

1. La stima delle emissioni da trasporto stradale dal 1990 al 2000

1.1 – Andamento generale delle serie storiche dei principali inquinanti e gas serra

Nell'ultimo decennio la tendenza delle emissioni dei principali inquinanti e gas serra prodotte dai mezzi di trasporto per persone e merci conferma l'andamento già delineato nel nostro precedente studio (Saija et al., 2000).

Rispetto all'anno base 1990 si osserva (figura 1.1) una sostanziale riduzione degli inquinanti principali del settore dei trasporti su strada: ossidi di azoto (NO_x), composti organici volatili non metanici (COVNM), monossido di carbonio (CO), ossidi di zolfo (SO_x), particolato fine (PM_{10}), in accordo con l'andamento complessivo delle emissioni degli stessi inquinanti negli altri settori riportati nell'inventario nazionale CORINAIR (ANPA, 2002a; ANPA, 2002b).

L'anidride carbonica (CO_2), a fronte di un aumento complessivo del 6% rispetto al 1990, cresce nello stesso periodo del 17% nel solo settore dei trasporti stradali. Legata all'entità del consumo di combustibili fossili, la CO_2 aumenta principalmente come conseguenza dell'estensione del parco circolante e delle percorrenze medie dei veicoli.

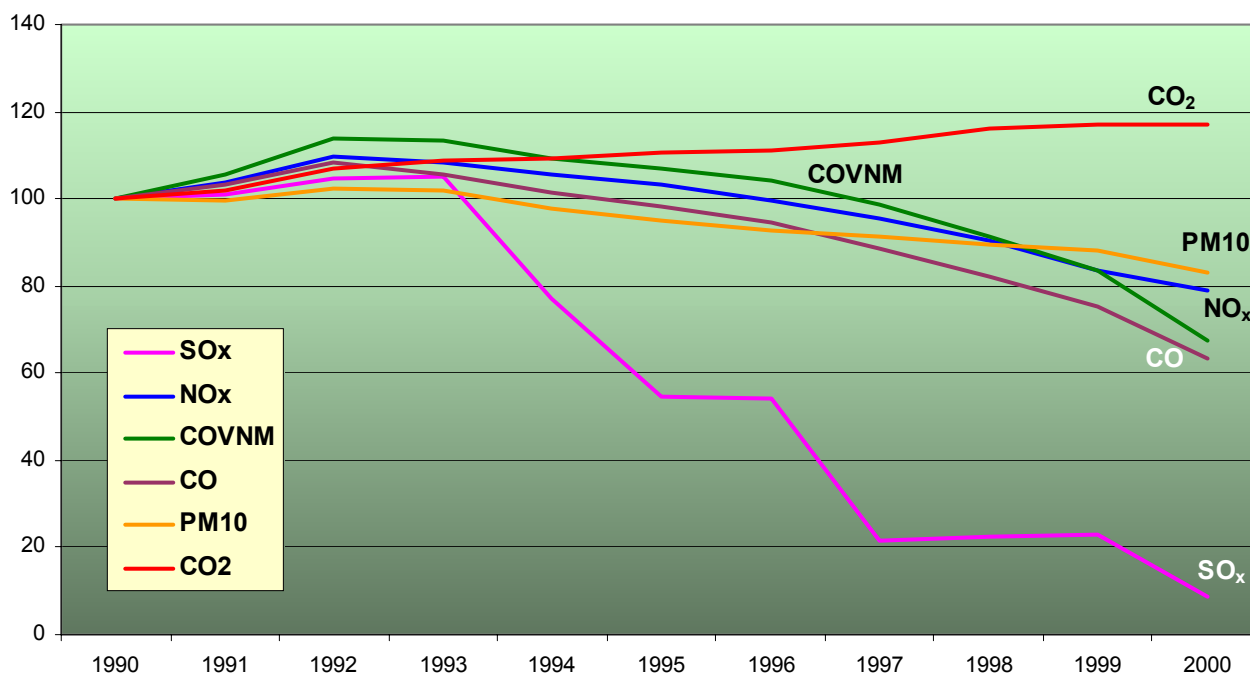


Figura 1.1 : Serie storica delle emissioni da trasporto stradale: variazioni relative rispetto al 1990

Nel seguito saranno esaminati in dettaglio gli andamenti delle emissioni dei diversi gas in funzione della composizione del parco circolante e per varie aggregazioni delle sue componenti.

Si può intanto osservare che dal 1993 con l'adozione della direttiva CE 91/441 (EURO I) e, più marcatamente dal 1997 con la direttiva CE 94/12 (EURO II), si assiste ad una evidente diminuzione delle emissioni di COVNM , NO_x e CO dall'insieme dei veicoli alimentati a benzina, mentre per quelli diesel si rileva una contemporanea crescita delle emissioni di NO_x e di CO_2 . Decresce ma in misura meno significativa il PM_{10} (particolato fine sotto i 10 micron), che in figura 1.2 è disaggregato nella componente dovuta al parco circolante dei veicoli a benzina e in quella dei diesel.

Nella figura 1.2 si possono osservare inoltre gli andamenti degli altri gas serra, come il protossido di azoto (N_2O) ed il metano (CH_4), e dell'ammoniaca (NH_3). L'ammoniaca, che ha effetto di acidificante, mostra una tendenza di crescita più marcata rispetto alle altre sostanze.

Questi gas costituiscono alcuni dei sottoprodotti indesiderati dei dispositivi catalitici introdotti negli ultimi anni e che pure hanno contribuito ad abbattere le emissioni degli inquinanti principali. Va comunque rilevato

che l'incertezza sulle stime delle emissioni di tali sostanze resta ancora elevata a causa del numero ancora ristretto di misure sperimentali effettuate sui veicoli di nuova commercializzazione.

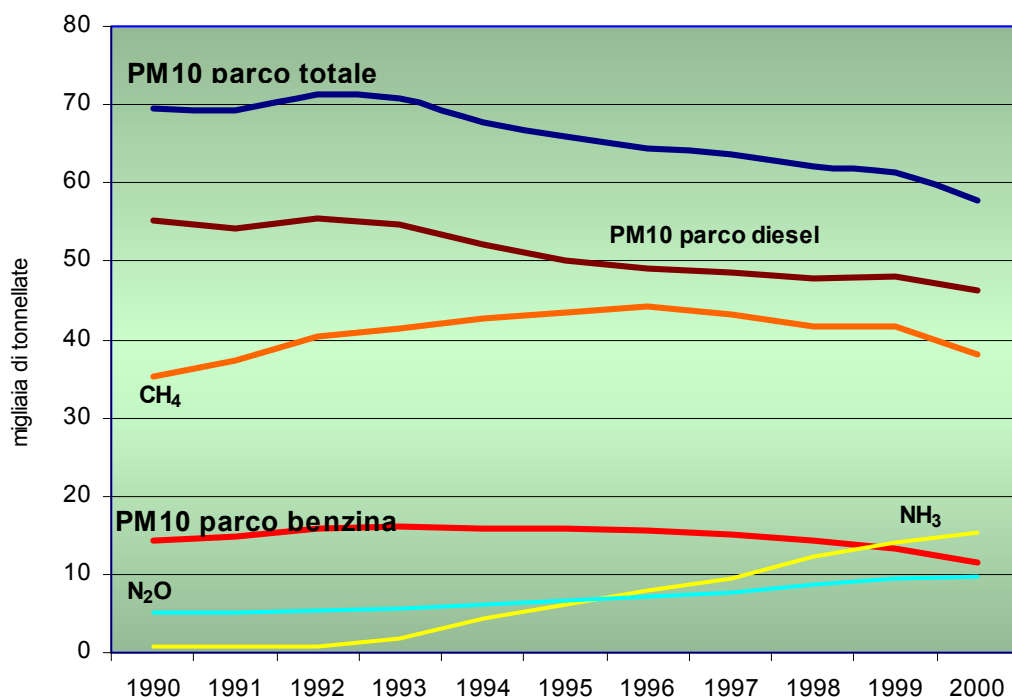


Figura 1.2: Emissioni (migliaia di tonnellate/anno) di ammoniaca, protossido d'azoto e metano relativo al parco totale e di PM10 suddiviso per il parco diesel e a benzina.

Un confronto più dettagliato del ruolo delle emissioni dei trasporti stradali, per gli anni 1990 e 2000, con quello degli altri settori, è riportato in figura 1.3, dove gli undici macrosettori dell'inventario nazionale delle emissioni CORINAIR sono stati ulteriormente aggregati per facilitare la lettura delle variazioni intercorse. Per inquinanti come CO, NO_x e COVNM il peso dei trasporti su strada è preponderante anche in presenza di una forte riduzione delle emissioni, mentre per altre sostanze come la CO₂ il contenimento della crescita delle emissioni dei trasporti, su strada e non, risulterà decisiva al fine del rispetto degli impegni nazionali di riduzione dei gas serra nell'ambito del Protocollo di Kyoto.

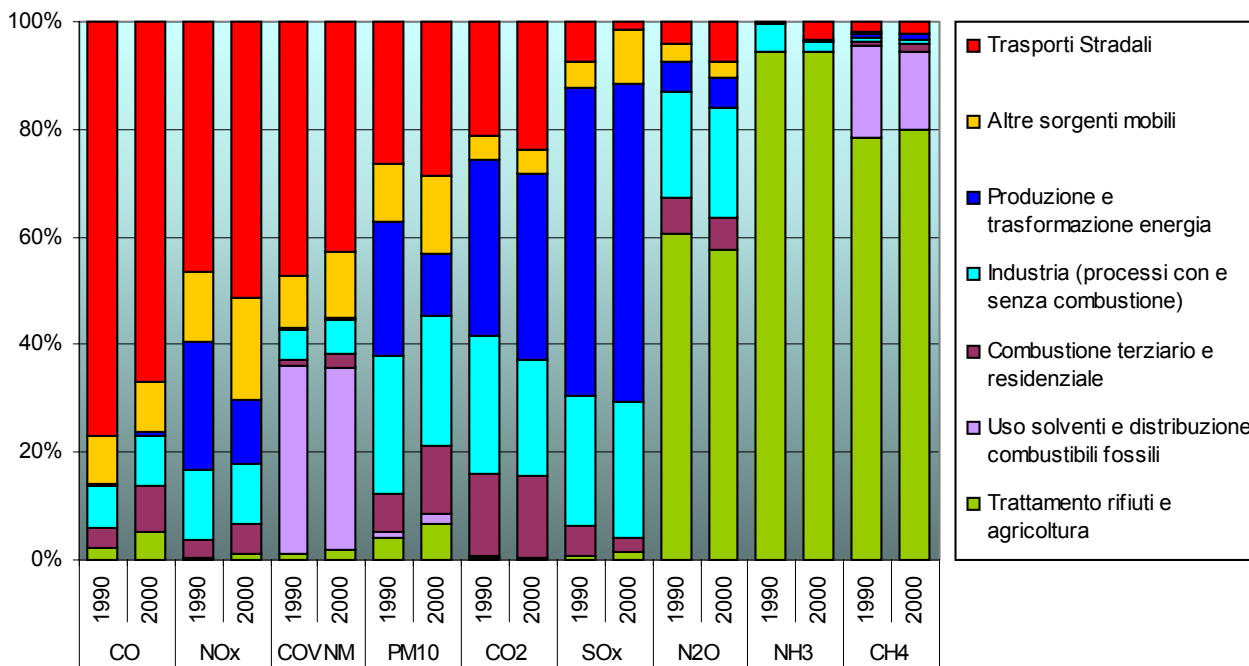


Figura 1.3: Contributo percentuale delle emissioni dei trasporti stradali e degli altri settori sul totale delle emissioni in atmosfera nel 1990 e nel 2000

Dal confronto del peso relativo delle emissioni dei diversi settori produttivi per i vari gas, è possibile osservare come rispetto al 1990 la ripartizione percentuale non sia variata di molto e quasi sempre a favore del settore dei trasporti, sia stradali che di altra modalità.

Questo si osserva in particolare per gli ossidi di azoto dove la pur rilevante riduzione delle emissioni dei trasporti, è sopravanzata dalla più marcata riduzione relativa delle emissioni del settore energetico e industriale, riduzione avvenuta sia all'introduzione di tecnologie e processi di abbattimento che, in minor misura, alla contrazione produttiva nei settori che comportano marcate emissioni di ossidi di azoto, in particolare la produzione di acido nitrico.

Per il monossido di carbonio la riduzione relativa è stata invece molto marcata, anche per l'incremento delle emissioni da combustione nei settori non industriali (terziario e residenziale).

L'andamento del peso relativo delle emissioni dei trasporti su strada rispetto al totale delle emissioni nazionali e' illustrato nella figura 1.4, dove risulta evidente la marcata riduzione di monossido di carbonio e composti organici volatili non metanici.

La drastica riduzione del tenore di zolfo nei combustibili ha reso marginale il contributo relativo dei trasporti su strada in merito al totale delle emissioni di ossidi di zolfo.

I gas dovuti all'introduzione dei dispositivi catalitici, protossido d'azoto e ammoniaca, vanno acquistando una nuova evidenza, qui ben visibile anche in termini relativi.

Infine, l'aumento relativo dell'anidride carbonica riflette come già detto l'espansione del parco circolante e dei consumi totali pur a fronte di incrementi delle emissioni dei settori produttivi ed energetici basati sulla combustione.

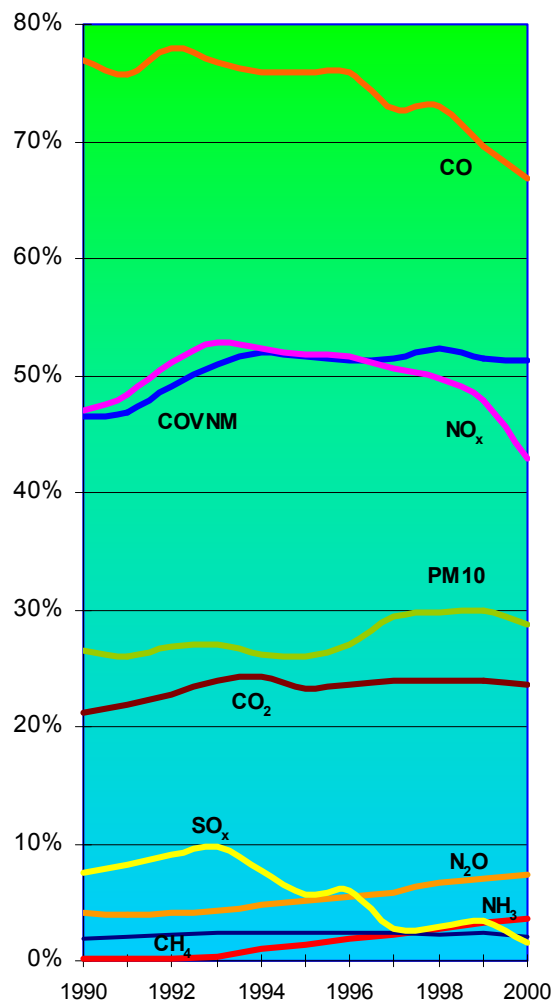


Figura 1.4: Andamento percentuale delle emissioni da trasporto stradale sul totale delle emissioni nazionali antropogeniche dal 1990 al 2000

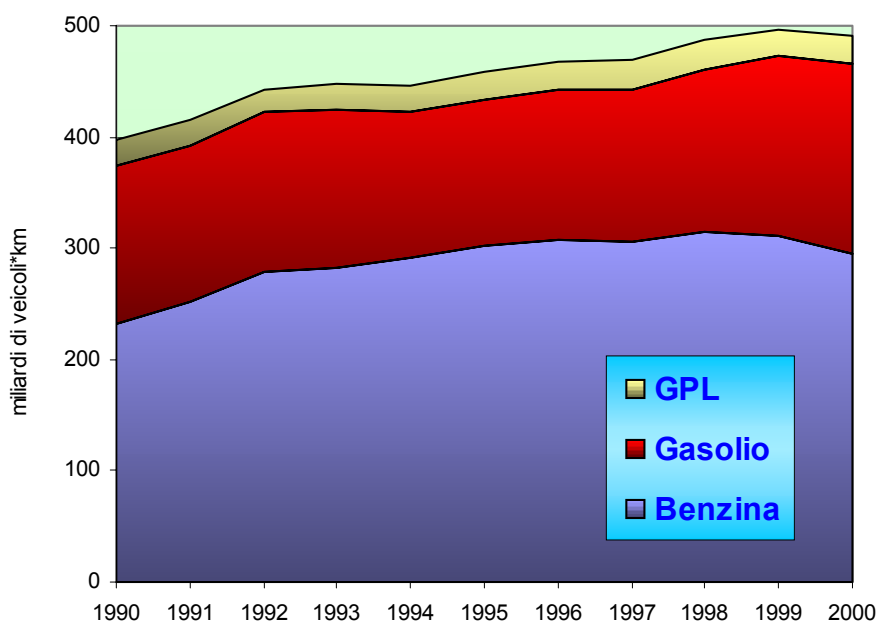


Figura 1.5: Percorrenze in miliardi di veicoli*km per tipologia di alimentazione

In figura 1.5, in relazione alle percorrenze complessive, si può osservare che, pur continuando a crescere, esse tendono a stabilizzarsi intorno ai 500 miliardi di veicoli-km annui, per un evidente effetto di saturazione sia del mercato che della capacità delle infrastrutture.

E' ben evidente come il numero di km percorsi dall'insieme dei veicoli a benzina sia in calo negli ultimi anni a fronte di un corrispondente aumento delle percorrenze e dei veicoli circolanti alimentati a gasolio che tende a sopravanzare tale riduzione e a stabilizzarne il totale. Praticamente costanti invece le percorrenze relative ai veicoli alimentati a gas da petrolio liquefatto (GPL).

Nella figura 1.6 si possono confrontare la ripartizione percentuale delle emissioni totali, aggregate secondo le principali categorie veicolari (autovetture, mezzi commerciali leggeri, mezzi commerciali pesanti e bus, ciclomotori, motocicli) con il relativo parco circolante e percorrenze (in veicoli*km).

Si può quindi osservare che le emissioni di SO_x, NO_x, PM e CO₂ dei mezzi commerciali pesanti hanno un peso relativo nettamente superiore a quello da essi rappresentato nella composizione del parco e nelle percorrenze, dovuto sia da consumi specifici più elevati che da combustioni spesso ad alte temperature. Analogamente i ciclomotori (< 50 cc) sono caratterizzati da emissioni di COVNM e CO, a causa soprattutto della grande quantità di carburante incombusto, così come i veicoli commerciali leggeri, generalmente diesel, da PM e SO_x. L'insieme dei ciclomotori e motocicli (> 50 cc) risulta ininfluenza per le emissioni di NO_x.

Le autovetture passeggeri (sia diesel, che benzina, che GPL) hanno un peso relativo maggiore nelle emissioni del CO rispetto alle altre categorie veicolari. L'entità delle percorrenze spiega in parte il ruolo diverso di queste macrocategorie nel contribuire alle emissioni complessive, però solo nel seguito di questo studio, disaggregando le categorie veicolari, sarà possibile evidenziare quali siano i fattori intrinseci (età, ciclo di guida, tipo di percorso e tipo di combustibile) che più influiscono nel differenziare il contributo emissivo delle diverse tipologie di veicoli.

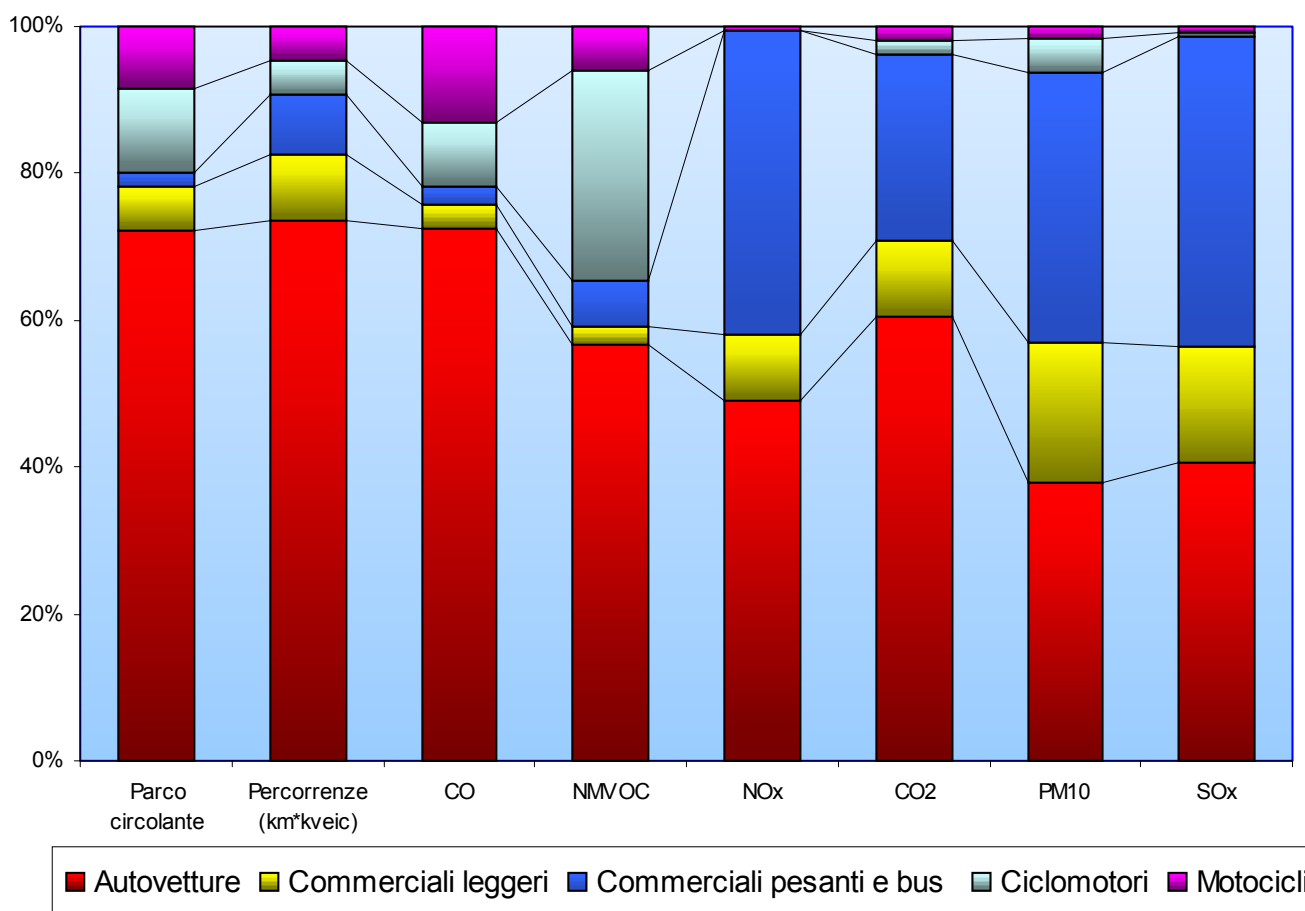


Figura 1.6: Composizione delle emissioni dei trasporti su strada in rapporto al parco circolante e alle percorrenze dei veicoli nel 2000

1.2 - 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 (CORe INventory AIR) per la realizzazione degli inventari nazionali delle emissioni (CORINAIR, 1988; EMEP/ CORINAIR, 2002).

Il programma è stato finanziato e sviluppato dall'EEA, nel quadro delle attività dello European Topic Centre on Air and Climate Change (ETC/ACC), per fornire un insieme di strumenti ai paesi europei per la realizzazione degli inventari annuali delle emissioni, al fine di raccogliere, in modo trasparente e standardizzato, dati coerenti e comparabili e procedure di raccolta e presentazione in accordo con le specifiche delle convenzioni e dei protocolli internazionali, nonché della legislazione dell'Unione Europea.

COPERT III (Ntziachristos, Samaras, 2000) è un programma MS ACCESS® in ambiente Windows®. Si tratta del terzo aggiornamento della metodologia sviluppata da un gruppo di lavoro internazionale e che attualmente è rivolta verso diverse attività, come il programma COST 319 (COST, 1998) per la stima delle emissioni del settore dei trasporti, il progetto MEET (Methodologies to Estimate Emissions from Transport) finanziato dalla Commissione Europea (DG VII) nel quadro del 4° Programma Quadro nell'area dei Trasporti e, nello stesso Programma Quadro, il programma di "ispezione e revisione" (Inspection and Maintenance Programme) finanziato dalle DG XI, DG VII e DG XVII (I/M, 1998).

L'applicazione software della metodologia COPERT III è stata sviluppata per la compilazione di inventari nazionali su base annuale, comunque è stata anche utilizzata con un grado accettabile di approssimazione anche ad una risoluzione più alta, come per la compilazione di inventari urbani e con una risoluzione spaziale di 1x1 km² e risoluzione temporale di 1 ora. Un modulo software addizionale e separato stima le emissioni dirette da motori a combustione interna utilizzati in applicazioni "off-road" come agricoltura, silvicoltura, giardinaggio, industria, navigazione, ferrovie.

COPERT III si applica ad auto passeggeri, veicoli commerciali leggeri e pesanti, bus, motocicli e ciclomotori suddivisi secondo 63 diverse categorie veicolari (al 2000) per classi di cilindrata, o portata, tipo di alimentazione, normativa di riferimento. Permette la stima delle emissioni di tutti gli inquinanti regolamentati dalla normativa europea (CO, NO_x, COVNM, PM) e della CO₂ sulla base dei consumi di combustibile. Vengono altresì calcolate le emissioni di alcuni inquinanti non regolamentati come CH₄, N₂O, NH₃, SO₂, metalli pesanti, idrocarburi policiclici aromatici (IPA), inquinanti organici persistenti (POP) e infine fornisce le emissioni di COVNM suddivise nelle singole specie.

La stima delle emissioni viene effettuata in base alla scelta di un insieme di parametri quali velocità medie, percorrenze e curve di consumo ed 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, rurale o autostradale) denoterà complessivamente la tipologia emissiva stimata dal modello per ciascun tipo di percorso (urbano, rurale o autostradale), tenendo conto dell'insieme dei parametri di base che lo caratterizzano. Le emissioni totali sono calcolate dal software come prodotto dei dati di attività forniti dall'utilizzatore con i fattori di emissione dipendenti dalle velocità.

Le emissioni stimate possono generalmente considerarsi costituite da tre componenti:

- emissioni prodotte durante l'attività del motore stabilizzato termicamente: emissioni "a caldo" (hot emission);
- emissioni generate durante la partenza a temperatura ambiente: partenza a freddo ed effetti di preriscaldamento (cold over-emission). **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);
- emissioni di COVNM dovute all'evaporazione del combustibile.

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.

1.3 - Dati di base per il modello: parco circolante, percorrenze, velocità e consumi

Il modello COPERT considera le informazioni relative al parco circolante suddiviso per tipologia di veicolo (autovetture passeggeri, veicoli commerciali leggeri, bus e veicoli commerciali pesanti, ciclomotori e motoveicoli), tipo di combustibile utilizzato (benzina, gasolio, gas di petrolio liquefatto), classe di anzianità, in relazione alle normative europee di introduzione di dispositivi per la riduzione delle emissioni, 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 percorrenze 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 sperimentali 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. Non sono ancora disponibili studi completi che consentano di utilizzare specifiche curve nazionali, ma nelle prossime versioni del software saranno inseriti dati di misura provenienti da prove realizzate sul parco nazionale.

L'ultima versione disponibile di COPERT III (vers. 2.2 del giugno 2001) è stata applicata ai dati di base coerenti per ciascun anno dal 1990 al 2000. I risultati fanno parte integrante della serie storica dei dati dell'inventario nazionale CORINAIR. Le emissioni sono calcolate sulla base di un anno solare e stimate sull'intero parco circolante prescindendo della distribuzione geografica e dagli specifici profili temporali locali; nei calcoli non sono considerati quindi 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 processi di combustione per le diverse tipologie di veicoli.

Da queste prime essenziali considerazioni, appare evidente come, per utilizzare correttamente il modello, si debbano utilizzare numerose informazioni, in realtà non sempre disponibili nel dettaglio necessario e per tutti gli anni del periodo considerato. E' stato pertanto indispensabile ricostruire e stimare alcuni di questi dati, integrando quelli disponibili in pubblicazioni o forniti su richiesta da enti e società del settore, con le informazioni provenienti da diverse fonti (Contaldi et al., 2000).

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, **vari anni**), che fornisce 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.

Le **percorrenze** medie annue distinte per ciascuna tipologia di veicoli considerata dal modello sono il risultato di una analisi incrociata delle differenti fonti informative come il Conto Nazionale dei Trasporti (Ministero dei Trasporti, **vari anni**), le pubblicazioni dell'ACI (**vari anni**), dell'Unione Petrolifera (**vari anni**) e della CONFETRA (Confederazione generale italiana del Traffico e dei Trasporti, 1998a, 1998b). Tutte queste fonti infatti forniscono, peraltro non in maniera esaustiva e continuativa, dati di percorrenze medie per classi di veicoli, aggregate variamente e quindi non nel dettaglio richiesto dal modello.

La disaggregazione per tipologie di veicolo richiesta da COPERT è stata quindi ottenuta da un lato individuando percorrenze tali che i valori medi per classi aggregate di veicoli fossero confrontabili con quelli pubblicati e, dall'altro, proporzionando, all'interno di ciascuna classe, le percorrenze medie in modo da rispettare le differenze tra quelle delle diverse tipologie di veicoli, principalmente in funzione delle anzianità degli stessi e del tipo di alimentazione. Quindi 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.

Riferimento principale delle percorrenze medie è il Conto Nazionale dei Trasporti (Ministero dei Trasporti, **vari anni**), 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, 2001). Per i motocicli è stato utilizzato il dato fornito dall'ACI (ACI, 1997).

Per le **velocità medie** non sono state individuate - anno per anno - fonti informative specifiche nazionali. Da diversi studi di caso e da articoli della stampa specializzata sono state verificate le velocità medie indicate dal modello, introducendo 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). Si è ipotizzato nel tempo, tra il 1990 ed il 2000, una leggera crescita delle velocità di guida in ambito urbano.

I valori dei **consumi** stimati dal modello possono essere confrontati con i consumi annui di benzina, gasolio e GPL riportati sul Bilancio Energetico Nazionale (Ministero dell'industria, **vari anni**) 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 dall'Unione Petrolifera (Unione Petrolifera, **vari anni**).

La metodologia COPERT prevede quindi per ciascun anno il confronto delle statistiche dei consumi ufficiali con quelli risultanti dall'applicazione del modello. Tale confronto dà luogo a differenze inferiori all'1% per gasolio, GPL, benzina con e senza piombo.

E' stato effettuato anche un confronto dei valori dei consumi delle tipologie di veicoli (passeggeri, commerciali ed industriali) con quelli pubblicati dall'Unione Petrolifera (**vari anni**). 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 ai diversi metodi di aggregazione utilizzati per i veicoli, come ad esempio l'utilizzo del peso complessivo piuttosto che della portata utile per distinguere i veicoli commerciali leggeri da quelli pesanti. I veicoli commerciali leggeri corrispondono infatti, nella definizione di COPERT, a quelli aventi peso complessivo 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 pubblicata dalla CONFETRA (CONFETRA, 1998a, 1998b).

2. Dimensionamento del modello e armonizzazione delle serie storiche

2.1 – Aggiornamento dei dati di base

L'aggiornamento del modello e l'adozione di una nuova versione del programma, COPERT III, hanno reso necessaria la revisione delle stime delle emissioni nazionali dal 1990 al 2000 al fine di utilizzare una metodologia di calcolo omogenea per ciascun anno della serie storica.

È stato dunque necessario dimensionare i parametri (dati di input) del modello, armonizzando le serie storiche dei dati di base, per poter disporre dell'informazione completa e coerente, necessaria per l'applicazione della metodologia di stima delle emissioni per ciascun anno della serie in esame.

La procedura di dimensionamento dei parametri del modello per l'intera serie storica è stata effettuata attraverso l'introduzione di una serie di modifiche volte a rendere minimo lo scarto tra i consumi stimati e le statistiche ufficiali, sia a livello aggregato (autovetture, veicoli commerciali leggeri, veicoli commerciali pesanti, autobus, ciclomotori e motocicli) che per le singole categorie veicolari suddivise secondo le categorie di COPERT.

Tali aggiustamenti hanno riguardato quei parametri (velocità medie, percorrenze medie annue, ripartizione delle percorrenze per ciclo di guida) sui quali maggiori sono le fonti di incertezza, legate alla mancanza di informazioni nel dettaglio richiesto dal modello.

