

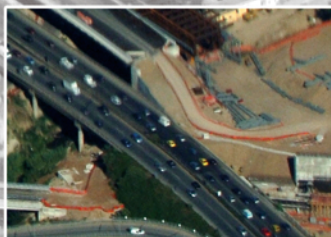


ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Trasporto su strada

**Inventario nazionale delle emissioni
e disaggregazione provinciale**



RAPPORTI



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

Trasporto su strada

Inventario nazionale delle emissioni e
disaggregazione provinciale

Informazioni legali

L'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

La Legge 133/2008 di conversione, con modificazioni, del Decreto Legge 25 giugno 2008, n. 112, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 195 del 21 agosto 2008, ha istituito l'ISPRA - Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale. L'ISPRA svolge le funzioni che erano proprie dell'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (ex APAT), dell'Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica (ex INFS) e dell'Istituto Centrale per la Ricerca scientifica e tecnologica Applicata al Mare (ex ICRAM).

© ISPRA, Rapporti 124/2010

ISBN 978-88-448-0466-4

Riproduzione autorizzata citando la fonte.

Elaborazione grafica

Franco Iozzoli

Foto di copertina

Paolo Orlandi

Coordinamento tipografico

Daria Mazzella

ISPRA – Settore Editoria

Amministrazione

Olimpia Girolamo

ISPRA - Settore Editoria

Distribuzione

Michelina Porcarelli

ISPRA - Settore Editoria

Autori

Antonella Bernetti, Riccardo De Lauretis, Gianluca Iarocci, Francesca Lena, Renato Marra Campanale, Ernesto Taurino

1 La stima dei dati di emissione da trasporto stradale a livello nazionale ed il modello Copert
Antonella Bernetti, Riccardo De Lauretis

2 Inventario provinciale
Francesca Lena, Renato Marra Campanale

3 Analisi dei risultati e confronto tra le tre metodologie di disaggregazione
Gianluca Iarocci, Ernesto Taurino

Un sentito ringraziamento a *Riccardo Liburdi* per il prezioso lavoro di review del rapporto.

Contatto: Riccardo De Lauretis
telefono +39 0650072543
fax +39 0650072657
e-mail riccardo.delauretis@isprambiente.it

ISPRA- Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
Dipartimento Stato dell'Ambiente e Metrologia Ambientale
Monitoraggio e prevenzione degli impatti sull'atmosfera
Via V. Brancati, 48 00144 Roma
www.isprambiente.it

Indice

Glossario e sigle.....	6
Legenda inquinanti.....	7
1 La stima dei dati di emissione da trasporto stradale a livello nazionale ed il modello Copert....	8
1.1 La metodologia di stima delle emissioni.....	13
1.1.1 Le emissioni allo scarico.....	15
1.1.2 Le emissioni evaporative	19
1.1.3 Le emissioni derivanti da usura di pneumatici e freni e da abrasione della strada (PM non exhaust).....	20
1.2 I dati di base utilizzati	22
1.3 L'applicazione del modello Copert alla redazione dell'inventario nazionale utilizzato per la disaggregazione top - down	25
1.3.1 La stima delle percorrenze e dei consumi per categoria veicolare	25
1.3.2 Le emissioni nazionali del trasporto su strada	33
1.3.2.1 Le emissioni di Monossido di carbonio	33
1.3.2.2 Le emissioni di Composti organici volatili	34
1.3.2.3 Le emissioni di Ossidi di azoto	35
1.3.2.4 Le emissioni di Materiale particolato.....	36
1.3.2.5 Le emissioni di Ammoniaca	37
1.4 Aspetti critici e aree di miglioramento.....	39
2 Inventario provinciale	40
2.1 Metodologia standard.....	42
2.2 Metodologia basata sulla flotta veicolare.....	43
2.2.1 Dati di base.....	43
2.2.2 Categoria buses	43
2.2.3 Veicoli commerciali pesanti.....	43
2.2.4 Descrizione della metodologia.....	45
2.3 Metodologia basata sul valore aggiunto per i veicoli commerciali	45
2.4 Rappresentazione spaziale della disaggregazione realizzata con metodologia standard...	46
2.5 Analisi di decomposizione della variazione delle emissioni	52
3 Analisi dei risultati e confronto tra le tre metodologie di disaggregazione	55
3.1 Analisi dei risultati e confronto qualitativo.....	55
3.2 Analisi statistica	64
3.2.1 Box plot e diagrammi a dispersione per l'intero parco veicolare	64
3.2.2 Test non parametrici per l'intero parco veicolare	71
3.2.3 Box plot e diagrammi a dispersione per i veicoli merci	72
3.2.4 Test non parametrici per i veicoli merci	77
4 Sintesi dei risultati.....	78
5 Riferimenti bibliografici	80
6 ALLEGATI.....	83

