

## INDICE

1.	IL MODELLO COPERT E LA STIMA DELLE EMISSIONI DA TRASPORTO STRADALE .....	9
1.1	Metodologia di riferimento .....	10
1.2	Dati di base per il parco circolante e le percorrenze.....	11
1.3	Osservazioni preliminari.....	13
2.	I FATTORI DI EMISSIONE RIFERITI ALLE PERCORRENZE .....	15
2.1	I fattori di emissione medi per le autovetture .....	16
2.2	I fattori di emissione medi per i veicoli commerciali e i bus .....	25
2.3	I fattori di emissione medi per i ciclomotori e per i motoveicoli .....	31
2.4	Confronto tra le categorie veicolari omogenee .....	33
3.	I FATTORI DI EMISSIONE RIFERITI AI CONSUMI DI CARBURANTE .....	41
3.1	I fattori di emissione medi per le autovetture.....	41
3.2	Confronto tra le categorie veicolari in base ai fattori di emissione medi per unità di energia .....	47
4.	L'EVOLUZIONE TEMPORALE DELLE EMISSIONI DA TRAFFICO STRADALE.....	54
4.1	Serie storiche 1980 - 1997 per inquinante e veicolo.....	54
4.2	Confronto 1990 - 1997 per inquinante e tipologia di veicolo.....	57
5.	LE EMISSIONI DA TRASPORTO SU STRADA A LIVELLO PROVINCIALE E URBANO.....	60
5.1	La disaggregazione provinciale delle emissioni nazionali per il 1997 .....	60
5.2	Le emissioni di NO <sub>x</sub> , COVNM, CO, PM, CO <sub>2</sub> nelle otto maggiori città italiane.....	66
6.	LE EMISSIONI DI BENZENE .....	69
6.1	Il ruolo dei parametri chimico-fisici delle benzine nel rilascio di benzene e di altre sostanze tossiche .....	69
6.2	Parametri critici dei catalizzatori in ordine all'abbattimento di NO <sub>x</sub> , COVNM, CO..	70
6.3	Le emissioni di benzene per le diverse categorie di veicoli.....	71
7.	EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA SULLE EMISSIONI DEI VEICOLI.....	74
APPENDICE 1	Parco circolante, percorrenze annue e velocità medie per categorie di anzianità dei veicoli in Italia secondo la normativa della Comunità Europea. Anno 1997.....	77
APPENDICE 2	Fattori di emissione medi in g/veic·km per il parco circolante italiano nel 1997	81
APPENDICE 3	Fattori di emissione medi in g/kg di carburante consumato per il parco circolante italiano nel 1997 .....	86
APPENDICE 4	Evoluzione dei valori limite alle emissioni.....	91
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....		96



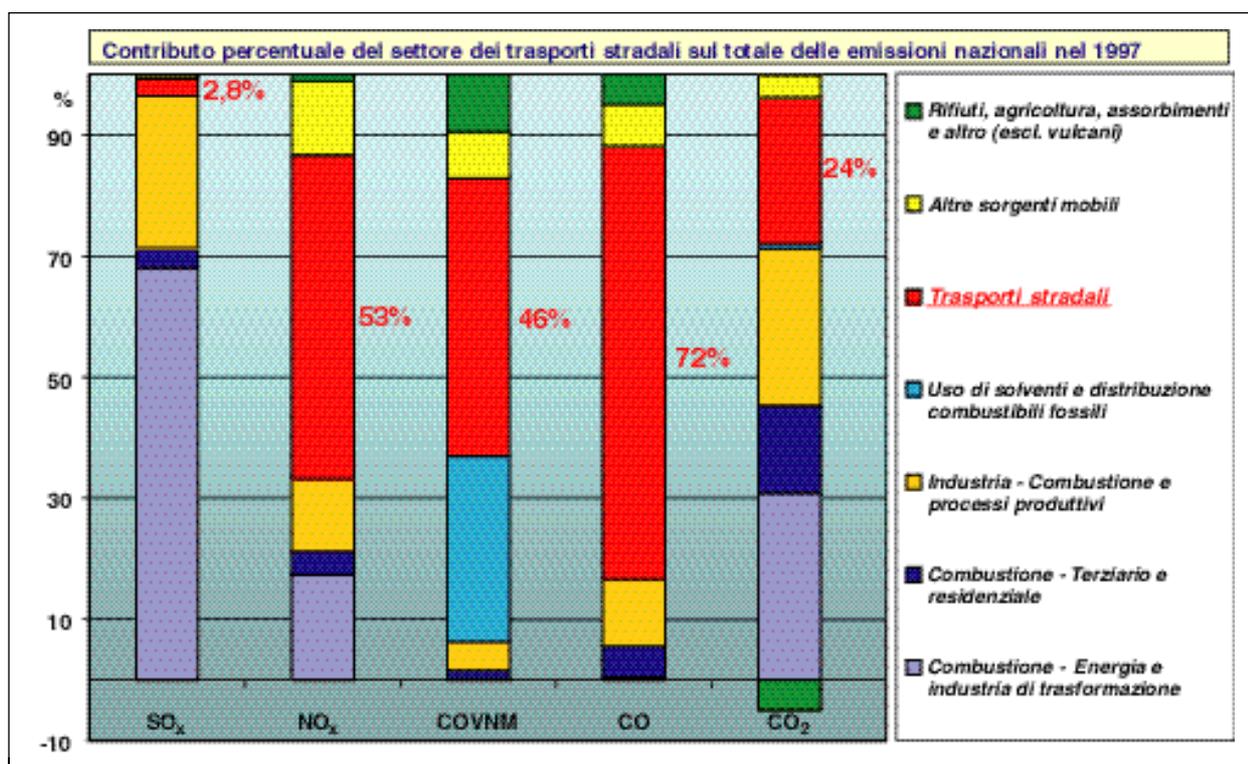
## 1. IL MODELLO COPERT E LA STIMA DELLE EMISSIONI DA TRASPORTO STRADALE

Le emissioni di inquinanti e gas serra in aria dovute al trasporto stradale hanno assunto negli ultimi anni una importanza notevole, in special modo nelle aree urbane.

Dati recenti tratti dall'inventario nazionale delle emissioni atmosferiche (ANPA, 1999) mostrano che, a fronte di una diminuzione delle emissioni dovute alle attività di produzione di energia elettrica e ai grandi impianti di combustione, in particolare per quelle emissioni sottoposte a controllo come gli ossidi di zolfo, gli ossidi di azoto e le particelle sospese totali, non si è riscontrata una altrettanto sostanziale diminuzione delle emissioni dovute al trasporto su strada.

Questo principalmente a causa di due fattori concomitanti: la lentezza del processo di sostituzione del parco esistente con quello dotato di migliori tecnologie di abbattimento delle emissioni e allo stesso tempo l'incremento del parco circolante, delle percorrenze, e quindi dei relativi consumi di combustibile.

In figura 1.1 viene confrontata la quota di emissioni di alcune sostanze provenienti dal settore dei trasporti stradali con quelle dovute ad altri settori dell'inventario nazionale CORINAIR 1997; appare evidente come per  $\text{CO}$  e  $\text{NO}_x$  i trasporti stradali abbiano un peso preponderante, maggioritario per i  $\text{COVNM}$ , considerevole per la  $\text{CO}_2$ . La riduzione del tenore di zolfo nei carburanti ha invece reso marginale, negli ultimi anni, il peso relativo degli  $\text{SO}_x$  del settore trasporti rispetto al totale delle emissioni nazionali.



• Figura 1.1 - I trasporti stradali e le altre fonti di emissione nel 1997 in Italia.

In questo rapporto vengono considerati i risultati delle stime nazionali per il 1997 (anno più recente per il quale si disponga di informazione statistica completa), al fine di fornire dei *fattori di emissione medi* utilizzabili per valutazioni quantitative a livello locale; in particolare, l'analisi viene focalizzata su: ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ), composti organici volatili diversi dal metano ( $\text{COVNM}$ ), monossido di carbonio ( $\text{CO}$ ), particolato fine ( $\text{PM}$ ) e anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ).

## 1.1 METODOLOGIA DI RIFERIMENTO

La stima delle emissioni di inquinanti atmosferici da trasporti stradali si avvale di un modello di calcolo denominato **COPERT** (*COmputer Programme to calculate Emissions from Road Traffic*) (Eggleston et al., 1993) basato su un ampio insieme di parametri che tengono conto delle caratteristiche generali del fenomeno e delle specifiche realtà di applicazione. Questa metodologia è stata indicata dall'EEA (European Environment Agency, Agenzia Europea per l'Ambiente) come lo strumento da utilizzare per la stima delle emissioni da trasporto stradale nell'ambito del programma **CORINAIR** per la realizzazione dell'**inventario nazionale delle emissioni**. (CORINAIR, 1988; EMEP/CORINAIR, 1999)

Le emissioni da veicoli su strada si possono esprimere come la somma di tre tipologie di contributi:

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

dove:

$E_{hot}$  sono le emissioni a caldo (*hot emission*), ovvero le emissioni dai veicoli i cui motori hanno raggiunto la loro temperatura di esercizio;

$E_{cold}$  (*cold over-emission*) è il termine che tiene conto dell'effetto delle emissioni a freddo, ovvero delle emissioni durante il riscaldamento del veicolo (convenzionalmente, sono le emissioni che si verificano quando la temperatura dell'acqua di raffreddamento è inferiore a 70°C).

Alla somma delle emissioni a caldo e di quelle a freddo viene abitualmente dato il nome di emissioni allo scarico (*exhaust emission*);

$E_{evap}$  sono le emissioni evaporative costituite dai soli **COVNM** (composti organici volatili non metanici).

Le emissioni a caldo sono stimate per tutte le tipologie di veicoli, le emissioni a freddo per i veicoli leggeri, quelle evaporative sono rilevanti per i soli veicoli a benzina.

Il modello COPERT considera le informazioni relative al parco circolante suddiviso per **tipologia di veicolo** (autovetture passeggeri, veicoli commerciali leggeri, veicoli commerciali pesanti, ciclomotori e motoveicoli), tipo di **combustibile** utilizzato (benzina, gasolio, G.P.L.), **classe di anzianità**, in relazione alle normative europee di introduzione di dispositivi per la riduzione delle emissioni (vedi appendice 4), **classe di cilindrata** (per le autovetture) o di **peso complessivo** (per i veicoli commerciali); a ciascuna classe dei veicoli così ripartiti sono associate altre informazioni relative alle condizioni di guida quali le **percordanze medie annue** e le **velocità medie** distinte in base al **ciclo di guida** ovvero alla tipologia di percorso effettuato (urbano, extraurbano, autostradale).

Ad ogni classe e per ciascun inquinante sono associate delle funzioni di stima delle emissioni e dei consumi dipendenti dalla velocità. Tali funzioni rappresentano delle **curve medie di emissione** e di **consumo di carburante** ricavate da misure di emissioni per diverse tipologie e marche di veicoli e si riferiscono a prove realizzate in vari paesi europei, su una varietà di cicli di guida urbani ed extraurbani, inclusi quelli previsti dalle varie normative europee. Allo stato attuale, non sono ancora disponibili studi completi che consentano di utilizzare specifiche curve nazionali.

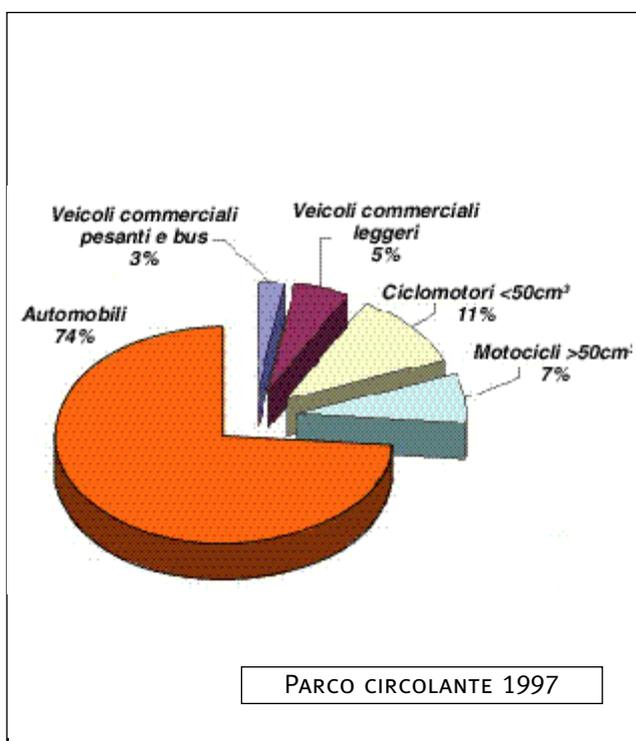
Per questo rapporto è stata utilizzata l'implementazione del modello nella versione 1.1 di **COPERT II** (Ntziachristos e Samaras, 1998) i cui risultati fanno parte integrante dell'**inventario nazionale CORINAIR 1997**.

Le stime fornite dal modello COPERT II per il caso italiano si riferiscono a nove inquinanti e/o gas serra: ossidi di zolfo, ossidi di azoto, composti organici volatili non metanici, metano, monossido di carbonio, anidride carbonica, protossido di azoto, ammoniaca, particolato fine; e a sette metalli pesanti: cadmio, cromo, rame, nickel, piombo, selenio, zinco.

Da queste prime essenziali considerazioni, appare evidente come - per utilizzare correttamente il modello - si debbano fornire numerose informazioni, in realtà non sempre disponibili in Italia nel dettaglio necessario. Risulta quindi indispensabile ricostruire e stimare alcuni di questi dati, integrando le informazioni di base disponibili presso le fonti censite (Contaldi et al., 2000).

## 1.2 DATI DI BASE PER IL PARCO CIRCOLANTE E LE PERCORRENZE

I dati relativi al **parco circolante** costituiscono la base delle elaborazioni del modello COPERT; la fonte di riferimento è l'ACI (Automobile Club d'Italia), che fornisce - su richiesta diretta - i dati sui veicoli secondo la suddivisione in categorie di cilindrata e/o portata e data di immatricolazione necessarie per costituire la base dati del modello. Una visione di insieme della ripartizione delle sue componenti principali è presentata in *figura 1.2*.



Le **percorrenze medie annue** distinte per ciascuna classe di veicoli considerata sono il risultato di una analisi incrociata delle differenti fonti informative come il *Conto Nazionale dei Trasporti* (Ministero dei Trasporti, 1998), le pubblicazioni dell'ACI (1995a, 1995b), dell'Unione Petrolifera (1998) e della CONFETRA (Confederazione generale italiana del Traffico e dei Trasporti, 1998a, 1998b). Tutte queste fonti forniscono dati di percorrenze medie per classi di veicoli fino al 1997, ma non in maniera esaustiva e nel dettaglio richiesto dal modello. La disaggregazione richiesta da COPERT II è stata quindi ottenuta da un lato individuando le percorrenze tali che i valori medi per classi di veicoli fossero confrontabili con quelli pubblicati e dall'altro rispettando le differenze tra le percorrenze delle differenti tipologie di veicoli, soprattutto in funzione delle anzianità degli stessi e del tipo di alimentazione. Ad esempio i veicoli a gasolio o a GPL (Gas di Petrolio Liquefatto) hanno percorrenze annue più alte di quelle a benzina, così come i veicoli più nuovi rispetto a quelli più vecchi.

• **Figura 1.2 - La composizione del parco circolante italiano nel 1997.**

Riferimento principale delle percorrenze medie è il *Conto Nazionale dei Trasporti* (Ministero dei Trasporti, 1998), che raccoglie l'informazione più ampia e coerente. In particolare fornisce le percorrenze dei veicoli merci, degli autobus e pullman, nonché quelle di tutti i tipi di veicolo con riferimento ai percorsi di tipo autostradale.

Per i ciclomotori sono state utilizzate le percorrenze risultate da una ricerca di mercato della Piaggio (Piaggio, 1999). Per i motocicli è stato utilizzato il dato fornito dall'ACI.

Per le **velocità medie** non sono state individuate fonti informative specifiche nazionali.

Da diversi studi di caso e da articoli della stampa specializzata sono state verificate le velocità medie fornite con i dati di base del modello introducendo piccole modifiche volte ad armonizzare il confronto tra le classi dei veicoli, anche in funzione della loro anzianità e in riferimento alle diverse tipologie di guida (ciclo urbano, extraurbano e autostradale).

I valori dei **consumi** stimati dal modello possono essere confrontati con i consumi annui di benzina, gasolio e G.P.L. riportati sul *Bilancio Energetico Nazionale* (Ministero dell'Industria, 1998a) relativamente alle voci dei trasporti stradali e della Pubblica Amministrazione, in modo da poter scegliere le velocità medie per ogni tipologia di veicolo e per ogni ciclo di guida tali che la differenza tra il totale dei consumi stimati e la statistica ufficiale del *BEN* sia minima. Per la ripartizione dei consumi di benzina *con e senza piombo* si è fatto riferimento a quanto riportato per il 1997 dall'Unione Petrolifera (Unione Petrolifera, 1998).

La metodologia COPERT II prevede il confronto delle statistiche dei consumi ufficiali con quelli risultanti dall'applicazione del modello. Tale confronto dà luogo a differenze inferiori all'1% per quello che riguarda benzina e GPL, ed un valore per il gasolio superiore di circa il 5% alle statistiche del BEN. Questa differenza viene ritenuta accettabile, anche in considerazione del forte scarto che si riscontra tra il dato del BEN e quello pubblicato sempre dal Ministero dell'Industria nel *Bollettino Petrolifero* (Ministero dell'Industria, 1998b), che si riferisce al gasolio venduto in rete e che, per il 1997, risulta superiore del 7% circa.

E' stato effettuato anche un confronto dei valori dei consumi delle tipologie di veicoli (passeggeri, commerciali ed industriali) con quelli pubblicati dall'Unione Petrolifera nel volume citato. Questi confronti pur evidenziando talvolta delle differenze, nella maggior parte dei casi confermano la scelta dei dati di base. Le differenze sono per lo più riconducibili alle diverse aggregazioni utilizzate per i veicoli, come ad esempio l'utilizzo del peso complessivo piuttosto che la portata utile per distinguere i veicoli commerciali leggeri da quelli pesanti.

Nelle **tabella 1** sono riportati in forma sintetica i dati di base utilizzati nel modello come il parco circolante, le percorrenze medie distinte per tipologia di guida e i consumi risultanti dall'elaborazione statistica e dalle funzioni di consumo previste da COPERT II.

I veicoli commerciali leggeri corrispondono – come riportato in questa tabella riassuntiva - a quelli con portata utile inferiore a 1,5 tonnellate; nel seguito si adatterà la definizione di COPERT per i veicoli commerciali leggeri come quelli aventi peso a pieno carico inferiore a 3,5 tonnellate. Le corrispondenze tra portata utile e peso complessivo dei veicoli commerciali sia leggeri che pesanti, secondo la classificazione di COPERT, sono state attribuite in base alla documentazione della CONFETRA (CONFETRA, 1998b).

La definizione di percorrenza extraurbana solo in questa tabella è comprensiva dei percorsi autostradali e propriamente extraurbani. Infine le percorrenze sono da considerarsi su base annuale.

	Parco circolante	percorrenza media per veicolo (km)	% percorrenza urbana	percorrenze (milioni di km)			Consumi specifici (gsp/km)	Consumi totali (Mtp)
				totali	urbane	extraurbane		
<b>Auto passeggeri</b>	<b>30.988.331</b>							
non catalizzate	18.388.351	9.711	34	178.576	60.909	117.667	59,12	10.557
catalizzate	7.958.398	10.595	25	84.115	21.402	62.714	60,57	5.852
diesel	3.355.643	19.700	15	66.105	9.916	56.189	55,98	3.701
GPL	1.308.844	20.447	30	28.650	7.998	18.652	63,56	1.694
<b>Veicoli commerciali</b>	<b>3.269.095</b>							
<b>Veicoli commerciali leggeri</b>	<b>2.190.373</b>			<b>35.902</b>	<b>9.276</b>	<b>26.626</b>		<b>3.118</b>
a benzina < 1,5t portata utile	388.003	15.500	30	6.014	1.804	4.210	89,13	586
Diesel < 1,5t portata utile	1.811.370	16.500	25	29.888	7.472	22.416	86,40	2.582
<b>Veicoli commerciali pesanti</b>	<b>988.110</b>			<b>41.628</b>	<b>7.289</b>	<b>34.339</b>		<b>8.736</b>
a benzina > 1,5t portata utile	15.955	5.000	20	80	16	64	176,40	14
Diesel > 1,5t portata utile	970.155	42.826	17	41.548	7.283	34.265	209,92	8.722
Autobus	89.812			<b>3.655</b>	<b>910</b>	<b>2.745</b>		<b>915</b>
Bus urbani	16.506	42.500	90	680	612	68	355,32	242
Pullman	67.806	44.000	10	2.975	297	2.677	226,40	673
<b>Ciclomotori</b>	<b>4.829.531</b>	5.000	70	<b>24.103</b>	<b>16.872</b>	<b>7.231</b>	<b>26,25</b>	<b>653</b>
<b>Motocicli</b>	<b>3.039.335</b>	5.355	60	<b>16.270</b>	<b>9.762</b>	<b>6.508</b>	<b>38,17</b>	<b>621</b>

gsp: grammi e equivalenti di petrolio  
Mtp: migliaia di tonnellate equivalenti di petrolio

• Tabella 1 - Sintesi dei dati di base utilizzati per la stima delle emissioni per il 1997

In **appendice 1** sono riportati in dettaglio i dati di base utilizzati per questo studio per quanto riguarda parco circolante, percorrenze medie annue e velocità medie per tutte le categorie di veicoli, suddivise per classi di età secondo la normativa di riferimento.

### 1.3 OSSERVAZIONI PRELIMINARI

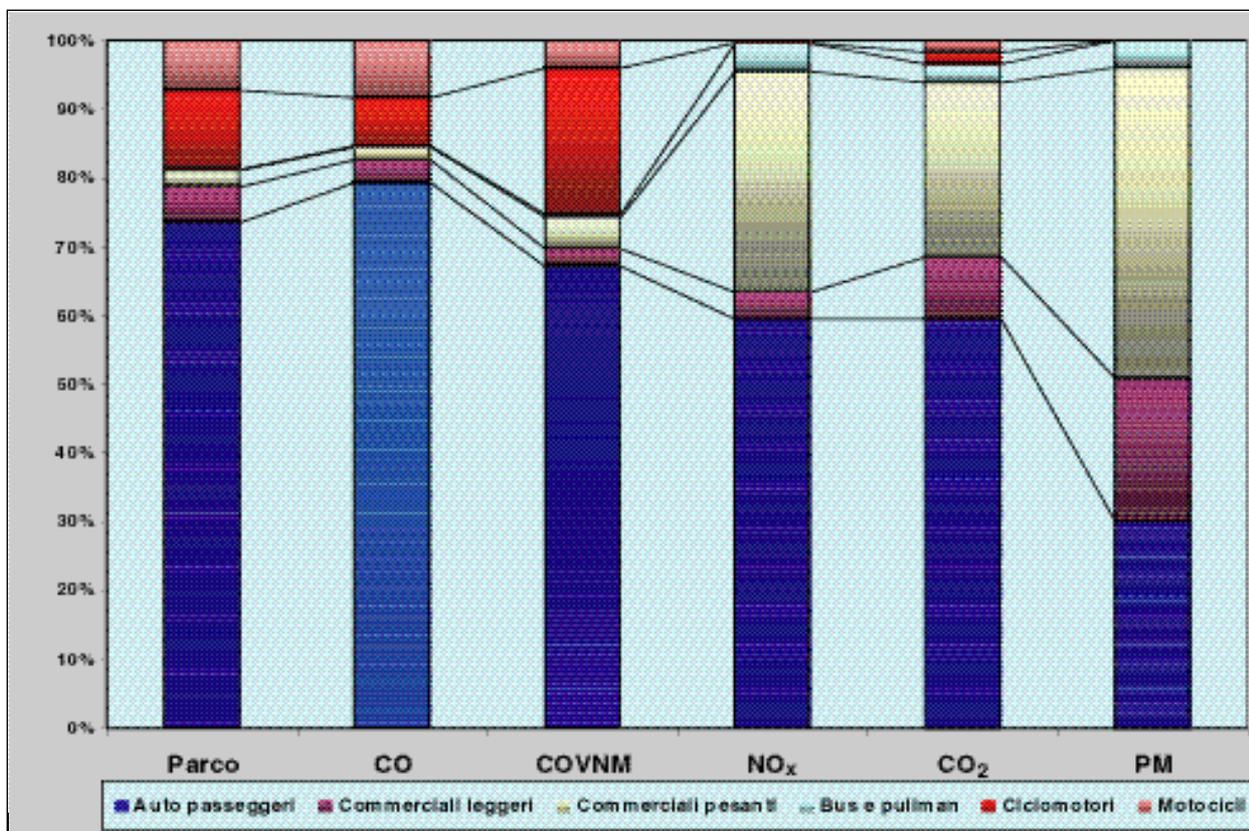
Il confronto tra i fattori di emissione, la cui definizione e trattazione sarà oggetto dei capitoli successivi, richiede uno studio preliminare dei risultati ottenuti dalla elaborazione dei dati di base effettuata con il modello COPERT.

A titolo di esempio si può confrontare la ripartizione delle emissioni totali (cioè aggregate secondo i parametri prima descritti) con la composizione del parco circolante. Nella **figura 1.3** le emissioni di **NO<sub>x</sub>**, **COVNM**, **CO**, **PM** e **CO<sub>2</sub>** sono rapportate alle categorie di veicoli, anch'esse aggregate per facilitare la lettura d'insieme del fenomeno.

Le emissioni di **NO<sub>x</sub>**, **PM** e **CO<sub>2</sub>** dei mezzi commerciali pesanti hanno un peso relativo nettamente superiore a quello da essi rappresentato nella composizione del parco. Lo stesso avviene per i ciclomotori (< 50 cm<sup>3</sup>) rispetto alle emissioni di **COVNM**. L'insieme dei ciclomotori e motocicli (> 50 cm<sup>3</sup>) sembra invece quasi ininfluenza nelle emissioni di **NO<sub>x</sub>**.

Le autovetture passeggeri (sia diesel, che benzina, che GPL) hanno un peso relativo maggiore nelle emissioni del **CO**. Lo stesso avviene per i veicoli commerciali leggeri rispetto al **PM** ed alla **CO<sub>2</sub>**.

Nel seguito di questo studio, disaggregando le categorie veicolari, sarà possibile evidenziare quali siano i fattori intrinseci (età, ciclo di guida, tipo di percorso) che più influiscono nel differenziare il contributo emissivo del veicolo.



• Figura 1.3 – La composizione delle emissioni rapportate al parco circolante italiano nel 1997.

## ALCUNE NOTE METODOLOGICHE:

1. Le emissioni si intendono calcolate sulla base di un anno solare e stimate sull'intero parco circolante a prescindere della distribuzione geografica e dagli specifici profili temporali locali, ovvero nei calcoli non si considerano dati di flusso di traffico; sono invece mediati su base nazionale quei parametri (come gradiente altimetrico, temperature minime e massime mensili, velocità medie urbane, ecc.) che possano influenzare i fenomeni di combustione dei diversi veicoli.
2. Come già ricordato, la stima delle emissioni viene effettuata in base alla scelta di un insieme di parametri quali velocità medie, percorrenze e curve di emissione "speed-dependent"; queste ultime vengono fornite dagli autori del modello come "best fitting" di diverse curve relative a prove sperimentali, solitamente definite in letteratura "cicli di guida".  
Nell'ambito di questo studio per omogeneità con la terminologia di COPERT, il termine "ciclo di guida" (per esempio urbano, extraurbano o autostradale) denoterà complessivamente la tipologia emissiva stimata dal modello per ciascun tipo di percorso (urbano, extraurbano o autostradale), tenendo conto dell'insieme dei parametri di base che lo caratterizzano.
3. In questo studio si usa la sigla **PM** (Particulate matter) per il particolato fine stimato dal modello COPERT.

## 2. I FATTORI DI EMISSIONE MEDI RIFERITI ALLE PERCORRENZE

Le quantità complessive di sostanze emesse in atmosfera dai mezzi di trasporto su strada dipendono sia dalle emissioni specifiche dei singoli veicoli, denominate anche *fattori di emissione*, che dalla numerosità delle diverse flotte (veicoli a benzina, diesel, GPL, veicoli catalizzati e non, ecc) e dalle relative percorrenze.

Come già detto, il modello COPERT stima le emissioni di una data categoria veicolare, a partire dalla curva di emissione “speed-dependent”, in seguito alla scelta di un valore di velocità media, considerato rappresentativo del relativo ciclo di guida (urbano, extraurbano, autostradale).

Il **fattore di emissione** di un inquinante, per una particolare categoria veicolare e per un particolare tipo di percorso o ciclo di guida, viene calcolato rapportando il corrispondente dato di emissione nazionale (stimato per mezzo di COPERT ed espresso in tonnellate/anno) al prodotto del numero di veicoli appartenenti a quella categoria per le relative percorrenze medie annue (espresse in km/anno):

$$FE_{ijk} = [E_{ijk} / (P_j * Perc_{jk})]$$

Dove:

- $FE_{ijk}$  rappresenta il fattore di emissione dell'inquinante  $i$ , per la categoria veicolare  $j$  sul percorso  $k$  (espresso in grammi per veicolo e per chilometro);
- $E_{ijk}$  rappresenta l'emissione nazionale dell'inquinante  $i$ , per la categoria veicolare  $j$  sul percorso  $k$  (espressa in tonnellate/anno);
- $P_j$  è il numero di veicoli appartenenti alla categoria veicolare  $j$ ;
- $Perc_{jk}$  è la percorrenza media annua del veicolo appartenente alla categoria  $j$ , effettuata sul percorso  $k$  (espressa in km/anno).

I fattori di emissione così stimati sono dei valori “medi” ricavati dalla calibratura complessiva del modello, in cui, come già detto, i fattori di emissione sono delle curve dipendenti dalla velocità. Questi valori numerici, invece, tengono conto implicitamente delle velocità medie assegnate per ciascun ciclo di guida (*urbano, extraurbano e autostradale*) a ogni categoria veicolare. Ad esempio (*appendice 1*) in questo studio, per le autovetture a benzina <1400 cm<sup>3</sup> (ECE 91/441), la velocità media sul ciclo urbano è di 25 km/h, 65 km/h sull'extraurbano e 110 km/h su autostrada.

In *appendice 2* sono riportati i valori dei fattori di emissione medi che possono essere utilizzati in simulazioni di “scenario”, per sottoinsiemi del parco circolante per i quali sia nota la composizione e sia possibile attribuire, a ciascuna categoria veicolare, i valori di percorrenza per ciclo di guida, in modo tale da stimarne le rispettive emissioni.

Questi fattori di emissione consentono di effettuare dei confronti quantitativi tra le emissioni delle diverse categorie di veicoli, a loro volta differenziate per classi di età, tipo di alimentazione, cilindrata o portata, ciclo di guida e tipo di percorso: “a caldo” o “totale” dove per totale si intende l'emissione calcolata dal modello sull'intero percorso comprendente la parte a freddo, a caldo e, nel caso dei **COVNM**, la quota evaporativa. Nei grafici di questo testo la differenziazione tra fattori di emissione a caldo e totale verrà indicata per coerenza con la terminologia del modello COPERT: *Hot* e *Tot*.

La *tabella 2* mostra per ogni categoria veicolare e per ogni ciclo di guida, se il contributo delle emissioni a caldo, freddo ed evaporativo sia o meno considerato significativo dal modello.

	Emissioni a caldo			Emissioni a freddo			Emissioni evaporative (solo COVNM)		
	urbano	extraurbano	autostradale	urbano	extraurbano	autostradale	urbano	extraurbano	autostradale
Autovetture a benzina	si	si	si	si	si	no	si	si	si
Autovetture diesel	si	si	si	si	si	no	no	no	no
Veicoli commerciali leggeri a benzina	si	si	si	si	si	no	si	si	si
Veicoli commerciali leggeri diesel	si	si	si	si	si	no	no	no	no
Bus e veicoli commerciali pesanti (solo diesel)	si	si	si	no	no	no	no	no	no
Ciclomotori < 50 cc	si	si	no	no	no	no	si	si	no
Motocicli > 50 cc	si	si	si	no	no	no	si	si	si

• Tabella 2 - Contributo del percorso a caldo, a freddo ed evaporativo nella stima delle emissioni

## 2.1 | FATTORI DI EMISSIONE MEDI PER LE AUTOVETTURE

Per quanto riguarda le **autovetture a benzina** le categorie veicolari prese in considerazione per le stime e le elaborazioni successive sono quelle immatricolate a partire dal 1985 secondo le normative europee di riferimento (vedi *appendice 1*). Bisogna tener presente che il periodo di applicazione della normativa ECE 15/04 va dal 1985 al 1992, eccetto per le autovetture a benzina aventi cilindrata >2000 cm<sup>3</sup> per le quali il periodo di riferimento è il 1985-1989. Per quanto riguarda le categorie di autovetture a benzina 91/441/EEC e 94/12/EEC, queste includono soltanto mezzi catalizzati (immatricolati a partire dal 1993 e per quelle di cilindrata maggiore di 2000 cm<sup>3</sup> dal 1990).

Viene quindi presa in considerazione - con riferimento al 1997 - la quota parte maggioritaria (il 79%) del parco circolante di 30.982.231 autoveicoli a benzina, a cui si deve l'82% della percorrenza annua complessiva delle autovetture, pari a 355 miliardi di veicoli-km. Questo parco sarà quello tendenzialmente preponderante negli anni a seguire in virtù dell'avviato processo di rinnovo del parco circolante.

Per i principali inquinanti **NO<sub>x</sub>** (*figura 2.1*), **COVNM** (*figura 2.2*) e **CO** (*figura 2.3*) si può notare come, pur nei diversi cicli di guida, una vettura a benzina catalizzata (91/441/EEC e 94/12/EEC) abbia emissioni per chilometro minori rispetto all'analoga non catalizzata. D'altra parte per quanto riguarda **COVNM** e **CO** risulta evidente che le emissioni totali prodotte su percorso urbano sono significativamente maggiori di quelle extraurbane ed autostradali anche nelle categorie veicolari più recenti, seppure per i **COVNM** alla quota di emissione totale contribuiscano anche le emissioni evaporative.

Nel caso della **CO<sub>2</sub>** (*figura 2.4*), i fattori di emissione delle auto non catalizzate sono, seppure in misura minima, inferiori a quelli delle catalizzate. In tale andamento si riflettono le caratteristiche intrinseche e la suddivisione del parco autovetture per l'anno considerato. Infatti per la stima delle emissioni di anidride carbonica il modello si basa essenzialmente sul consumo di combustibile, secondo curve medie stimate su un ampio campione di autovetture diffuse in Europa. La tendenza ad un relativo aumento delle cilindrato all'interno di ciascuna classe nei modelli di più recente immatricolazione, quindi catalizzati, fa sì che per ciascuna classe di cilindrata i consumi e dunque le emissioni di **CO<sub>2</sub>**, siano leggermente più alti.

D'altro canto i fattori di emissione dipendono, notoriamente, dalle modalità di guida, oltre che dalla tecnologia del veicolo. In particolare le marmitte catalitiche sono poco efficienti durante i primi minuti di marcia (funzionamento "a freddo"), e dunque in particolar modo nei cicli di guida urbani, caratterizzati da spostamenti relativamente brevi, dove le emissioni "a freddo" possono costituire una quota rilevante delle emissioni totali, come si evidenzia nei grafici di questo studio nei quali la quota "a caldo" (hot) è quasi

sempre inferiore a quella totale (tot). Bisogna comunque tener conto che quello che il modello stima come emissione “a freddo”, come già accennato precedentemente, è una sovra-emissione (*over-emission*) che in taluni casi può anche essere negativa (ad esempio per le emissioni di  $\text{NO}_x$  da autovetture a GPL, *(figura 2.10)*).

Per simulare il ciclo di guida urbano, il modello COPERT - in questa applicazione - è stato calibrato per un percorso medio di 12 km alla velocità media di 25 km/h. Su tale ciclo viene considerato “a freddo” il 25% del percorso effettuato.

Il confronto tra i fattori di emissione medi delle **autovetture diesel** conferma la tendenza ad una sostanziale riduzione delle emissioni dei diversi inquinanti, in corrispondenza delle categorie veicolari relative ai modelli di più recente immatricolazione.

Per gli  $\text{NO}_x$  (*figura 2.5*), in particolare, tale riduzione, conseguente all'introduzione di veicoli conformi alla normativa 91/441/EEC ed alla successiva 94/12/EEC, si manifesta in misura maggiore per le emissioni prodotte su ciclo di guida autostradale, piuttosto che per quelle prodotte in ambito urbano o extraurbano. Tale risultato assume maggior rilievo in considerazione del fatto che per le autovetture più “vecchie”, le emissioni su ciclo di guida autostradale costituiscono generalmente la quota maggiore delle emissioni totali per questo tipo di inquinante; ciò è dovuto al fatto che gli ossidi di azoto vengono prodotti durante la combustione ad alte temperature di regime e dunque, in misura maggiore a velocità di guida tipiche di percorsi autostradali.

Le *figure 2.6* e *2.7* per i **COVNM** e per il **CO** mostrano che le autovetture diesel più recenti seguono un analogo comportamento emissivo decrescente sui tre cicli di guida urbano, extraurbano e autostradale, ma solo per i composti organici volatili non metanici è possibile osservare un sostanziale miglioramento dei fattori di emissione.

Le emissioni di **PM** (*figura 2.8*) sono attualmente calcolate, con il modello COPERT II, solo per i veicoli diesel e solo all'uscita della marmitta. Si può notare che il contributo dovuto alle emissioni “a freddo” nel ciclo urbano, costituisce quasi la metà dei fattori di emissione totali per le autovetture diesel convenzionali. Questa proporzione è meno accentuata nelle autovetture più recenti (definite commercialmente eco-diesel). Un comportamento analogo è riscontrabile, sempre in relazione alle autovetture diesel, per le emissioni specifiche di **COVNM** (*figura 2.6*).

Le emissioni di  $\text{CO}_2$  e dunque i relativi fattori di emissione, sono direttamente proporzionali ai consumi per chilometro. Nel grafico di *figura 2.9* si osserva un sensibile miglioramento solo passando dalle autovetture diesel convenzionali alle cosiddette eco-diesel; per queste due categorie eco-diesel si hanno gli stessi fattori di emissione medi.

Per quanto riguarda le **autovetture a GPL**, le curve di emissione di COPERT II possono contare su una casistica sperimentale limitata, da cui comunque si evidenziano i vantaggi, in termini di riduzione delle emissioni, conseguiti con l'introduzione di dispositivi catalitici (autovetture immatricolate a partire dal 1993), come appare evidente per gli  $\text{NO}_x$  (*figura 2.10*), i **COVNM** (*figura 2.11*) ed il **CO** (*figura 2.12*), pur con comportamenti differenziati sui diversi cicli di guida. Nel grafico di *figura 2.13* per la  $\text{CO}_2$  sono rappresentati anche per le autovetture a GPL, i valori dei fattori medi tratti da curve di emissione proporzionali ai consumi.

Una nota a parte riguarda le autovetture alimentate a metano che in questo studio non sono state prese in considerazione sia perché le curve di emissione di COPERT non dispongono ancora di un'ampia casistica sperimentale, sia perché il parco italiano di circa 200.000 autovetture non può essere confrontato in modo statisticamente significativo all'interno delle diverse categorie veicolari.

