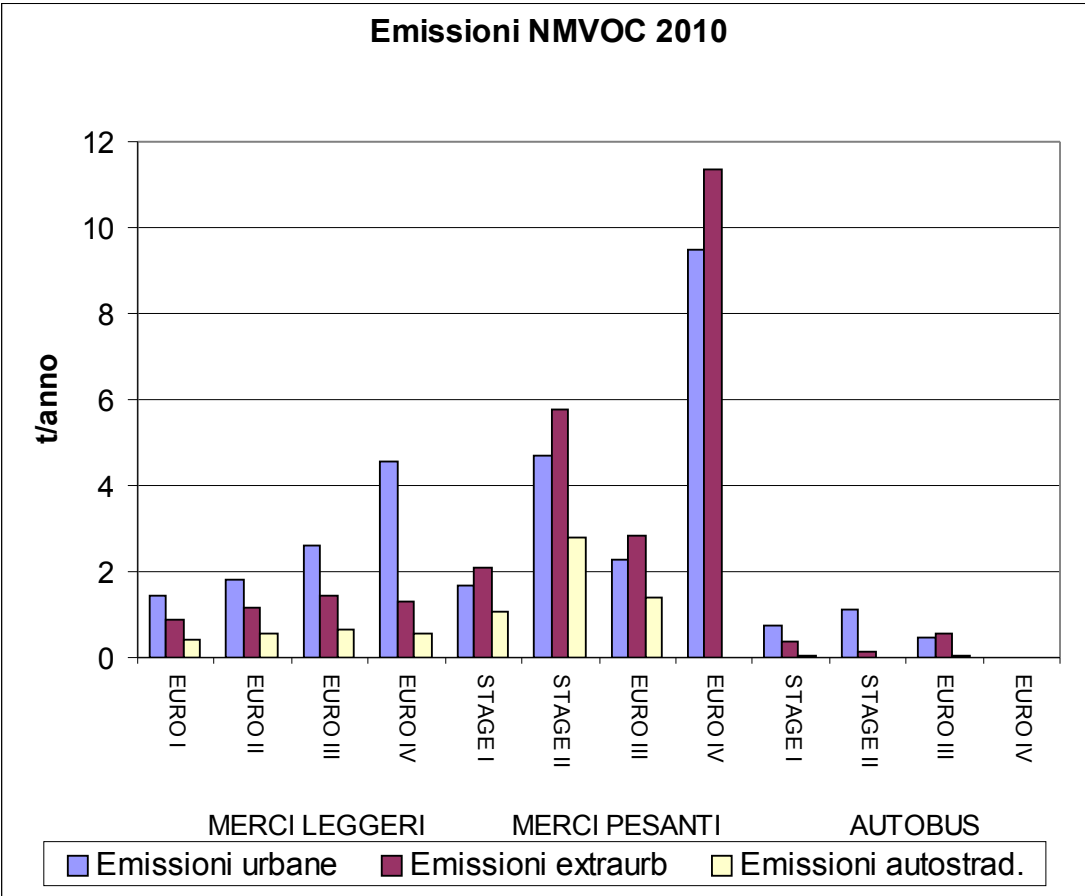
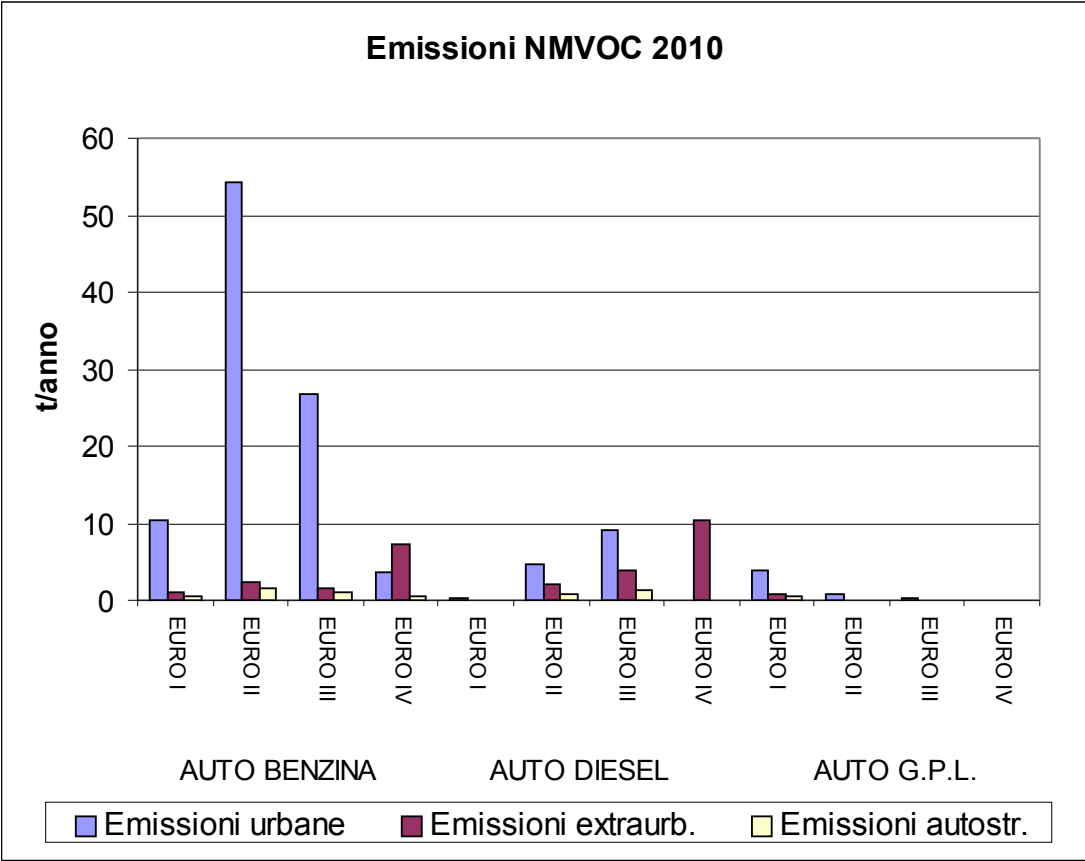


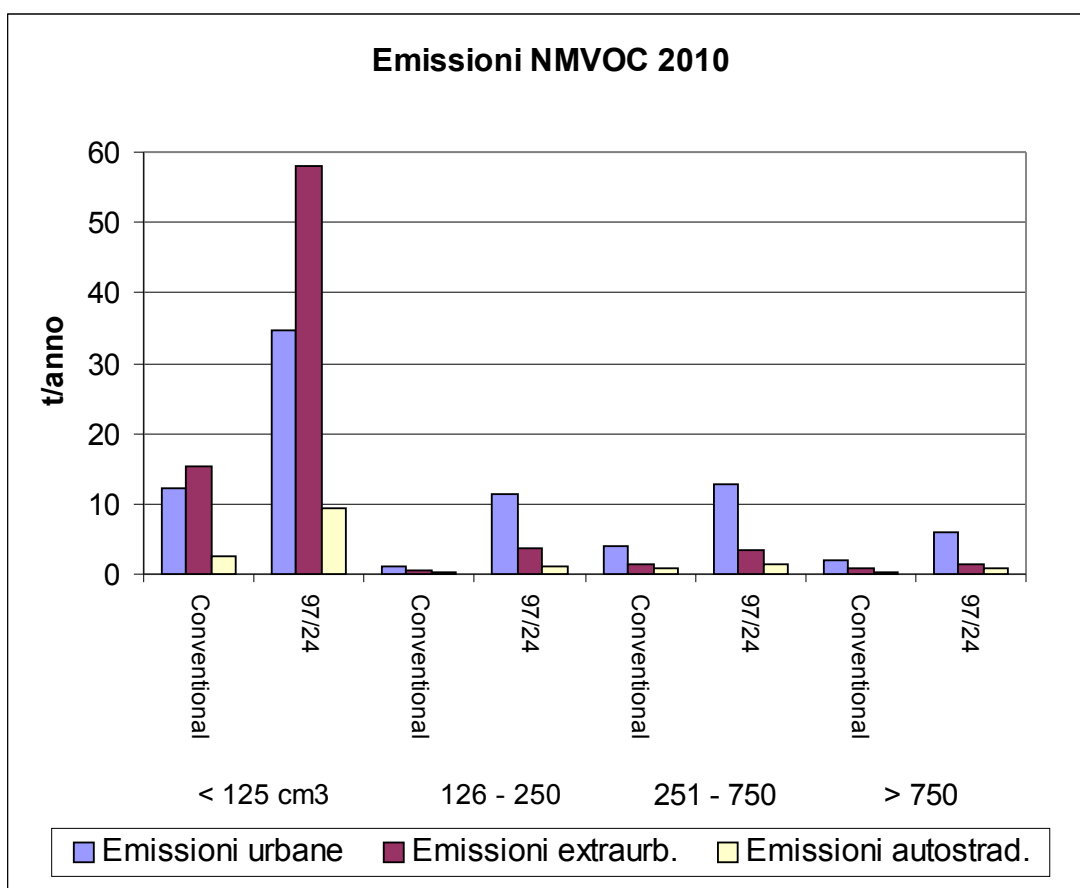


➤ **COMPOSTI ORGANICI VOLATILI NON METANICI (NMVOC)**

Le classi veicolari che producono le maggiori emissioni di NMVOC sono le autovetture e i motocicli; le auto presentano picchi più elevati in corrispondenza delle emissioni urbane prodotte da quelle alimentate a benzina, mentre i motocicli in corrispondenza della classe veicolare <125 cm³. Tra i veicoli merci, la maggiore fonte emissiva è rappresentata da quelli pesanti, in particolare quelli EURO IV, mentre minori sono le emissioni prodotte dai veicoli leggeri. Gli autobus si confermano nuovamente la classe veicolare che produce le minori emissioni.