Glossario e sigle

ACI: Automobile Club d'Italia.

ADEME: Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (Agenzia per l'ambiente e per la gestione dell'energia).

AISCAT: Associazione Italiana Società Concessionarie Autostrade e Trafori.

ANCMA: Associazione Nazionale Ciclo Motociclo Accessori.

ASSTRA: Associazione Trasporti; è l'associazione datoriale nazionale delle aziende di trasporto pubblico locale in Italia, sia di proprietà degli enti locali che private.

Canister: Dispositivo antinquinamento consistente in un contenitore con filtro a carboni attivi che assorbe i vapori di benzina emessi impedendo il raggiungimento dell'atmosfera.

CLRTAP: Convention on Long Range Transboundary Air Pollution (Convenzione UNECE sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza), firmata a Ginevra nel 1979 ed entrata in vigore nel 1983 (successivamente ampliata da otto Protocolli).

CNIT: Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti, pubblicato annualmente dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

CNR: Consiglio Nazionale delle Ricerche.

CO₂ equivalente: Totale delle emissioni dei gas serra equiparate, in termini di potenziale di riscaldamento globale, alla CO₂ sulla base dell'ipotesi che l'effetto del metano (CH₄) sia equiparabile a 21 volte quello della CO₂, mentre quello del protossido di azoto N₂O sia equivalente a 310 volte quello della CO₂.

Confetra: Confederazione Generale Italiana dei Trasporti e della Logistica.

Copert: Computer programme to calculate emissions from road transport (programma per il calcolo delle emissioni provenienti dal traffico stradale), modello sviluppato dal LAT e finanziato dall'EEA nell'ambito delle attività dell'ETC/ACC.

CORINAIR: CORE INventory of AIR emissions; progetto realizzato dal 1995 dal centro tematico europeo sulle emissioni atmosferiche nell'ambito di un contratto con l'EEA.

EEA: European Environment Agency (Agenzia europea per l'ambiente), istituita dall'Unione europea nel 1993.

EMEP: Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmissions of air pollutants in Europe (programma cooperativo per il monitoraggio e la valutazione del trasporto a lunga distanza degli inquinanti atmosferici in Europa), legato alla Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza (CLRTAP).

ENEA: Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile.

EPT: Expert Panel Trasporti stradali; gruppo di esperti sulle emissioni da trasporto stradale.

ETC/ACC: European Topic Centre on Air and Climate Change (Centro tematico europeo sull'atmosfera ed i cambiamenti climatici), organismo nominato dall'EEA per lo svolgimento di attività sullo specifico argomento.

FAP: Filtro Anti Particolato, installato sull'impianto di scarico dei motori diesel.

Gpl: Gas di petrolio liquefatto.

HDT: Heavy Duty Trucks (veicoli commerciali pesanti).

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (gruppo intergovernativo di esperti sui cambiamenti climatici), istituito nel 1988 dalla WMO (World Meteorological Organisation) e dall'UNEP (United Nations Environment Programme) ai fini della valutazione dell'informazione scientifica, tecnica e socio-economica disponibile sui cambiamenti climatici.

ISTAT: Istituto nazionale di statistica.

LAT: Laboratory of Applied Thermodynamics (Laboratorio di Termodinamica Applicata) della Divisione Energia del Dipartimento di ingegneria meccanica, presso l'Università Aristotele di Salonicco, Grecia.

LDV: Light Duty Vehicles (veicoli commerciali leggeri).