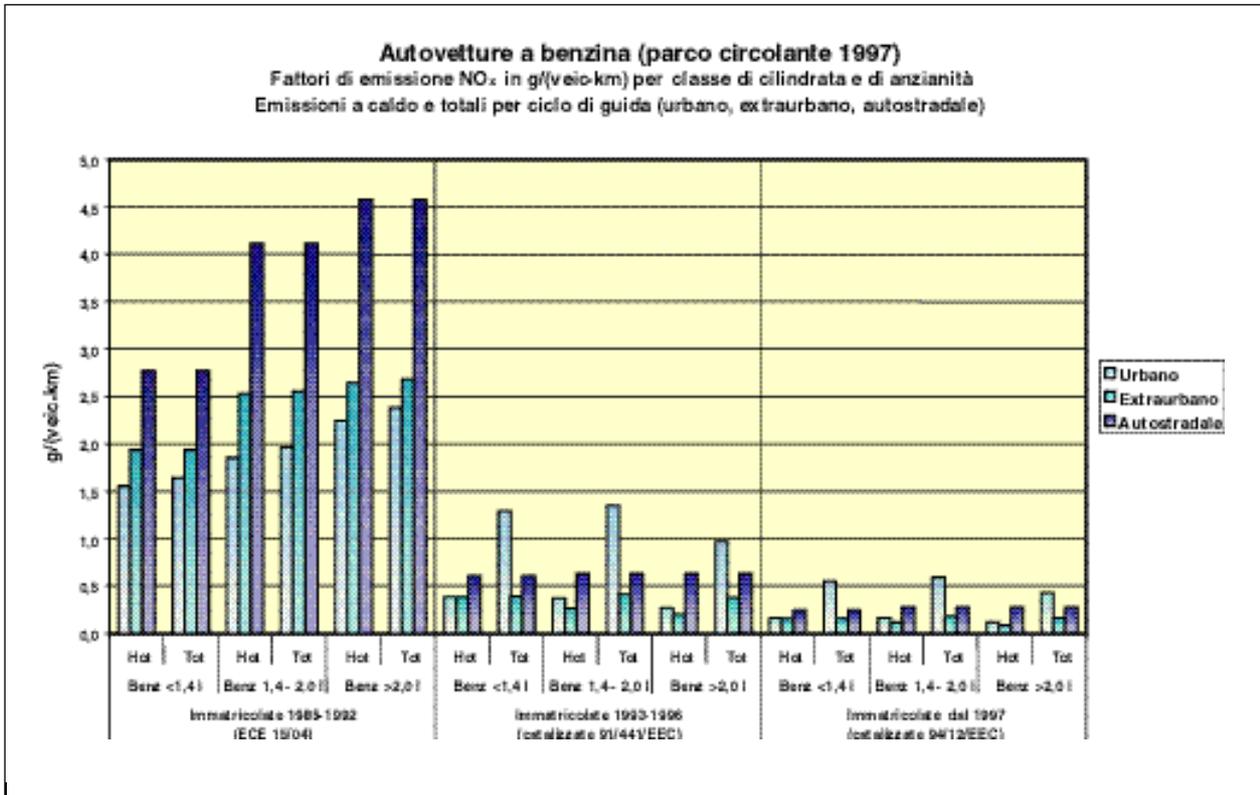


Figura 2.1

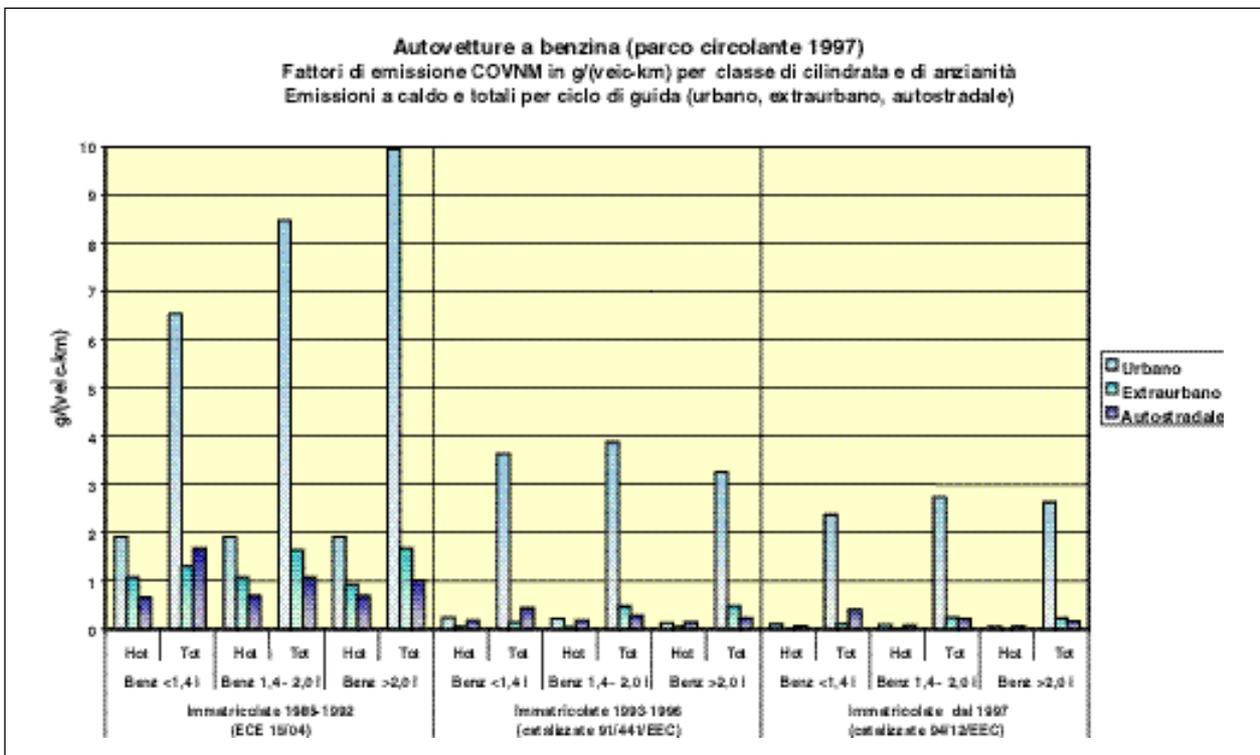


Figura 2.2

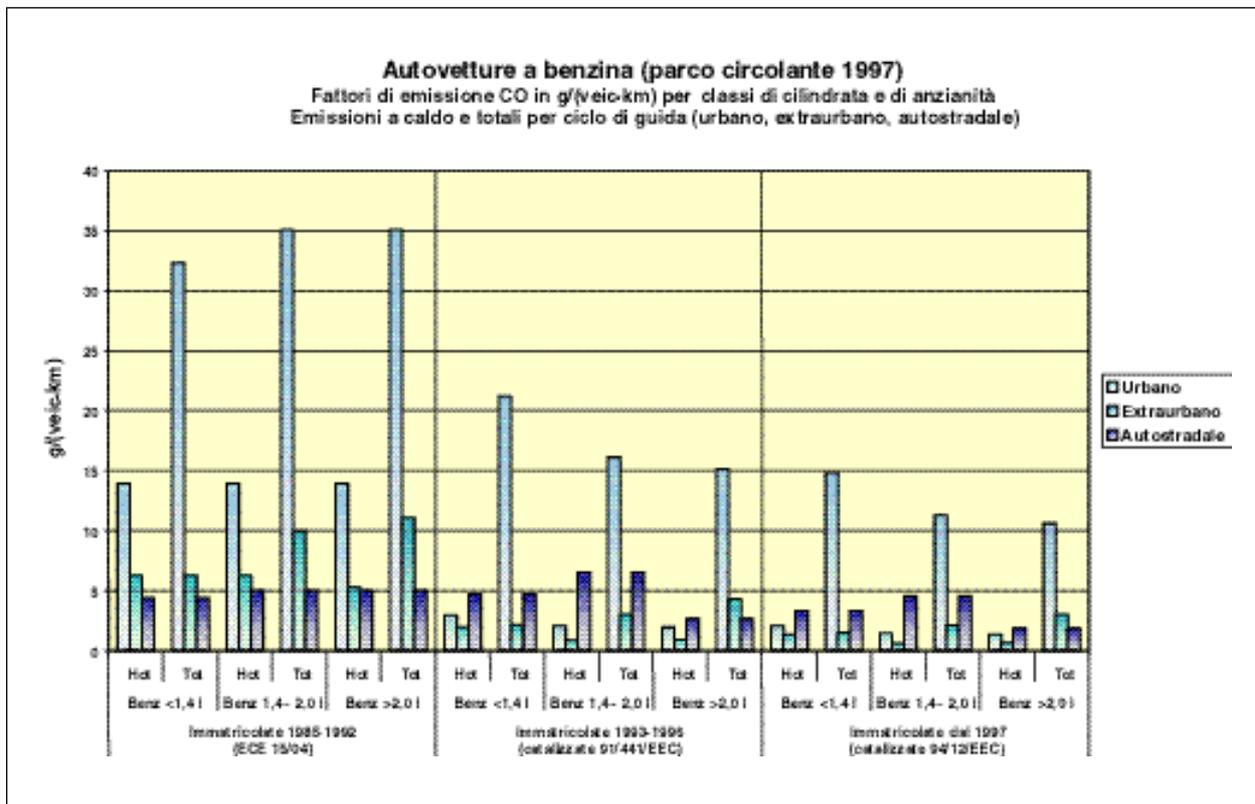


Figura 2.3

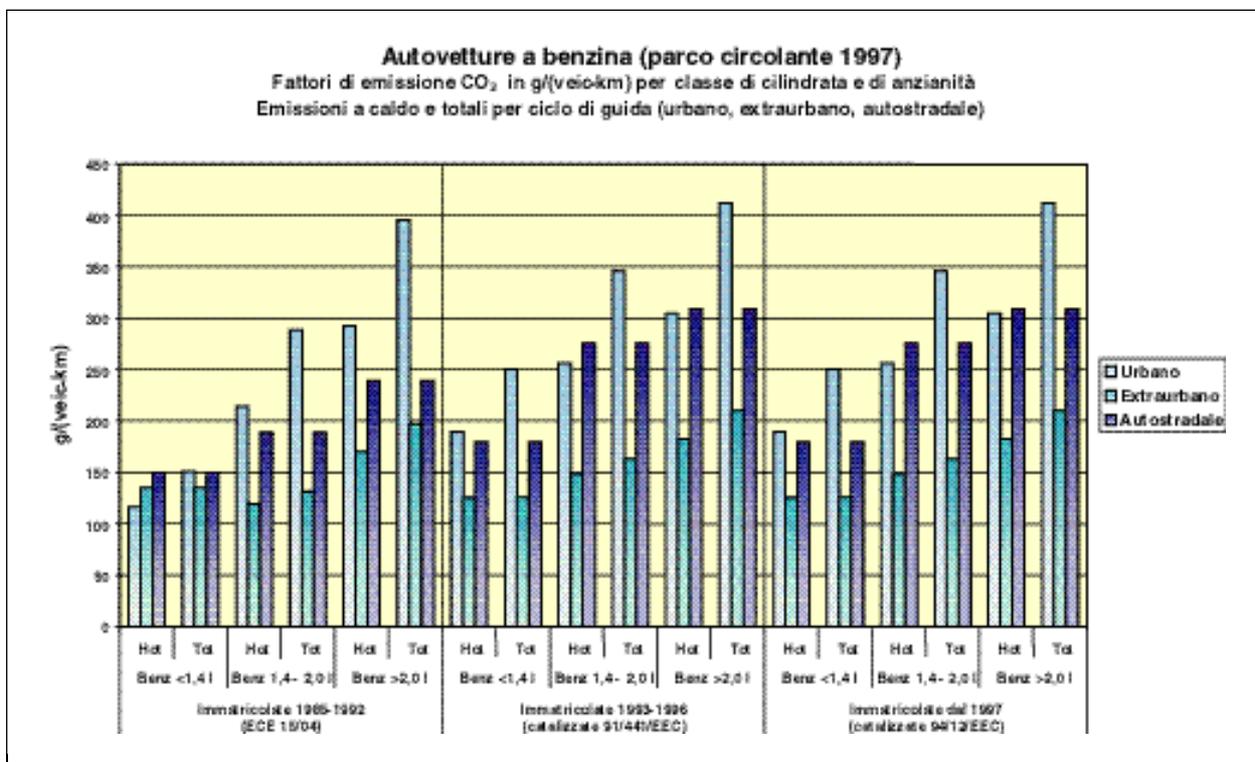


Figura 2.4

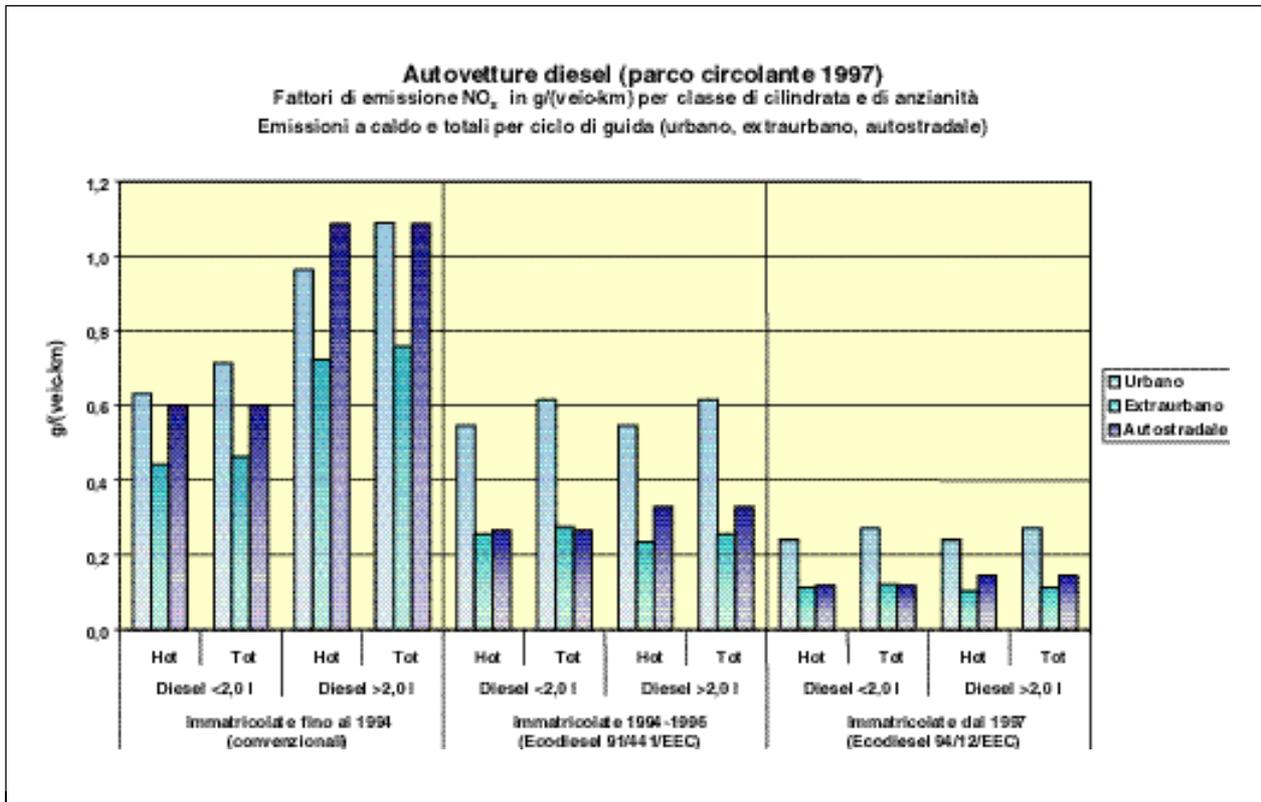


Figura 2.5

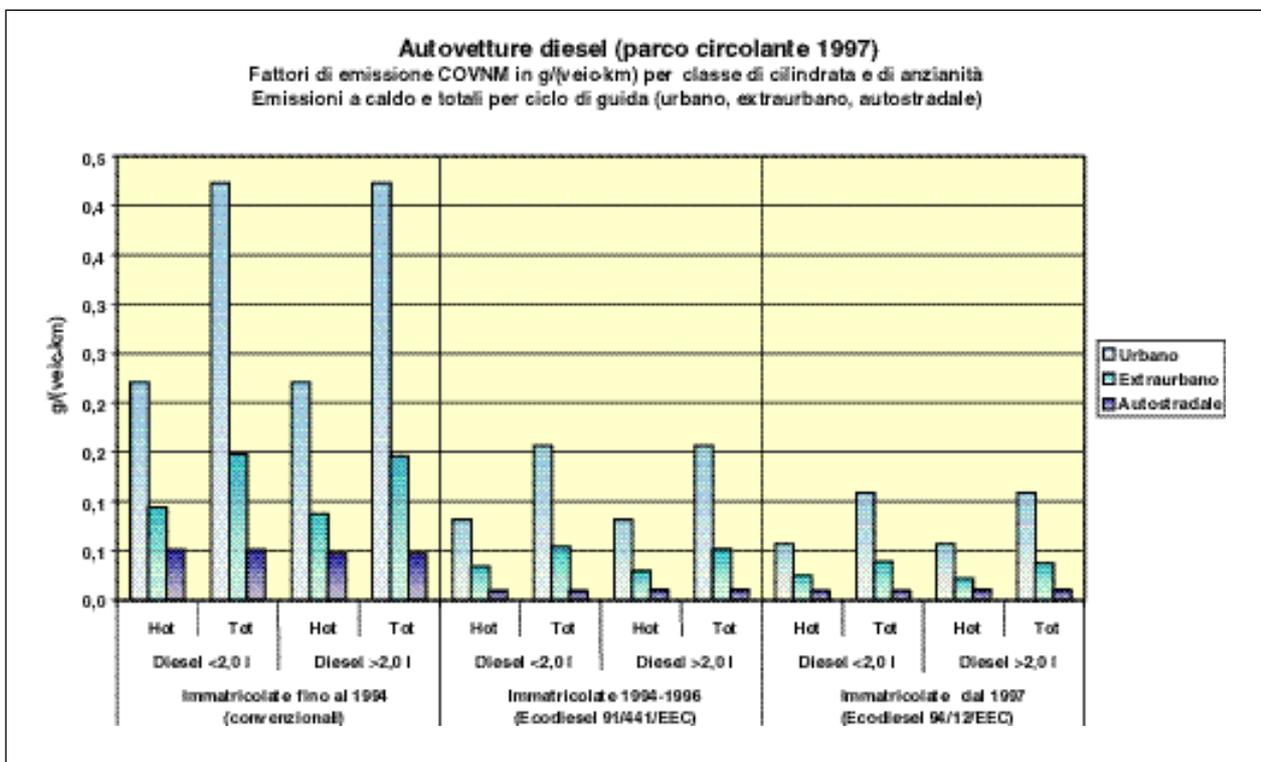


Figura 2.6

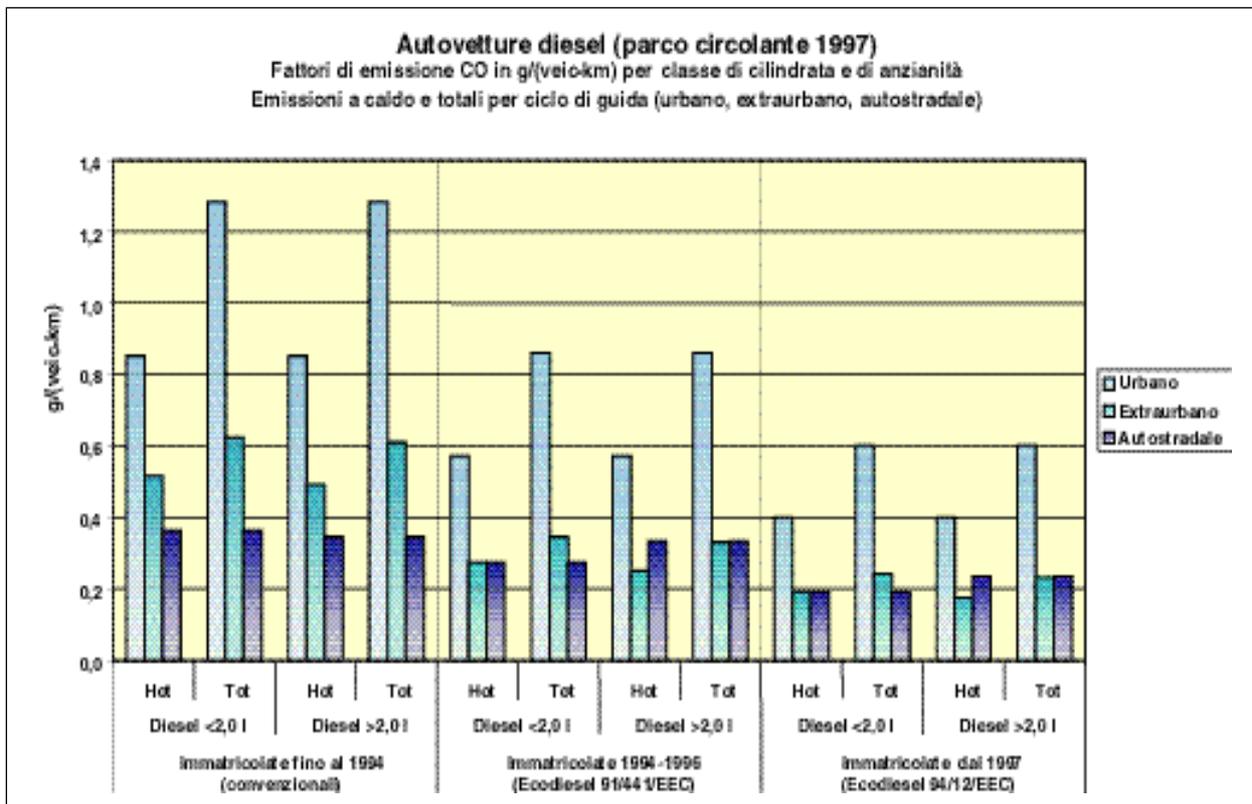


Figura 2.7

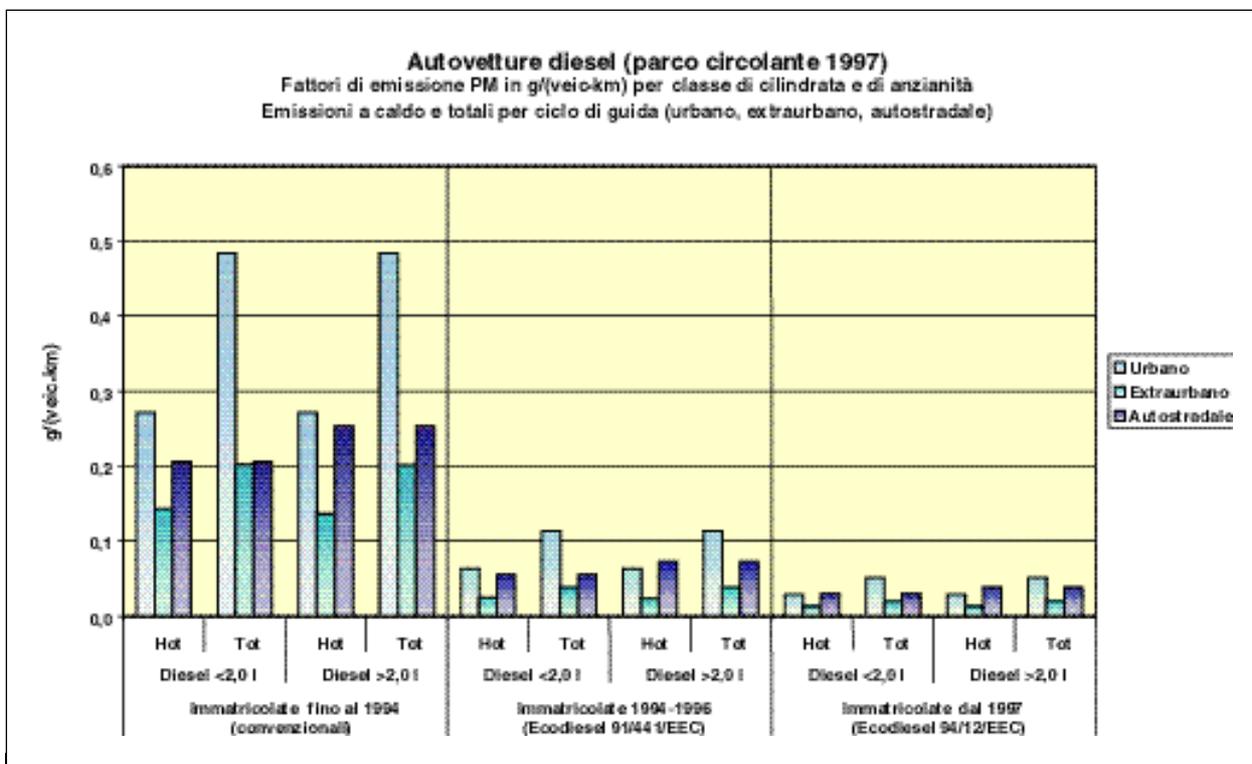


Figura 2.8

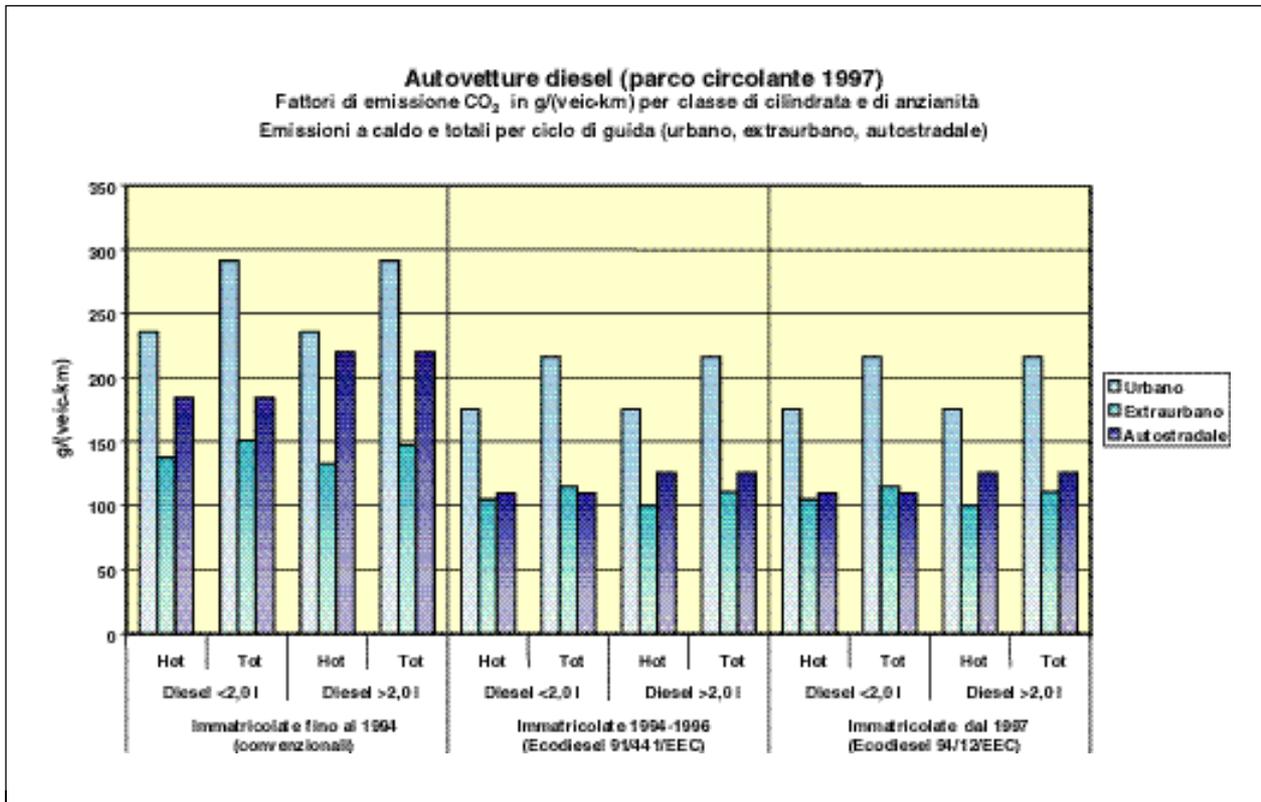


Figura 2.9

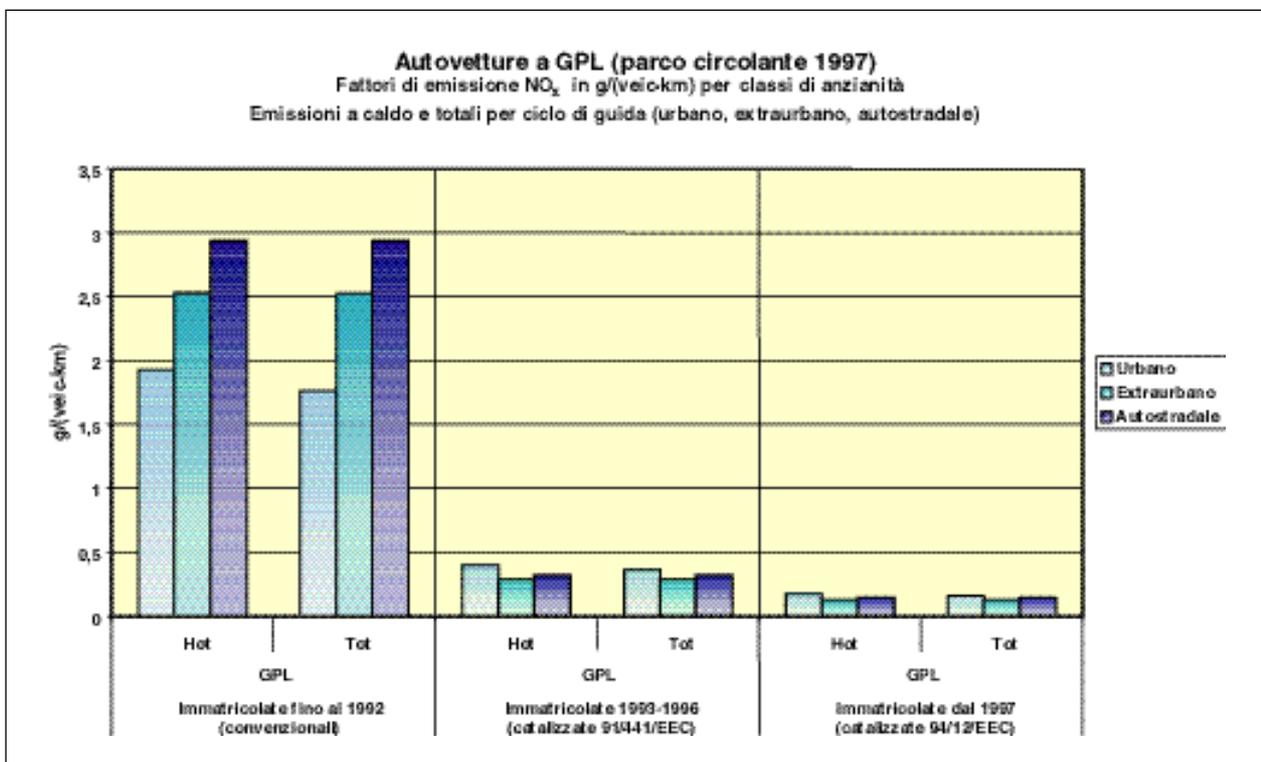


Figura 2.10

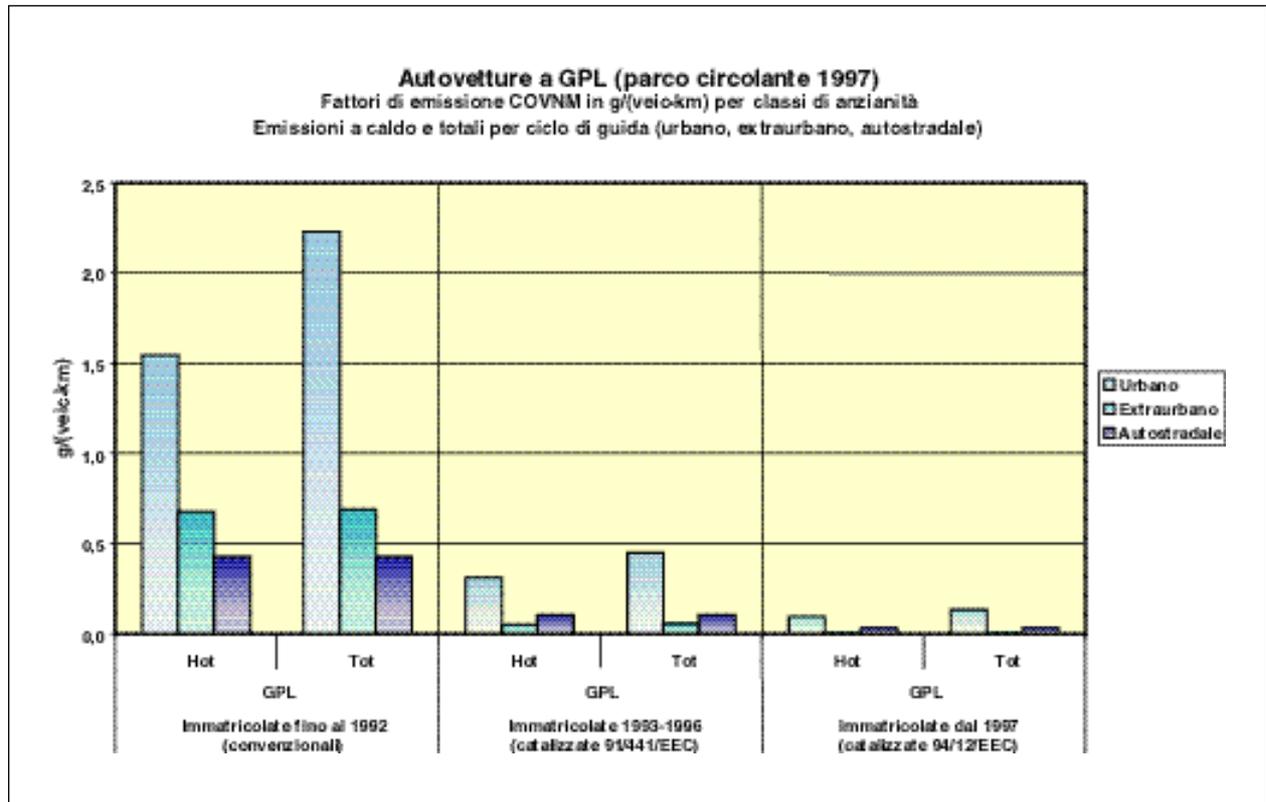


Figura 2.11

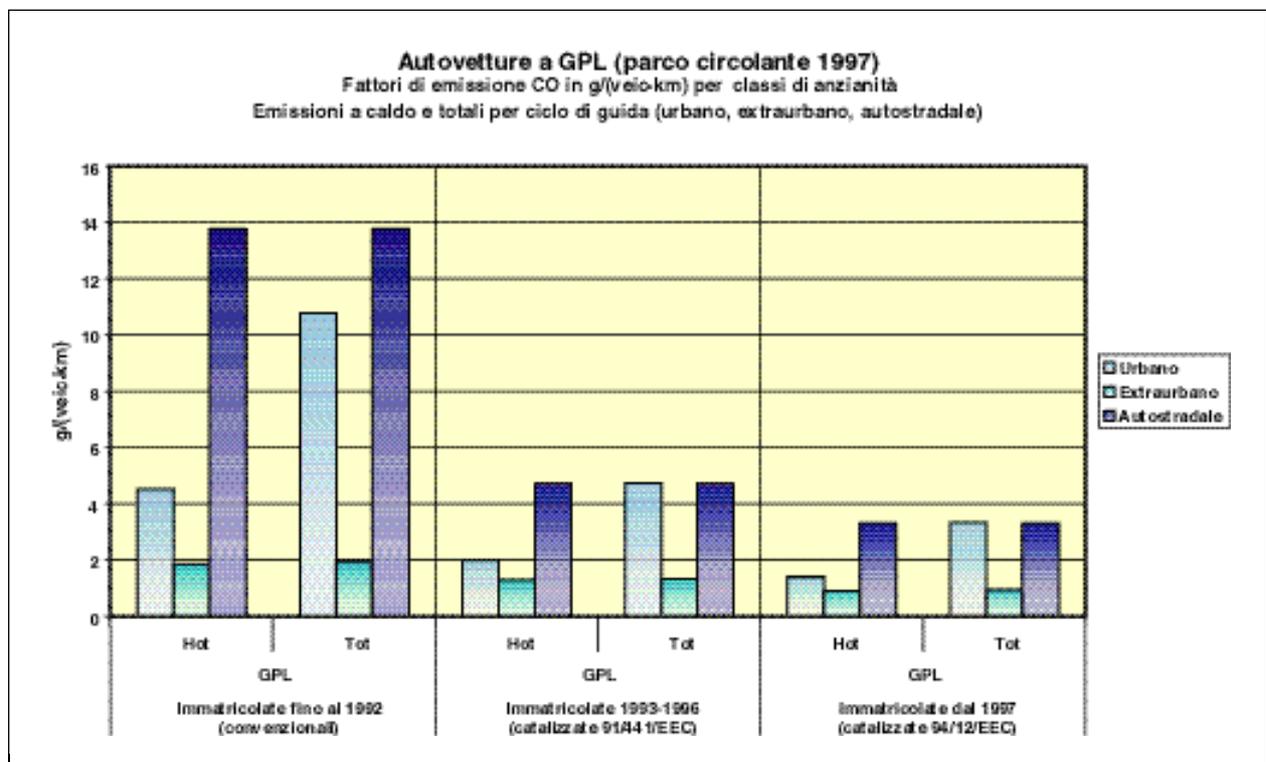


Figura 2.12

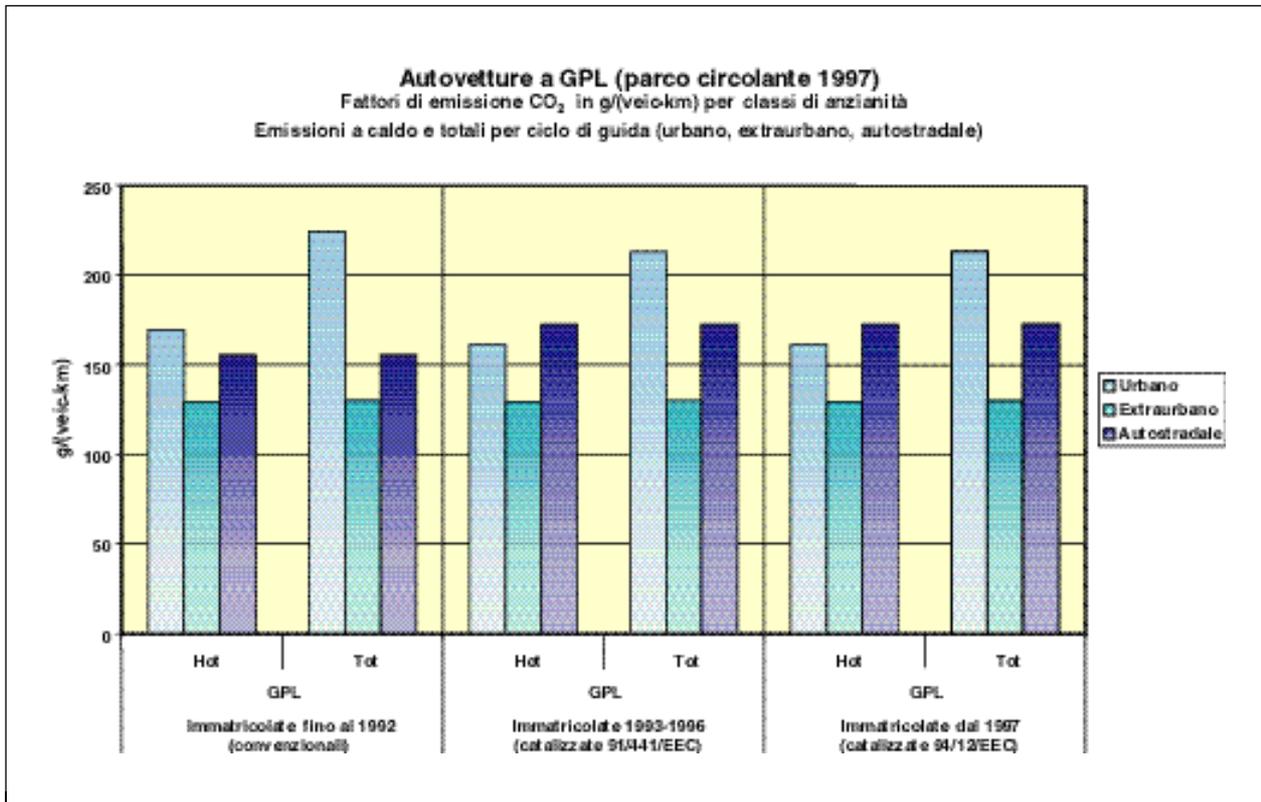


Figura 2.13

## 2.2 I FATTORI DI EMISSIONE MEDI PER I VEICOLI COMMERCIALI E I BUS

Nell'analisi dei fattori di emissione medi dei veicoli commerciali, vengono prese in considerazione le categorie veicolari relative ai mezzi leggeri (benzina e diesel) e pesanti (diesel), distinte in base alle normative europee di riferimento e dunque alla classe di anzianità dei veicoli stessi.

In base alla classificazione di COPERT, vengono considerati veicoli commerciali leggeri tutti gli autocarri (merci e speciali) con peso a pieno carico minore di 3,5 tonnellate, cui corrisponde una portata utile approssimativamente inferiore a 1,5 t. La categoria dei veicoli commerciali pesanti include gli autocarri (merci e speciali) con peso complessivo maggiore di 3,5 t (> 1,5 t di portata utile), le motrici, gli autobus urbani ed i pullman.

Il numero di veicoli commerciali circolanti nell'anno di riferimento 1997 è pari a 3.183.776 (2.199.373 leggeri e 1.069.724 pesanti), e a questi si deve il 17% della percorrenza annua complessiva del parco italiano, pari a circa 476 miliardi di veicoli-km.

Per i **veicoli commerciali leggeri**, la diminuzione delle emissioni per veicolo-km, conseguente all'immatricolazione di veicoli conformi alla normativa 93/59/EEC (veicoli immatricolati a partire dal 1994), si manifesta in modo più marcato per i mezzi a benzina, ed in particolare nel caso degli  $\text{NO}_x$  (*figura 2.14*), dei  $\text{COVNM}$  (*figura 2.15*) e del  $\text{CO}$  (*figura 2.16*). Al contrario, le differenze osservabili tra i fattori di emissione relativi ai leggeri diesel immatricolati prima e dopo il 1994 risultano significative solo nel caso degli  $\text{NO}_x$  e del  $\text{PM}$  (*figura 2.17*).

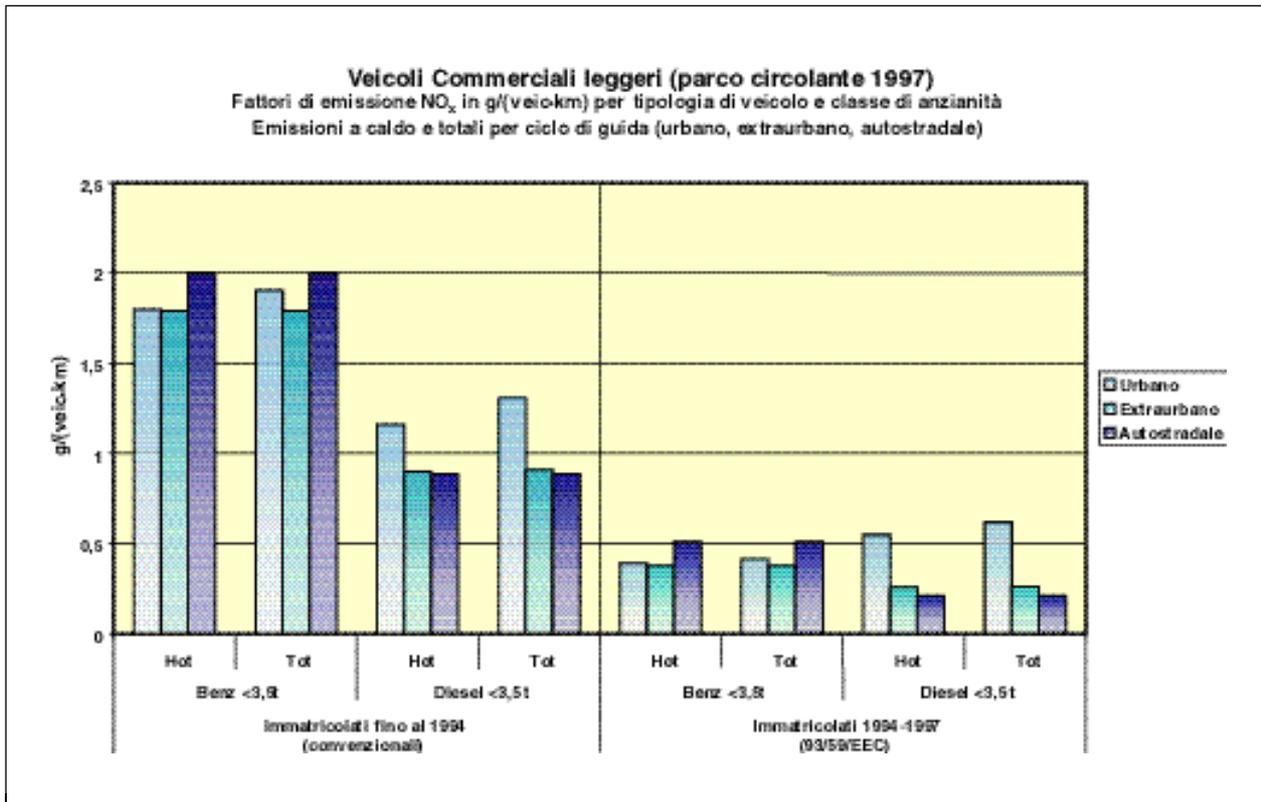
Per la  $\text{CO}_2$  (*figura 2.18*) i veicoli commerciali leggeri a benzina hanno gli stessi fattori di emissione medi sia per i convenzionali che per i catalizzati; per i diesel, passando alle immatricolazioni dopo il 1994, si osservano fattori di emissione leggermente più elevati su ciclo urbano ed extraurbano, e leggermente inferiori su quello autostradale.

In generale, si osservano per questa categoria veicolare valori dei fattori di emissione più elevati su ciclo di guida urbano piuttosto che su quello extraurbano o autostradale.

Soltanto nel caso degli ossidi di azoto, le emissioni specifiche dei leggeri a benzina (sia "ante" che "post" 93/59/EEC) risultano più elevate su ciclo autostradale.

I **bus e veicoli commerciali pesanti** sono aggregati in una unica categoria per semplicità di rappresentazione, avendone calcolato i fattori di emissione medi come media delle emissioni totali pesata sulle percorrenze e numerosità di ciascuna delle classi originarie considerate da COPERT (vedi *appendice I*).

Gli andamenti dei fattori di emissione medi presentano, per le cinque sostanze in studio, caratteristiche piuttosto simili (*figure 2.19 - 2.23*); i valori (nella stima delle emissioni dei veicoli commerciali pesanti COPERT considera esclusivamente la parte "a caldo") diminuiscono passando dai veicoli più vecchi a quelli di più recente immatricolazione, con variazioni percentuali pressoché costanti nei differenti cicli di guida. In virtù delle basse velocità e delle particolari condizioni di marcia, i valori più elevati si osservano su ciclo di guida urbano, per il quale si è fatta l'ipotesi che tali veicoli vi effettuino, in media, circa il 27% della loro percorrenza annua (De Lauretis, 1999; Saija, 1999, Santostefano e Cirillo, 1999).



• Figura 2.14

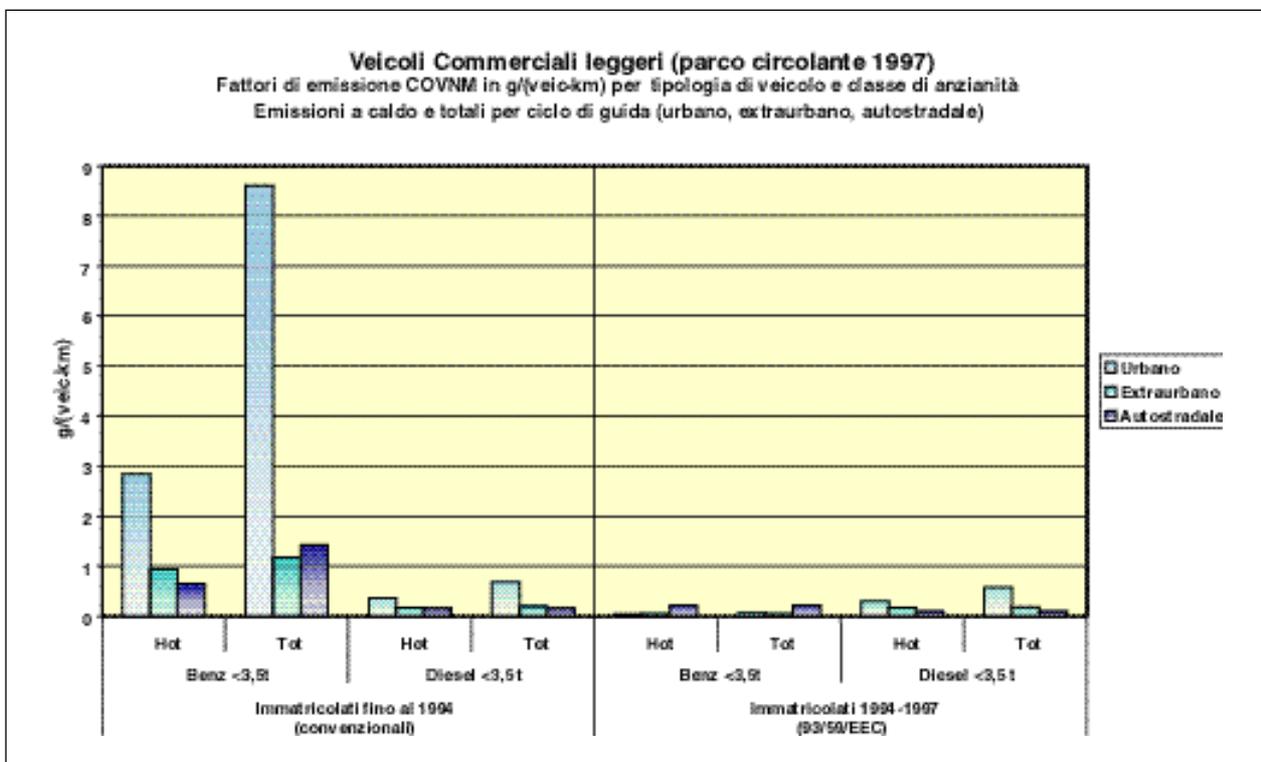


Figura 2.15 •

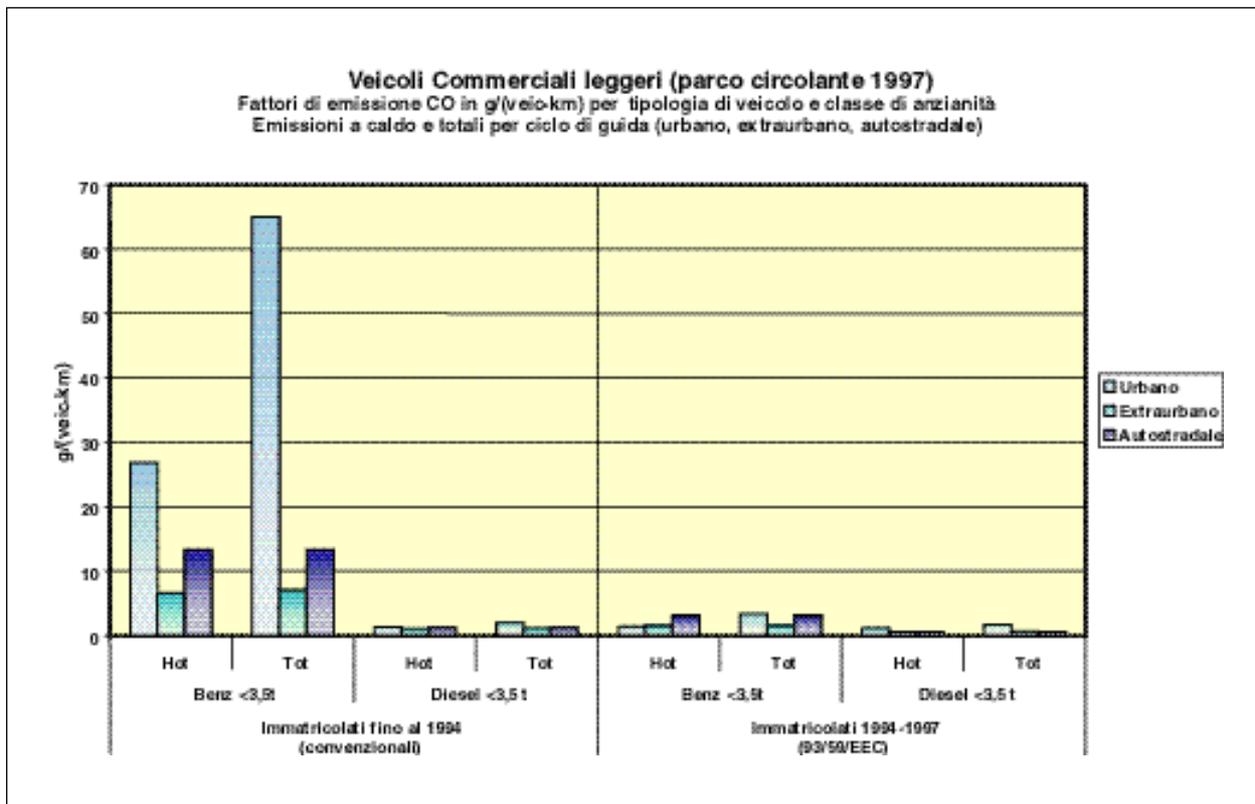


Figura 2.16

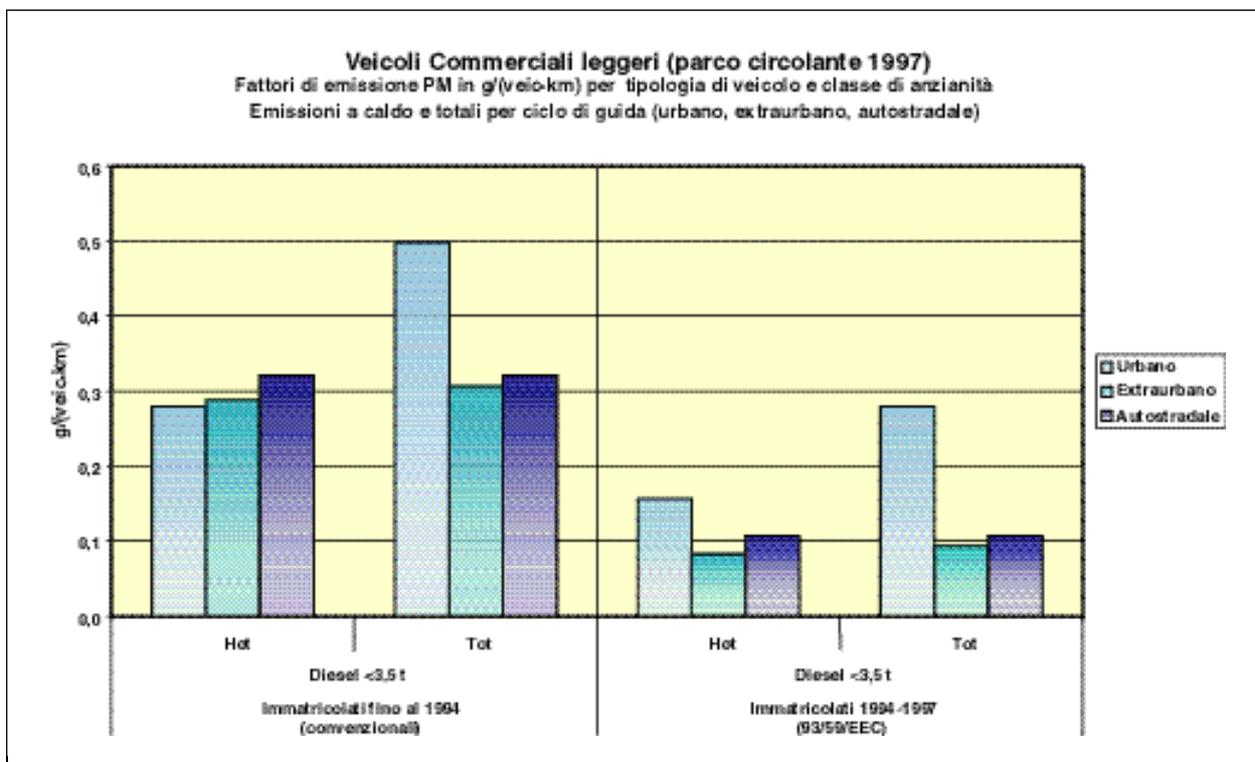
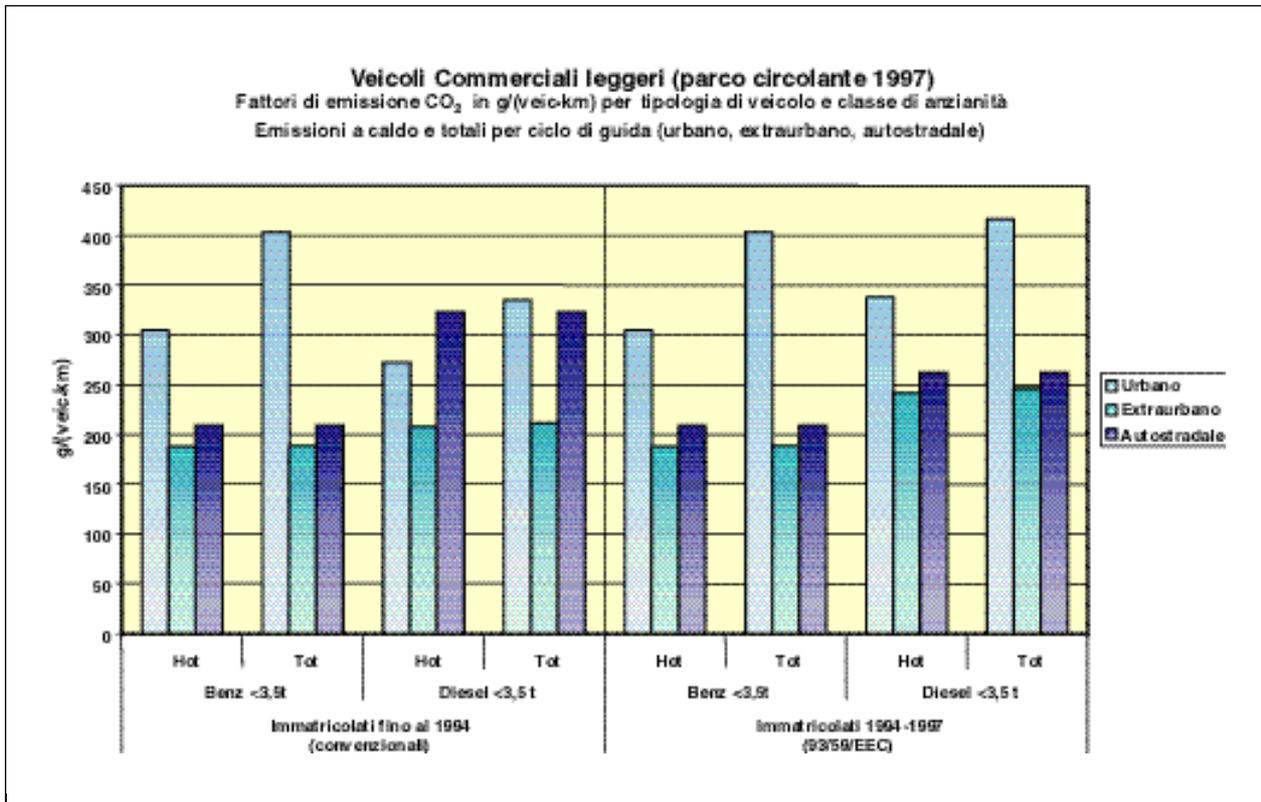