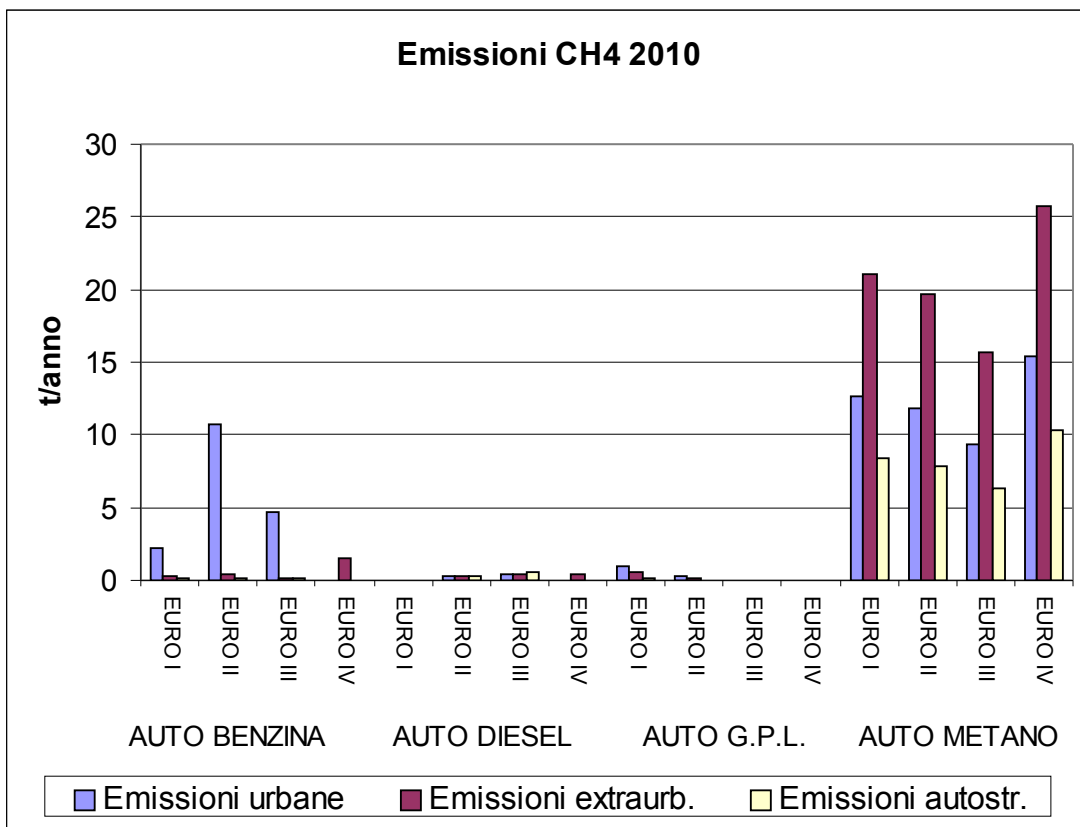
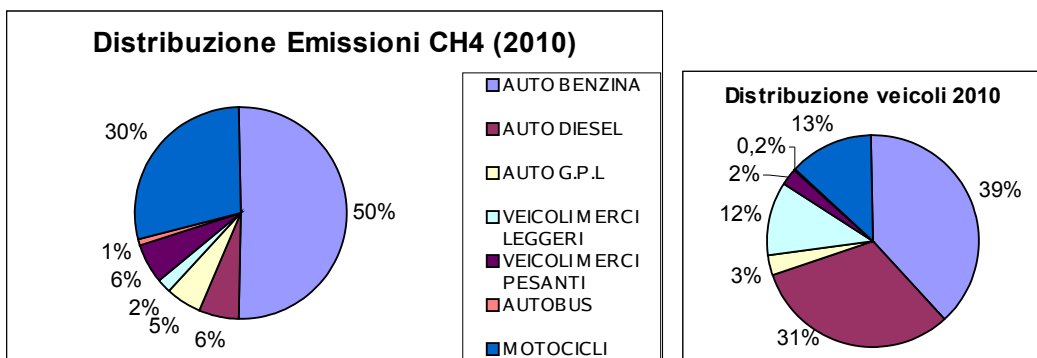




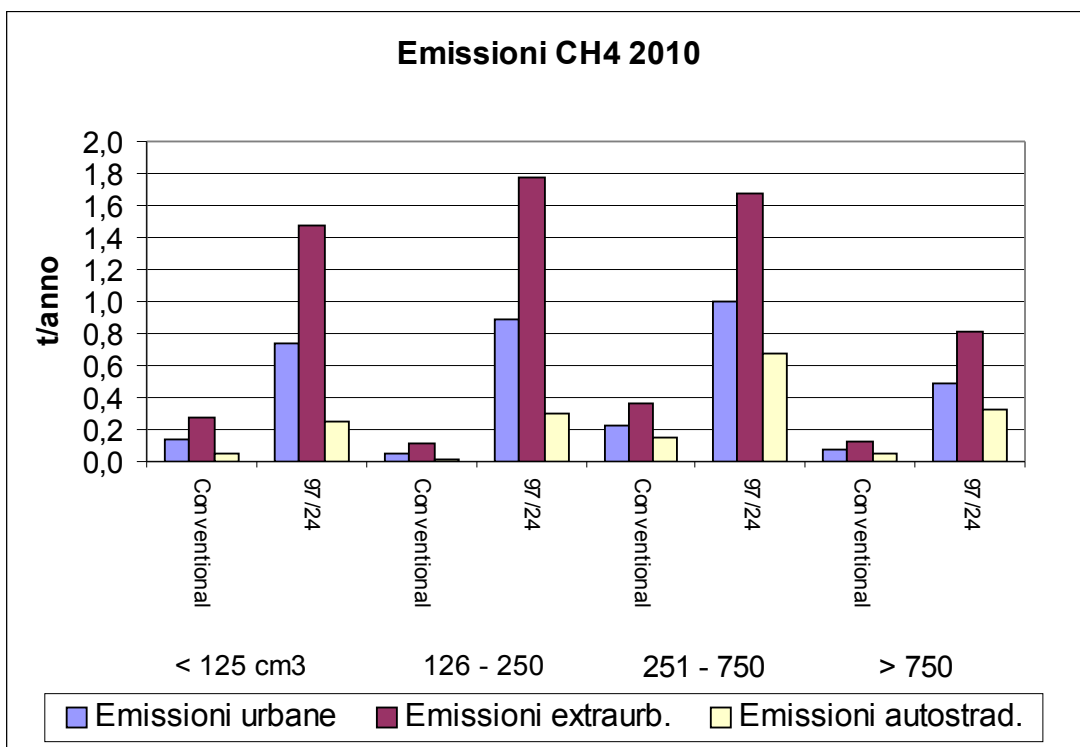
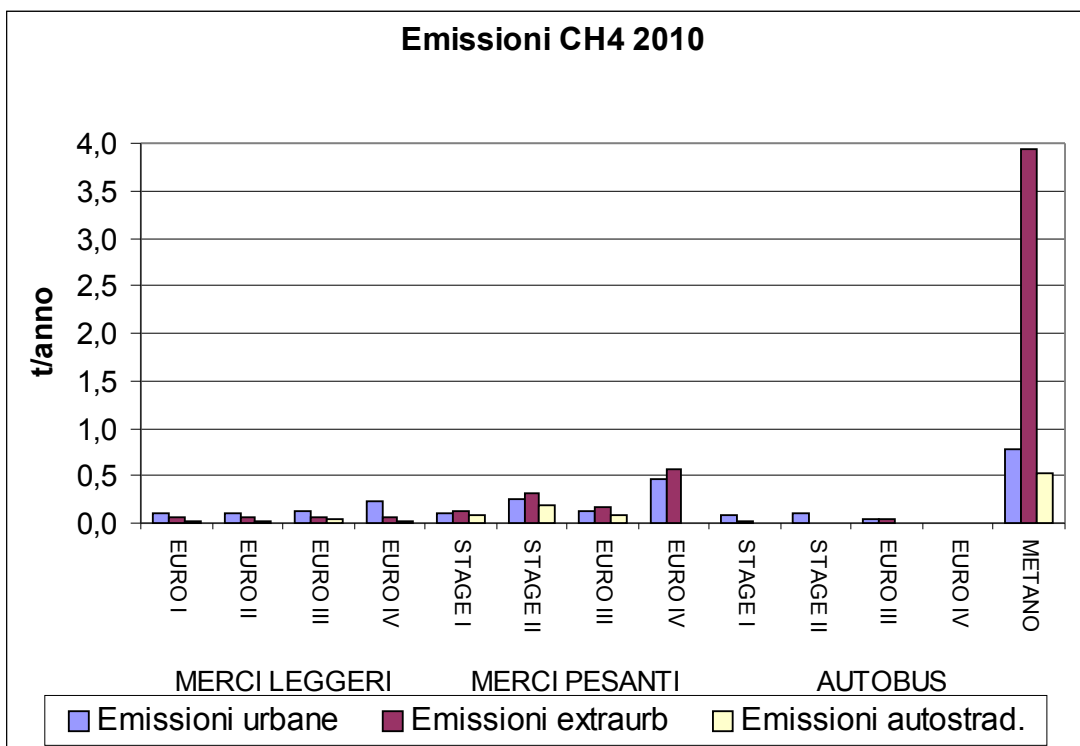


➤ METANO (CH₄)

La principale fonte emissiva di metano è rappresentata dalle autovetture a metano. La tipologia di percorso in cui vengono emessi i maggiori quantitativi di metano risulta essere quello extraurbano. La seconda fonte emissiva risulta essere quella prodotta dalle auto a benzina, con particolare riferimento al percorso urbano. Notevolmente più basse risultano essere le emissioni prodotte dalle auto diesel, G.P.L., veicoli merci leggeri e pesanti ed autobus. I motocicli, invece, rappresentano la seconda fonte emissiva, soprattutto quelle classi con cilindrata inferiore ai 750 cm³ classificati con lo standard legislativo 97/24.



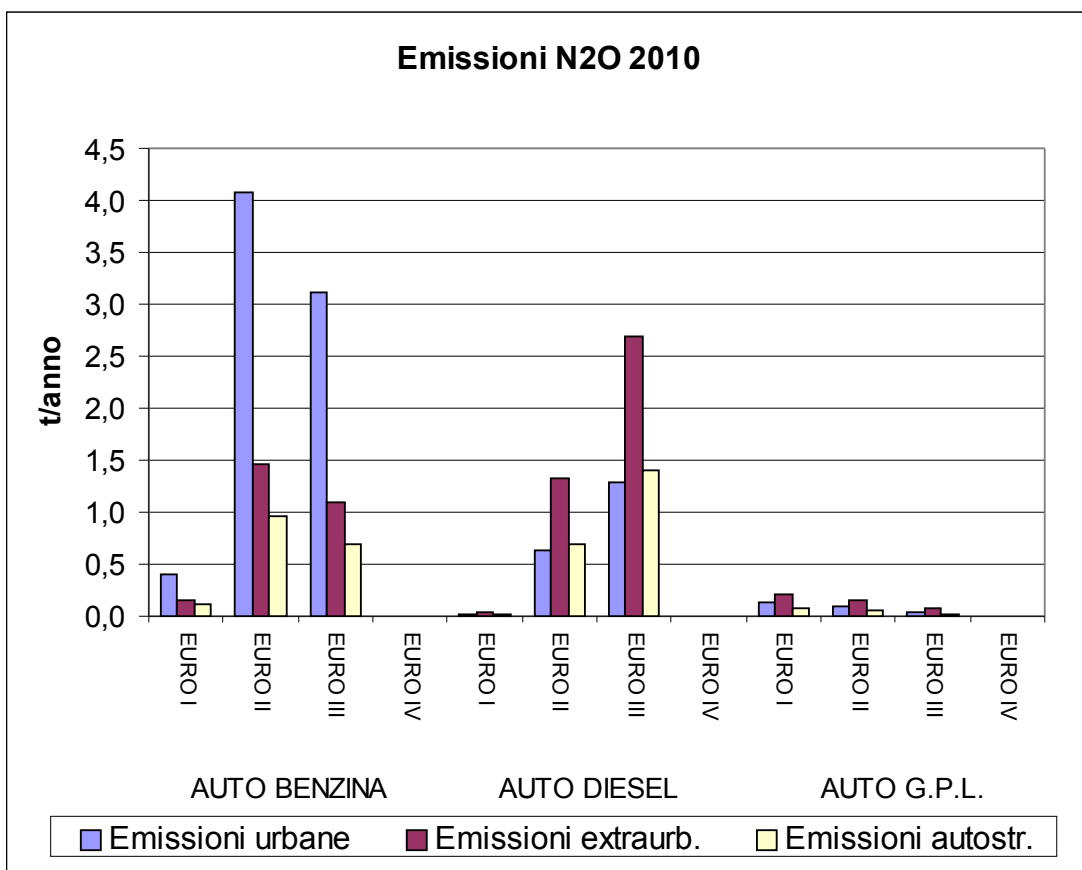
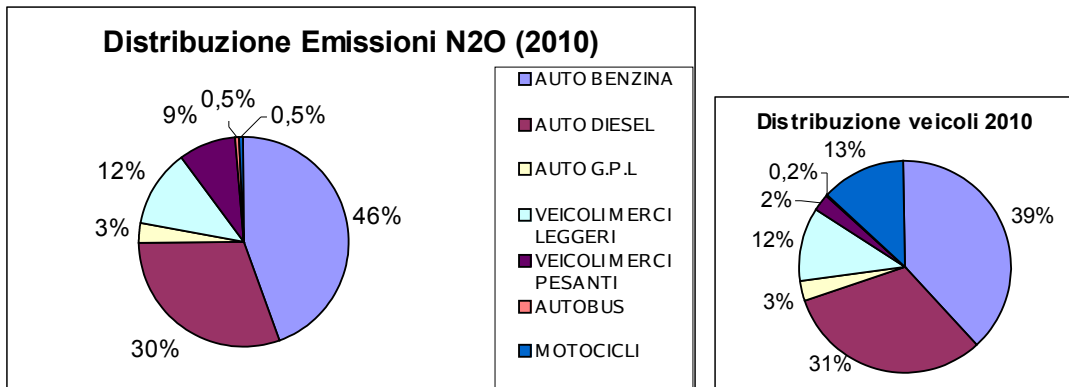
Un altro dato importante è rappresentato dalle emissioni prodotte dagli autobus a metano; infatti l'immatricolazione di 30 autobus a metano dal 2004 al 2010 ha portato ad una significativa diminuzione delle emissioni di CO, NOx e PM, ma anche ad un notevole incremento nella produzione di CH4.