L'approccio adottato può essere sinteticamente illustrato come di seguito:

- a partire dai dati di base originariamente utilizzati, anno per anno, per l'applicazione della metodologia COPERT, sono stati stimati i consumi di combustibile attraverso le curve *speed-dependent* contemplate dal modello; i risultati sono stati confrontati con le statistiche ufficiali di consumo sia a livello aggregato, utilizzando i dati pubblicati sul Bilancio Energetico Nazionale (Ministero dell'Industria, 1990-2000), che per singola categoria veicolare, grazie all'informazione fornita dall'Unione Petrolifera (Unione Petrolifera, 2000);
- per ciascun anno della serie storica, si è cercato di minimizzare lo scarto tra i consumi stimati dal modello ed i corrispondenti valori ufficiali di riferimento, introducendo opportune modifiche sui parametri di base in modo tale da rispettare la coerenza delle serie storiche in relazione agli andamenti osservabili per le statistiche pubblicate;
- si è proceduto introducendo aggiustamenti successivi sui parametri di base (in particolare sulle percorrenze medie annue dei veicoli) fino all'ottenimento di una "soluzione ottima", in corrispondenza della quale fossero *minimi* gli scarti nel confronto tra i dati di consumo (sia a livello aggregato, che per le singole categorie veicolari) e *migliore* l'approssimazione delle serie dei dati alle statistiche pubblicate;
- i valori dei parametri (velocità medie, percorrenze medie annue, ripartizione delle percorrenze per ciclo di guida) del modello così dimensionati, sono stati utilizzati per la stima delle emissioni attraverso l'applicazione della metodologia COPERT per ciascun anno della serie storica.

Le modifiche effettuate sui dati di base hanno riguardato principalmente le *percorrenze medie annue dei veicoli*, in considerazione del fatto che per questo tipo di informazione è possibile un controllo efficace, attraverso il confronto con le statistiche pubblicate dal Conto Nazionale dei Trasporti. Oltretutto, nel modello, le percorrenze sono (così come il parco) il parametro rispetto alle variazioni del quale risulta più sensibile la stima dei consumi.

Per quanto riguarda gli altri parametri (velocità medie, ripartizione delle percorrenze per ciclo di guida) per i quali non si dispone di un equivalente riferimento statistico, le modifiche introdotte per la quadratura del modello per ciascun anno sono state effettuate rispettando, da un lato, la coerenza temporale di ciascuna serie storica, dall'altro, secondo un approccio consolidato (Saija et al., 2000), armonizzando il confronto tra le differenti classi veicolari, anche in funzione della loro anzianità e del tipo di alimentazione.

Di seguito vengono analizzati nel dettaglio i criteri adottati per il dimensionamento dei parametri. In particolare vengono mostrati, con riferimento alle percorrenze medie ed ai consumi, i confronti tra le serie dei valori ottenuti attraverso la procedura descritta e le statistiche pubblicate.

2.2 – Parco circolante

Come già accennato nel paragrafo 1.3 i dati di base sono forniti dall' ACI secondo la suddivisione richiesta da COPERT, ovvero per alimentazione (benzina, gasolio, GPL), per cilindrata con le autovetture a benzina suddivise in tre classi (inferiore a 1400 cc, compresa tra 1400 e 2000 e superiore a 2000) le autovetture diesel e GPL in due classi (minori e maggiori di 2000 cc), i ciclomotori (*mopeds*) sono inferiori a 50 cc e i motocicli sono distinti in tre classi (tra 50 e 250 cc, tra 250 e 750 cc e superiori a 750 cc), per portata dove i mezzi commerciali sono suddivisi in leggeri (*light*) e pesanti (*heavy*) e sono definiti leggeri quelli con peso a pieno carico inferiore a 3,5 tonnellate, corrispondenti in media a quelli con portata massima di 1,5 t, e pesanti quelli nelle classi di peso a pieno carico maggiori di 3,5 t (tra 3,5 e 7,5 t, tra 7,5 e 16, tra 16 e 32 t e superiori a 32t), a cui si aggiungono autobus e pullman di linea (*coaches*).

Tutte queste categorie, secondo le opportune combinazioni, sono ulteriormente suddivise per classi di immatricolazione in relazione alle normative effettivamente entrate in vigore entro il 31 dicembre 2000 e riportate nel capitolo 5.

Qui di seguito in tabella 2.1 sono riportate le numerosità delle principali classi veicolari, al fine di evidenziare l'andamento complessivo di crescita del parco pressoché costante dal 1990 al 2000 come anche evidente nella figura 2.1. Solo per alcune categorie si osserva una flessione: lieve per i ciclomotori nell'ultimo anno e più consistente del 10% per i mezzi pesanti negli ultimi tre anni.

(migliaia)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Autovetture	27.184	28.199	29.190	29.453	29.484	30.096	30.619	30.986	31.286	31.773	32.284
Veicoli commerciali leggeri < 3.5 t	1.473	1.536	1.600	1.728	1.856	1.939	2.142	2.199	2.322	2.466	2.675
Veicoli commerciali pesanti > 3.5 t e Autobus	1.020	1.091	1.160	1.072	983	1.016	1.055	1.070	920	941	897
Ciclomotori	3.635	3.635	3.405	4.036	4.287	4.437	4.673	4.908	5.105	5.162	5.073
Motocicli	2.975	3.006	3.016	2.971	2.973	2.946	3.044	3.015	3.165	3.375	3.766
Totale	36.286	37.467	38.371	39.259	39.583	40.434	41.532	42.178	42.799	43.716	44.695

Tabella 2.1: Composizione del parco circolante per classi veicolare aggregate in Italia dal 1990 al 2000.

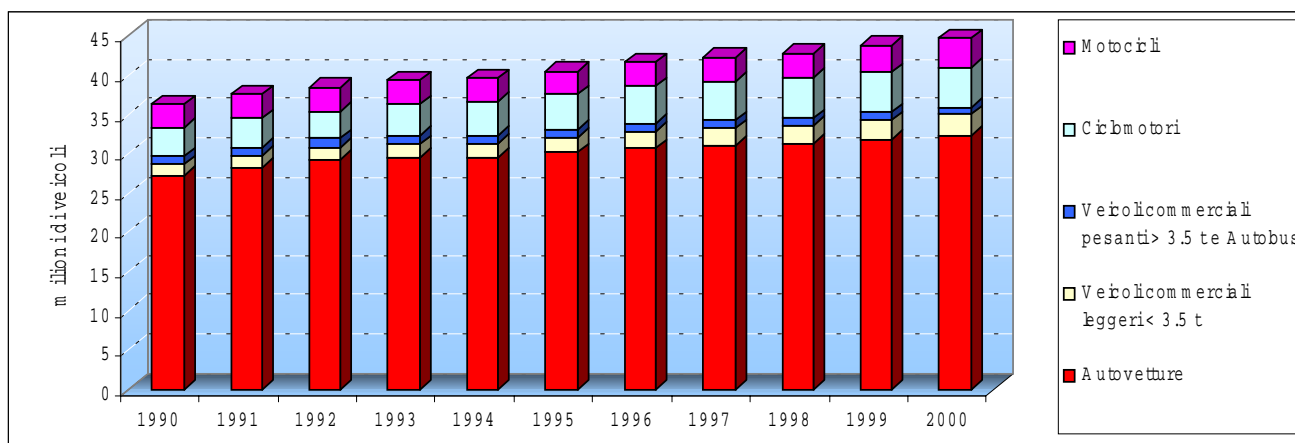


Figura 2.1 Andamento della composizione del parco circolante in Italia dal 1990 al 2000 (milioni di veicoli).

La composizione relativa del parco circolante nel 2000 si dimostra sostanzialmente stabile rispetto al 1990, con un lieve aumento del peso relativo dei ciclomotori e dei veicoli commerciali leggeri, ed una contrazione delle autovetture e dei mezzi commerciali pesanti (figura 2.2).

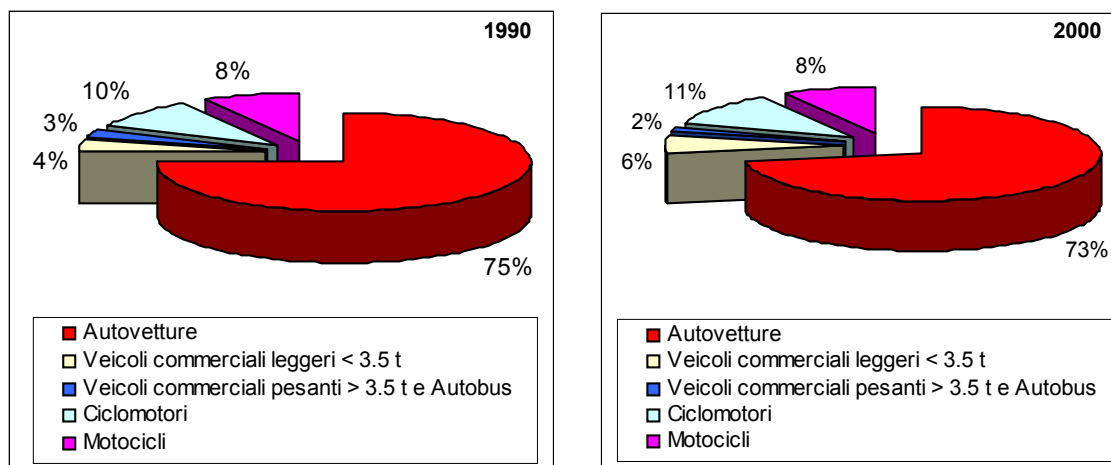


Figura 2.2 – Confronto della composizione del parco circolante in Italia nel 1990 e nel 2000.

In figura 2.3 l'andamento del parco delle sole autovetture passeggeri suddiviso per alimentazione, mostra come, in questo segmento di per sé maggioritario del parco totale, rimanga predominante l'alimentazione a benzina pur a fronte di una certa estensione del parco diesel. In effetti le auto a benzina che costituivano, nel 1990, l'83% del totale auto passeggeri crescono del 16% nel 2000 pur diminuendo il loro peso relativo ora dell'81%; le auto diesel crescono del 33% e la loro quota sul parco auto cresce, dal 13% al 15%. Le auto alimentate a GPL pur crescendo del 19%, mantengono invariato il loro peso al 4% del totale del parco autovetture.

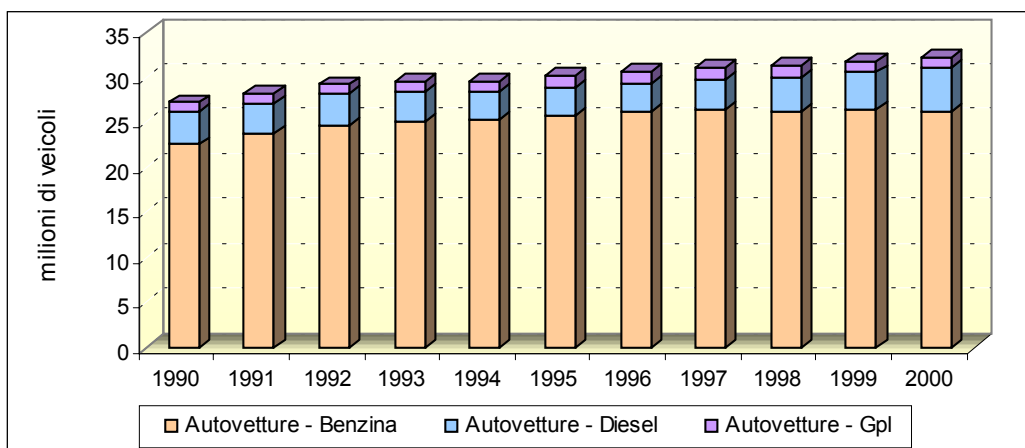
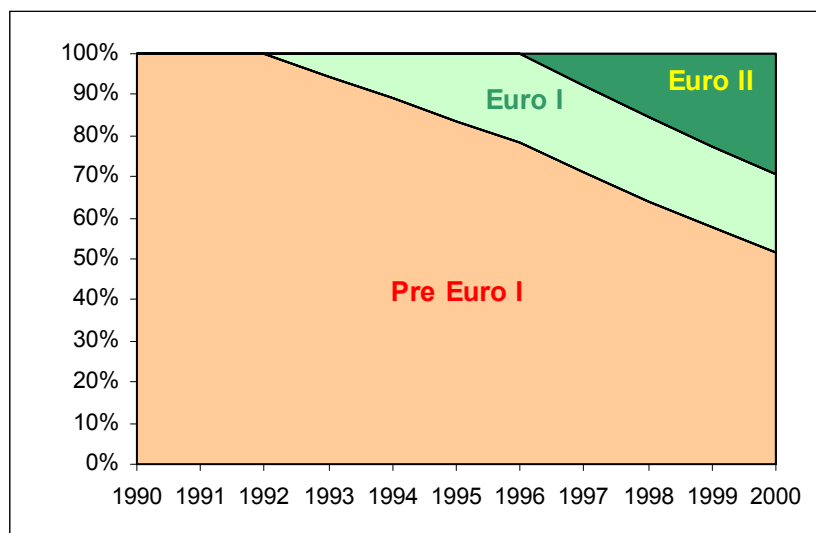


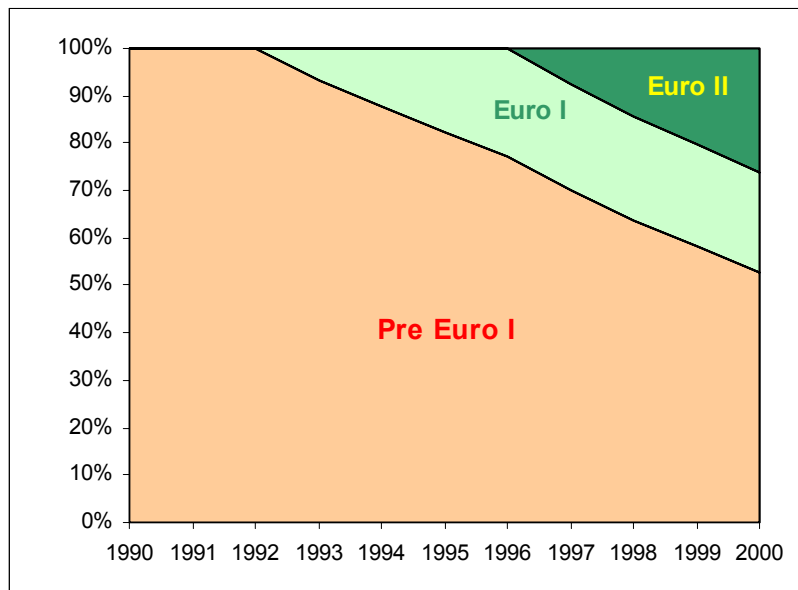
Figura 2.3: Andamento parco circolante autovetture passeggeri suddiviso per alimentazione dal 1990 al 2000 (milioni di veicoli).



In figura 2.4 è rappresentata la quota relativa di tutte le autovetture passeggeri, tra il 1990 e il 2000, suddivise per tecnologia secondo la normativa vigente.

Le autovetture **Euro I** e **Euro II**, pari al 19% e 29% del totale, hanno nel complesso gradualmente sostituito, con un tasso medio del 3,5% annuo, le autovetture precedentemente immatricolate, "pre-Euro I", che nel 2000 costituiscono ancora il 51% delle autovetture a benzina, diesel e GPL .

Figura 2.4: Penetrazione delle auto di nuova tecnologia nel parco circolante delle autovetture

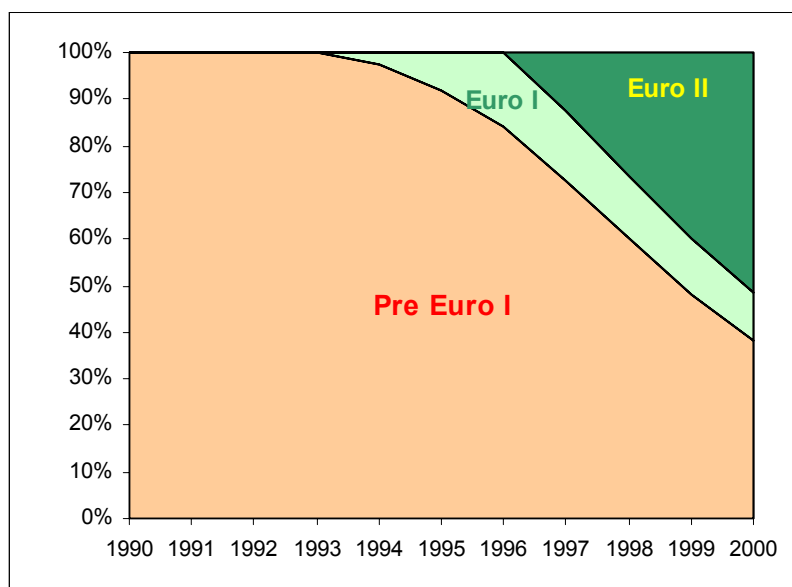


Analogo il comportamento del parco a benzina (figura 2.5). Nel 2000 infatti il 53% delle autovetture a benzina sono "pre-Euro I" mentre le EURO I e EURO II sono rispettivamente il 21% e il 26% del totale.

Per quanto riguarda le auto alimentate a GPL, nel 2000 le "pre-Euro I" sono ancora il 75% in quanto si tratta prevalentemente di auto non catalitiche riconvertite a GPL per poter circolare nelle aree urbane. La quota Euro I e' del 18% ed il restante 7% sono Euro II.

La componente delle auto a gas naturale nel 2000 resta ancora a livelli trascurabili.

Figura 2.5: Penetrazione delle auto di nuova tecnologia nel parco circolante delle autovetture a benzina.



L'insieme delle autovetture alimentate a gasolio mostra invece un grado di innovazione del parco molto più marcato (figura 2.6), conseguenza di una maggiore dinamica di questo segmento di mercato che è cresciuto negli ultimi anni molto più rapidamente di quello a benzina.

Nel 2000 infatti il 52% delle auto a gasolio sono EURO II, il 10% EURO I e solo il 38% del parco sono "pre EURO I".

Figura 2.6: Penetrazione delle auto di nuova tecnologia nel parco circolante delle autovetture a gasolio.

2.3 – Percorrenze

Il riferimento principale per questo tipo di dati è il *Conto Nazionale dei Trasporti* (Ministero dei Trasporti e della Navigazione, 1994-2000), che raccoglie l'informazione più ampia e coerente. In particolare fornisce, per alcuni anni della serie, le percorrenze delle autovetture per tipologia di alimentazione (benzina, diesel, GPL), dei veicoli merci per classi di peso (leggeri, pesanti 3,5 - 16 t di peso complessivo, pesanti >16 t di peso complessivo), e degli autobus (urbani ed extraurbani); per i ciclomotori il riferimento è costituito dalle informazioni della Piaggio (Piaggio, 2001), per i motocicli dai dati forniti dall'ACI (ACI, 1997).

Mentre i dati relativi a ciclomotori e motocicli sono direttamente utilizzabili poiché disponibili nel dettaglio richiesto dal modello, per le rimanenti classi veicolari il dettaglio delle statistiche pubblicate non coincide con quello della classificazione COPERT. La disaggregazione richiesta dal modello viene quindi ottenuta individuando le percorrenze tali che i valori medi per classi di veicoli e gli andamenti nel tempo siano confrontabili con quelli del Conto Nazionale dei Trasporti. Naturalmente questa operazione di quadratura viene effettuata rispettando le differenze tra le percorrenze delle differenti tipologie di veicoli, soprattutto in funzione delle anzianità degli stessi e del tipo di alimentazione.

Nella tabella 2.2 viene mostrato il confronto tra le statistiche pubblicate dal CNT ed i valori medi delle classi veicolari previste dalla classificazione COPERT, risultanti dalla procedura descritta di dimensionamento del modello per l'intera serie storica. Per la maggior parte delle classi veicolari considerate, le medie dei valori utilizzati per l'applicazione della metodologia COPERT seguono con sufficiente approssimazione gli andamenti dei dati pubblicati.

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Autovetture a benzina	CNT	8.702	9.305	9.516	9.743	9.849	10.018	9.982	10.122	n.d.	n.d.	n.d.
	COPERT	8.731	9.102	9.667	9.624	9.790	9.947	9.962	9.765	10.015	9.791	9.350
Autovetture diesel	CNT	19.202	21.305	22.857	20.672	20.778	20.947	20.911	22.197	n.d.	n.d.	n.d.
	COPERT	21.736	21.741	22.672	22.458	20.929	20.314	20.351	19.435	20.316	20.612	19.046
Autovetture a GPL	CNT	12.824	14.015	14.752	14.033	14.139	14.307	14.272	13.444	n.d.	n.d.	n.d.
	COPERT	21.500	21.200	19.400	21.936	22.500	21.900	20.135	20.236	20.321	18.677	18.866
Veicoli commerciali leggeri	CNT	n.d.	n.d.	15.343	15.261	15.956	16.375	16.375	17.399	n.d.	n.d.	n.d.
	COPERT	17.862	16.886	17.189	16.353	15.375	15.437	14.697	15.285	15.256	15.564	16.854
Veicoli commerciali pesanti 3,5 - 16 t	CNT	n.d.	n.d.	30.919	31.070	32.226	33.611	33.667	35.774	n.d.	n.d.	n.d.
	COPERT	32.800	30.800	29.400	29.662	31.840	31.691	31.253	31.400	31.962	33.906	31.951
Veicoli commerciali pesanti > 16 t	CNT	n.d.	n.d.	53.839	53.737	55.750	58.279	58.520	62.182	n.d.	n.d.	n.d.
	COPERT	58.550	54.410	51.900	52.341	54.960	54.917	53.585	54.750	56.800	59.900	56.950
Autobus urbani	CNT	43.102	41.763	43.878	40.961	41.664	41.812	44.090	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	COPERT	43.000	43.000	43.000	40.813	41.000	41.000	41.789	43.500	43.500	43.500	43.500
Autobus extraurbani	CNT	43.182	43.073	42.770	42.320	42.749	43.909	43.895	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	COPERT	43.000	43.000	43.000	42.798	43.000	43.000	42.667	44.000	44.000	45.000	45.000

Tabella 2.2: Serie storica delle percorrenze medie annue (km/veicolo) dei veicoli per categorie veicolari. Confronto tra i dati COPERT e quelli del Conto Nazionale dei Trasporti (CNT).

In alcuni casi si possono osservare scostamenti più significativi. In effetti le serie storiche dei dati pubblicati relativi alle percorrenze medie annue (fonte: CNT, **anni vari**) al parco circolante (fonte: ACI, **anni vari**) ed ai consumi (fonte: Unione Petrolifera, **anni vari**) seguono andamenti che talvolta risultano in contraddizione tra loro: ad esempio, per alcuni anni, è stato rilevato per la stessa classe veicolare, un aumento dei consumi rispetto all'anno precedente, dati UP, a fronte di una contemporanea, e incongrua, riduzione del parco e delle percorrenze, dati ACI e CNT.

In questi casi, è stata data priorità al metodo, fondamentale nel modello COPERT, della "quadratura" dei consumi stimati con quelli pubblicati dalla UP; ciò ha reso possibile l'utilizzo di valori di percorrenza che, per

alcuni anni e per alcune categorie veicolari, si discostano dai dati pubblicati, in particolare le statistiche del CNT, entro comunque una fascia del $\pm 14\%$. Per la serie storica del parco circolante delle autovetture a benzina, il cui peso relativo sul totale degli autoveicoli è di oltre l'81%, lo scostamento è altresì compreso tra -4 e +2%.

Un caso particolare, con scarti ben più rilevanti, anche del 40%, riguarda le percorrenze medie delle autovetture a GPL, le cui differenze, rispetto alle statistiche del CNT, si può ipotizzare siano legate alla sottostima del numero di veicoli dotati di doppia alimentazione (benzina e GPL). In questo caso, la quadratura del bilancio del consumo di GPL rende obbligata la scelta di valori di percorrenza più elevati in corrispondenza di un parco circolante sottostimato. Il peso relativo di questa sub-categoria sul totale delle autovetture passeggeri è però di modesta rilevanza: meno del 7% nel 2000. D'altra parte, a differenza di quanto riportato dal CNT, per gli anni '90 è ipotizzabile una percorrenza media delle autovetture a GPL più simile a quella delle vetture diesel che quelle a benzina, in funzione della tipologia di utenti di tali combustibili.

Nell'effettuare questa procedura preliminare per il corretto dimensionamento del modello, è importante sottolineare che il parco circolante viene considerato come un dato di base non modificabile, poiché i dati disaggregati ad esso relativi vengono forniti dall'ACI nel dettaglio richiesto da COPERT e con un livello di incertezza accettabile per la stima delle emissioni su scala nazionale.

In Appendice II vengono riportati i valori delle percorrenze medie annue dei veicoli ripartiti secondo la classificazione COPERT e relativi all'anno 1990 ed al 2000.

Per quanto riguarda le percorrenze dei veicoli in autostrada, in veicoli*km, come esempio di controllo sulla serie dei dati relativi alla distribuzione delle percorrenze per ciclo di guida, si è fatto riferimento alle statistiche pubblicate da AISCAT (AISCAT 2002, CNT 2001).

Nella tabella 2.3 viene riportato il confronto tra gli indici di traffico autostradale (anno base 1990=100) forniti da AISCAT e quelli risultanti dalla procedura di dimensionamento del modello COPERT, in seguito all'armonizzazione delle serie storiche delle percorrenze e della ripartizione delle stesse per ciclo di guida.

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Leggeri	AISCAT	100	103	107	109	113	115	118	122	127	130	134
	COPERT	100	106	115	116	115	124	129	130	140	143	154
Pesanti	AISCAT	100	100	104	104	109	114	116	121	128	134	141
	COPERT	100	99	96	95	98	96	95	99	98	102	109
Totale	AISCAT	100	102	107	108	112	115	117	122	127	131	136
	COPERT	100	104	109	109	110	115	118	120	127	131	140

Tabella 2.3: Numeri indice (1990 = 100) del traffico autostradale. Confronto tra i dati dell'AISCAT e quelli di COPERT.

Come si vede, a livello totale l'andamento delle percorrenze autostradali risultanti dal dimensionamento del modello segue con buona approssimazione quello dei dati AISCAT; tuttavia, dall'analisi delle serie degli indici di traffico per tipologia di veicoli leggeri e pesanti, così come indicato dall'AISCAT, nel modello risultano sovrastimate le percorrenze autostradali dei veicoli leggeri (autovetture e motocicli) e sottostimate quelle dei veicoli pesanti (veicoli commerciali leggeri e pesanti).

A parziale giustificazione di queste differenze vi sono due componenti: i dati AISCAT sono classificati per classe tariffaria, in funzione quindi del numero di assi e dell'altezza dei veicoli all'asse, e quindi il confronto non risulta completamente omogeneo nelle classi in quanto tra i veicoli pesanti figurano anche le autovetture con qualsiasi tipo di rimorchio (carrello, roulotte,..) e quelle con altezza al primo asse superiore a 1,30 metri; inoltre le percorrenze da noi stimate sono relative alla tipologia di guida autostradale, a velocità elevata, ed includono quindi non solo le percorrenze su autostrada, ma anche le strade statali a 4 corsie, le circonvallazioni e tutte le arterie a scorrimento veloce, mentre l'AISCAT fa riferimento solo alle autostrade in concessione ad aderenti all'associazione.

Non è escluso comunque che gli scostamenti osservabili nelle serie relative ai veicoli commerciali potrebbero in parte anche derivare da una sottostima delle percorrenze medie annue utilizzate come riferimento per la quadratura del modello, dati di percorrenze e consumi derivanti da fonti diverse e come già detto a volte incongruenti anche nelle tendenze.

In figura 2.7 è riportato l'andamento delle percorrenze, in veicoli*km, per ciclo di guida, su percorsi urbano, rurale e autostradale, suddivise per tipologia di trasporto, veicoli passeggeri e merci.

Nel successivo capitolo verrà presentata una analisi di dettaglio della serie storica delle percorrenze dei veicoli effettivamente utilizzate, una volta dimensionato il modello, per l'applicazione della metodologia di stima delle emissioni da trasporto stradale.

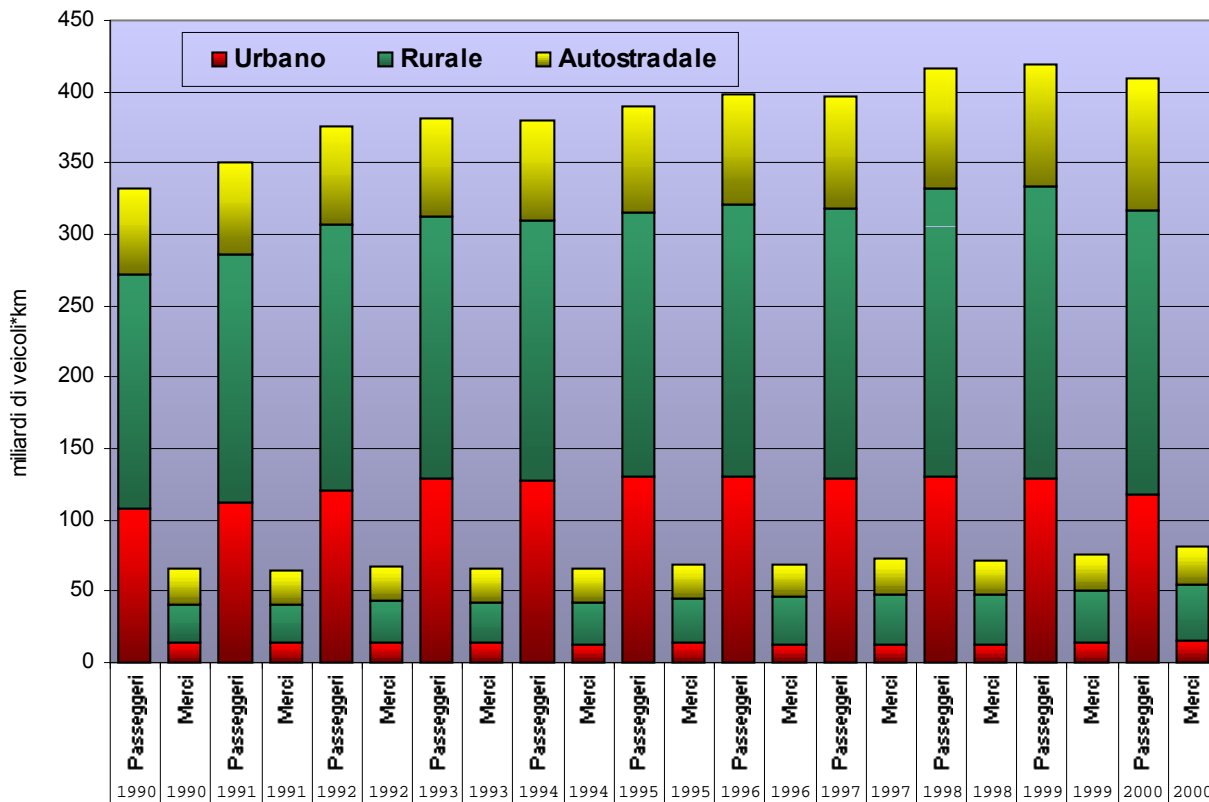


Figura 2.7: Percorrenze per ciclo di guida e tipologia di trasporto (miliardi di veicoli*km)

2.4 – Consumi

Come precedentemente accennato, la procedura di dimensionamento del modello è stata effettuata tenendo conto del vincolo costituito dalla quadratura del bilancio dei combustibili.

L'obiettivo perseguito è stato quello di rendere minimo lo scarto tra i dati di consumo pubblicati e quelli stimati dal modello, sia a livello aggregato che per singola categoria veicolare. Come già accennato nel modello COPERT 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 sperimentali 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.

Una apposita procedura di calcolo automatizzata ha consentito di dimensionare i parametri di base attraverso un meccanismo di *feedback* che tiene conto, da un lato della armonizzazione delle serie storiche dei dati di input, dall'altro del vincolo costituito dalla serie dei dati dei consumi nazionali dei combustibili dati utilizzati per il bilancio sui quali si basa il modello (fonte: BEN, **anni vari**). In sintesi, per ciascun anno della serie, vengono identificati i dati dei consumi nel dettaglio richiesto da COPERT in funzione della minimizzazione dello scarto tra i consumi osservati e quelli stimati dal modello per il tramite delle curve di consumo.

A livello aggregato, quindi a livello nazionale, sono stati utilizzati come riferimento i dati del BEN (**anni vari**) ed il confronto con i consumi stimati dal modello (il *fuel balance* previsto dalla metodologia COPERT) ha dato luogo a differenze inferiori all'1% per ciascuno dei combustibili considerati (benzina con e senza piombo, gasolio, GPL) e per ogni anno della serie storica. L'andamento generale è riportato in figura 2.8.

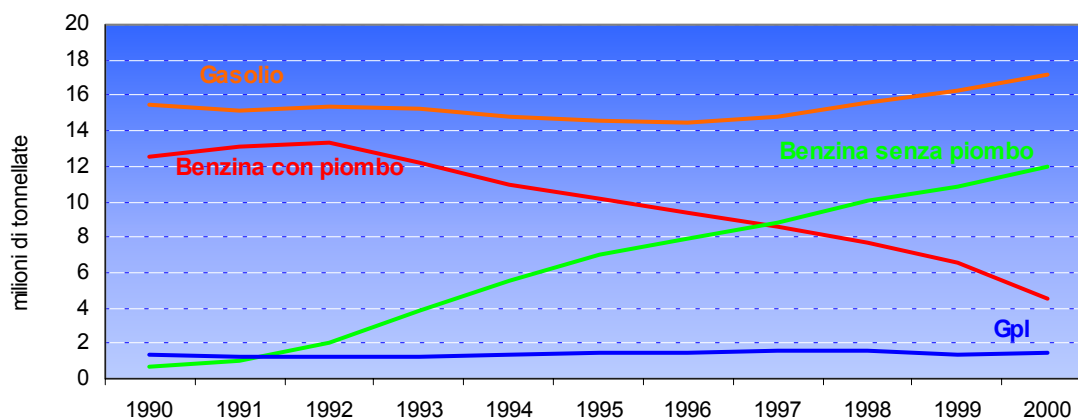


Figura 2.8: Andamento dei consumi di combustibile per autotrazione dal 1990 al 2000 in Italia (milioni di tonnellate).