Figura 2.17



• Figura 2.18

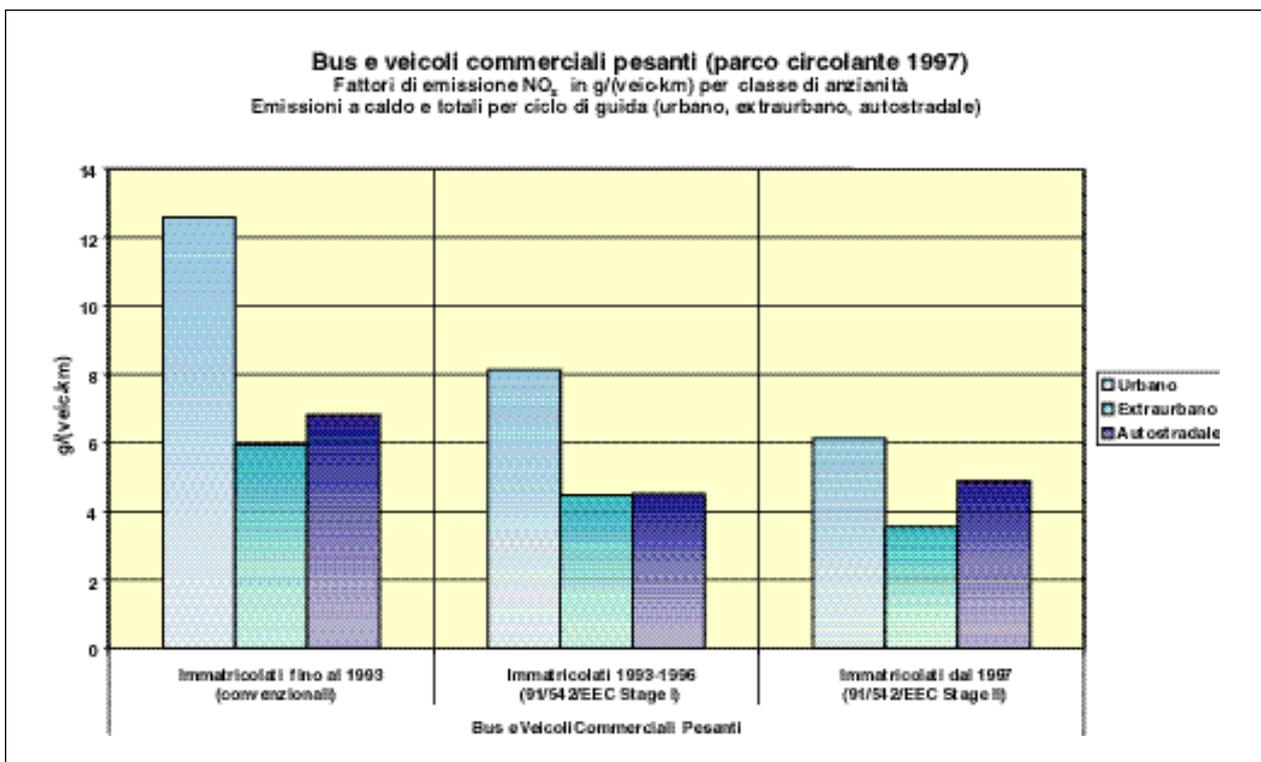


Figura 2.19 •

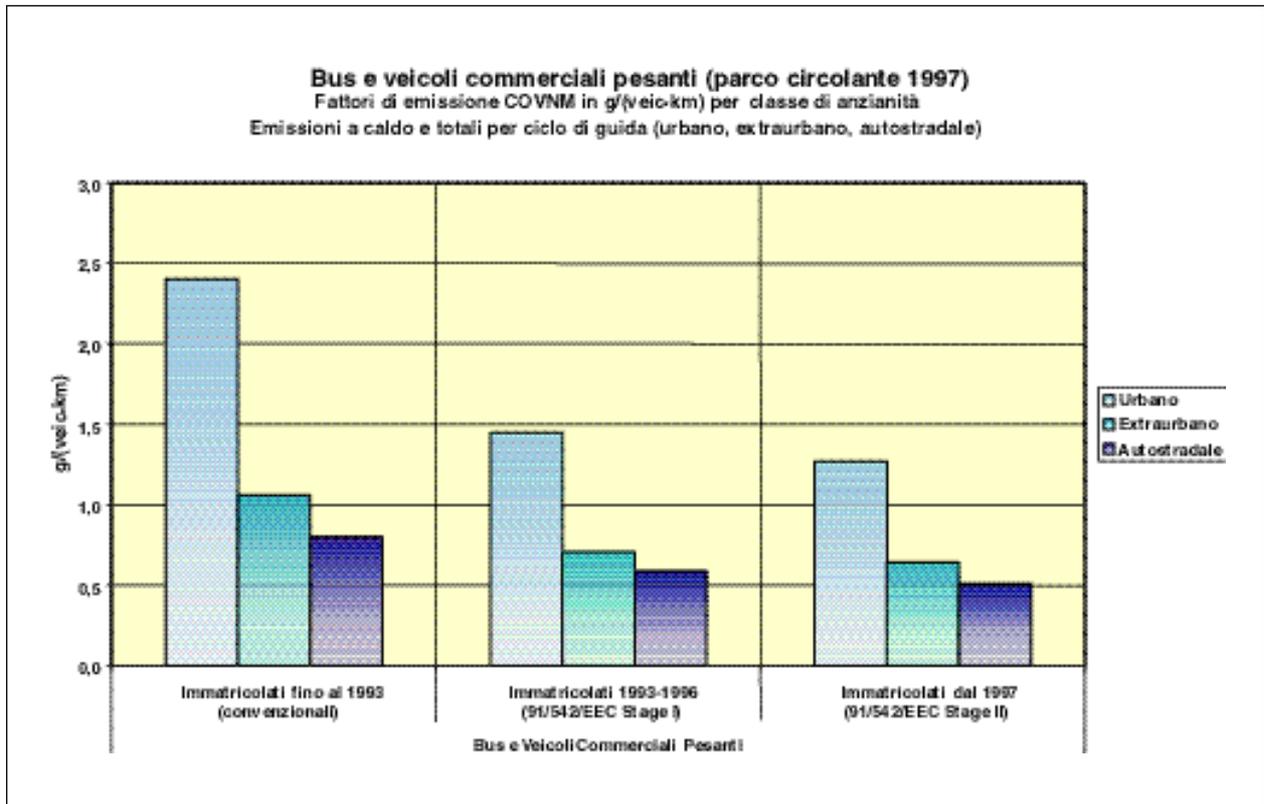


Figura 2.20

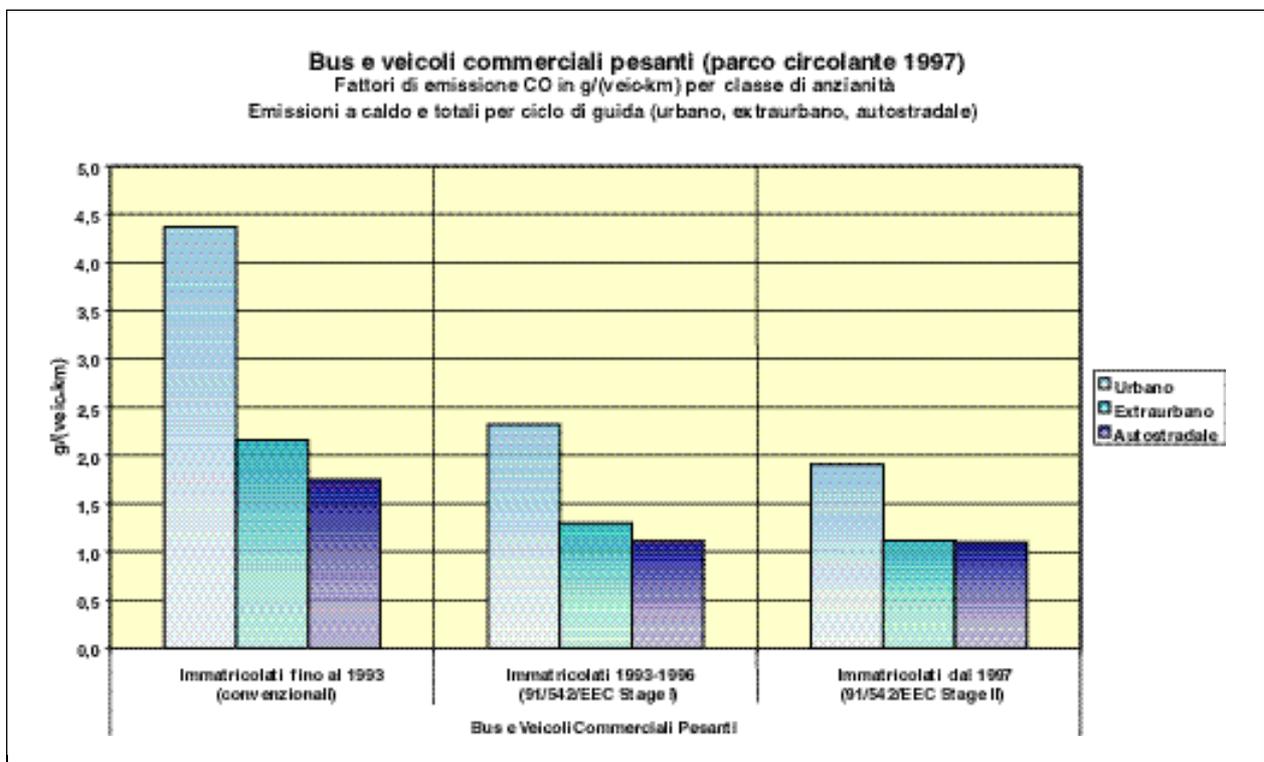


Figura 2.21

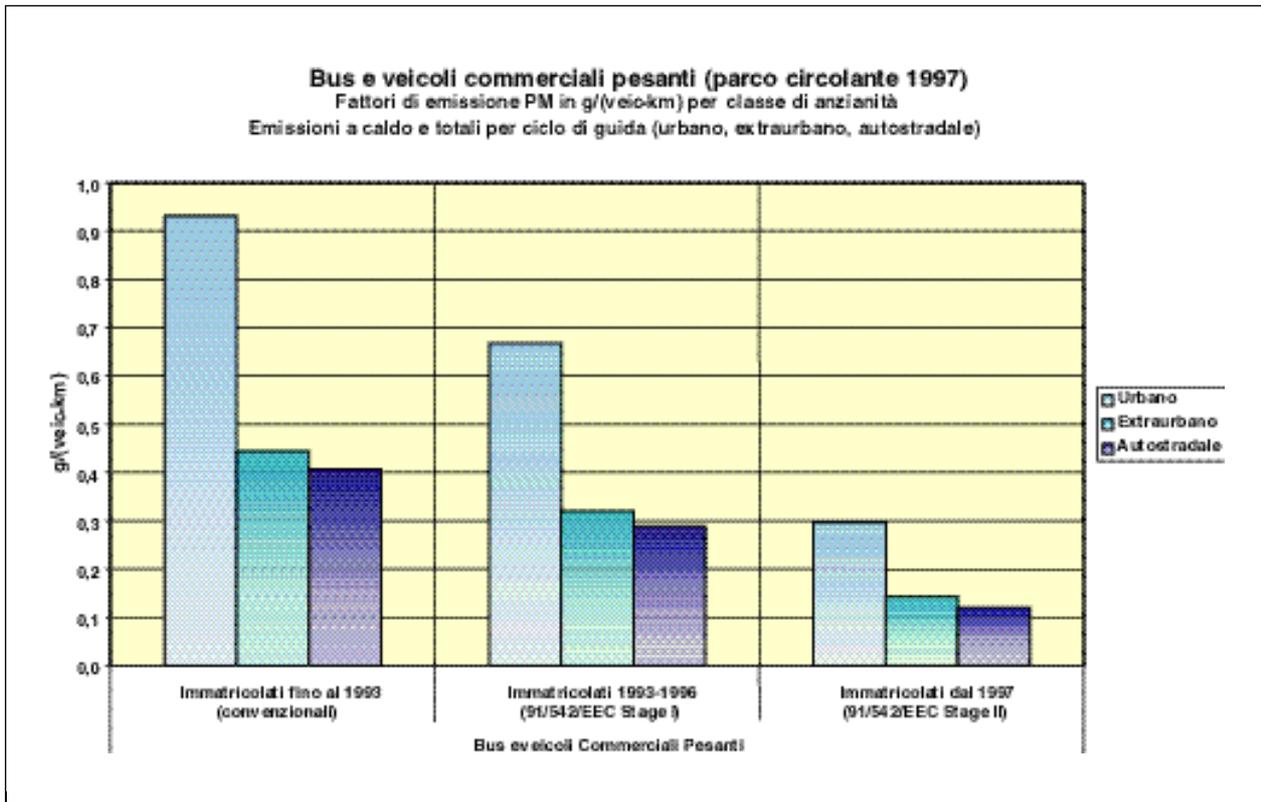


Figura 2.22

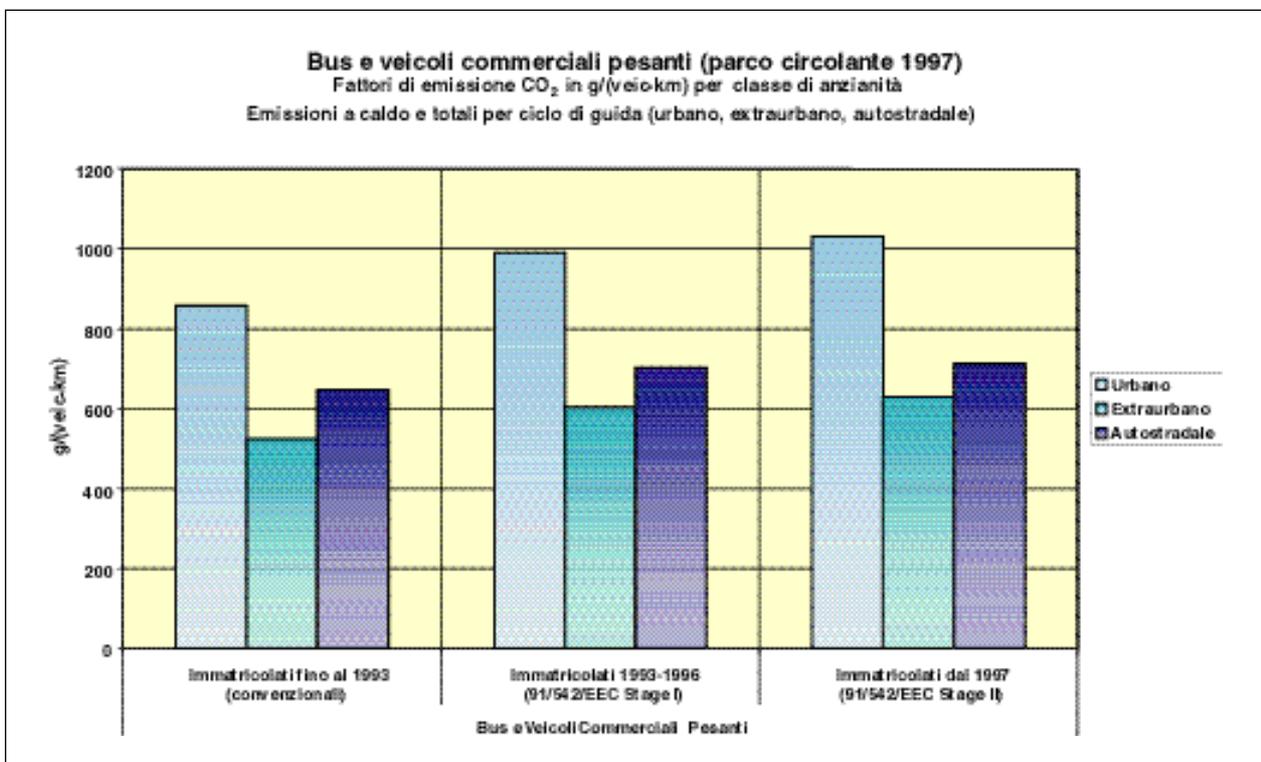


Figura 2.23

### 2.3 I FATTORI DI EMISSIONE MEDI PER I CICLOMOTORI E PER I MOTOVEICOLI

L'analisi dei fattori di emissione dei **ciclomotori** (cilindrata minore di 50 cm<sup>3</sup>) viene focalizzata sul ciclo di guida urbano, dove l'attività di questi veicoli è maggiormente significativa e dove si assume che essi effettuino il 70% della loro percorrenza annua complessiva, pari a circa 24 miliardi di veicoli-km, mentre si assume che il restante 30% sia effettuata su ciclo di guida extraurbano.

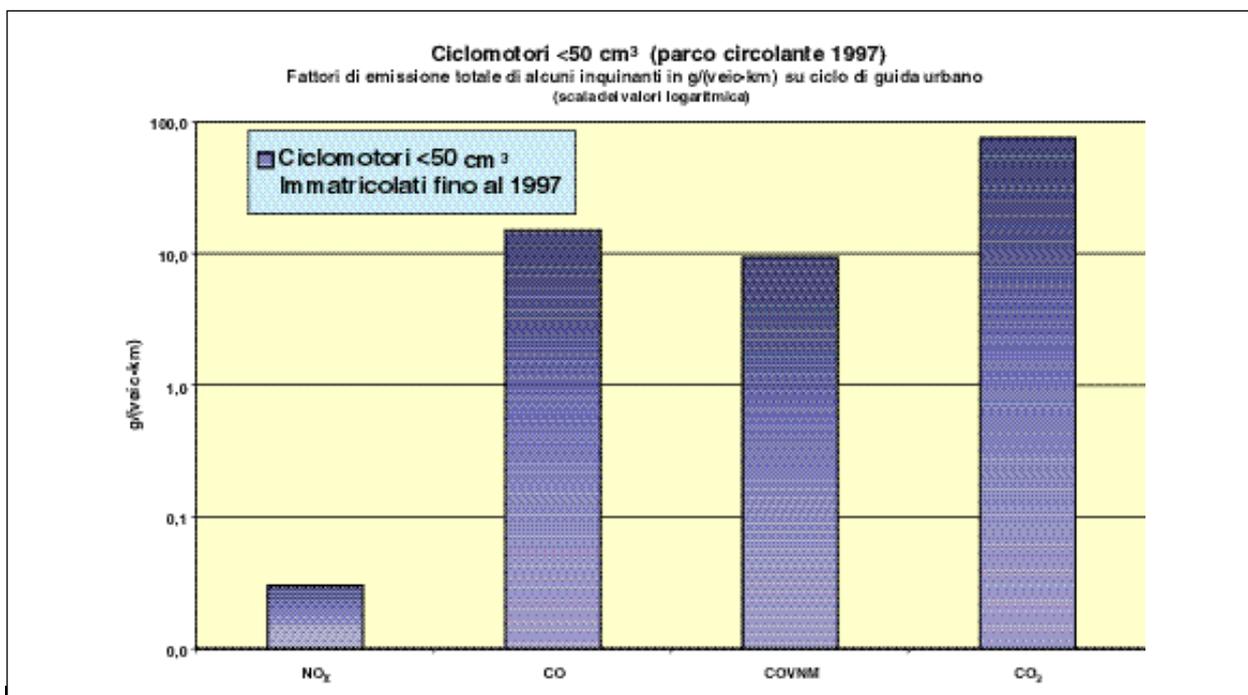
Per i ciclomotori, che nel 1997 in Italia ammontavano quasi a 5 milioni con un numero in costante crescita, COPERT ipotizza nulle le emissioni "a freddo"; dunque, le emissioni totali di ciascun inquinante coincidono con quelle "a caldo", salvo nel caso delle emissioni di COVNM, per le quali si deve considerare la componente evaporativa.

In **figura 2.24** è possibile osservare i fattori di emissione totale relativi alle differenti sostanze emesse in aria riportati in uno stesso grafico per comodità di rappresentazione; è stata utilizzata una scala logaritmica per visualizzare simultaneamente i differenti ordini di grandezza dei valori stimati.

Anche nel caso dei **motocicli** (cilindrata maggiore di 50 cm<sup>3</sup>), come per i mezzi pesanti, i fattori di emissione medi sono stati calcolati come medie ponderate delle categorie di COPERT (vedi **appendice 1**). Secondo la metodologia COPERT II il contributo di emissione "a freddo" dei motocicli risulta trascurabile, cosicché vengono considerati solo i valori delle emissioni calcolati sul totale, i cui valori coincidono con quelli a caldo. Per semplificarne la rappresentazione sono stati riportati i dati relativi a **NO<sub>x</sub>**, **CO** e **CO<sub>2</sub>** (**figura 2.25**) in uno stesso grafico; è stata pertanto utilizzata una scala logaritmica che tiene conto dei differenti ordini di grandezza.

Nel caso degli **NO<sub>x</sub>** è possibile osservare un fattore di emissione più elevato su ciclo autostradale rispetto a quello extraurbano e di quest'ultimo su quello urbano; mentre per le altre due sostanze le emissioni per veicolo-km risultano pressoché dello stesso ordine di grandezza.

Per i **COVNM** (**figura 2.26**) il confronto viene fatto tra le emissioni "a caldo" e quelle "totali", sui tre differenti cicli di guida; in questo caso, infatti, il **surplus** di emissione è dovuto al solo contributo evaporativo, che risulta pari al 28% su ciclo urbano e al 50% del totale su quello autostradale.



• Figura 2.24

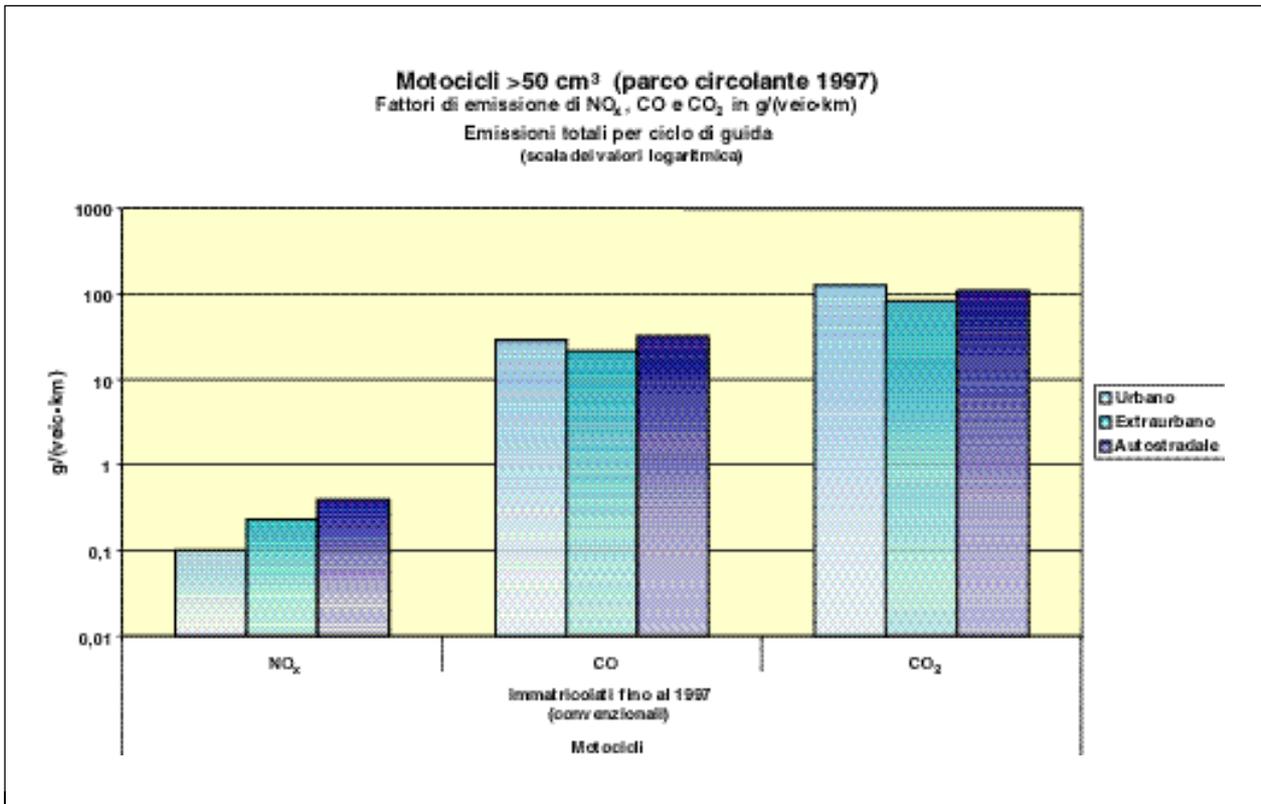


Figura 2.25

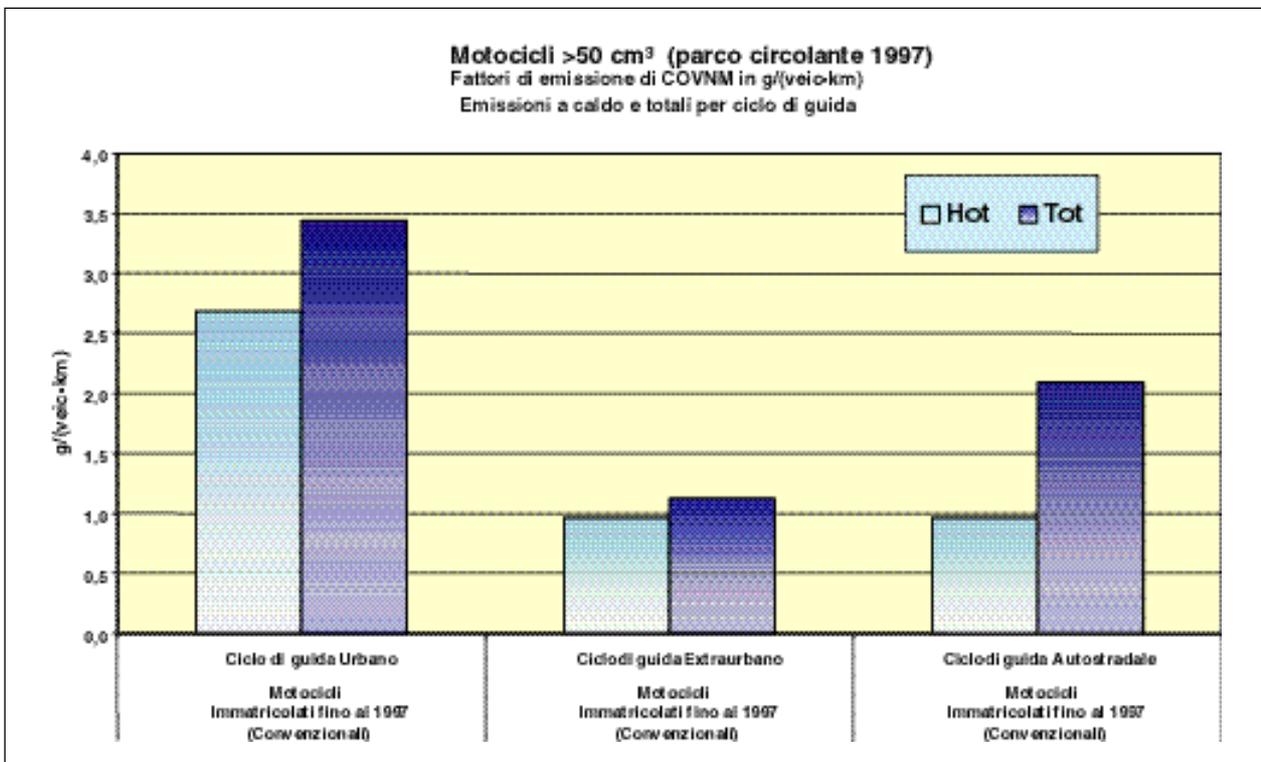


Figura 2.26

## 2.4 CONFRONTO TRA LE CATEGORIE VEICOLARI OMOGENEE

A partire dai fattori di emissione medi calcolati per tutte le tipologie di veicoli (un quadro riassuntivo dei valori numerici è riportato in *appendice 2*) è possibile confrontare i contributi emissivi tra categorie veicolari omogenee, per ciascun ciclo di guida e per ogni sostanza emessa.

Nel seguito sarà considerato a titolo di esempio solo il ciclo di guida urbano con fattori medi calcolati sul **totale delle emissioni** (percorso “a caldo”, “a freddo” e, per i **COVNM**, con il contributo evaporativo). Analoghe comparazioni possono essere effettuate per le altre modalità.

Per omogeneità di rappresentazione le diverse categorie veicolari sono raccolte in tre gruppi: autovetture passeggeri, veicoli commerciali e bus, motocicli e ciclomotori.

Tra tutte le tipologie di **autovetture**, le autovetture catalizzate a GPL di più recente immatricolazione hanno le minori emissioni totali per veicolo-km di **NO<sub>x</sub>** su ciclo *urbano*. Seguono in ordine crescente le vetture diesel più nuove, le auto GPL catalizzate (immatricolate dal 93 al 96) e le auto a benzina (tutte le cilindrata) catalizzate immatricolate dal 97; a queste si contrappongono, dall'altra parte della scala, con i contributi emissivi maggiori, le autovetture a benzina non catalizzate di media e grossa cilindrata (*figura 2.27*).

Per quanto riguarda i **COVNM** (*figura 2.28*), le vetture che forniscono il più alto contributo emissivo sono quelle a benzina non catalizzate di tutte le cilindrata, mentre quelle cui si devono i contributi minori sono le più recenti GPL catalizzate e le cosiddette eco-diesel.

Si può notare come tutte le automobili a benzina, catalizzate e non, indipendentemente dalla cilindrata, fanno registrare le emissioni per veicolo-km più alte (per il contributo evaporativo oltre che per quello “a freddo”), con valori che soltanto nel caso delle vetture catalizzate più recenti sono confrontabili con quelli delle auto a GPL non catalizzate.

Nel caso del **CO** (*figura 2.29*) si osserva un andamento analogo, con le vetture eco-diesel che presentano i fattori di emissione medi più bassi.

I fattori di emissione medi per la **CO<sub>2</sub>** (*figura 2.30*) presentano andamenti in controtendenza rispetto a quelli fin qui analizzati: al lato inferiore della scala dei fattori di emissione sono presenti le auto a benzina non catalizzate di piccola cilindrata (<1,4 l), seguite a salire dalle GPL non catalizzate e dalle eco-diesel; rispetto ad esse, le autovetture a benzina catalizzate di grossa cilindrata (>2,0 l) hanno, sempre su ciclo urbano, un contributo di emissione anche due volte superiore.

Le emissioni di **PM** (particolato fine) dalle autovetture riguardano solo i mezzi alimentati a gasolio (*figura 2.31*), per i quali risulta evidente la considerevole riduzione dovuta all'introduzione a partire dal 1994 dei dispositivi di alimentazione a iniezione diretta.

I **veicoli commerciali pesanti** nel caso degli **NO<sub>x</sub>** presentano valori dei fattori di emissione medi calcolati sul totale “a caldo” e “a freddo” nettamente più elevati rispetto a quelli dei leggeri su ciascuno dei tre cicli di guida; in *figura 2.32* sono riportati i valori per il ciclo urbano.

Diversa la situazione per quanto riguarda i **COVNM**; in questo caso infatti i valori di emissione più elevati sui tre cicli di guida, sono quelli stimati per i commerciali leggeri a benzina immatricolati prima del 94, con differenze rispetto ai fattori di emissione dei pesanti particolarmente rilevanti soprattutto sul ciclo urbano (*figura 2.33*).

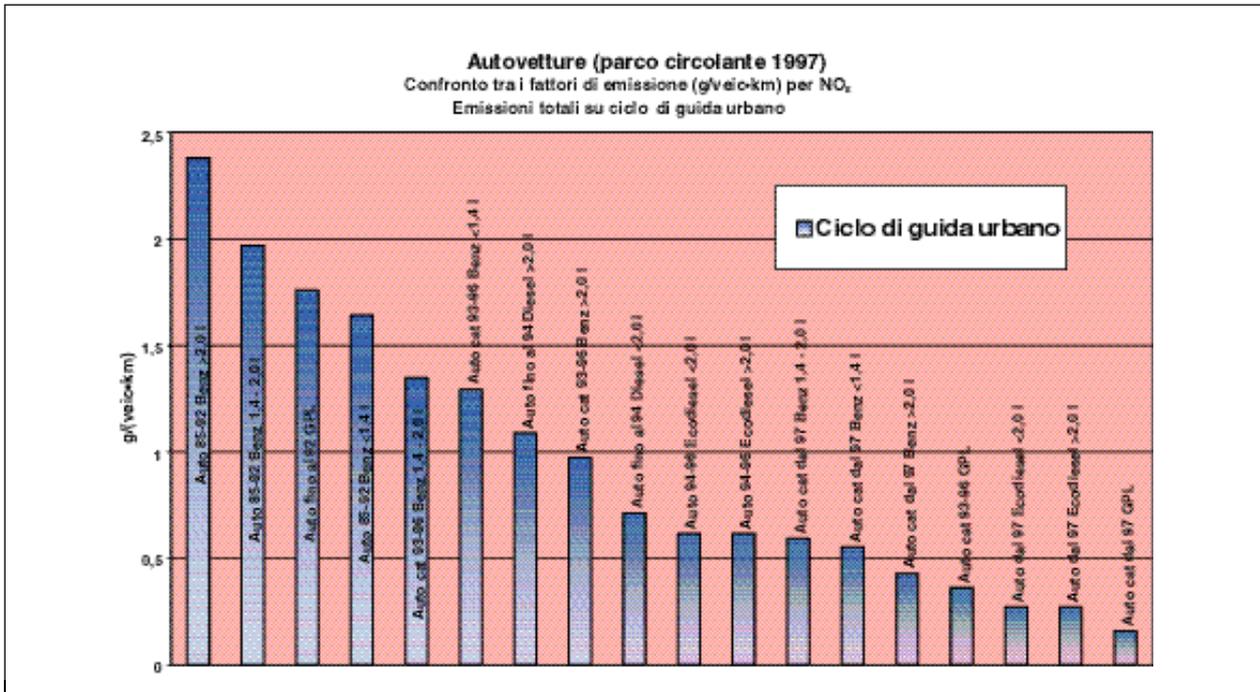
Per quanto riguarda il **CO** i valori dei fattori di emissione relativi ai mezzi pesanti sono sui tre cicli di guida sostanzialmente confrontabili con quelli dei leggeri diesel e dei leggeri a benzina di più recente immatricolazione; su ciclo urbano, i leggeri a benzina più vecchi (immatricolati fino al 94) risultano essere i veicoli commerciali con i fattori di emissione di CO più alti (*figura 2.34*).

Per la **CO<sub>2</sub>** (*figura 2.35*), invece, il contributo emissivo fornito dai mezzi pesanti supera notevolmente quello dei mezzi leggeri.

Infine con riferimento al **PM** su ciclo urbano (*figura 2.36*), risulta evidente come sia per i commerciali pesanti che per quelli leggeri ci sia un netto miglioramento per le recenti immatricolazioni, per le quali i fattori di emissione medi sono pressochè confrontabili.

Per **ciclomotori** e **motocicli** viene presentato un confronto su ciclo di guida urbano, extraurbano e

autostradale, da cui si evidenzia che le emissioni per veicolo-km dei motocicli prevalgono su quelle dei ciclomotori in misura considerevole per gli  $\text{NO}_x$  (figura 2.37), e in modo significativo per il CO (figura 2.39) e per la  $\text{CO}_2$  (figura 2.40). I ciclomotori invece forniscono un contributo emissivo particolarmente elevato nel caso dei COVNM (figura 2.38).



• Figura 2.27

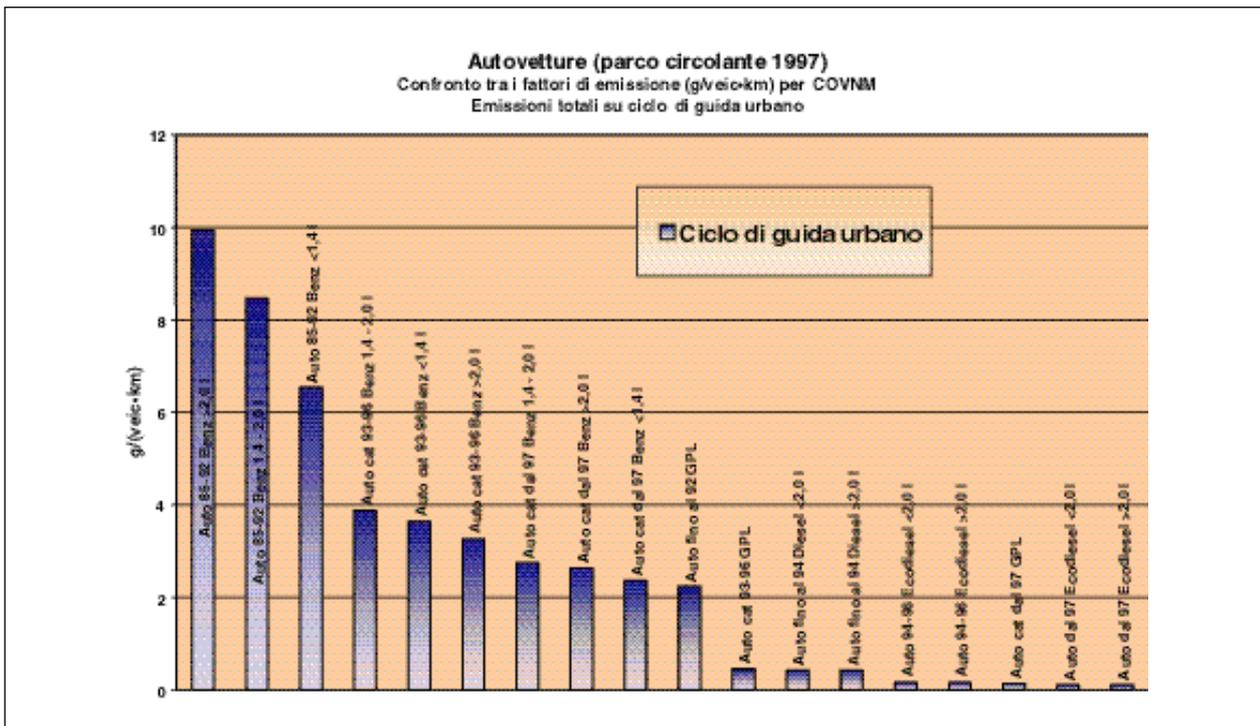


Figura 2.28 •

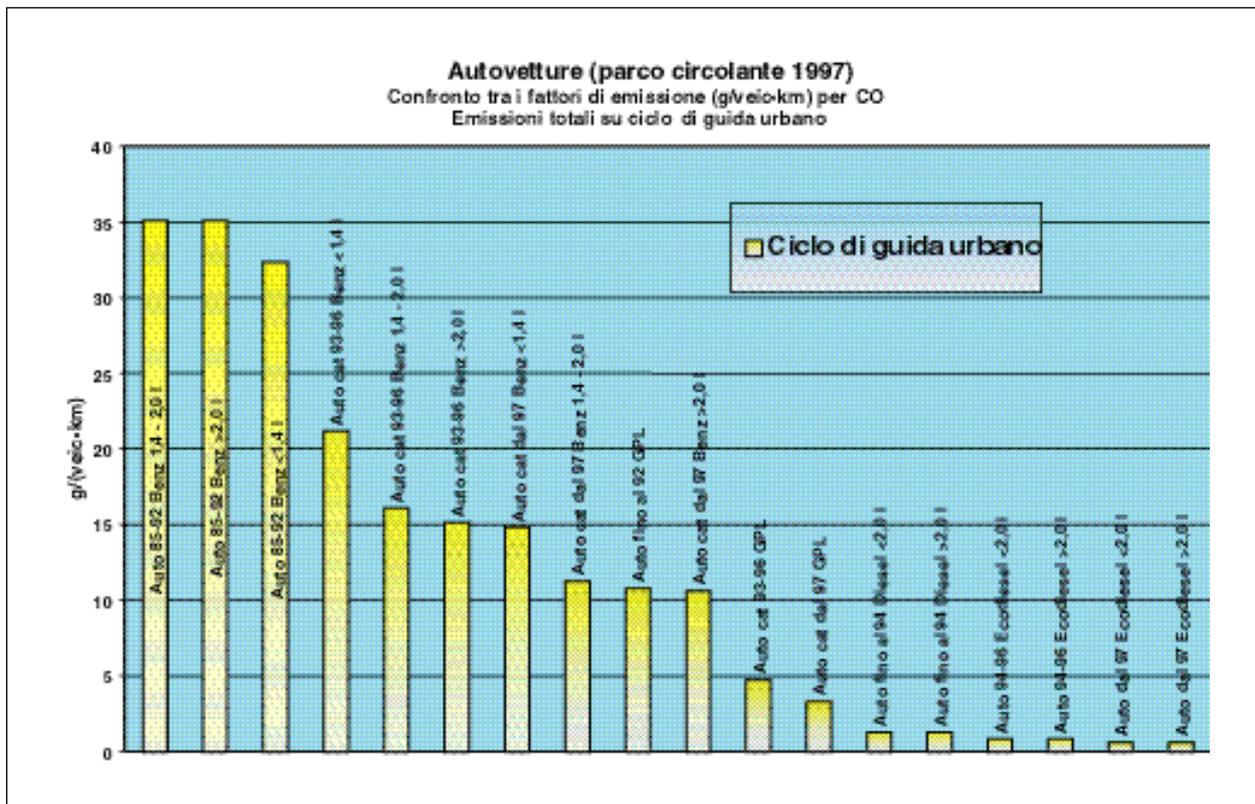


Figura 2.29

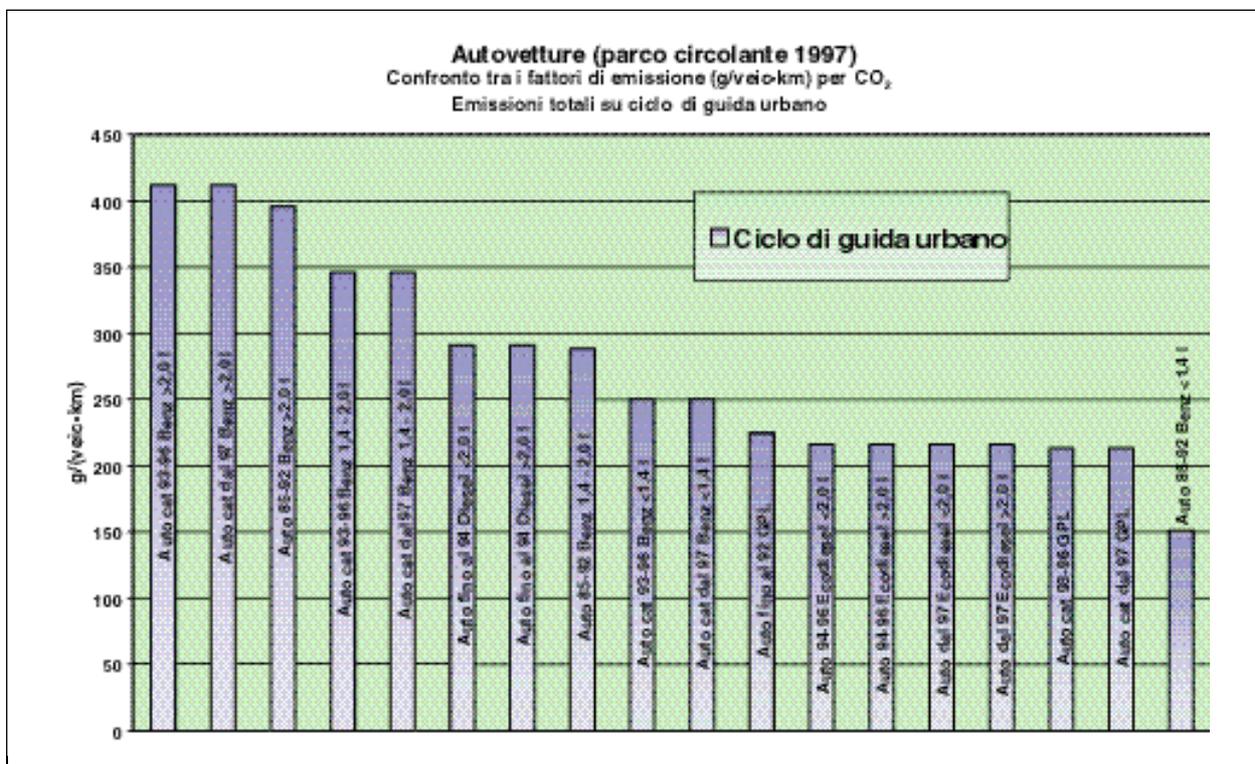
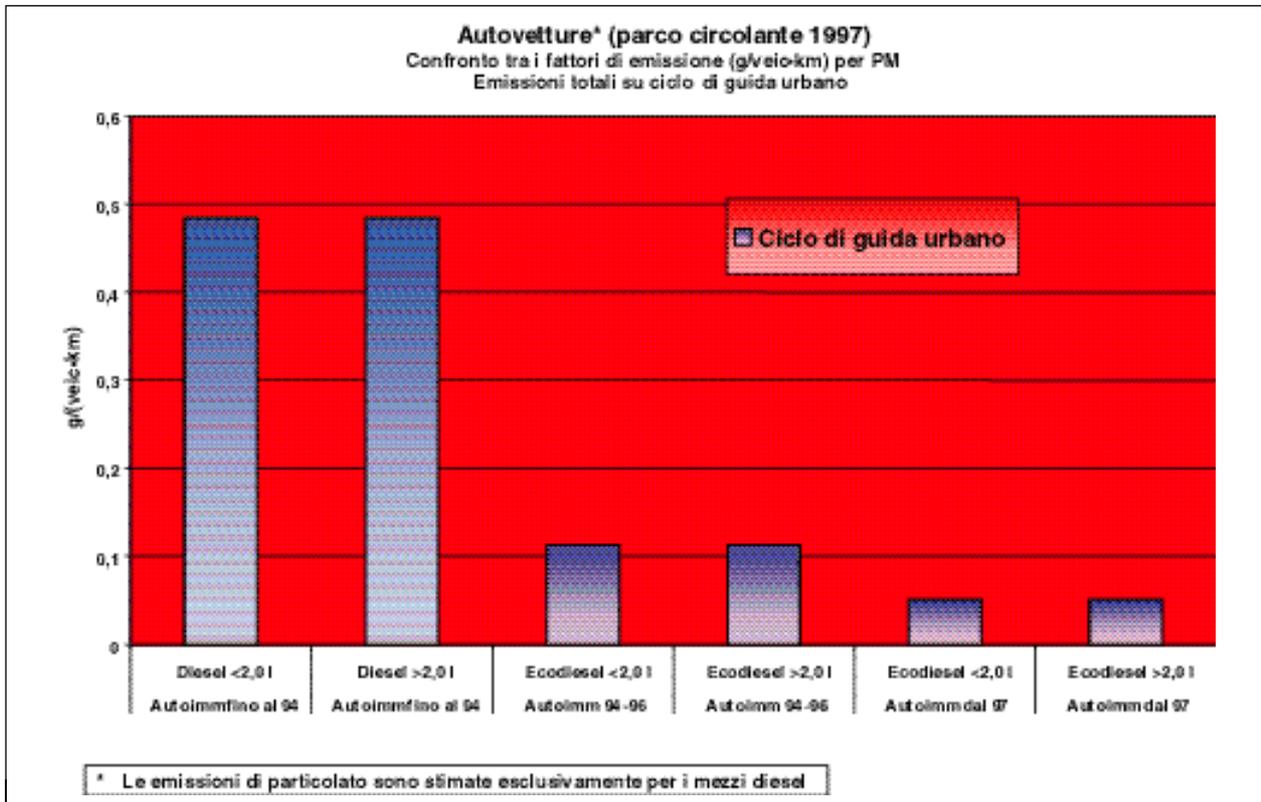
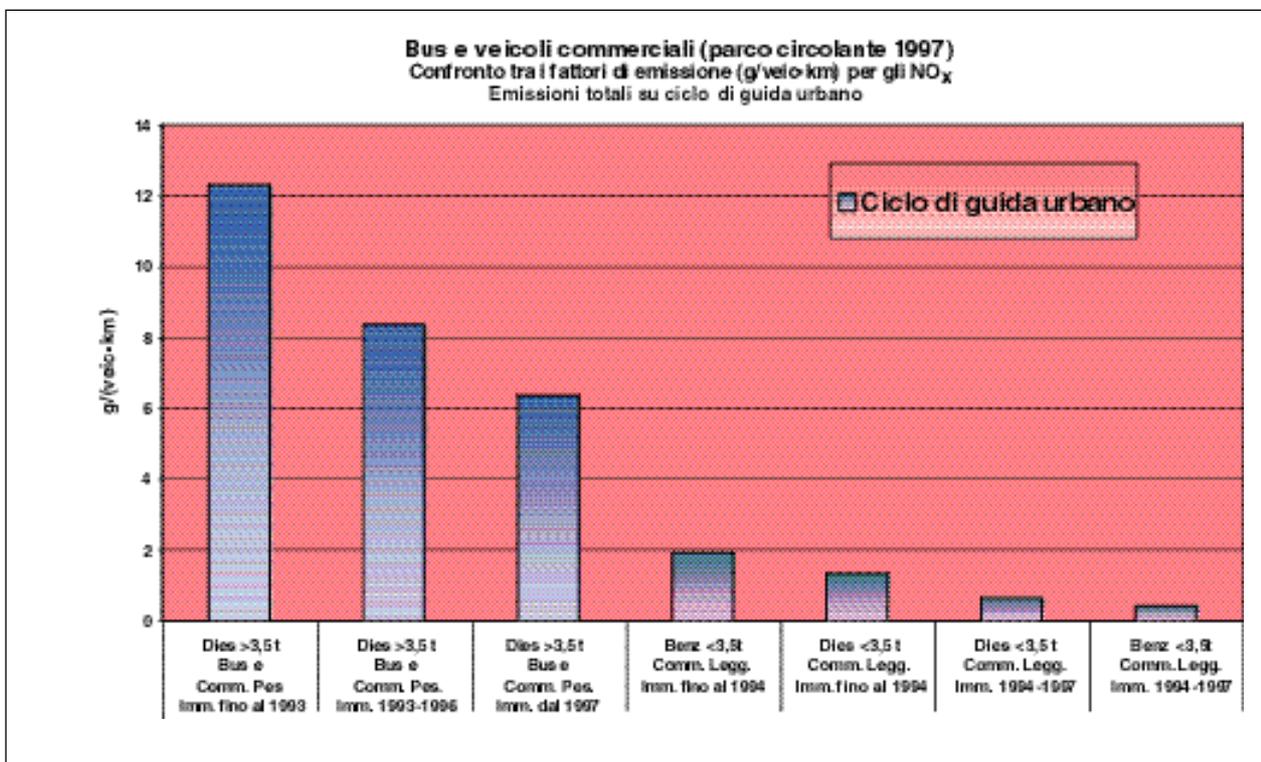


Figura 2.30



• Figura 2.31



• Figura 2.32

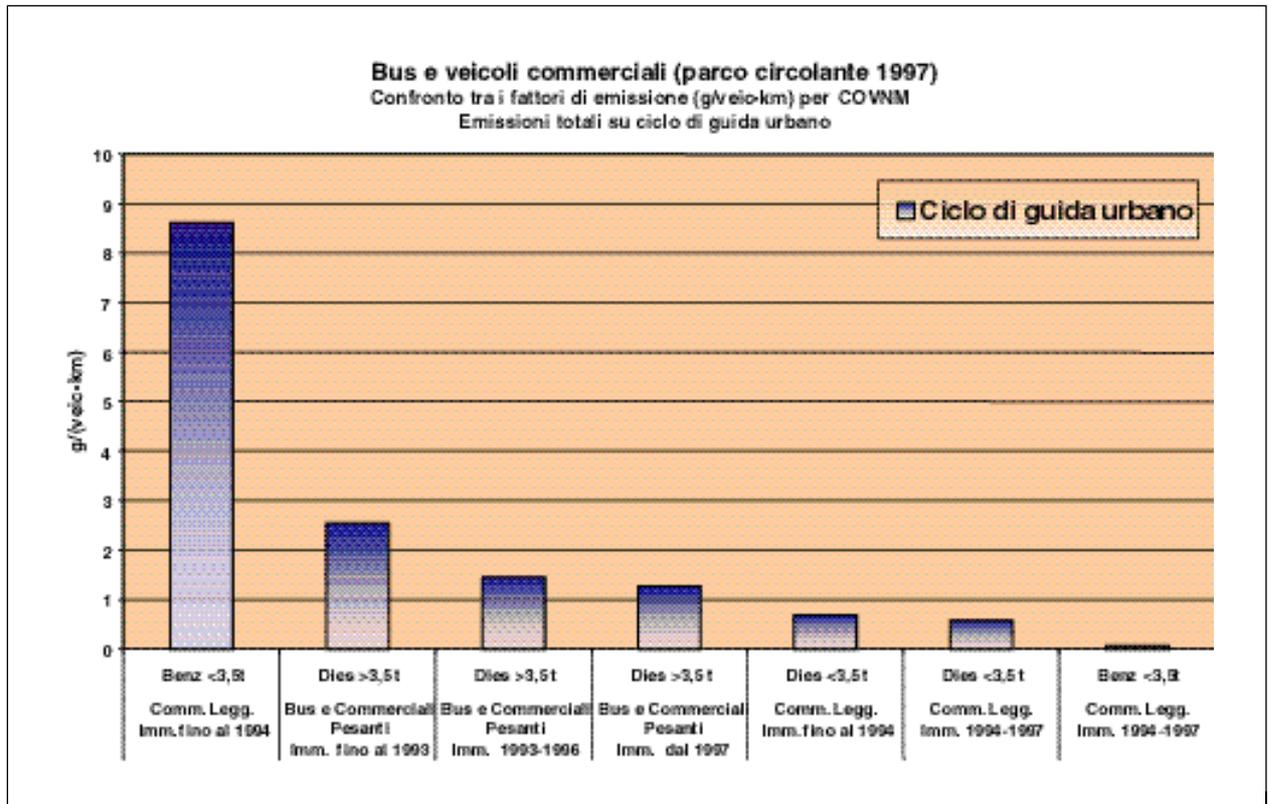


Figura 2.33

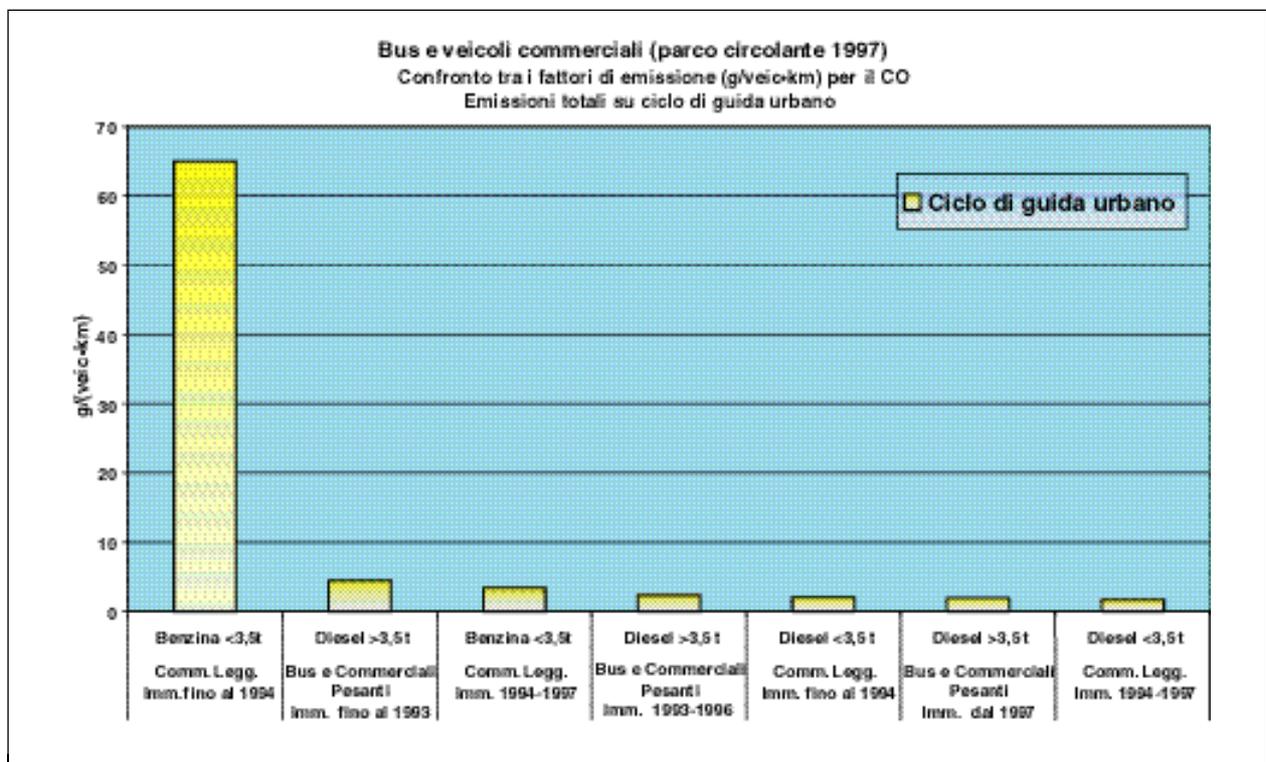
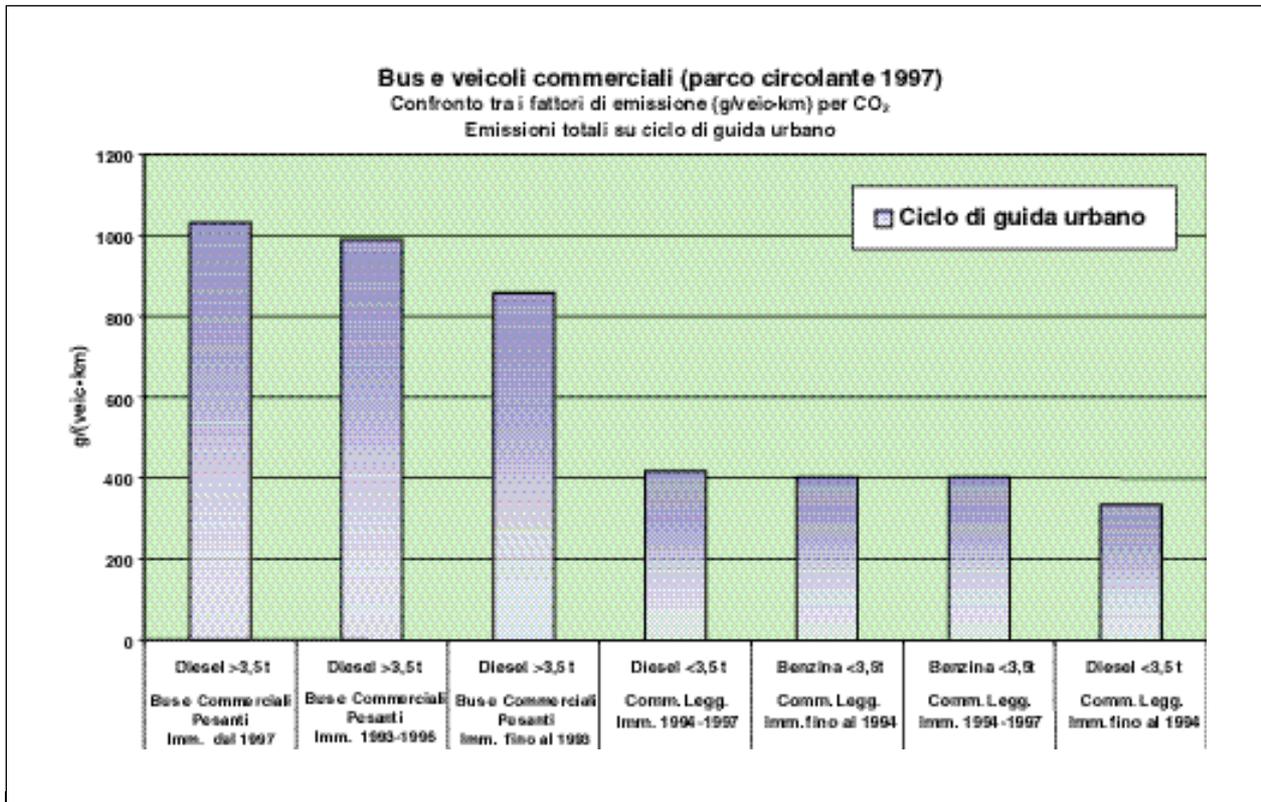