NFR: Nomenclature for Reporting, è un sistema di classificazione sviluppato da UNECE TFEIP (United Nations Economic Commission for Europe - Task Force on Emission Inventories and Projections) per la comunicazione dei dati.

OMS: Organizzazione Mondiale della Sanità.

PC: Passenger Cars (automobili).

PM exhaust: Materiale particolato emesso allo scarico.

PM non exhaust: Materiale particolato derivante dall'usura di pneumatici e freni e dell'abrasione della strada.

Protocollo di Kyoto: Trattato internazionale che prevede obiettivi legalmente vincolanti sulle emissioni di gas serra per i Paesi industrializzati e per i Paesi ad economia in transizione; sottoscritto nel 1997 a conclusione della terza Conferenza delle parti (COP3) dell'Unfccc, è stato ratificato dall'Italia con la legge 120 del 01/06/2002 ed è entrato in vigore nel febbraio 2005.

QA/QC: Quality Assurance/Quality Control (assicurazione e controllo di qualità).

SNAP: Selected Nomenclature for sources of Air Pollution, nomenclatura sviluppata nell'ambito del progetto Corinair per la classificazione dei macrosettori, settori e attività fonte di emissione.

UNECE: United Nations Economic Commission for Europe (Commissione economica delle Nazioni Unite per l'Europa) istituita nel 1947 da ECOSOC (United Nations Economic and Social Council).

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change (Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici), ratificata dall'Italia con la legge 65 del 15/01/1994; è il principale accordo internazionale relativo ai cambiamenti climatici.

Legenda inquinanti

C₆H₆	Benzene
Cd	Cadmio
CH₄	Metano
CO	Monossido di carbonio
CO₂	Diossido di carbonio o anidride carbonica
COV	Composti organici volatili
COVNM	Composti organici volatili non metanici
Cr	Cromo
Cu	Rame
HCB	Esaclorobenzene
HM	Heavy Metals (metalli pesanti)
IPA	Idrocarburi policiclici aromatici
N₂O	Protossido di azoto
NH₃	Ammoniaca
Ni	Nichel
NO	Monossido di azoto
NO₂	Biossido di azoto
NO_x	Ossidi di azoto
Pb	Piombo
PCDD	policloro-dibenzo-p-diossine
PCDF	policloro dibenzo furani
PM_{2,5}	Materiale particolato formato da particelle con diametro inferiore a 2,5 µm
PM₁₀	Materiale particolato formato da particelle con diametro inferiore a 10 µm
POP	Persistent Organic Pollutants (inquinanti organici persistenti)
Se	Selenio
SO₂	Diossido di zolfo
Zn	Zinco

1 La stima dei dati di emissione da trasporto stradale a livello nazionale ed il modello Copert

L'elaborazione dei dati sul trasporto nazionale su strada viene effettuata annualmente ai fini dell'aggiornamento dell'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera. I dati di emissione comunicati costituiscono la fonte ufficiale di riferimento a livello internazionale, in ragione del ruolo di Ispra come responsabile della realizzazione annuale dell'inventario nazionale delle emissioni in atmosfera, strumento di verifica degli impegni assunti a livello internazionale sulla protezione dell'ambiente atmosferico, come la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC), il Protocollo di Kyoto, la Convenzione di Ginevra sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero (UNECE-CLRTAP), le Direttive europee sulla limitazione delle emissioni. L'inventario nazionale, comunicato nel 2010, è relativo alla serie storica dal 1990 al 2008.

La consistente domanda di mobilità di persone e merci su strada rende rilevante il problema dell'inquinamento da trasporti stradali soprattutto in considerazione dell'impatto sulle aree urbane, relativamente ad inquinanti quali il monossido di carbonio, i composti organici volatili (in particolare benzene), gli ossidi di azoto ed il particolato; inoltre il contributo alle emissioni di gas serra risulta particolarmente gravoso per le emissioni di anidride carbonica. Pur essendo in atto una graduale sostituzione dei vecchi veicoli in favore degli ultimi modelli dotati delle più recenti tecnologie di abbattimento delle emissioni, la crescita del parco circolante, delle relative percorrenze e quindi dei consumi, hanno come conseguenza una produzione di emissioni che contribuisce in modo consistente al totale delle emissioni nazionali. Dall'analisi della serie storica dei dati sul trasporto emerge una costante crescita della domanda di mobilità e del contributo del traffico stradale dal 1990 al 2007, mentre nel 2008 si assiste ad una decrescita.