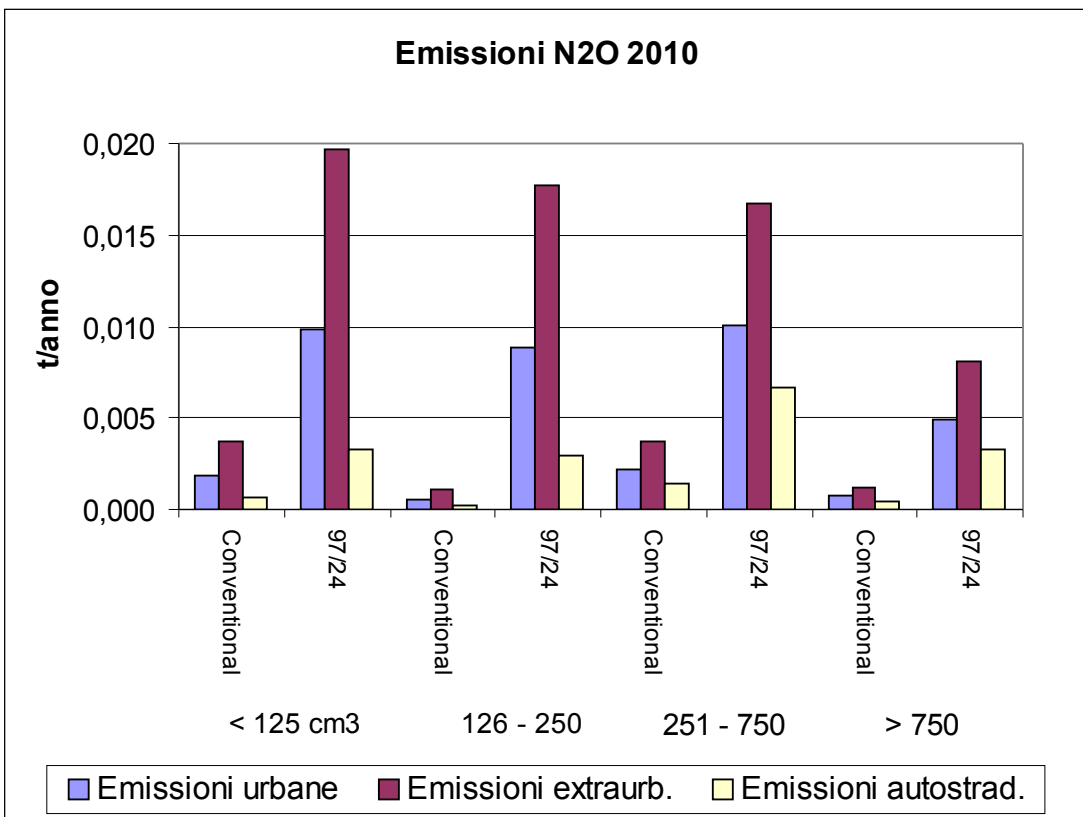
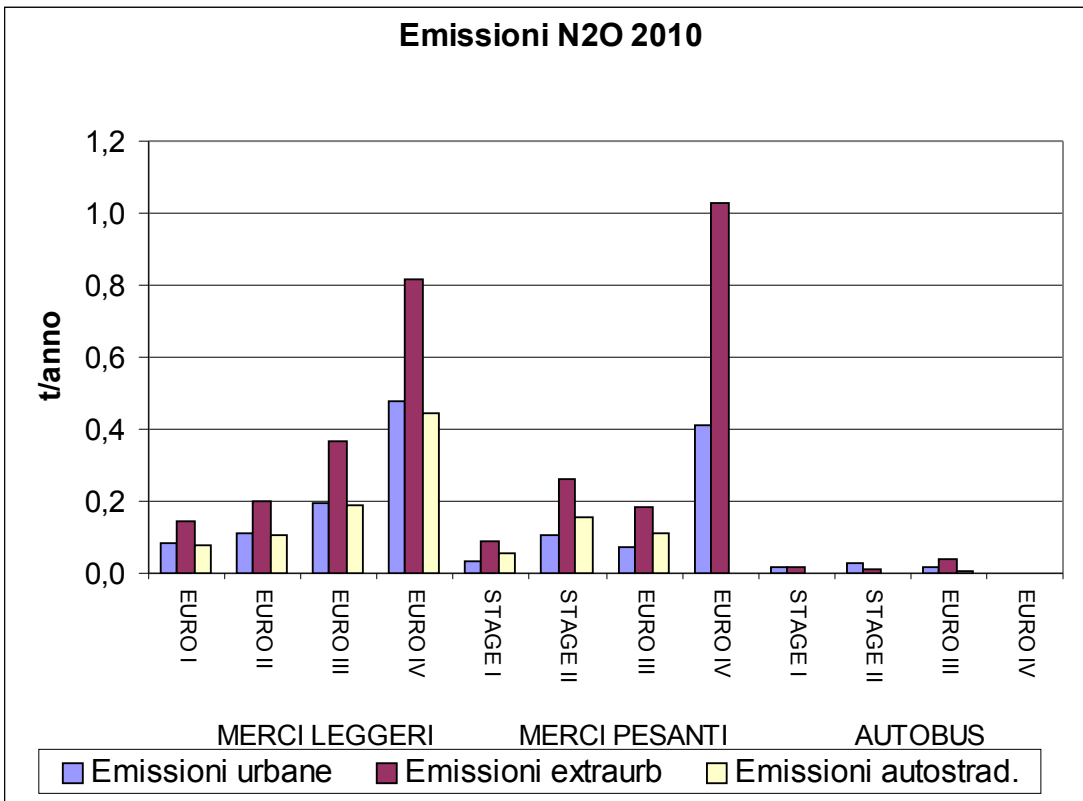


➤ PROTOSSIDO DI AZOTO (N2O)

Il protossido di azoto viene emesso soprattutto dalle autovetture benzina e diesel. Le categorie veicolari all'interno di queste due macroclassi che producono le maggiori quantità di N2O sono quelle che rispondono agli

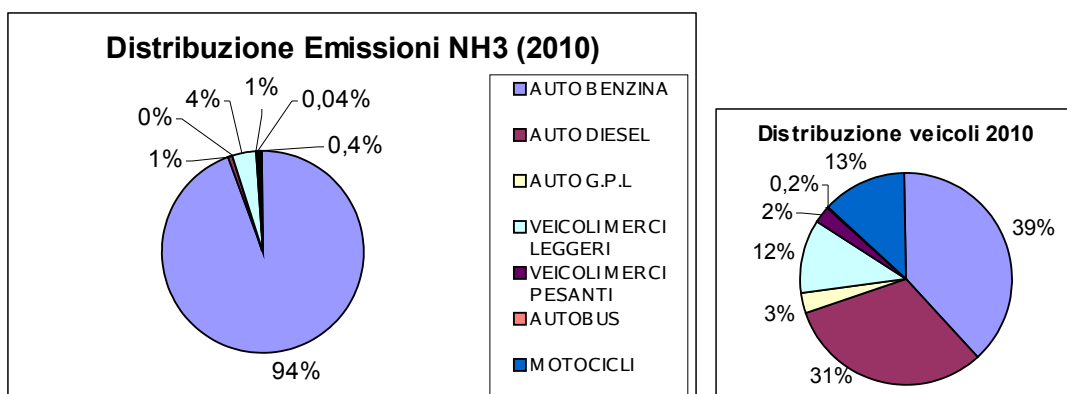
standard legislativi EURO II e III. La seconda fonte emissiva è rappresentata dai veicoli merci, sia leggeri che pesanti, con particolare riferimento a quelli EURO IV. Significativamente inferiori risultano essere le emissioni prodotte dai motocicli e dagli autobus.

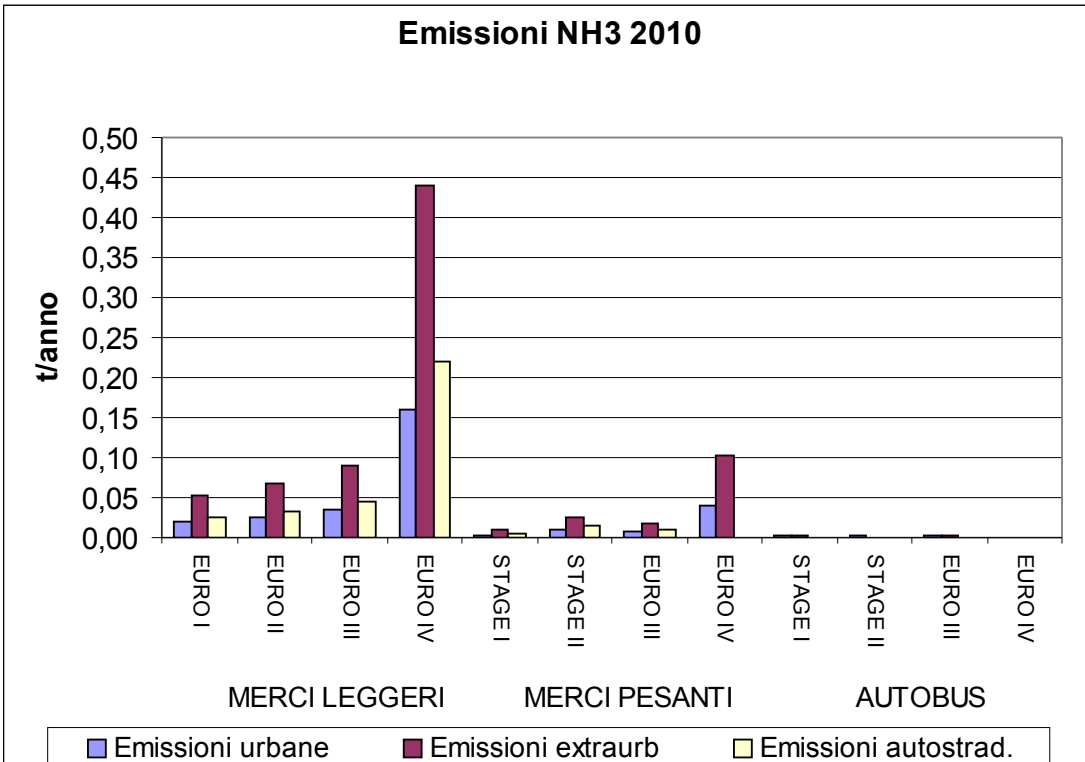
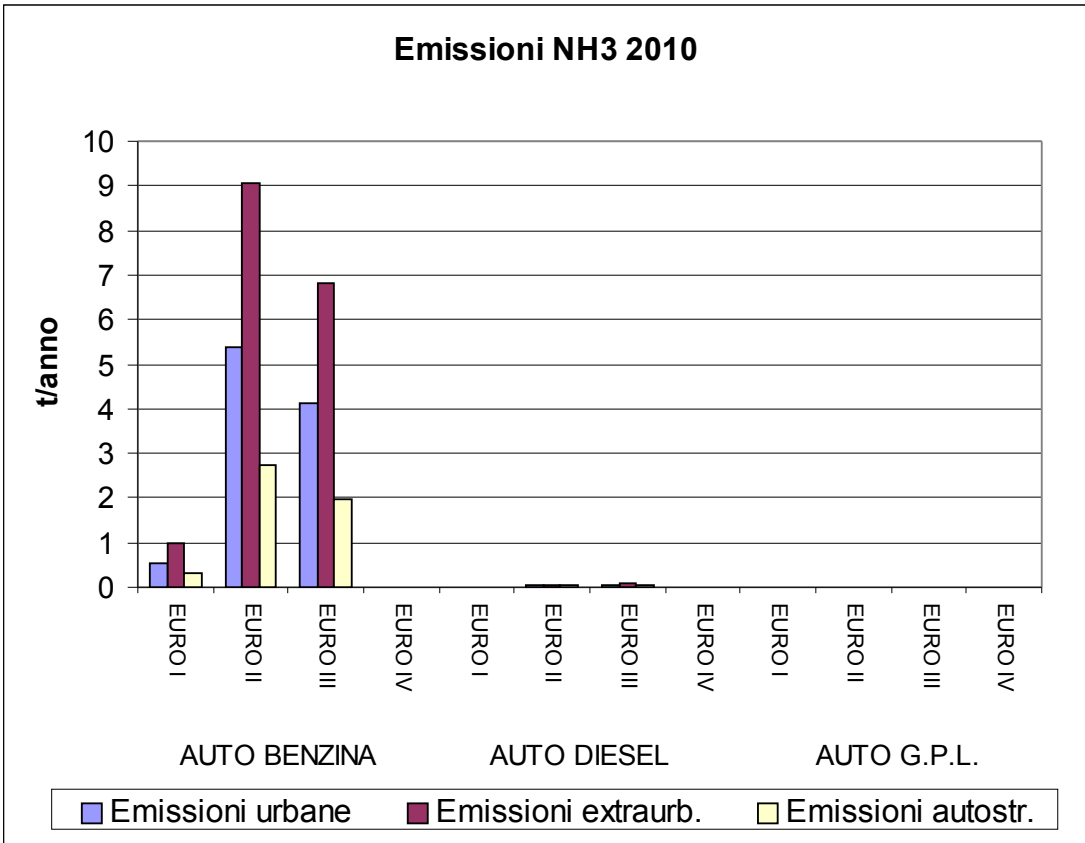