Figura 2.34



• Figura 2.35

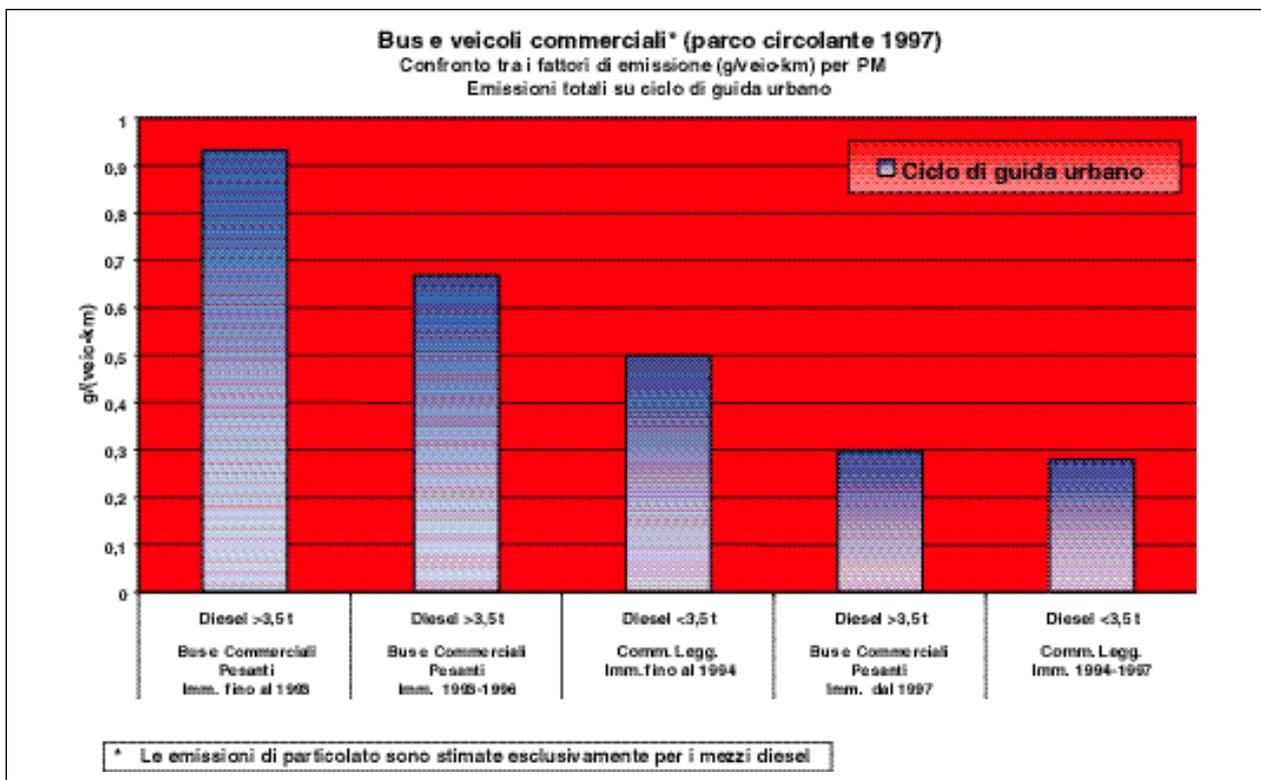


Figura 2.36 •

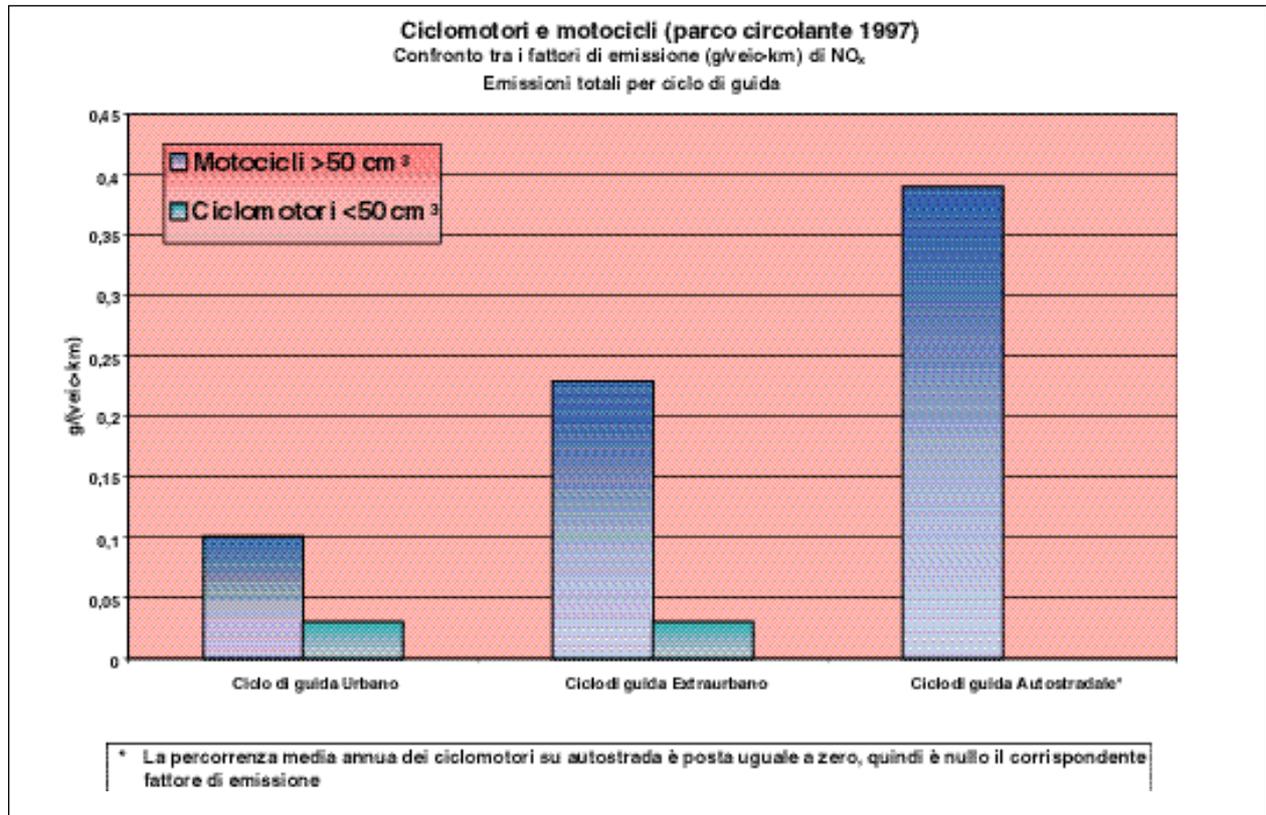


Figura 2.37

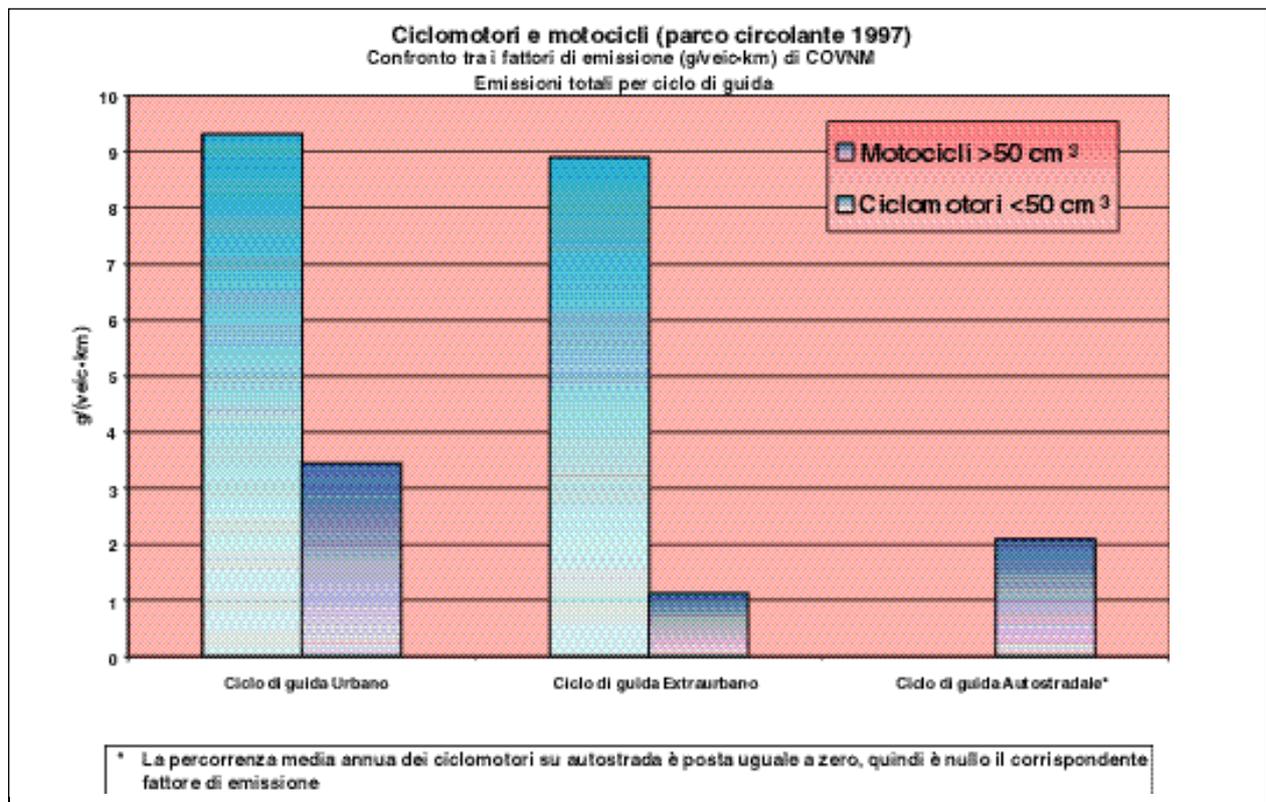
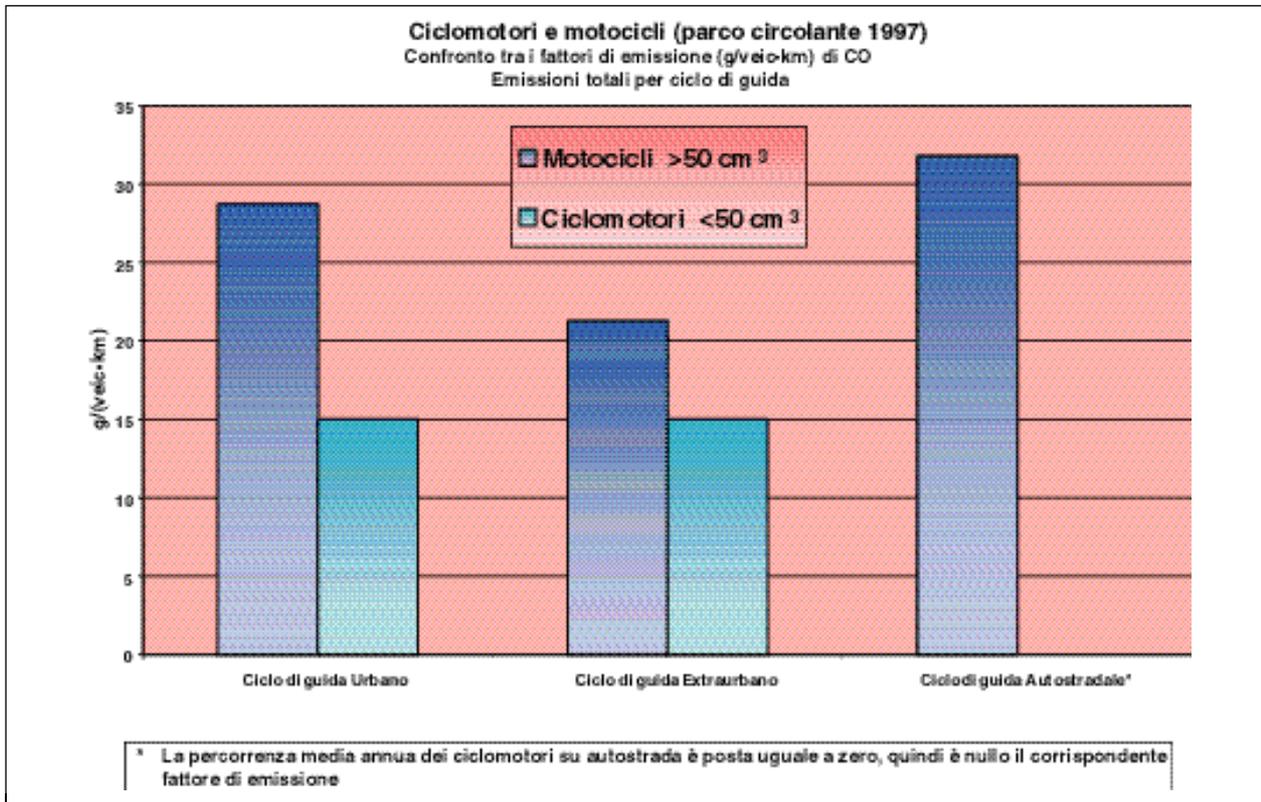


Figura 2.38



• Figura 2.39

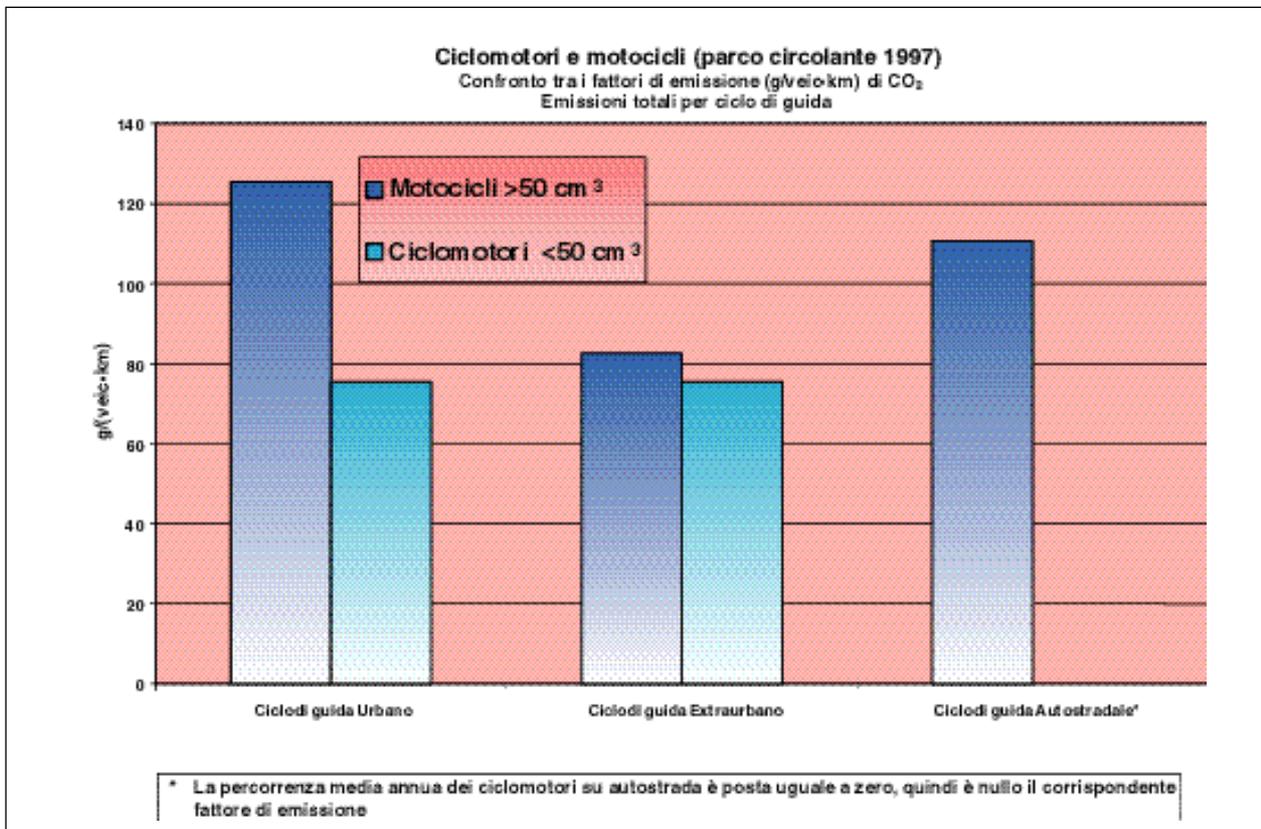


Figura 2.40 •

### 3. I FATTORI DI EMISSIONE RIFERITI AI CONSUMI DI CARBURANTE

I fattori di emissione riferiti ai consumi di carburante vengono calcolati rapportando il valore di emissione di ogni categoria di veicoli, per ogni ciclo di guida e percorso, al corrispondente dato di consumo di carburante (benzina, gasolio o GPL). Il valore stimato esprime quindi la quantità di inquinante emessa (espressa in g) per ogni chilogrammo di carburante consumato dal veicolo.

Questo indicatore permette di evidenziare, in un confronto tra categorie omogenee di veicoli, il contributo specifico di emissione di ciascuno di essi, in *relazione al consumo di carburante*.

I dati completi per ogni tipologia di veicolo, ciclo di guida e modalità di percorrenza sono riportati in *appendice 3*.

Qui di seguito, a titolo di esempio, verranno analizzati e presentati in dettaglio i risultati per il caso delle autovetture, mentre nel successivo paragrafo verrà presentato uno studio comparativo tra tutte le categorie veicolari del parco circolante 1997 basato sulle emissioni per unità di energia consumata riferito a ciascuna delle sostanze emesse in aria considerate in questo studio.

#### 3.1 I FATTORI DI EMISSIONE MEDI PER LE AUTOVETTURE

Per quanto riguarda gli  $\text{NO}_x$  è interessante notare che per le autovetture a benzina (*figura 3.1*) non catalizzate i fattori di consumo “a caldo” su ciclo urbano risultano superiori ai corrispondenti valori calcolati sul totale (hot + cold). Ciò è dovuto al fatto che il *surplus* di consumo di benzina dovuto al funzionamento “a freddo” del veicolo (cui corrisponde circa il 30% del consumo totale), è tale da sopravanzare l’aumento di emissione che corrisponde allo stesso funzionamento “a freddo”. Lo stesso avviene sul ciclo di guida extraurbano per le autovetture a benzina non catalizzate di media e grossa cilindrata. Si ricorda che COPERT ipotizza nullo il consumo “a freddo” di carburante delle autovetture sul ciclo di guida autostradale (così come avviene per le emissioni “a freddo”, sempre su ciclo autostradale), cosicché su questo tipo di percorso, il consumo “a caldo” coincide con quello totale.

Sempre in relazione agli  $\text{NO}_x$ , un’interpretazione del tutto simile può essere fatta analizzando i grafici dei fattori di emissione riferiti ai consumi delle autovetture diesel (*figura 3.2*) e GPL (*figura 3.3*). Su ciclo di guida urbano ed extraurbano, sono osservabili valori dei fattori “a caldo” che superano quelli calcolati sul totale, con differenze solo in alcuni casi significative (ad es. per le auto a GPL non catalizzate, su ciclo urbano).

Per quanto riguarda i  $\text{COVNM}$ , un dato che risulta immediatamente evidenziabile (*figura 3.4*) è la riduzione dei fattori di emissione riferiti ai consumi delle autovetture a benzina, corrispondente all’introduzione dei dispositivi catalitici e osservabile per i veicoli immatricolati nel periodo 1993-96; a questa prima generazione di autovetture dotate di dispositivi catalitici ne è subentrata una seconda caratterizzata da tecnologie ancor più efficienti nell’abbattimento di questi composti e corrispondente alla normativa 94/12/EEC.

Con il passaggio alle catalizzate di nuova generazione (immatricolate a partire dal 1997), i fattori di emissione assumono valori leggermente inferiori a quelli delle macchine catalizzate di prima generazione. Infine, ancora per le macchine a benzina, si evidenzia, similmente per le tre classi di anzianità, un trend decrescente dei fattori riferiti al consumo su ciclo urbano, passando dalle vetture più “piccole” a quelle di grossa cilindrata.

Per le autovetture diesel (*figura 3.5*) e GPL (*figura 3.6*), i fattori di emissione dei  $\text{COVNM}$  riferiti ai consumi risultano decrescenti nel passaggio dalle categorie più vecchie a quelle di più recente immatricolazione e nel passaggio dal ciclo urbano a quello extraurbano e infine autostradale.

Dunque, la riduzione delle emissioni riferite al consumo sembra sostanzialmente imputabile al

miglioramento delle prestazioni dei nuovi motori, soprattutto a velocità più sostenute ed in condizioni di guida più stabili, tipicamente autostradali.

Per il **CO** i fattori riferiti al consumo delle autovetture a benzina (*figura 3.7*) e diesel (*figura 3.8*) rispecchiano l'andamento precedentemente descritto a proposito dei fattori di consumo per i **COVNM** delle vetture diesel e GPL.

Si può osservare che il contributo di emissione (rispetto al consumo) "a freddo" delle autovetture a benzina su ciclo urbano influisce pesantemente nella determinazione del valore totale; nel caso delle autovetture catalizzate tali contributi arrivano a superare di cinque volte quelli dovuti al funzionamento "a caldo" dei veicoli. Per le autovetture a GPL (*figura 3.9*) i valori più elevati, per ciascuna delle categorie relative alle differenti classi di anzianità, si osservano su ciclo autostradale sia per quanto riguarda il percorso effettuato "a caldo" che per quello calcolato sul totale.

Per il **PM** (*figura 3.10*), si osserva una graduale riduzione dei fattori di emissione riferiti ai consumi delle autovetture diesel, passando dalle vetture più vecchie a quelle di più recente immatricolazione.

Per le autovetture immatricolate fino al 1994, i valori più elevati si registrano sul ciclo di guida urbano, dove i contributi di emissione dovuti al funzionamento "a freddo" del veicolo risultano significativi. Tra le nuove eco-diesel si osservano invece valori mediamente più elevati su ciclo autostradale piuttosto che su quello urbano o extraurbano.

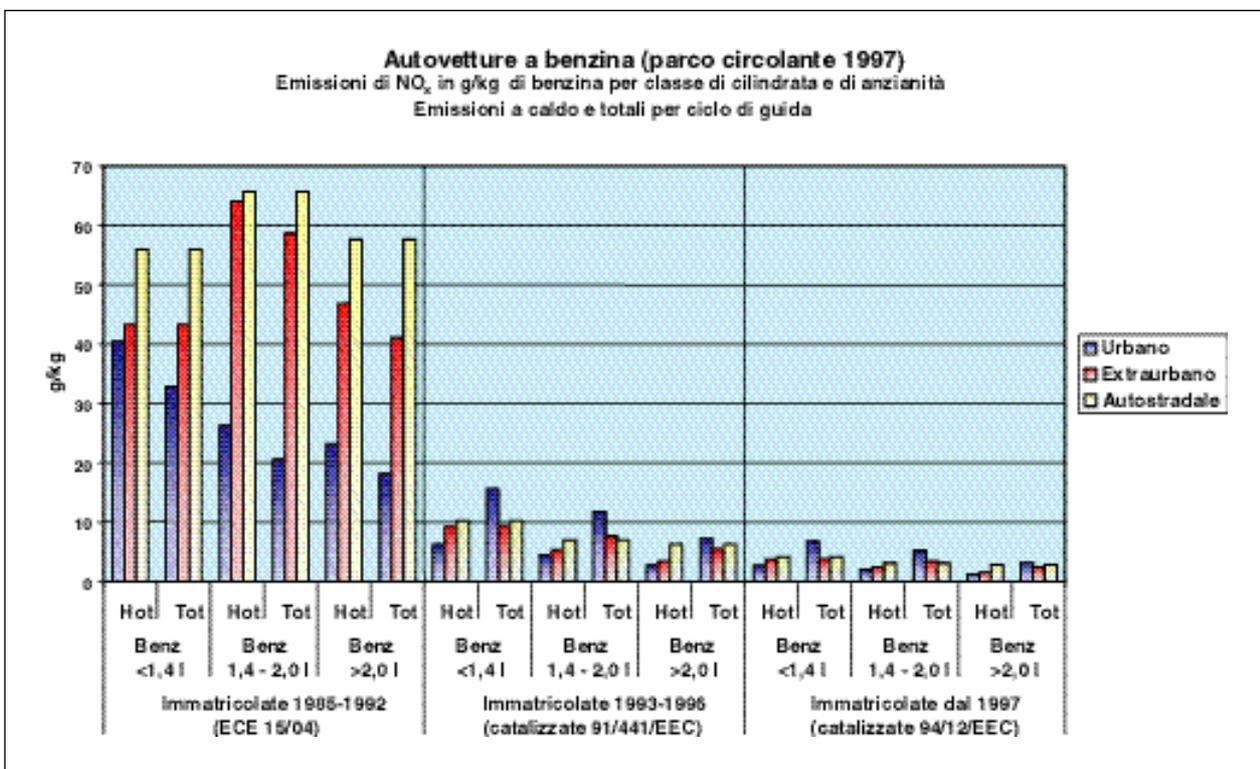


Figura 3.1 •

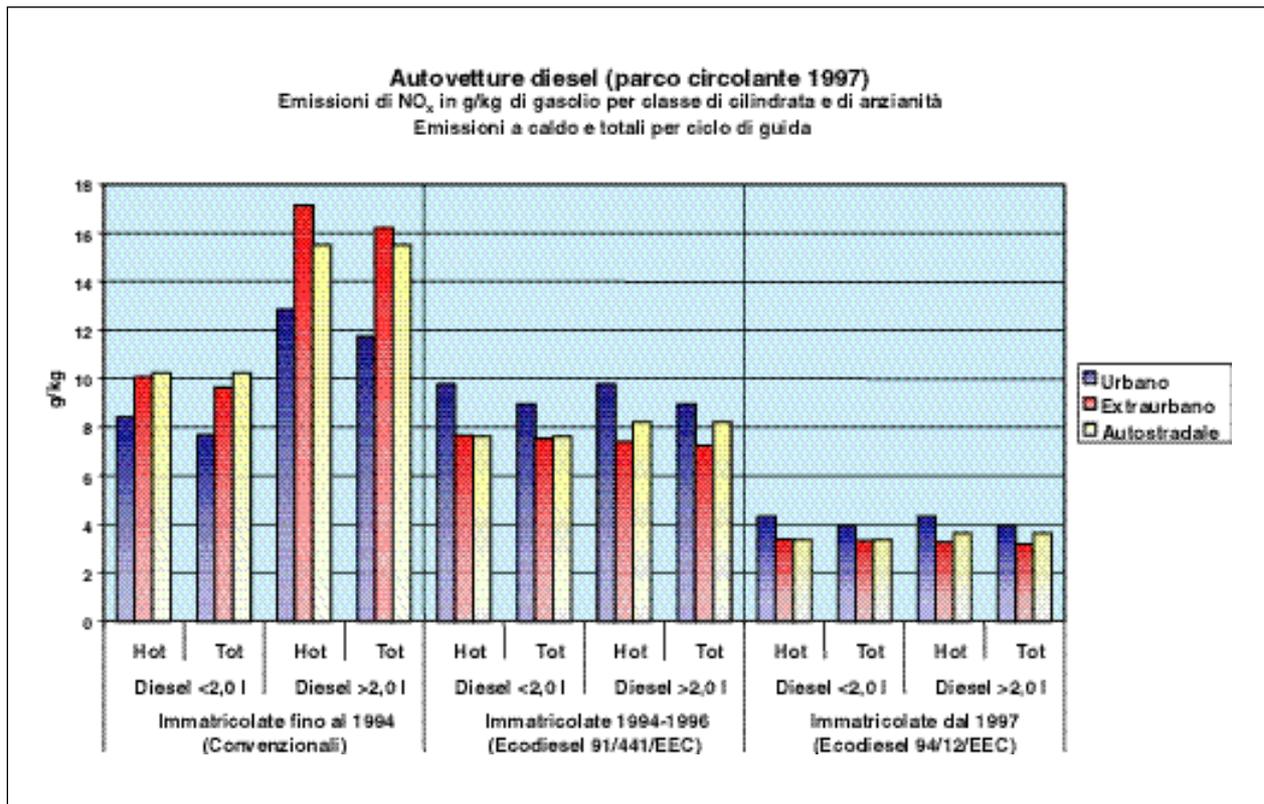


Figura 3.2

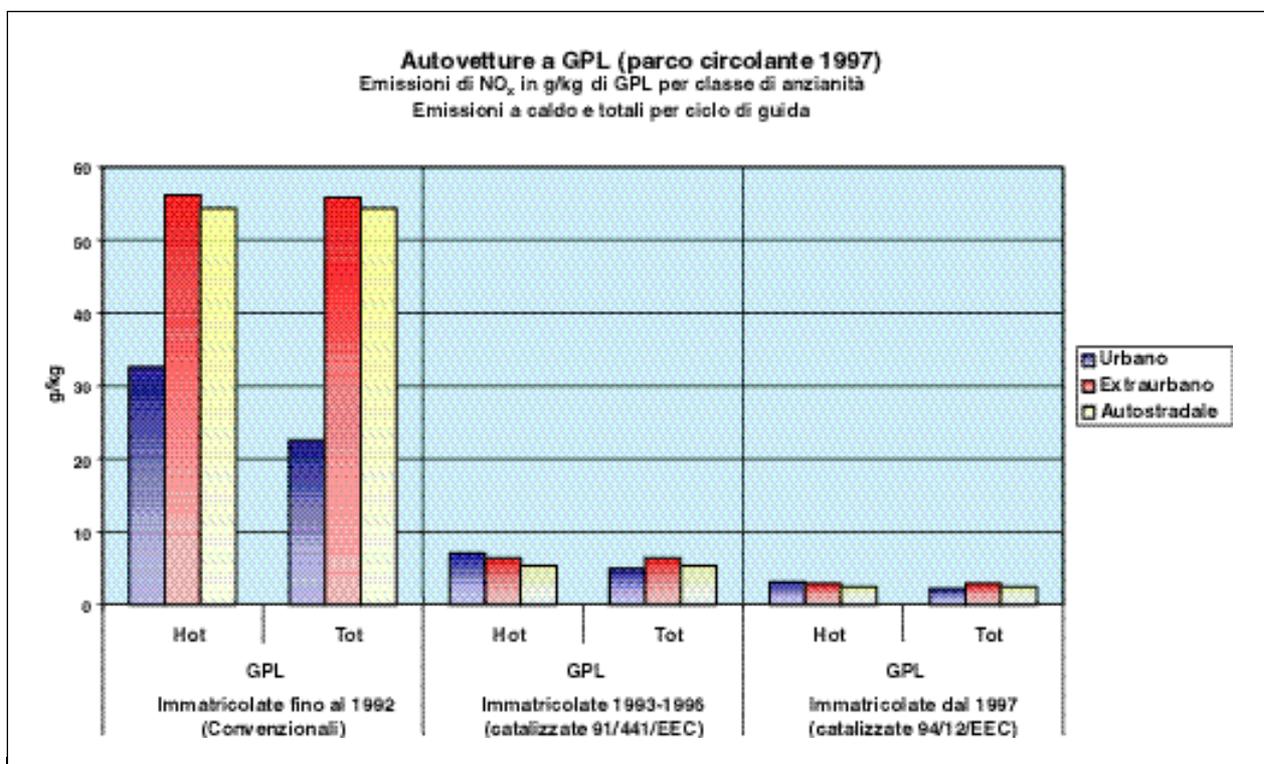
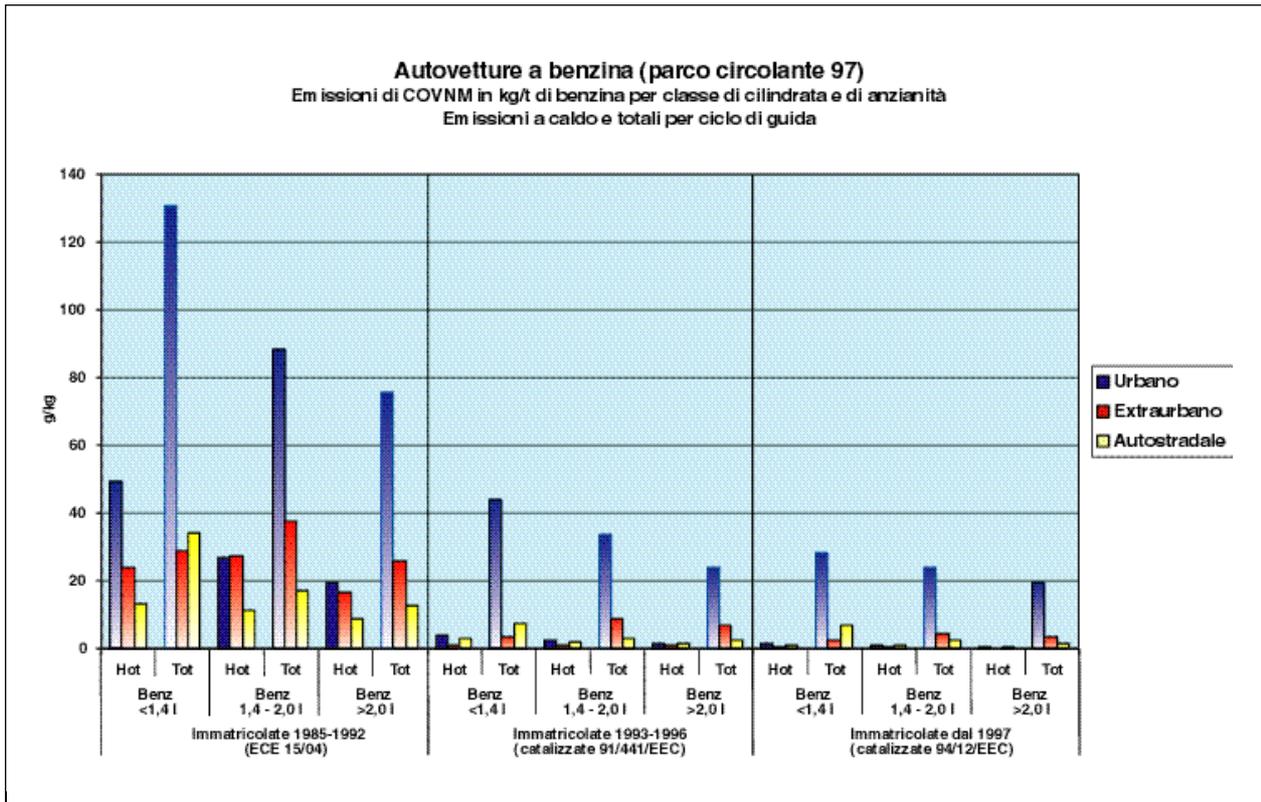
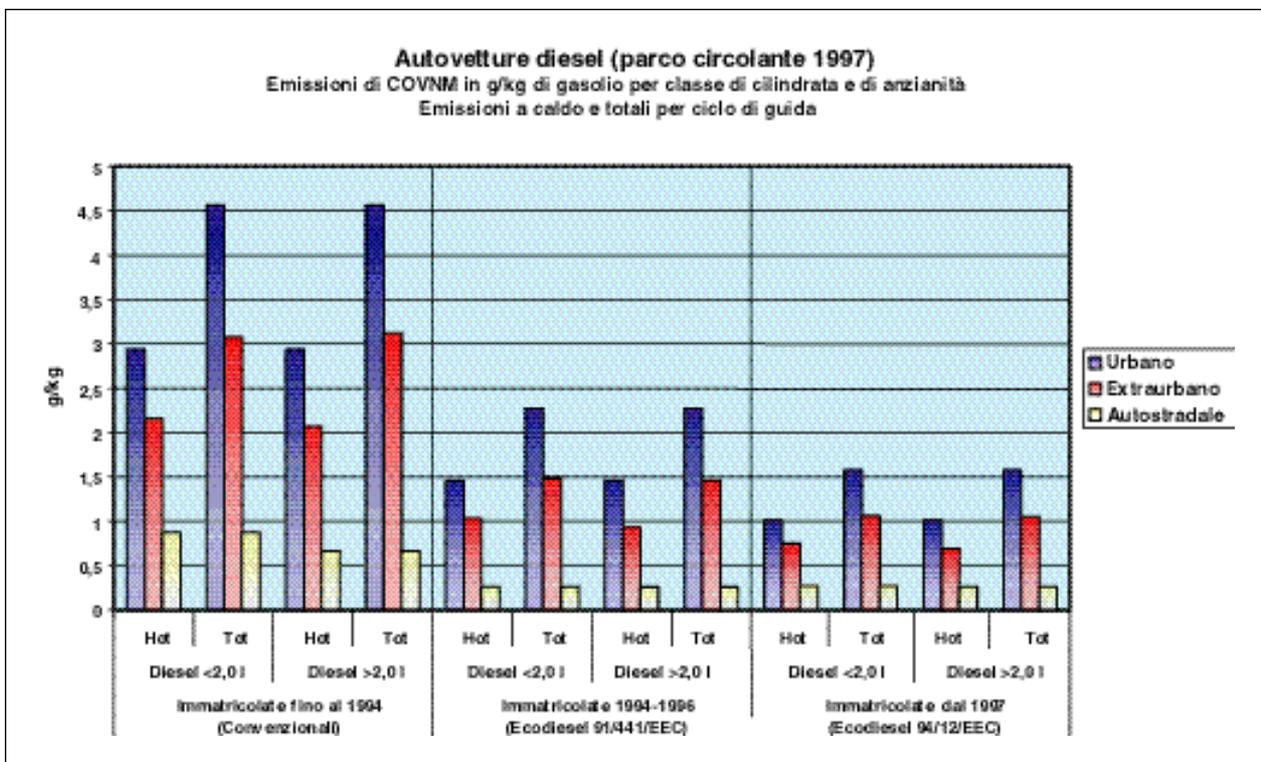


Figura 3.3



• Figura 3.4



• Figura 3.5

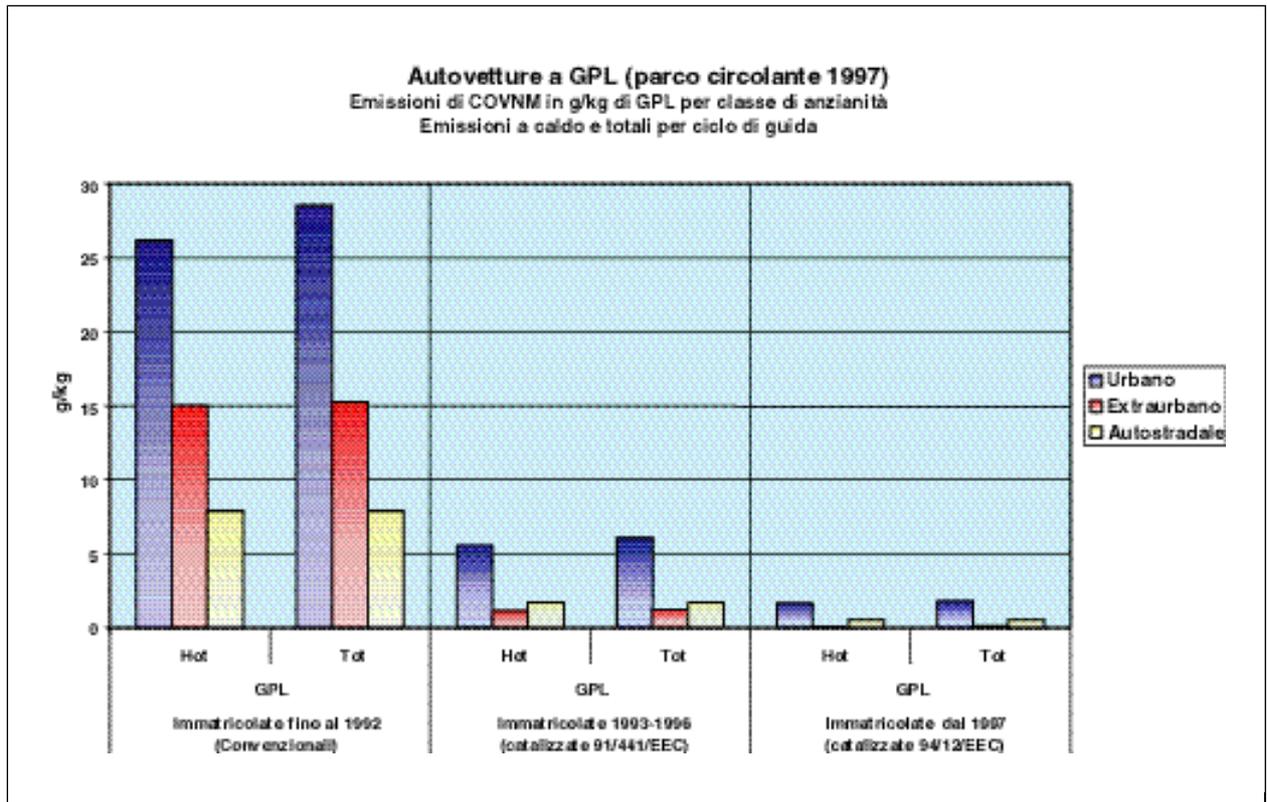


Figura 3.6

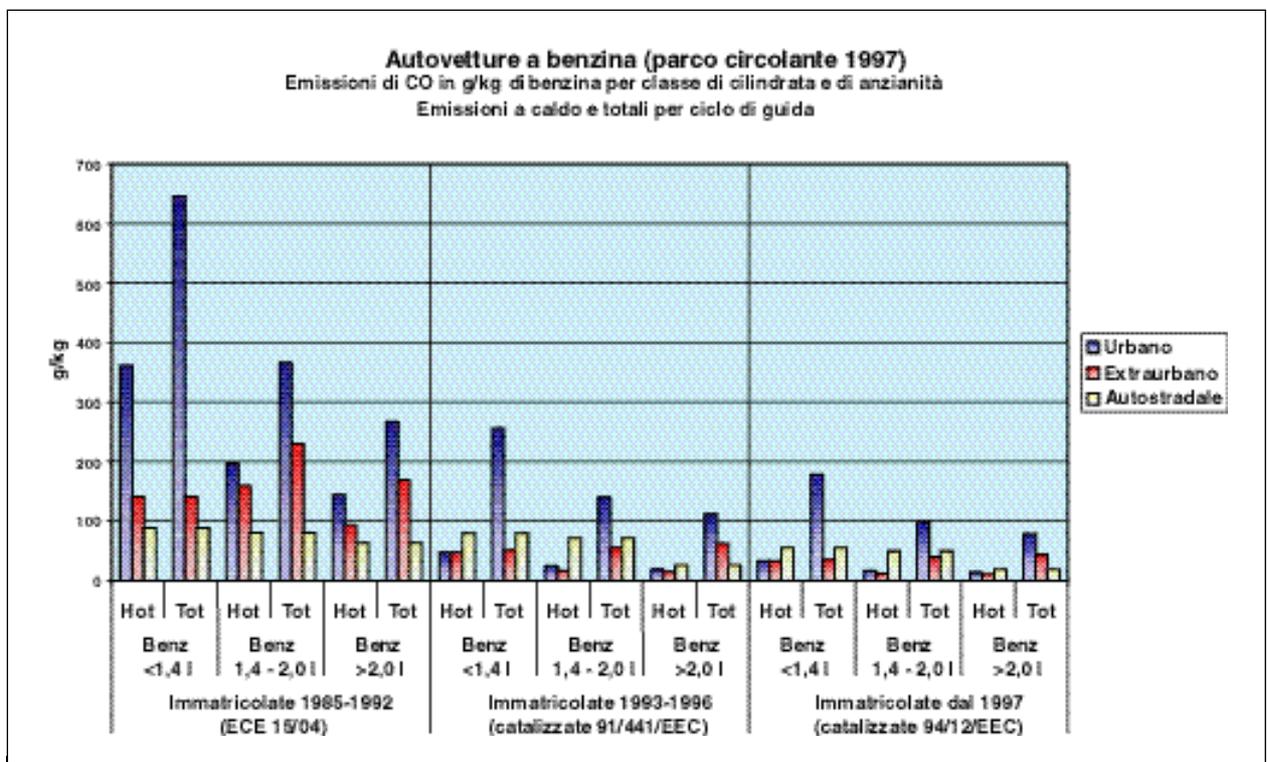
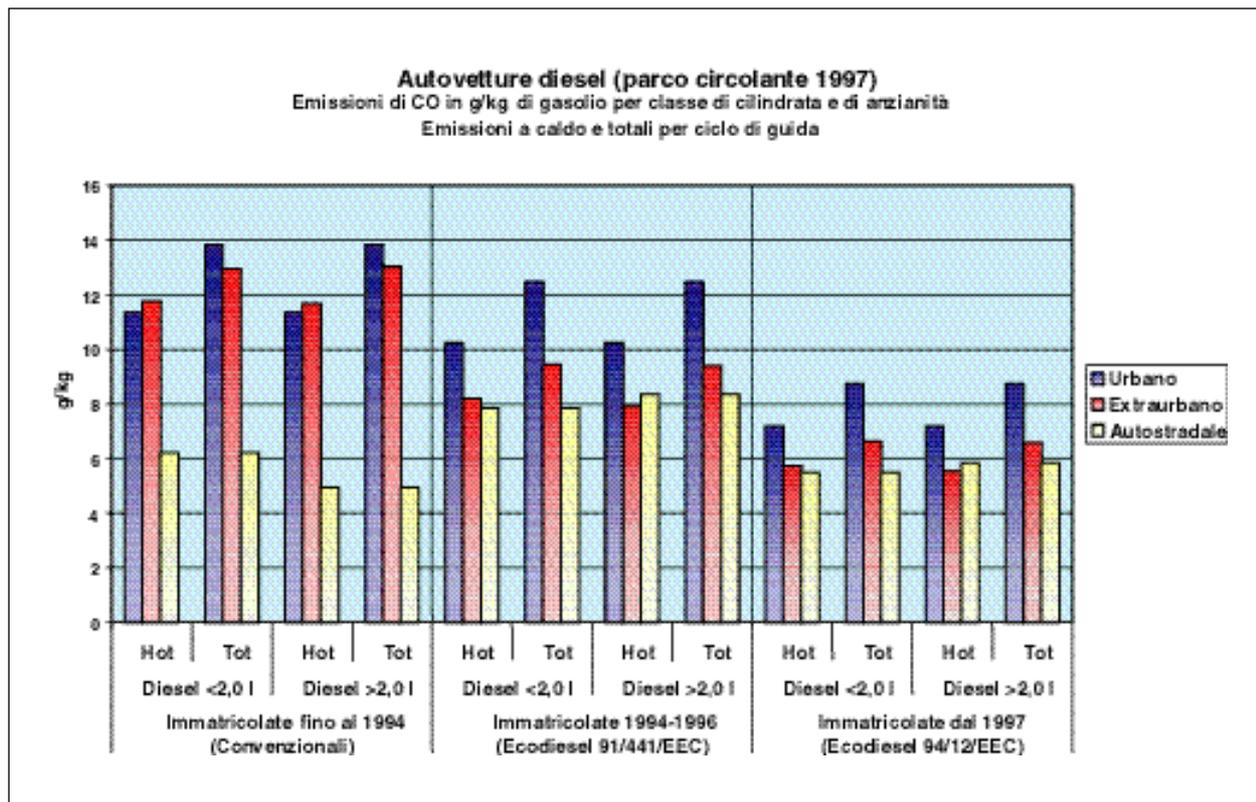


Figura 3.7



• Figura 3.8

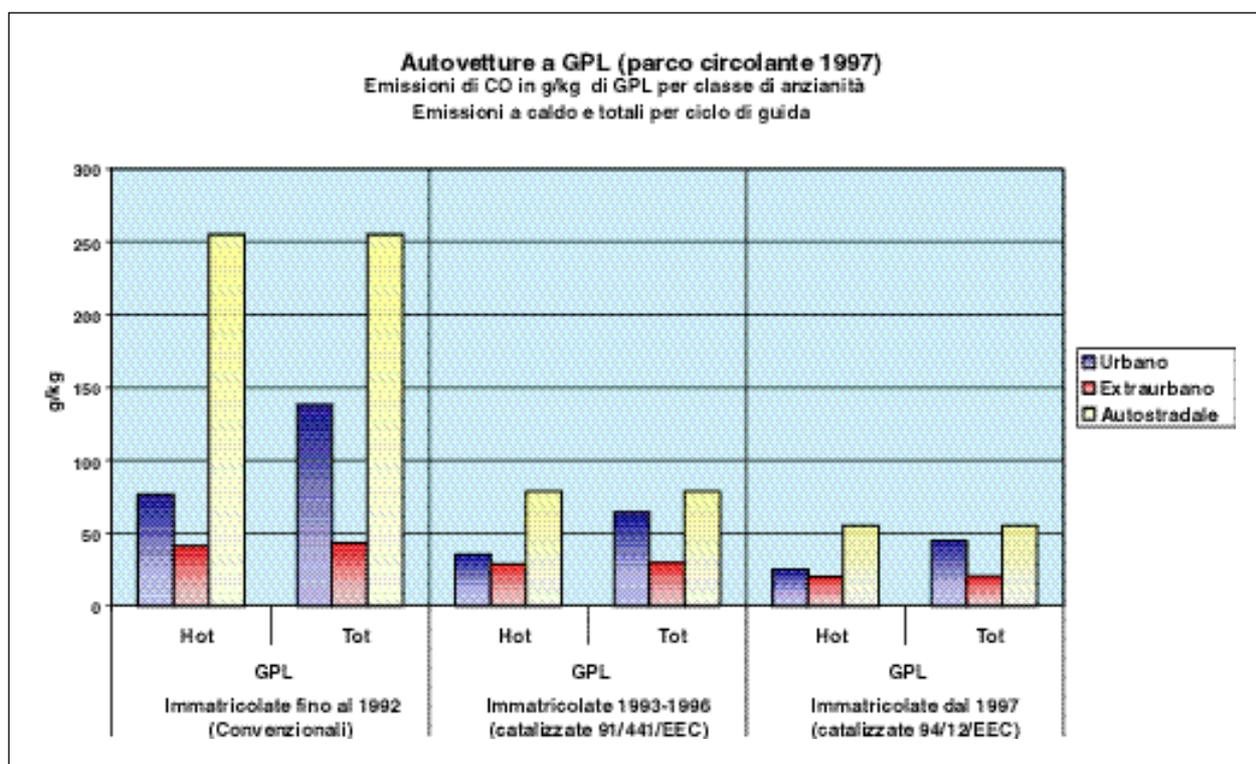


Figura 3.9 •

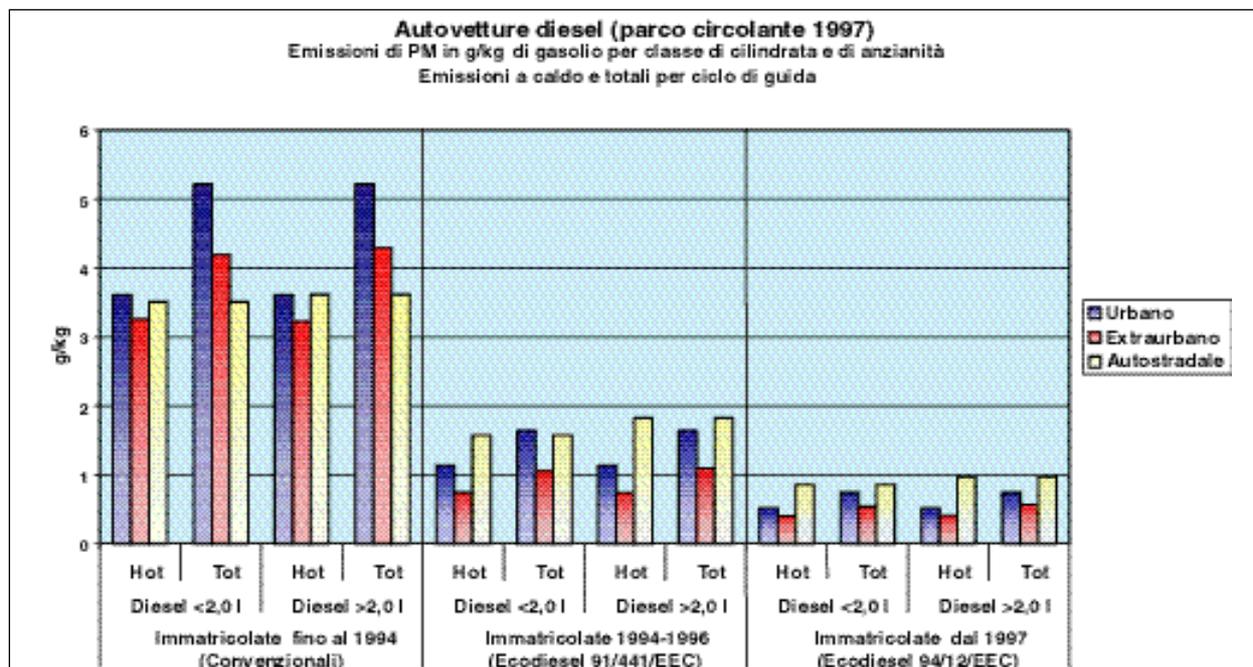


Figura 3.10 •

### 3.2 CONFRONTO TRA LE CATEGORIE VEICOLARI IN BASE AI FATTORI DI EMISSIONE MEDI PER UNITÀ DI ENERGIA

Per effettuare un confronto omogeneo, ovvero indipendente dal tipo di combustibile utilizzato, tra i fattori di emissione medi riferiti al consumo di carburante di tutte le categorie veicolari del parco circolante nel 1997, le emissioni sono state rapportate ai consumi di combustibile convertiti in joule.