Il settore del trasporto stradale produce un forte contributo alle emissioni totali nazionali: ad esempio nel 2008, le emissioni di monossido di carbonio, composti organici volatili non metanici, ossidi di azoto, materiale particolato inferiore ai 10 μm (PM_{10}) e materiale particolato inferiore ai 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), costituiscono rispettivamente il 43,2%, 26,5%, 51,8%, 23,5% e 26,0% del totale.

Considerando invece i gas serra anidride carbonica, metano e protossido di azoto, i contributi del settore dei trasporti stradali al totale nel 2008 sono rispettivamente: 24,3%, 0,8% e 3,3%; il contributo complessivo in termini di anidride carbonica equivalente è pari al 21,3%. La Figura 1 illustra la relazione tra la composizione del parco circolante italiano e le emissioni inquinanti prodotte nel 2008.

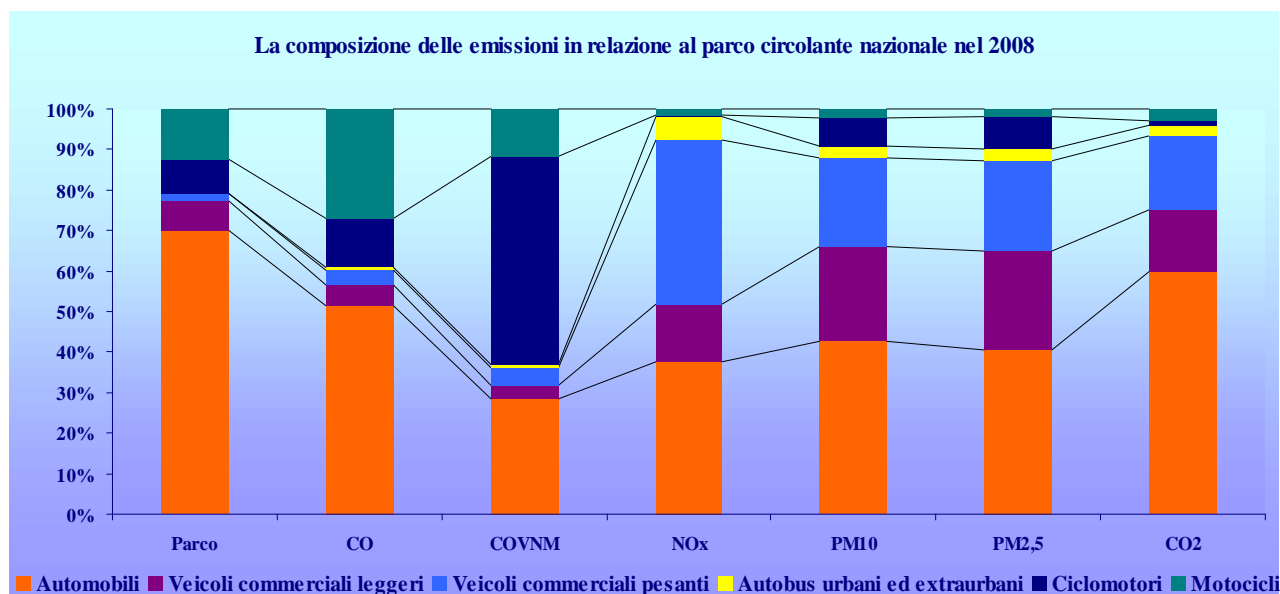


Figura 1 - La composizione delle emissioni in relazione al parco circolante nazionale nel 2008