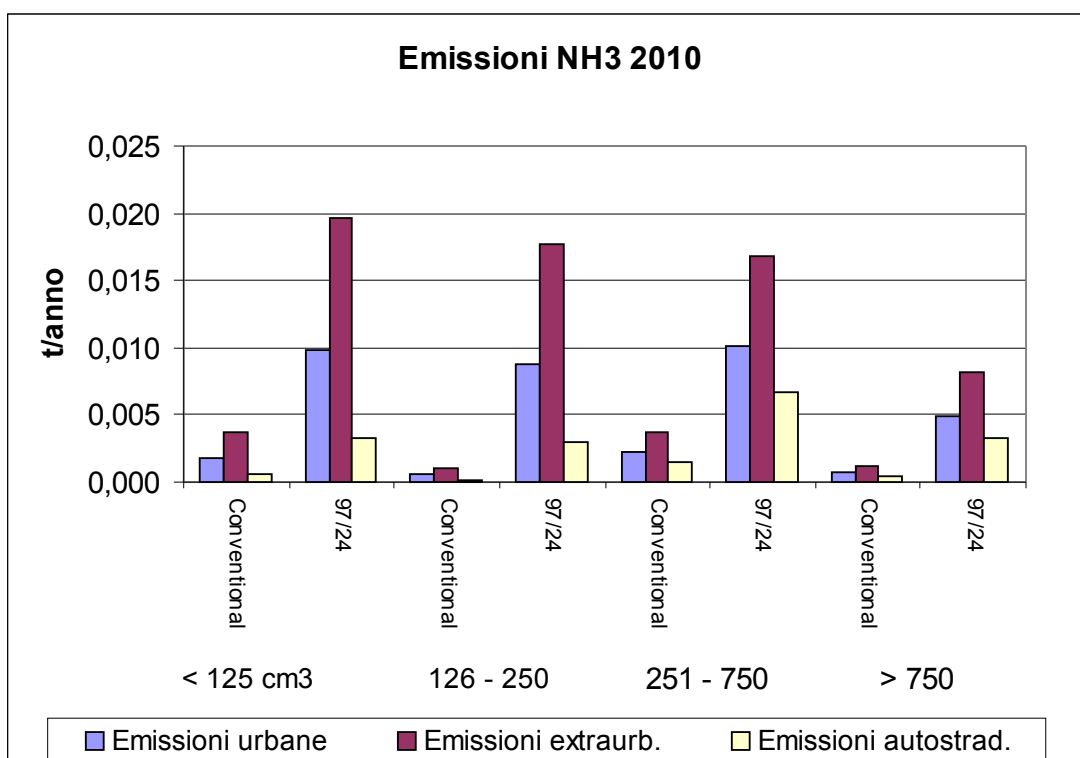


➤ AMMONIACA (NH₃)

Le autovetture a benzina sono la fonte emissiva principale e ricoprono la quasi totalità delle emissioni di ammoniaca prodotte dal parco veicolare. In particolare le auto EURO II e III presentano una quantità di NH₃ prodotta notevolmente più alta rispetto a quella emessa dalle altre classi. La seconda fonte emissiva è rappresentata dai veicoli merci, ma questi producono emissioni di NH₃ inferiori fino a due ordini di grandezza rispetto a quelle emesse dalle auto a benzina. Risultano essere ancora più basse le emissioni prodotte dai motocicli e dagli autobus.

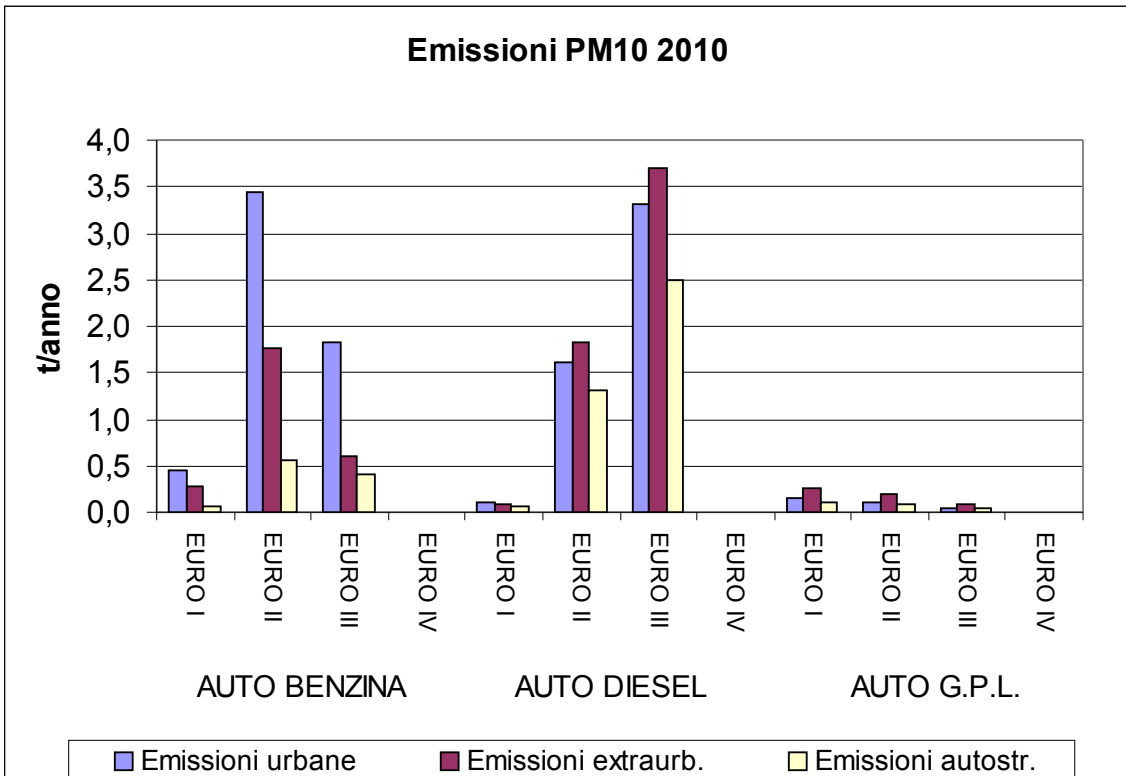
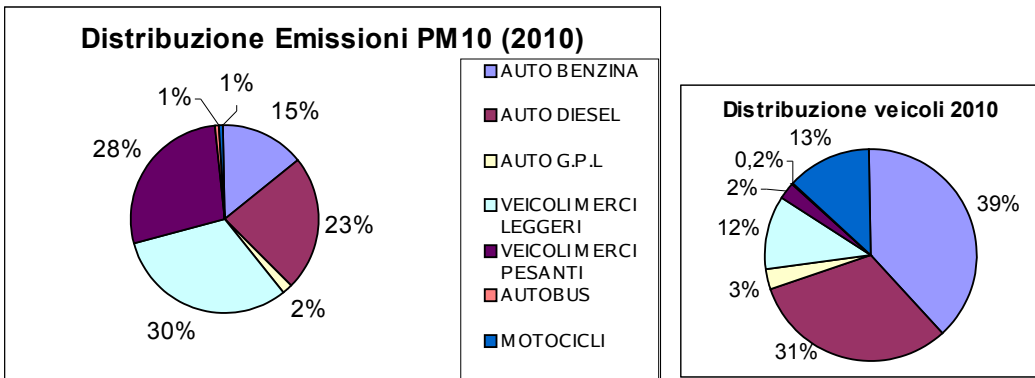