Come unità di misura per la rappresentazione grafica si è scelto di esprimere l'entità dell'emissione in kg/GJ di combustibile consumato, in accordo con un uso ormai diffuso nel confronto dei consumi energetici dovuti all'uso di diversi carburanti.

Sono stati dunque utilizzati i seguenti coefficienti di conversione da tonnellate di combustibile a GJ (10<sup>9</sup> joule):

**Benzina** (t):  $(10,5 * 4,1868)^{-1}$  (GJ/t)

**Gasolio** (t):  $(10,2 * 4,1868)^{-1}$  (GJ/t)

**GPL** (t):  $(11,0 * 4,1868)^{-1}$  (GJ/t)

Nel seguito sono riportati i grafici dei fattori di emissione medi per unità di energia consumata calcolati sulla base delle emissioni per ciclo di guida e ordinati in senso decrescente.

In **figura 3.11** NO<sub>x</sub> su ciclo urbano

In **figura 3.12** NO<sub>x</sub> su ciclo extraurbano

In **figura 3.13** NO<sub>x</sub> su ciclo autostradale

In **figura 3.14** COVNM su ciclo urbano

In **figura 3.15** COVNM su ciclo extraurbano

In **figura 3.16** COVNM su ciclo autostradale

In **figura 3.17** CO su ciclo urbano

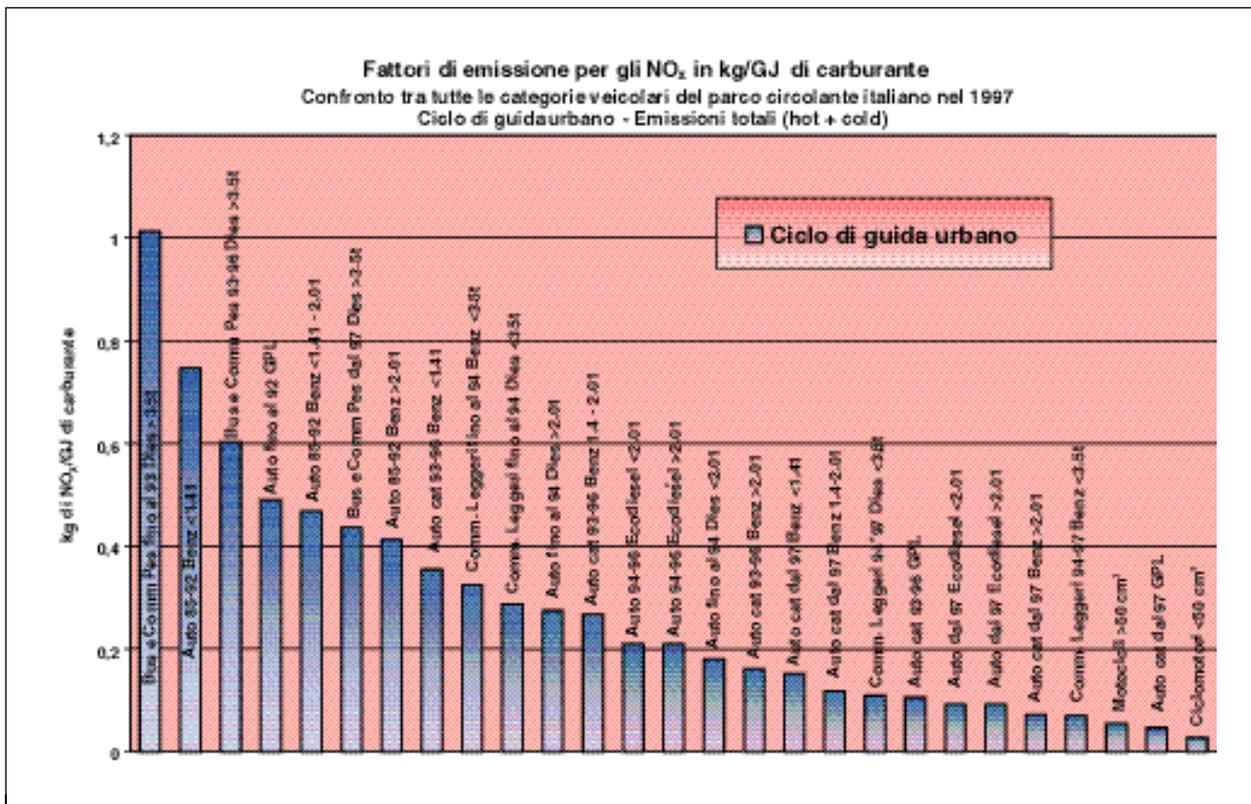
In **figura 3.18** CO su ciclo extraurbano

In **figura 3.19** CO su ciclo autostradale

In **figura 3.20** PM su ciclo urbano

In **figura 3.21** PM su ciclo extraurbano

In **figura 3.22** PM su ciclo autostradale



• Figura 3.11

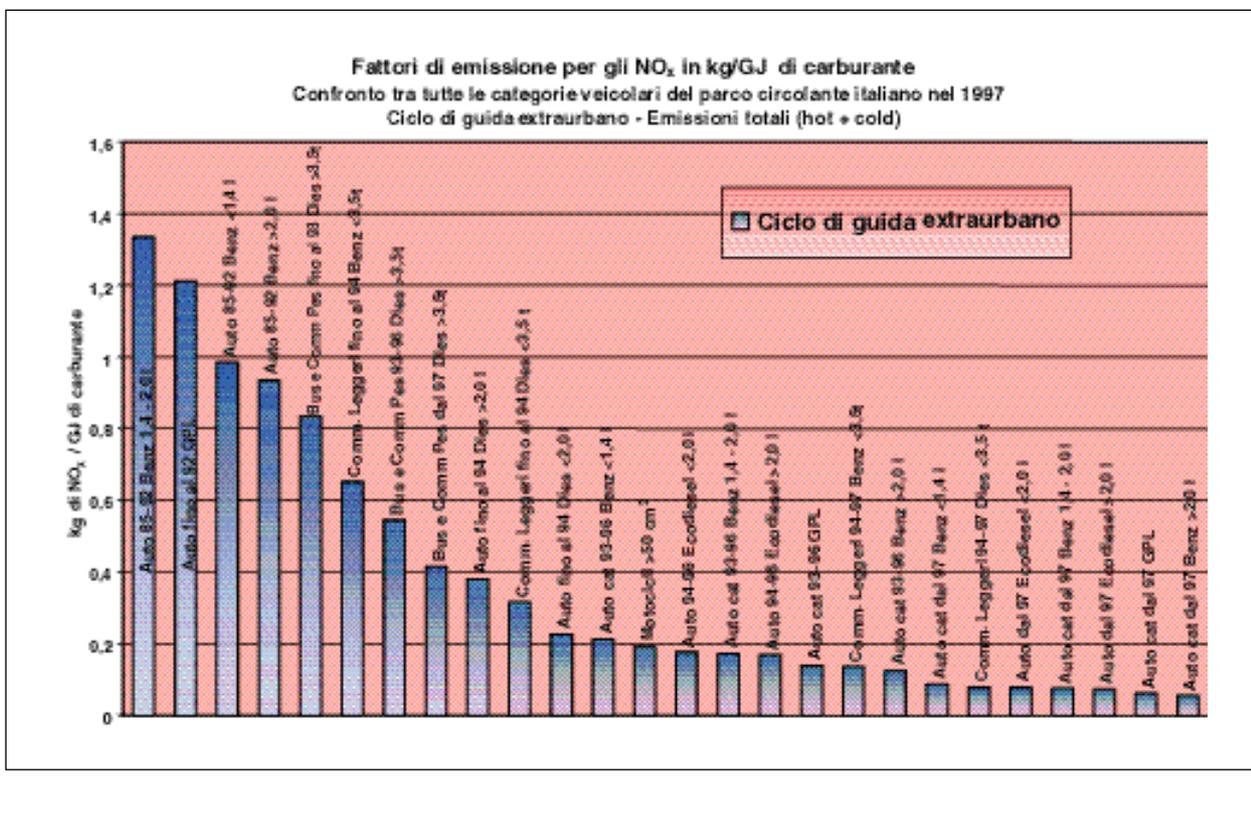


Figura 3.12 •

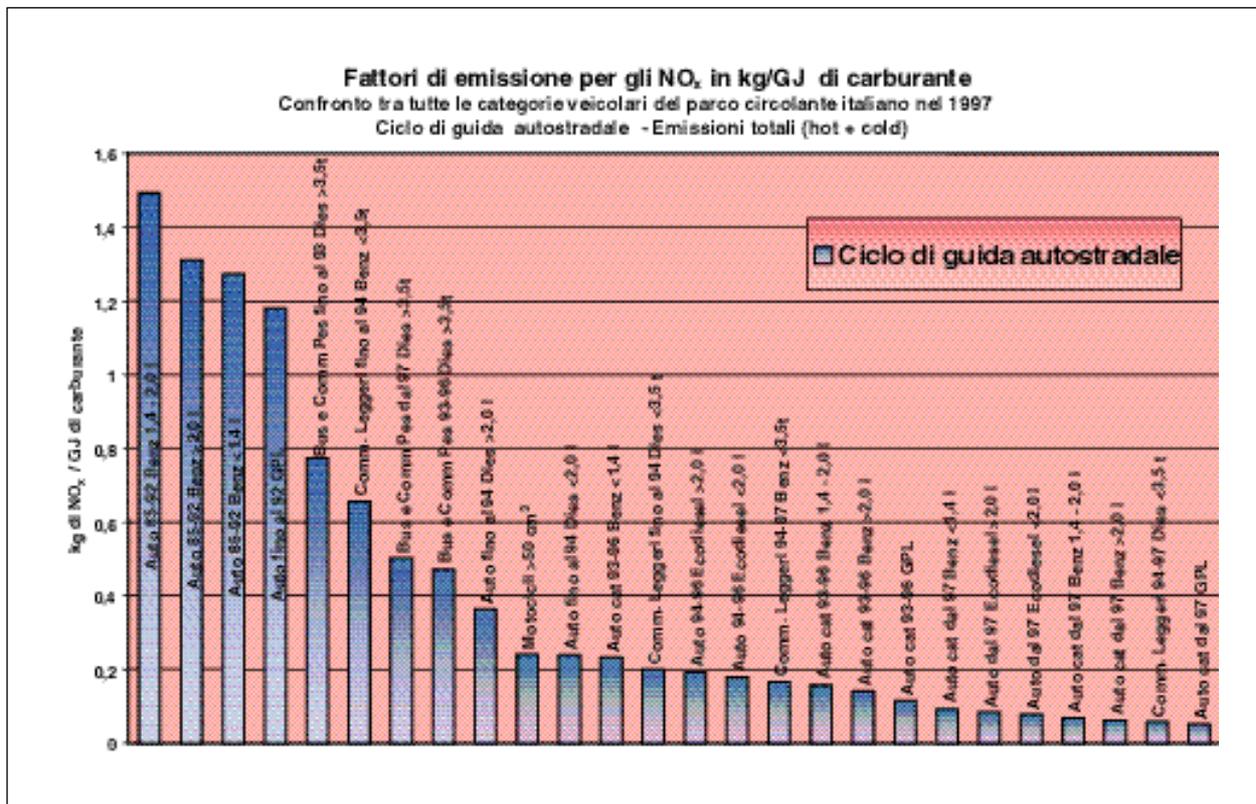


Figura 3.13

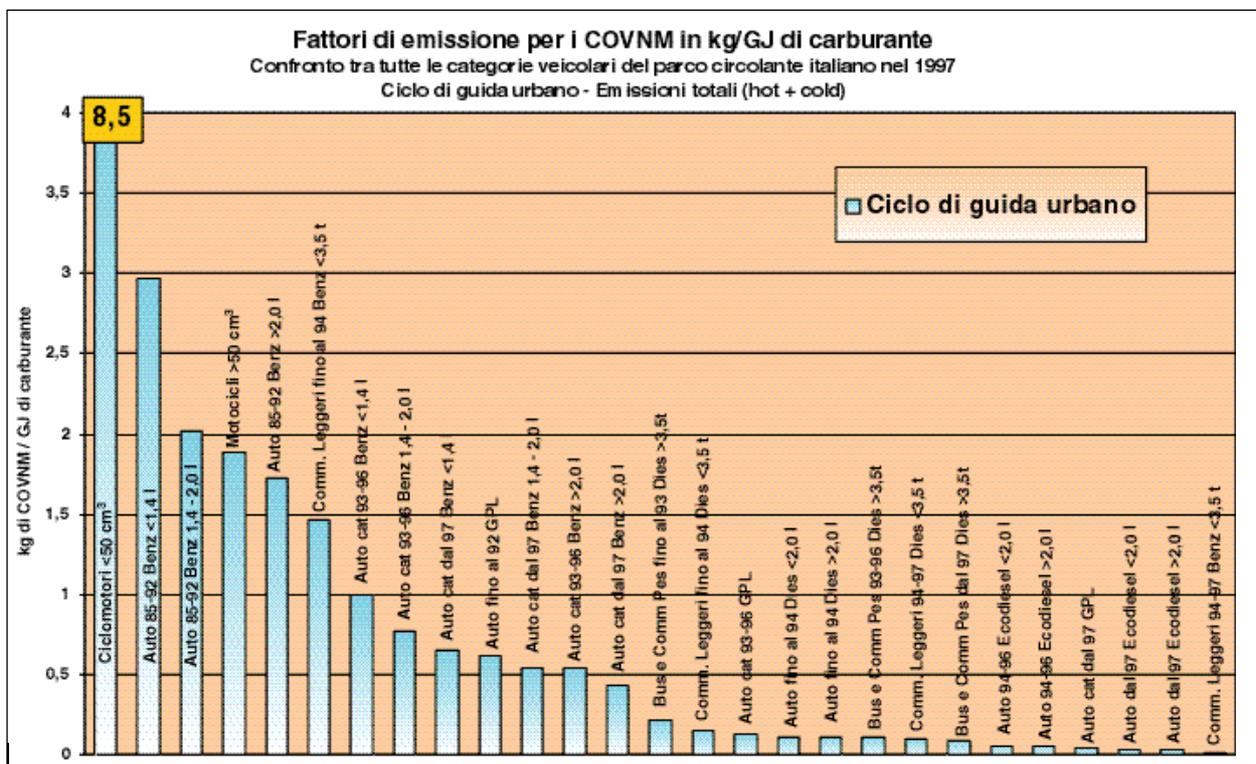
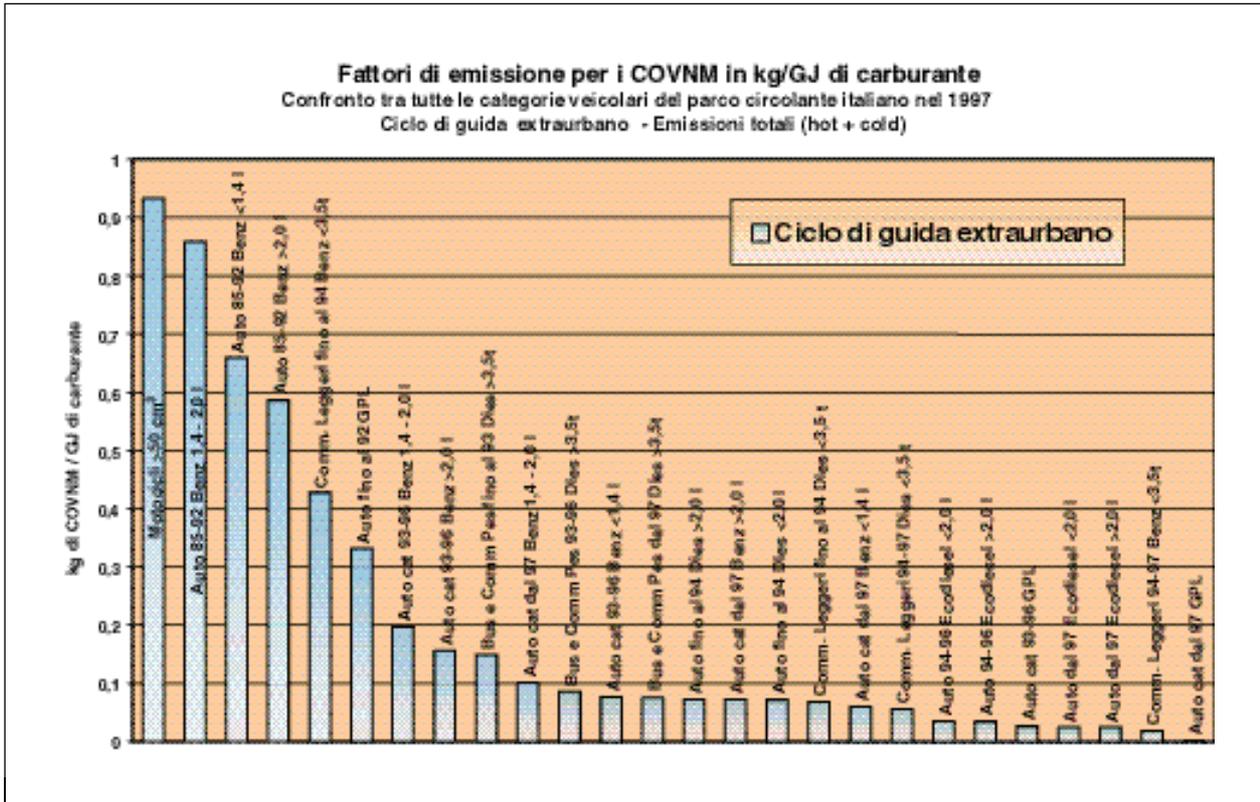
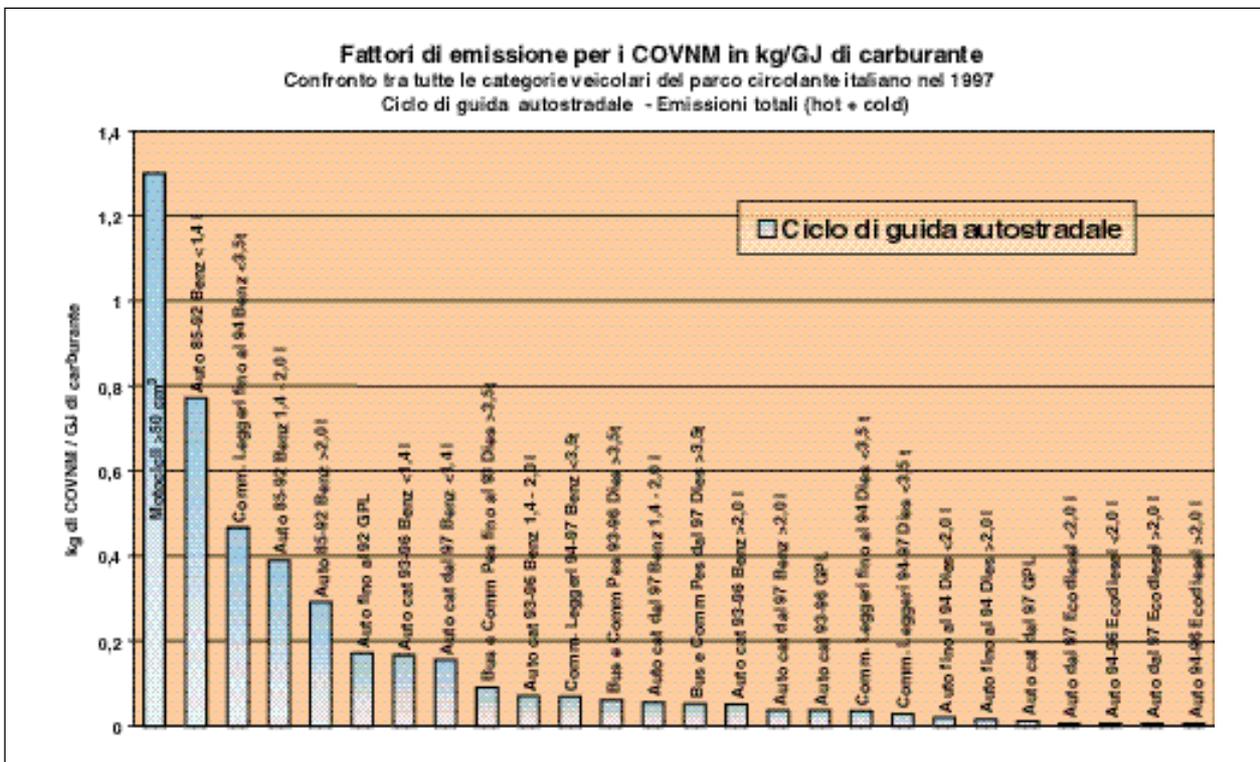


Figura 3.14



• Figura 3.15



• Figura 3.16

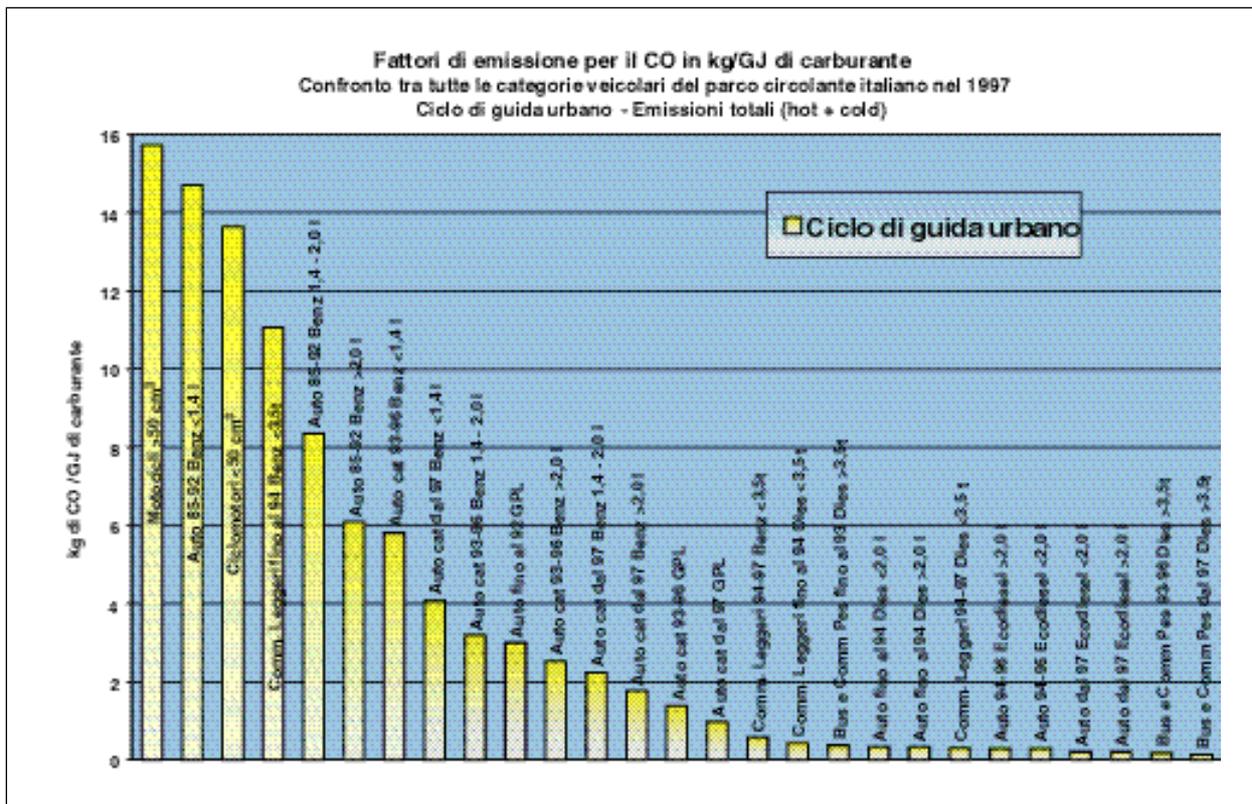


Figura 3.17

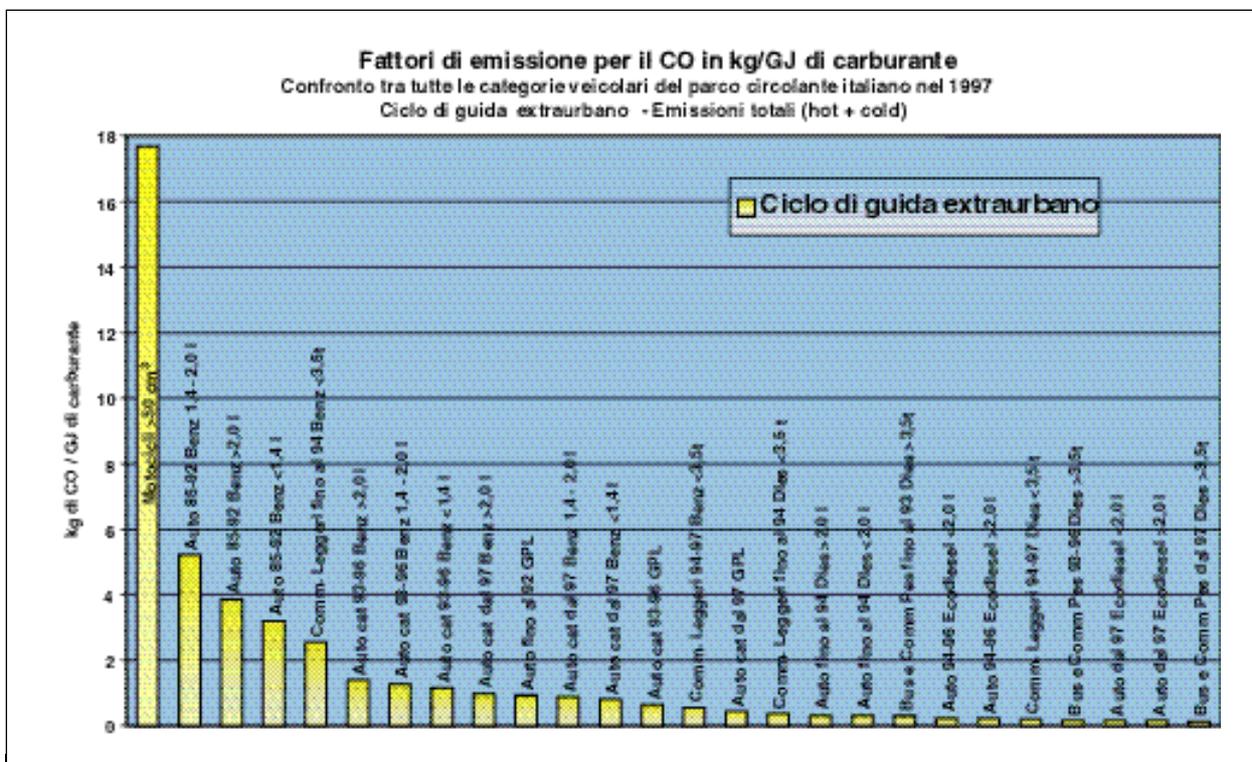


Figura 3.18

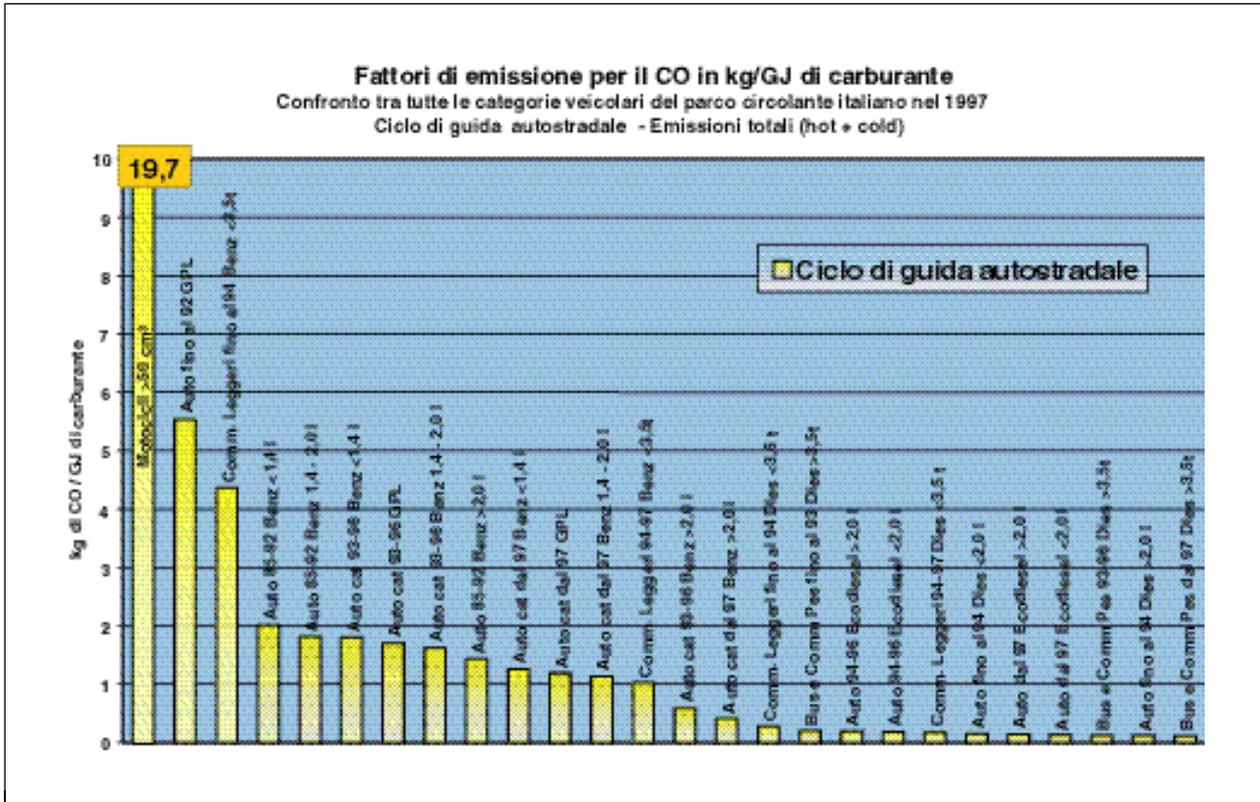


Figura 3.19

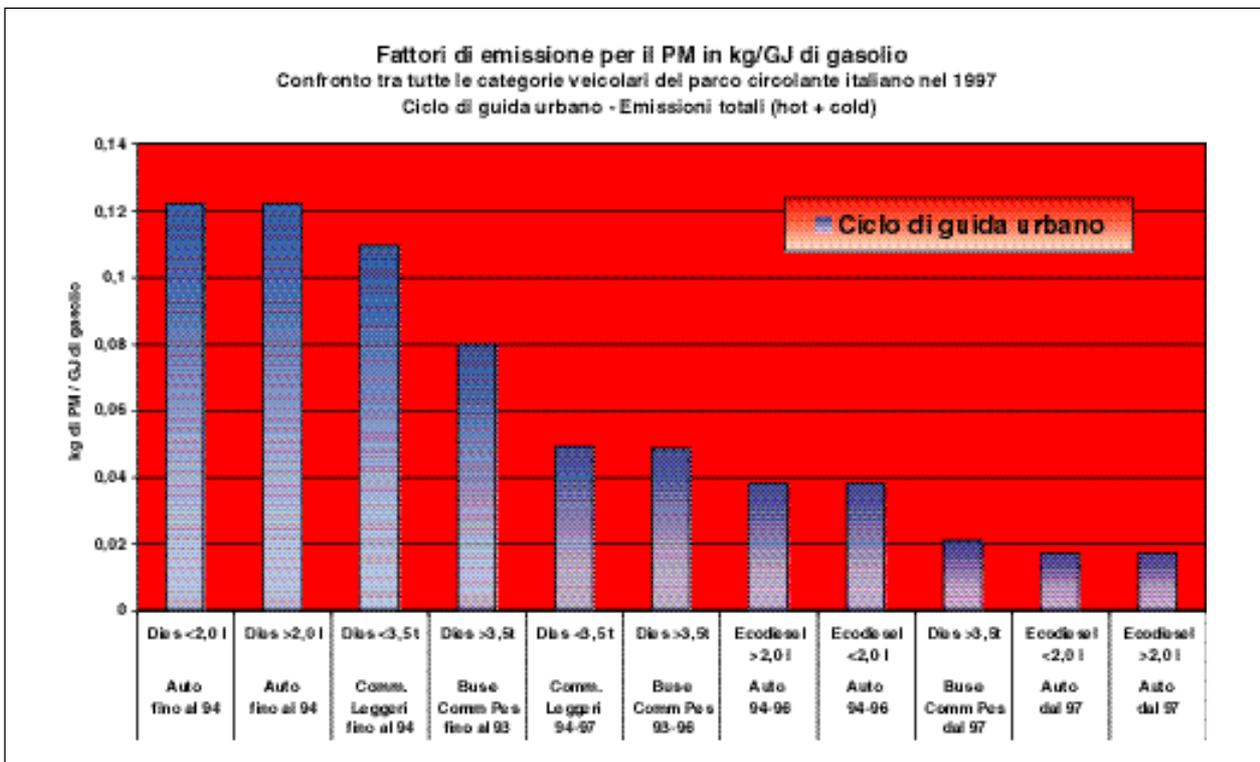


Figura 3.20

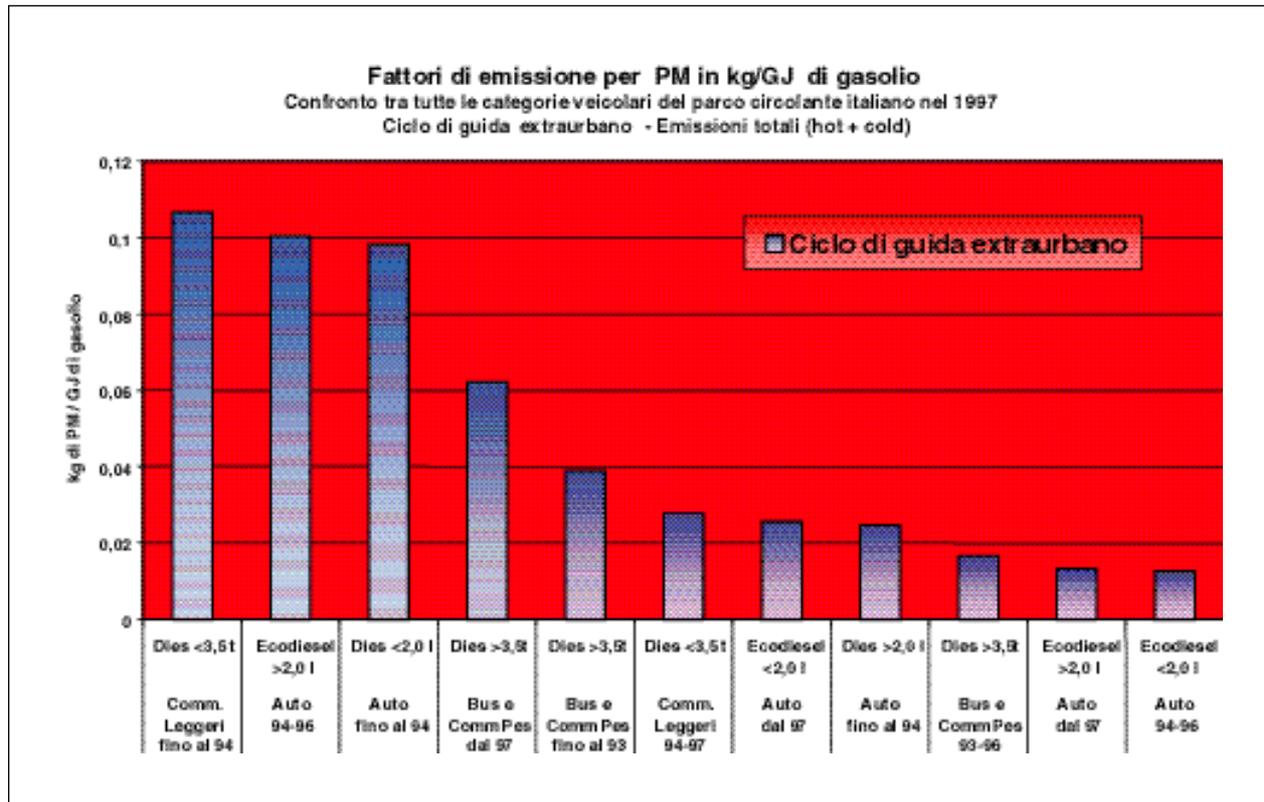


Figura 3.21

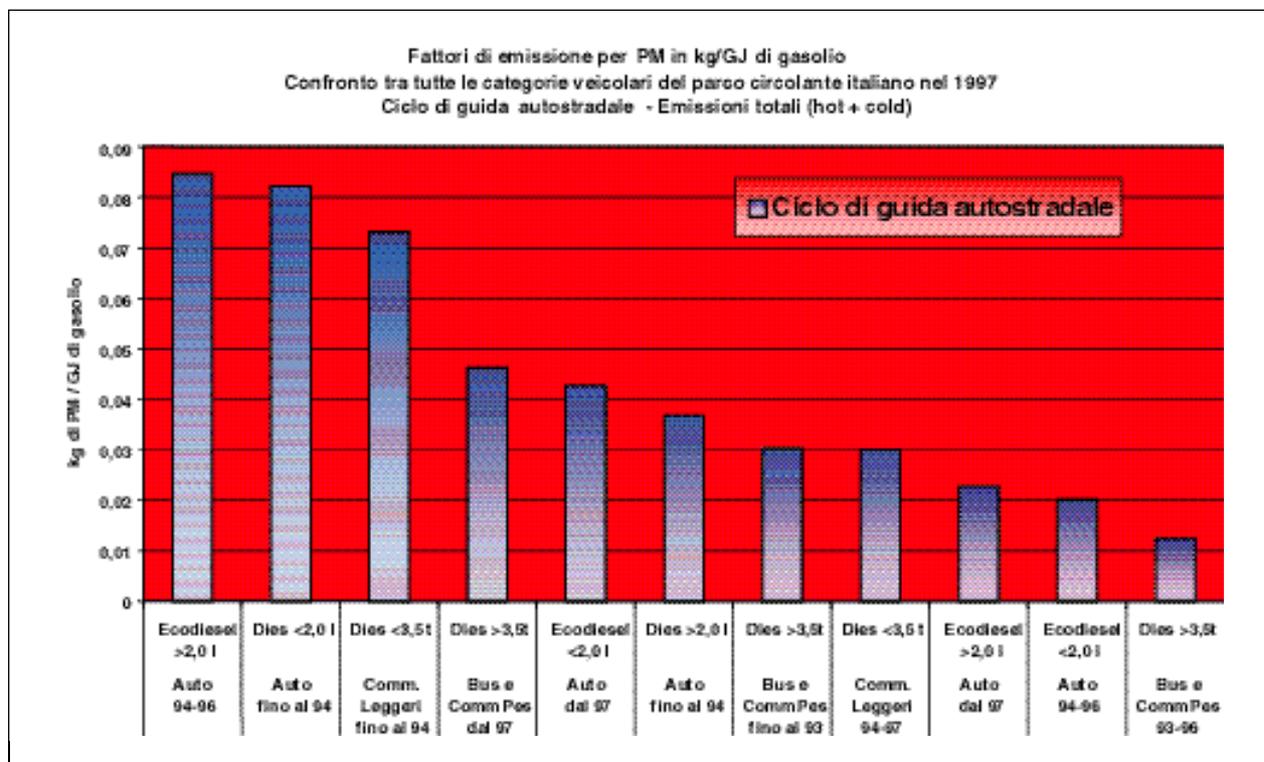
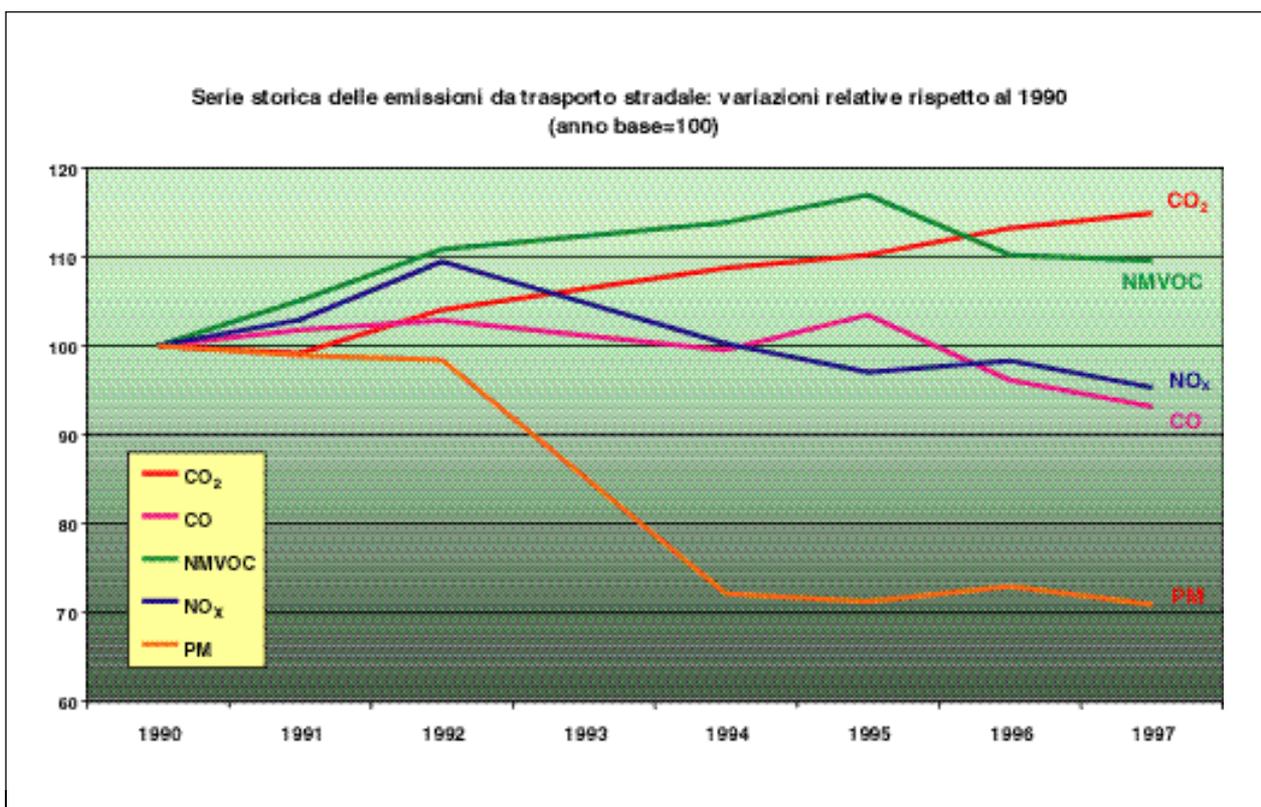


Figura 3.22

## 4. L'EVOLUZIONE TEMPORALE DELLE EMISSIONI DA TRAFFICO STRADALE

Le emissioni dovute al trasporto su strada riferite all'anno base 1990 mostrano un andamento decrescente per i principali inquinanti, mentre l'anidride carbonica segna una crescita marcata.

Un simile quadro di insieme, come riportato in *figura 4.1*, evidenzia come le misure di riduzione delle emissioni abbiano effettivamente avuto successo, almeno in termini relativi e sul medio periodo, anche a fronte di un costante aumento dei consumi, dell'ampliamento del parco circolante e al suo interno dell'aumento della quota delle vetture di cilindrata maggiore. D'altra parte sono proprio questi i fattori che probabilmente più di altri hanno comportato l'aumento della  $\text{CO}_2$  in termini relativi e assoluti, come verrà mostrato nei successivi grafici.



• Figura 4.1

### 4.1 SERIE STORICHE 1980 - 1997 PER INQUINANTE E VEICOLO

Le serie storiche di alcuni dei principali inquinanti atmosferici sono riportate nei grafici che seguono. Per ossidi di azoto (*figura 4.2*), composti organici volatili non metanici (*figura 4.3*) e monossido di carbonio (*figura 4.4*), dal 1980 al 1997 si osserva una crescita generale dei valori assoluti delle emissioni seguita da un accenno di inversione di tendenza tra il 1993 e il 1995, grazie soprattutto al rinnovo della flotta dei mezzi commerciali e dei bus.

L'anidride carbonica (*figura 4.5*) sembra invece caratterizzarsi con una decisa tendenza alla crescita costante. Osservando annualmente la distribuzione delle emissioni secondo la composizione del parco, si può affermare che, a fronte dell'introduzione di meccanismi di riduzione - più o meno efficaci - dei principali inquinanti, l'aumento dei consumi totali dovuto all'aumento delle percorrenze complessive, dei consumi specifici e del numero delle autovetture ha contribuito all'aumento delle emissioni di  $\text{CO}_2$  in valore assoluto.