Le automobili, che costituiscono gran parte del parco circolante nazionale (70,1%), sono responsabili delle quote maggiori di emissioni di monossido di carbonio (51,3%), particolato (42,7% e 40,7% rispettivamente del PM₁₀ e PM_{2,5} totali) ed anidride carbonica (59,8%). Si noti che i ciclomotori, che rappresentano l'8,4% del parco, sono responsabili del 51,5% delle emissioni di composti organici volatili non metanici. Ai veicoli commerciali pesanti, che costituiscono l'1,9% della numerosità totale, va invece attribuito il contributo maggiore alle emissioni di ossidi di azoto (40,7%). I motocicli (12,2% del parco) emettono prevalentemente monossido di carbonio (26,9% del totale emesso) e composti organici volatili non metanici (11,6% del totale emesso). Ai veicoli commerciali leggeri (7,3% del parco) sono imputabili prevalentemente emissioni di particolato (23,5% e 24,4% rispettivamente del totale emesso di PM₁₀ e PM_{2,5}), anidride carbonica (15,3% del totale emesso) e ossidi di azoto (14,0% del totale). Infine autobus e pullman, nonostante la numerosità esigua (0,2%) rispetto al totale del parco circolante, sono responsabili del 5,9% degli ossidi di azoto totali.

Di seguito viene analizzato il contributo dell'inquinamento proveniente dal settore dei trasporti stradali in relazione alle altre fonti emissive presenti sul territorio nazionale per gli inquinanti: monossido di carbonio, composti organici volatili non metanici (il metano derivante dal trasporto stradale ha un peso esiguo rispetto al totale emesso sul territorio nazionale dagli altri macrosettori di attività, in particolare agricoltura e trattamento e smaltimento rifiuti), ossidi di azoto, materiale particolato inferiore ai 10 µm ed ai 2,5 µm ed anidride carbonica, con riferimento all'inventario comunicato nel 2010.

La Figura 2 illustra la componente emissiva dei trasporti stradali per i predetti inquinanti sul totale delle emissioni del 2008, in relazione ai contributi emissivi degli altri macrosettori, ad eccezione delle "Altre sorgenti di emissione ed assorbimenti".

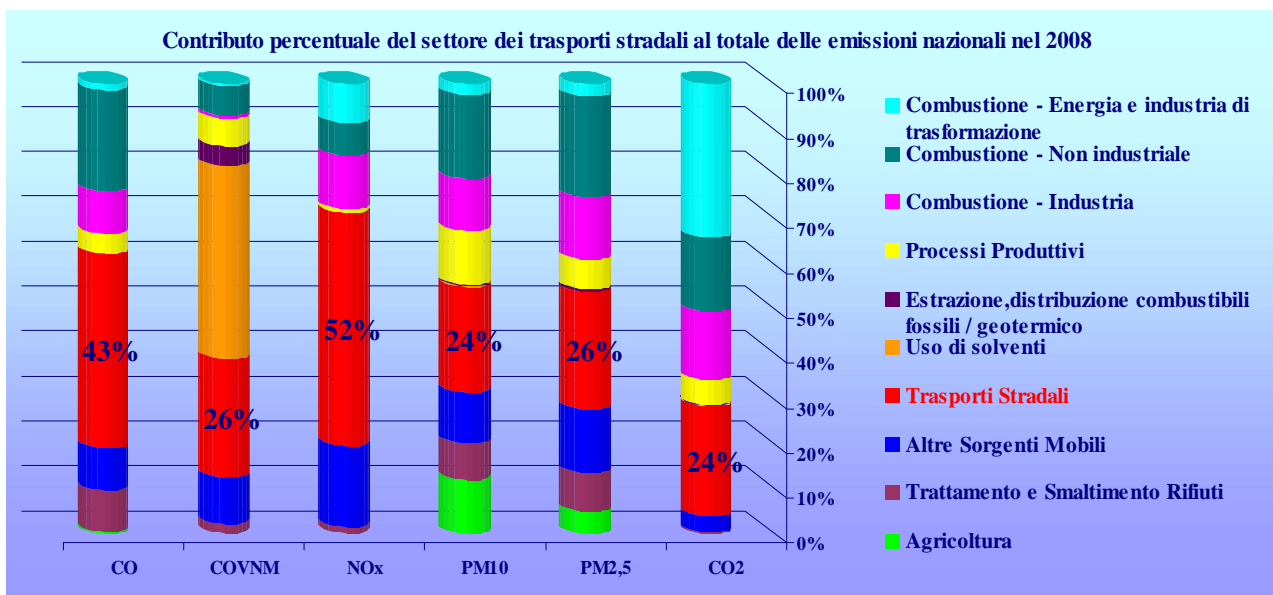


Figura 2 - Contributo percentuale del settore dei trasporti stradali al totale delle emissioni nazionali nel 2008