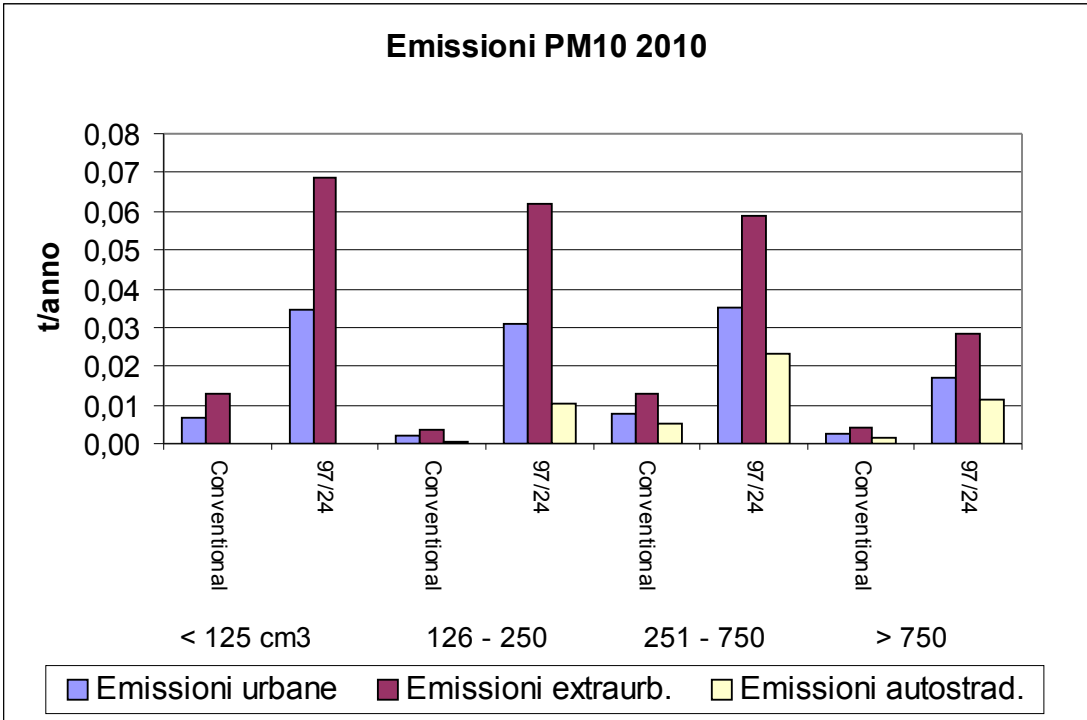
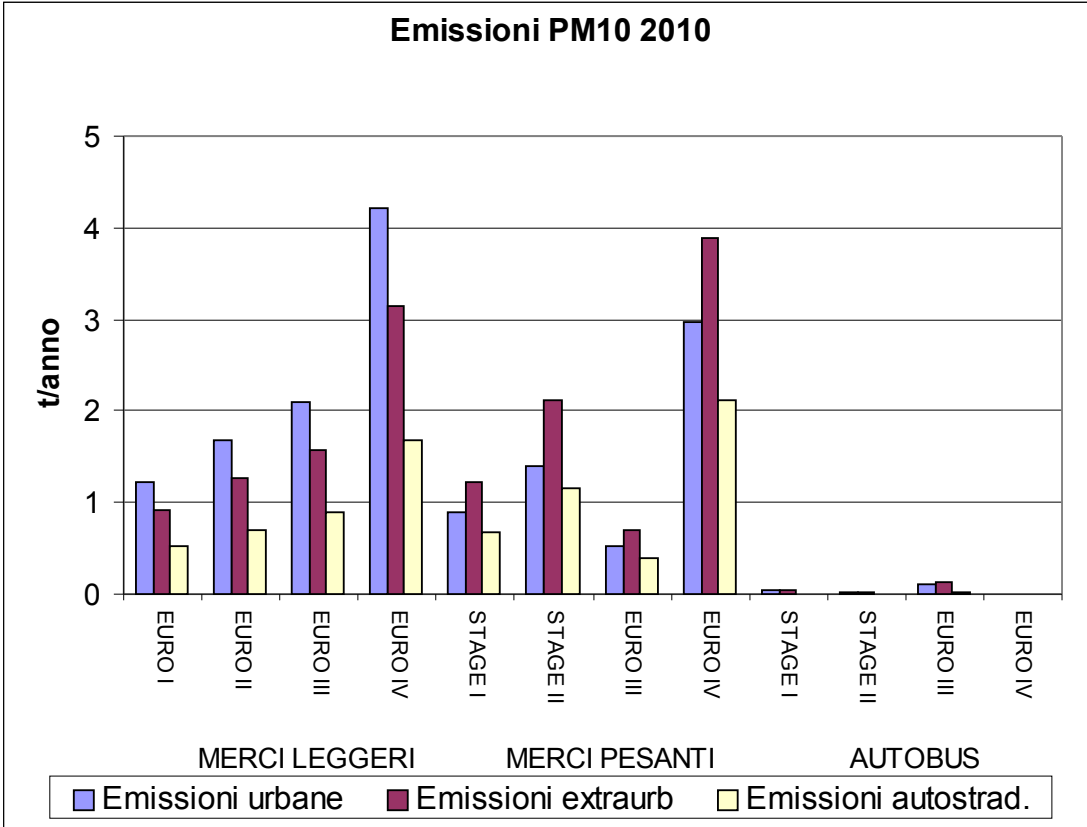


➤ LE POLVERI PM10

Ho applicato la seconda modifica al modello anche al parco veicolare 2010, al fine di calcolare le emissioni delle PM10 prodotte da tutte le categorie veicolari. Tutte le classi con i rispettivi valori delle emissioni di PM10 sono contenute nelle tabelle presenti nell'Allegato C. Qui di seguito mi limiterò a discuterli con l'uso di opportuni grafici. Le categorie veicolari che producono le maggiori quantità di PM10 sono i merci pesanti e quelli leggeri. La seconda fonte emissiva è rappresentata dalle autovetture a diesel, seguite da quelle a benzina, tra cui spiccano quelle classificate come EURO II e III. Risultano invece contenuti i valori relativi alle emissioni prodotte dagli autobus e dai motocicli.



Risulta significativo il dato relativo alla distribuzione emissiva delle PM10. In particolare i veicoli merci pesanti, nonostante rappresentino il 2% del parco veicolare, emettono il 28% delle PM10.



DISCUSSIONE

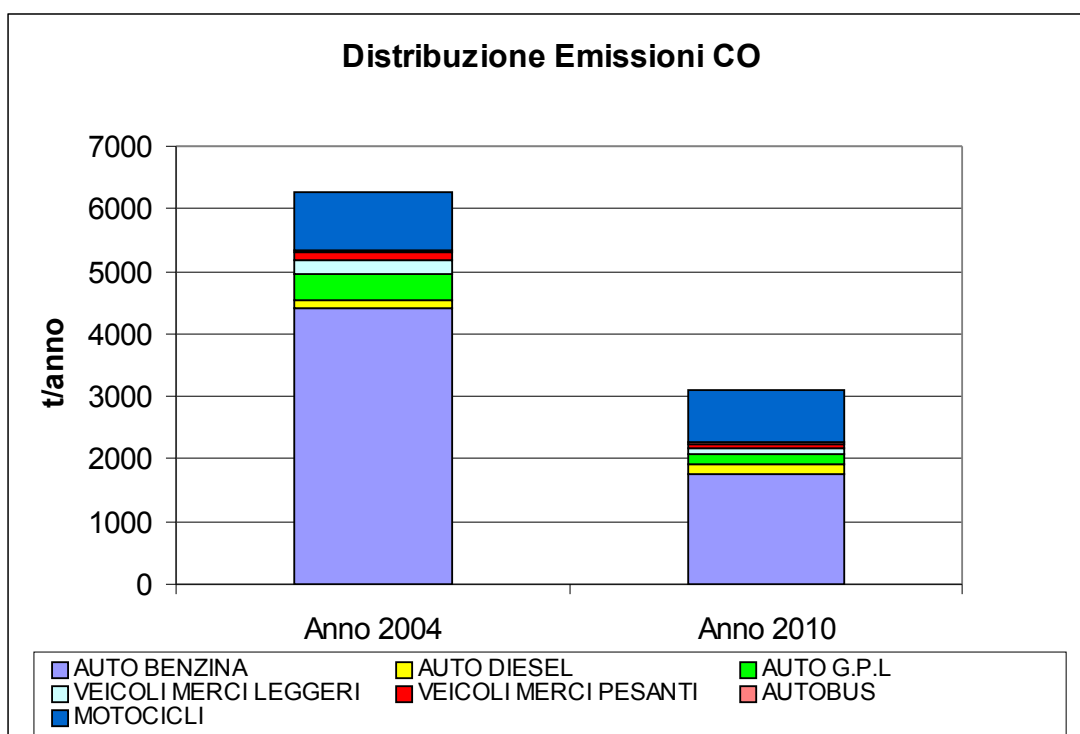
La stima delle emissioni di inquinanti nel Comune di Forlì per l'anno 2004 e per il 2010 permette un interessante confronto. Rapportando infatti le emissioni totali delle macroclassi previste da COPERT è possibile capire come, nell'eventualità che lo scenario evolutivo del parco veicolare per il 2010 si realizzasse, le emissioni per ciascuna tipologia di inquinante si evolveranno. Un altro aspetto importante che è possibile analizzare attraverso un confronto tra i risultati degli studi nei due anni di riferimento, è la variazione della distribuzione delle emissioni per ciascun inquinante nelle varie macroclassi (auto benzina, diesel, G.P.L., veicoli trasporto merci leggeri e pesanti, autobus e motocicli). Le successive tabelle illustrano le emissioni risultanti per l'anno 2010 sulla base delle ipotesi fatte precedentemente, rapportate a quelle relative allo scenario base del 2004. Queste due serie di dati vengono riportate nelle prime due colonne, mentre nella terza viene indicata la variazione percentuale delle emissioni del 2010 rispetto a quelle del 2004. L'analisi delle variazioni viene fatta per ciascun inquinante in maniera da rendere più facile la lettura dei risultati del confronto.

Dallo studio fatto risulta che le emissioni totali di monossido di carbonio potrebbero diminuire del 50%. Questo risultato è dovuto soprattutto alla totale sostituzione dei veicoli pre-EURO, in particolare quelli alimentati a benzina che rappresentano il maggiore fattore di pressione per quanto

riguarda le emissioni di CO, con veicoli EURO IV che utilizzano sistemi di abbattimento più efficienti. Anche per quanto riguarda i veicoli merci e gli autobus la tendenza alla diminuzione delle emissioni è significativa ed è compresa tra il 48 e il 52%. L'unica nota negativa è rappresentata dalle auto diesel, le cui emissioni subiscono un incremento del 15%. Questa conseguenza è dovuta soprattutto all'aumento nel numero totale delle auto alimentate a gasolio, ma non deve destare particolare preoccupazione poiché il loro contributo emissivo in termini percentuali rimane relativamente basso, come viene dimostrato dal fatto che le emissioni di CO in totale si riducono del 50%. La seguente tabella contiene i dati emissivi dell'anno 2004 e 2010 e le variazioni per ciascuna macroclasse.

EMISSIONI TOTALI CO (t/anno)			
Classe Veicolare	Anno 2004	Anno 2010	Variazione %
AUTO BENZINA	4398,353	1757,151	-60
AUTO DIESEL	144,896	166,134	15
AUTO G.P.L	408,369	146,524	-64
VEICOLI MERCI LEGGERI	217,416	106,789	-51
VEICOLI MERCI PESANTI	143,314	74,225	-48
AUTOBUS	14,114	6,763	-52
MOTOCICLI	942,210	849,421	-10
TOTALE	6268,672	3107,007	-50

Dal seguente grafico è possibile analizzare sia la variazione totale delle emissioni di CO, sia la variazione della distribuzione emissiva all'interno di ciascuna macroclasse.

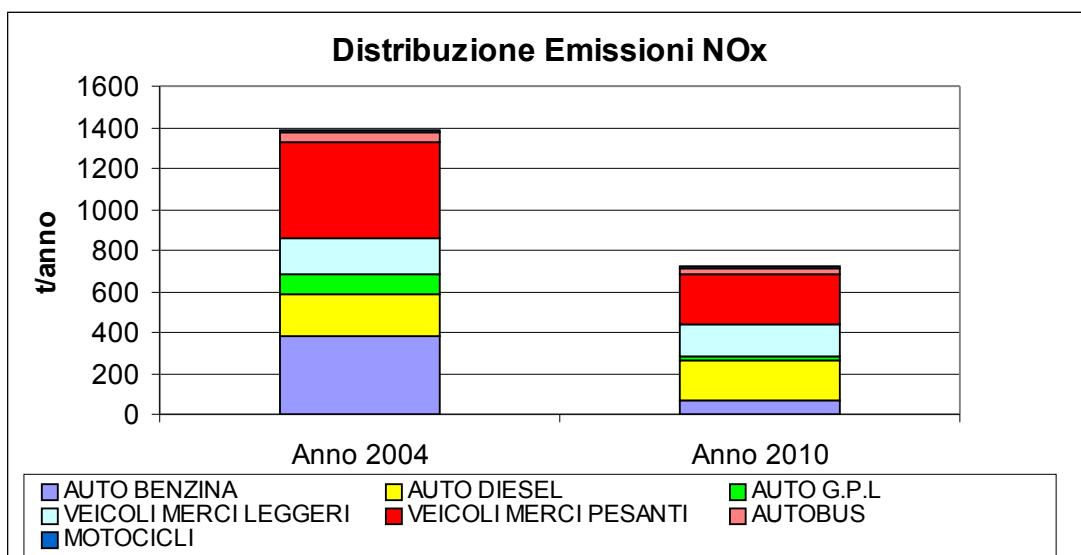


Per quanto riguarda gli ossidi di azoto il confronto evidenzia che le emissioni totali diminuirebbero del 48%. Anche questo significativo risultato può essere imputato agli stessi motivi per cui dimezzerebbero le emissioni del monossido di carbonio. Nonostante il loro incremento numerico rispetto al 2004, si prevede che le auto diesel e i veicoli merci leggeri emetteranno meno ossidi di azoto, anche se il loro decremento risulta limitato (5-6%). L'unica macroclasse che vede aumentare le proprie emissioni in maniera significativa (26%) sono i motocicli; per questa categoria infatti è stato ipotizzato sia un aumento del numero di componenti dal 2004 al 2010, sia una non totale sostituzione dei mezzi più vecchi del suo parco.