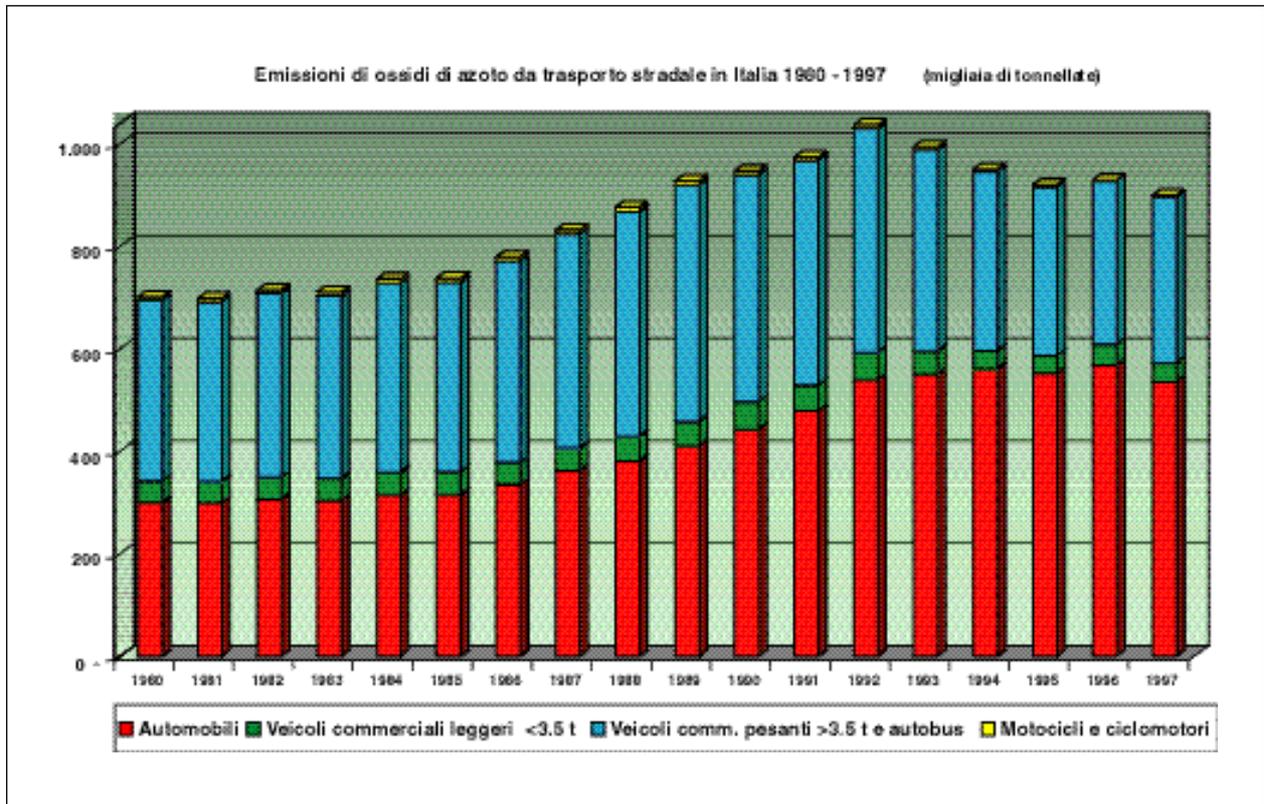


Figura 4.2

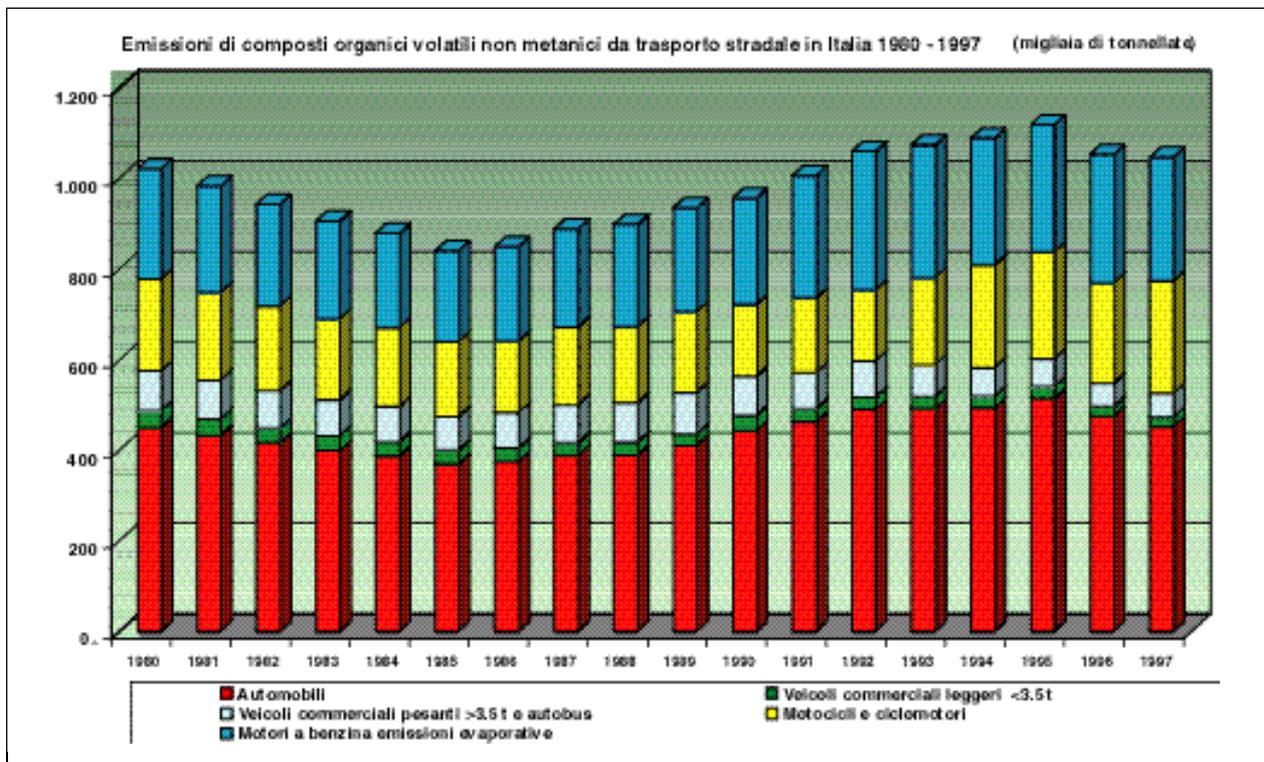


Figura 4.3

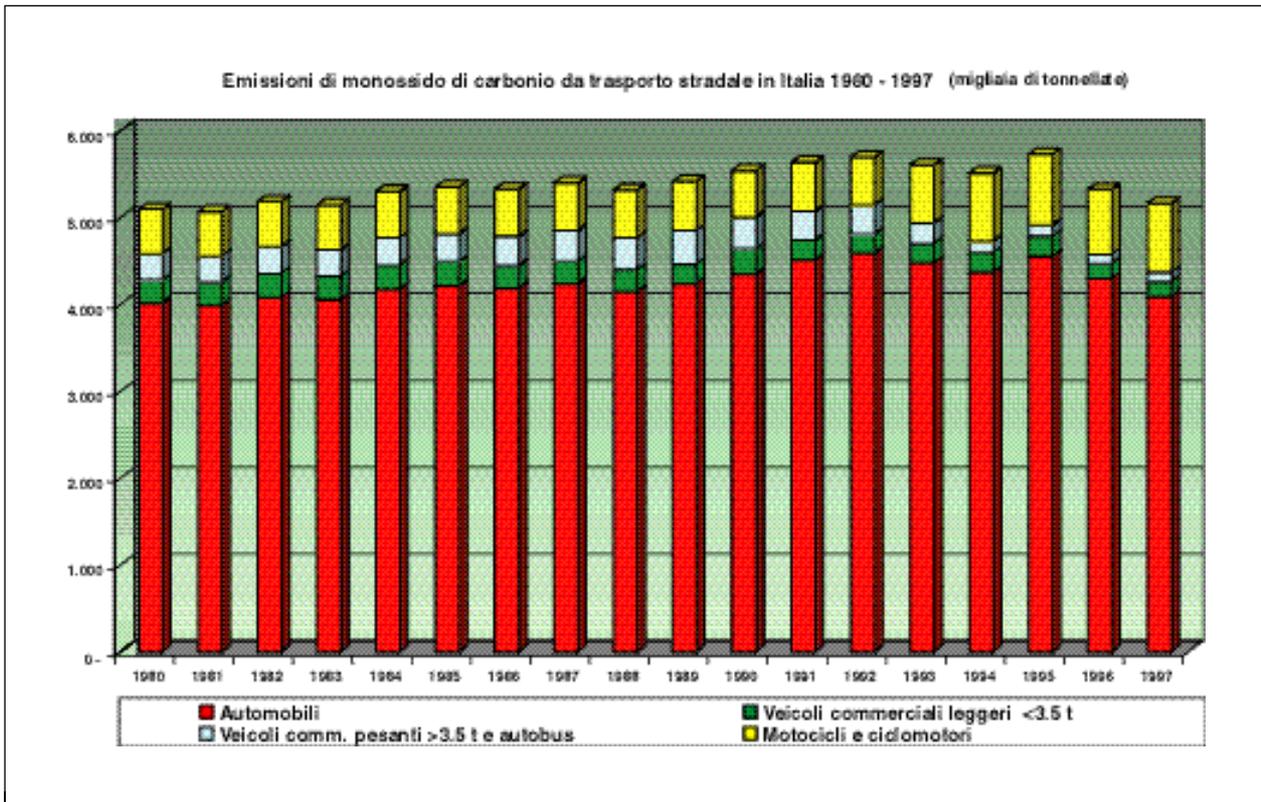


Figura 4.4

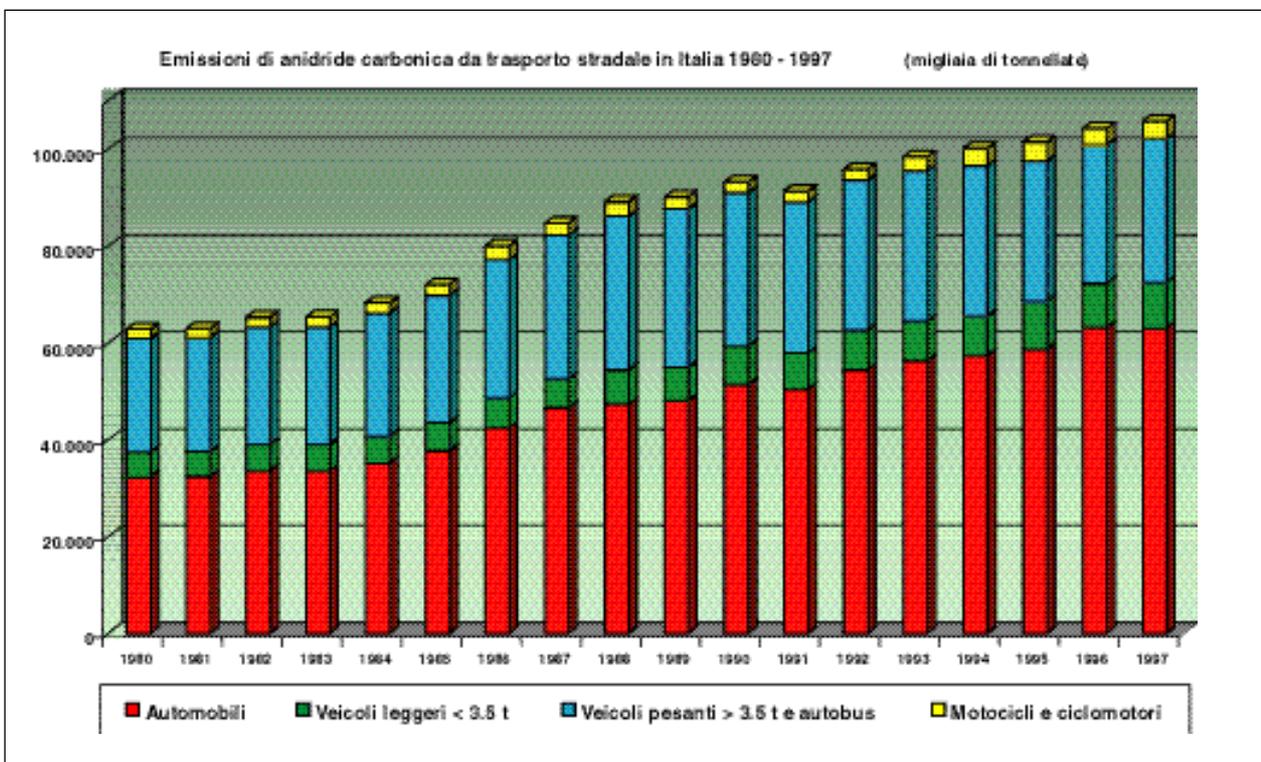


Figura 4.5

## 4.2 CONFRONTO 1990-1997 PER INQUINANTE E TIPOLOGIA DI VEICOLO.

Analoghe considerazioni si possono dedurre dai grafici da **figura 4.6 a figura 4.10** dove il confronto è effettuato per diverse tipologie di veicoli tra l'anno di riferimento 1990 e il 1997.

E' da ricordare che nel 1990 cominciarono ad essere immatricolate auto catalizzate di cilindrata maggiore a 2000 cc, che essendo solo poche migliaia non compaiono nei grafici.

I confronti tra i due anni devono pertanto tenere conto che le riduzioni di emissioni per le auto non catalizzate, per la loro progressiva uscita di scena, sono spesso inficcate dall'aumento del parco circolante complessivo.

Così per i composti organici volatili non metanici (**figura 4.7**): alla riduzione delle emissioni totali delle non catalizzate si somma la non trascurabile quota delle catalizzate.

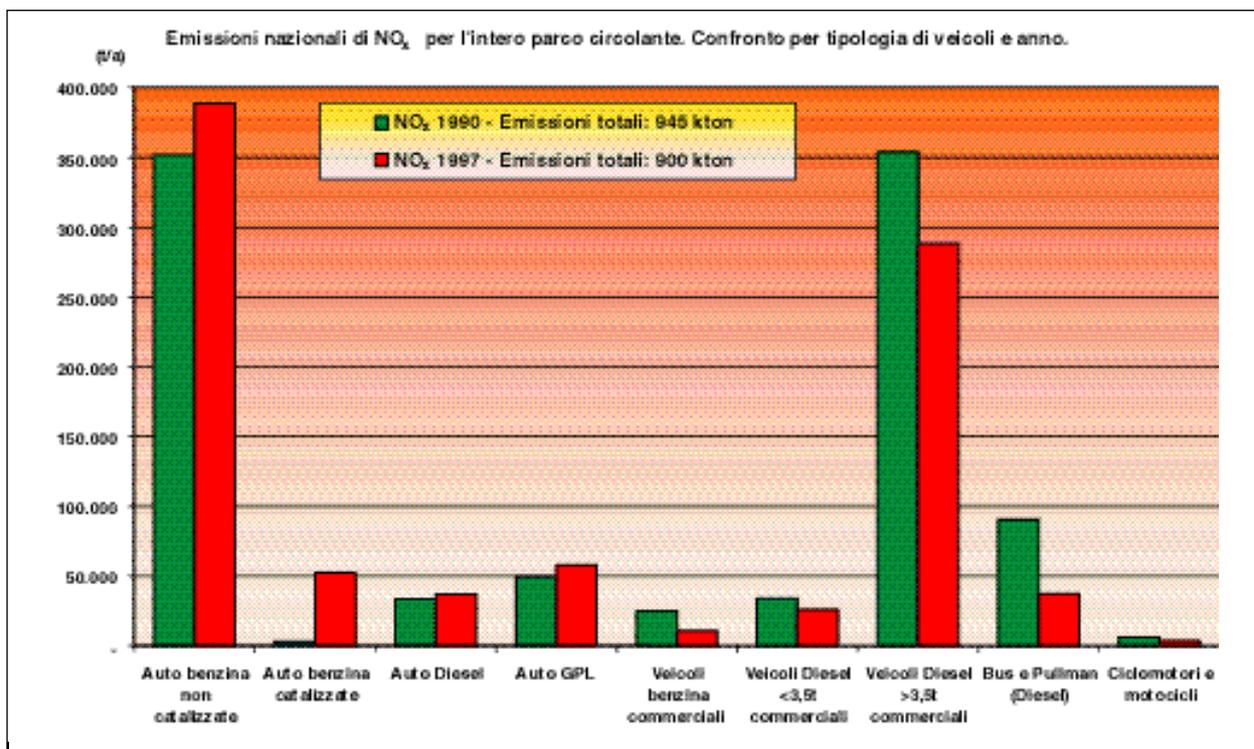
Per il **CO** (**figura 4.8**) la diminuzione di circa il 20% rispetto al 1990 delle non catalizzate viene "ridimensionata" a una quota del solo 8% se si tiene conto del contributo delle catalizzate nel 1997.

Per l'anidride carbonica (**figura 4.10**) e, a maggior ragione per gli ossidi di azoto (**figura 4.6**), l'aumento è ancora più evidente.

Le emissioni di particolato fine (**figura 4.9**) delle autovetture diesel sembrano invece essere state stabilizzate, mentre sono state considerevolmente abbattute quelle dei veicoli pesanti commerciali e passeggeri, a fronte di un non trascurabile aumento delle emissioni complessive di particolato da veicoli commerciali leggeri.

È possibile confrontare il comportamento emissivo di ciascun raggruppamento di tipologie veicolari, in relazione alle emissioni di **CO<sub>2</sub>** e dunque alle variazioni dei consumi tra il 1990 ed il 1997, in modo da evidenziare alcuni comportamenti in controtendenza.

Ad esempio, nel caso delle auto a benzina non catalizzate, si registra un aumento delle emissioni totali di **NO<sub>x</sub>** (**figura 4.6**) a fronte di una diminuzione delle emissioni di anidride carbonica. Questo comportamento può essere imputato alla variazione di utilizzo dei mezzi più "vecchi", che restano limitati ad un uso prevalentemente urbano, dove le velocità medie più basse, a parità di consumo, determinano un aumento delle emissioni di ossido di azoto. Un'altra concausa di comportamenti in controtendenza per alcuni raggruppamenti è imputabile alla maggiore raffinatezza del modello di calcolo che, nel COPERT II per il 1997 rispetto al COPERT 1990, tiene conto di una maggiore suddivisione all'interno di alcune categorie veicolari, in cui i contributi di emissione degli elementi di alcune di esse sono ponderati con il loro ammontare numerico. Per esempio nel caso dei ciclomotori e motocicli e dei veicoli commerciali diesel più pesanti di 3,5 tonnellate, si osserva una riduzione delle emissioni di **NO<sub>x</sub>**, a fronte di un seppur minimo aumento delle emissioni di **CO<sub>2</sub>**.



• Figura 4.6

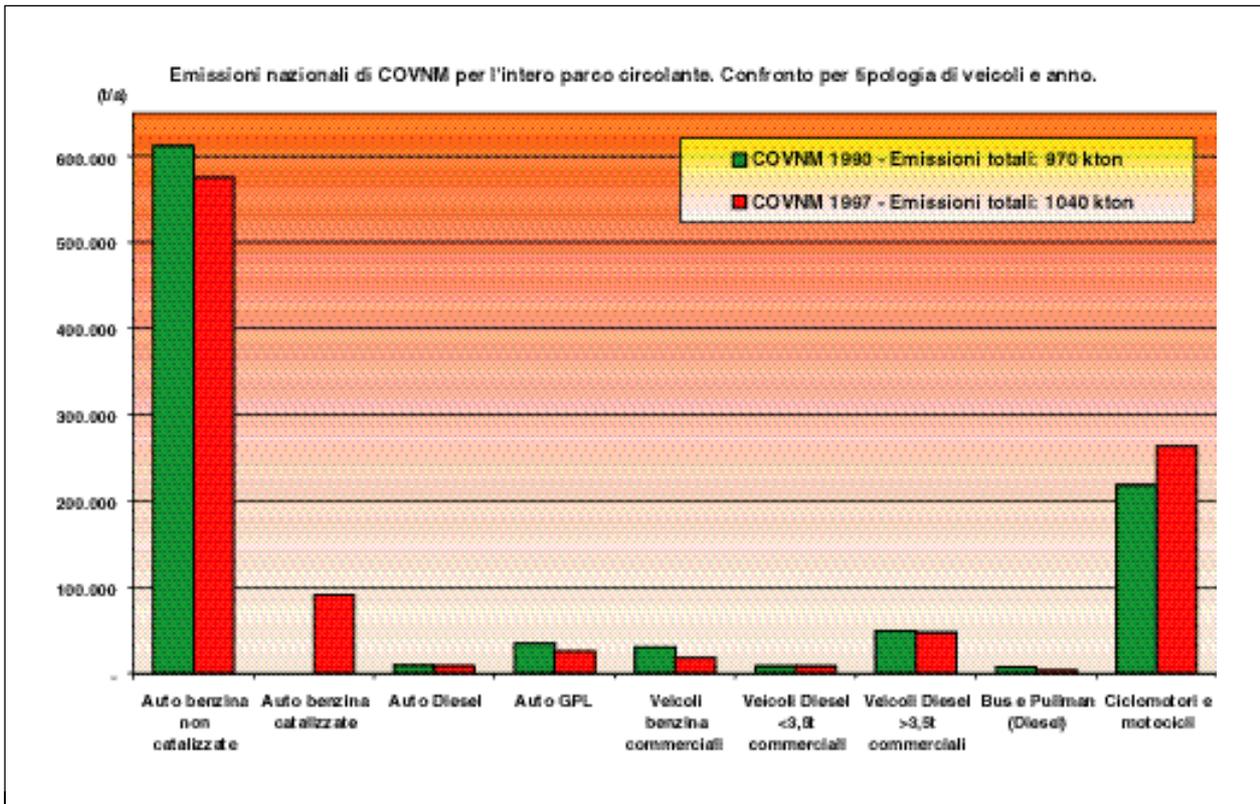


Figura 4.7

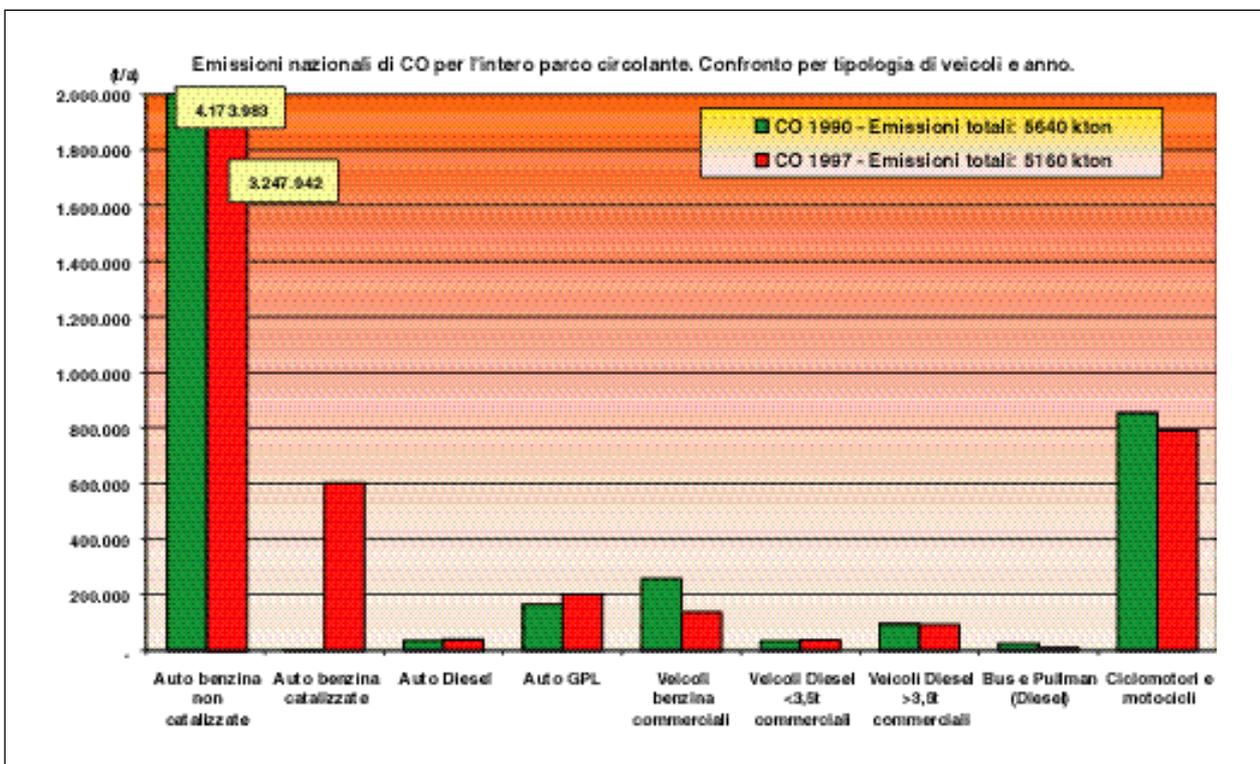


Figura 4.8

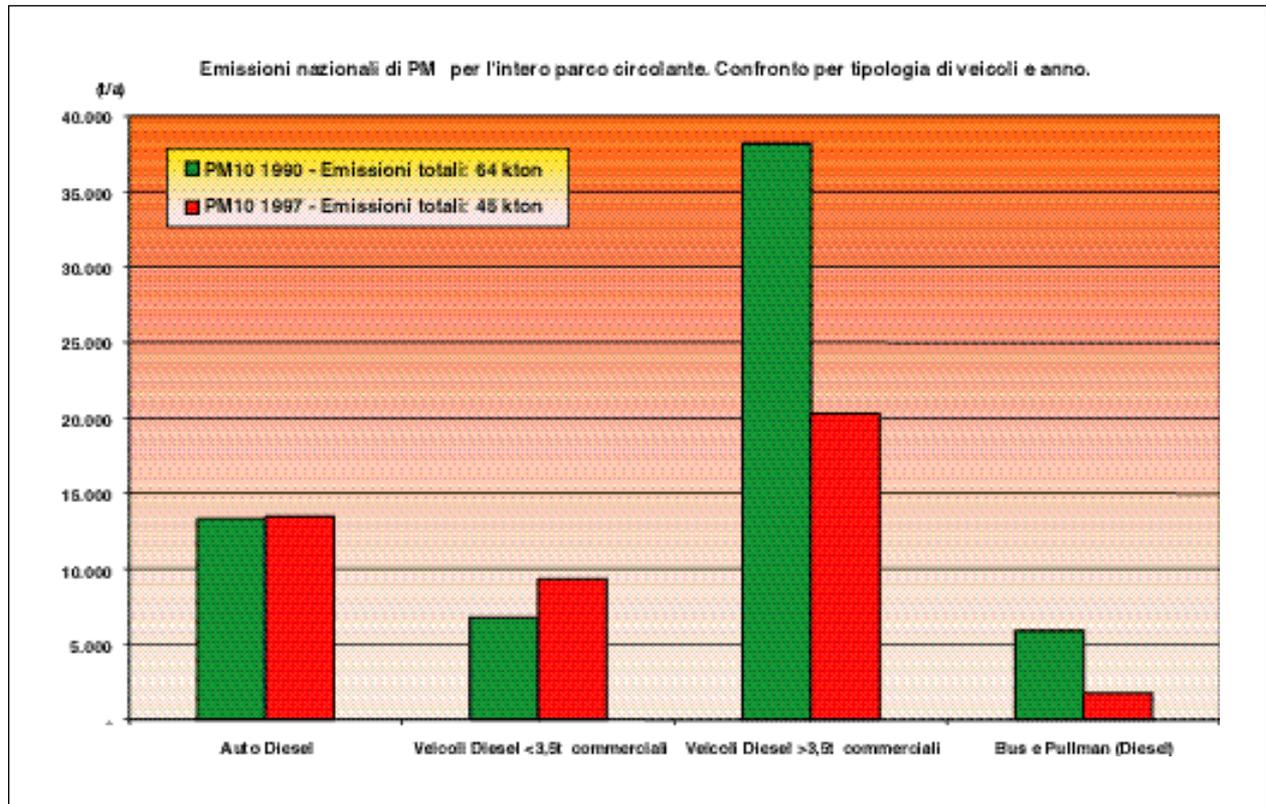


Figura 4.9

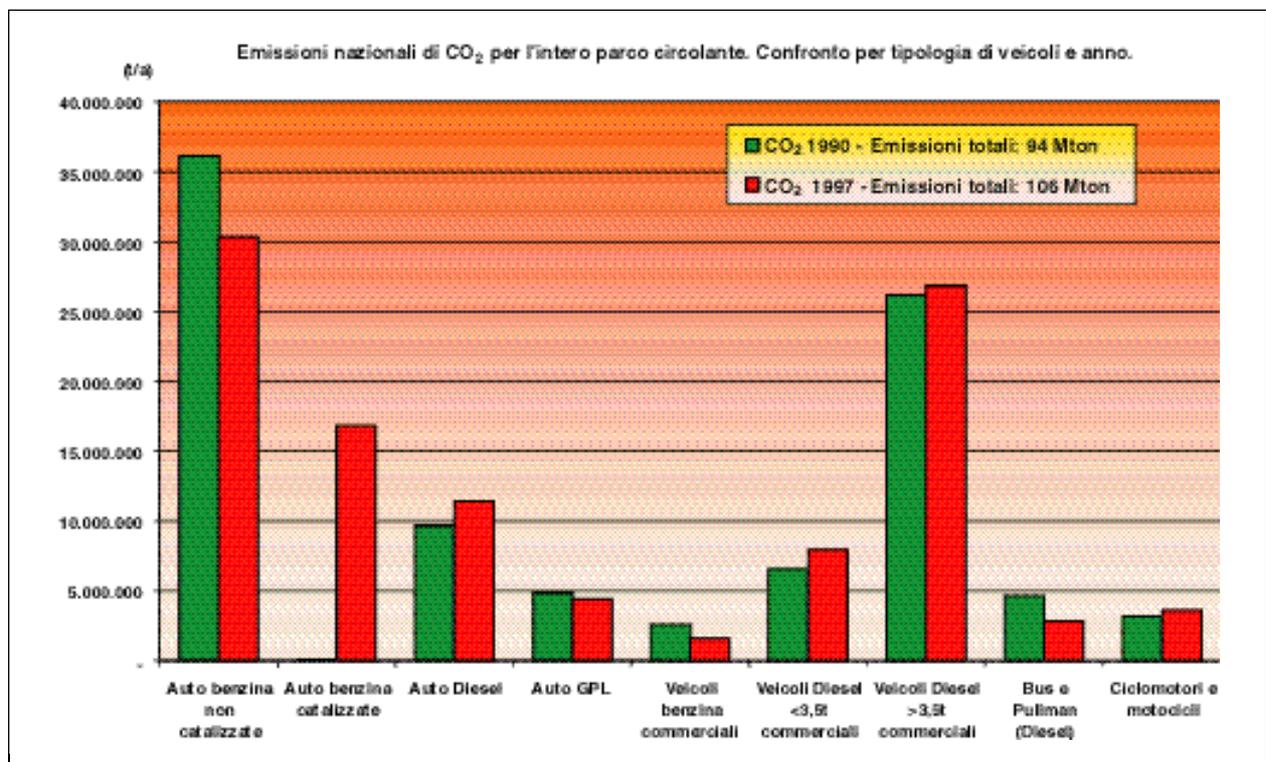


Figura 4.10

## 5. LE EMISSIONI DA TRASPORTO SU STRADA A LIVELLO PROVINCIALE E URBANO

### 5.1 LA DISAGGREGAZIONE PROVINCIALE DELLE EMISSIONI PER IL 1997

Per effettuare la stima delle emissioni di una determinata attività a livello provinciale a partire dal dato nazionale, si fa ricorso ad una metodologia statistica consolidata (Anselmi, 1997; Liburdi, 1998a) basata sull'uso delle cosiddette “**variabili proxy**”: si attribuisce all'attività di emissione considerata la stessa distribuzione territoriale di un'altra grandezza (proxy o surrogata), nota a livello provinciale, che si ritiene sia ben correlata all'attività sconosciuta a tale livello di disaggregazione.

Indicata con  $E_{naz}$  il valore dell'emissione nazionale per l'attività considerata e con  $S$  il surrogato, si ottiene il valore di emissione di tale attività nella provincia  $i$  come:

$$E_i = E_{naz} * (S_i / S_{naz})$$

Tale metodologia, utilizzata nell'ambito del progetto CORINAIR per la disaggregazione territoriale delle emissioni da trasporti stradali (approccio top-down), può essere così sintetizzata:

- le emissioni nazionali del ciclo di guida urbano vengono disaggregate a livello provinciale, utilizzando come variabile proxy la popolazione provinciale residente nei comuni con più di 20.000 abitanti (ISTAT, 1998);
- le emissioni nazionali del ciclo di guida extraurbano vengono disaggregate a livello provinciale, utilizzando come variabile proxy la popolazione provinciale residente nei comuni con meno di 20.000 abitanti (ISTAT, 1998);
- le emissioni nazionali del ciclo di guida autostradale vengono disaggregate a livello di singola provincia, utilizzando come variabile proxy la lunghezza dei tratti autostradali nell'ambito della provincia stessa (AISCAT, 1998);
- le emissioni evaporative, stimate per i soli veicoli a benzina, vengono disaggregate a livello provinciale, utilizzando come variabile proxy il parco circolante provinciale a benzina (ACI, 1999; ANFIA, 1998).

Nelle figure che seguono è rappresentata la ripartizione provinciale sul territorio italiano delle emissioni totali (in tonnellate/anno) di  $NO_x$  (*figura 5.1*),  $COVNM$  (*figura 5.2*),  $CO$  (*figura 5.3*),  $PM$  (*figura 5.4*) e di  $CO_2$ , (*figura 5.5*), dovute al trasporto stradale.

La suddivisione degli intervalli delle classi di densità è stata effettuata scegliendo un numero di province per classe il più possibile costante (numero tra parentesi nella legenda), per evidenziare le differenze di livello.

Per ogni provincia è anche rappresentata la ripartizione delle emissioni totali in tre macro-categorie di veicoli: automobili passeggeri e veicoli commerciali leggeri, bus e mezzi commerciali pesanti, motoveicoli.

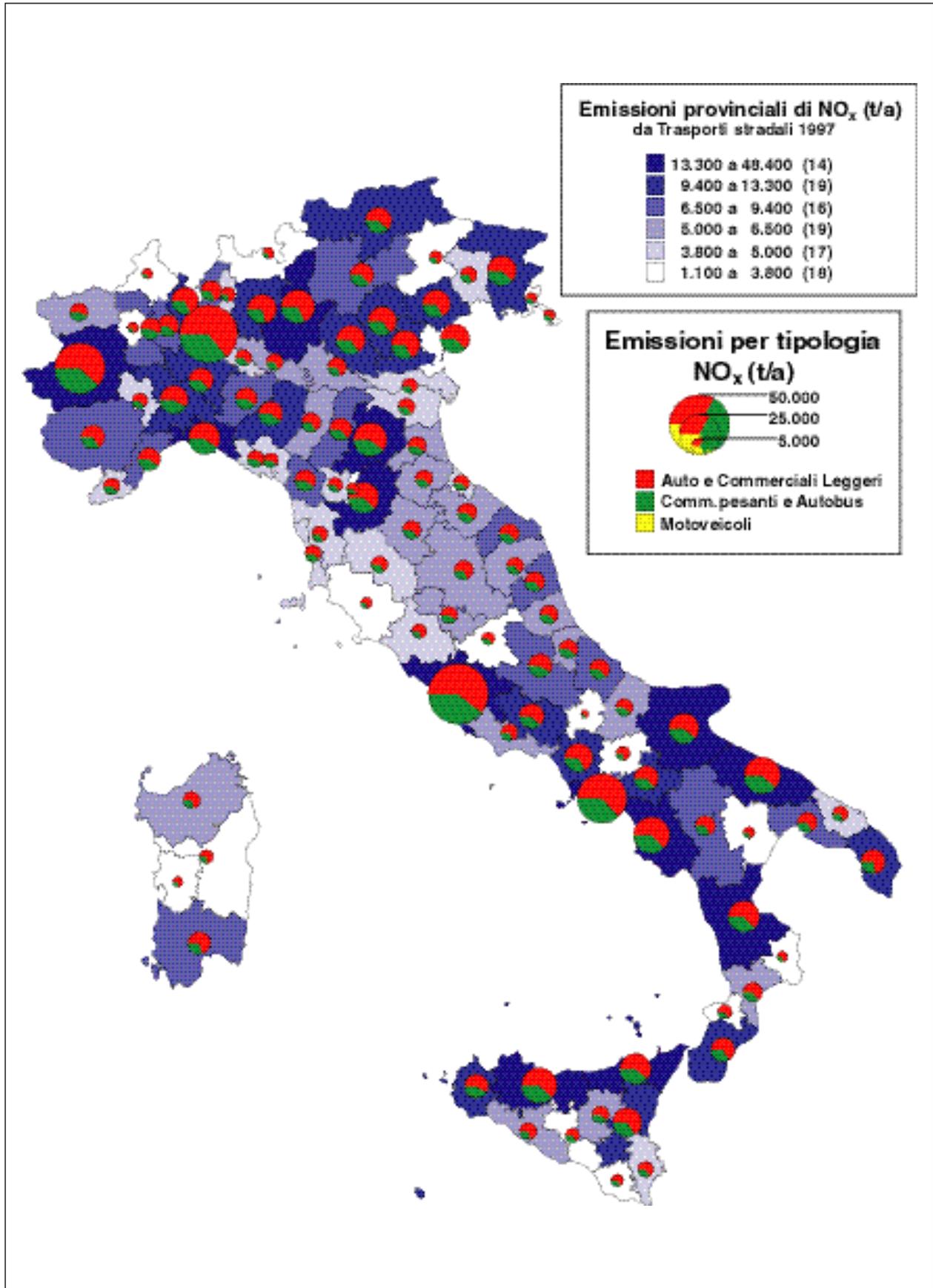
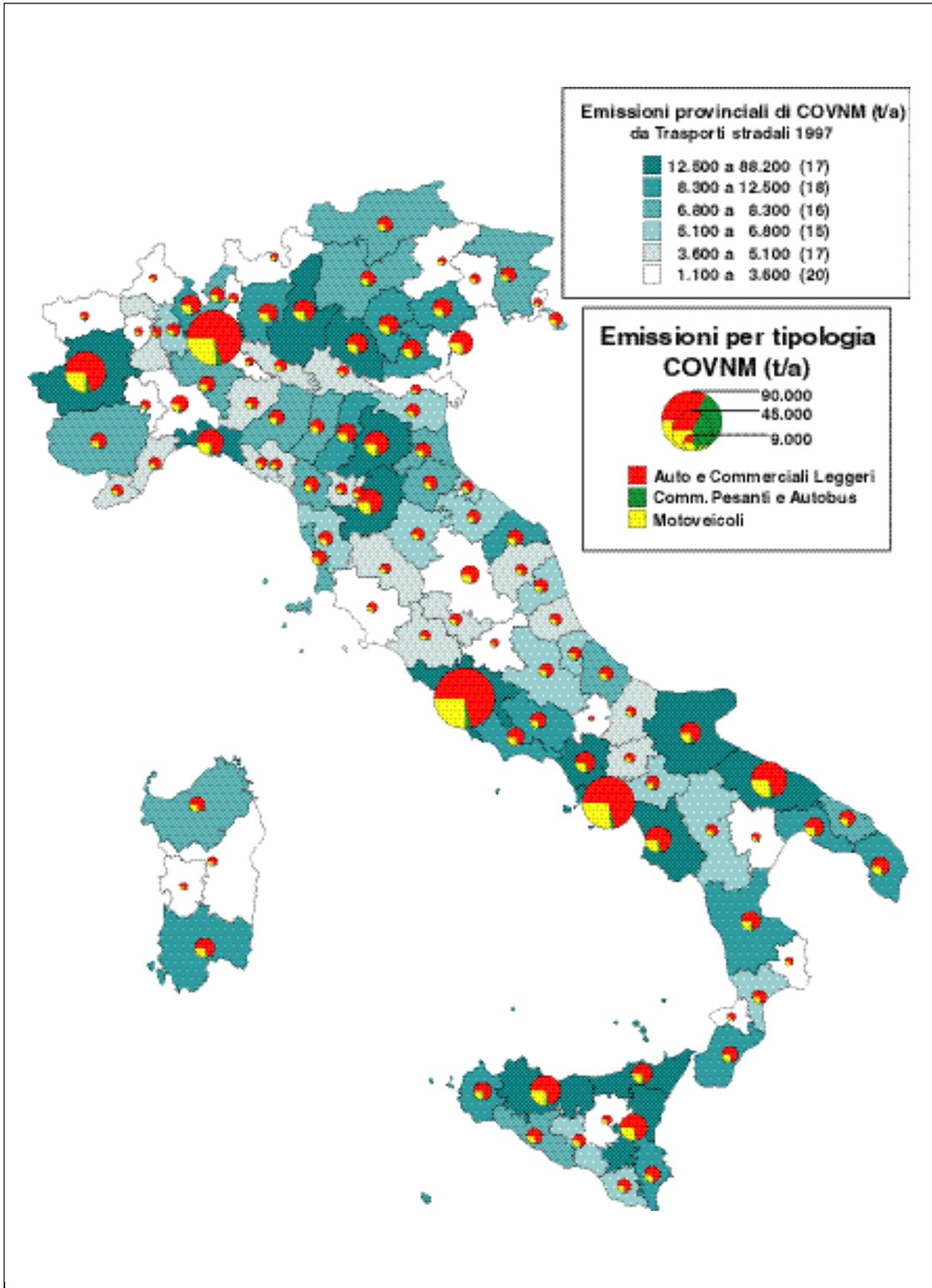


Figura 5.1 •



• Figura 5.2

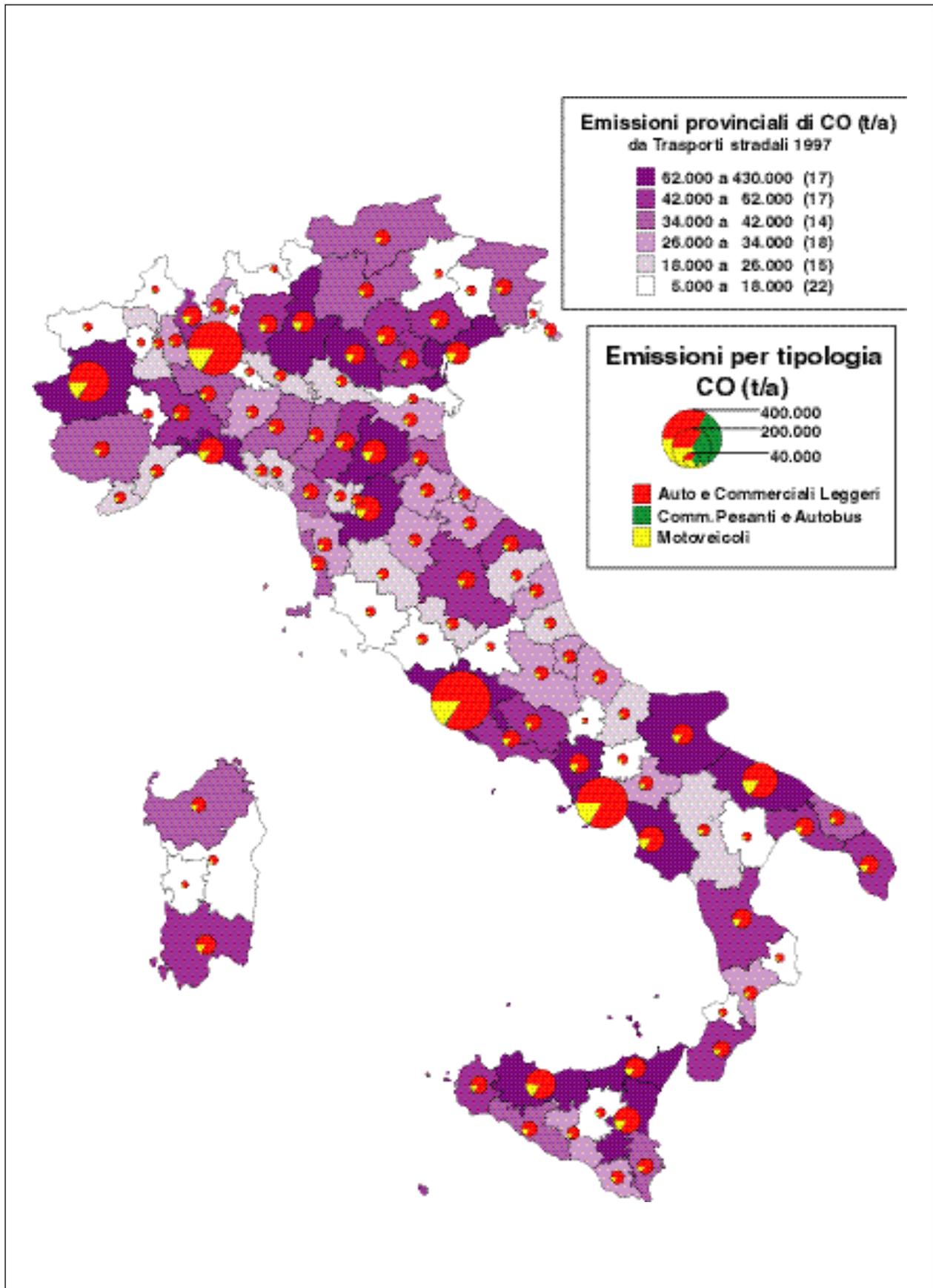
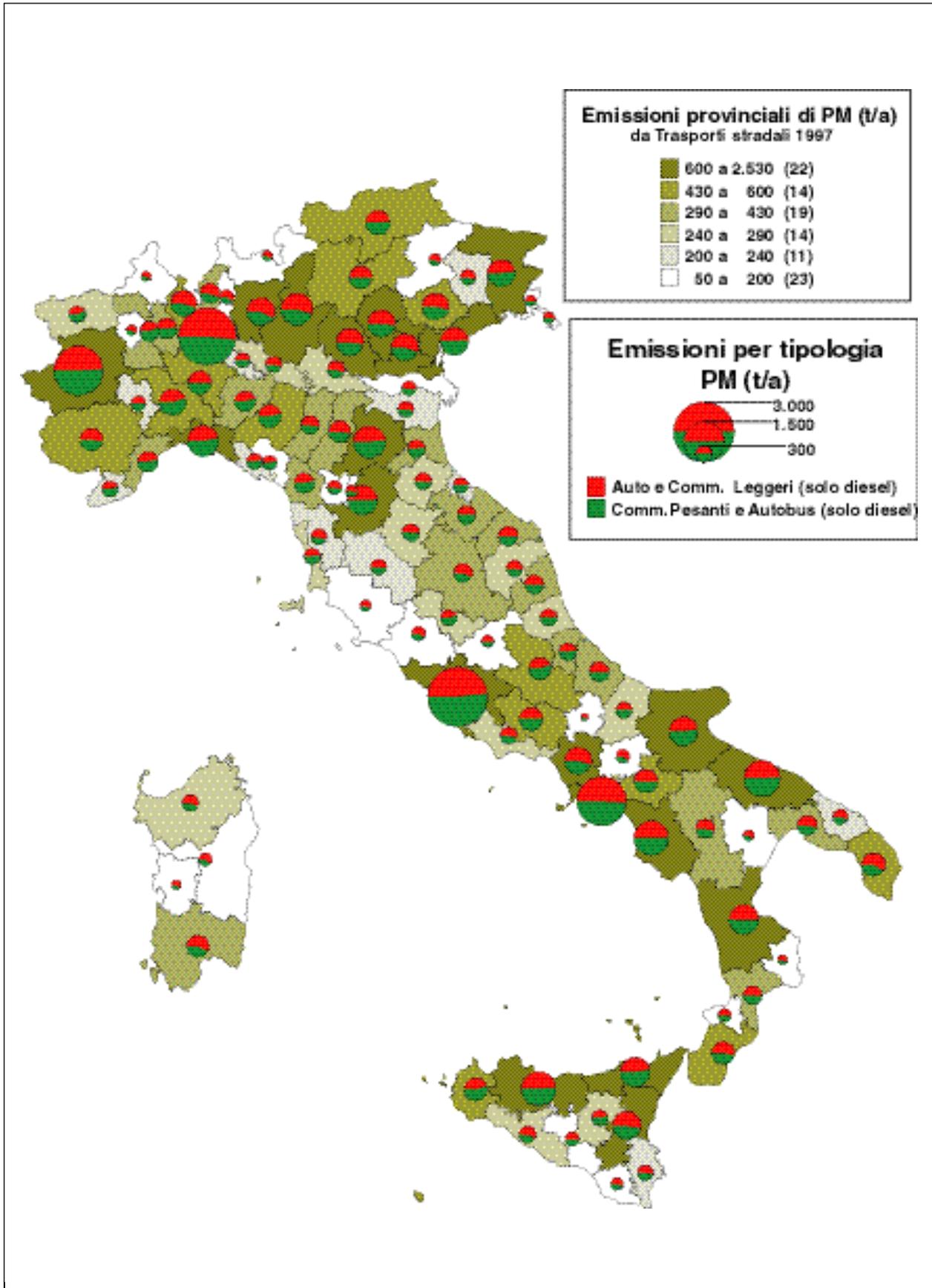


Figura 5.3 •



• Figura 5.4

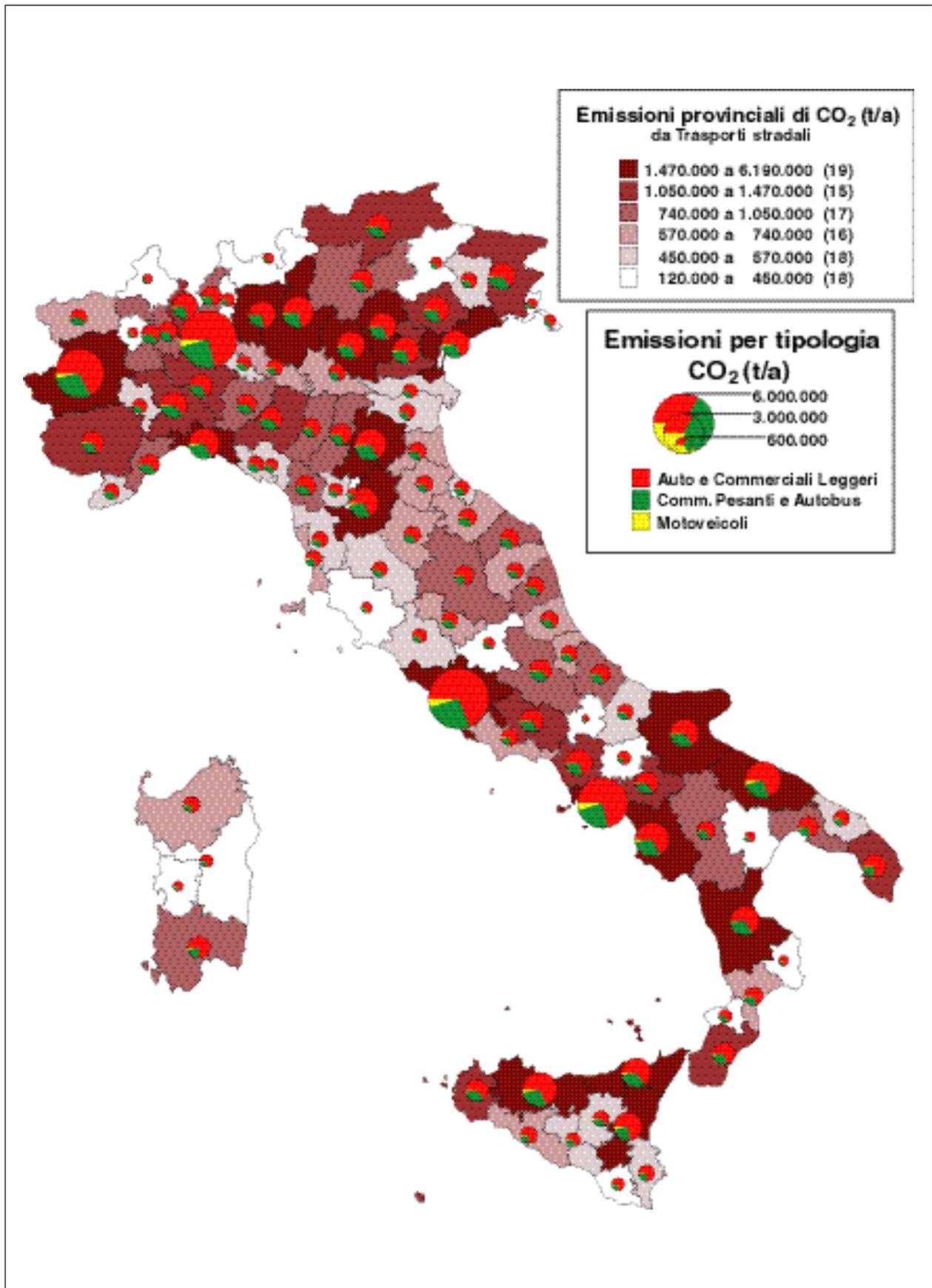


Figura 5.5 •

## 5.2 LE EMISSIONI DI NO<sub>x</sub>, COVNM, CO, PM, CO<sub>2</sub> NELLE OTTO MAGGIORI CITTÀ ITALIANE

E' possibile fornire una stima delle emissioni da trasporto stradale delle maggiori aree urbane con lo stesso metodo utilizzato per la disaggregazione provinciale (Cirillo et al., 1997); per questo calcolo viene dunque presa in considerazione soltanto la quota dovuta al ciclo di guida urbano dell'emissione provinciale di ciascun inquinante.

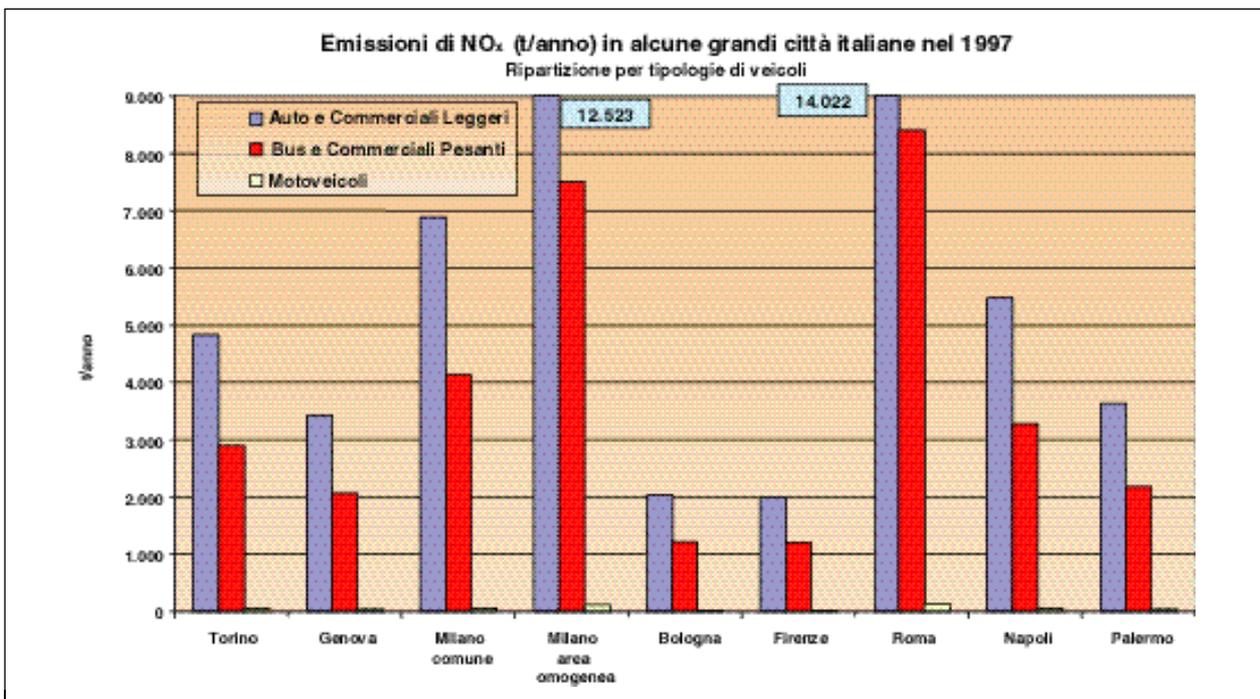
In questo caso l'uso della popolazione come variabile proxy è statisticamente significativo (Liburdi, 1998b) per autoveicoli, veicoli commerciali leggeri e motocicli, mentre potrebbero essere sottostimate le emissioni da veicoli commerciali pesanti, nella misura in cui non sia nota la quota di veicoli commerciali effettivamente afferenti alle aree urbane. In effetti solo per alcune di esse sono state effettuate rilevazioni di flussi di traffico, ma non sono state utilizzate in questo studio per mantenere la comparabilità delle stime tra le diverse città.

Nei grafici presentati qui di seguito l'analisi viene focalizzata sulle 8 maggiori città italiane: Torino, Genova, Milano, Bologna, Firenze, Roma, Napoli, Palermo.

In ognuno di essi (*figure 5.6 – 5.10*), per ciascuna città, vengono rappresentate le emissioni in ambito urbano di un particolare inquinante, ripartite per semplicità di rappresentazione in tre grandi categorie veicolari (autovetture e veicoli commerciali leggeri, bus e veicoli commerciali pesanti, ciclomotori e motocicli).

Un discorso a parte merita la città di Milano, per la quale la cosiddetta "Area Omogenea" raccoglie un bacino di utenza del trasporto stradale molto più ampio rispetto ai confini amministrativi del comune.

Da diversi studi di settore (Angelino e Bedogni, 1998) risulta opportuno calcolare le emissioni urbane estese a tutta quest'area; pertanto le stime sono state effettuate in base alla corrispondente popolazione che è circa 1,9 volte quella del comune, che è pari a 1.302.808 abitanti (ISTAT, 1998) e comunque confrontate con quelle del solo comune di Milano.