Le statistiche di consumo per categoria veicolare vengono invece fornite dall'Unione Petrolifera. Il confronto tra questi dati ed i consumi stimati da COPERT, opportunamente mediati per le differenti categorie veicolari in questione, viene mostrato nella tabella 2.4.

Non essendo disponibili informazioni relative ai consumi dei veicoli a GPL, e dal momento che gli unici veicoli a gas contemplati dalla classificazione COPERT sono le autovetture, il dimensionamento dei parametri (percorrenze, velocità, distribuzione delle percorrenze per ciclo di guida) per questa classe veicolare viene effettuato a partire dal bilancio complessivo dei consumi di GPL, utilizzando quindi come riferimento i dati di consumo nazionale del CNT (**anni vari**).

Resta da sottolineare che, a livello aggregato (nazionale) i valori dei consumi di benzina e di gasolio dell'Unione Petrolifera si discostano in maniera poco significativa dalle corrispondenti statistiche del BEN, in virtù di differenti aggregazioni dei dati di base. Ad esempio, il consumo nazionale di gasolio dell'UP relativo ai veicoli pesanti include anche i consumi dei veicoli industriali e delle macchine movimento terra, e quindi fanno riferimento a trasporti non stradali, consumi che nel bilancio energetico nazionale sono riportati sotto altre voci.

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Autovetture a benzina	UP	11.965	13.099	14.218	14.731	15.136	15.599	15.759	15.841	16.026	15.723	14.793
	COPERT	11.895	12.811	14.038	14.614	15.030	15.604	15.742	15.792	16.042	15.690	14.698
Autovetture diesel	UP	4.878	4.821	4.746	4.737	4.643	4.724	4.804	4.853	5.125	5.395	6.133
	COPERT	4.752	4.619	4.737	4.695	3.992	3.820	3.904	3.845	4.417	4.889	5.190
Veicoli commerciali leggeri a benzina	UP	400	400	400	400	400	400	390	380	370	360	350
	COPERT	398	384	392	393	370	394	393	386	367	365	390
Veicoli commerciali leggeri diesel	UP	1.970	2.000	2.020	1.900	1.900	2.000	2.050	2.100	2.200	2.250	2.350
	COPERT	1.960	1.941	2.048	2.074	2.068	2.134	2.197	2.369	2.527	2.758	3.234
Veicoli commerciali pesanti diesel	UP	7.693	7.648	7.585	6.958	7.041	7.118	6.845	7.089	7.305	7.425	7.549
	COPERT	7.829	7.679	7.670	7.637	7.885	7.785	7.458	7.693	7.705	7.713	7.798
Autobus diesel	UP	1.100	1.100	1.090	1.070	1.060	1.050	1.060	1.080	1.110	1.200	1.350
	COPERT	885	899	895	863	852	825	895	930	934	970	992
Ciclomotori e Motocicli	UP	840	900	950	1.000	1.060	1.120	1.150	1.190	1.250	1.300	1.350
	COPERT	840	883	952	1.019	1.052	1.100	1.150	1.190	1.249	1.297	1.387

Tabella 2.4: Consumi di combustibile per classe veicolare (migliaia di tonnellate)

Le informazioni relative ai consumi sono state inoltre integrate da informazioni relative alla qualità dei combustibili, informazioni necessarie per il calcolo dei fattori di emissione di alcuni inquinanti, ed in particolare il contenuto di zolfo, carbonio, idrogeno e metalli pesanti presente nei combustibili, per l'intera serie storica. Anche in questo caso, a partire dai dati presenti sulla normativa e da quelli forniti dall'Unione Petrolifera e dalla Stazione Sperimentale sui Combustibili (Ilacqua, Contaldi, 2002) sono state ricavate delle serie omogenee di valori per ciascun composto.

3. Analisi disaggregata di percorrenze e consumi dal 1990 al 2000

La procedura descritta nel capitolo precedente ha consentito di dimensionare i parametri del modello al fine di realizzare una base di dati completa e coerente da utilizzare per l'applicazione della metodologia COPERT di stima delle emissioni da trasporto stradale.

A partire da questa base di dati che considera le informazioni sui parametri (velocità medie, percorrenze medie annue, ripartizione delle percorrenze per ciclo di guida) nel dettaglio richiesto da COPERT (classe veicolare, combustibile utilizzato, classe di cilindrata o di peso, classe di anzianità ovvero normativa europea di riferimento), sono state stimate per l'intera serie storica 1990-2000 le emissioni nazionali delle nove specie, tra inquinanti e gas serra, e dei sette metalli pesanti previsti dalla metodologia che, come già detto, fanno parte integrante, per gli anni considerati, dell'inventario nazionale CORINAIR delle emissioni in atmosfera.

In questo capitolo vengono esaminati in modo dettagliato i dati di percorrenza e consumi risultato del lavoro, analizzando gli andamenti e la composizione degli stessi per classe veicolare, per tipologia di guida e per tipo di alimentazione al fine di evidenziare le caratteristiche dei dati di base utilizzati per la stima delle emissioni.

3.1 – Andamento e composizione dei dati di percorrenza dei veicoli

L'andamento generale della serie storica delle percorrenze totali annue in termini di veicoli*km aggregati per tipologia, età, cicli di guida e classi di alimentazione mostra una tendenza alla stabilizzazione (come già evidenziato nel capitolo 1, in figura 1.5).

Nella tabella 3.1 vengono riportati, per il periodo dal 1990 al 2000, i valori delle percorrenze annue (in milioni di veicoli*km) riferite a classi veicolari aggregate per tipologia di veicolo ed alimentazione e ripartite secondo il ciclo di guida urbano extraurbano e autostradale, secondo la metodologia COPERT.

Nel decennio analizzato si registra una crescita continua delle percorrenze complessive, con un incremento che nel 1999 ha raggiunto il 25% in termini di veicoli*km totali rispetto al 1990 (397.759 milioni veicoli*km), per poi attestarsi a 490.800 milioni veicoli*km nel 2000.

L'analisi dell'andamento per ciclo di guida (figura 3.1) evidenzia una tendenza alla stabilizzazione per la contrazione dei flussi urbani ed extraurbani: le percorrenze extraurbane sono aumentate del 27% (circa 190 miliardi nel 1990, oltre 241 miliardi nel 1999 per poi calare a 238 miliardi), quelle urbane sono cresciute del 17% (circa 122 miliardi nel 1990, 143 miliardi nel 1999 per poi scendere a 133 miliardi) mentre le percorrenze autostradali sono aumentate del 40% nel periodo analizzato, passando dai circa 85 miliardi di veicoli*km del 1990 agli oltre 119 miliardi del 2000.

Ciclo di guida		Alimentazione	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
Autoveiture	Urbano	Benzina	68.494	72.065	77.901	84.631	84.030	84.664	83.288	80.075	78.640	75.723	66.838	
		(non catal.)	68.477	71.987	77.785	81.713	74.175	69.550	63.506	55.098	45.512	37.402	31.854	
		(catalizzate)	17	77	116	2.917	9.855	15.114	19.782	24.977	33.128	38.321	34.984	
		Diesel	11.738	11.407	11.696	11.647	9.910	9.585	9.866	9.782	11.419	12.777	12.561	
	Gpl	6.978	6.729	6.191	6.729	7.169	7.659	7.815	7.915	7.947	7.025	7.311		
	Extra urbano	Benzina	100.948	111.810	124.356	119.239	123.775	127.004	129.830	129.562	134.022	132.571	125.263	
		(non catal.)	100.891	111.553	123.969	113.111	103.382	95.793	88.969	78.487	66.593	54.792	41.550	
		(catalizzate)	57	258	387	6.128	20.393	31.210	40.862	51.075	67.429	77.780	83.713	
		Diesel	42.086	40.877	41.888	41.672	35.417	34.244	35.254	34.966	40.819	45.714	49.110	
	Gpl	9.304	8.973	8.254	8.972	9.558	10.212	10.420	10.554	10.596	9.367	9.749		
	Auto stradale	Benzina	27.016	31.329	36.389	36.473	39.533	44.804	46.833	47.430	50.088	50.055	52.811	
		(non catal.)	26.976	31.148	36.118	33.906	31.193	32.083	30.162	27.139	23.638	19.805	14.154	
(catalizzate)		40	180	271	2.567	8.340	12.721	16.671	20.290	26.450	30.250	38.657		
Diesel		24.431	23.763	24.390	24.329	20.740	20.072	20.655	20.467	23.891	26.687	29.703		
Gpl	6.978	6.729	6.191	6.729	7.169	7.659	7.815	7.915	7.947	7.025	7.311			
Totale			297.973	313.683	337.256	340.420	337.301	345.902	351.776	348.668	365.370	366.944	360.658	
Veicoli commerciali leggeri < 3.5 t	Urbano	Benzina	1.383	1.335	1.363	1.391	1.130	1.200	1.190	1.159	1.090	1.068	1.128	
		(non catal.)	1.383	1.335	1.363	1.391	1.125	1.113	1.066	978	853	729	705	
		(catalizzate)	0	0	0	0	5	88	124	180	237	339	423	
		Diesel	7.596	7.523	8.034	8.266	7.204	7.538	6.680	7.245	7.766	8.529	10.142	
	Extra urbano	Benzina	2.075	2.003	2.044	2.087	2.259	2.401	2.618	2.550	2.397	2.349	2.482	
		(non catal.)	2.075	2.003	2.044	2.087	2.250	2.226	2.346	2.153	1.876	1.604	1.550	
		(catalizzate)	0	0	0	0	10	175	272	397	521	745	932	
		Diesel	8.681	8.597	10.329	10.628	12.007	12.563	14.697	15.940	17.085	18.763	22.312	
	Auto stradale	Benzina	1.153	1.113	1.136	1.160	1.130	1.200	952	927	872	854	902	
		(non catal.)	1.153	1.113	1.136	1.160	1.125	1.113	853	783	682	583	564	
		(catalizzate)	0	0	0	0	5	88	99	144	189	271	339	
		Diesel	5.426	5.373	4.591	4.723	4.803	5.025	5.344	5.796	6.213	6.823	8.113	
Totale			26.313	25.944	27.497	28.255	28.534	29.928	31.482	33.618	35.423	38.385	45.079	
Veicoli comm. pesanti > 3.5 t e Autobus	Urbano	Benzina	15	14	13	14	16	15	16	16	10	11	9	
		Diesel	5.951	6.004	6.099	5.707	5.616	5.669	5.746	5.917	5.393	5.714	5.337	
	Extra urbano	Benzina	46	43	40	42	48	45	47	48	29	33	26	
		Diesel	16.829	16.868	17.163	16.107	15.787	16.902	17.088	17.566	15.909	16.843	14.767	
	Auto stradale	Benzina	15	14	13	14	16	15	16	16	10	11	9	
		Diesel	19.489	19.232	19.298	18.983	19.486	18.731	18.461	19.025	18.394	18.816	19.522	
Totale			42.346	42.176	42.627	40.867	40.968	41.378	41.373	42.588	39.745	41.428	39.668	
Ciclo motori	Totale			16.356	17.083	18.386	21.389	22.721	24.404	25.700	26.992	28.078	28.194	22.828
Moto cicli	Urbano	Benzina	8.863	9.432	10.215	10.061	10.062	10.151	10.492	10.624	11.279	12.475	13.540	
		Extra urbano	Benzina	5.170	5.502	5.958	5.869	5.869	5.921	6.120	6.197	6.579	7.277	7.899
	Auto stradale	Benzina	739	786	851	838	838	846	874	885	940	1.040	1.128	
		Totale			14.772	15.720	17.024	16.768	16.769	16.918	17.487	17.707	18.798	20.792
Totale milioni di veicoli*km			397.759	414.606	442.790	447.698	446.292	458.530	467.817	469.572	487.413	495.742	490.800	
di cui su <i>ciclo urbano</i>			122.468	126.467	134.382	143.418	141.041	143.564	143.084	141.629	143.198	143.057	132.845	
di cui su <i>ciclo extraurbano</i>			190.045	199.799	215.550	211.031	211.537	216.614	223.784	225.482	235.861	241.375	238.455	
di cui su <i>ciclo autostradale</i>			85.246	88.340	92.858	93.249	93.714	98.353	100.950	102.462	108.354	111.311	119.500	

Tabella 3.1: Serie storica 1990-2000 delle percorrenze dei veicoli per classe veicolare, ciclo di guida e tipo di alimentazione (in milioni di veicoli*km).

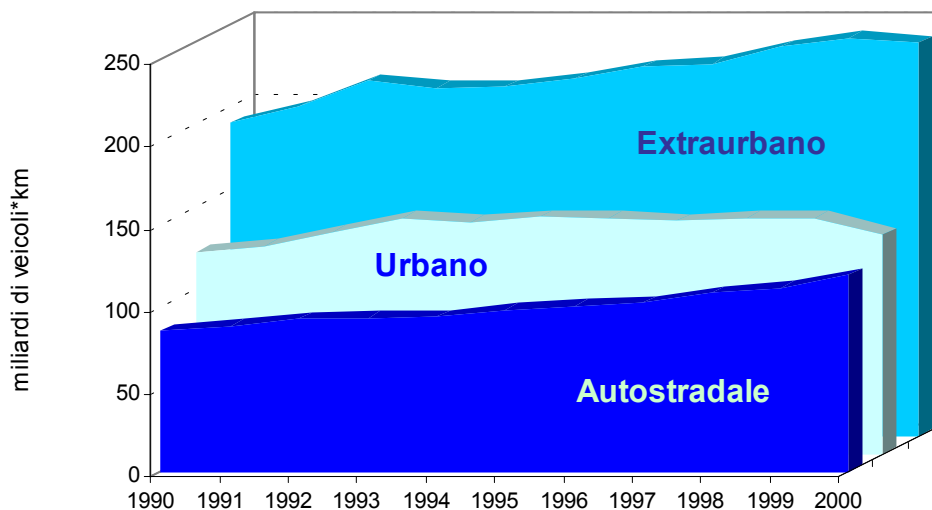


Figura 3.1: Andamento 1990-2000 delle percorrenze totali dei veicoli (in miliardi di veicoli*km) per ciclo di guida.

Vale la pena ricordare che, riguardo alle percorrenze complessive di tutte le categorie veicolari autostradali, il confronto con gli indici di traffico dell'AISCAT (capitolo 2, tab. 2.3), ha dato conferma delle scelte effettuate durante la procedura di dimensionamento dei parametri.

Al contrario, vista la mancanza di un riferimento statistico equivalente, non è stato possibile un controllo altrettanto efficace sulle percorrenze totali in ambito urbano ed extraurbano. La disponibilità di questo tipo di informazioni costituirebbe un'importante base conoscitiva ed un riferimento utile per una migliore assegnazione delle quote di percorrenza ai differenti cicli di guida, almeno a livello aggregato.

La distribuzione delle percorrenze annue complessive rispetto ai differenti cicli di guida mostra un andamento pressoché costante nel corso del tempo: per ogni anno della serie storica in esame, circa la metà dei veicoli per chilometro complessivi viene effettuata su ciclo extraurbano, il 25-30% circa su ciclo urbano, in lieve riduzione principalmente a favore delle percorrenze autostradali: intorno al 20-25%.

I due grafici a torta in figura 3.2 mostrano la distribuzione delle percorrenze complessive in termini di veicoli per chilometro, riferite all'intero parco circolante italiano e ai tre cicli di guida, rispettivamente nel 1990 e nel 2000.

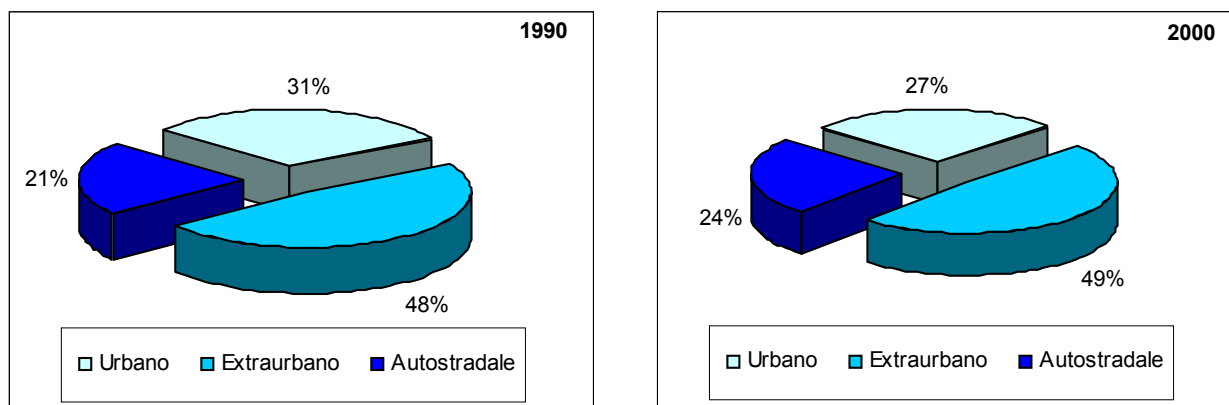


Figura 3.2: Distribuzione delle percorrenze totali dei veicoli (veicoli*km) rispetto ai differenti cicli di guida in Italia nel 1990 e nel 2000.

L'analisi della serie storica delle percorrenze per classe veicolare evidenzia, in figura 3.3, andamenti crescenti per tutte le classi ad eccezione dei veicoli commerciali pesanti, per i quali, tra il 1990 ed il 2000, si riscontra una riduzione del 6% in termini di veicoli per chilometro totali (sui tre cicli di guida). L'aumento più consistente, pari al 72% nel 1999 rispetto al 1990, si osserva per le percorrenze dei ciclomotori anche in virtù della forte crescita del parco nel periodo considerato a cui però segue un brusco calo del 24% nel 2000 in corrispondenza di un forte incremento dei motocicli che complessivamente sono aumentati del 53% rispetto al 1990. Sono aumentate rispetto allo stesso anno di riferimento anche le percorrenze dei veicoli commerciali leggeri (del 71%), mentre le percorrenze delle autovetture, pur cresciute del 23% fino al 1999, nel 2000 cadono, rispetto al 1999, di 2 punti percentuali.

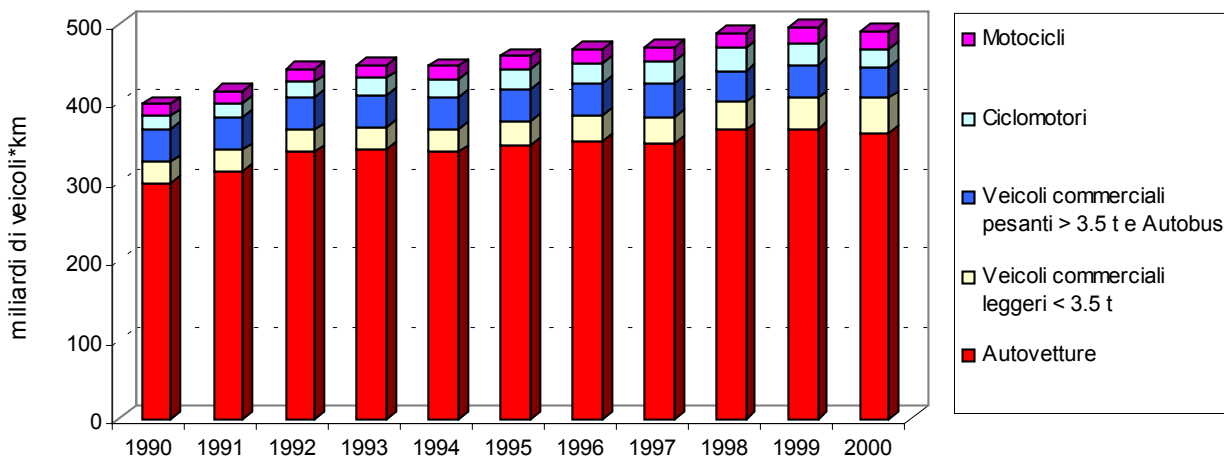


Figura 3.3: Andamento 1990-2000 delle percorrenze totali dei veicoli (in miliardi di veicoli*km) in Italia per classe veicolare.

Nonostante i diversi andamenti riscontrati, la distribuzione relativa delle percorrenze complessive rispetto alle differenti classi veicolari risulta alquanto stabile nel tempo. Si può osservare che nel 2000, figura 3.4, risulta comunque preponderante la quota di percorrenze dovuta alle autovetture.

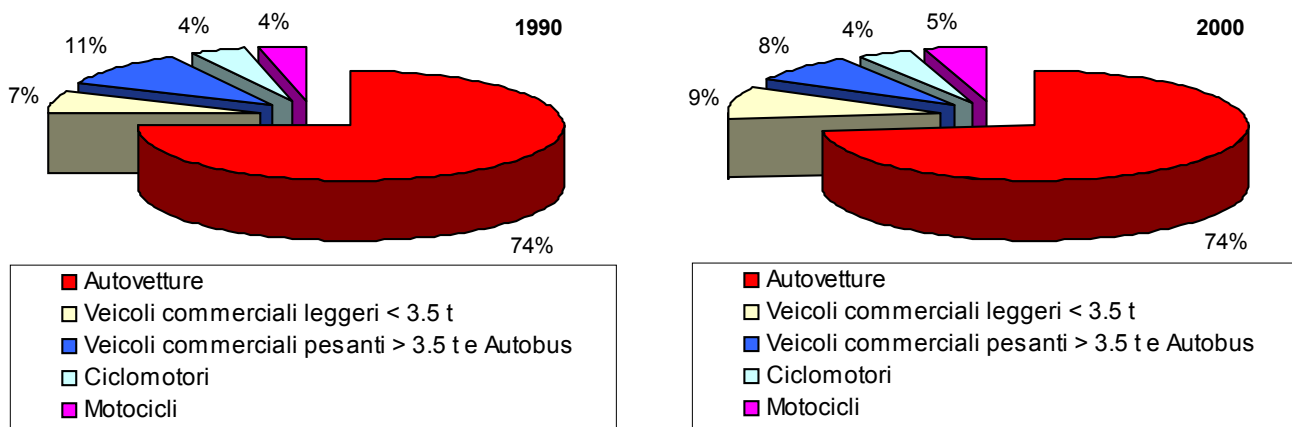


Figura 3.4: Distribuzione delle percorrenze totali dei veicoli (veicoli*km) rispetto alle differenti classi veicolari in Italia nel 1990 e nel 2000.

E' stato infine effettuato un confronto dell'andamento delle percorrenze delle autovetture a benzina aggregate in due classi: quelle non catalizzate (Pre Euro I), quindi immatricolate prima del 1990, e le catalizzate senza distinzione tra Euro I ed Euro II.

La figura 3.5 mostra da un lato la graduale riduzione delle percorrenze complessive dei veicoli non catalizzati, dall'altro il progressivo aumento dei veicoli per chilometro delle autovetture catalizzate, corrispondente alla successiva entrata in vigore delle normative Euro I (dal 1990 per le autovetture con cilindrata maggiore di 2.000 cc, dal 1993 per tutte le classi di cilindrata) ed Euro II (dal 1997 per tutte le

classi di cilindrata). Nel 2000 risulta che le percorrenze complessive delle autovetture catalizzate costituiscono il 64% del totale.

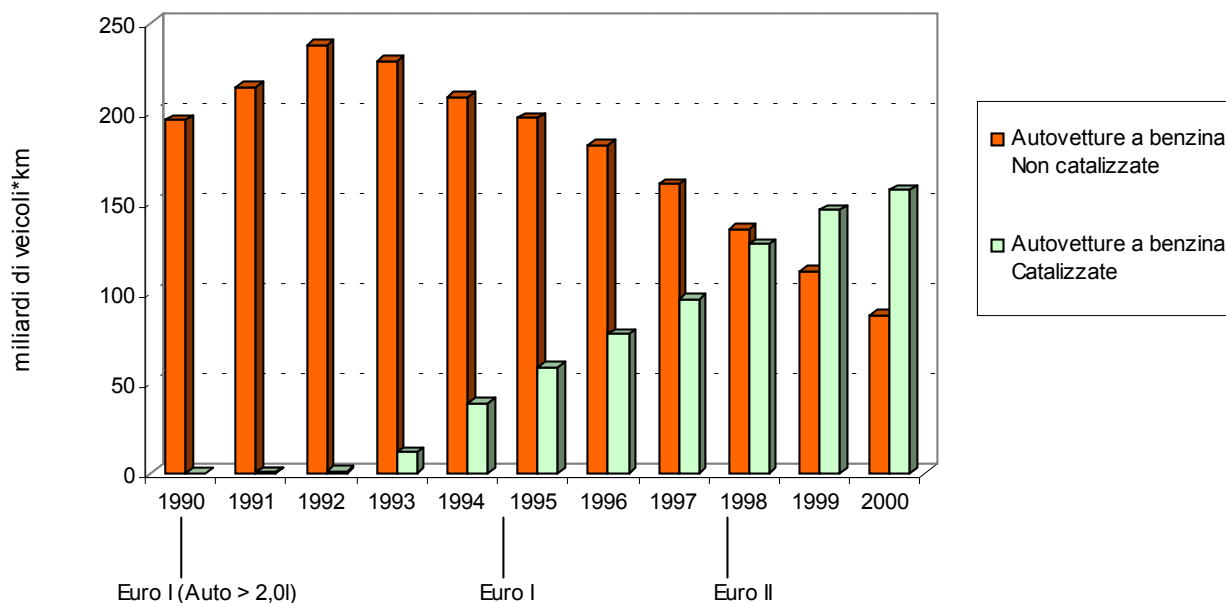


Figura 3.5: Andamento 1990-2000 delle percorrenze totali (in miliardi di veicoli*km) delle autovetture a benzina circolanti in Italia. Confronto tra le auto catalizzate e quelle non catalizzate.

3.2 – Analisi delle serie storiche dei consumi stimati

La procedura di dimensionamento descritta nel capitolo precedente ha reso necessarie, per il confronto con le statistiche pubblicate dall'Unione Petrolifera (capitolo 2, tabella 2.4), opportune aggregazioni dei valori di consumo stimati da COPERT ed il calcolo dei valori medi pesati per ciascuna classe veicolare.

A partire dai dati di consumo stimati dal modello è a questo punto possibile analizzare, in maniera più dettagliata, i consumi di benzina, diesel e GPL, valutandone l'andamento temporale con riferimento ai differenti cicli di guida ed alle differenti classi veicolari.

Un quadro d'insieme è riportato in tabella 3.2 con le serie storiche 1990-2000 dei consumi di combustibile in migliaia di tonnellate.

		Ciclo di guida	Alimentazione	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Autoveiture	Urbano	Benzina		6.238	6.489	6.966	7.345	7.370	7.350	7.263	7.107	7.052	6.823	6.006
		Diesel		1.130	1.098	1.126	1.101	935	878	893	875	991	1.088	1.050
		Gpl		545	525	483	525	558	595	606	614	614	542	562
	Extraurbano	Benzina		4.273	4.717	5.214	5.359	5.547	5.806	5.901	6.031	6.166	6.031	5.708
		Diesel		2.018	1.960	2.008	1.994	1.694	1.634	1.681	1.667	1.943	2.174	2.353
		Gpl		419	404	372	404	431	460	469	475	477	422	439
	Autostradale	Benzina		1.384	1.605	1.858	1.910	2.113	2.448	2.579	2.653	2.824	2.836	2.984
		Diesel		1.603	1.560	1.603	1.600	1.364	1.308	1.330	1.304	1.483	1.628	1.788
		Gpl		377	363	334	365	394	424	434	440	448	401	423
Veicoli commerciali leggeri < 3.5 t	Urbano	Benzina		204	197	201	198	164	173	172	169	161	160	171
		Diesel		911	902	963	958	854	874	777	839	895	978	1.150
	Extraurbano	Benzina		124	120	123	125	137	148	162	159	151	150	161
		Diesel		572	567	681	701	792	822	959	1.033	1.101	1.201	1.407
	Autostradale	Benzina		70	67	69	70	68	74	59	58	55	55	58
		Diesel		477	472	403	415	422	438	461	497	530	579	678
Veicoli comm. pesanti > 3.5 t e Autobus	Urbano	Benzina		3	3	3	3	4	3	4	4	2	2	2
		Diesel		1.770	1.765	1.770	1.692	1.695	1.663	1.604	1.658	1.638	1.665	1.659
	Extraurbano	Benzina		7	6	6	6	7	7	7	7	4	5	4
		Diesel		2.865	2.827	2.832	2.793	2.872	3.018	2.959	3.052	3.020	3.053	2.843
	Autostradale	Benzina		3	2	2	2	3	2	3	3	2	2	1
		Diesel		4.078	3.986	3.963	4.015	4.170	3.929	3.790	3.914	3.981	3.965	4.288
Ciclo motori	Totale		409	427	460	535	568	610	642	675	702	693	730	
Moto cicli	Urbano	Benzina		264	279	300	296	295	299	310	315	335	370	403
	Extraurbano	Benzina		140	149	161	158	158	160	165	168	178	197	214
	Autostradale	Benzina		27	29	31	30	30	31	32	32	34	38	41
Totale Benzina (migliaia di t)				13.146	14.090	15.393	16.039	16.464	17.111	17.298	17.381	17.666	17.362	16.482
di cui su ciclo urbano				6.995	7.266	7.792	8.216	8.230	8.253	8.198	8.067	8.041	7.841	7.093
di cui su ciclo extraurbano				4.667	5.121	5.641	5.809	6.020	6.303	6.428	6.568	6.710	6.591	6.305
di cui su ciclo autostradale				1.484	1.704	1.960	2.013	2.214	2.555	2.672	2.746	2.915	2.930	3.084
Totale Diesel (migliaia di t)				15.425	15.138	15.350	15.269	14.797	14.563	14.455	14.837	15.583	16.332	17.215
di cui su ciclo urbano				3.811	3.766	3.859	3.751	3.484	3.414	3.274	3.371	3.525	3.731	3.859
di cui su ciclo extraurbano				5.456	5.354	5.521	5.488	5.358	5.474	5.599	5.752	6.064	6.428	6.602
di cui su ciclo autostradale				6.158	6.018	5.969	6.030	5.955	5.674	5.582	5.715	5.994	6.172	6.754
Totale GPL (migliaia di t)				1.341	1.293	1.189	1.294	1.383	1.478	1.510	1.529	1.540	1.364	1.424
di cui su ciclo urbano				545	525	483	525	558	595	606	614	614	542	562
di cui su ciclo extraurbano				419	404	372	404	431	460	469	475	477	422	439
di cui su ciclo autostradale				377	363	334	365	394	424	434	440	448	401	422

Tabella 3.2: Serie storica 1990-2000 dei consumi di combustibile in Italia (migliaia di tonnellate) stimati mediante la metodologia COPERT.

Dall'analisi della serie storica dei consumi totali di **benzina** per ciclo di guida risulta che, rispetto al 1990, nel 2000 i consumi sono aumentati complessivamente del 25%: più che raddoppiati in autostrada e considerevolmente aumentati su ciclo extraurbano (fino al 44% nel 1998) poi in diminuzione fino all'attuale 35% rispetto al 1990; su ciclo di guida urbano si è tornati ai livelli del 1990, dopo una crescita che ha toccato il 18% e un trend decrescente a partire dal 1996 (figura 3.6).

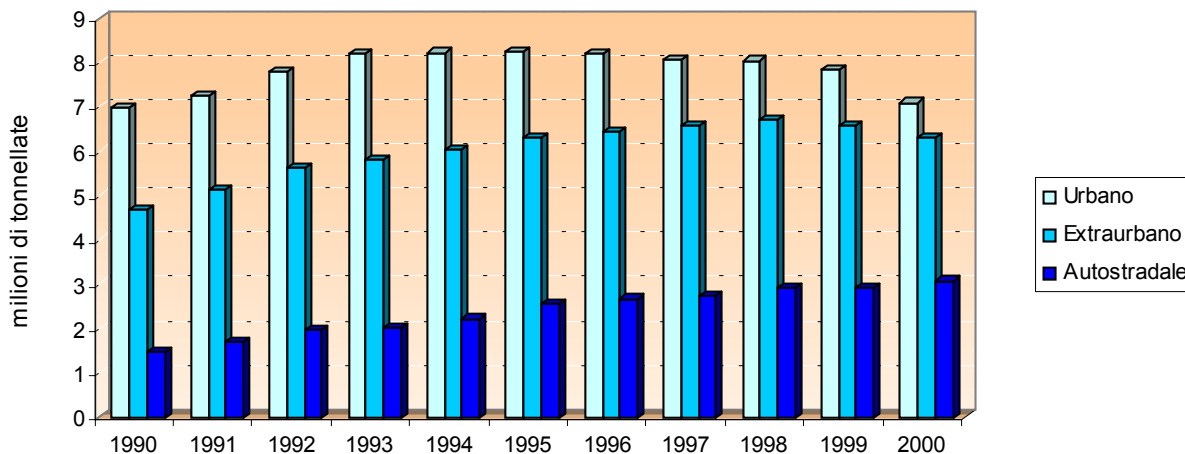


Figura 3.6: Andamento 1990-2000 delle stime COPERT dei consumi di benzina (milioni di tonnellate) in Italia, con riferimento ai differenti cicli di guida.