Dall'analisi dei valori si evince la preponderanza delle emissioni provenienti dai trasporti stradali rispetto al resto delle attività presenti sul territorio nazionale per il monossido di carbonio, gli ossidi di azoto ed il particolato; il contributo alle emissioni totali di composti organici volatili non metanici ed anidride carbonica, comunque consistente, rimane inferiore, nel caso dei primi, a quello proveniente dall'uso dei solventi e nel caso dell'anidride carbonica a quello derivante dalla combustione nel settore energetico e nell'industria di trasformazione.

Viene di seguito illustrato l'andamento dei valori delle emissioni dal 1990 al 2008 per inquinante e macrosettore di attività. In tal modo viene rappresentata l'evoluzione temporale del contributo

emissivo del settore dei trasporti stradali in relazione all'evoluzione dei valori di emissione provenienti dagli altri macrosettori presenti sul territorio nazionale.

Dalla Figura 3, che illustra l'evoluzione temporale delle emissioni nazionali di monossido di carbonio, si evince che nonostante la riduzione maggiore riscontrabile dal 1990 delle emissioni interessi il traffico stradale (-76,6%), questo ne rappresenta tuttora la fonte principale (43,2% del totale nel 2008). Le emissioni da traffico stradale, infatti, nel 1990, rappresentano il 77,9% del totale emesso a livello nazionale e dopo una crescita fino al raggiungimento del massimo nel 1992, intraprendono un trend decrescente fino a diminuire, nel corso dell'ultimo anno, del 10,4%. La diminuzione risulta imputabile all'ingresso nel mercato di modelli dotati di nuove tecnologie in grado di limitare le emissioni, fenomeno cui comunque si contrappone un forte aumento della numerosità del parco e delle percorrenze totali.

Si noti come le emissioni provenienti da tutti macrosettori mostrino una generale tendenza alla decrescita, ad eccezione di quelle generate dalla combustione non industriale, che nel 2008 costituisce, dopo il trasporto, la sorgente più incisiva.