• Figura 5.6

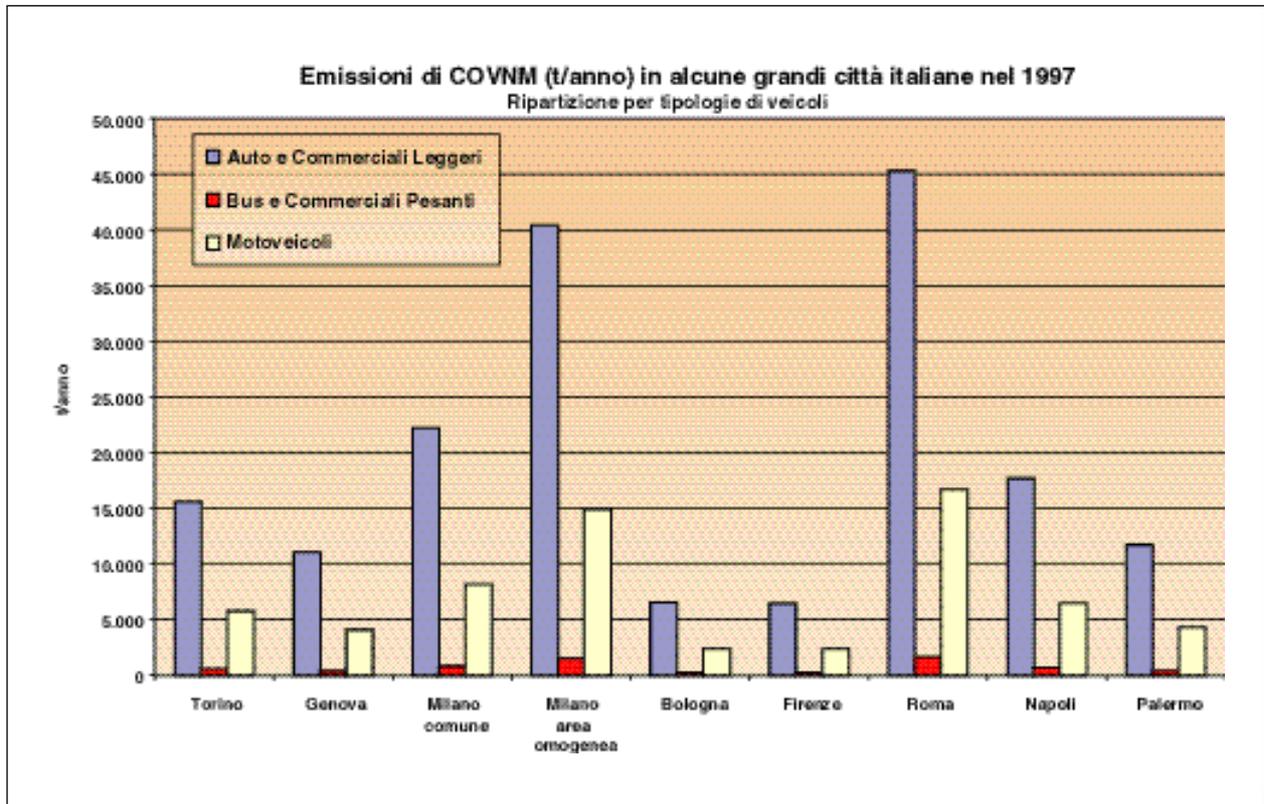


Figura 5.7

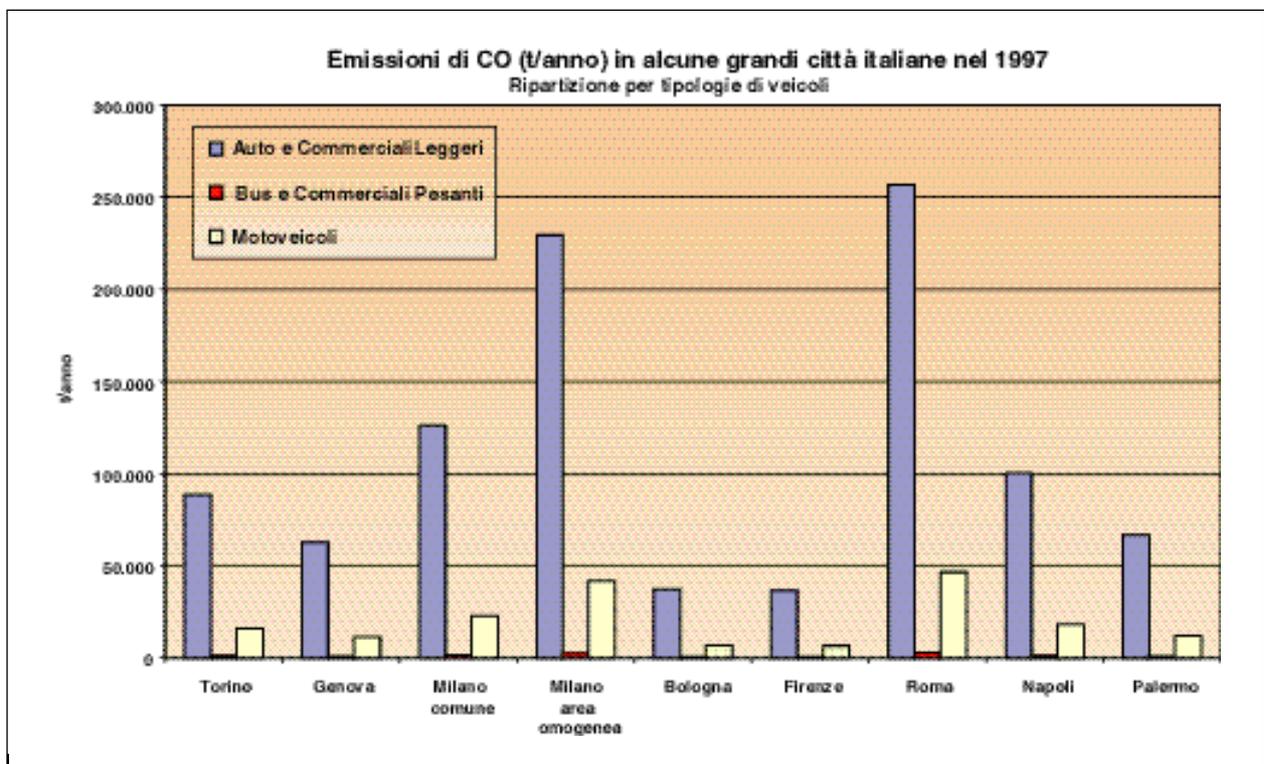
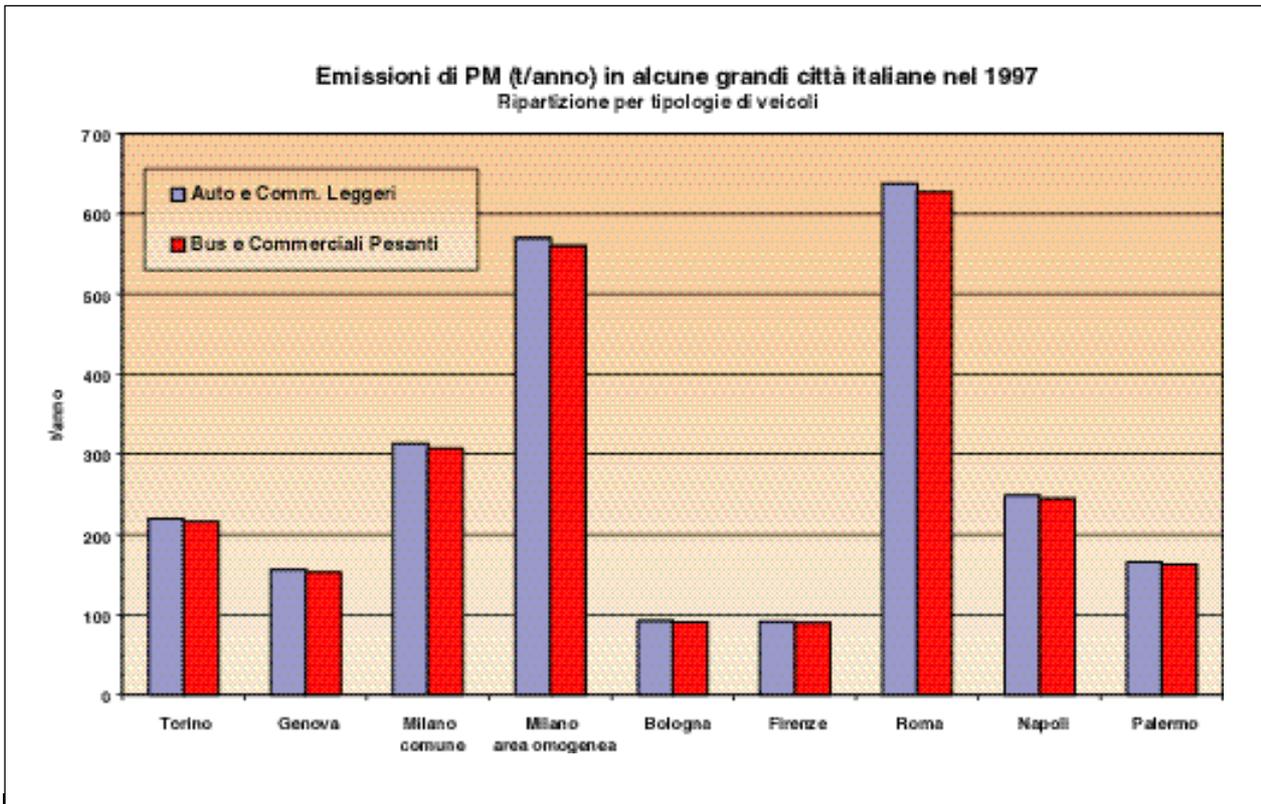


Figura 5.8



• Figura 5.9

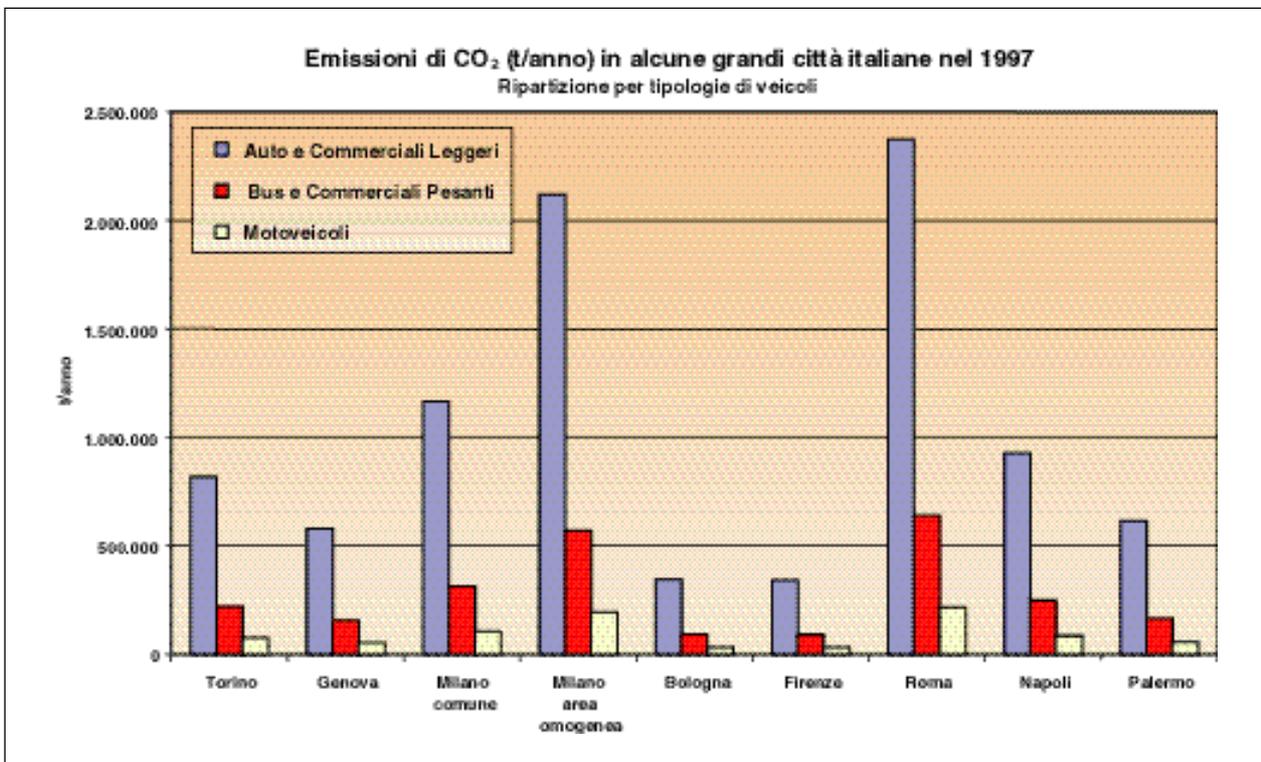


Figura 5.10 •

## 6. LE EMISSIONI DI BENZENE

### 6.1 IL RUOLO DEI PARAMETRI CHIMICO-FISICI DELLE BENZINE NEL RILASCIO DI BENZENE E DI ALTRE SOSTANZE TOSSICHE

Le emissioni di benzene legate al traffico veicolare interessano specialmente le aree urbane, dove maggiore è il suo rilascio e maggiore il numero di soggetti esposti.

Il benzene emesso dai veicoli stradali ha tre fonti principali, la prima e più importante è costituita dal tubo di scappamento dei veicoli, la seconda dal serbatoio e la terza dal carburatore; queste ultime due sono perdite evaporative legate alla volatilità del combustibile e ai fenomeni fisici che la favoriscono.

Da test condotti nel corso dello svolgimento del programma europeo AUTO OIL (1999) è stato constatato che il rilascio nell'aria di  $\text{NO}_x$  e di  $\text{COVNM}$  (tra cui il benzene) dipende dal contenuto di ossigeno nel carburante oltre che dal contenuto di zolfo, aromatici, olefine e dal T90 (temperatura a cui è avvenuta la separazione per distillazione del 90% dei componenti della miscela idrocarburica).

In particolare le emissioni di  $\text{NO}_x$  possono essere ridotte attraverso l'innalzamento del tenore di aromatici, l'abbassamento delle olefine, dell'ossigeno e dello zolfo presenti nelle benzine e l'innalzamento del T90.

Per quanto concerne i  $\text{COVNM}$ , essi possono essere ridotti abbassando il tenore di aromatici, innalzando quello delle olefine dell'ossigeno, abbassando il contenuto di zolfo e la T90.

Le *olefine* nelle benzine (composti aventi doppi legami nelle molecole) sono tra i più reattivi composti volatili emessi dai motoveicoli, infatti reagiscono molto velocemente con gli  $\text{NO}_x$  in presenza di radiazione solare per formare ozono. Per questo ed altri motivi (depositi di gomme su parti del motore, emissioni di dieni nei gas di scarico), il contenuto di olefine è controllato durante la produzione di benzina e può variare dal 5% al 20% in volume.

L'utilizzo di composti ossigenati nei carburanti tra cui l'**MTBE** (metilterbutil etere), si è reso necessario in seguito alla eliminazione del piombo tetraetile, per far fronte alla esigenza di mantenere una accettabile qualità ottanica. L'aggiunta di un composto ossigenato in una benzina determina una riduzione della emissione del monossido di carbonio e di  $\text{COVNM}$  tra cui benzene e idrocarburi aromatici. Tale effetto di riduzione è maggiore soprattutto per il parco auto sprovvisto di catalizzatore. Tuttavia (Avella, 2000), la presenza di tali composti ossigenati determina un incremento delle emissioni di composti carbonilici (formaldeide, acetaldeide), prodotti della decomposizione rispettivamente di **MTBE** e di **ETBE** (etilterbutil etere).

Lo zolfo è un altro composto la cui limitazione nei carburanti apporta un beneficio alle emissioni in atmosfera riducendo in particolare gli  $\text{NO}_x$ ,  $\text{COVNM}$ , **CO**.

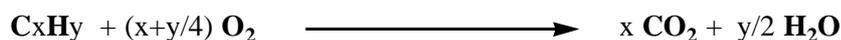
Infatti, la presenza di zolfo nelle benzine provoca un effetto deattivante, specie nei catalizzatori a tre vie a base di palladio/rodio, e nella relativa sonda "lambda" necessaria per attestare il rapporto aria/combustibile al valore stechiometrico.

Uno degli obiettivi primari nel programma della riformulazione delle benzine (EPA, United States Environmental Protection Agency, 1991) è la riduzione dei cinque maggiori inquinanti organici tossici dell'aria: benzene, formaldeide, acetaldeide, 1,3-butadiene e **IPA** (Idrocarburi Policiclici Aromatici), oltre alla generale riduzione di  $\text{COVNM}$  e di altri inquinanti inorganici, tra cui i metalli pesanti.

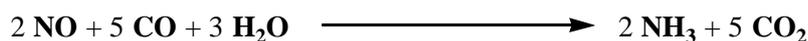
Da un punto di vista economico i costi associati alla riformulazione delle benzine si riflettono nella maggiorazione dei prezzi dei carburanti alla pompa. Questi includono costi per l'aggiunta di ossigenati, il controllo di benzene, di aromatici, dello zolfo, della RVP (tensione di vapore Reid: indice della tendenza della benzina a passare dalla fase liquida a quella vapore).

## 6.2 PARAMETRI CRITICI DEI CATALIZZATORI IN ORDINE ALL'ABBATTIMENTO DI NO<sub>x</sub>, COVNM, CO

Un catalizzatore in generale è un dispositivo che favorisce determinate reazioni chimiche da un punto di vista termodinamico, abbassandone l'energia di attivazione e aumentando così la cinetica. Le principali reazioni sono quelle che comportano l'ossidazione dei COVNM a CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, del CO a CO<sub>2</sub> e la riduzione degli NO<sub>x</sub> a N<sub>2</sub>:



Le reazioni indesiderate sono:



L'efficienza di conversione di questi gas è dipendente in misura considerevole dal rapporto aria/combustibile (che deve essere rigorosamente costante al valore stechiometrico 14,6) della miscela gassosa all'ingresso del convertitore catalitico.

Un convertitore catalitico non lavora in maniera efficiente se non raggiunge una temperatura sufficientemente alta che nella fattispecie si aggira intorno a 250 °C - 300°C.

Pertanto uno dei problemi che si pone la ricerca è di minimizzare le emissioni durante la fase di partenza a freddo dei veicoli a motore.

Un parametro correntemente utilizzato per definire l'attività di un catalizzatore è la *temperatura di light-off* che è definita come la temperatura del gas reagente in ingresso al catalizzatore alla quale avviene il 50 % di conversione degli inquinanti. Il riscaldamento del catalizzatore per giungere alla temperatura di light-off avviene in circa un minuto, durante il quale si ha l'emissione in atmosfera di circa il 60-80% della massa di idrocarburi in ingresso al catalizzatore.

Un altro problema legato al funzionamento efficiente dei catalizzatori sono le fasi di transitorio (accelerazioni e decelerazioni dei veicoli). Infatti l'efficienza è massima solo in condizioni di guida stazionaria e a catalizzatore nuovo. Ad ogni fase di accelerazione o decelerazione si rende necessaria la regolazione del tenore di ossigeno nella miscela reagente in ingresso al catalizzatore; tale operazione è controllata dalla cosiddetta sonda "lambda", però il suo tempo di reazione caratteristico è superiore a 1 secondo. Il che vuol dire che ci vuole del tempo per aggiustare i parametri di combustione onde permettere una alta efficienza di conversione dei gas reagenti.

Pertanto per far fronte a queste variazioni di richiesta di ossigeno da parte della miscela reagente si rende necessario che il catalizzatore abbia capacità di immagazzinare questo gas e di utilizzarlo quando serve.

Il processo di deattivazione (*figura 6.1*) di un catalizzatore (ovvero la perdita di funzionalità) nel tempo è legato a diverse concause fra cui prevalgono la sinterizzazione termica e l'avvelenamento.

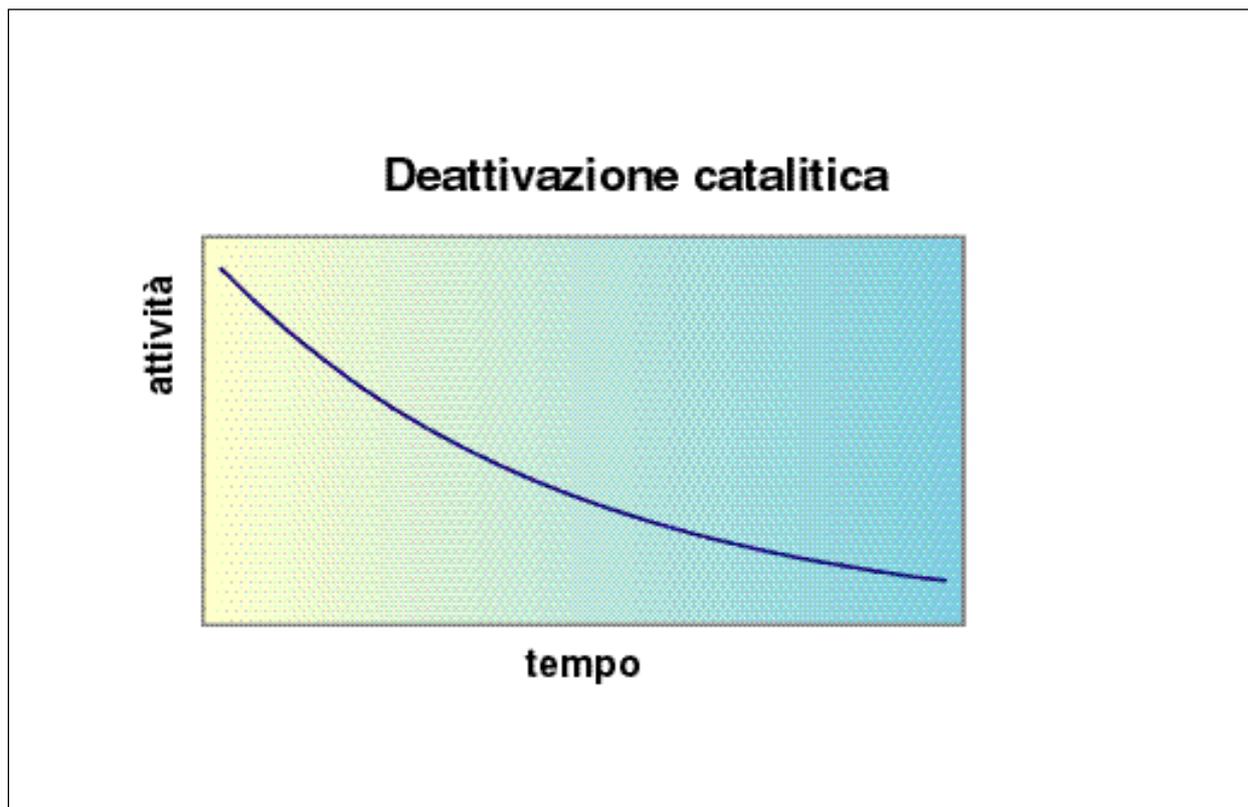


Figura 6.1 •

La temperatura del catalizzatore può raggiungere valori molto alti, superiori a 800-1000 °C specie in condizioni di carico elevato. Ciò causa un processo di ricristallizzazione del catalizzatore con conseguente perdita della superficie attiva dove sono allocati i metalli nobili responsabili della conversione chimica gas dei reagenti.

Nei gas esausti vi sono molte sostanze chimiche che lentamente avvelenano il catalizzatore, reagendo direttamente con la sua parte attiva o semplicemente bloccandone fisicamente l'accessibilità ad altri composti. Ad esempio l'olio lubrificante, il combustibile, e l'aria stessa contengono piccole frazioni di materia inorganica che col tempo (durante il funzionamento dei motori dei veicoli) si accumula impedendo così al catalizzatore di funzionare. Così il fosforo e lo zinco, tipici componenti degli additivi degli oli lubrificanti, sono - insieme allo zolfo - tra quelle sostanze che causano seri danni al catalizzatore.

### 6.3 LE EMISSIONI DI BENZENE PER LE DIVERSE CATEGORIE VEICOLARI

Dalle ultime stime consolidate delle emissioni di benzene emerge che il maggiore contributo emissivo in aria è dato proprio dal settore dei trasporti su strada da cui si origina il 75% (anno 1994) delle emissioni di origine antropica sul territorio nazionale.

Le emissioni di benzene allo scarico associate al traffico veicolare dipendono in misura considerevole dalla composizione del combustibile, in particolare dalla percentuale di benzene e di composti aromatici non benzenici (ad esempio il toluene) che fungerebbero da precursori per il benzene. Numerose prove sperimentali condotte sin dal 1993 al Massachusetts Institute of Technology (MIT, 1994) hanno evidenziato che al variare della composizione chimica del combustibile, pur variando la quantità totale delle emissioni in termini di **COVNM**, per motori costruiti con diverse tecnologie, la distribuzione relativa delle specie chimiche emesse allo scarico (tra cui il benzene) rimane la stessa.

Nel 1997 la percentuale in volume media di benzene presente nelle benzine italiane è stata di 1,3 mentre

quella di idrocarburi aromatici è stata del 33 % (Unione Petrolifera, 1998).

Per quanto riguarda i dati relativi alle emissioni di benzene per i motori a due tempi si è fatto riferimento alle prove sperimentali condotte dall'Istituto Motori del CNR di Napoli (Prati et al., 1999), nel corso delle quali sono state condotte misure di emissioni di benzene su un campione di sedici tipologie di motori a due tempi, alimentate con due tipologie di combustibili, aventi uno (definito A) lo 0,98% e l'altro (definito B) lo 0,7 % di benzene. È emerso che ad una riduzione del 30 % di benzene sul combustibile di partenza segue una riduzione delle emissioni allo scarico del 23-26%. Si è visto dunque che le emissioni di benzene da motocicli allo scarico è dovuta prevalentemente al combustibile incombusto ed in particolare è quasi direttamente ricollegabile alla quota di benzene presente nel combustibile prima del processo di combustione, mentre solo una minima parte si forma in camera di combustione.

Le emissioni di benzene nelle prove effettuate con motori a due tempi variano da 41 - 150 mg/km nel caso di alimentazione con il combustibile A, mentre se si utilizza il combustibile B le emissioni variano tra 25-127 mg/km.

Dopo il processo di combustione, il benzene presente nei gas di scarico insieme agli altri composti organici volatili, vengono ossidati a  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  in maniera considerevole nei veicoli dotati di catalizzatore prima dello scarico in atmosfera.

La quota di benzene dai COVNM relativi alle emissioni del 1997 dal parco circolante in Italia ed adottati per le stime di questo studio (Ilacqua, 2000) sono quelli di COPERT III (Ntziachristos e Samaras, 1999), in accordo con le formule di correlazione di CONCAWE (1996).

I suddetti valori di emissione sono espressi come percentuale in peso dei COVNM totali allo scarico ed evaporativi. Per autovetture a benzina non catalitiche: 5,3%; catalitiche: 4,2% (del totale delle emissioni hot + cold); ciclomotori (<50 cm<sup>3</sup>): 3,24%; motocicli (>50 cm<sup>3</sup>): 4,1%; quota evaporativa per qualunque veicolo a benzina: 1%; autovetture e veicoli commerciali diesel: 2,3% (DI - Iniezione diretta) e 3% (IDI - Iniezione indiretta); commerciali pesanti: 0,1%.

Dai dati complessivi di emissione di benzene (*figura 6.2*) il peso preponderante resta quello delle autovetture a benzina non catalizzate (20.000 tonnellate/anno, tra combustione ed evaporazione), seguite dai ciclomotori (7.000 tonnellate/anno) e dalle vetture catalizzate (2.900 tonnellate/anno).

Dal grafico dei fattori di emissione per il benzene (*figure 6.3*) si può rilevare invece la predominanza dei ciclomotori (290 mg/veic · km) seguiti dai veicoli commerciali leggeri a benzina non catalizzati (120 mg/veic.km), dalle autovetture non catalizzate (105 mg/veic · km) e infine dai motocicli (80 mg/veic · km).

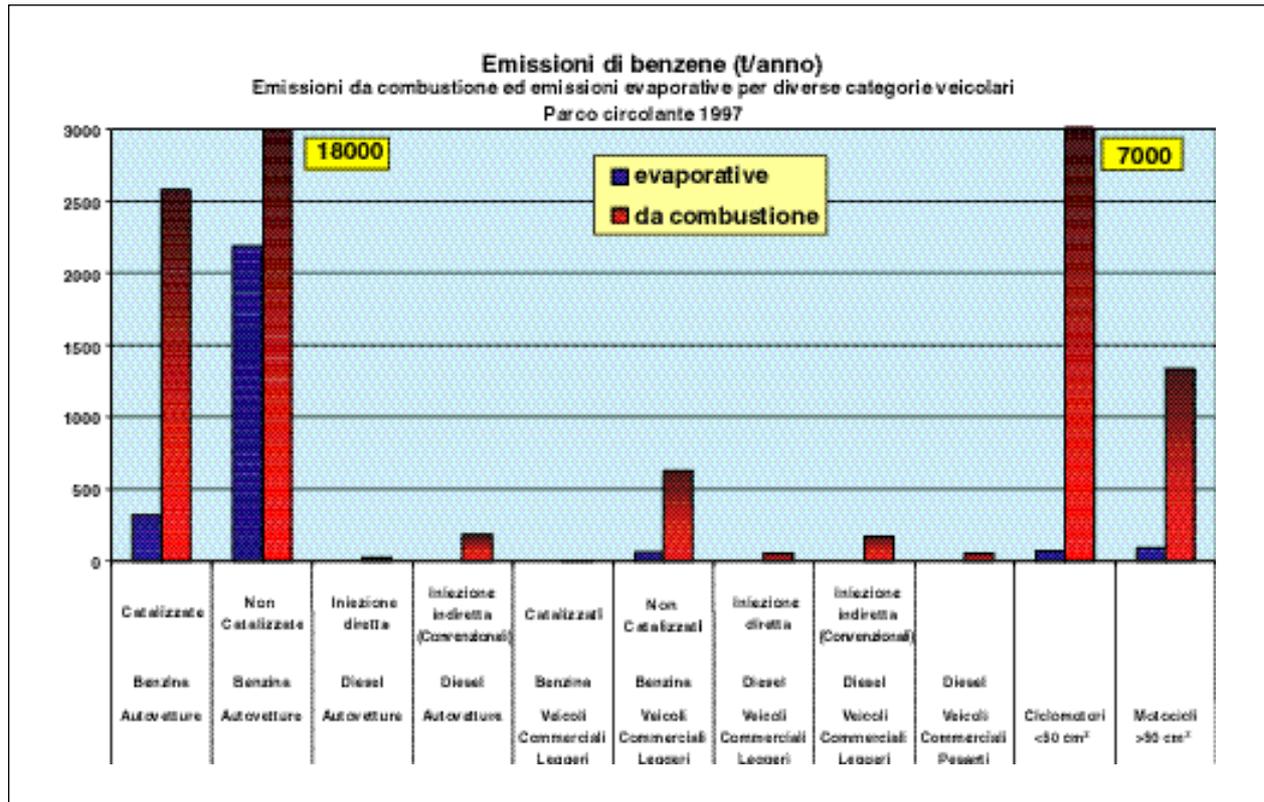


Figura 6.2

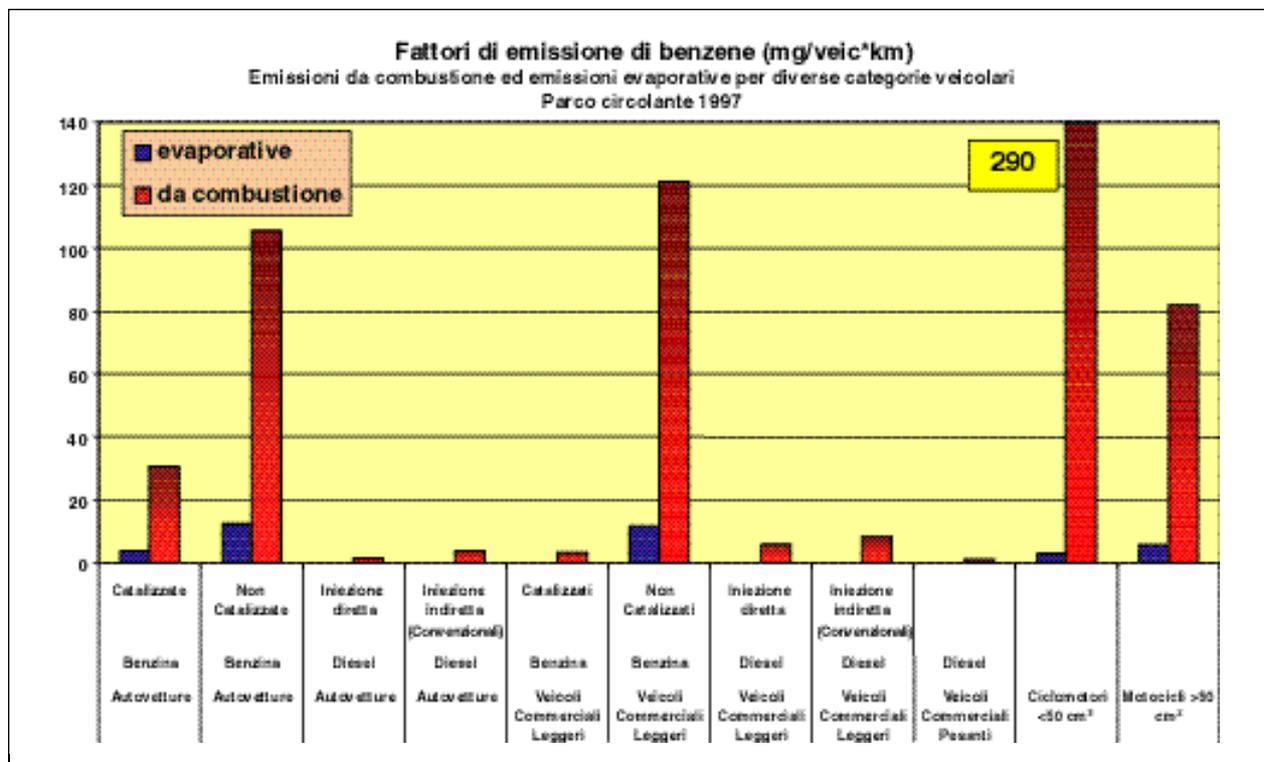


Figura 6.3

## 7. EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA SULLE EMISSIONI DEI VEICOLI

Negli ultimi anni la normativa sulle emissioni dei veicoli ha mostrato una continua evoluzione verso la riduzione delle emissioni stesse. Com'è noto queste norme hanno carattere internazionale: non interessano un solo paese sia per favorire la libera circolazione e vendita dei veicoli, sia per limitare l'inquinamento transfrontaliero. Le prime normative cui si fa riferimento (regolamenti ECE degli anni '70) sono state adottate in sede ONU (Convenzione ONU-ECE, che coinvolge l'Europa, il nord America ed il Giappone). Tuttavia per il nostro paese la sede più rilevante è divenuta con il tempo quella comunitaria, dove queste normative sono state trasformate in direttive, obbligatorie per tutti gli stati membri e recepite nell'ordinamento nazionale con appositi decreti ministeriali (ENEA, 1997).

Negli ultimi anni la sede comunitaria è divenuta propositiva di norme in generale più avanzate di quelle adottate in sede ONU, come del resto accade da tempo negli USA, con limiti alle emissioni sempre più stringenti e finalizzati a risolvere i problemi di qualità dell'aria che si riscontrano in diverse città europee. In sede comunitaria sono stati sviluppati appositi programmi di ricerca in collaborazione con l'industria automobilistica e petrolifera (programmi AUTO OIL I e II) che hanno portato ad identificare quei limiti di emissione per i veicoli che dovrebbero consentire di rispettare i valori limite di concentrazione di sostanze inquinanti nell'aria. Un recente gruppo di direttive che stabiliscono una serie di limiti di emissione molto stringenti per le automobili ed i veicoli pesanti prodotti nei prossimi anni ha cominciato a trasferire nella normativa i risultati dei programmi di ricerca.

Per sottolineare l'evoluzione di norme che migliorano le prestazioni ambientali dei veicoli ed illustrare anche ai non specialisti l'incremento della severità della normativa, le diverse direttive europee sono usualmente raggruppate anche in una sequenza di nomi convenzionali: euro I, II, III e IV. In generale con queste classi si fa riferimento alla riduzione delle emissioni rispetto alla media dei veicoli immatricolati alla fine degli anni '80. Con le direttive Euro IV si dovrebbe conseguire un abbattimento delle emissioni superiore al 95% rispetto alla base di riferimento.

Nelle tabelle da **1 a 4** dell'**appendice 4** la severità della normativa è riportata sotto l'anno di riferimento e vi si raggruppano i veicoli per classi omogenee, ognuna delle quali è oggetto di uno specifico provvedimento normativo:

- automobili;
- veicoli commerciali pesanti ed off-road;
- veicoli commerciali leggeri;
- motociclette e ciclomotori.

La definizione delle categorie veicolari secondo la UN-ECE (United Nations – Economic Commission for Europe) segue questa classificazione:

- |                                |                    |
|--------------------------------|--------------------|
| - auto passeggeri:             | M1                 |
| - veicoli commerciali leggeri: | N1                 |
| - veicoli commerciali pesanti: | N2, N3             |
| - bus urbani e pullman:        | M2, M3             |
| - mezzi a due ruote:           | L1, L2, L3, L4, L5 |

Per tutte le categorie di veicoli i principali composti soggetti a regolamentazione sono:

- monossido di carbonio (**CO**);
- idrocarburi incombusti (**HC**);
- ossidi di azoto, (**NO<sub>x</sub>**);
- particolato (**PM**).

Le emissioni regolamentate sono quelle prodotte durante un apposito ciclo di prove, da eseguire ai fini dell'omologazione dei veicoli. Questi cicli prova simulano un certo percorso urbano o extraurbano nel caso delle automobili, dei veicoli leggeri e dei motocicli, pertanto le emissioni regolamentate sono espresse in grammi per km percorso. Nel caso dei veicoli commerciali pesanti le condizioni di carico del veicolo sono preponderanti rispetto alla percorrenza, pertanto il ciclo di prova simula una certa erogazione di potenza del motore e le emissioni regolamentate sono espresse in grammi per kWh di potenza erogata.

Nel tempo anche il ciclo prova previsto ha subito una sua evoluzione. Ad esempio per le automobili, è passato da prove a velocità costante a cicli prova che simulano percorsi urbani ed extraurbani in occasione dell'introduzione della marmitta catalitica, nel 1992; recentemente, per controllare le emissioni nella prima fase di avviamento del veicolo, è stato previsto che, dal 2001, la prova comprenda tutte le emissioni a partire dall'avviamento a freddo dell'autovettura. Nelle tabelle allegate questo fatto è sottolineato da apposite fincature verticali per segnalare al lettore che il confronto tra emissioni rilevate in cicli prova differenti è improprio, anche se resta indicativo.

Inoltre si torna a sottolineare che il calcolo delle emissioni fatto con il modello COPERT fa riferimento a prove di uso reale dei veicoli e quindi a prove su strada diverse da quelle di omologazione, in genere più severe.

## AUTOVETTURE

In questa classe sono raggruppati tutti i veicoli delle categorie M1 (autovetture) e N1 (veicoli commerciali leggeri) definiti nelle direttive comunitarie come destinati al trasporto di meno di sei persone (esclusi quelli omologati come veicoli commerciali, per il trasporto di cose con non più di due persone a bordo). In particolare sono inclusi anche i fuoristrada.

Questa classe è quella che è oggetto di normativa da più tempo, come si vede dalla relativa tabella **1** in **appendice 4**, ed è stata già oggetto della seconda serie di normative, euro III e IV, che interessano i veicoli prodotti a partire dal 2001 e dal 2006 rispettivamente.

Nelle tabelle sono evidenziati con apposite fincature verticali i mutamenti nelle prove di omologazione, all'inizio degli anni '90 e nel 2000. Le fincature sottolineano che si stanno paragonando grandezze diverse, per esempio all'inizio degli anni '90 la riduzione delle emissioni è ancora più drastica di quella evidenziata in tabella, visto che il ciclo prova adottato è assai più severo. Nel 2000 l'introduzione della partenza a freddo nel ciclo ha fatto sì che un certo valore limite, quello del CO, sia stato addirittura aumentato, mentre nelle prove su strada le emissioni si riducono del 40% circa, con l'adozione dei nuovi limiti di emissione.

## VEICOLI COMMERCIALI LEGGERI

Questa classe di veicoli è stata interessata dalle normative nella fase iniziale e solo recentemente, dal 1995, è oggetto di normative comunitarie. Vi sono raggruppati tutti i veicoli delle categorie N1 e M1 omologati come veicoli commerciali, per il trasporto di cose con non più di due persone a bordo. Si tratta di veicoli con peso a vuoto inferiore ai 2150 kg. Per i veicoli commerciali leggeri si usa spesso anche la sigla inglese LDV, Light Duty Vehicles.

A differenza delle automobili le normative prevedono valori di emissione diversi secondo il peso a vuoto del veicolo. In tabella **2** dell'**appendice 4** sono riportati i valori per i veicoli di peso maggiore, in particolare quelli con peso a vuoto superiore ai 1700 kg. Per i veicoli con peso a vuoto inferiore ai 1200 kg si applicano gli stessi limiti delle automobili, per quelli con peso compreso tra i 1200 ed i 1700 kg si applicano i limiti dei veicoli più pesanti con una riduzione delle emissioni per km del 20% circa.

Da notare che sono in vigore solo le normative euro I e II e i dati per la seconda serie di normative sono estratti da proposte di normative non ancora approvate.

## VEICOLI COMMERCIALI PESANTI ED OFF-ROAD

La tabella **3** dell'*appendice 4* contiene i dati relativi ai veicoli commerciali con peso a vuoto superiore ai 2150 kg e quelli relativi ai trattori agricoli e alle macchine da cantiere che utilizzano lo stesso tipo di motore. Per i veicoli commerciali pesanti si usa spesso anche la sigla inglese HDV, Heavy Duty Vehicles. Una particolarità di questa classe di veicoli è il fatto che le emissioni regolamentate si riferiscono alla potenza sviluppata dal motore, espressa in kWh, e non ai chilometri percorsi, come già sottolineato in premessa. Del resto questo trova riscontro nell'uso di queste macchine in cui il regime del motore è meno legato alla velocità del veicolo e più sensibile al carico trasportato.

Anche le prove di questi motori sono particolari e si svolgono su banco, anche separatamente dal veicolo. In questo caso quindi la distanza tra i limiti qui riportati e quelli utilizzati da COPERT ed illustrati nel resto del documento è piuttosto marcata ed il passaggio dall'uno all'altro fattore di emissione prevede ipotesi sul carico del veicolo, sul tipo di percorso e sulle pendenze medie delle strade.

I soli camion sono stati oggetto anche della seconda serie di normative, euro III e IV, che però troveranno la loro piena applicazione fra 5-8 anni.

## CICLOMOTORI E MOTOCICLETTE

Questi veicoli solo in anni molto recenti sono divenuti oggetto di interesse normativo, anche a causa della scarsa rilevanza delle loro emissioni totali rispetto alle emissioni complessive del settore dei trasporti nel contesto europeo e nord europeo in particolare. La situazione italiana è ovviamente diversa, in particolare le percorrenze di questi veicoli sono più elevate, viste le più favorevoli condizioni climatiche.

Recentemente sono state approvate le normative della prima fase, euro I, con una seconda fase prevista per i soli ciclomotori (tabella **4** dell'*appendice 4*). Le emissioni specifiche, per chilometro percorso, sono comunque ancora piuttosto alte, di un ordine di grandezza superiori a quelle delle automobili.

## APPENDICE 1 - PARCO CIRCOLANTE, PERCORRENZE ANNUE E VELOCITÀ MEDIE PER CATEGORIE DI ANZIANITÀ DEI VEICOLI IN ITALIA SECONDO LA NORMATIVA DELLA COMUNITÀ EUROPEA. ANNO 1997

Categoria veicolare	Tipologia di veicolo	Classe di età	Periodo di riferimento	Parco	Percorrenza <sup>(1)</sup> (km/anno)
Veicoli Passeggeri <2.5 t (autovetture)	Benzina < 1.400 cm <sup>3</sup>	PRE ECE	fino al 31.3.73	1.120.285	3.000
		ECE 15/00-01	fino al 31/9/78	1.026.945	5.000
		ECE 15/02	fino al 31/12/81	1.606.694	6.500
		ECE 15/03	fino al 31/12/84	2.087.255	9.200
		ECE 15/04	fino al 31/12/92	8.992.457	10.000
		91/441/EEC	dal 1/1/93 al 31/12/96	3.938.947	10.000
		94/12/EEC	dal 1/1/97 al 31/12/00	1.236.795	12.000
	Benzina 1.400<cm <sup>3</sup> <2.000	PRE ECE	fino al 31.3.73	112.758	6.000
		ECE 15/00-01	fino al 31/9/78	108.992	8.000
		ECE 15/02	fino al 31/12/81	215.997	12.000
		ECE 15/03	fino al 31/12/84	308.454	13.500
		ECE 15/04	fino al 31/12/92	2.688.204	15.100
		91/441/EEC	dal 1/1/93 al 31/12/96	2.001.739	15.100
		94/12/EEC	dal 1/1/97 al 31/12/00	628.555	16.000
	Benzina >2.000 cm <sup>3</sup>	PRE ECE	fino al 31.3.73	22.202	7.000
		ECE 15/00-01	fino al 31/9/78	15.309	9.500
		ECE 15/02	fino al 31/12/81	20.373	13.500
		ECE 15/03	fino al 31/12/84	17.080	14.700
		ECE 15/04	fino al 31/12/89	45.346	17.200
		91/441/EEC	dal 1/1/90 al 31/12/96	100.935	17.200
		94/12/EEC	dal 1/1/97 al 31/12/00	31.422	20.000
Diesel <2.000 cm <sup>3</sup>	Convenzionali	fino al 30/6/94	1.795.285	20.500	
	91/441/EEC	dal 1/7/94 al 31/12/96	360.771	20.500	
	94/12/EEC	dal 1/1/97 al 31/12/00	304.858	22.000	
Diesel >2.000 cm <sup>3</sup>	Convenzionali	fino al 30/6/94	643.083	22.000	
	91/441/EEC	dal 1/7/94 al 31/12/96	134.489	22.000	
	94/12/EEC	dal 1/1/97 al 31/12/00	113.157	24.000	
GPL	Convenzionali	fino al 31/12/92	1.148.942	20.500	
	91/441/EEC	dal 1/1/93 al 31/12/96	146.802	20.500	
	94/12/EEC	dal 1/1/97 al 31/12/00	8.100	24.000	
Veicoli merci leggeri < 1.5 t (3.5 t totali)	Benzina	Convenzionali	fino al 30/9/94	334.529	15.500
		93/59/EEC	dal 1/10/94 al 30/9/98	53.474	15.500
	Diesel	Convenzionali	fino al 30/9/94	1.431.933	16.500
		93/59/EEC	dal 1/10/94 al 30/9/98	379.437	16.500
Veicoli merci pesanti (10 t di portata = 16 t totali)	Benzina >3.5 t	Convenzionali		15.955	5.000
	Diesel < 7.5 t	Convenzionali	fino al 30/9/93	337.652	33.000
		91/542/EEC	dal 1/10/93 al 30/9/96		
		Stage I		21.582	33.000
		91/542/EEC	dal 1/10/97	7.682	33.000
	Diesel 7.5 - 16 t	Convenzionali	fino al 30/9/93	225.101	34.000
91/542/EEC		dal 1/10/93 al 30/9/96			
Stage I			14.389	34.000	
	91/542/EEC	dal 1/10/97	5.121	34.000	
	Stage II				

(1) Le percorrenze riportate in tabella fanno riferimento a veicoli circolanti dal 1 gennaio al 31 dicembre. La stima delle emissioni per il 1997 ha tenuto conto dell'effetto delle normative entrate in vigore nel corso dell'anno, sulle reali percorrenze dei veicoli immatricolati nel corso del 1997.