EMISSIONI TOTALI NOx (t/anno)			
Classe Veicolare	Anno 2004	Anno 2010	Variazione %
AUTO BENZINA	383,698	72,778	-81
AUTO DIESEL	203,684	193,745	-5
AUTO G.P.L	98,677	12,081	-88

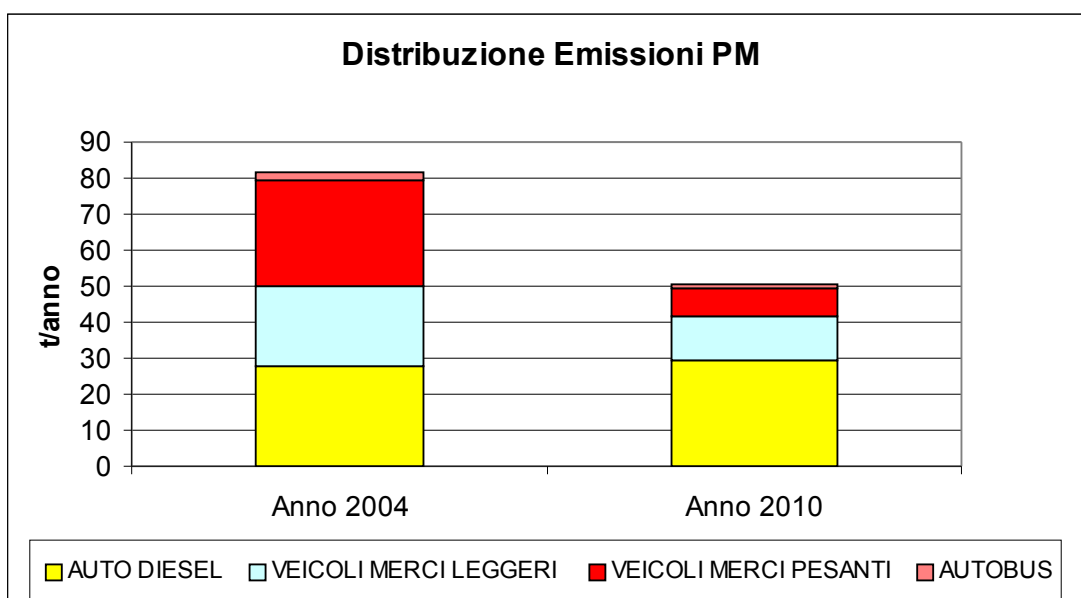
VEICOLI MERCI LEGGERI	171,266	161,480	-6
VEICOLI MERCI PESANTI	468,715	242,749	-48
AUTOBUS	51,965	25,829	-50
MOTOCICLI	10,133	12,754	26
TOTALE	1388,138	721,416	-48

Comunque sia il reale contributo emissivo dei motocicli rispetto al totale rimane relativamente basso, come viene evidenziato nel grafico successivo.



Le emissioni totali di particolato subirebbero un decremento pari al 38%. Questa riduzione è inferiore rispetto a quella relativa ai due inquinanti precedenti, ma è giustificata dal fatto che non vengono calcolate le emissioni per i veicoli alimentati a benzina, i quali rappresentano la categoria che maggiormente ha contribuito alla diminuzione delle emissioni totali delle altre specie di inquinanti. Questo risultato, comunque confortante, è dovuto soprattutto al fatto che i veicoli diesel EURO IV utilizzano dei filtri antiparticolato con efficienze notevolmente superiori rispetto a quelli utilizzati negli altri veicoli EURO.

EMISSIONI TOTALI PM (t/anno)			
Classe Veicolare	Anno 2004	Anno 2010	Variazione %
AUTO BENZINA	/	/	/
AUTO DIESEL	27,669	29,432	6
AUTO G.P.L	/	/	/
VEICOLI MERCI LEGGERI	22,167	12,036	-71
VEICOLI MERCI PESANTI	29,467	8,152	-95
AUTOBUS	2,330	1,017	-97
MOTOCICLI	/	/	/
TOTALE	81,632	50,637	-38

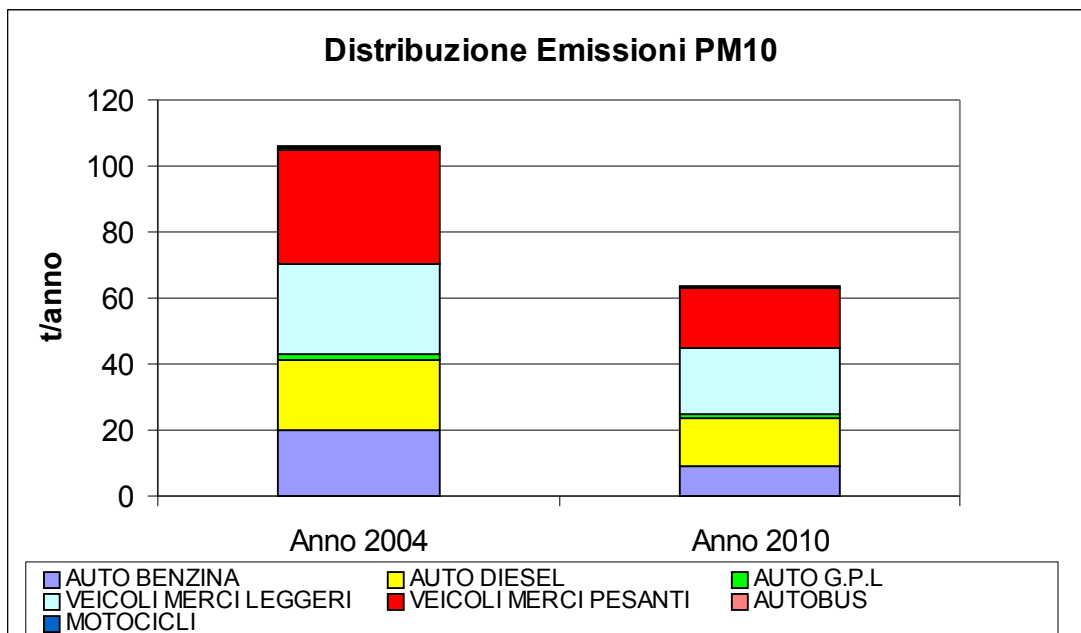


Un risultato di maggiore interesse dal punto di vista sanitario è rappresentato dalla variazione delle emissioni delle PM10.

EMISSIONI TOTALI PM10 (t/anno)			
Classe Veicolare	Anno 2004	Anno 2010	Variazione %
AUTO BENZINA	20,140	9,391	-53
AUTO DIESEL	21,196	14,496	-32
AUTO G.P.L	1,911	1,062	-44
VEICOLI MERCI LEGGERI	27,170	19,864	-27
VEICOLI MERCI PESANTI	34,431	18,045	-48

AUTOBUS	0,770	0,413	-46
MOTOCICLI	0,369	0,440	19
TOTALE	105,989	63,711	-40

Da quanto emerge dalla tabella sopra, le emissioni totali di PM10 diminuirebbero rispetto al 2004 del 40%. Questa variazione risulta essere superiore rispetto a quella relativa alle PTS. Un dato molto positivo che emerge da questa tabella è rappresentato dal decremento delle PM10 emesse dai veicoli diesel nonostante che, nello scenario previsto per il 2010, il numero di questi ultimi aumenti. Ciò significa che una possibile strada verso l'abbattimento di queste emissioni consiste nel rinnovamento graduale del parco veicoli. La distribuzione emissiva rappresentata nel seguente grafico permette di capire come variano le emissioni totali e quelle relative a ciascuna macroclasse.



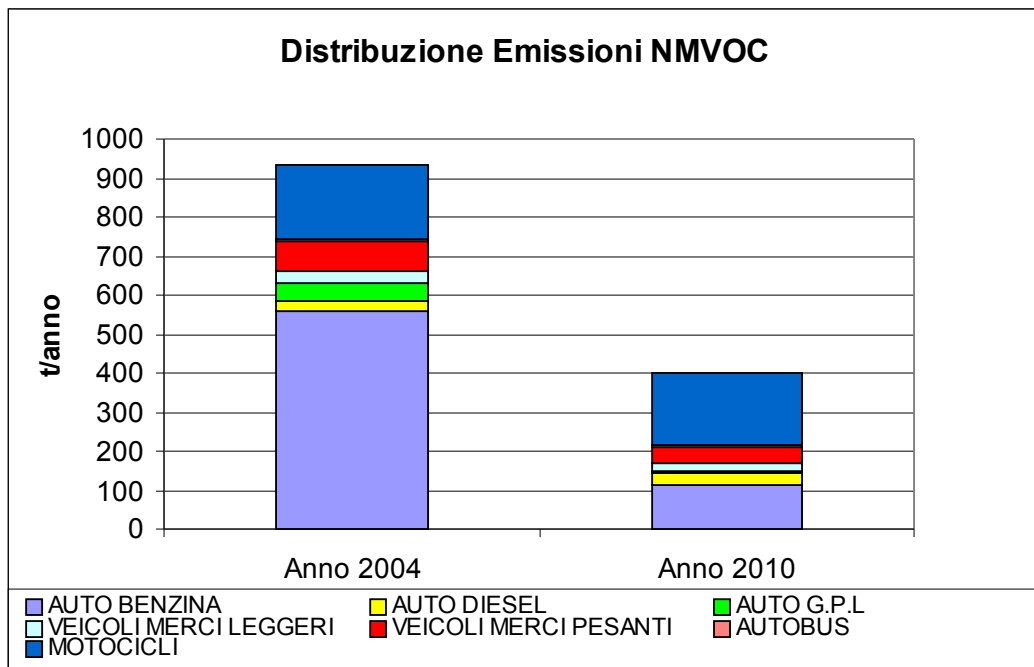
Un'altra categoria di inquinanti che viene classificata tra le più pericolose dal punto di vista ambientale e per la salute dell'uomo è quella dei

NMVOOC. Secondo lo scenario ipotizzato nel Capitolo 3 questa categoria di inquinanti è quella che subirebbe il maggior decremento (57%). La riduzione delle emissioni raggiungono picchi dell'80% in alcune macroclassi (auto benzina). Unica categoria a presentare un trend positivo è quella delle auto alimentate a diesel. In questo caso il rinnovamento del parco veicoli non è sufficiente ad arginare l'aumento delle emissioni legato all'aumento del numero di mezzi. In questo caso anche per la categoria dei motocicli il risultato non è confortante; infatti, sebbene non vi sia un incremento, la variazione quasi nulla delle emissioni di NMVOOC porta i motocicli ad essere il maggiore fattore di pressione, superando anche le tonnellate/anno prodotte dalle auto a benzina.