La figura 3.7 consente di valutare gli andamenti dei consumi complessivi di benzina con riferimento alle differenti classi veicolari. Il grafico presenta due differenti assi delle ordinate per agevolare il confronto simultaneo delle serie dei valori. In effetti, i consumi delle autovetture, che costituiscono all'incirca il 90% del consumo annuo totale di benzina, e che nella figura sono rappresentati dagli istogrammi, sono considerevolmente più elevati rispetto a quelli delle altre classi veicolari, i cui andamenti vengono rappresentati dalle linee.

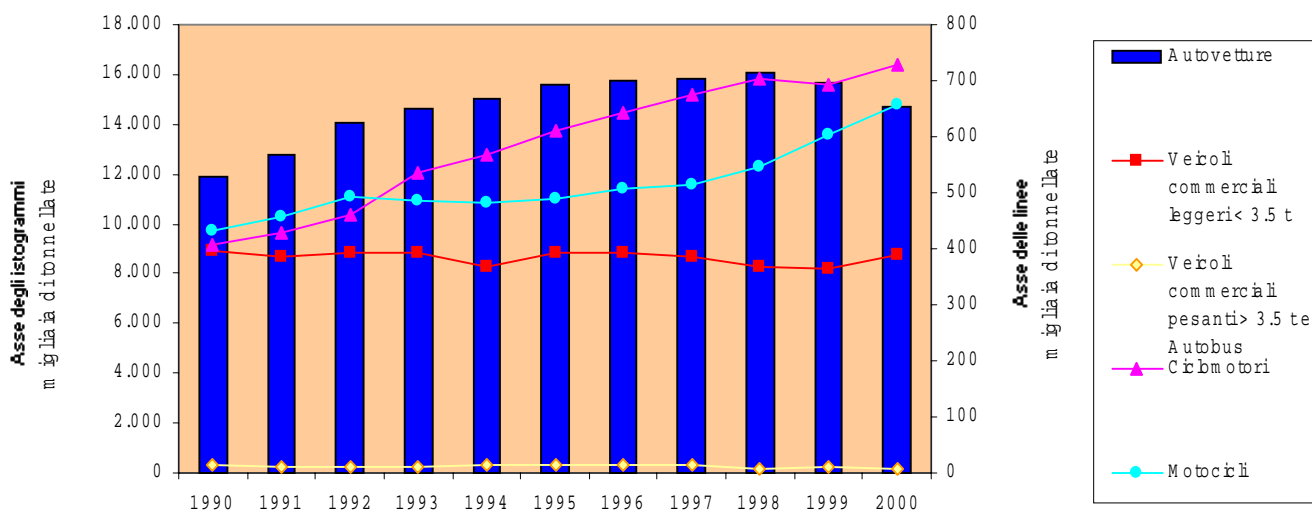


Figura 3.7: Andamento 1990-2000 delle stime COPERT dei consumi di benzina (migliaia di tonnellate) in Italia con riferimento alle differenti classi veicolari.

Va osservato nel 2000 rispetto al 1999, l'aumento del 5% dei consumi dei ciclomotori e motocicli minori di 50 cc a fronte di una sensibile diminuzione delle percorrenze in veicoli*km (vedi tabella 3.1).

Questo apparente disallineamento è in buona parte dovuto al diverso "peso" delle due principali componenti del parco ciclomotori, che nel 2000 diminuisce complessivamente dell' 1,7%, suddiviso però

nella componente convenzionale che diminuisce del 9% e in quella dei ciclomotori EURO I (EC 97/24 Stage I), favorita dalle politiche di sostituzione, che aumenta del 95%. Questi ultimi però, come i ciclomotori comparsi sul mercato nell'ultimo quinquennio, sono caratterizzati da un fattore di consumo più alto quasi del 50% di quello dei ciclomotori convenzionali (ANCMA, 2001, Grechi, 2002). Inoltre gli EURO I, che pure costituiscono solo il 13% del parco, aumentano le loro percorrenze in veicoli*km del 152%, mentre quelle dei convenzionali diminuiscono rispettivamente del 31% .

Per quanto riguarda il **gasolio**, la serie storica evidenzia una riduzione dei consumi complessivi tra il 1992 ed il 1996 ed un'inversione di tendenza a partire dal 1997, fino ad riportare nel 2000 un aumento del 12% rispetto al valore del 1990. In particolare, il tasso di crescita positivo è legato all'aumento dei consumi complessivi su ciclo extraurbano (21% in più nel 2000 rispetto al 1990); su ciclo autostradale i consumi di gasolio che nel 1999 erano tornati al livello del 1990, dopo la flessione registrata tra il 1992 ed il 1996, sono nettamente aumentati di un altro 10%. Su ciclo urbano risulta una lieve variazione positiva rispetto all'anno base (appena l'1%), che però conferma il trend positivo degli ultimi anni della serie (figura 3.8).

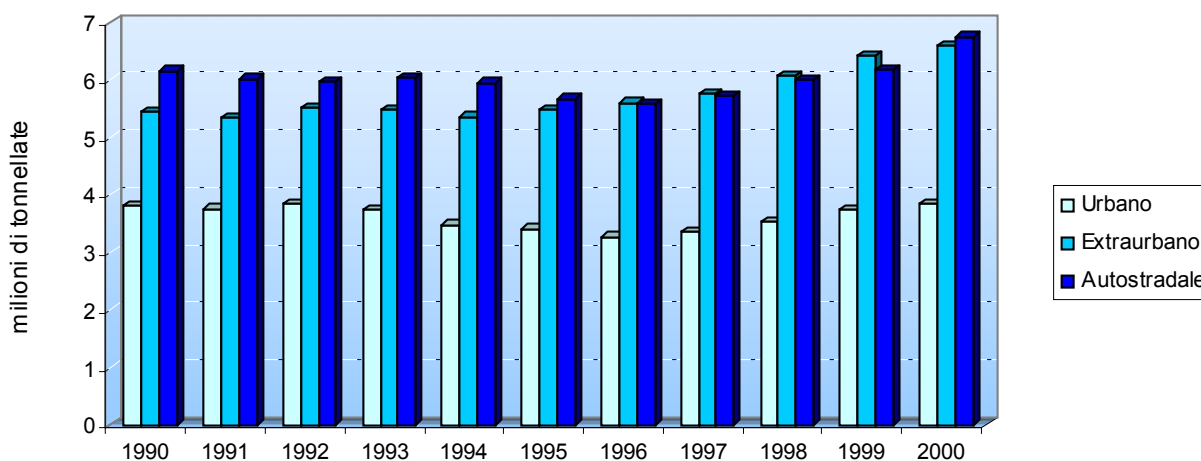


Figura 3.8: Andamento 1990-2000 delle stime COPERT dei consumi di gasolio (milioni di tonnellate) in Italia, con riferimento ai differenti cicli di guida.

Valutando l'andamento dei consumi di gasolio per le differenti classi veicolari (figura 3.9) si evidenzia una forte crescita dei consumi dei veicoli commerciali leggeri (che superano del 65% il livello del 1990), e che trova riscontro nel considerevole aumento del parco circolante di questi veicoli durante il periodo analizzato (cfr. capitolo 2, tabella 2.1). Risultano tendenzialmente stabili i consumi dei veicoli commerciali pesanti, mentre quelli delle autovetture mostrano una crescita negli ultimi anni (a partire dal 1997) in seguito ad una forte flessione tra il 1990 ed il 1995.

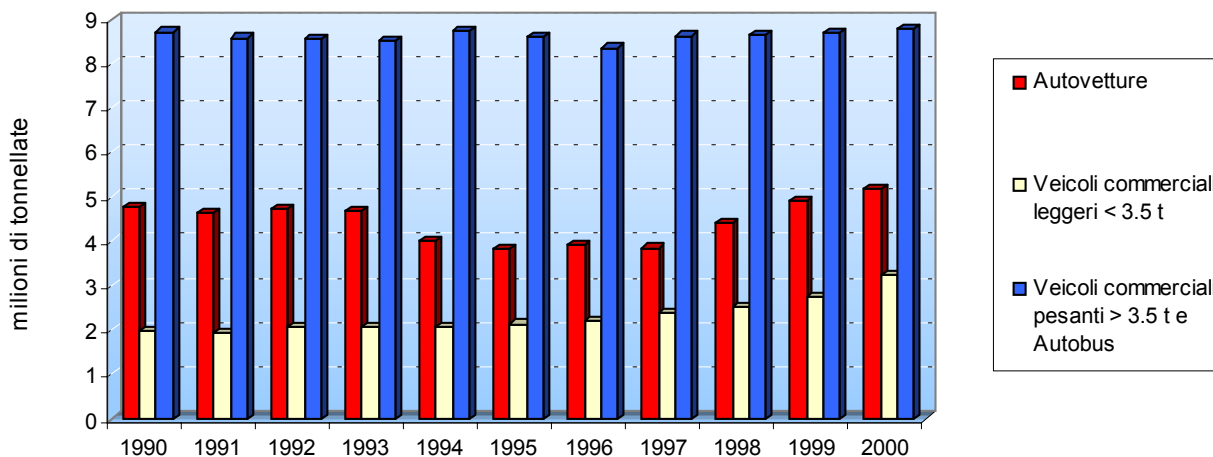


Figura 3.9: Andamento 1990-2000 delle stime COPERT dei consumi di gasolio (milioni di tonnellate) in Italia, con riferimento alle differenti classi veicolari.

Infine, relativamente ai consumi di **GPL**, la serie mostra una crescita dei consumi complessivi tra il 1992 ed il 1998, una forte riduzione nel 1999, e l'attestarsi nel 2000 ad una quota del 6% superiore a quella del 1990 (figura 3.10).

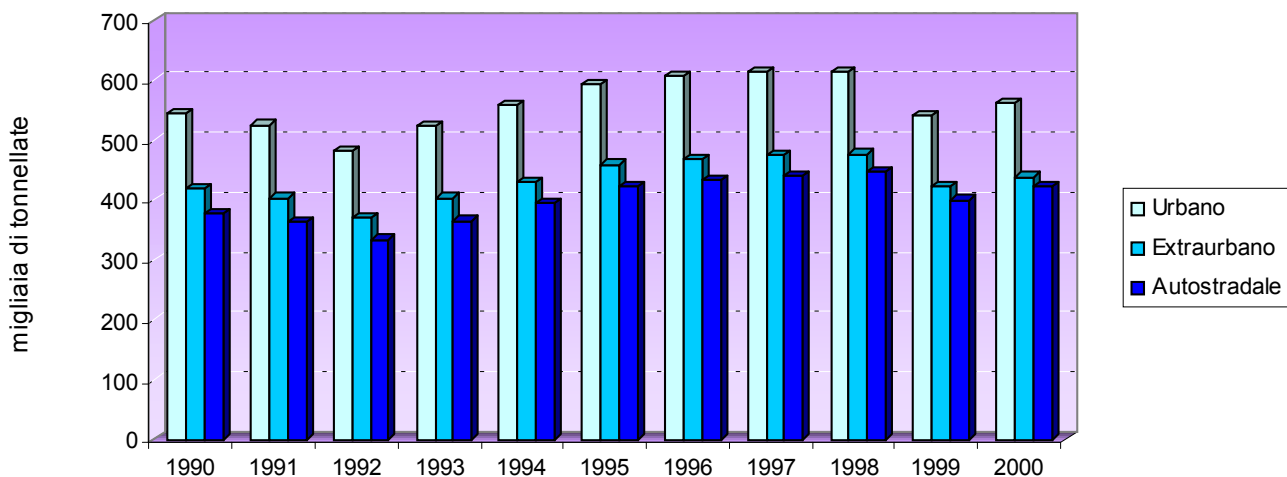


Figura 3.10: Andamento 1990-2000 delle stime COPERT dei consumi di GPL (migliaia di tonnellate) in Italia, con riferimento ai differenti cicli di guida.

4 – Stima delle emissioni e dei fattori di emissione medi

In questo capitolo verrà effettuata un'analisi dei risultati con particolare riferimento ai principali inquinanti, valutando l'andamento temporale delle stime sia in termini di emissioni complessive che di fattori di emissione medi.

4.1 - Emissioni totali

L'analisi dei risultati delle stime delle emissioni da trasporto stradale in Italia viene effettuata considerando principalmente le emissioni totali di anidride carbonica e dei principali inquinanti, vale a dire NO_x , NMVOC, CO, CO_2 , SO_x , PM10, oltre a considerazioni generali relative alle emissioni di N_2O , NH_3 e benzene.

Per ciascuno di questi vengono presentate le serie dei valori di emissione per anno, facendo riferimento ai diversi tipi di alimentazione dei veicoli ed alle differenti classi veicolari. In Appendice III, i risultati delle emissioni del 2000 per tutti gli inquinanti ed i metalli pesanti stimati con la metodologia COPERT vengono riportati nel dettaglio richiesto dalla classificazione SNAP della metodologia CORINAIR.

4.1.1 - Ossidi di azoto

La serie storica delle emissioni di NO_x riferita al tipo di alimentazione dei veicoli (benzina, diesel, GPL), evidenzia a partire dal 1992 un trend decrescente della componente emissiva dovuta ai veicoli a benzina come riportato in figura 4.1.

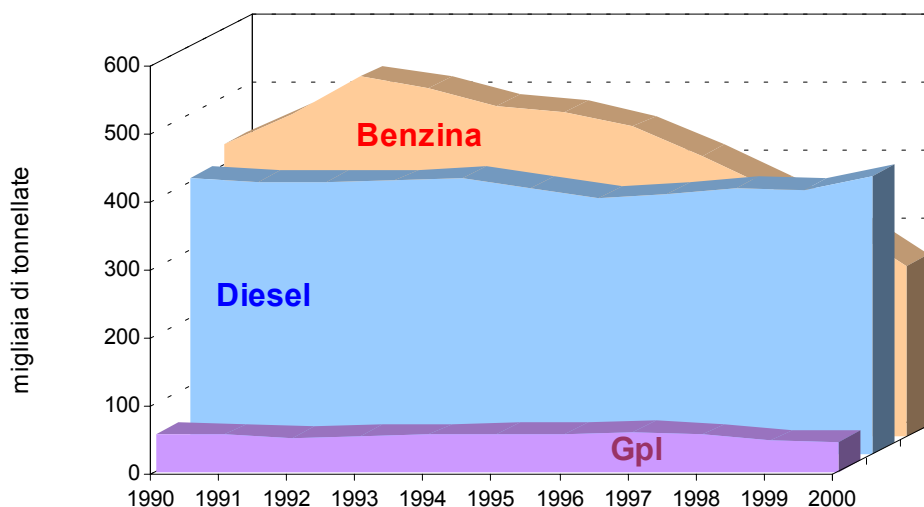


Figura 4.1: Andamento 1990-2000 delle emissioni di NO_x (in migliaia di tonnellate) per tipo di alimentazione dei veicoli circolanti in Italia.

Rispetto al 1990 (430,1 kt) infatti tale riduzione risulta nel 2000 (251,3 kt) pari al 42% ed evidenzia, nonostante la crescita del parco circolante, delle percorrenze dei veicoli e dei consumi totali di benzina, l'efficacia delle misure di riduzione delle emissioni adottate attraverso le normative europee di riferimento.

Le emissioni di NO_x dovute ai veicoli diesel si sono mantenute tendenzialmente stabili nel corso del periodo in esame; dopo una lieve diminuzione nei primi anni '90, dal 1996, il punto più basso della serie (376,5 kt), si registra un tasso di variazione positivo di circa 1,7% annuo che ha riportato le emissioni da motori diesel nel 2000 (407,8 kt) a valori di poco superiori a quelli del 1990.

Anche la serie storica delle emissioni di NO_x dovute ai veicoli alimentati a GPL presenta un andamento pressoché costante, ma con tendenza alla diminuzione negli ultimi anni. Nel 2000 il dato di emissione è pari a 44,5 kt, il 21% in meno rispetto al 1990.

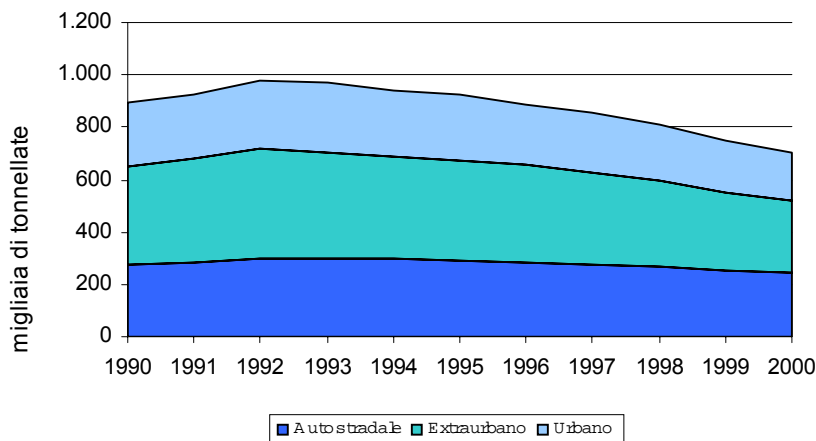


Figura 4.2: Distribuzione delle emissioni di NO_x (in migliaia di tonnellate) per ciclo di guida dei veicoli circolanti in Italia dal 1990 al 2000.

Le emissioni totali di ossidi di azoto sono diminuite complessivamente del 21% rispetto al 1990, con una più significativa riduzione per la quota parte dovuta alle percorrenze di tipo extraurbano (figura 4.2).

In figura 4.3 si può osservare la serie storica per classe veicolare aggregata secondo la classificazione SNAP di CORINAIR. In questo caso, le riduzioni delle emissioni osservabili nel corso degli anni fanno riferimento alle differenti tipologie di veicoli senza distinguere il tipo di alimentazione degli stessi, mentre i valori dettagliati per ciclo di guida secondo le categorie di COPERT sono riportati in appendice III.

Si può notare come la riduzione delle emissioni di NO_x registrata a partire dal 1993 sia avvenuta grazie principalmente alla diminuzione delle emissioni delle autovetture (34% in meno nel 2000 rispetto al 1990). In effetti nel gennaio 1993 era entrata in vigore la normativa Euro I (91/441/CE) per le autovetture a benzina di tutte le cilindrata che, con l'introduzione del dispositivo catalizzatore a tre vie obbligatorio, era rivolta ad ottenere riduzioni delle emissioni proprio di ossidi di azoto e dei composti organici volatili.

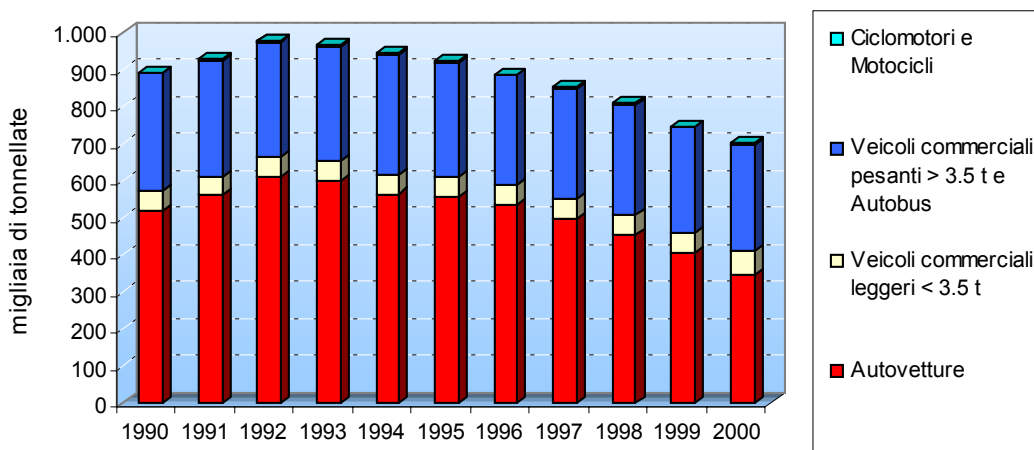


Figura 4.3: Andamento 1990-2000 delle emissioni di NO_x in Italia (in migliaia di tonnellate) per classi veicolari aggregate secondo CORINAIR.

In particolare dall'analisi delle variazioni percentuali delle emissioni tra il 1990 ed il 2000, con riferimento alle differenti classi veicolari ed al tipo di alimentazione dei veicoli, si può osservare in figura 4.4 come le riduzioni più significative si siano verificate per i veicoli commerciali leggeri a benzina (36% in meno nel 2000 rispetto al 1990), per le autovetture a benzina (42% in meno) e per le autovetture a GPL (21% in meno). Aumenti consistenti invece, per motocicli, veicoli commerciali leggeri, ciclomotori e mezzi pesanti.

È evidente però che la riduzione delle emissioni associate alle autovetture a benzina incida in maniera più significativa sulla riduzione complessiva, per via della maggiore consistenza del parco circolante e delle percorrenze medie annue di questa classe veicolare.

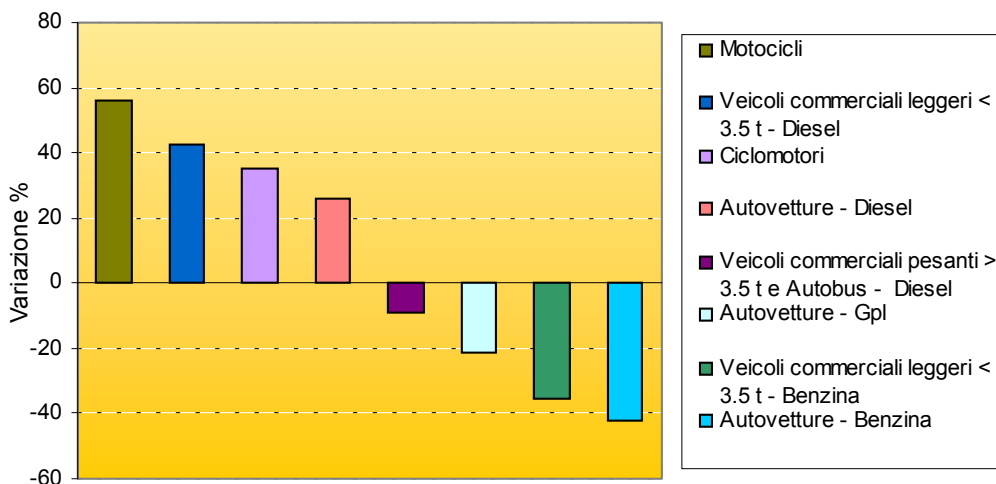


Figura 4.4: Variazione percentuale nel 2000 rispetto al 1990 delle emissioni di NO_x per classe veicolare

Si può inoltre notare in figura 4.5 che l'introduzione delle nuove normative **Euro I** (91/441/EC entrata in vigore dal 1/1/1993) ed **Euro II** (94/12/EC dal 1/1/1997) abbia ridotto considerevolmente il totale delle emissioni di ossidi di azoto dovute alle autovetture passeggeri su ciclo di guida urbano e che la quota attribuibile al parco di maggiore anzianità ("pre-Euro") sia ancora predominante, costituendo nel 2000 il 70% del totale, pur essendo il parco corrispondente il 51% del totale (cfr. figura 2.4). Come si evince anche dal grafico in figura 4.4 e dall'andamento dei consumi di gasolio in figura 3.9, si può attribuire alle autovetture diesel il maggior peso relativo delle emissioni di questo segmento del parco veicolare.

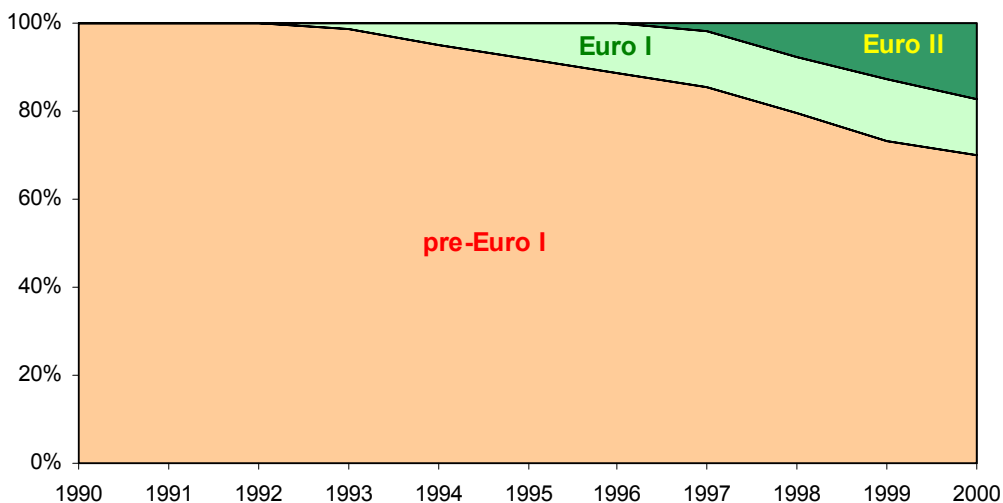


Figura 4.5: Composizione percentuale delle emissioni urbane di NO_x delle autovetture di ogni tipo di alimentazione suddivise per anzianità.

4.1.2 - Composti organici volatili non metanici

Nel periodo in esame le emissioni totali di **COVNM** da trasporti stradali sono complessivamente diminuite del 33%, passando dalle 962,6 kt del 1990 alle 649,0 kt del 2000.

È noto che la parte preponderante delle emissioni di NMVOC da trasporti stradali sia dovuta ai motori a benzina. Nel 2000, ultimo anno della serie storica in esame, il volume emissivo di COVNM include le emissioni evaporative dovuto all'attività dei veicoli a benzina risulta pari a 574,1 kt, circa l'88% del totale.

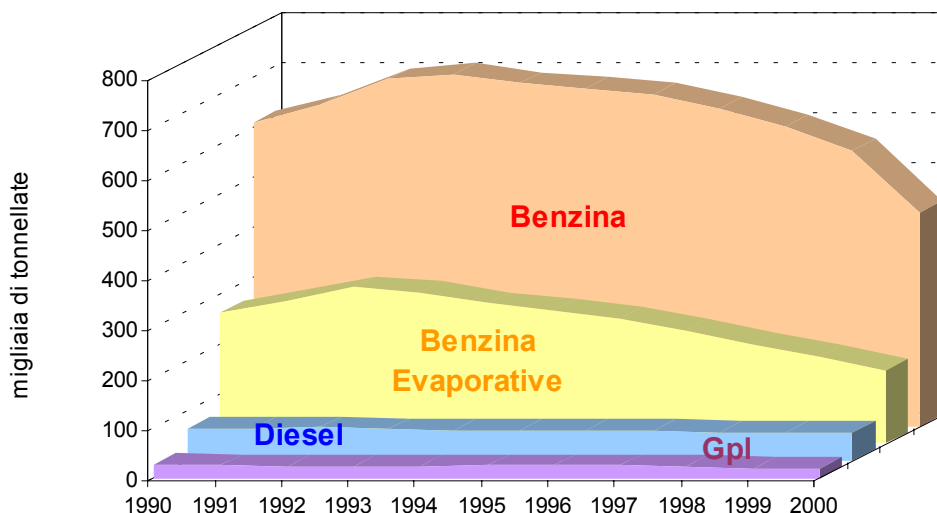


Figura 4.6: Andamento 1990-2000 delle emissioni di NMVOC (in migliaia di tonnellate) per tipo di alimentazione dei veicoli circolanti in Italia.

La serie storica delle stime COPERT mostra (figura 4.6), relativamente ai veicoli alimentati a benzina, un andamento in crescita tra il 1990 ed il 1993 ed una diminuzione pressoché costante delle emissioni (sia evaporative che allo scarico) a partire dal 1994.

Nel 2000 le emissioni di COVNM dei veicoli a benzina si sono ridotte del 29% rispetto al 1990, per quanto riguarda la quota delle emissioni totali allo scarico (somma delle emissioni a caldo e a freddo); le emissioni evaporative degli stessi veicoli hanno subito una riduzione del 45%.

Le emissioni dei veicoli diesel sono complessivamente diminuite del 16% nell'arco del periodo in esame.

Anche le emissioni di NMVOC dei veicoli alimentati a GPL, che nel 2000 costituiscono appena il 3% del totale emissivo, mostrano un trend decrescente rispetto al 1990 (-24%).

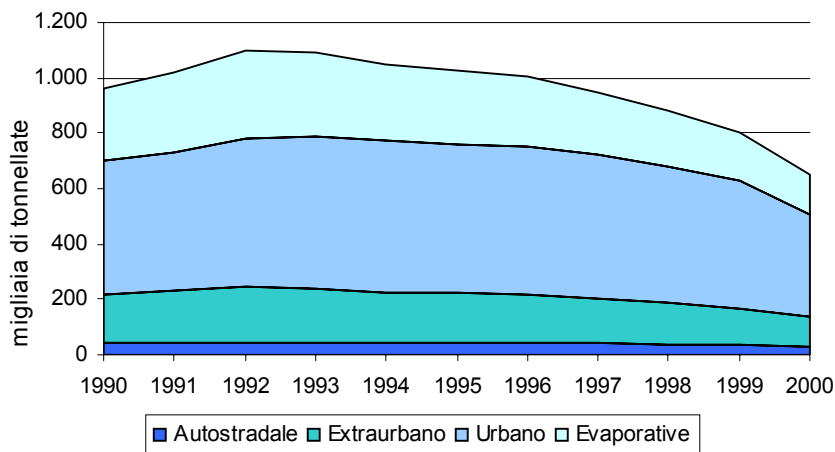


Figura 4.7: Distribuzione delle emissioni di COVNM (in migliaia di tonnellate) per ciclo di guida dei veicoli circolanti in Italia dal 1990 al 2000.

La serie delle emissioni totali di COVNM ripartite per ciclo di guida (figura 4.7) mostra come, il peso preponderante sia dovuto alle emissioni in ambito urbano (59% nel 2000) e alle evaporative (22% nel 2000).

Dall'analisi della serie storica delle emissioni riferite alle differenti classi veicolari SNAP (figura 4.8) si può osservare che la riduzione più significativa, oltre a quella delle emissioni evaporative, si è verificata per le autovetture, le cui emissioni sono diminuite del 48% rispetto al 1990 e di ben il 54% dal 1992. Questo risultato assume un'importanza maggiore in considerazione del fatto che, nel 2000, le autovetture (indipendentemente dal tipo di alimentazione) contribuiscono per il 38% al totale delle emissioni di NMVOC da trasporti su strada.

I veicoli commerciali leggeri e pesanti, il cui contributo emissivo è pari nel 2000 a circa l'8% del totale, fanno registrare lievi riduzioni delle emissioni nel decennio analizzato, mentre le emissioni di ciclomotori e motocicli seguono un andamento crescente: fino al 66% nel 1998, rispetto al 1990, per ridursi al 24% nel 2000 anche in seguito al notevole aumento del parco circolante di questo tipo di veicoli fino all'introduzione delle normativa 97/24/EC dal luglio del 1999.

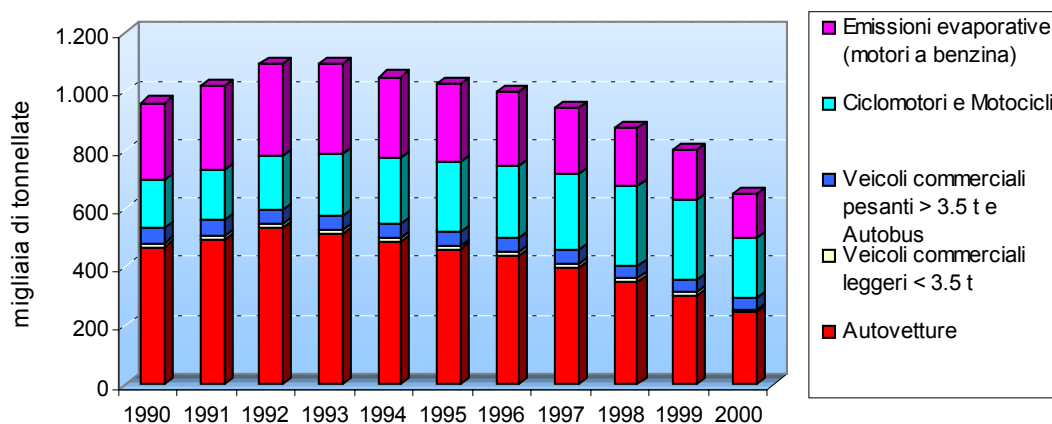


Figura 4.8: Andamento 1990-2000 delle emissioni di COVNM (in migliaia di tonnellate) in Italia per classi veicolari aggregate secondo CORINAIR.