## APPENDICE 1 - PARCO CIRCOLANTE, PERCORRENZE E VELOCITÀ MEDIE

Categoria veicolare	Tipologia di veicolo	Classe di età	Periodo di riferimento	Parco	Percorrenza (km/anno)
Veicoli merci pesanti (10 t di portata = 16 t totali)	Diesel 16 - 32 t	Convenzionali	fino al 30/9/93	208.543	58.000
		91/542/EEC	dal 1/10/93 al 30/9/96		
		Stage I		29.245	58.000
	Diesel > 32 t	91/542/EEC	dal 1/10/97		
		Stage II		13.253	58.000
		Convenzionali	fino al 30/9/93	89.375	61.000
Bus	Urbani	91/542/EEC	dal 1/10/93 al 30/9/96		
		Stage I		901	42.500
		91/542/EEC	dal 1/10/97		
	Extraurbani	Stage II		557	42.500
		Convenzionali	fino al 30/9/93	58.908	44.000
		91/542/EEC	dal 1/10/93 al 30/9/96		
Ciclomotori	<50 cm <sup>3</sup>	Stage I	dal 1/10/97		
		91/542/EEC	dal 1/10/97		
		Stage II		3.824	44.000
Motoveicoli	4 tempi - 50<cm <sup>3</sup> <250	Convenzionali	fino al 30/6/99	4.820.531	5.000
		Convenzionali	fino al 30/6/99	1.367.251	5.100
		Convenzionali	fino al 30/6/99	1.215.334	5.400
	4 tempi - 250<cm <sup>3</sup> <750	Convenzionali	fino al 30/6/99	455.750	6.000
	4 tempi - cm <sup>3</sup> >750	Convenzionali	fino al 30/6/99		

APPENDICE 1 - PARCO CIRCOLANTE, PERCORRENZE E VELOCITÀ MEDIE

Categoria veicolare	Tipologia di veicolo	Classe di età	Periodo di riferimento	Velocità media (km/h)		
				Ciclo urbano	Ciclo extraurbano	Ciclo autostradale
Veicoli Passeggeri <2.5 t (autovetture)	Benzina < 1.400 cm <sup>3</sup>	PRE ECE	fino al 31.3.73	25	45	95
		ECE 15/00-01	fino al 31/9/78	25	55	100
		ECE 15/02	fino al 31/12/81	25	60	100
		ECE 15/03	fino al 31/12/84	25	60	105
		ECE 15/04	fino al 31/12/92	25	60	105
		91/441/EEC	fino al 31/12/96	25	65	110
		94/12/EEC	fino al 31/12/00	25	65	110
	Benzina 1.400<cm <sup>3</sup> <2.000	PRE ECE	fino al 31.3.73	25	50	105
		ECE 15/00-01	fino al 31/9/78	25	60	110
		ECE 15/02	fino al 31/12/81	25	60	115
		ECE 15/03	fino al 31/12/84	25	60	115
		ECE 15/04	fino al 31/12/92	25	60	120
		91/441/EEC	fino al 31/12/96	25	65	120
		94/12/EEC	fino al 31/12/00	25	65	120
	Benzina 1.400<cm <sup>3</sup> <2.000	PRE ECE	fino al 31.3.73	25	50	105
		ECE 15/00-01	fino al 31/9/78	25	60	110
		ECE 15/02	fino al 31/12/81	25	60	115
		ECE 15/03	fino al 31/12/84	25	60	115
		ECE 15/04	fino al 31/12/92	25	60	120
		91/441/EEC	fino al 31/12/96	25	65	120
		94/12/EEC	fino al 31/12/00	25	65	120
	Benzina >2.000 cm <sup>3</sup>	PRE ECE	fino al 31.3.73	25	55	105
		ECE 15/00-01	fino al 31/9/78	25	60	110
		ECE 15/02	fino al 31/12/81	25	60	115
		ECE 15/03	fino al 31/12/84	25	65	115
		ECE 15/04	fino al 31/12/89	25	65	120
		91/441/EEC	fino al 31/12/96	25	65	120
		94/12/EEC	fino al 31/12/00	25	65	120
Diesel <2.000 cm <sup>3</sup>	Convenzionali	fino al 30/6/94	25	60	110	
	91/441/EEC	fino al 31/12/96	25	60	110	
	94/12/EEC	fino al 31/12/00	25	60	110	
Diesel >2.000 cm <sup>3</sup>	Convenzionali	fino al 30/6/94	25	65	120	
	91/441/EEC	fino al 31/12/96	25	65	120	
	94/12/EEC	fino al 31/12/00	25	65	120	
GPL	Convenzionali	fino al 31/12/92	25	65	110	
	91/441/EEC	fino al 31/12/96	25	65	110	
	94/12/EEC	fino al 31/12/00	25	65	110	
Veicoli comm. leggeri < 1.5 t (3.5 t totali)	Benzina	Convenzionali	fino al 30/9/94	25	60	95
	Diesel	93/59/EEC	fino al 30/9/98	25	60	95
Veicoli commerciali pesanti (10 t di portata = 16 t totali)	Benzina >3.5 t	Convenzionali		22	60	90
	Diesel < 7.5 t	Convenzionali	fino al 30/9/93	22	60	85
		91/542/EEC				
		Stage I	fino al 30/9/96	22	60	85
	Diesel 7.5 - 16 t	91/542/EEC				
		Stage II	dal 1/10/97	22	60	85
		Convenzionali	fino al 30/9/93	22	60	85
Diesel 7.5 - 16 t	91/542/EEC					
	Stage I	fino al 30/9/96	22	60	85	
	91/542/EEC					
Diesel 7.5 - 16 t	Stage II	dal 1/10/97	22	60	85	

## APPENDICE 1 - PARCO CIRCOLANTE, PERCORRENZE E VELOCITÀ MEDIE

Categoria veicolare	Tipologia di veicolo	Classe di età	Periodo di riferimento	Velocità media (km/h)		
				Ciclo urbano	Ciclo extraurbano	Ciclo autostradale
Veicoli commerciali pesanti (10 t di portata = 16 t totali)	Diesel 16 - 32 t	Convenzionali 91/542/EEC	fino al 30/9/93	22	60	80
		Stage I 91/542/EEC	fino al 30/9/96	22	60	80
		Stage II	dal 1/10/97	22	60	80
	Diesel > 32 t	Convenzionali 91/542/EEC	fino al 30/9/93	22	60	75
		Stage I 91/542/EEC	fino al 30/9/96	22	60	75
		Stage II	dal 1/10/97	22	60	75
Bus	urbani	Convenzionali 91/542/EEC	fino al 30/9/93	22	60	85
		Stage I 91/542/EEC	fino al 30/9/96	22	60	85
		Stage II	dal 1/10/97	22	60	85
	extraurbani	Convenzionali 91/542/EEC	fino al 30/9/93	22	60	85
		Stage I 91/542/EEC	fino al 30/9/96	22	60	85
		Stage II	dal 1/10/97	22	60	85
Ciclomotori	<50 cm <sup>3</sup>	Convenzionali	fino al 30/6/99	25	40	-
Motoveicoli	4 tempi - 50<cm <sup>3</sup> <250	Convenzionali	fino al 30/6/99	25	60	100
	4 tempi - 250<cm <sup>3</sup> <750	Convenzionali	fino al 30/6/99	25	65	105
	4 tempi - cm <sup>3</sup> >750	Convenzionali	fino al 30/6/99	25	70	110

## APPENDICE 2 - FATTORI DI EMISSIONE MEDI IN g/veic•km PER IL PARCO CIRCOLANTE ITALIANO NEL 1997

NO <sub>x</sub> (g/veic•km)			Ciclo di guida		
Tipo di veicolo e Periodo di immatricolazione	Categoria veicolare	Percorso	Urbano	Extra urbano	Autostradale
Autovetture Immatricolate 1985-1992 (ECE 15/04)	Benzina <1,4 l	a caldo	1,5576	1,9372	2,7744
		totale	1,6428	1,9372	2,7744
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo	1,8553	2,5304	4,1096
		totale	1,9686	2,5521	4,1096
	Benzina >2,0 l	a caldo	2,2433	2,6409	4,5774
		totale	2,3803	2,6807	4,5774
Autovetture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo	0,3880	0,3840	0,6090
		totale	1,2931	0,3913	0,6090
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo	0,3764	0,2644	0,6329
		totale	1,3479	0,4104	0,6329
	Benzina >2,0 l	a caldo	0,2717	0,2037	0,6327
		totale	0,9730	0,3792	0,6327
Autovetture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo	0,1663	0,1559	0,2436
		totale	0,5540	0,1590	0,2436
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo	0,1656	0,1164	0,2787
		totale	0,5932	0,1807	0,2787
	Benzina >2,0 l	a caldo	0,1197	0,0901	0,2793
		totale	0,4287	0,1674	0,2793
Autovetture Immatricolate fino al 1994 (convenzionali)	Diesel <2,0 l	a caldo	0,6311	0,4416	0,6001
		totale	0,7125	0,4632	0,6001
	Diesel >2,0 l	a caldo	0,9641	0,7229	1,0862
		totale	1,0885	0,7593	1,0862
Autovetture Immatricolate 1994-1996 (ecodiesel 91/441/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo	0,5462	0,2557	0,2657
		totale	0,6167	0,2744	0,2657
	Diesel >2,0 l	a caldo	0,5462	0,2342	0,3277
		totale	0,6167	0,2548	0,3277
Autovetture Immatricolate dal 1997 (ecodiesel 94/12/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo	0,2403	0,1126	0,1171
		totale	0,2714	0,1208	0,1171
	Diesel >2,0 l	a caldo	0,2403	0,1032	0,1444
		totale	0,2714	0,1122	0,1444
Autovetture Immatricolate fino al 1992 (convenzionali)	GPL	a caldo	1,9250	2,5263	2,9347
		totale	1,7601	2,5254	2,9347
Autovetture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	GPL	a caldo	0,3953	0,2873	0,3188
		totale	0,3614	0,2871	0,3188
Autovetture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	GPL	a caldo	0,1742	0,1282	0,1453
		totale	0,1593	0,1281	0,1453
Comm. Legg. Immatricolati fino al 1994 (convenzionali)	Benzina <3,5 t	a caldo	1,7979	1,7891	2,0008
		totale	1,9034	1,7905	2,0008
	Diesel <3,5 t	a caldo	1,1571	0,8981	0,8841
		totale	1,3059	0,9098	0,8841
Comm. Legg. Immatricolati 1994-1997 (93/59/EEC)	Benzina <3,5 t	a caldo	0,3880	0,3740	0,5070
		totale	0,4108	0,3743	0,5070
	Diesel <3,5 t	a caldo	0,5462	0,2557	0,2102
		totale	0,6164	0,2612	0,2102
Comm. Pes. Immatricolati fino al 1993 (convenzionali)	Diesel >3,5 t	a caldo	12,2946	5,9683	6,8087
		totale	12,2946	5,9683	6,8087
Comm. Pes. Immatricolati 1993-1996 (91/542/EEC stage I)	Diesel >3,5 t	a caldo	8,3554	4,4769	4,5052
		totale	8,3554	4,4769	4,5052
Comm. Pes. Immatricolati dal 1997 (91/542/EEC stage II)	Diesel >3,5 t	a caldo	6,3389	3,5583	4,8678
		totale	6,3389	3,5583	4,8678
Ciclomotori Immatricolati fino al 1997	<50 cm <sup>3</sup>	a caldo	0,0300	0,0300	-
		totale	0,0300	0,0300	-
Motocicli Immatricolati fino al 1997	>50 cm <sup>3</sup>	a caldo	0,1006	0,2291	0,3900
		totale	0,1006	0,2291	0,3900

## APPENDICE 2 - FATTORI DI EMISSIONE MEDI IN g/veic•km PER IL PARCO CIRCOLANTE ITALIANO NEL 1997

COVNM (g/veic•km)			Ciclo di guida		
Tipo di veicolo e Periodo di immatricolazione	Categoria veicolare	Percorso	Urbano	Extra urbano	Auto-stradale
Autovetture Immatricolate 1985-1992 (ECE 15/04)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	1,9043 6,5373	1,0739 1,2956	0,6647 1,6813
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	1,9043 8,4693	1,0739 1,6420	0,6881 1,0747
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	1,9043 9,9396	0,9235 1,6812	0,6881 1,0154
Autovetture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	0,2416 3,6345	0,0496 0,1394	0,1778 0,4353
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	0,2177 3,8755	0,0458 0,4677	0,1750 0,2838
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	0,1346 3,2532	0,0506 0,4789	0,1441 0,2333
Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	0,0947 2,3659	0,0107 0,1101	0,0692 0,4054
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	0,0864 2,7415	0,0140 0,2416	0,0764 0,2199
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	0,0485 2,6319	0,0133 0,2222	0,0589 0,1693
Autovetture Immatricolate fino al 1994 (convenzionali)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	0,2209 0,4232	0,0944 0,1480	0,0514 0,0514
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	0,2209 0,4232	0,0873 0,1462	0,0469 0,0469
Autovetture Immatricolate 1994-1996 (ecodiesel 91/441/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	0,0816 0,1565	0,0344 0,0542	0,0094 0,0094
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	0,0816 0,1565	0,0296 0,0514	0,0104 0,0104
Autovetture Immatricolate dal 1997 (ecodiesel 94/12/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	0,0567 0,1086	0,0250 0,0387	0,0095 0,0095
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	0,0567 0,1086	0,0219 0,0370	0,0106 0,0106
Autovetture Immatricolate fino al 1992 (convenzionali)	GPL	a caldo totale	1,5446 2,2286	0,6759 0,6903	0,4260 0,4260
Autovetture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	GPL	a caldo totale	0,3106 0,4482	0,0516 0,0545	0,1021 0,1021
Autovetture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	GPL	a caldo totale	0,0919 0,1326	0,0033 0,0042	0,0313 0,0313
Comm. Legg. Immatricolati fino al 1994 (convenzionali)	Benzina <3,5t	a caldo totale	2,8359 8,6102	0,9334 1,1744	0,6509 1,4222
	Diesel <3,5 t	a caldo totale	0,3586 0,6860	0,1714 0,1969	0,1556 0,1556
Comm. Legg. Immatricolati 1994-1997 (93/59/EEC)	Benzina <3,5t	a caldo totale	0,0331 0,0646	0,0506 0,0510	0,2109 0,2109
	Diesel <3,5 t	a caldo totale	0,3017 0,5772	0,1635 0,1849	0,0987 0,0987
Comm. Pes. Immatricolati fino al 1993 (convenzionali)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	2,4764 2,4764	1,0599 1,0599	0,7994 0,7994
Comm. Pes. Immatricolati 1993-1996 (91/542/EEC stage I)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	1,4342 1,4342	0,7063 0,7063	0,5864 0,5864
Comm. Pes. Immatricolati dal 1997 (91/542/EEC stage II)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	1,2555 1,2555	0,6404 0,6404	0,5069 0,5069
Ciclomotori Immatricolati fino al 1997	<50 cm <sup>3</sup>	a caldo	8,9000	8,9000	-
		totale	9,3117	8,9000	-
Motocicli Immatricolati fino al 1997	>50 cm <sup>3</sup>	a caldo	2,6846	0,9619	0,9614
		totale	3,4405	1,1239	2,0953

APPENDICE 2 - FATTORI DI EMISSIONE MEDI IN g/veic•km PER IL PARCO CIRCOLANTE ITALIANO NEL 1997

CO (g/veic•km)			Ciclo di guida		
Tipo di veicolo e Periodo di immatricolazione	Categoria veicolare	Percorso	Urbano	Extra urbano	Auto-stradale
Autoveiture Immatricolate 1985-1992 (ECE 15/04)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	13,9368 32,3329	6,2830 6,2830	4,3846 4,3846
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	13,9368 35,0667	6,2830 9,9725	5,0002 5,0002
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	13,9368 35,0667	5,2667 11,0692	5,0002 5,0002
Autoveiture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	2,9259 21,1856	1,9619 2,1215	4,7024 4,7024
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	2,0486 16,0941	0,8406 3,0162	6,4946 6,4946
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	1,9283 15,1490	0,9163 4,2862	2,6598 2,6598
Autoveiture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	2,0474 14,8246	1,3714 1,4831	3,2884 3,2884
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	1,4340 11,2657	0,5884 2,1113	4,5462 4,5462
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	1,3500 10,6058	0,6420 3,0013	1,8630 1,8630
Autoveiture Immatricolate fino al 1994 (convenzionali)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	0,8521 1,2828	0,5154 0,6229	0,3639 0,3639
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	0,8521 1,2828	0,4922 0,6105	0,3461 0,3461
Autoveiture Immatricolate 1994-1996 (ecodiesel 91/441/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	0,5712 0,8599	0,2737 0,3458	0,2737 0,2737
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	0,5712 0,8599	0,2512 0,3305	0,3337 0,3337
Autoveiture Immatricolate dal 1997 (ecodiesel 94/12/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	0,3998 0,6019	0,1916 0,2420	0,1916 0,1916
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	0,3998 0,6019	0,1758 0,2313	0,2336 0,2336
Autoveiture Immatricolate fino al 1992 (convenzionali)	GPL	a caldo totale	4,5137 10,7704	1,8466 1,9454	13,7752 13,7752
Autoveiture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	GPL	a caldo totale	1,9848 4,7361	1,2848 1,3282	4,7048 4,7048
Autoveiture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	GPL	a caldo totale	1,3894 3,3153	0,8994 0,9298	3,2934 3,2934
Comm. Legg. Immatricolati fino al 1994 (convenzionali)	Benzina <3,5t	a caldo totale	26,8340 64,9989	6,5970 7,0319	13,3100 13,3100
	Diesel <3,5 t	a caldo totale	1,3131 1,9698	1,0121 1,0563	1,2011 1,2011
Comm. Legg. Immatricolati 1994-1997 (93/59/EEC)	Benzina <3,5t	a caldo totale	1,4070 3,4081	1,5295 1,5523	3,1220 3,1220
	Diesel <3,5 t	a caldo totale	1,1263 1,6895	0,6258 0,6637	0,6153 0,6153
Comm. Pes. Immatricolati fino al 1993 (convenzionali)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	4,4909 4,4909	2,1646 2,1646	1,7465 1,7465
Comm. Pes. Immatricolati 1993-1996 (91/542/EEC stage I)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	2,3536 2,3536	1,2977 1,2977	1,1090 1,1090
Comm. Pes. Immatricolati dal 1997 (91/542/EEC stage II)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	1,9365 1,9365	1,1134 1,1134	1,0975 1,0975
Ciclomotori Immatricolati fino al 1997	<50 cm <sup>3</sup>	a caldo	15	15	-
		totale	15	15	-
Motocicli Immatricolati fino al 1997	>50 cm <sup>3</sup>	a caldo	28,7247	21,2900	31,7747
		totale	28,7247	21,2900	31,7747

## APPENDICE 2 - FATTORI DI EMISSIONE MEDI in g/veic•km PER IL PARCO CIRCOLANTE ITALIANO NEL 1997

PM (g/veic•km)			Ciclo di guida		
Tipo di veicolo e Periodo di immatricolazione	Categoria veicolare	Percorso	Urbano	Extra urbano	Auto-stradale
Autovetture Immatricolate fino al 1994 (convenzionali)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	0,2712 0,4841	0,1428 0,2015	0,2058 0,2058
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	0,2712 0,4841	0,1360 0,2007	0,2532 0,2532
Autovetture Immatricolate 1994-1996 (ecodiesel 91/441/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	0,0633 0,1130	0,0248 0,0385	0,0548 0,0548
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	0,0633 0,1130	0,0233 0,0384	0,0728 0,0728
Autovetture Immatricolate dal 1997 (ecodiesel 94/12/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	0,0286 0,0511	0,0134 0,0196	0,0299 0,0299
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	0,0286 0,0511	0,0130 0,0198	0,0386 0,0386
Comm. Legg. Immatricolati fino al 1994 (convenzionali) Comm. Legg. Immatricolati 1994-1997 (93/59/EEC)	Diesel <3,5 t	a caldo totale	0,2792 0,4987	0,2880 0,3068	0,3212 0,3212
	Diesel <3,5 t	a caldo totale	0,1562 0,2789	0,0827 0,0932	0,1072 0,1072
Comm. Pes. Immatricolati fino al 1993 (convenzionali)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	0,9218 0,9218	0,4439 0,4439	0,4070 0,4070
Comm. Pes. Immatricolati 1993-1996 (91/542/EEC stage I)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	0,6606 0,6606	0,3194 0,3194	0,2888 0,2888
Comm. Pes. Immatricolati dal 1997 (91/542/EEC stage II)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	0,2992 0,2992	0,1424 0,1424	0,1198 0,1198

APPENDICE 2 - FATTORI DI EMISSIONE MEDI IN g/veic•km PER IL PARCO CIRCOLANTE ITALIANO NEL 1997

CO <sub>2</sub> (g/veic•km)			Ciclo di guida		
Tipo di veicolo e Periodo di immatricolazione	Categoria veicolare	Percorso	Urbano	Extra urbano	Auto-stradale
Autovetture Immatricolate 1985-1992 (ECE 15/04)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	116,19 150,87	134,84 134,84	149,50 149,50
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	213,59 288,70	119,12 131,15	188,85 188,85
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	292,71 395,63	170,07 196,85	239,41 239,41
Autovetture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	189,22 250,28	125,40 125,98	179,35 179,35
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	256,08 346,12	148,72 163,15	275,33 275,33
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	304,71 411,84	182,32 210,20	308,75 308,75
Autovetture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	189,22 250,28	125,40 125,98	179,35 179,35
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	256,08 346,12	148,72 163,15	275,33 275,33
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	304,71 411,84	182,32 210,20	308,75 308,75
Autovetture Immatricolate fino al 1994 (convenzionali)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	235,76 291,10	137,58 150,86	184,02 184,02
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	235,76 291,10	132,34 146,94	219,66 219,66
Autovetture Immatricolate 1994-1996 (ecodiesel 91/441/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	175,05 216,14	104,68 114,53	109,49 109,49
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	175,05 216,14	99,58 110,42	125,33 125,33
Autovetture Immatricolate dal 1997 (ecodiesel 94/12/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	175,05 216,14	104,68 114,53	109,49 109,49
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	175,05 216,14	99,58 110,42	125,33 125,33
Autovetture Immatricolate fino al 1992 (convenzionali)	GPL	a caldo totale	169,75 224,52	129,47 130,18	155,36 155,36
	GPL	a caldo totale	161,12 213,11	129,24 129,92	172,61 172,61
Autovetture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	GPL	a caldo totale	161,12 213,11	129,24 129,92	172,61 172,61
	Comm. Legg. Immatricolati fino al 1994 (convenzionali)	Benzina <3,5t	a caldo totale	304,71 403,03	187,75 188,68
Diesel <3,5 t		a caldo totale	271,93 334,81	207,78 211,58	322,75 322,75
Comm. Legg. Immatricolati 1994-1997 (93/59/EEC)	Benzina <3,5t	a caldo totale	304,71 403,03	187,75 188,68	208,98 208,98
	Diesel <3,5 t	a caldo totale	338,16 416,37	241,47 246,19	262,39 262,39
Comm. Pes. Immatricolati fino al 1993 (convenzionali)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	878,93 878,93	525,36 525,36	647,20 647,20
Comm. Pes. Immatricolati 1993-1996 (91/542/EEC stage I)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	996,98 996,98	603,20 603,20	702,81 702,81
Comm. Pes. Immatricolati dal 1997 (91/542/EEC stage II)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	1038,67 1038,67	629,60 629,60	712,43 712,43
Ciclomotori Immatricolati fino al 1997	<50 cm <sup>3</sup>	a caldo	75,41	75,41	-
		totale	75,41	75,41	-
Motocicli Immatricolati fino al 1997	>50 cm <sup>3</sup>	a caldo	125,37	82,58	110,63
		totale	125,37	82,58	110,63

### APPENDICE 3 - FATTORI DI EMISSIONE MEDI IN g/kg DI CARBURANTE CONSUMATO PER IL PARCO CIRCOLANTE ITALIANO NEL 1997

NO <sub>x</sub> (g/kg di carburante)			Ciclo di guida		
Tipo di veicolo e Periodo di immatricolazione	Categoria veicolare	Percorso	Urbano	Extra urbano	Auto-stradale
Autoveiture Immatricolate 1985-1992 (ECE 15/04)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	40,4336 32,8434	43,3339 43,3339	55,9766 55,9766
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	26,1983 20,5668	64,0709 58,6910	65,6360 65,6360
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	23,1156 18,1467	46,8360 41,0753	57,6680 57,6680
Autoveiture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	6,1848 15,5830	9,2364 9,3695	10,2418 10,2418
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	4,4335 11,7464	5,3622 7,5875	6,9333 6,9333
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	2,6895 7,1258	3,3699 5,4416	6,1810 6,1810
Autoveiture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	2,6501 6,6770	3,7487 3,8067	4,0967 4,0967
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	1,9511 5,1695	2,3617 3,3408	3,0531 3,0531
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	1,1849 3,1393	1,4906 2,4025	2,7286 2,7286
Autoveiture Immatricolate fino al 1994 (convenzionali)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	8,3994 7,6799	10,0709 9,6346	10,2321 10,2321
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	12,8312 11,7321	17,1395 16,2124	15,5151 15,5151
Autoveiture Immatricolate 1994-1996 (ecodiesel 91/441/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	9,7903 8,9516	7,6644 7,5177	7,6138 7,6138
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	9,7903 8,9516	7,3792 7,2398	8,2040 8,2040
Autoveiture Immatricolate dal 1997 (ecodiesel 94/12/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	4,3081 3,9391	3,3751 3,3103	3,3556 3,3556
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	4,3081 3,9391	3,2500 3,1884	3,6151 3,6151
Autoveiture Immatricolate fino al 1992 (convenzionali)	GPL	a caldo totale	32,6265 22,5540	56,1409 55,8123	54,3459 54,3459
Autoveiture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	GPL	a caldo totale	7,0589 4,8797	6,3958 6,3582	5,3138 5,3138
Autoveiture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	GPL	a caldo totale	3,1107 2,1504	2,8540 2,8372	2,4219 2,4219
Comm. Legg. Immatricolati fino al 1994 (convenzionali)	Benzina <3,5t	a caldo totale	17,7965 14,2449	28,7424 28,6233	28,8788 28,8788
	Diesel <3,5 t	a caldo totale	13,3510 12,2377	13,5615 13,4915	8,5947 8,5947
Comm. Legg. Immatricolati 1994-1997 (93/59/EEC)	Benzina <3,5t	a caldo totale	3,8407 3,0742	6,0084 5,9837	7,3177 7,3177
	Diesel <3,5 t	a caldo totale	5,0678 4,6453	3,3225 3,3291	2,5135 2,5135
Comm. Pes. Immatricolati fino al 1993 (convenzionali)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	43,8892 43,8892	35,6447 35,6447	33,0085 33,0085
Comm. Pes. Immatricolati 1993-1996 (91/542/EEC stage I)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	26,2951 26,2951	23,2870 23,2870	20,1130 20,1130
Comm. Pes. Immatricolati dal 1997 (91/542/EEC stage II)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	19,1484 19,1484	17,7326 17,7326	21,4382 21,4382
Ciclomotori Immatricolati fino al 1997	<50 cm <sup>3</sup>	a caldo	1,2000	1,2000	-
		totale	1,2000	1,2000	-
Motocicli Immatricolati fino al 1997	>50 cm <sup>3</sup>	a caldo	2,4200	8,3671	10,6324
		totale	2,4200	8,3671	10,6324

APPENDICE 3 - FATTORI DI EMISSIONE MEDI IN g/kg DI CARBURANTE CONSUMATO PER IL PARCO CIRCOLANTE ITALIANO NEL 1997

COVNM (g/kg di carburante)			Ciclo di guida		
Tipo di veicolo e Periodo di immatricolazione	Categoria veicolare	Percorso	Urbano	Extra urbano	Auto-stradale
Autovetture Immatricolate 1985-1992 (ECE 15/04)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	49,4339 130,6934	24,0215 28,9828	13,4114 33,9210
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	26,8916 88,4842	27,1906 37,7609	10,9893 17,1615
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	19,6233 75,7784	16,3778 25,7596	8,6685 12,7926
Autovetture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	3,8504 43,8001	1,1918 3,3371	2,9901 7,3209
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	2,5648 33,7726	0,9278 8,6475	1,9171 3,1092
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	1,3324 23,8251	0,8371 6,8719	1,4077 2,2790
Autovetture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	1,5095 28,5128	0,2574 2,6356	1,1638 6,8182
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	1,0174 23,8905	0,2834 4,4662	0,8369 2,4091
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	0,4796 19,2751	0,2192 3,1885	0,5754 1,6536
Autovetture Immatricolate fino al 1994 (convenzionali)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	2,9393 4,5612	2,1538 3,0783	0,8756 0,8756
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	2,9393 4,5612	2,0687 3,1212	0,6705 0,6705
Autovetture Immatricolate 1994-1996 (ecodiesel 91/441/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	1,4635 2,2711	1,0311 1,4848	0,2694 0,2694
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	1,4635 2,2711	0,9342 1,4614	0,2604 0,2604
Autovetture Immatricolate dal 1997 (ecodiesel 94/12/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	1,0159 1,5764	0,7494 1,0614	0,2722 0,2722
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	1,0159 1,5764	0,6892 1,0512	0,2654 0,2654
Autovetture Immatricolate fino al 1992 (convenzionali)	GPL	a caldo totale	26,1791 28,5576	15,0192 15,2552	7,8884 7,8884
Autovetture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	GPL	a caldo totale	5,5464 6,0503	1,1487 1,2069	1,7018 1,7018
Autovetture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	GPL	a caldo totale	1,6411 1,7902	0,0735 0,0921	0,5217 0,5217
Comm. Legg. Immatricolati fino al 1994 (convenzionali)	Benzina <3,5t	a caldo totale	28,0720 64,4369	14,9953 18,7740	9,3946 20,5275
	Diesel <3,5 t	a caldo totale	4,1382 6,4289	2,5882 2,9194	1,5131 1,5131
Comm. Legg. Immatricolati 1994-1997 (93/59/EEC)	Benzina <3,5t	a caldo totale	0,3281 0,4833	0,8129 0,8146	3,0433 3,0433
	Diesel <3,5 t	a caldo totale	2,7997 4,3495	2,1245 2,3568	1,1808 1,1808
Comm. Pes. Immatricolati fino al 1993 (convenzionali)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	8,8403 8,8403	6,3302 6,3302	3,8755 3,8755
Comm. Pes. Immatricolati 1993-1996 (91/542/EEC stage I)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	4,5136 4,5136	3,6741 3,6741	2,6177 2,6177
Comm. Pes. Immatricolati dal 1997 (91/542/EEC stage II)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	3,7925 3,7925	3,1914 3,1914	2,2323 2,2323
Ciclomotori Immatricolati fino al 1997	<50 cm <sup>3</sup>	a caldo totale	356 372,4663	356 356	- -
Motocicli Immatricolati fino al 1997	>50 cm <sup>3</sup>	a caldo totale	64,5893 82,7758	35,1320 41,0480	26,2136 57,1281

APPENDICE 3 - FATTORI DI EMISSIONE MEDI IN g/kg DI CARBURANTE CONSUMATO PER IL PARCO CIRCOLANTE ITALIANO NEL 1997

CO (g/kg di carburante)			Ciclo di guida		
Tipo di veicolo e Periodo di immatricolazione	Categoria veicolare	Percorso	Urbano	Extra urbano	Auto-stradale
Autovetture Immatricolate 1985-1992 (ECE 15/04)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	361,7774 646,3954	140,5476 140,5476	88,4625 88,4625
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	196,8036 366,3643	159,0896 229,3435	79,8601 79,8601
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	143,6116 267,3434	93,4056 169,6058	62,9946 62,9946
Autovetture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	46,6394 255,3147	47,1900 50,7957	79,0824 79,0824
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	24,1296 140,2509	17,0479 55,7621	71,1472 71,1472
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	19,0878 110,9463	15,1589 61,5046	25,9843 25,9843
Autovetture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	32,6360 178,6566	32,9866 35,5098	55,3025 55,3025
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	16,8905 98,1743	11,9332 39,0328	49,8028 49,8028
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	13,3634 77,6733	10,6210 43,0664	18,2001 18,2001
Autovetture Immatricolate fino al 1994 (convenzionali)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	11,3409 13,8263	11,7536 12,9554	6,2040 6,2040
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	11,3409 13,8263	11,6699 13,0354	4,9440 4,9440
Autovetture Immatricolate 1994-1996 (ecodiesel 91/441/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	10,2384 12,4822	8,2039 9,4721	7,8431 7,8431
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	10,2384 12,4822	7,9148 9,3901	8,3542 8,3542
Autovetture Immatricolate dal 1997 (ecodiesel 94/12/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	7,1671 8,7378	5,7431 6,6308	5,4904 5,4904
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	7,1671 8,7378	5,5407 6,5734	5,8482 5,8482
Autovetture Immatricolate fino al 1992 (convenzionali)	GPL	a caldo totale	76,5031 138,0131	41,0365 42,9950	255,0962 255,0962
Autovetture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	GPL	a caldo totale	35,4429 63,9396	28,6020 29,4150	78,4199 78,4199
Autovetture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	GPL	a caldo totale	24,8107 44,7590	20,0223 20,5914	54,8946 54,8946
Comm. Legg. Immatricolati fino al 1994 (convenzionali)	Benzina <3,5t	a caldo totale	265,6240 486,4394	105,9827 112,4115	192,1064 192,1064
	Diesel <3,5 t	a caldo totale	15,1510 18,4589	15,2830 15,6638	11,6764 11,6764
Comm. Legg. Immatricolati 1994-1997 (93/59/EEC)	Benzina <3,5t	a caldo totale	13,9276 25,5057	24,5719 24,8151	45,0606 45,0606
	Diesel <3,5 t	a caldo totale	10,4502 12,7318	8,1315 8,4584	7,3576 7,3576
Comm. Pes. Immatricolati fino al 1993 (convenzionali)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	16,0316 16,0316	12,9276 12,9276	8,4671 8,4671
Comm. Pes. Immatricolati 1993-1996 (91/542/EEC stage I)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	7,4069 7,4069	6,7499 6,7499	4,9509 4,9509
Comm. Pes. Immatricolati dal 1997 (91/542/EEC stage II)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	5,8497 5,8497	5,5484 5,5484	4,8335 4,8335
Ciclomotori Immatricolati fino al 1997	<50 cm <sup>3</sup>	a caldo totale	600 600	600 600	- -
Motocicli Immatricolati fino al 1997	>50 cm <sup>3</sup>	a caldo totale	691,0923 691,0923	777,5746 777,5746	866,3300 866,3300

APPENDICE 3 - FATTORI DI EMISSIONE MEDI IN g/kg DI CARBURANTE CONSUMATO PER IL PARCO CIRCOLANTE ITALIANO NEL 1997

PM (g/kg di carburante)			Ciclo di guida		
Tipo di veicolo e Periodo di immatricolazione	Categoria veicolare	Percorso	Urbano	Extra urbano	Auto-stradale
Autovetture Immatricolate fino al 1994 (convenzionali)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	3,6100 5,2174	3,2566 4,1919	3,5090 3,5090
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	3,6100 5,2174	3,2255 4,2848	3,6167 3,6167
Autovetture Immatricolate 1994-1996 (ecodiesel 91/441/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	1,1346 1,6398	0,7434 1,0549	1,5703 1,5703
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	1,1346 1,6398	0,7341 1,0905	1,8226 1,8226
Autovetture Immatricolate dal 1997 (ecodiesel 94/12/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	0,5131 0,7416	0,4017 0,5369	0,8568 0,8568
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	0,5131 0,7416	0,4104 0,5639	0,9664 0,9664
Comm. Legg. Immatricolati fino al 1994 (convenzionali)	Diesel <3,5 t	a caldo totale	3,2221 4,6733	4,3489 4,5494	3,1230 3,1230
Comm. Legg. Immatricolati 1994-1997 (93/59/EEC)	Diesel <3,5 t	a caldo totale	1,4493 2,1020	1,0746 1,1879	1,2819 1,2819
Comm. Pes. Immatricolati fino al 1993 (convenzionali)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	3,2908 3,2908	2,6511 2,6511	1,9732 1,9732
Comm. Pes. Immatricolati 1993-1996 (91/542/EEC stage I)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	2,0790 2,0790	1,6612 1,6612	1,2893 1,2893
Comm. Pes. Immatricolati dal 1997 (91/542/EEC stage II)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	0,9038 0,9038	0,7096 0,7096	0,5274 0,5274

APPENDICE 3 - FATTORI DI EMISSIONE MEDI IN g/kg DI CARBURANTE CONSUMATO PER IL PARCO CIRCOLANTE ITALIANO NEL 1997

CO <sub>2</sub> (g/kg di carburante)			Ciclo di guida		
Tipo di veicolo e Periodo di immatricolazione	Categoria veicolare	Percorso	Urbano	Extra urbano	Auto-stradale
Autovetture Immatricolate 1985-1992 (ECE 15/04)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122
Autovetture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122
Autovetture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	Benzina <1,4 l	a caldo totale	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122
	Benzina 1,4 - 2,0 l	a caldo totale	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122
	Benzina >2,0 l	a caldo totale	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122
Autovetture Immatricolate fino al 1994 (convenzionali)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918
Autovetture Immatricolate 1994-1996 (ecodiesel 91/441/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918
Autovetture Immatricolate dal 1997 (ecodiesel 94/12/EEC)	Diesel <2,0 l	a caldo totale	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918
	Diesel >2,0 l	a caldo totale	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918
Autovetture Immatricolate fino al 1992 (convenzionali)	GPL	a caldo totale	2877,0850 2877,0850	2877,0850 2877,0850	2877,0850 2877,0850
Autovetture Immatricolate 1993-1996 (catalizzate 91/441/EEC)	GPL	a caldo totale	2877,0850 2877,0850	2877,0850 2877,0850	2877,0850 2877,0850
Autovetture Immatricolate dal 1997 (catalizzate 94/12/EEC)	GPL	a caldo totale	2877,0850 2877,0850	2877,0850 2877,0850	2877,0850 2877,0850
Comm. Legg. Immatricolati fino al 1994 (convenzionali)	Benzina <3,5t	a caldo totale	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122
	Diesel <3,5 t	a caldo totale	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918
Comm. Legg. Immatricolati 1994-1997 (93/59/EEC)	Benzina <3,5t	a caldo totale	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122
	Diesel <3,5 t	a caldo totale	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918
Comm. Pes. Immatricolati fino al 1993 (convenzionali)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918
Comm. Pes. Immatricolati 1993-1996 (91/542/EEC stage I)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918
Comm. Pes. Immatricolati dal 1997 (91/542/EEC stage II)	Diesel >3,5 t	a caldo totale	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918	3137,5918 3137,5918
Ciclomotori Immatricolati fino al 1997	<50 cm <sup>3</sup>	a caldo totale	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122
Motocicli Immatricolati fino al 1997	>50 cm <sup>3</sup>	a caldo totale	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122	3016,2122 3016,2122

## APPENDICE 4 - EVOLUZIONE DEI VALORI LIMITE ALLE EMISSIONI

Tabella 4: Evoluzione dei valori limite alle emissioni per le auto passeggeri, in g/km

Date di applicazione (*) Classe di riferimento per la normativa	1978	1980	1987	1990 (***)	1993 euro I (**)	1997 euro II (**)	2001 euro III (**)	2006 euro IV (**)
<b>AUTOVEICOLI</b>								
<b>Auto Passeggeri Benzina</b>								
monossido di carbonio (CO)	33,3 (1),(4),(5)	27,1 (2),(4),(5)	21,2 (3),(4),(5)	11,1 (7),(4)	2,72 (6)	2,2 (8)	2,3 (9)	1 (9)
idrocarburi (HC)	22,2 (1),(4),(5)	1,9 (2),(4),(5)	-	-	-	-	0,2 (9)	0,1 (9)
ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> )	3,61 (1),(4),(5)	3,03 (2),(4),(5)	-	-	-	-	0,15 (9)	0,08 (9)
massa combinata di idrocarburi e ossidi di azoto (HC+NO <sub>x</sub> )			5,8 (3),(4),(5)	3,7 (7),(4)	0,97 (6)	0,5 (8)		
<b>Auto Passeggeri Diesel</b>								
monossido di carbonio (CO)	33,3 (1),(4),(5)	27,1 (2),(4),(5)	21,2 (3),(4),(5)	11,1 (7),(4)	2,72 (6)	1 (8)	0,64 (9)	0,5 (9)
idrocarburi (HC)	22,2 (1),(4),(5)	1,9 (2),(4),(5)	-	-	-	-	-	-
ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> )	3,61 (1),(4),(5)	3,03 (2),(4),(5)	5,8 (3),(4),(5)	3,7 (7),(4)	0,97 (6)	0,7 (8)	0,56 (9)	0,3 (9)
massa combinata di idrocarburi e ossidi di azoto (HC+NO <sub>x</sub> )			0,3 (7),(4)		0,14 (6)	0,08 (8)	0,05 (9)	0,025 (9)

(\*) I valori dei limiti di emissione e le date di applicazione sono quelli previsti per la messa in circolazione dei veicoli

(\*\*) Dal 1993 introdotto nuovo ciclo prova ECE+EUDC (urbano+extraurbano), dal 2001 ciclo modificato con inclusione della partenza a freddo

(\*\*\*) Limiti differenziati tra le auto < di 1400 cc (in tabella) e quelle di cilindrata maggiore per le quali si applica un limite di 7.4 g/km per il CO e di 2 g/km per HC+NO<sub>x</sub>

## APPENDICE 4 - EVOLUZIONE DEI VALORI LIMITE ALLE EMISSIONI

Tabella 2: Evoluzione dei valori limite alle emissioni nel settore veicoli commerciali, in g/km

Date di applicazione (*) Classe di riferimento per la normativa	1978	1980	1987	1995 euro I <sup>(a)</sup>	1998 euro II <sup>(a)</sup>	2001** euro III <sup>(a)</sup>	2006 euro IV <sup>(a)</sup>
<b>VEICOLI COMMERCIALI LEGGERI (**)</b> Veicoli Comm. Leggeri Benzina monossido di carbonio (CO) idrocarburi (HC) ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ) massa combinata di idrocarburi e ossidi di azoto (HC+NO <sub>x</sub> )	76,8 <sup>(1),(4)</sup> 4,9 <sup>(1),(4)</sup> 7,5 <sup>(1),(4)</sup>	62,4 <sup>(2),(4)</sup> 4,4 <sup>(2),(4)</sup> 6,4 <sup>(2),(4)</sup>	47,9 <sup>(3),(4)</sup>	6,9 <sup>(1)</sup> 1,7 <sup>(1)</sup>	5 <sup>(2)</sup> 0,7 <sup>(2)</sup>	5,2 (13) 0,2 (13)	2,3 <sup>(3)</sup> 0,1 <sup>(3)</sup>
Veicoli Comm. Leggeri Diesel monossido di carbonio (CO) idrocarburi (HC) ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> ) massa combinata di idrocarburi e ossidi di azoto (HC+NO <sub>x</sub> ) particolato (PST)	76,8 <sup>(1),(4)</sup> 4,9 <sup>(1),(4)</sup> 7,5 <sup>(1),(4)</sup>	62,4 <sup>(2),(4)</sup> 4,4 <sup>(2),(4)</sup> 6,4 <sup>(2),(4)</sup>	47,9 <sup>(3),(4)</sup> 12,7 (3), (4)	6,9 <sup>(1)</sup> 1,7 (11) 0,3 (11)	1,5 <sup>(2)</sup> 0,7 <sup>(2)</sup> 0,2 <sup>(2)</sup>	1,0 <sup>(3)</sup> 0,3 <sup>(3)</sup> 0,8 <sup>(3)</sup> 0,11 <sup>(3)</sup>	0,7 <sup>(3)</sup> 0,2 <sup>(3)</sup> 0,4 <sup>(3)</sup> 0,5 <sup>(3)</sup> 0,06 <sup>(3)</sup>

(\*) I valori dei limiti di emissione e le date di applicazione sono quelli previsti per l'immatricolazione dei veicoli.

(\*\*) I valori si riferiscono alla classe di "peso di riferimento" 1701-2150 kg, la classe "peso di riferimento" 1250 - 1700 kg presenta limiti inferiori del 20% circa, per i veicoli di peso inferiore ai 1250 kg si applicano, da 1.10.1995 i limiti delle automobili di cui alla dir. 91/441 e, dal 1999, i limiti di cui alla dir. 94/12.

APPENDICE 4 - EVOLUZIONE DEI VALORI LIMITE ALLE EMISSIONI

Tabella 3: Evoluzione dei valori limite alle emissioni nel settore veicoli commerciali, in g/kWh

Date di applicazione (*) Classe di riferimento per la normativa	1988	1993 euro I	1997 euro II	2000	2001 (***) euro III <sup>(16)</sup>	2003	2006 euro IV <sup>(16)</sup>	2009
VEICOLI COMMERCIALI PESANTI (***)								
monossido di carbonio (CO)	11,2 <sup>(14)</sup>	4,5 <sup>(15)</sup>	4,0 <sup>(15)</sup>		2,1 <sup>(16)</sup>		1,5 <sup>(16)</sup>	
idrocarburi (HC)	2,4 <sup>(14)</sup>	1,1 <sup>(15)</sup>	1,1 <sup>(15)</sup>		0,66 <sup>(16)</sup>		0,46 <sup>(16)</sup>	
ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> )	14,4 <sup>(14)</sup>	8 <sup>(15)</sup>	7 <sup>(15)</sup>		5 <sup>(16)</sup>		3,5 <sup>(16)</sup>	2 <sup>(16)</sup>
massa combinata di idrocarburi e ossidi di azoto (HC+NO <sub>x</sub> )								
particolato (PST)		0,36 <sup>(15)</sup>	0,15 <sup>(15)</sup>		0,1 <sup>(16)</sup>		0,02 <sup>(16)</sup>	
OFF ROAD + TRATTORI AGRICOLI (**)								
Motori di potenza da 18 a 75 kW								
monossido di carbonio (CO)				6,5 <sup>(10)</sup>				
idrocarburi (HC)				1,3 <sup>(10)</sup>				
ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> )				9,2 <sup>(10)</sup>				
particolato (PST)				0,85 <sup>(10)</sup>				
Motori di potenza superiore a 75 kW								
monossido di carbonio (CO)				5 <sup>(10),(21)</sup>				
idrocarburi (HC)				1,5 <sup>(10)</sup>				
ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> )				9,2 <sup>(10)</sup>				
particolato (PST)				0,7 <sup>(10),(19)</sup>				

(\*) I valori dei limiti di emissione e le date di applicazione sono quelli previsti per l'immatricolazione dei veicoli.

(\*\*) Tutti i valori indicati sono espressi in g/kWh (prova 13 modi)

(\*\*\*) Dal 2001 modificato il ciclo prova 13 modi, i dati si riferiscono ai test ESC ed ELR

## APPENDICE 4 - EVOLUZIONE DEI VALORI LIMITE ALLE EMISSIONI

Tabella 4: Evoluzione dei valori limite alle emissioni nel per ciclomotori e motocicli, in g/km

Date di applicazione (*) Classe di riferimento per la normativa	1992	1999 euro I	2002 euro II
<b>CICLOMOTORI (&lt;50 cm<sup>3</sup>)</b>			
monossido di carbonio (CO)	8 <sup>(17)</sup>	6 <sup>(18)</sup>	1 <sup>(18)</sup>
idrocarburi (HC)	5 <sup>(17)</sup>		
massa combinata di idrocarburi e ossidi di azoto (HC+NOx)		3 <sup>(18)</sup>	1.2 <sup>(18)</sup>
<b>MOTOCICLI (&gt;50 cm<sup>3</sup>)</b>			
<b>Motocicli - motore a 2 tempi</b>			
monossido di carbonio (CO)		8 <sup>(18)</sup>	
idrocarburi (HC)		4 <sup>(18)</sup>	
ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> )		0,1 <sup>(18)</sup>	
massa combinata di idrocarburi e ossidi di azoto (HC+NOx)			
<b>Motocicli - motore a 4 tempi</b>			
monossido di carbonio (CO)		13 <sup>(18)</sup>	
idrocarburi (HC)		3 <sup>(18)</sup>	
ossidi di azoto (NO <sub>x</sub> )		0,3 <sup>(18)</sup>	

(\*) I valori dei limiti di emissione e le date di applicazione sono quelli previsti per l'omologazione dei veicoli, non ci sono limiti espliciti per l'immatricolazione dei motocicli.  
Tutti i valori indicati sono espressi in g/km

## NOTE ALLE TABELLE 1 - 4

- (1) Regolamento ECE 15/02 - Direttiva 77/102/EEC.
- (2) Regolamento ECE 15/03 - Direttiva 78/665/EEC.
- (3) Regolamento ECE 15/04 - Direttiva 83/351/EEC.
- (4) I valori derivano dal limite di emissione espresso in g/test diviso per i km previsti dal "test di riferimento" di cui al Regolamento ECE 15, vedi "Trafico e mobilità urbana: strategie ottimali per l'abbattimento delle emissioni inquinanti dell'aria, applicazione al caso di Roma" tesi di laurea in statistica di Sara Santostefano svolta presso l'ENEA, anno 1993-94.
- (5) I valori si riferiscono alla classe di "peso di riferimento" 1471-1700 kg.
- (6) Direttiva 91/441/EEC, recepita con DM 28 dicembre 1991.
- (7) Direttiva 88/76/EEC, recepita con DM 5 giugno '89 del 30 settembre '89. Le date di entrata in vigore dei limiti di emissione sono differenziate a seconda della cilindrata: 9/'89 per auto > 2000cc, 10/'90 per le auto < 1400cc e 10/'91 per le auto di cilindrata compresa tra i 1400 ed i 2000 cc.
- (8) Direttiva 94/12/EC, recepita con DM 29 febbraio '96.
- (9) Direttiva 98/69/EC del 13-10-98, recepita con DM 21 dicembre '99, decorre da 1.1.2001 e 1.1.2006.
- (10) Direttiva 97/68 EC, recepita con DM 20 dicembre 1999
- (11) Direttiva 93/59/EEC, recepita con DM 4 settembre 1995, decorre da 1.10.1995.
- (12) Direttiva 96/69 /EC, recepita con DM 14 novembre 1997, decorre da 1.10.98 per le immatricolazioni.
- (13) Proposta AUTO OIL (EURO III).
- (14) Direttiva 88/77/EEC, recepita con DM 5 giugno 1989 ed in vigore dal 10/89.
- (15) Direttiva 91/542/EEC, recepita con DM 23 marzo 1992, decorre da 1.10.93 e da 1.10.96.
- (16) Direttiva 99/96/EC, decorre da 1.10.2001, da 1.10.2006 1 da 1.10.2009.
- (17) ECE 47 - motoveicoli a 2 ruote.
- (18) Direttiva 96/160/EC, decorre dal 17.6.1999 per moto e ciclomotori e dal 17.6.2002 per la fase 2 dei ciclomotori
- (19) per i motori di potenza superiore a 130 kW limite pari a 0,54 g/kWh
- (20) decorre dal 2000 per i motori di potenza < a 37 kW e dal 2003 per quelli di potenza > di 37 kW
- (21) decorre dal 2001 per i motori di potenza > di 130 kW e dal 2002 per quelli di potenza < di 130 kW

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ACI (1995a): “Analisi dell’anzianità dei veicoli circolanti in Italia negli anni 1980-1994”, Roma, Aprile 1995.
- ACI (1995b): “Percorrenze medie annue dei veicoli - prezzi e consumi di carburanti 1993-1994”, Roma, Maggio 1995.
- ACI (1999): “Annuario Statistico – Automobilismo e Trasporti”, Direzione Centrale Coordinamento Centro Studi, Ufficio Statistica, Roma, Febbraio 1999.
- AISCAT (1998): Lunghezza dei tratti autostradali, dati provinciali al 1997 forniti ad ANPA su richiesta.
- ANFIA (1998): “Automobile in cifre”, Associazione nazionale fra industrie automobilistiche, Torino, Satiz 1998.
- Angelino E., Bedogni M., 1998: "Auto Oil II programme: le emissioni da traffico veicolare per la Provincia di Milano", PMIP Milano, tabelle n. 5 e 6.
- ANPA (1999): “Emissioni in atmosfera e qualità dell’aria in Italia”, Serie stato dell’ambiente n.6.
- Anselmi I. (1997): “Valutazione delle emissioni inquinanti nelle aree urbane e analisi statistica multivariata delle stime”, Tesi di Laurea in Analisi Statistica Multivariata, Facoltà di Scienze Statistiche, Università di Roma “La Sapienza”.
- AUTO OIL (1999): “Auto Oil road transport base case, Italy”, DRI.
- Avella F. (2000): "Origine e contenimento dell'inquinamento da autoveicoli in relazione alla qualità dei carburanti", presentato al Convegno nazionale "Traffico e Ambiente", Trento, 21-25 Febbraio 2000.
- Cirillo M.C., De Lauretis R., Del Ciello R. (1997): "Review study on European urban emission inventories", European Topic Centre on Air Emission (ETC\AE), EEA 1997.
- CONCAWE (1996): “The influence of gasoline benzene and aromatics content on benzene exhaust emissions from non-catalyst equipped cars, a study of european data”, report n. 96/51.
- CONFETRA (1998a): “Trasporto di media e lunga percorrenza di merci”, contributo presentato alla Conferenza nazionale energia e ambiente organizzata dall’ENEA, Roma, Ottobre 1998.
- CONFETRA (1998b): “Effetto serra emissioni di CO2 trasporto merci”, quaderno n. 109/1, contributo presentato alla Conferenza nazionale energia e ambiente organizzata dall’ENEA, Roma, Novembre 1998.
- Contaldi M., De Lauretis R., Picini P. (2000): “Analisi e validazione di metodologie per il calcolo delle emissioni inquinanti dei trasporti”, ANPA, Giugno 2000, in corso di pubblicazione.
- CORINAIR (1988): “European Inventory of emissions of pollutants into the atmosphere”, Commission of the European Communities – CORINAIR project, DG XI, 30/3/1988.
- De Lauretis R. (1999): “Stima delle emissioni in aria dovute al settore dei trasporti su strada nel 1997”, Nota tecnica ANPA, Maggio 1999.
- Eggleston S., Gaudioso D., Gorißen N., Joumard R., Rijkeboer R.C., Samaras Z. and Zierock K.-H. (1993): “CORINAIR Working Group on Emissions Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic. Volume 1: Methodology and Emission Factors”. Final Report, Document of the European Commission ISBN 92-826-5571-X.

EMEP/CORINAIR (1999): "Atmospheric Emission Inventory Guidebook", second edition, september 1999.

ENEA (1997): "Bozza di piano nazionale di tutela della qualità dell'aria", Convenzione ENEA-Ministero dell'Ambiente. Relazione di fine attività.

EPA (1991): "Regulation of fuel and fuel additives: standards for reformulated gasoline", (AMS-FRL-3965-9), USA 1991.

Ilacqua M. (2000): "Le emissioni di benzene dalle attività antropiche in Italia.", ANPA, in corso di pubblicazione.

ISTAT (1998): "Annuario statistico italiano - 1998", ISTAT, Roma, 1998.

Liburdi R. (1998a): "Le emissioni di inquinanti atmosferici nelle città italiane con popolazione superiore ai 50.000 abitanti" aprile 1998, in: <http://www.sinanet.anpa.it/aree/atmosfera/emissioni/>.

Liburdi R. (1998b): "Costruzione di un indicatore delle emissioni urbane di ossidi di azoto da traffico stradale. Un caso di studio per 136 comuni con più di 50.000 abitanti", aprile 1998, in: <http://www.sinanet.anpa.it/aree/atmosfera/emissioni/>.

MINISTERO DELL'INDUSTRIA (1998a): "Bilancio Energetico Nazionale - 1997", Direzione Generale delle Fonti di Energia e delle Risorse Minerarie, Istituto Zecca dello Stato.

MINISTERO DELL'INDUSTRIA (1998b): "Bollettino Petrolifero - IV trimestre 1997".

MINISTERO DEI TRASPORTI (1998): "Conto Nazionale dei Trasporti - 1997", Direzione Generale programmazione, organizzazione e coordinamento, 1998, Istituto Zecca dello Stato.

MIT (1994): "Current research at the energy laboratory" - Cambridge, MA02139, October 1993 - March 1994.

Ntziachristos L., Samaras Z. (1998): "COPERT II, Computer Programme to Calculate Emissions from Road Traffic – Methodology and Emission Factors", Final Draft, European Topic Centre on Air Emissions, Thessaloniki, 1998, in: <http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm>.

Ntziachristos L., Samaras Z. (1999): "COPERT III, Computer Programme to Calculate Emissions from Road Traffic – Methodology and Emission Factors", Final Draft, European Topic Centre on Air Emissions, Thessaloniki, July 1999, in: <http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm>

PIAGGIO (1999): Percorrenze medie dei ciclomotori nel 1997, dati forniti ad ANPA su richiesta.

Prati M.V., Rapone M., Violetti (Istituto Motori CNR) N., Mercogliano R., Trerè (Agip Petroli) R. (2000): "Regulated and Benzene Emissions of In-Use Two-Stroke Mopeds Motorcycles", presentato al convegno SAE 2000 (Detroit 6-9 marzo 2000).

Saija S. (1999): "Stima delle emissioni di inquinanti atmosferici da trasporti stradali ed analisi statistica multivariata dei dati", tesi di laurea in Analisi Statistica Multivariata, Facoltà di Scienze Statistiche, Università di Roma "La Sapienza", 1999.

Santostefano S., Cirillo M.C. (1999): "Strategie ottimali per la riduzione delle emissioni di inquinanti gassosi prodotte dalla mobilità urbana: un'applicazione al caso di Roma", ENEA, RT /AMB/99/8.

UNIONE PETROLIFERA (1998): "Statistiche Economiche Energetiche e Petrolifere", Roma 1998.