EMISSIONI TOTALI NMVOOC			
Classe Veicolare	Anno 2004	Anno 2010	Variazione %
AUTO BENZINA	558,617	110,639	-80
AUTO DIESEL	25,586	32,108	25
AUTO G.P.L	45,957	6,626	-86
VEICOLI MERCI			
LEGGERI	31,877	17,388	-45
VEICOLI MERCI			
PESANTI	76,060	45,482	-40
AUTOBUS	6,599	3,454	-48
MOTOCICLI	189,840	186,293	-2
TOTALE	934,536	401,990	-57

Il sorpasso percentuale dei motocicli nei confronti delle auto a benzina è visibile nel seguente grafico, in cui viene indicata la distribuzione delle emissioni prodotte da ciascuna macroclasse veicolare. E' possibile

soprattutto vedere il netto miglioramento ottenuto dalle auto a benzina, che permette una confortante diminuzione totale delle emissioni.

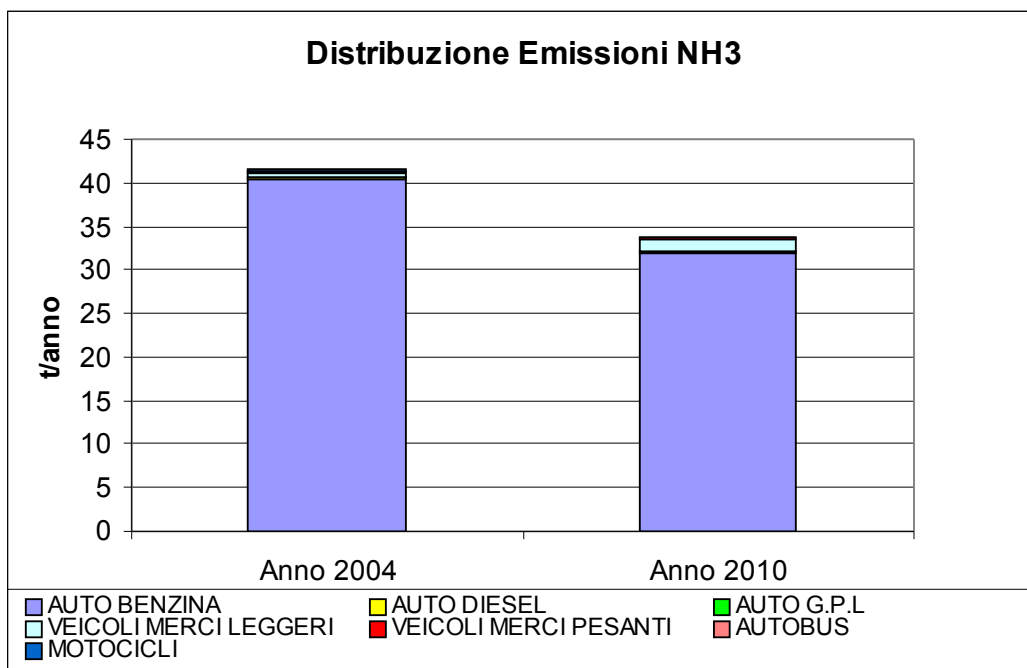


Per quanto riguarda ammoniaca (NH₃) e protossido di azoto (N₂O) è necessario fare un discorso a parte. Infatti, se da un lato la progressiva immissione sul mercato di auto catalizzate sempre più efficienti nell'abbattimento di talune specie inquinanti (come CO, NO_x, NMVOC e PM) può contribuire al miglioramento della qualità dell'aria, dall'altro può causare un aumento di NH₃ e N₂O. Infatti l'applicazione del modello COPERT all'ipotetico scenario proiettato al 2010 evidenzia significativi aumenti di questi inquinanti dovuti all'incremento delle emissioni prodotte dai veicoli commerciali leggeri e pesanti e dai motocicli. Nelle seguenti tabelle vengono riportate le tendenze dal 2004 al 2010.

EMISSIONI TOTALI NH₃			
Classe Veicolare	Anno 2004	Anno 2010	Variazione %
AUTO BENZINA	40,359	31,937	-21

AUTO DIESEL	0,331	0,302	-9
AUTO G.P.L	0,000	0,000	0
VEICOLI MERCI LEGGERI	0,478	1,212	153
VEICOLI MERCI PESANTI	0,229	0,251	9
AUTOBUS	0,020	0,013	-35
MOTOCICLI	0,109	0,130	19
TOTALE	41,526	33,844	-19

La distribuzione delle emissioni all'interno delle macroclassi è rappresentato nel seguente grafico.

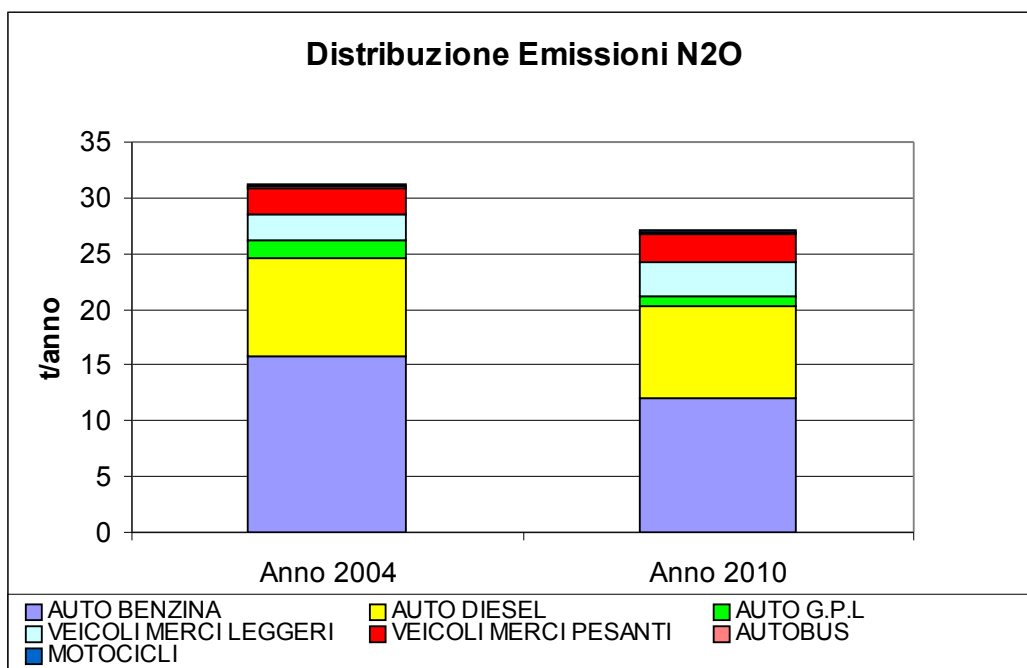


Nella seguente tabella vengono riportati le variazioni delle emissioni di protossido di azoto nel 2010 rispetto allo scenario base del 2004.

EMISSIONI TOTALI N2O			
Classe Veicolare	Anno 2004	Anno 2010	Variazione %
AUTO BENZINA	15,723	12,069	-23
AUTO DIESEL	8,950	8,144	-9
AUTO G.P.L	1,593	0,885	-44

VEICOLI MERCI LEGGERI	2,294	3,214	40
VEICOLI MERCI PESANTI	2,290	2,506	9
AUTOBUS	0,203	0,134	-34
MOTOCICLI	0,109	0,130	19
TOTALE	31,162	27,082	-13

La distribuzione delle emissioni nelle classi considerate dal modello COPERT nell'anno 2004 e 2010 è rappresentato nel grafico successivo. Da questo è possibile vedere come variano le emissioni totali di protossido di azoto e quali sono le categorie che maggiormente hanno contribuito a questo risultato.



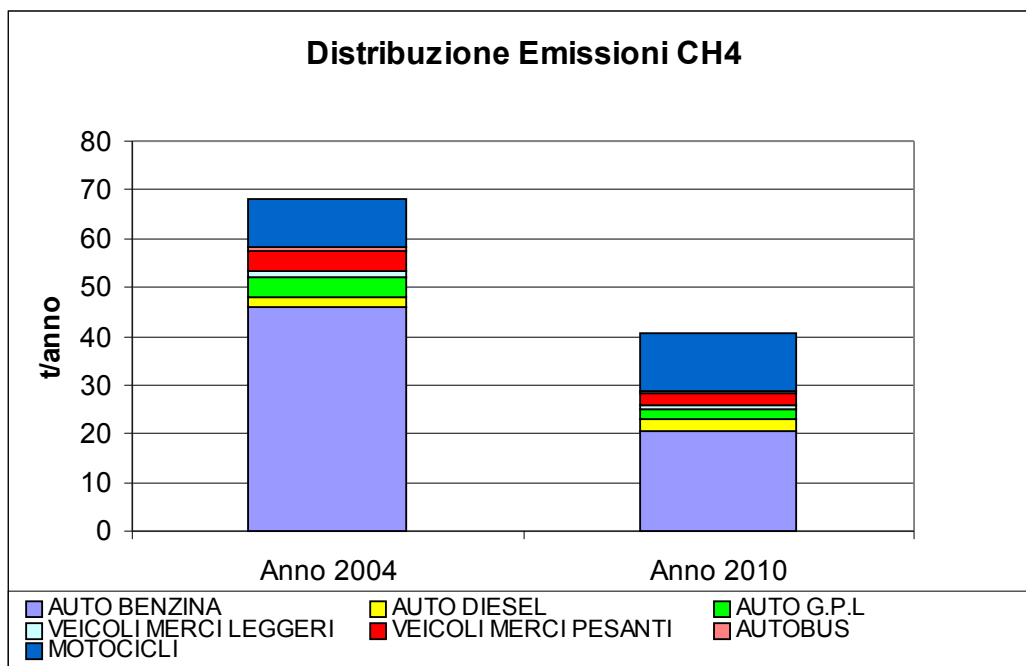
Sebbene per entrambi gli inquinanti vi sia una leggera diminuzione delle emissioni totali, è importante non trascurare le categorie che evidenziano trend positivi (fino al 153% in più di ammoniaca per i veicoli commerciali leggeri). L'ammoniaca rappresenta un pericolo per la salute dell'uomo poiché in atmosfera può reagire con acido nitrico portando alla

formazione di composti inorganici (nitrato d'ammonio) che possono causare irritazione alle vie respiratorie; anche il protossido di azoto può raggiungere gli alveoli polmonari dove, in presenza d'acqua, si converte in una miscela di acido nitroso ed acido nitrico fortemente ossidante, causando problemi alla respirazione. Inoltre il protossido di azoto rientra all'interno del processo di formazione dell'ozono troposferico (O₃).

Dagli esiti del confronto tra le emissioni del 2004 e quelle del 2010 emerge che le emissioni di metano diminuirebbero del 40%; in particolare le auto a benzina, che rappresentano le maggiori produttrici di CH₄, hanno subito un decremento superiore al 50%. Le categorie dei motocicli e delle auto diesel invece producono un quantitativo maggiore di metano. In questo confronto non vengono considerate le emissioni dei veicoli a metano; l'analisi emissiva dei quattro inquinanti prodotti dai veicoli a metano viene fatta alla fine delle discussioni.

EMISSIONI TOTALI CH₄			
Classe Veicolare	Anno 2004	Anno 2010	Variazione %
AUTO BENZINA	45,789	20,318	-56
AUTO DIESEL	2,322	2,536	9
AUTO G.P.L	3,975	2,072	-48
VEICOLI MERCI LEGGERI	1,380	0,934	-32
VEICOLI MERCI PESANTI	4,151	2,487	-40
AUTOBUS	0,571	0,315	-45
MOTOCICLI	10,049	12,001	19
TOTALE	68,237	40,663	-40

Questa variazione totale è il risultato della diversa distribuzione emissiva all'interno delle varie classi veicolari.