Considerando i tassi di variazione percentuale 2000/1990 per le differenti classi veicolari e per tipo di alimentazione delle stesse si osservano, in figura 4.9, significativi aumenti per ciclomotori, motocicli e veicoli commerciali leggeri diesel.

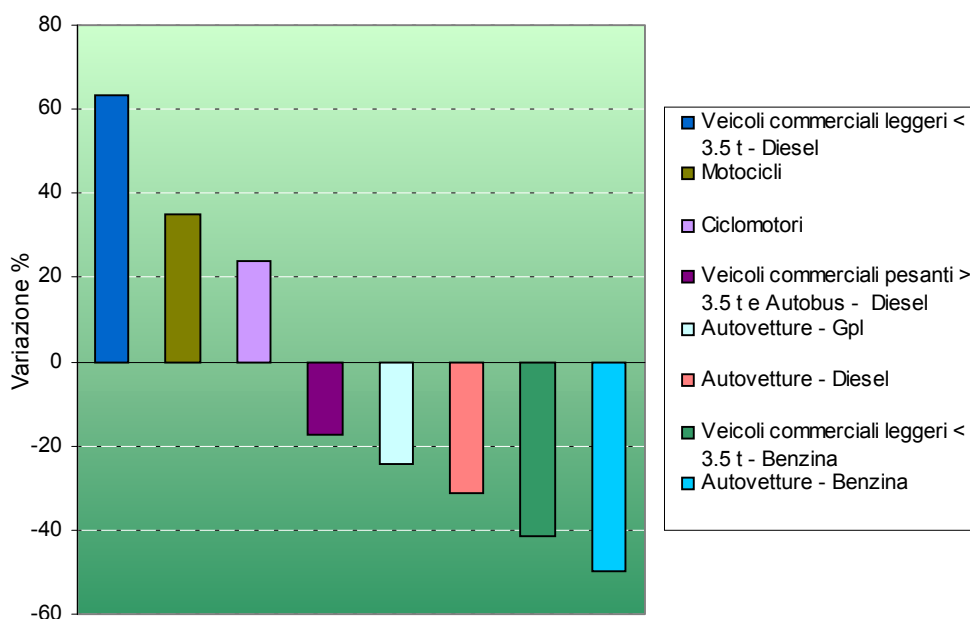


Figura 4.9: Variazione percentuale nel 2000 rispetto al 1990 delle emissioni totali di COVNM (incluse evaporative) per classe veicolare e tipo di alimentazione.

L'aumento delle emissioni dei ciclomotori ha un peso notevolmente superiore in considerazione del fatto che nel 2000 esse costituiscono ancora il 32% delle emissioni totali (nel 1999 avevano toccato il 34%). Migliore la situazione per i veicoli commerciali pesanti, per le autovetture a benzina, diesel e GPL e per i veicoli commerciali leggeri a benzina, per i quali si osservano variazioni di segno negativo.

In figura 4.10 è mostrato il dettaglio delle variazioni rispetto al 1990 per la componente evaporativa.

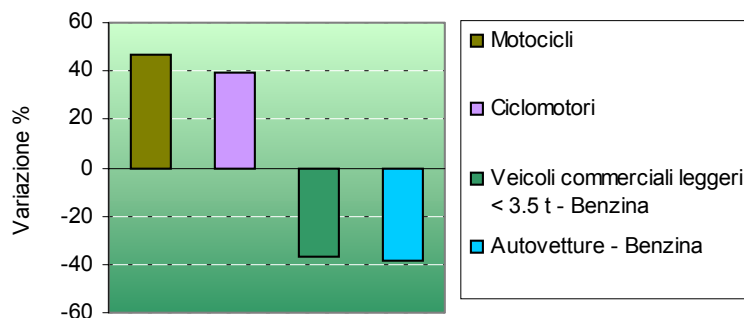


Figura 4.10: Variazione percentuale nel 2000 rispetto al 1990 delle emissioni di COVNM (solo evaporative) per classe veicolare e tipo di alimentazione.

Anche per i COVNM valgono le stesse osservazioni riportate in merito alle emissioni in ambito urbano di NO_x. In figura 4.11 si può osservare che più del 70% delle emissioni urbane siano ascrivibili alle autovetture pre-Euro I anche se in questo caso le emissioni sono attribuibili alle autovetture a benzina.

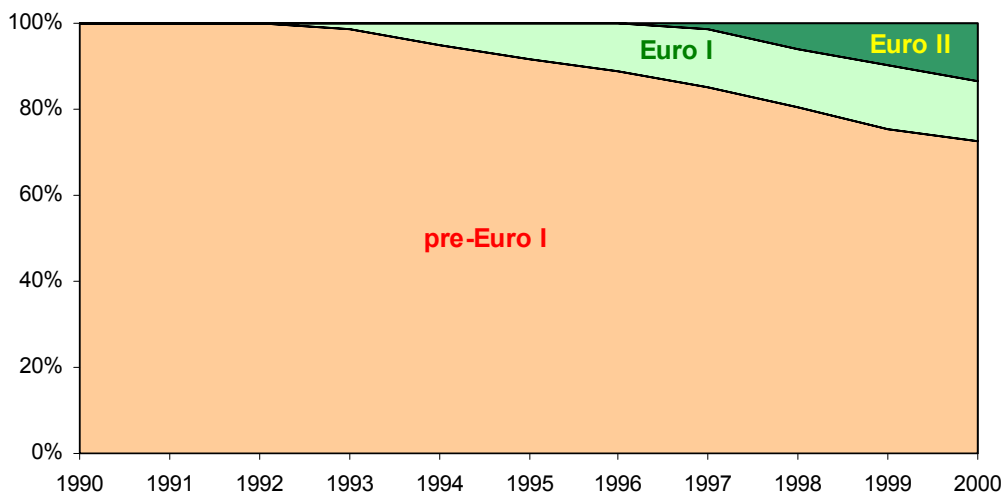


Figura 4.11: Composizione percentuale delle emissioni urbane di COVNM delle autovetture di ogni tipo di alimentazione suddivise per anzianità.

4.1.3 - Monossido di carbonio

Nell'arco del periodo considerato, i risultati delle stime COPERT rivelano che le emissioni di **CO** da trasporti stradali si sono complessivamente ridotte del 37% rispetto ai livelli del 1990 (figura 4.12).

In particolare, le emissioni dovute ai veicoli a benzina, che nel 2000 costituiscono il 90% delle emissioni da trasporti stradali, si sono progressivamente ridotte nel corso degli ultimi anni, dopo una fase iniziale di crescita tra il 1990 ed il 1992.

Le emissioni di CO dovute ai veicoli diesel si sono mantenute tendenzialmente stabili nel corso degli ultimi anni, così come quelle dovute ai veicoli a GPL; il contributo dei veicoli a gasolio e di quelli a GPL resta comunque poco significativo in termini di emissioni totali (appena il 10% delle emissioni totali di CO da trasporti stradali nel 2000).

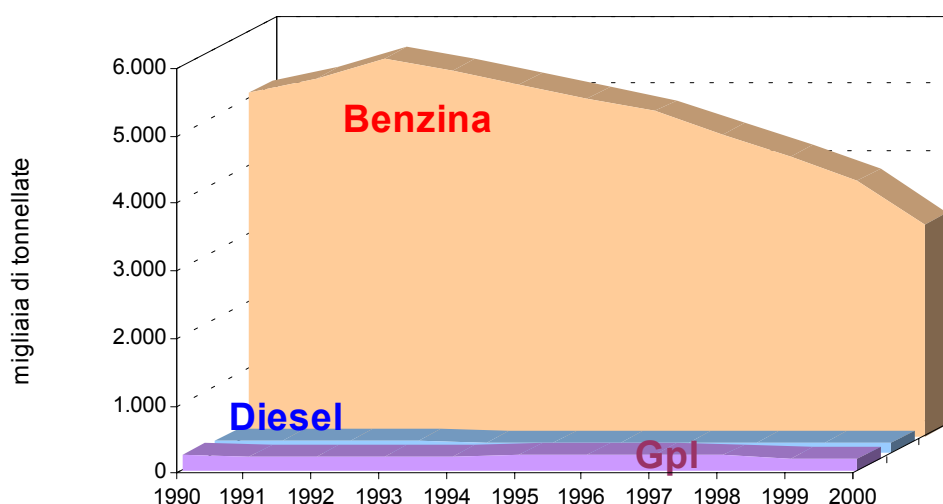


Figura 4.12: Andamento 1990-2000 delle emissioni di CO (in migliaia di tonnellate) per tipo di alimentazione dei veicoli circolanti in Italia.

Come si evidenzia in figura 4.13 la quota preponderante (68%) delle emissioni di CO da trasporto su strada nel 2000 è dovuta alla circolazione in ambito urbano, mentre il 20% e il 12%, rispettivamente, sono le componenti cu ciclo di tipo guida rurale e autostradale.

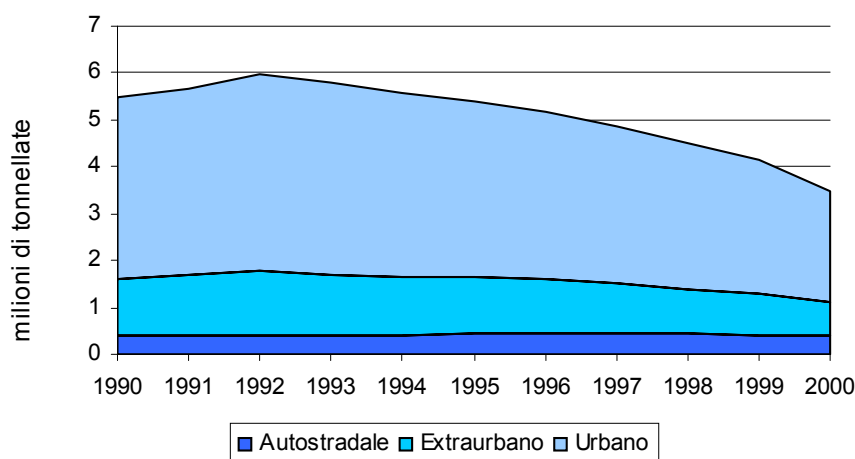


Figura 4.13: Distribuzione delle emissioni di CO (in milioni di tonnellate) per ciclo di guida dei veicoli circolanti in Italia dal 1990 al 2000.

La serie storica delle emissioni per classi veicolari aggregate SNAP (figura 4.14) evidenzia, da un lato, l'andamento decrescente delle emissioni dovute alle autovetture (-46% rispetto al 1990), dall'altro il

progressivo aumento delle emissioni di ciclomotori e motocicli (27% rispetto al 1990), con una punta massima del 51% nel 1999.

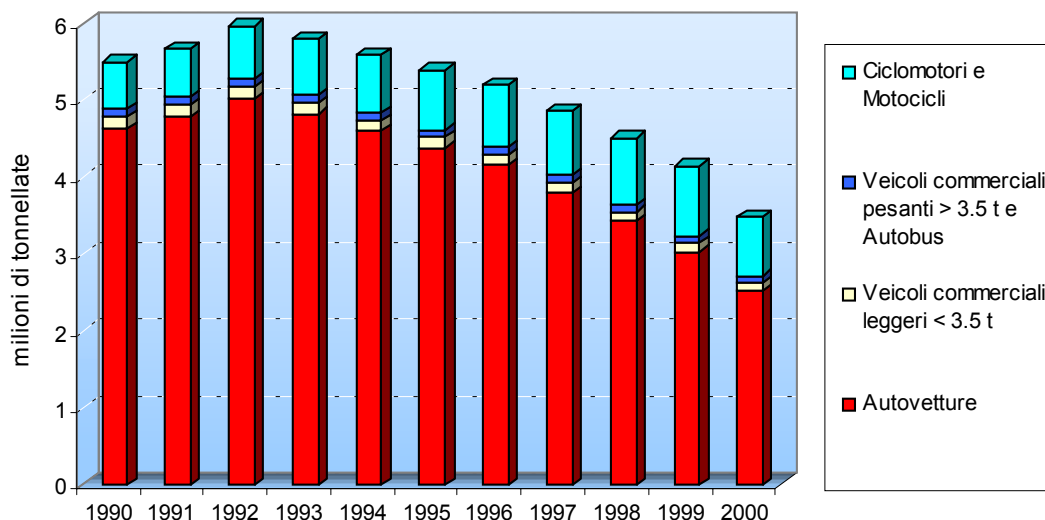


Figura 4.14: Andamento 1990-2000 delle emissioni di CO (in milioni di tonnellate) in Italia per classi veicolari aggregate secondo CORINAIR.

In effetti dall'analisi delle variazioni percentuali 2000/1990 risulta che gli aumenti più significativi, in termini di emissioni totali, si sono verificati per i motocicli (29%), i ciclomotori (24%) e i veicoli commerciali leggeri (21%).

I tassi di variazione delle emissioni di CO presentano un netto miglioramento per i veicoli commerciali pesanti (-18%), per i veicoli commerciali leggeri a benzina (-42%), per le autovetture diesel (-18%), a GPL (17%) ed a benzina (-47%).

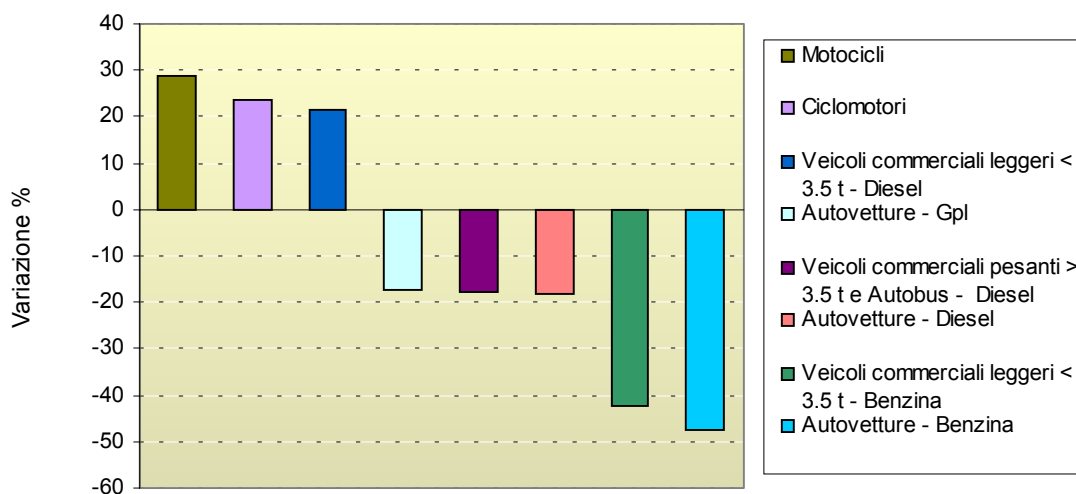


Figura 4.15: Variazione percentuale nel 2000 rispetto al 1990 delle emissioni di CO per classe veicolare e tipo di alimentazione.

Analogamente agli inquinanti visti precedentemente, in figura 4.11 si può osservare che, anche per il CO più del 65% delle emissioni urbane sono relative alle autovetture pre-Euro I e, come per i COVNM, sono attribuibili prevalentemente alle autovetture a benzina.

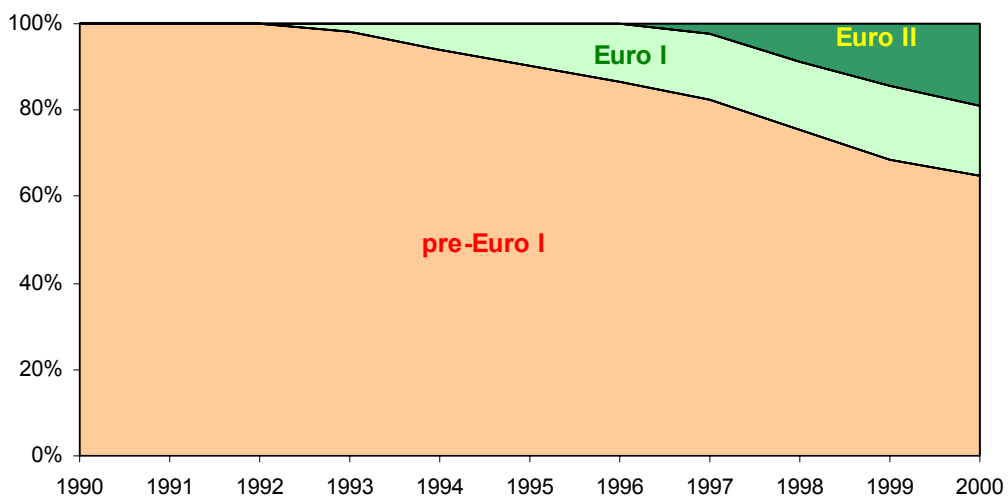


Figura 4.16: Composizione delle emissioni urbane di CO delle autovetture di ogni tipo di alimentazione suddivise per anzianità.

4.1.4 - Anidride carbonica

Nella metodologia COPERT, le emissioni di anidride carbonica vengono stimate a partire dai consumi dei veicoli, utilizzando una formula (Ntziachristos L., Samaras Z., 2001) che tiene conto del rapporto tra gli atomi di idrogeno e di carbonio presenti nei combustibili (rapporto H:C); tale formula si basa sull'ipotesi che il carbonio contenuto nel combustibile si ossidi completamente in CO_2 durante il processo di combustione.

Nella tabella 4.1 vengono riportati, con riferimento ai differenti combustibili, i valori del rapporto H:C utilizzati per l'anno 2000. La scelta di tali valori è stata effettuata in base alle indicazioni ricavate da un'ampia ricerca metodologica e sperimentale (Contaldi M., Ilacqua M., 2001).

Combustibile	H:C
Benzina con piombo	2,0788
Benzina senza piombo	2,0788
Diesel	1,9758
GPL	2,6584

Tabella 4.1: valori del rapporto H:C utilizzati per l'applicazione della metodologia COPERT.

Le emissioni di anidride carbonica da trasporti stradali sono complessivamente aumentate del 17% tra il 1990 ed il 2000.

L'analisi della serie storica delle stime COPERT rispetto alle differenti tipologie di alimentazione dei veicoli circolanti (figura 4.17) mostra, in particolare, una crescita costante delle emissioni dovute ai veicoli a benzina, con un aumento – rispetto ai livelli del 1990 - fino al 34% nel 1998, per poi attestarsi al 25% nel 2000. Si è passati dai 41 milioni di tonnellate di CO_2 del 1990, agli oltre 51 milioni del 2000.

Le emissioni di CO_2 dei veicoli a gasolio seguono, nel corso degli undici anni considerati, un trend decrescente tra il 1990 ed il 1997, per poi tornare ad aumentare negli ultimi due anni della serie. Nel 2000 il volume emissivo relativo ai veicoli diesel raggiunge i 54 milioni di tonnellate, l'11% in più rispetto al valore del 1990.

Tendenzialmente in leggera crescita le emissioni di CO_2 dovute ai veicoli alimentati a GPL, che in ogni caso costituiscono una quota minima rispetto al totale delle emissioni (poco meno del 4% nel 2000).

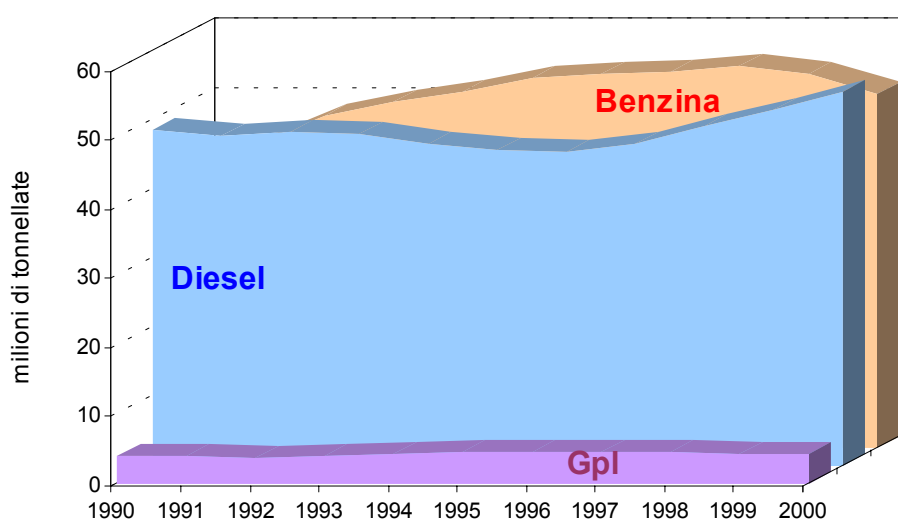


Figura 4.17: Andamento 1990-2000 delle emissioni di CO_2 (in milioni di tonnellate) per tipo di alimentazione dei veicoli circolanti in Italia.

Nella figura 4.18 si può osservare la distribuzione delle emissioni di CO₂ rispetto alle differenti tipologie di guida dei veicoli circolanti, con riferimento agli anni 1990 e 2000. E' evidente il trend di crescita (1,5% annuo complessivamente) e una certa equipartizione tra le diverse modalità di guida nel 2000 pari a autostradale 29%, extraurbano 37% e urbano: 33%.

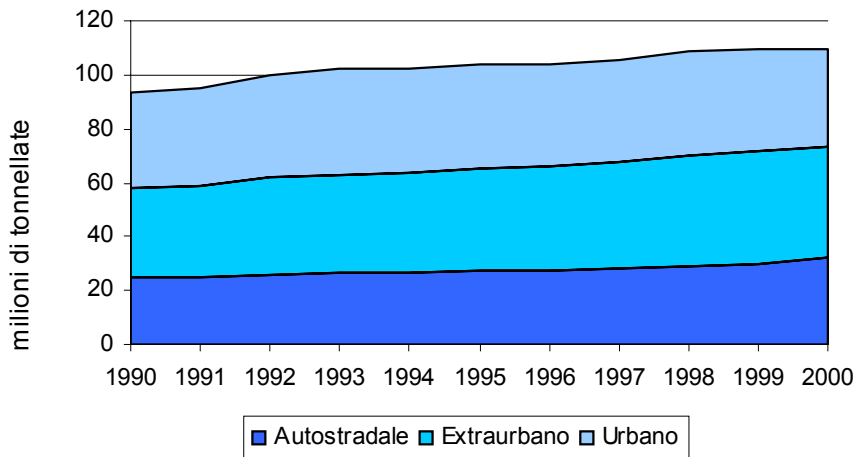


Figura 4.18: Distribuzione delle emissioni di CO₂ (in milioni di tonnellate) per ciclo di guida dei veicoli circolanti in Italia dal 1990 al 2000.

La figura 4.19 consente di valutare l'andamento delle stime delle emissioni di CO₂ riferite alle differenti classi veicolari SNAP. Si può osservare il graduale aumento dei livelli emissivi delle differenti tipologie di veicoli, ad eccezione dei veicoli commerciali pesanti e degli autobus, per i quali il trend risulta stabile nel corso del decennio in esame.

La distribuzione delle emissioni rispetto alle classi veicolari SNAP si mantiene tendenzialmente stabile tra il 1990 ed il 2000: con le autovetture che passano dal 60% al 61%, i commerciali leggeri dall' 8% al 10%, i pesanti dal 29% al 25%, i ciclomotori e motocicli dal 3% al 4%.

La crescita più significativa delle emissioni di CO₂ rispetto al 1990 è stata quella dei veicoli commerciali leggeri pari al 53%; quella delle autovetture e' stata nel 2000 del 18% (nel 1998 aveva raggiunto il 22%); i commerciali pesanti e autobus sono sempre intorno ai valori del 1990 (+1%); infine le emissioni di ciclomotori e motocicli sono aumentate del 65%.

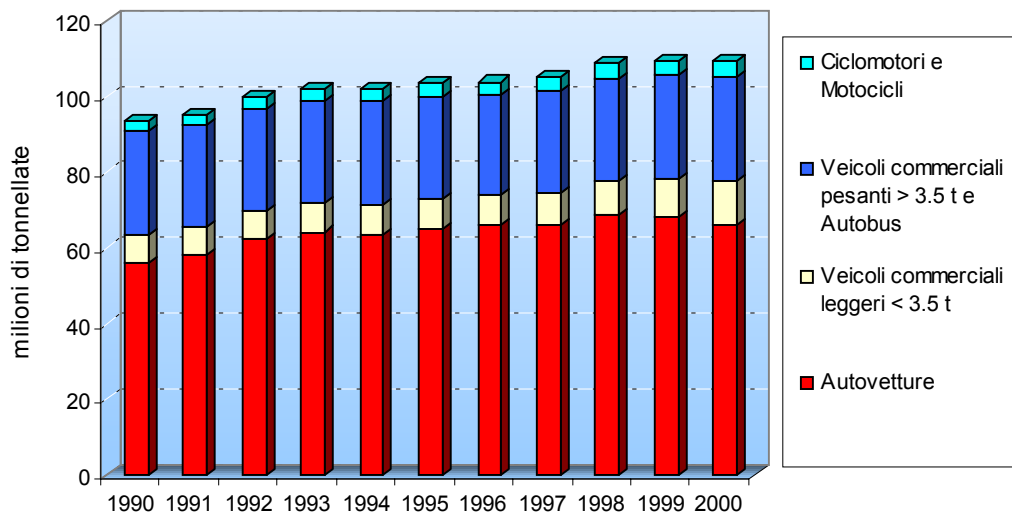


Figura 4.19: Andamento 1990-2000 delle emissioni di CO₂ (in milioni di tonnellate) in Italia per classi veicolari aggregate secondo CORINAIR.

L'analisi dei tassi di variazione 2000/1990 delle emissioni per classe veicolare e tipologia di alimentazione, in figura 4.20, consente di identificare i veicoli per i quali, nel decennio analizzato, si sono verificati gli aumenti più significativi in termini di emissioni totali, vale a dire i ciclomotori, i commerciali leggeri diesel, i motocicli e le autovetture a benzina.

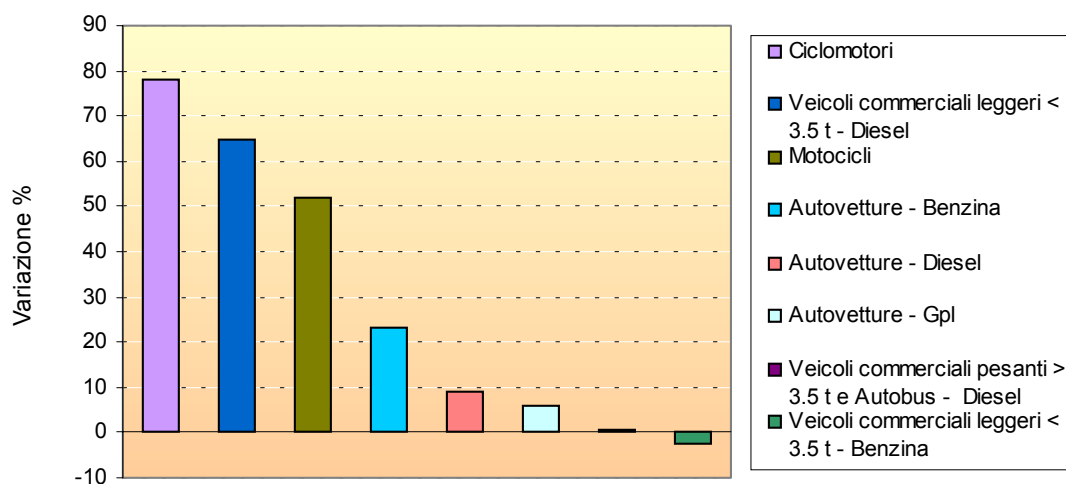


Figura 4.20: : Variazione percentuale nel 2000 rispetto al 1990 delle emissioni di CO₂ per classe veicolare e tipo di alimentazione.

In figura 4.21 è riportata la ripartizione delle emissioni tra veicoli che rispondono alle direttive EURO I e EURO II e quelle precedenti. In questo caso si può osservare che, così come già visto precedentemente per i consumi, la maggior parte delle emissioni, più del 55%, è relativa alle autovetture che rispondono alle nuove direttive europee.

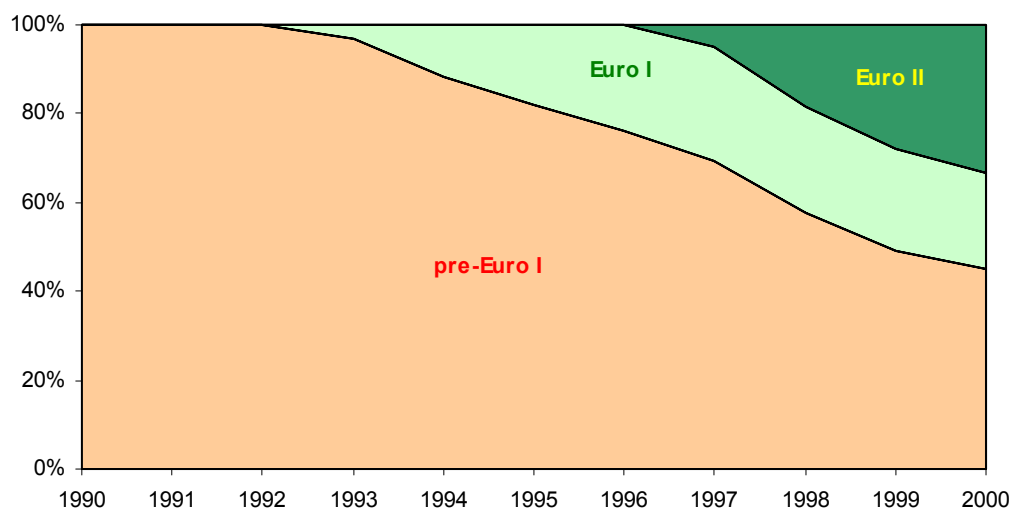


Figura 4.21: Composizione delle emissioni urbane di CO₂ delle autovetture di ogni tipo di alimentazione suddivise per anzianità.

4.1.5 - Biossido di zolfo

Le emissioni di SO₂ vengono stimate nella metodologia COPERT sulla base dei consumi di combustibile dei veicoli. L'ipotesi su cui si basa la formula utilizzata (Ntziachristos L., Samaras Z., 2001) è che lo zolfo contenuto nel combustibile venga completamente trasformato in SO₂ durante la combustione ed emesso in atmosfera.

Nelle tabelle 4.2 e 4.3 vengono mostrati i valori del tenore di zolfo in parti per milione presente nei combustibili, valori utilizzati per l'applicazione della metodologia di stima e comunicati dall'Unione Petrolifera (Unione Petrolifera, 2001) a seguito di misurazioni, per gli anni precedenti al 2000, e per il 2000 derivati da un programma di analisi commissionato da ANPA alla Stazione Sperimentale Combustibili (Tittarelli, P. 2001; Avella F., 2001). I valori sperimentali adottati sono posti a confronto con quelli di normativa in vigore nei periodi corrispondenti. Per quanto riguarda il gasolio, i risultati delle prove sperimentali effettuate negli anni, coincidono con i limiti stabiliti nel corso dagli anni dalle Direttive Europee (Unione Petrolifera, 2001). Nel caso del GPL e metano si sono considerati trascurabili i relativi contributi emissivi in termini di SO₂.

Combustibile	1990 - 1993		1994 - 1999		2000	
	sperimentale	normativa	sperimentale	normativa	sperimentale	normativa
Benzina con piombo	1500	1000	400	500	62,73	150
Benzina senza piombo	900	1000	400	500	62,73	150

Tabella 4.2: Valori del tenore di zolfo (ppm) nelle benzine, utilizzati per l'applicazione della metodologia COPERT.

Combustibile	1990 - 1994	1995 - 1996	1997 - 1999	2000	
	normativa	normativa	normativa	sperimentale	normativa
Gasolio	3000	2000	500	282,93	350

Tabella 4.3: valori del tenore di zolfo (ppm) nel gasolio, utilizzati per l'applicazione della metodologia COPERT.

La significativa diminuzione del tenore di zolfo nei combustibili ha consentito nell'ultimo decennio un altrettanto significativo abbattimento delle emissioni di SO₂, così come evidenziato dai grafici di questo paragrafo.

In effetti la serie storica delle emissioni nazionali di SO₂ in relazione al combustibile utilizzato dai veicoli circolanti (figura 4.22), evidenzia forti riduzioni in corrispondenza degli anni in cui le direttive e le specifiche sopra citate sono entrate in vigore. Complessivamente nel periodo analizzato le emissioni nazionali di SO₂ si sono ridotte del 91%; in particolare, quelle dovute ai veicoli a benzina si sono ridotte del 95%, quelle dovute ai veicoli diesel di quasi il 90%.

Un andamento analogo è riscontrabile per la serie storica delle emissioni riferite alle diverse modalità di guida (figura 4.23) e alle classi veicolari (figura 4.24) aggregate secondo la classificazione SNAP. A partire dal 1997, i risultati mostrano una nuova crescita del livello delle emissioni per le singole classi, conseguente all'aumento del parco circolante e dei consumi di combustibile registrati negli ultimi anni, poi comunque ridimensionata a partire dal 2000.