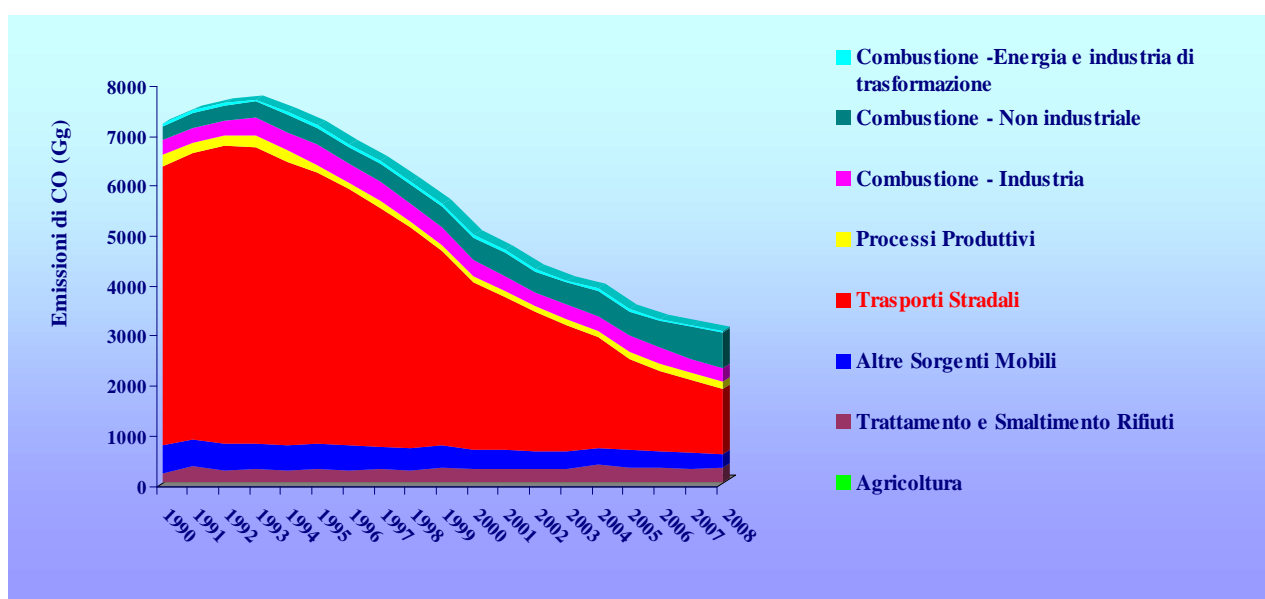


Figura 3 - Serie storica delle emissioni di CO (Gg) per macrosettor di attività dal 1990 al 2008

Le emissioni di composti organici volatili non metanici vengono rappresentate in Figura 4. Le emissioni generate dai veicoli su strada, registrando un aumento nei primi anni novanta, in cui costituiscono la fonte emissiva maggiore (raggiungono il massimo nel 1993), iniziano poi a diminuire fino al 2008 (anno in cui le emissioni rappresentano il 26,5% del totale), mostrando dal 1990 la maggiore decrescita rispetto alle altre fonti emissive, pari al 69,2%. Le motivazioni dell'abbattimento delle emissioni vanno ricercate nel rinnovo del parco veicolare, quindi nell'introduzione di nuove tecnologie, che hanno ad esempio permesso di ridurre le emissioni evaporative, rilevanti per i veicoli alimentati a benzina. Le emissioni evaporative, sensibili alle variazioni di temperatura ed alla pressione di vapore esercitata dal combustibile, sono state ridotte consistentemente con l'introduzione del canister. In tal modo, negli anni più recenti, nonostante il forte contributo emissivo dei trasporti stradali, le attività legate all'uso di solventi si configurano come la fonte di emissione avente il contributo maggiore.