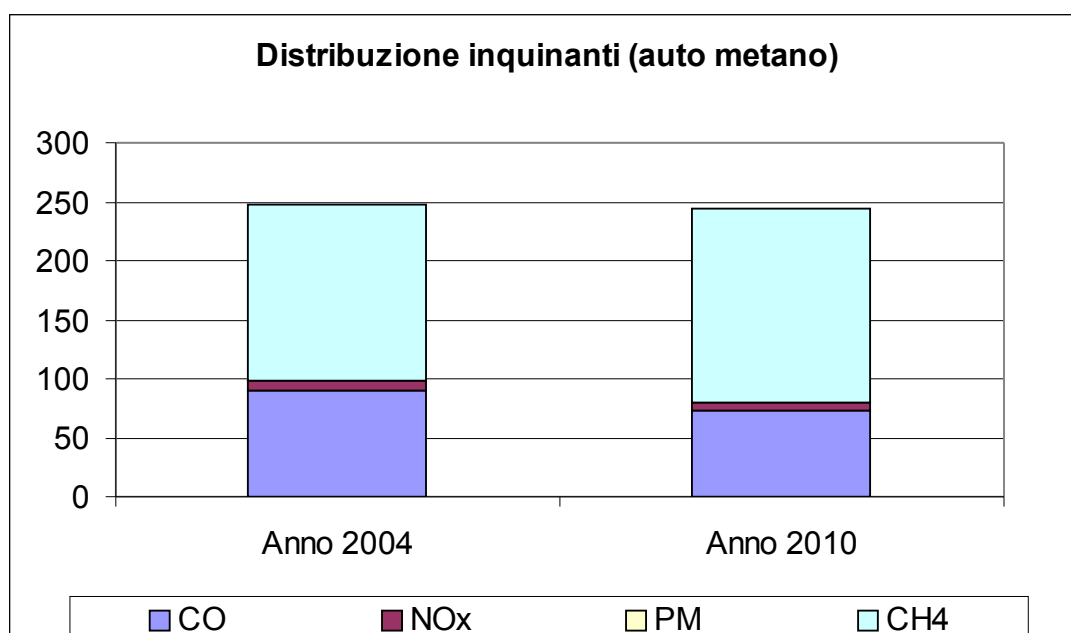


Come spiegato nel paragrafo 1.2, il modello COPERT non calcola le emissioni per i veicoli a metano. Vista però la loro importanza soprattutto in ottica futura, ho apportato delle modifiche al fine di stimare le emissioni di questi veicoli sia per l'applicazione 2004 sia per quella 2010. E' quindi possibile anche per questa categoria operare un rapporto per vedere come varieranno le emissioni nel caso in cui le ipotesi fatte si avverino. Il confronto è possibile solo per le auto a benzina poiché il parco autobus nel 2004 era privo di veicoli a metano.

Le emissioni di CO, NOx e PM prodotte dalle autovetture a benzina sono diminuite rispetto allo scenario di riferimento, mentre le emissioni del metano stesso sono aumentate dell'11%. Questi risultati sono dovuti soprattutto ad un aumento di veicoli a metano EURO IV che utilizzano apparati di abbattimento efficienti soprattutto per CO, NOx e PM, ma non altrettanto per il CH4.

EMISSIONI TOTALI				
Classe Veicolare	Inquinante	Anno 2004	Anno 2010	Variazione %
AUTO BENZINA	CO	89,097	72,885	-18
AUTOBUS	CO	0,000	0,396	/
AUTO BENZINA	NOx	9,422	7,224	-23
AUTOBUS	NOx	0,000	0,132	/
AUTO BENZINA	PM	0,398	0,360	-9
AUTOBUS	PM	0,000	0,013	/
AUTO BENZINA	CH4	148,385	164,290	11
AUTOBUS	CH4	0,000	5,250	/

Nel seguente grafico è possibile vedere come potrebbero variare le emissioni dei quattro inquinanti considerati per la classe veicolare delle auto a metano.



CONCLUSIONI

I risultati ottenuti dal confronto fatto nella discussione mettono in luce come il rinnovamento del parco veicoli potrebbe permettere una notevole riduzione delle emissioni di inquinanti nel Comune di Forlì, così come nelle altre città italiane. Infatti, nel caso in cui le ipotesi sulle quali si basa lo scenario evolutivo del 2010 si avverino e cioè che tutti i veicoli pre-EURO vengano sostituiti, si avrebbe una diminuzione media delle emissioni degli inquinanti considerati pari al 40%, con punte che superano il 50%, come nel caso dei NMVOC. Questi risultati, seppur confortanti, lasciano ancora ampi spazi di miglioramento per quanto concerne la qualità dell'aria e non risolvono i problemi legati alla mobilità. Infatti lo sviluppo della mobilità e il miglioramento della qualità dell'aria nelle zone urbane sono rallentati dall'elevato numero di veicoli, in particolare delle automobili. "Quattro auto e una culla" afferma il responsabile per la mobilità urbana di Legambiente Alberto Fiorillo, commentando i dati relativi al rapporto tra le immatricolazioni di nuove autovetture e le nascite di bambini in Italia nel 2004. Un numero così elevato di auto per persona produce, oltre a problemi di congestione del traffico, un netto peggioramento della vita urbana. Il passato delle misure anti-smog è lastricato da provvedimenti come targhe alterne o blocchi del traffico, che sono quanto meno contraddittori e non portano ad una soluzione efficace e definitiva. Nel futuro è necessario pianificare delle

azioni forti e mirate alla riduzione del traffico circolante. Per prima cosa è necessario che un contributo importante a tal fine giunga ad una corretta pianificazione territoriale. Forlì, così come la maggior parte delle città italiane, non sono nate a misura d'automobile poiché sono caratterizzate da strade piuttosto strette, che diventano dei veri e propri imbuto a mano a mano che ci si avvicina al centro. Sarebbe necessario, al fine di ridurre il traffico nelle aree più abitate come il centro urbano, intercettare il traffico attraverso la realizzazione di parcheggi nelle aree periferiche e rendere funzionali le interazioni tra le varie tipologie di trasporto, dall'auto al bus, alla bicicletta fino al pedone. A tal scopo potrebbe risultare efficace la realizzazione di un sistema di pedaggio che scoraggi il cittadino nell'utilizzo dell'auto privata nel centro urbano a favore dei cosiddetti trasporti alternativi, quali il trasporto pubblico locale, il car sharing (auto condivisa), il car pooling (auto con almeno tre persone a bordo) oppure il taxi collettivo. Con sistema di pedaggio non intendo un pagamento per accedere al centro, come avviene a Londra, ma un parchimetro il cui costo sia direttamente proporzionale alla vicinanza col centro e alla durata della sosta (le ore successive alla prima costano di più). In questo modo un maggiore utilizzo dei trasporti alternativi, in particolare gli autobus, porterebbe a snellire il traffico e a facilitare il trasporto pubblico e tale modalità risulterebbe più conveniente al cittadino sia dal punto di vista economico, sia per quanto riguarda il risparmio di tempo. Una azione più "coraggiosa", ma anche più efficace da parte degli enti pubblici, sarebbe rappresentata dalla trasformazione del centro storico da area aperta al traffico, o a traffico limitato, ad area

pedonale nella quale possono circolare solo gli autobus elettrici. Naturalmente un provvedimento come questo richiederebbe una minuziosa organizzazione delle condizioni al contorno, come la costruzioni di parcheggi e la pianificazione di nuove tratte e orari degli autobus. Altre importanti tipologie di intervento al fine di diminuire il parco circolante nel Comune di Forlì, così come nelle altre città italiane, potrebbero essere rappresentate dalla costruzione di nuovi percorsi e piste ciclabili che non abbiano solo finalità di svago, ma che servano zone dove ci si muove per necessità di studio o di lavoro, ed anche dalla pianificazione delle corsie preferenziali per gli autobus, facendo in modo che almeno i percorsi principali siano in sede protetta. Infatti è impossibile pensare di valorizzare il TPL concretamente fino a quando gli autobus condivideranno il proprio percorso con le auto. Non ultimo in termini di importanza è la sensibilizzazione al cittadino dell'esistenza e dell'utilizzo di questi tipologie di trasporto alternative a quello privato. Un cambiamento di rotta risulta ormai necessario e deve essere frutto della collaborazione di tutti, dal singolo cittadino all'ente pubblico, dalla municipalizzata degli autobus al mobility manager, per un'area urbana che rispetti l'uomo e l'ambiente.

BIBLIOGRAFIA

Ref.1: “A technical study of fuels technology related to Auto-Oil II Programme – Final Report – Volume II: Alternative Fuels” della European Commission Directorate – General for Energy, del 2000.

Reperibile sul sito: <http://europa.eu.int/comm/energy/library/auto-oil-study.pdf>

Ref.2: “Emissions of nitrous oxide and methane from conventional and alternative fuel motor vehicles” di Timothy E. Lipman e Mark A. Delucchi, del 2002.

Reperibile in: Climatic Change Volume 53 Issue 4, Kluwer Academic Publishers, printed in Netherlands. pp. 477-516.

A.C.I. (Automobile Club Italia). Annuario statistico 2000, 2001, 2003 e 2005: tutti i dati relativi alla consistenza del parco veicolare italiano e della provincia di Forlì-Cesena. Dati e statistiche. Reperibile sul sito: www.aci.it

Aristotle University of Thessaloniki and Lab. of Applied Thermodynamics (2000). Methodology Report for COPERT III e User’s Manual for COPERT III.

Reperibile su: <http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm>

I.I.A.S.A. (International Institute for Applied System Analysis) (2001). A framework to estimate the potential and the costs for the control of the fine particulate emissions in Europe.

Saija S., Contaldi M., De Laurentis R., Ilacqua M., Liburdi L., (2000). Le emissioni in atmosfera da trasporto stradale. Rapporto ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) serie Stato dell'ambiente n.12/2000.

Reperibile su: www.inventaria.sinanet.apat.it

Comune di Forlì, Area pianificazione e sviluppo territoriale-ambientale ed economico, Servizio ambiente. Rapporto sulla qualità dell'aria (2005).

ANPA, Linee Guida agli Inventari Locali di Emissioni in Atmosfera. APPENDICE F-La metodologia COPERT III.

A.R.P.A. (Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente), sezione di Ferrara. Applicazione del modello COPERT III per una stima delle emissioni in atmosfera da traffico nella provincia e nel comune di ferrara (anni 2000-2001). Reperibile su:

www.arpa.emr.it/ferrara/SSA/sito_traffico_pubblicato/traffico_web/CD_traffico_2002/

Angelini A. (2004). Valutazione delle emissioni da parte del parco auto dell'area urbana di Ravenna. Tesi di laurea in Principi di Protezione Sanitaria e Ambientale. Università di Bologna.

Gaudio D., Napoletano C., Bocola W., Trozzi C. (1989). Guida ai fattori di emissione degli inquinanti atmosferici. ENEA.RTI/STUDI-VASA-7, ottobre 1989.

Provincia di Forlì-Cesena. Servizio Agricoltura e Spazio Rurale. L'Annata Agraria 2004 e l'Attività del servizio.

C.C.I.A.A. di Forlì-Cesena. Ufficio studi. Quaderni di Statistica. Attività terziarie 2004. Vendita prodotti petroliferi provincia FC (2004).

SITI INTERNET CONSULTATI

[HTTP://VERGINA.ENG.AUTH.GR/MECH/LAT/COPERT/COPERT.HTM](http://VERGINA.ENG.AUTH.GR/MECH/LAT/COPERT/COPERT.HTM)

WWW.COMBUSTIBILE.IT

WWW.INVENTARIA.SINANET.APAT.IT

WWW.ACI.IT

WWW.INFASTRUTTURETRASPORTI.IT

WWW.ARPA.IT

WWW.LANUOVAECOLOGIA.IT

WWW.MIW.IT

WWW.LEGAMBIENTE.IT

WWW.ANCMA.IT

WWW.MININDUSTRIA.IT