La ripartizione delle emissioni di biossido di zolfo per classi veicolari aggregate secondo CORINAIR (figura 4.25) pur mantenendosi abbastanza stabile tra il 1990 e il 2000, è comunque variata più significativamente che per altri inquinanti. Questo, in particolare, a seguito della diminuzione dal 48% al 40% del contributo delle autovetture e dell'aumento dal 10% al 16% della quota di emissioni relativa ai veicoli commerciali leggeri.

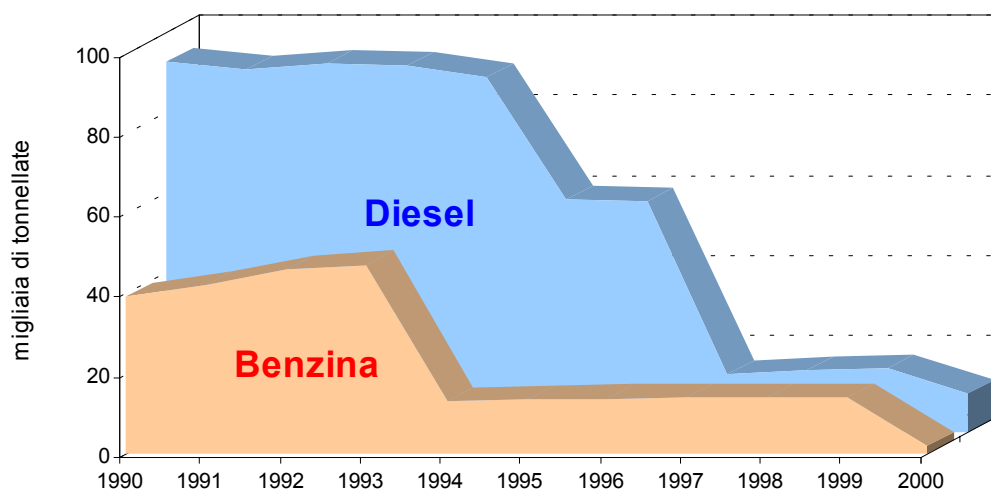


Figura 4.22: Andamento 1990-2000 delle emissioni di SO₂ (in migliaia di tonnellate) per tipo di alimentazione dei veicoli circolanti in Italia.

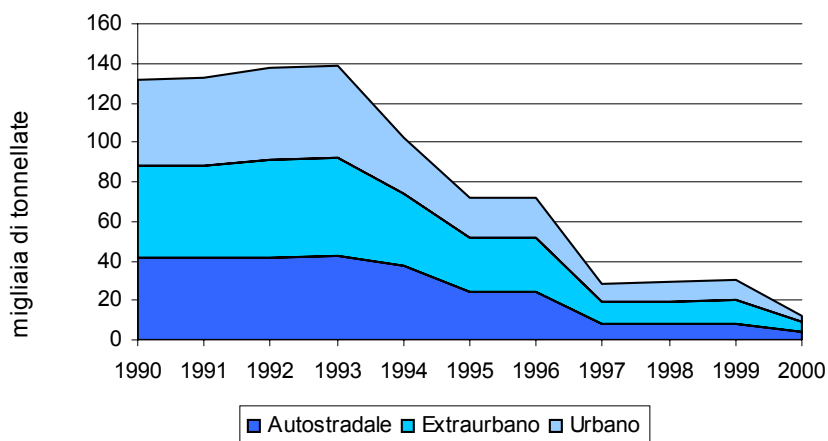


Figura 4.23: Distribuzione delle emissioni di SO₂ (in migliaia di tonnellate) per ciclo di guida dei veicoli circolanti in Italia dal 1990 al 2000.

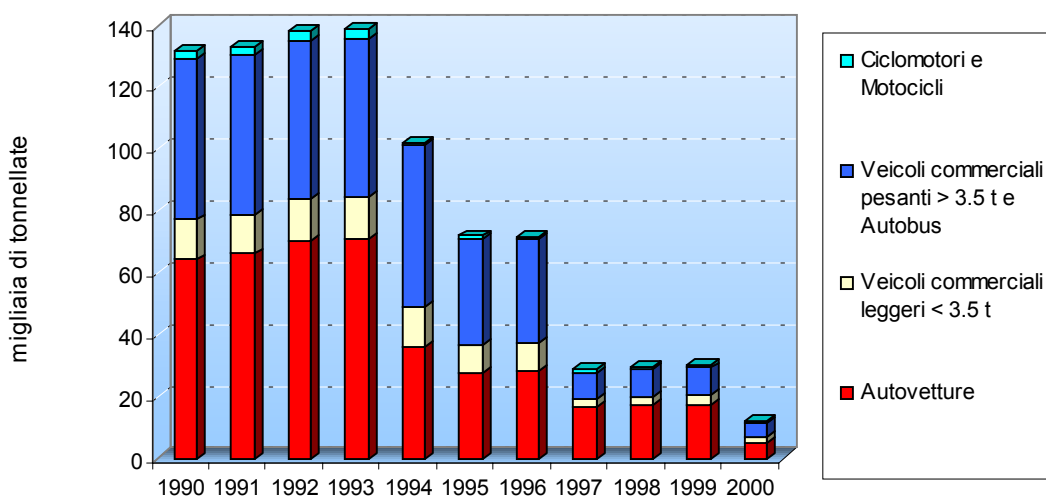


Figura 4.24: Andamento 1990-2000 delle emissioni di SO₂ (in migliaia di tonnellate) in Italia per classi veicolari aggregate secondo CORINAIR.

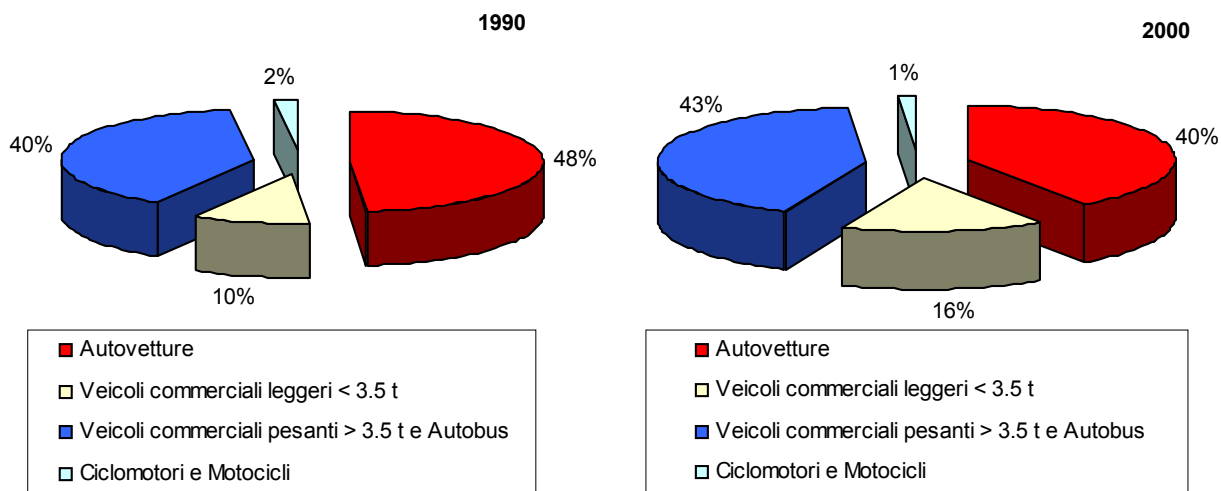


Figura 4.25: Distribuzione percentuale nel 1990 e nel 2000 delle emissioni di SO₂ in Italia per classi veicolari aggregate secondo CORINAIR.

Infine dall'analisi delle variazioni percentuali (figura 4.26) risulta che, nel 2000, per tutte le classi veicolari considerate le emissioni si sono ridotte di quote intorno al 90% rispetto ai livelli del 1990. Gli abbattimenti più consistenti, in termini di emissioni complessive, si sono verificati per i veicoli a benzina (in particolare le emissioni delle autovetture, dei veicoli commerciali leggeri, dei motocicli e ciclomotori si sono ridotte di oltre il 90%). Analogamente, seppure in misura minore, in virtù della più forte riduzione del livello di zolfo nel gasolio, anche le categorie diesel hanno ridotto le emissioni di quote superiori all'80% rispetto al livello del 1990.

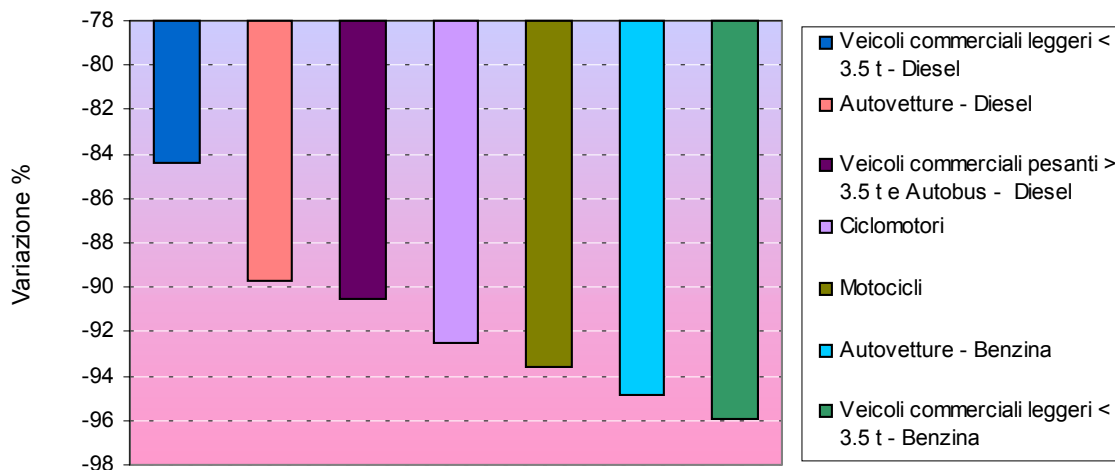


Figura 4.26: Variazione percentuale nel 2000 rispetto al 1990 delle emissioni di SO_x per classe veicolare e tipo di alimentazione.

4.1.6 – Particolato minore di 10 micron

Le emissioni di PM10 considerate in queste stime sono quelle sia relative ai motori a benzina che diesel ed esauste che le emissioni dovute all'abrasione ed usura di freni, gomme ed asfalto, dovute alle percorrenze dei veicoli.

Per quello che riguarda i veicoli diesel le emissioni sono stimate sulla base delle curve dei fattori di emissione presenti in COPERT , mentre i fattori di emissione relativi ai veicoli a benzina e GPL così come quelli ad asfalto, gomme e freni sono riportati nel lavoro pubblicato dal TNO nell'ambito delle attività della Task Force Emission Inventory and Projection (TFEIP) dell'UNECE (TNO, 2002). I fattori di emissione relativi invece ai ciclomotori sono relativi a misure effettuate dall'ENEA (ENEA, 2002).

Non sono quindi incluse nelle stime le emissioni da ri-sospensione del particolato dovuta al transito dei veicoli, così come non sono state calcolate le emissioni di particolato secondario, che si forma per mezzo di aggregazione delle particelle con altre sostanze inquinanti come NOx, SOx, NH3 e NMVOC.

Nella figura 4.27 sono riportate le emissioni di PM10 suddivise per tipo di alimentazione dei veicoli; le emissioni sono, negli anni '90, diminuite in misura maggiore per i veicoli diesel in seguito al rinnovo del parco sia dei veicoli leggeri che pesanti.

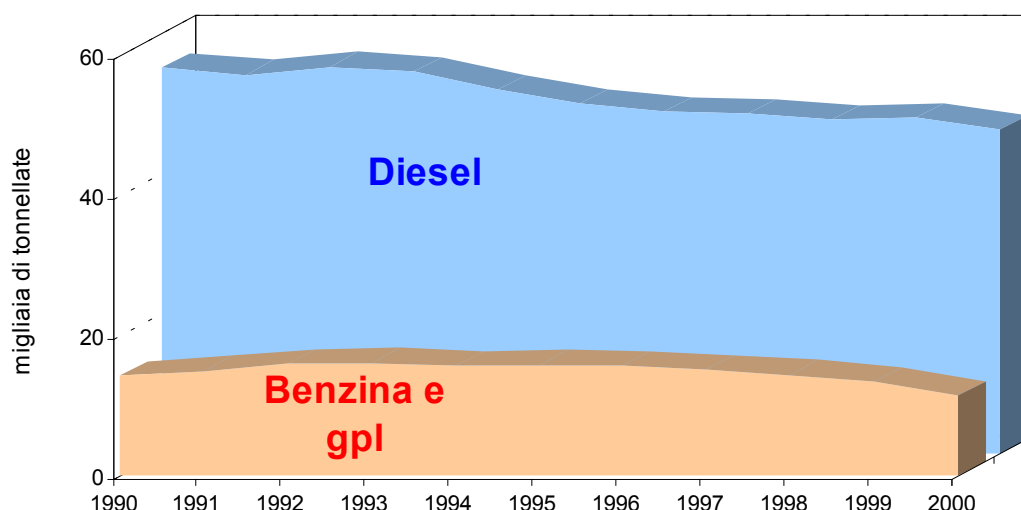


Figura 4.27: Andamento 1990-2000 delle emissioni di PM10 (in migliaia di tonnellate) per tipo di alimentazione dei veicoli circolanti in Italia.

Le emissioni ripartite per tipologia di guida, in figura 4.28, sono sostanzialmente ripartite equamente tra urbane, extraurbane e autostradali. La riduzione delle emissioni è avvenuta prevalentemente in ambito urbano.

Tale riduzione ha riguardato in misura maggiore le autovetture dove l'elevato tasso di sostituzione dei veicoli diesel convenzionali con quelli che rispondono alle direttive EURO I e EURO II comporta minori emissioni anche a fronte dell'incremento complessivo del parco e delle percorrenze delle autovetture diesel. In figura 4.29 si può anche osservare il peso non indifferente delle emissioni di PM10 dei ciclomotori, dovuto sia alla combustione dell'olio contenuto nella miscela di combustibile che alla combustione imperfetta e soprattutto relativo ai ciclomotori pre-EURO I. Le emissioni dei veicoli pesanti, dove è più lento il rinnovo del parco, sono rimaste stabili così come quelle dei veicoli merci leggeri, che sono aumentati considerevolmente come parco circolante e percorrenze complessive pur riducendo le proprie emissioni relative.

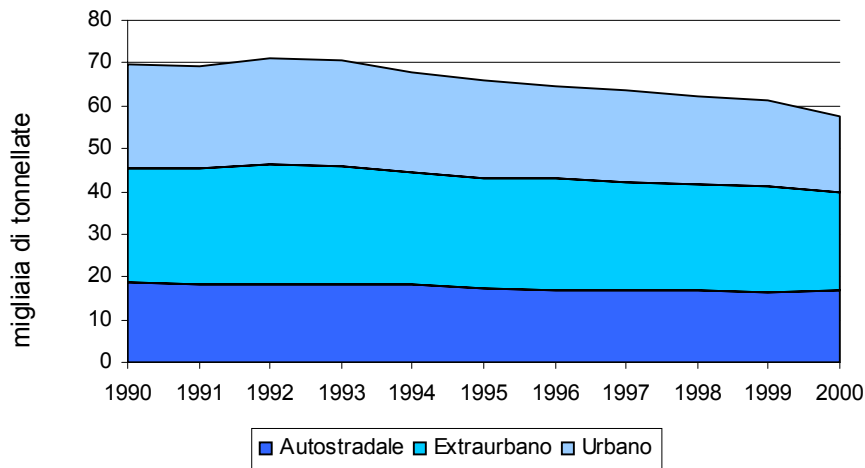


Figura 4.28: Distribuzione delle emissioni di PM10 (in migliaia di tonnellate) per ciclo di guida dei veicoli circolanti in Italia dal 1990 al 2000.

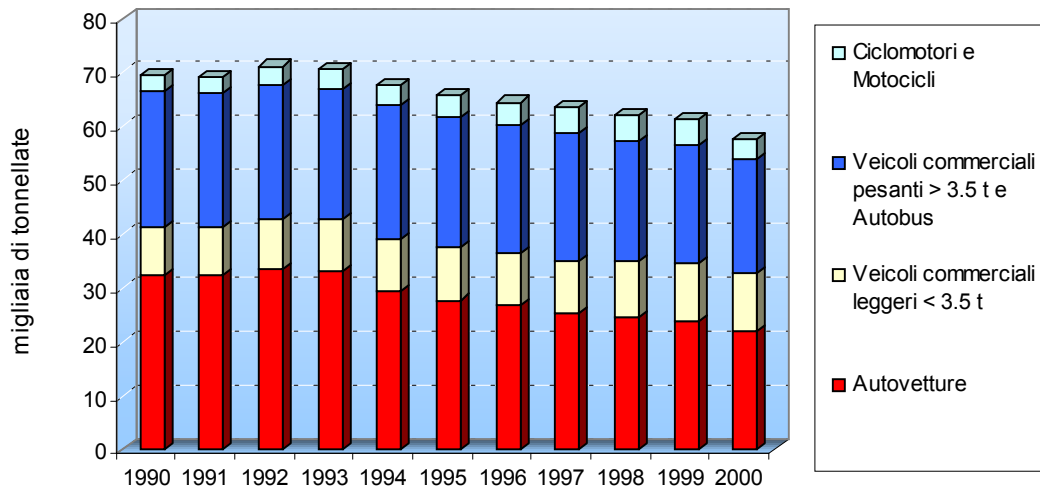


Figura 4.29: Andamento 1990-2000 delle emissioni di PM10 (in migliaia di tonnellate) in Italia per classi veicolari aggregate secondo CORINAIR.

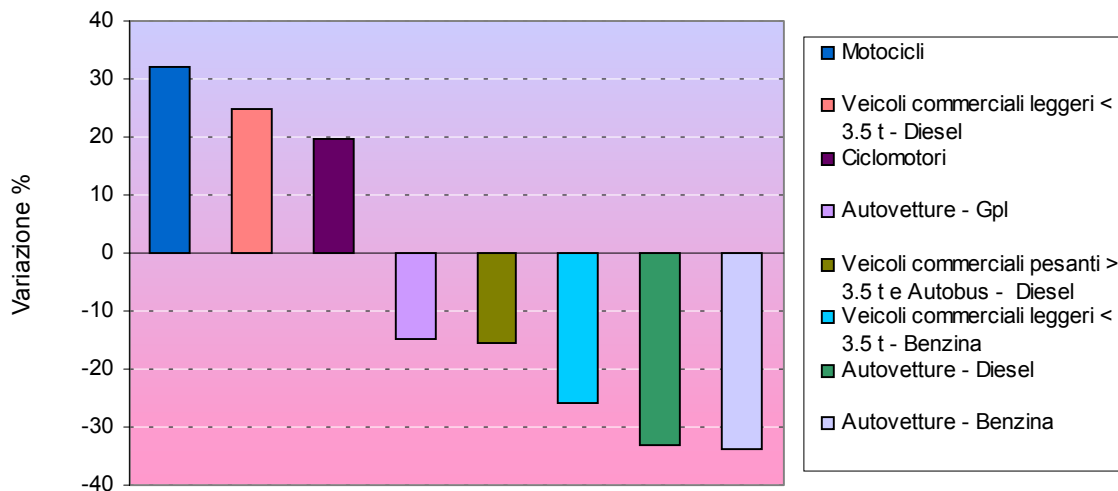


Figura 4.30: Variazione percentuale nel 2000 rispetto al 1990 delle emissioni di PM10 per classe veicolare e tipo di alimentazione.

Nella figura 4.30 sono riportate le variazioni percentuali tra il 1990 ed il 2000 delle emissioni per i diversi tipi di veicolo. Le maggiori riduzioni percentuali sono state effettuate dalle autovetture sia a benzina che diesel e dai veicoli commerciali leggeri, più del 25% di riduzione delle emissioni, mentre minori sono le riduzioni delle autovetture GPL e dei veicoli pesanti (- 15%).

Motocicli, ciclomotori e veicoli commerciali leggeri hanno visto invece crescere le loro emissioni più del 20% in conseguenza di forti incrementi nel parco e nelle percorrenze e bassi tassi di sostituzione dei veicoli convenzionali con quelli EURO I e EURO II.

4.1.7 – Le altre sostanze inquinanti: N₂O, NH₃, benzene

Per quanto riguarda le sostanze inquinanti che sono sottoprodotto delle nuove tecnologie di abbattimento, N₂O e NH₃, pur sottolineando l'incertezza che allo stato attuale delle conoscenze persiste su tali stime, nelle figure 4.31 e 4.32 si mostra come tali emissioni siano sostanzialmente riferite alle autovetture EURO I e EURO II.

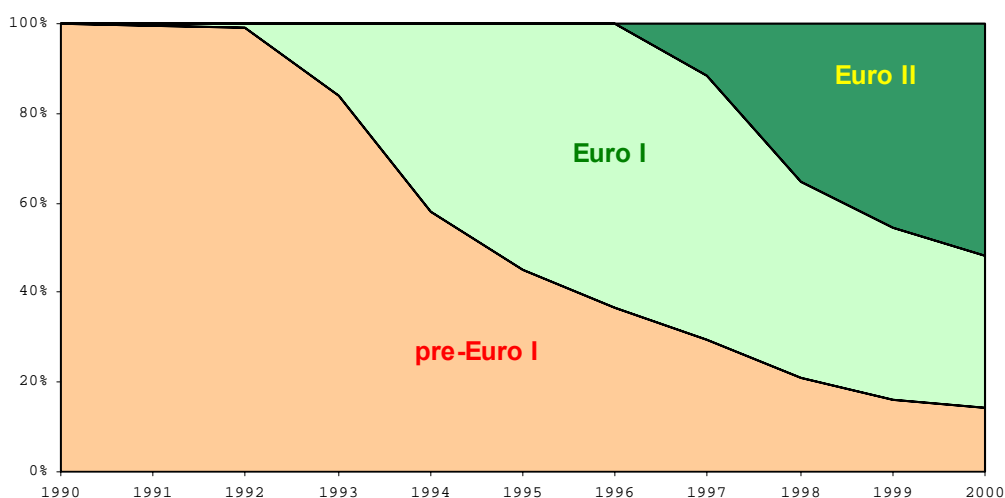


Figura 4.31: Composizione delle emissioni urbane di N₂O delle autovetture di ogni tipo di alimentazione suddivise per anzianità.

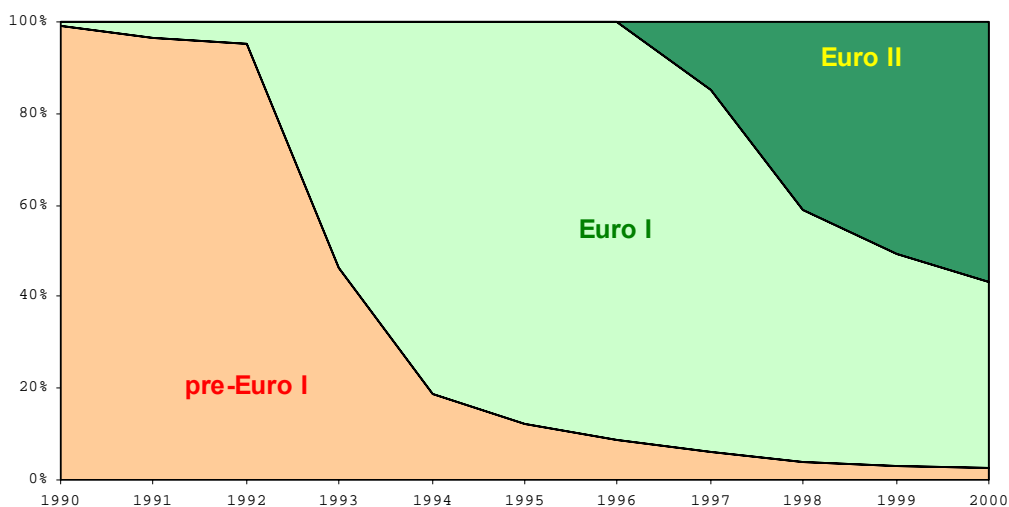


Figura 4.32: Composizione delle emissioni urbane di NH₃ delle autovetture di ogni tipo di alimentazione suddivise per anzianità.

Le emissioni di benzene sono dovute prevalentemente ai mezzi alimentati a benzina. Nel paragrafo seguente sono riportate alcune valutazioni sui fattori di emissione anche dei mezzi alimentati a gasolio mentre nel seguito sono stati accorpati per semplicità di esposizione.

La serie storica delle emissioni di benzene dal trasporto su strada, in figura 4.33, mostra un drastico ridimensionamento nel corso del periodo considerato, riducendosi le emissioni del 65% nel 2000 rispetto al 1990: in particolare a partire dal 1993 (Euro-I) decrescono con un tasso dell'8% annuo. Il maggiore peso relativo rimane, nel 2000, quello dovuto alle emissioni in ambito urbano che complessivamente coprono il 74% delle emissioni totali di benzene, escluse le evaporative che da sole costituiscono il 4,3% del totale (De Lauretis et al, 2003).

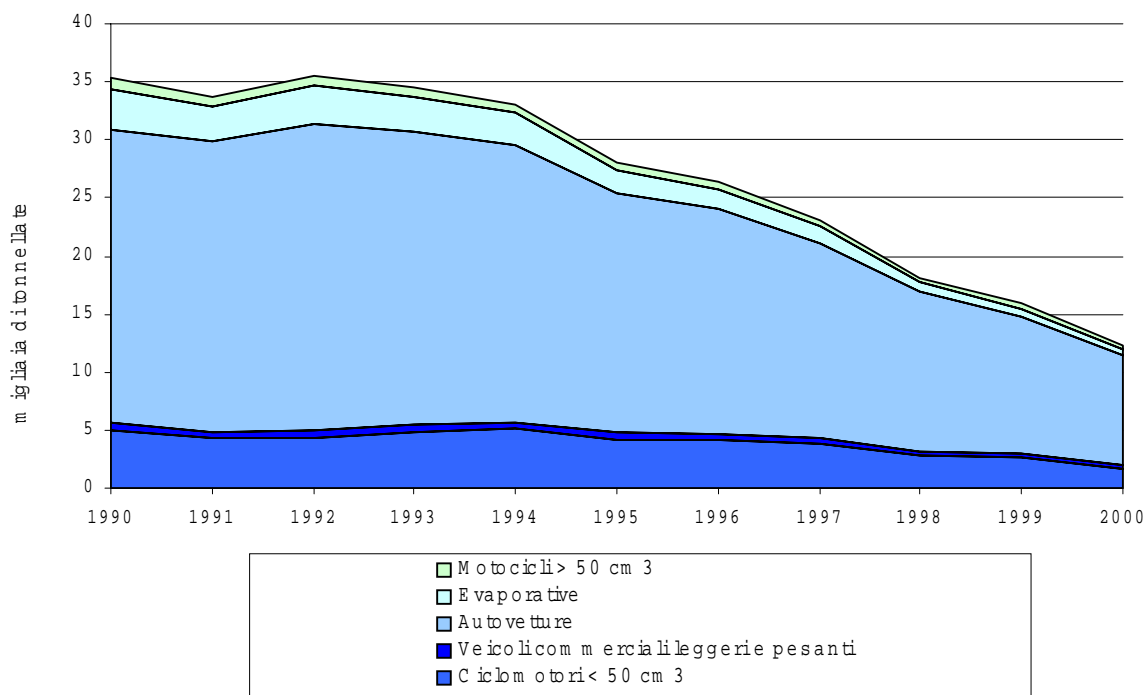


Figura 4.33 :Serie storica delle emissioni totali di benzene per classe veicolare dal 1990 al 2000.

Le sole autovetture passeggeri contribuiscono per il 76% del totale, e nell'ambito delle loro emissioni il 70% viene effettuato su ciclo di guida urbano, mentre il 25% su rurale e il restante 5% su percorso autostradale. In figura 4.34 sono riportate le emissioni di benzene delle autovetture per tipo di alimentazione su tutti i cicli di guida.

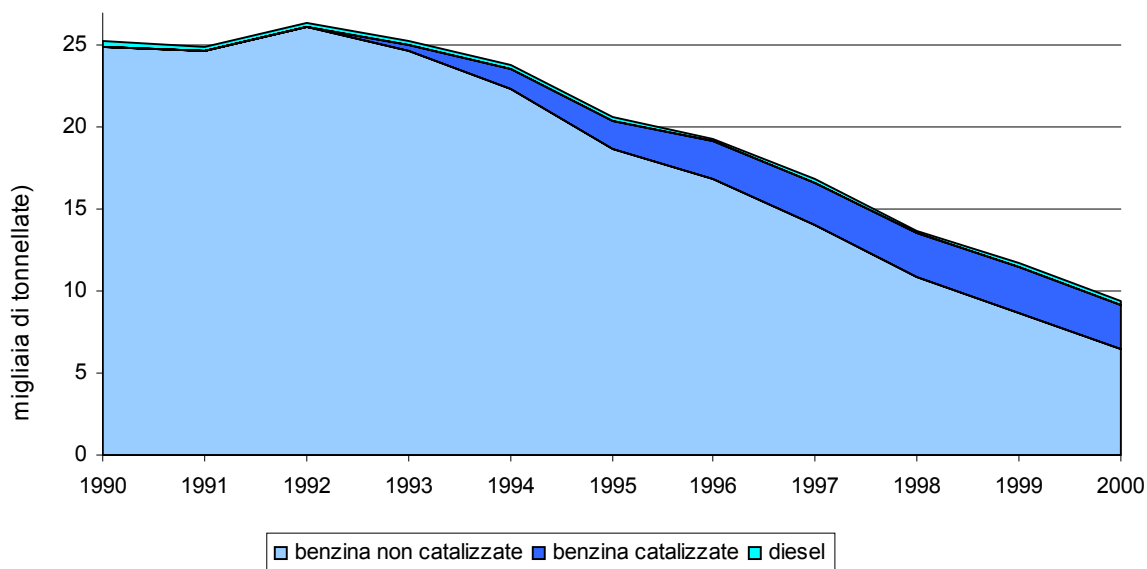


Figura 4.34: Emissioni totali di benzene delle autovetture passeggeri per tipo di alimentazione.

4.2 - I fattori di emissione medi

L'analisi delle serie storiche delle emissioni fin qui effettuata consente di valutare l'andamento delle quantità complessivamente emesse in un anno dai veicoli circolanti.

I fattori di emissione medi degli inquinanti, la cui analisi verrà effettuata in questo capitolo, consentono invece dei confronti tra le emissioni "normalizzate" rispetto al numero dei veicoli circolanti ed alle percorrenze effettuate e di apprezzare dunque le differenze tra le quantità effettivamente emesse dalle differenti tipologie di veicolo, espresse in g/veicoli*km.

Il **fattore di emissione** medio di un gas prodotto di combustione è definito, nel quadro di questa metodologia (Saija et al., 2000), come un grandezza statistica associata ad una particolare classe veicolare e per un particolare tipo di percorso o ciclo di guida, calcolata 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):

$$fe_{ijk} = [E_{ijk} / (N_j * Perc_{jk})] \quad (1)$$

dove:

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

Questi valori numerici tengono conto implicitamente delle velocità medie assegnate per ciascun ciclo di guida (*urbano, extraurbano e autostradale*) ad ogni classe veicolare ([appendice II](#)) e, sotto queste condizioni, che sono comunque statisticamente rappresentative della situazione nazionale, 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 corrispondenti emissioni.

Nei grafici di seguito presentati vengono presi in considerazione i fattori di emissione medi "totali", ossia comprendenti sia la quota "a caldo" che quella "a freddo", calcolati su base nazionale dal modello COPERT a partire dalle emissioni totali delle categorie veicolari della classificazione SNAP di CORINAIR (autovetture, veicoli commerciali leggeri < 3,5 t, veicoli commerciali pesanti > 3,5 t ed autobus, ciclomotori, motocicli) e suddivise per ciclo di guida.

Gli inquinanti cui i grafici presentati fanno riferimento sono: NO_x, NMVOC, CO, CO₂, Benzene e PM. Le corrispondenti tabelle dei fattori di emissione (in g/veic-km) sono riportate in [appendice IV](#) per ciascun anno della serie e per le classi veicolari previste dalla classificazione SNAP di CORINAIR. Per gli stessi inquinanti, sono riportati inoltre, per l'anno 2000, i valori dei fattori di emissione medi "a caldo" e "totali", riferiti alle classi veicolari previste dalla classificazione COPERT e stimati a partire dai dati del parco circolante italiano e delle relative percorrenze annue nel 2000.

Analogamente alla (1) si può definire un **fattore di emissione medio rapportato al consumo di combustibile**:

$$fc_{ijk} = E_{ijk} / C_{jk} \quad (2)$$

dove:

- fc_{ijk} rappresenta il fattore di emissione dell'inquinante i , per la classe veicolare j sul ciclo di guida k (espresso in g/kg: grammi di emissione per kg di combustibile);
- E_{ijk} rappresenta l'emissione nazionale dell'inquinante i , per la classe veicolare j sul ciclo di guida k (espressa in tonnellate/anno);
- C_{jk} è il consumo medio annuo del totale veicoli appartenenti alla classe j , effettuato sul ciclo di guida k (espressa in migliaia di tonnellate). Questo dato è fornito dal modello COPERT come risultato del

dimensionamento dei dati di input e della "quadratura" tra consumi stimati ed effettivi. I dati relativi sono riportati nel dettaglio di COPERT/SNAP in **appendice IV**.

4.2.1 - Ossidi di azoto

Nelle figure 4.35, 4.36, 4.37 e 4.38 sono mostrati gli andamenti dei fattori di emissione medi di NO_x dal 1990 al 2000 in funzione del tipo di guida, rispettivamente per le autovetture, per i veicoli commerciali leggeri, per i veicoli pesanti, inclusi gli autobus, e per i motocicli; i fattori sono espressi in grammi per veicolo*kilometro.

Si può quindi osservare che le riduzioni più significative si riscontrano in relazione alle percorrenze extraurbane e autostradali delle autovetture.

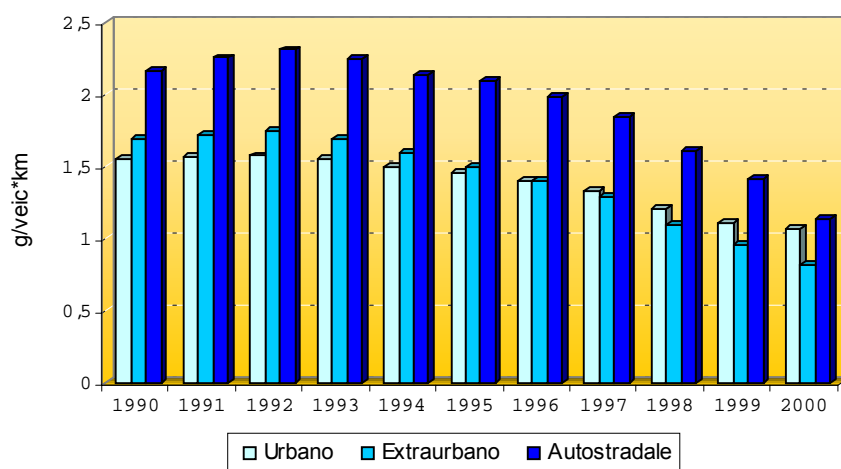


Figura 4.35: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di NO_x per le autovetture circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

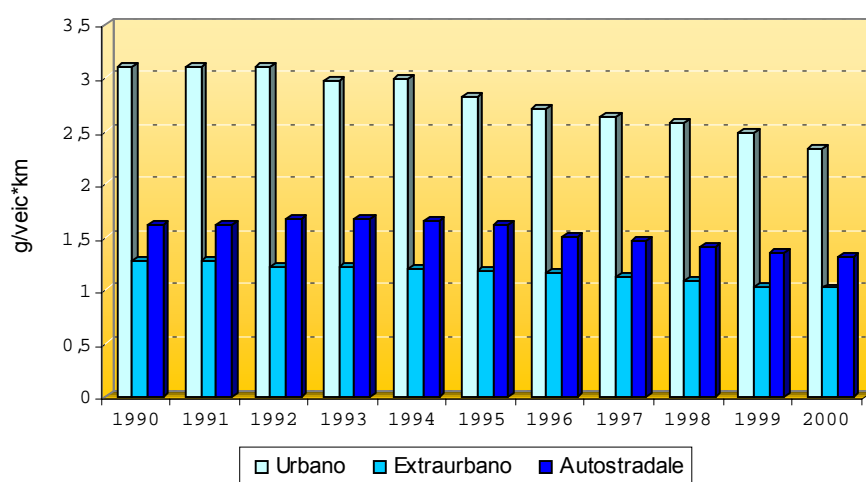


Figura 4.36: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di NO_x per i veicoli commerciali leggeri (peso a pieno carico inferiore a 3.5 t) circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

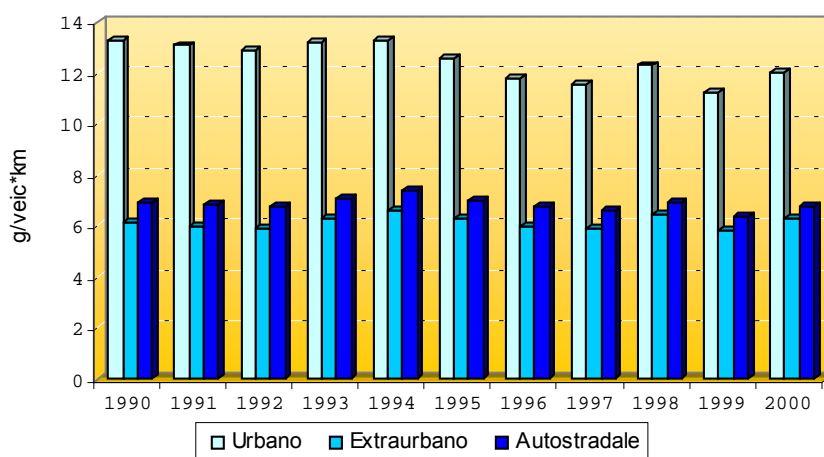


Figura 4.37: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di NO_x per i veicoli commerciali pesanti (peso a pieno carico superiore a 3.5 t) e gli autobus circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

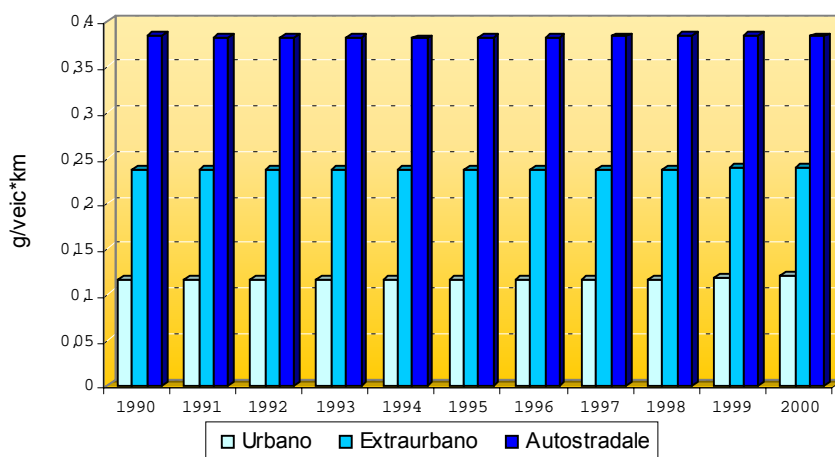


Figura 4.38: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di NO_x per i motocicli con cilindrata maggiore di 50 cc circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

Nella figura 4.39 sono evidenziate le tipologie di veicoli che hanno ridotto maggiormente il proprio fattore di emissione medio tra il 1990 ed il 2000. Il fattore di emissione relativo alle autovetture a benzina è diminuito di più del 50%, così come le autovetture a GPL ed i veicoli commerciali leggeri sia a benzina che diesel hanno ridotto il proprio fattore di NO_x di più del 20%. Poco rilevanti sono state le variazioni relative a ciclomotori, motocicli e veicoli pesanti mentre il fattore di emissione medio delle autovetture diesel, è aumentato dell'8% anche se in valore assoluto continua ad essere inferiore a quello delle autovetture a benzina.

Nella figura 4.40 si possono infatti confrontare, in relazione all'anno 2000, i valori assoluti medi dei fattori di emissione di NO_x relativi ai differenti veicoli espressi in grammi per veicolo*kilometro. Si può quindi osservare come le emissioni dei veicoli pesanti sono di gran lunga più elevate degli altri tipi di veicoli mentre i fattori di emissione di ciclomotori e motocicli sono irrilevanti.

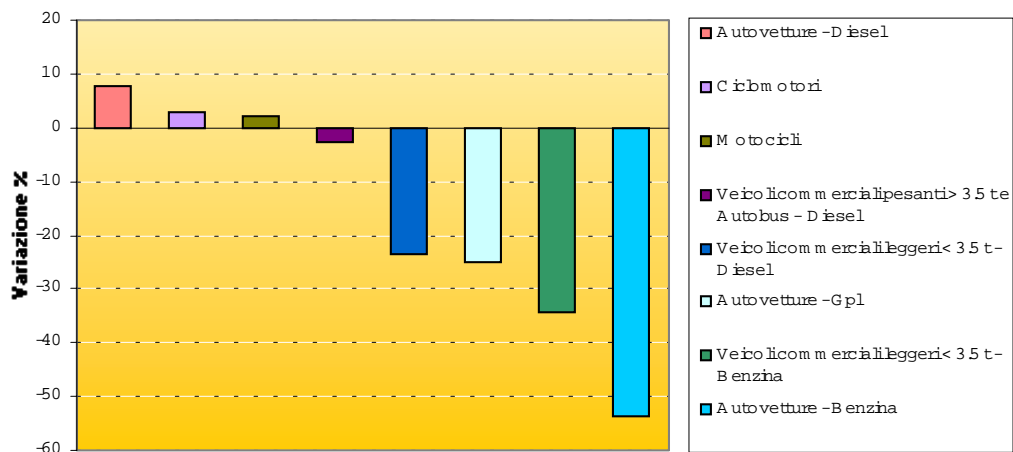


Figura 4.39: Variazione percentuale nel 2000 rispetto al 1990 dei fattori di emissione medi di NO_x per classe veicolare e tipo di alimentazione.

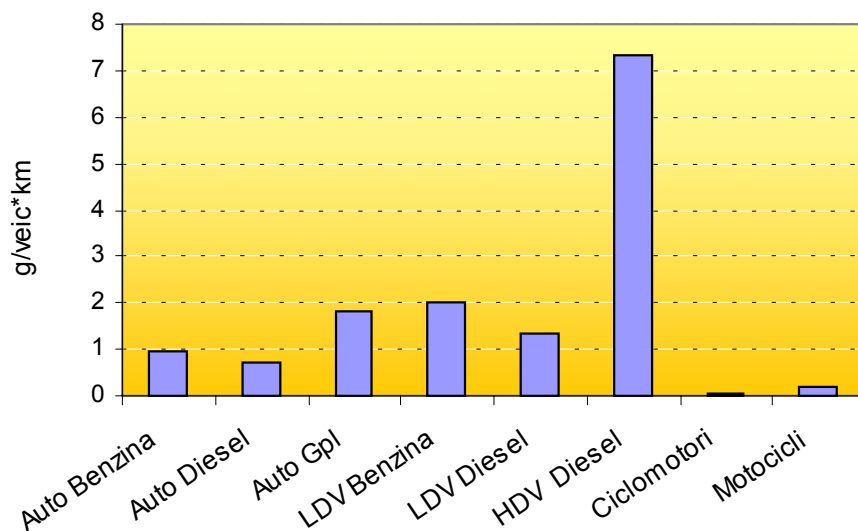


Figura 4.40: Fattori di emissione medi di NO_x (g/veic*km) relativi all'anno 2000 per i diversi tipi di veicoli.

4.2.2 - Composti organici volatili non metanici (COVNM)

Sono nel seguito riportati gli andamenti, tra il 1990 ed il 2000, dei fattori di emissione medi di NMVOC dalle autovetture, dai veicoli commerciali leggeri, dai veicoli commerciali pesanti e dai motocicli, per i rispettivi cicli di guida, urbano, extraurbano ed autostradale (figura 4.41 – 4.44). Tali fattori non tengono conto del contributo delle emissioni evaporative e sono quindi relative al totale delle emissioni esauste (hot e cold).

Gli andamenti mettono in luce consistenti riduzioni delle emissioni medie in particolare per le autovetture e per i veicoli leggeri e soprattutto in ambito urbano.

Nella figura 4.45 si possono confrontare le variazioni percentuali dei fattori di emissione medi distinti per tipologia di veicolo. Si confermano le principali riduzioni in relazione alle autovetture ed ai veicoli commerciali, sia a benzina che diesel, mentre minori sono state le riduzioni dei fattori di emissione medi dei ciclomotori e dei motocicli.

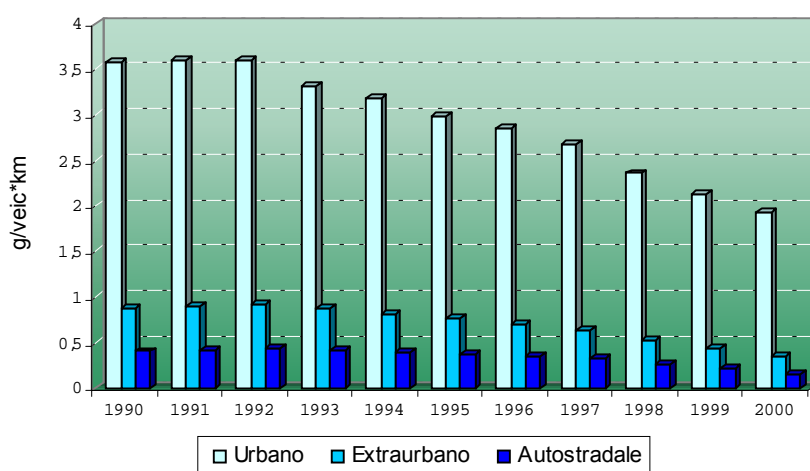


Figura 4.41: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di NMVOC per le autovetture circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

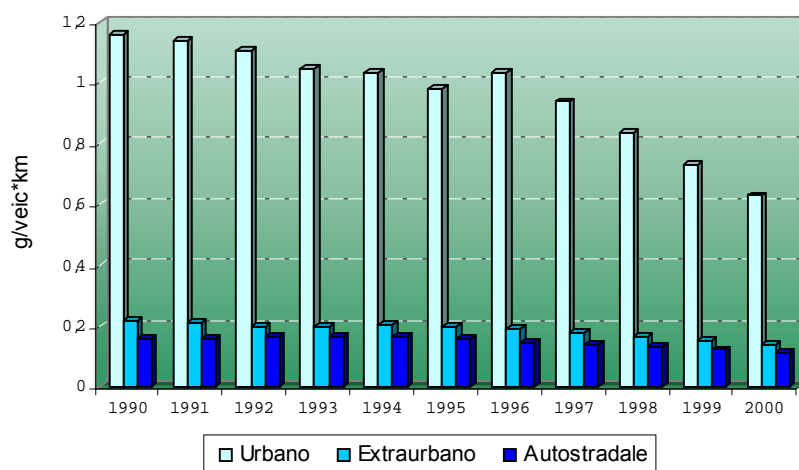


Figura 4.42: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di NMVOC per i veicoli commerciali leggeri (peso a pieno carico inferiore a 3.5 t) circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

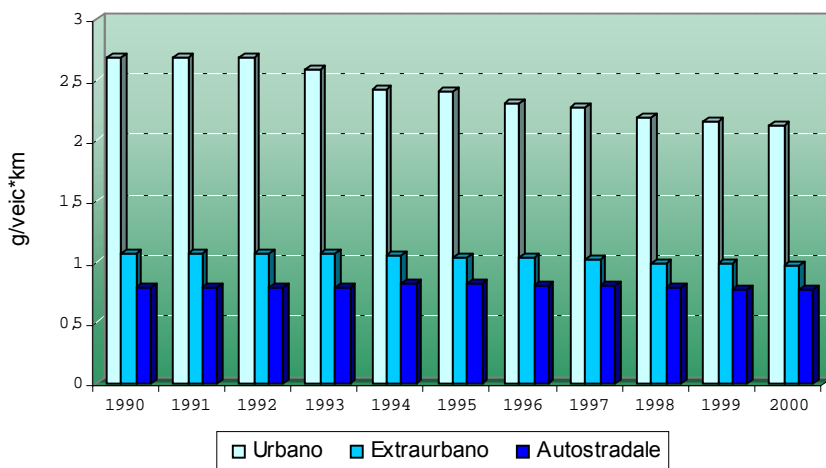


Figura 4.43: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di NMVOC per i veicoli commerciali pesanti (peso a pieno carico superiore a 3.5 t) e gli autobus circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

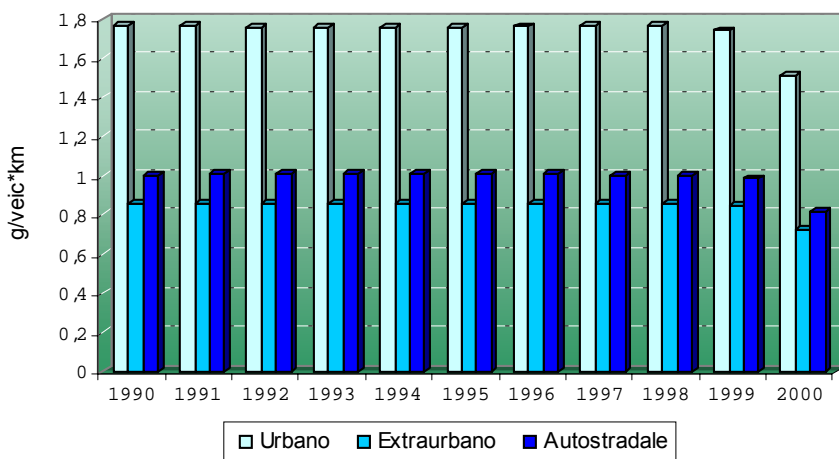


Figura 4.44: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di NMVOC per i motocicli con cilindrata maggiore di 50 cc circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

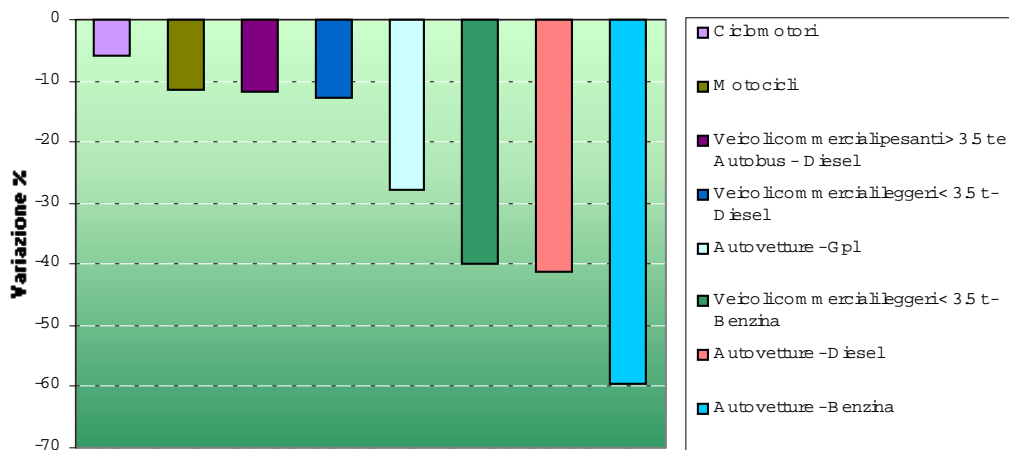


Figura 4.45: Variazione percentuale nel 2000 rispetto al 1990 dei fattori di emissione medi di COVNM per classe veicolare e tipo di alimentazione.

Nella figura 4.46 sono messi a confronto i fattori di emissione nel 2000 dei differenti tipi di veicoli. In questo caso i fattori di emissione sono complessivi nel senso che tengono conto anche della componente evaporativa di emissione.

Il valore più elevato, in termini di grammi di NMVOC per veicolo*kilometro, è relativo ai ciclomotori ed è quattro volte più grande di quello dei veicoli commerciali leggeri e dei motocicli. Questo è dovuto soprattutto al fatto che, al 2000, il parco circolante è composto quasi esclusivamente da ciclomotori convenzionali in quanto la direttiva EURO I viene applicata a partire da luglio 1999. Nei prossimi anni, con il rinnovo del parco ciclomotori e motocicli, tali valori dovrebbero ridursi sensibilmente. I veicoli diesel (autovetture e commerciali leggeri), hanno viceversa fattori di emissione molto vicini allo zero.

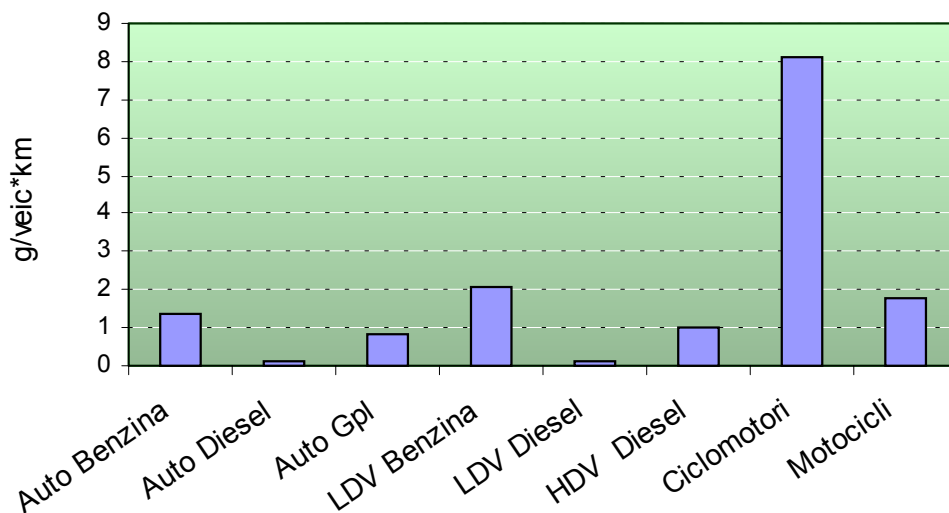


Figura 4.46: Fattori di emissione medi di COVNM (g/veic*km) relativi all'anno 2000 per i diversi tipi di veicoli.

4.2.3 - Monossido di carbonio

I fattori di emissione medi di CO, espressi in grammi per veicolo*kilometro sono notevolmente diminuiti tra il 1990 ed il 2000 per tutte le tipologie di veicoli e di modalità di guida ed in modo più sensibile per le autovetture ed i veicoli commerciali leggeri, in ambito urbano ed extraurbano, come si può osservare nelle figure 4.47, 4.48, 4.49 e 4.50.

Tutti i tipi di veicoli hanno riscontrato riduzioni dei fattori di emissione, figura 4.51, con valori vicini al 60% per le autovetture a benzina e minori riduzioni per quanto riguarda i ciclomotori (5%).

Nella figura 4.52 sono messi a confronto i fattori di emissione medi relativi al 2000 dei differenti tipi di veicolo. Le emissioni più elevate per veicolo*kilometro sono quelle dei motocicli, pari a 20 grammi per veicolo*kilometro, seguite dai veicoli commerciali leggeri (16) e dai ciclomotori (14). I veicoli in media più efficienti dal punto di vista della combustione e con fattori di emissione più bassi risultano i veicoli diesel, con valori inferiori a 3 grammi di CO per veicolo*kilometro.

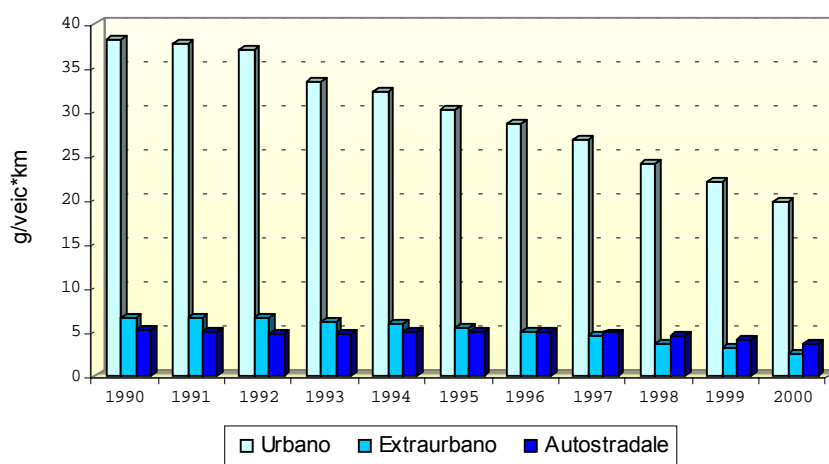


Figura 4.47: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di CO per le autovetture circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

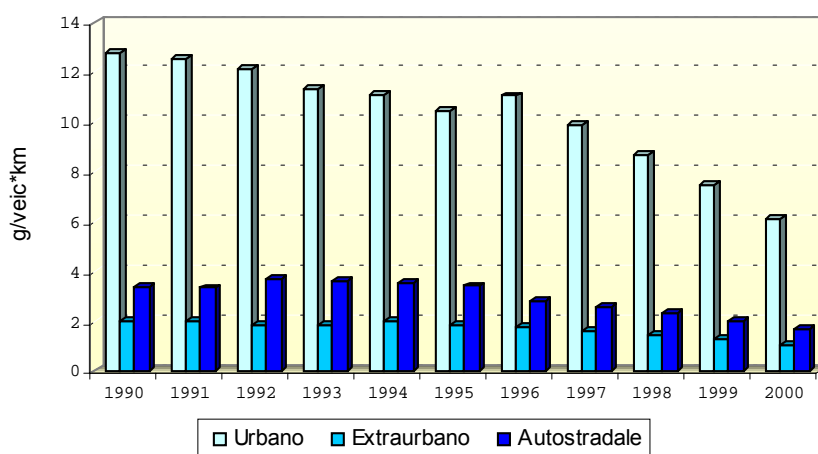


Figura 4.48: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di CO per i veicoli commerciali leggeri (peso a pieno carico inferiore a 3.5 t) circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

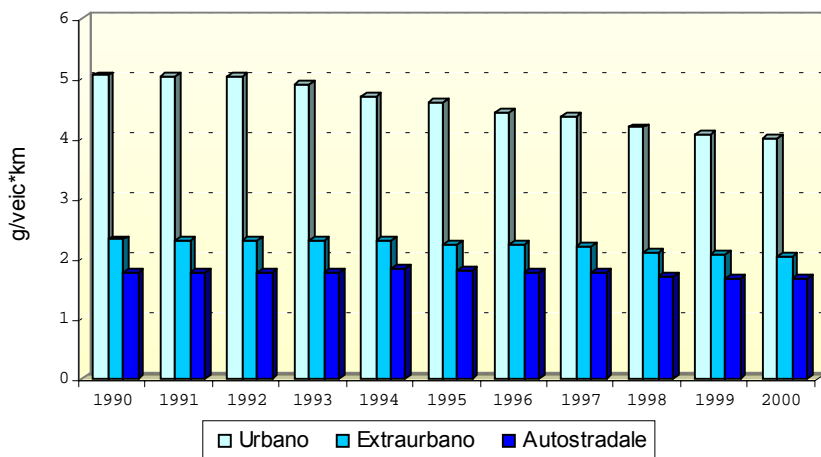


Figura 4.49: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di CO per i veicoli commerciali pesanti (peso a pieno carico superiore a 3.5 t) e gli autobus circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

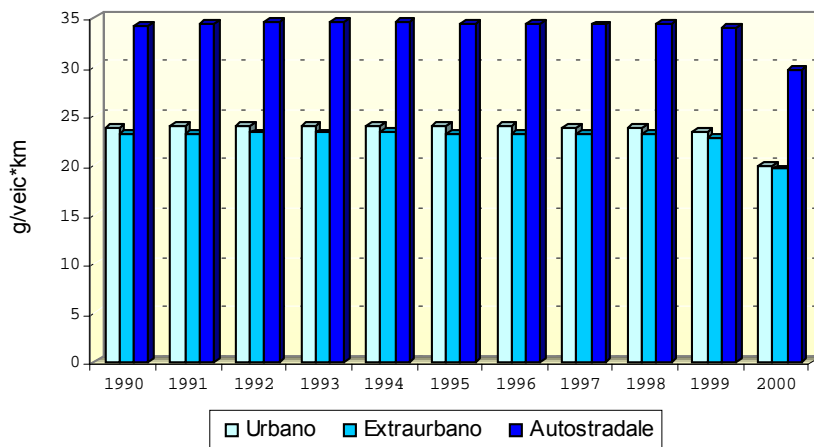


Figura 4.50: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di CO per i motocicli con cilindrata maggiore di 50 cc circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

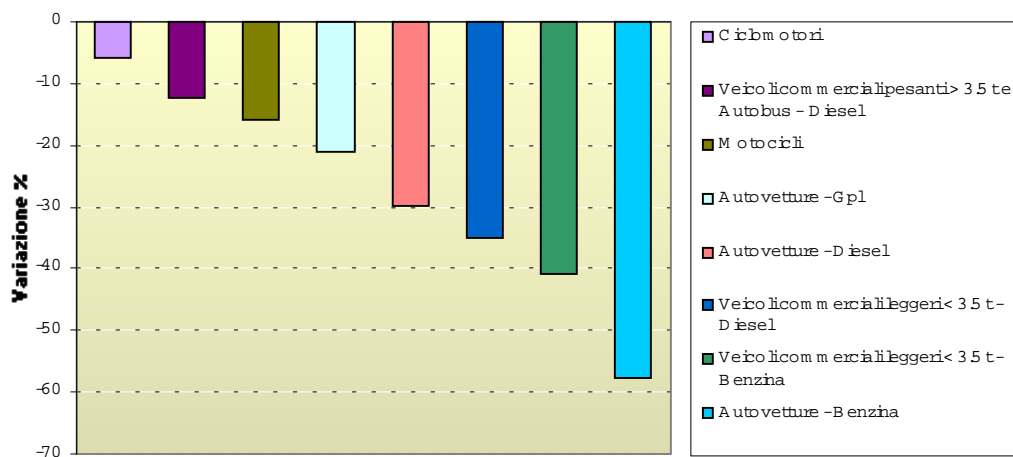


Figura 4.51: Variazione percentuale nel 2000 rispetto al 1990 dei fattori di emissione medi di CO per classe veicolare e tipo di alimentazione.

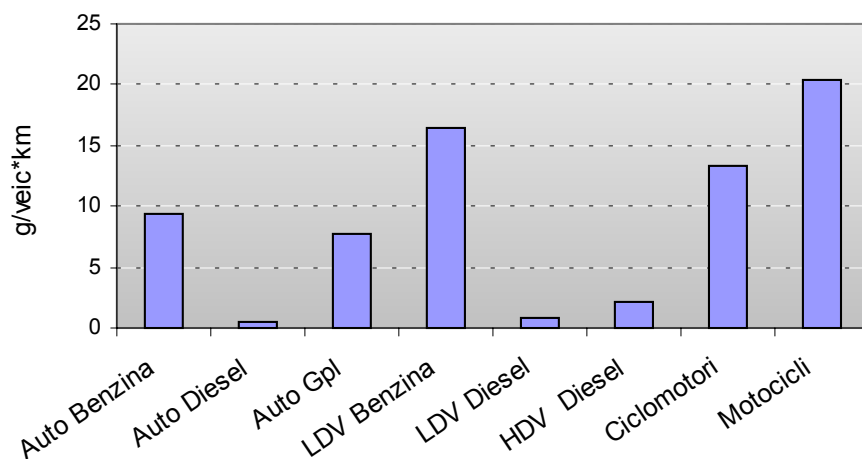


Figura 4.52: Fattori di emissione medi di CO (g/veic*km) relativi all'anno 2000 per i diversi tipi di veicoli.

4.2.4 - Anidride Carbonica

In relazione ai fattori di emissione medi di anidride carbonica, a differenza delle altre sostanze finora analizzate, non si riscontrano valori in riduzione nel periodo 1990- 2000, ma al contrario si riscontrano andamenti medi sostanzialmente costanti se non in crescita, come si può notare nelle figure 4.53, 4.54, 4.55.

Ciò è dovuto a due fattori opposti e concomitanti: se da un lato infatti il rinnovo del parco dovrebbe comportare una riduzione dei consumi medi e quindi delle emissioni di CO₂ dall'altro bisogna sottolineare che la cilindrata media del parco circolante italiano delle autovetture è aumentata e così quindi i consumi e le emissioni.

In figura 4.56 si può osservare che in media solo le autovetture ed i veicoli commerciali leggeri diesel hanno avuto riduzioni del fattore di emissione medio di CO₂ mentre il fattore dei ciclomotori è aumentato sensibilmente e questo per un rinnovo del parco fatto da ciclomotori con prestazioni notevolmente superiori a quelli venduti negli anni '80 e primi anni '90 e conseguenti maggiori consumi ed emissioni di CO₂.

In figura 4.57 sono messi a confronto i fattori relativi al 2000, espressi in grammi per veicolo*kilometro. I valori di emissione variano da circa 700 per i veicoli commerciali pesanti a circa 100 per i ciclomotori ed i motocicli.

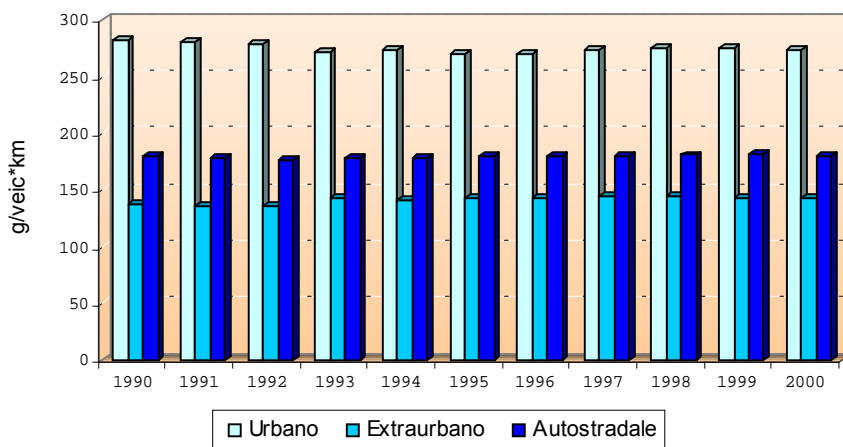


Figura 4.53: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di CO₂ per le autovetture circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

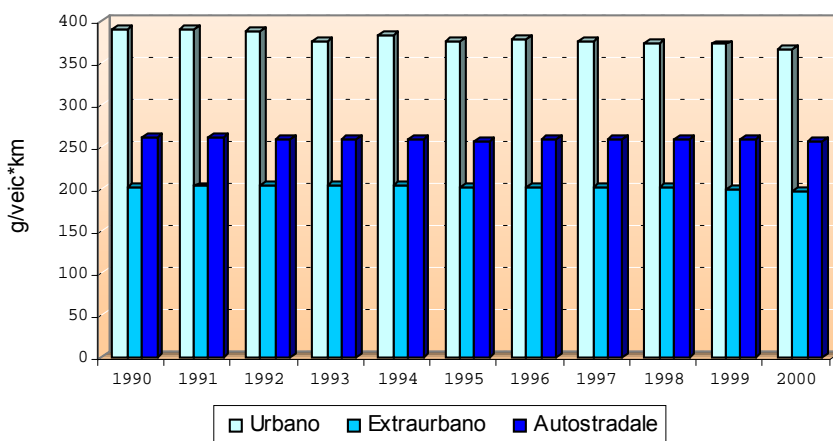


Figura 4.54: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di CO₂ per i veicoli commerciali leggeri (peso a pieno carico inferiore a 3.5 t) circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

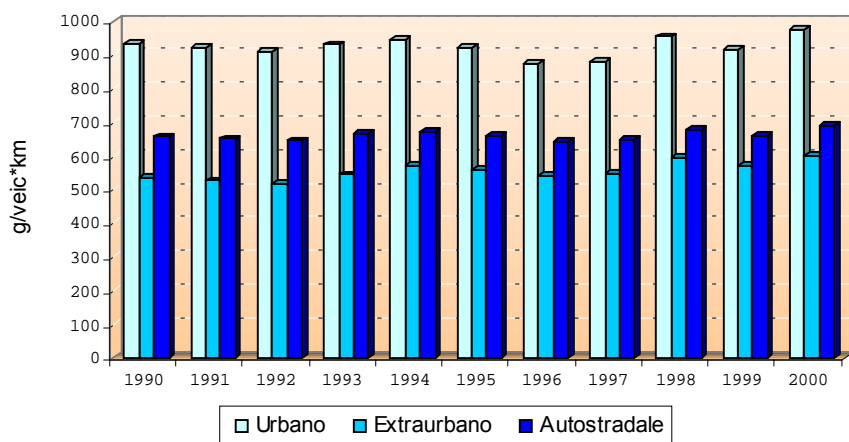


Figura 4.55: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di CO₂ per i veicoli commerciali pesanti (peso a pieno carico superiore a 3.5 t) e gli autobus circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

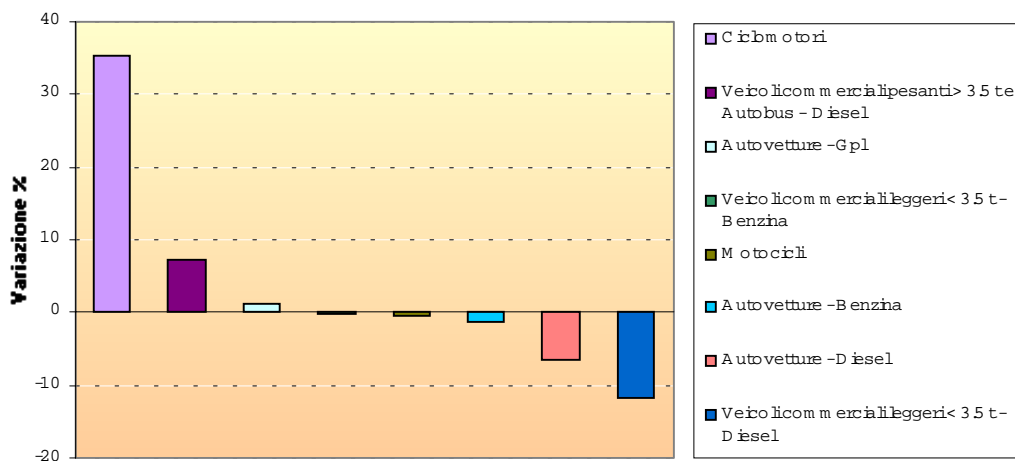


Figura 4.56: Variazione percentuale nel 2000 rispetto al 1990 dei fattori di emissione medi di CO₂ per classe veicolare e tipo di alimentazione.

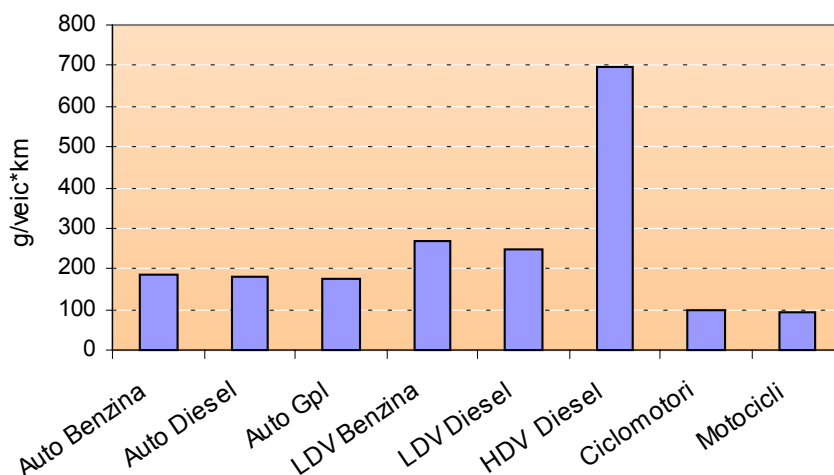


Figura 4.57: Fattori di emissione medi di CO₂ (g/veic*km) relativi all'anno 2000 per i diversi tipi di veicoli.

4.2.5 - Benzene

Nelle figure 4.58, 4.59, 4.60, 4.61 sono mostrati gli andamenti dei fattori di emissione medi di benzene tra il 1990 ed il 2000 espressi in grammi per veicolo*kilometro e riferiti alle diverse modalità di guida, urbano, extraurbano ed autostradale.

Le riduzioni più consistenti sono avvenute in relazione ai veicoli a benzina, prevalentemente autovetture e motocicli, e sono dovute sia alla riduzione di benzene nel combustibile che alla sostituzione del parco con vetture catalizzate (De Lauretis et al, 2003).

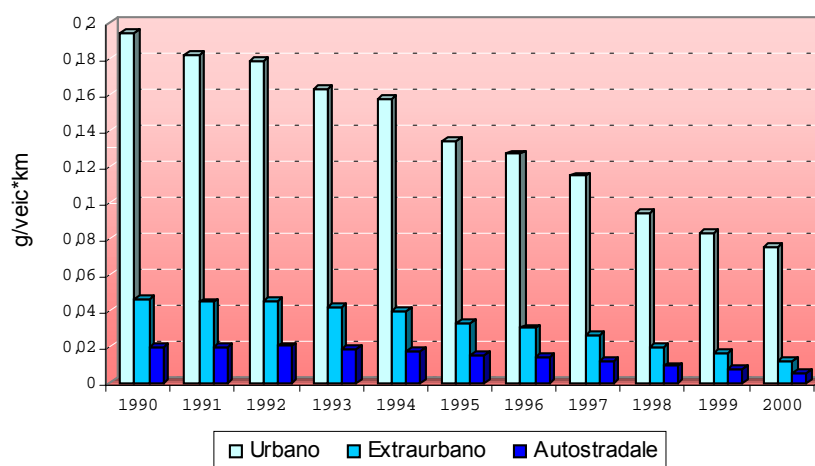


Figura 4.58: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di benzene per le autovetture circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

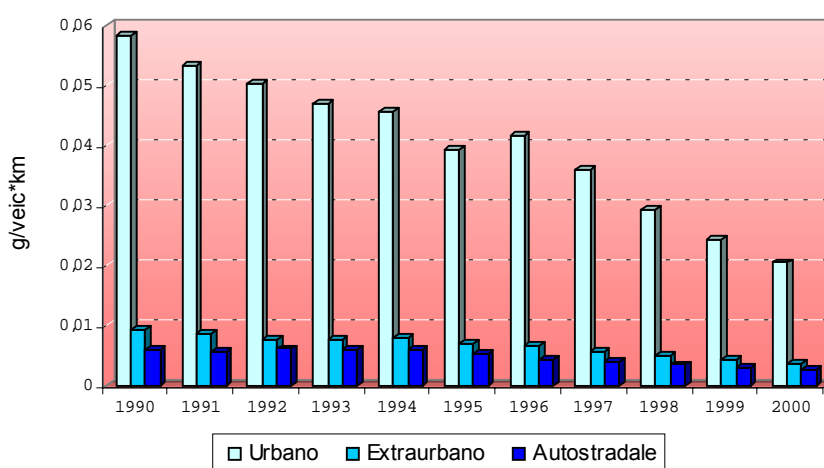


Figura 4.59: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di benzene per i veicoli commerciali leggeri (peso a pieno carico inferiore a 3.5 t) circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

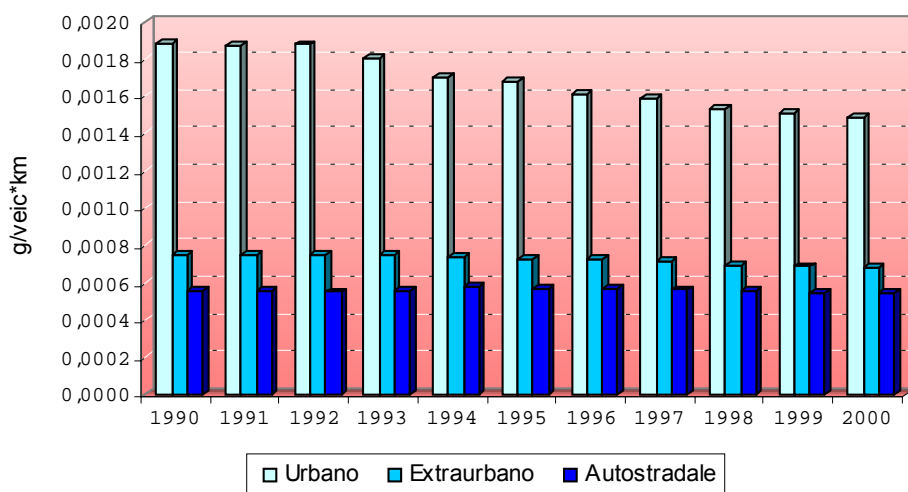


Figura 4.60: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di benzene per i veicoli commerciali pesanti (peso a pieno carico superiore a 3.5 t) e gli autobus circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

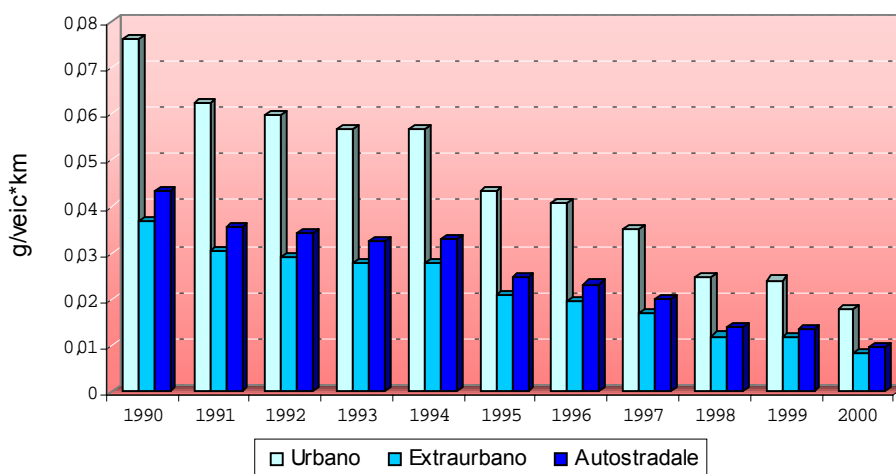


Figura 4.61: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di benzene per i motocicli con cilindrata maggiore di 50 cc circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida.

In relazione ai fattori di emissione dei ciclomotori e dei motocicli, nella figura 4.62 sono messi a confronto, su scala logaritmica, i rispettivi fattori di emissione medi di benzene, e quelli delle altre sostanze precedentemente analizzate, espressi tutti in termini di grammi per veicolo*kilometro. I ciclomotori hanno fattori di emissione più elevati per gli NMVOC ed il Benzene, ed inferiori in relazione agli NO_x, mentre per le altre sostanze i valori sono sostanzialmente comparabili.

Nella figura 4.63 sono invece messi a confronto sullo stesso grafico i fattori di emissione dei motocicli dove la scala delle ordinate in grammi per veicolo*kilometro è stata ridotta, per ciascuna specie emessa, di un opportuno coefficiente in base 10 per permetterne la visualizzazione simultanea con il benzene.

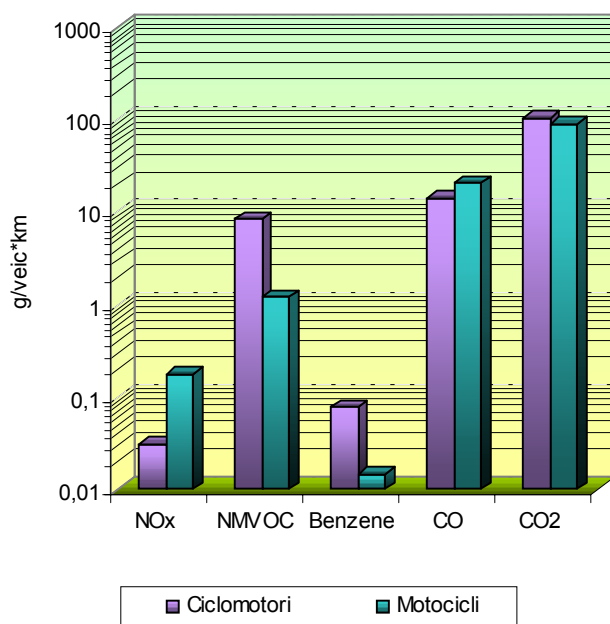


Figura 4.62: Confronto dei fattori di emissione di ciclomotori e motocicli nel 2000.

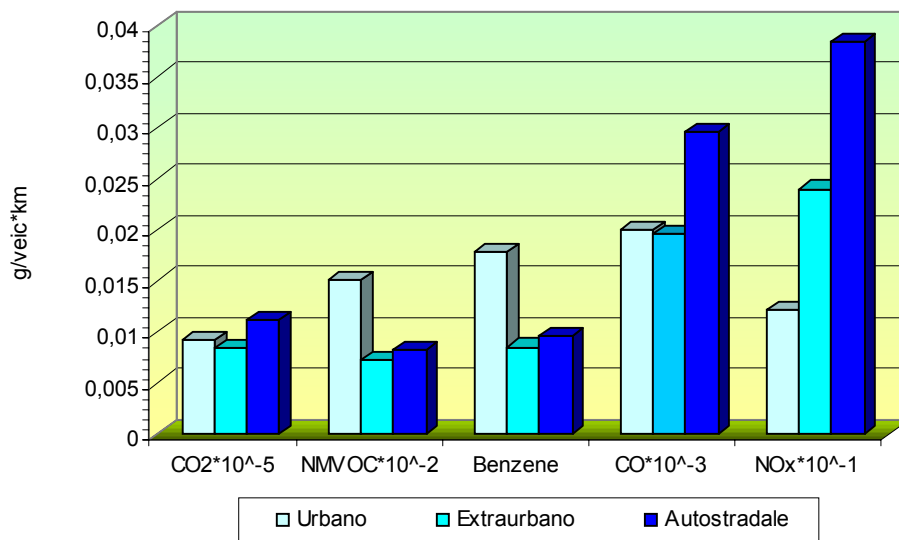


Figura 4.63: Confronto dei fattori di emissione dei motocicli con cilindrata superiore a 50cc nel 2000 per i diversi cicli di guida.

4.2.6 - Particolato minore di 10 micron

Nelle figure 4.64, 4.65, 4.66, sono mostrati gli andamenti dei fattori di emissione medi di PM₁₀ tra il 1990 ed il 2000 espressi in grammi per veicolo*kilometro per autovetture, veicoli commerciali leggeri e pesanti e riferiti alle diverse modalità di guida, urbano, extraurbano ed autostradale.

I fattori di emissione sono relativi alle emissioni esauste e sono state calcolate anche per i veicoli a benzina e GPL per i quali il COPERT non fornisce al momento curve di emissione. Per tali veicoli si sono utilizzati i fattori di emissione pubblicati dal TNO (TNO 2003) nell'ambito di una attività internazionale di revisione dei fattori di emissione di PM₁₀ per tutti i processi emissivi.

Le emissioni seguono andamenti di riduzione in particolare per le autovetture e i veicoli commerciali leggeri anche in conseguenza dell'elevato tasso di rinnovo del parco diesel.

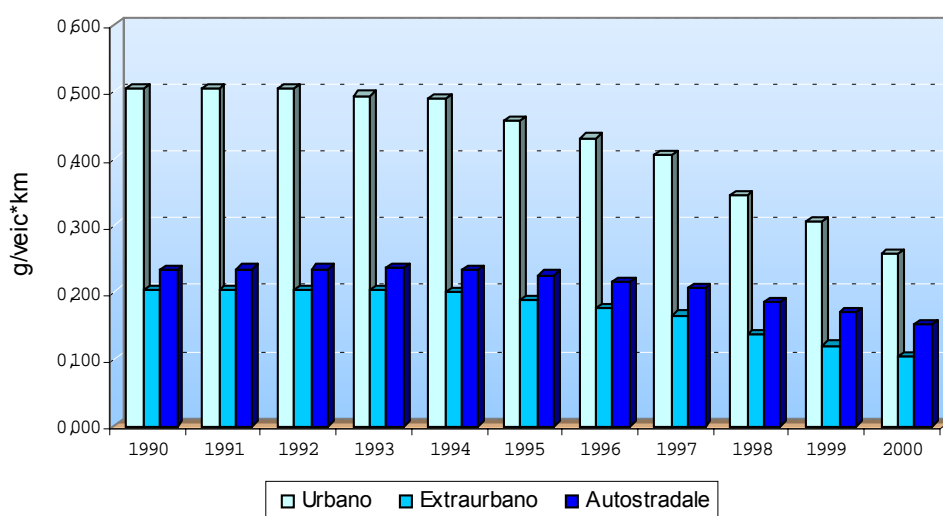


Figura 4.64: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di PM₁₀ per le autovetture circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida. Emissioni allo scarico (esauste).

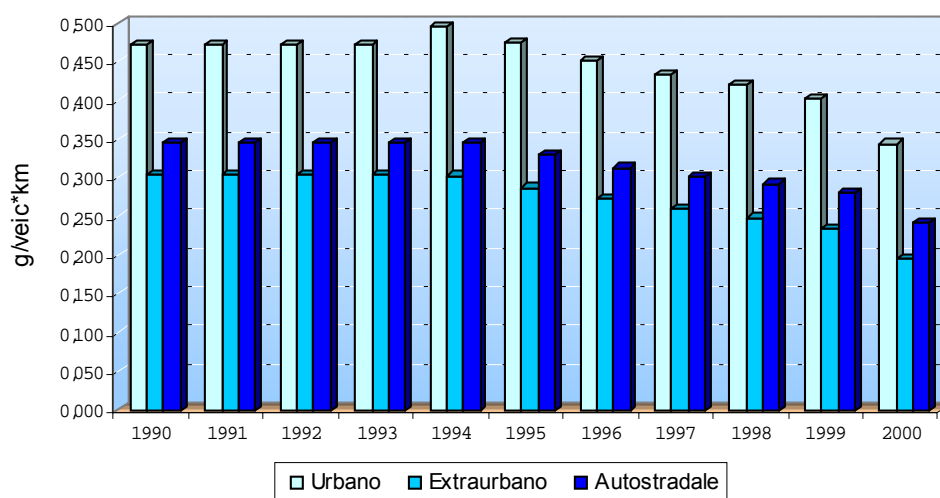


Figura 4.65: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di PM per i veicoli commerciali leggeri (peso a pieno carico inferiore a 3.5 t) circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida. Emissioni allo scarico (esauste).

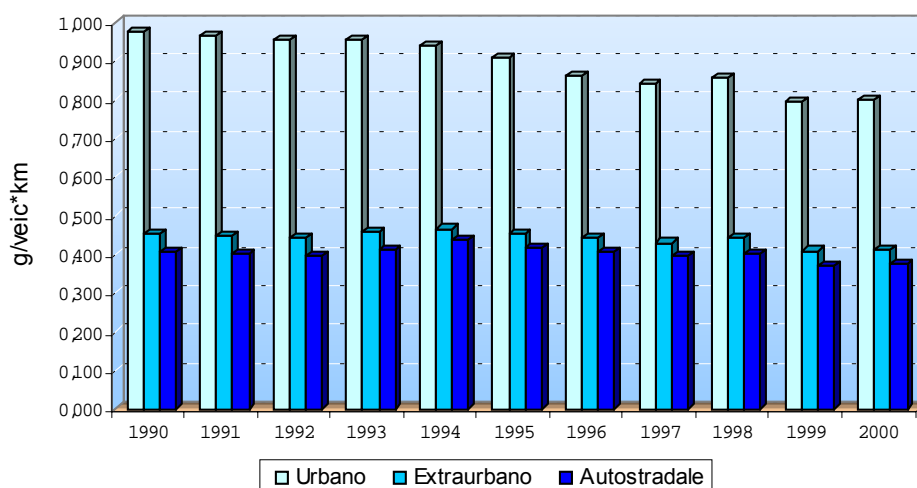


Figura 4.66: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di PM per i veicoli commerciali pesanti (peso a pieno carico superiore a 3.5 t) e gli autobus circolanti in Italia, sui differenti cicli di guida. Emissioni allo scarico (esauste).

Nella figura 4.67 e 4.68 sono invece riportate, rispettivamente, le serie storiche dei fattori di emissione ed il confronto degli stessi per il 2000, fattori relativi ai diversi tipi di veicoli. In queste figure i valori riportati sono comprensivi anche della quota di emissione, di ciascun tipo di veicolo, dovuto all'usura dei freni, asfalto e gomme. I fattori di emissione relativi a queste componenti sono quelli riportati dal TNO (TNO, 2003). I confronti mostrano consistenti riduzioni dei fattori medi dei veicoli diesel anche se soprattutto i veicoli pesanti continuano a risultare la principale sorgente di emissione di PM10. I ciclomotori hanno, nel 2000, un fattore medio di emissione, in grammi per veicolo*kilometro, confrontabile con quello delle autovetture diesel e doppio di quelle a benzina. I fattori utilizzati sono quelli relativi alle misure effettuate dall'ENEA (ENEA, 2003) uniche disponibili al momento della elaborazione.

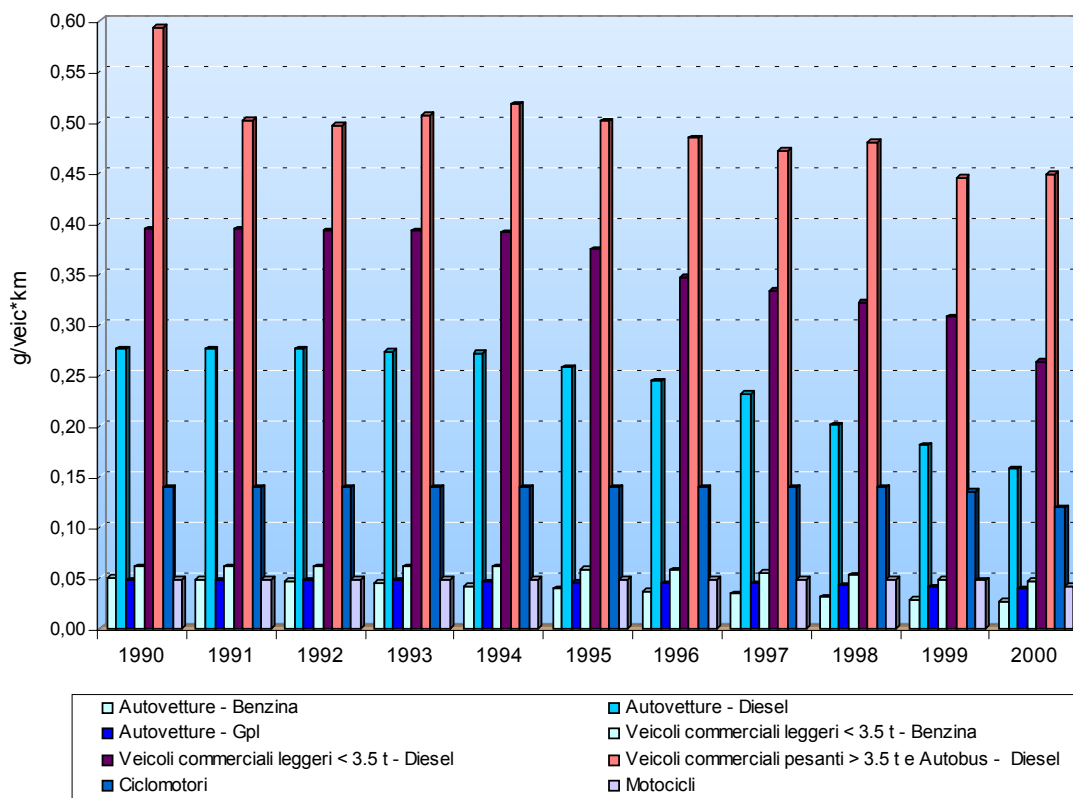


Figura 4.67: Serie storica dei fattori di emissione medi (g/veic*km) di PM per classi di veicoli e tipo di alimentazione, comprensivi delle emissioni non esauste (freni, pneumatici, asfalto).

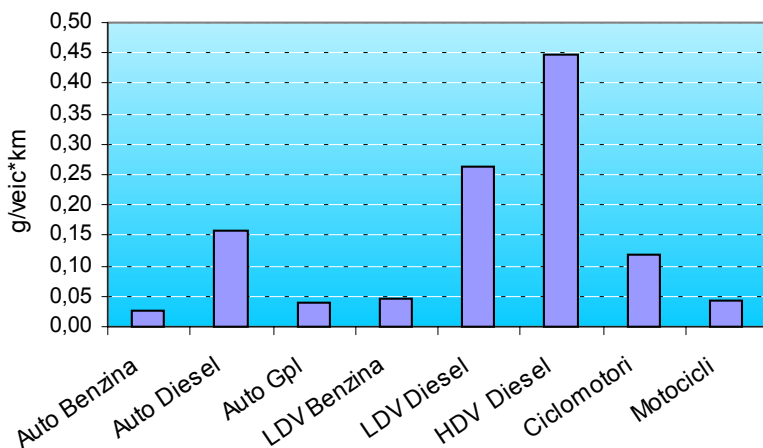


Figura 4.68: Fattori di emissione medi di PM10 (g/veic*km) relativi all'anno 2000 per i diversi tipi di veicoli.

Riferimenti Bibliografici

In corso di completamento. Preceduti da (-) quelli confermati per il rapporto 2001

ACI (1995a): "Analisi dell'anzianità dei veicoli circolanti in Italia negli anni 1980-1994", Roma, Aprile 1995.

- ACI (1997): "Percorrenze medie annue dei veicoli. Prezzi e consumi di carburanti 1995-1996", Roma, 1997.

ACI (1999): "Annuario Statistico – Automobilità 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.

- AISCAT (2002): "Autostrade in cifre", (ediz?)

- ANCMA (2001): I fattori di emissione dei nuovi ciclomotori EURO I (dati forniti ad ANPA su richiesta).

- ANFIA (- vari anni): "Automobile in cifre", Associazione nazionale fra industrie automobilistiche, Torino, Satiz - vari anni.

- ANPA (2002a): "Annuario dei dati ambientali", Serie stato dell'ambiente n. 8 /2002.

- ANPA (2002b): "L'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera, serie storica dal 1980 al 2000", sito web: SINAnet "<http://www.sinanet.anpa.it/aree/atmosfera/emissioni/>".

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.

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", Rapporto Tecnico ANPA, Giugno 2000.

- Contaldi M., Ilacqua M. (2001): Analisi dei fattori di emissione di CO₂ dal settore dei trasporti -Metodo di Riferimento IPCC, metodologia COPERT ed analisi sperimentali - RTI AMB-EMISS 3/2001.

- Contaldi M., Pignatelli R. (2002): "Mobilità sostenibile. Una proposta metodologica", ANPA, 8/2002.

- CORINAIR (1988): "European Inventory of emissions of pollutants into the atmosphere", Commission of the European Communities – CORINAIR project, DG XI, 30/3/1988.

- COST (1998): European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research. Action 319 "Estimation of pollutant emissions from transport" (end: 28/11/98).
In: <http://www.inrets.fr/infos/cost319/>

- De Lauretis R., Ilacqua M., Romano D., (2003): "Emissioni di benzene in Italia dal 1990 al 2000", ANPA 2003 in corso di pubblicazione.

- 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 (2001): *"Atmospheric Emission Inventory Guidebook"*, **third edition, december 2001**.

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

- Grechi D., Santino D., Monni F., Picini P. (2002): *"Verso una mobilità pulita"* ACI, Firenze 2002.

- ISTAT (*– vari anni*): *"Annuario statistico italiano – vari anni"*, ISTAT, Roma, 1998.

- I/M (1998): *"The Inspection of In-Use Cars in Order to Attain Minimum Emissions of Pollutants and Optimum Energy Efficiency"* Main Report, May 1998.

In: ["http://europa.eu.int/comm/environment/pollutants/inusecars.htm"](http://europa.eu.int/comm/environment/pollutants/inusecars.htm)

- MINISTERO DELL'INDUSTRIA (*– vari anni*): *"Bilancio Energetico Nazionale – vari anni"*, Direzione Generale delle Fonti di Energia e delle Risorse Minerarie, Istituto Zecca dello Stato.

- MINISTERO DELL'INDUSTRIA (*– vari anni*): *"Bollettino Petrolifero - IV trimestre – vari anni"*.

- MINISTERO DEI TRASPORTI (1990-2000): *"Conto Nazionale dei Trasporti"*, Direzione Generale programmazione, organizzazione e coordinamento, 1991-2001, Istituto Zecca dello Stato.

- Ntziachristos L., Samaras Z. (2001): *"COPERT III, Computer Programme to Calculate Emissions from Road Traffic – Methodology and Emission Factors"*, Final Report, European Topic Centre on Air Emissions, Thessaloniki, June 2001, Version 2.2. In: ["http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm"](http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm)

PIAGGIO (2001): Percorrenze medie dei ciclomotori, dati forniti ad ANPA su richiesta.

- Saija S., Contaldi M., De Lauretis R., Ilacqua M., Liburdi R. (2000): *"Emissioni in atmosfera da trasporto stradale"*, Serie stato dell'ambiente n.12/2000.

Tittarelli, P. 2001: Primi risultati analitici del contratto con ANPA per *"Analisi caratteristiche carburanti"*, marzo 2001.

TNO (2003)

- UNIONE PETROLIFERA (*– vari anni*): *"Statistiche Economiche Energetiche e Petrolifere"*, Roma – *vari anni*. Novembre 2000.

- UNIONE PETROLIFERA (2001): Comunicazione diretta, ing. Franco Del Manso Roma, 5 ottobre 2001

Sommario Appendici (nell'indice)

In **appendice I** viene riportata la numerosità e i consumi delle classi veicolari suddivise secondo le categorie di COPERT per ciascun anno del periodo considerato.

In **appendice II** vengono riportati i valori delle percorrenze medie annue e delle velocità medie dei veicoli ripartiti secondo la classificazione COPERT e per ciclo di guida per il 2000.

In **appendice III** è riportata la serie storica 1990-2000 delle emissioni per tutti gli inquinanti, gas serra e metalli pesanti, aggregati secondo la classificazione SNAP di CORINAIR.

In **appendice IV** sono riportati i valori dei fattori di emissione stimati per la serie storica secondo la classificazione SNAP di CORINAIR in g/veic-km e g/kg di combustibile. **Infine per il 2000 nel dettaglio previsto dalla metodologia COPERT.**

In **appendice V** è riportato un quadro di insieme della suddivisione in categorie del parco circolante secondo l'adozione delle normative comunitarie.

Il database contenente i valori dei fattori di emissione di COPERT per il 2000 è disponibile in formato elettronico e consultabile nel sito internet APAT: <http://www.sinanet.apat.it/> nella pagina dedicata alle emissioni dell'area tematica "Aria".