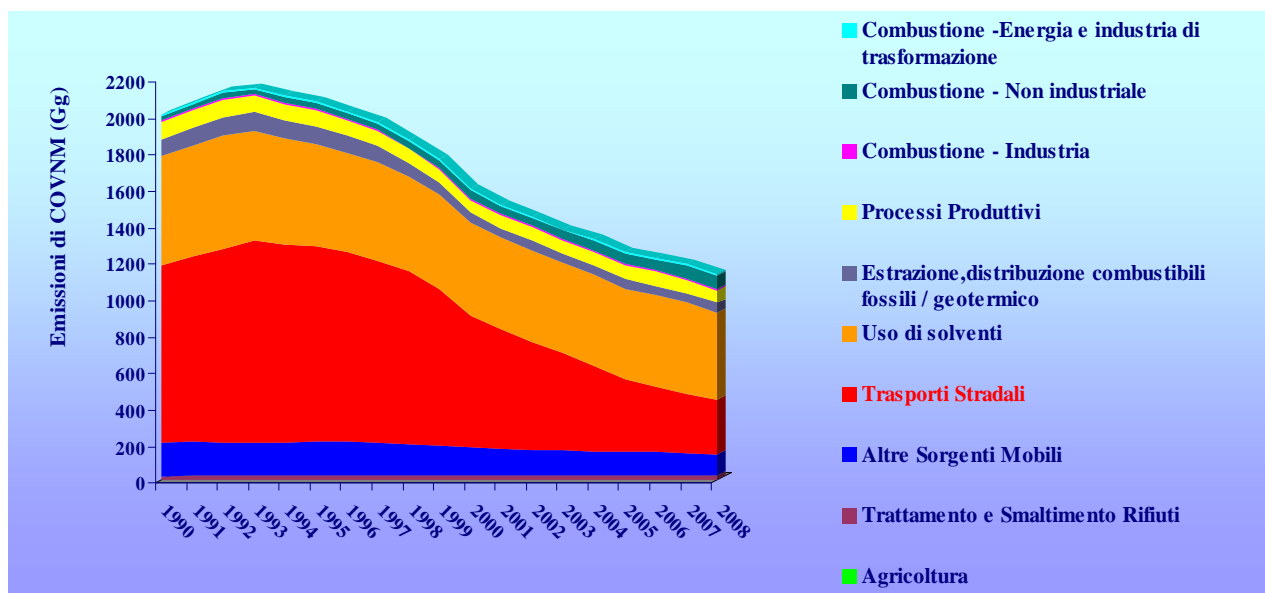


Figura 4 - Serie storica delle emissioni di COVNM (Gg) per macrosettore di attività dal 1990 al 2008

Le emissioni nazionali di ossidi di azoto, rappresentate in Figura 5, mostrano una generale riduzione dal 1990, fortemente condizionata dalla riduzione riscontrabile nel macrosettore dei trasporti stradali (-42,8%) che ne rappresenta la fonte principale (51,8% del totale emesso nel 2008). Anche in tal caso l'introduzione nel mercato di veicoli stradali dotati di nuove tecnologie ha permesso l'abbattimento delle emissioni, anche se in parte compensato dall'aumento delle percorrenze e del parco veicolare .

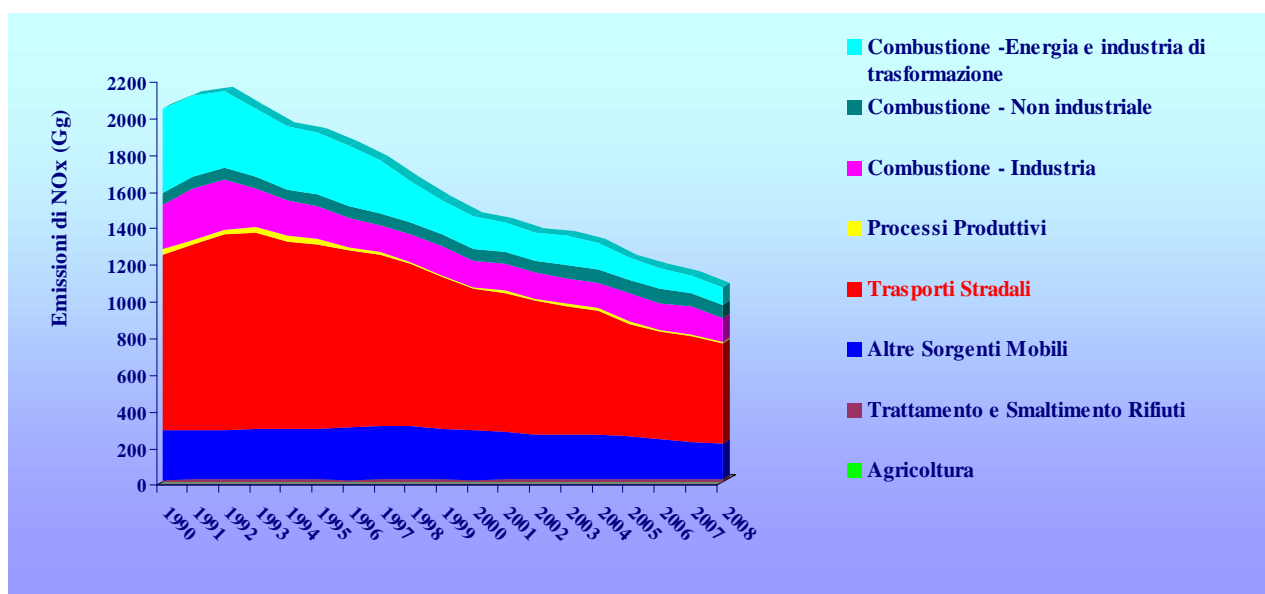


Figura 5 - Serie storica delle emissioni di NO_x (Gg) per macrosettore di attività dal 1990 al 2008

Le emissioni di particolato inferiore ai 10 µm ed ai 2,5 µm, rappresentate rispettivamente in Figura 6 e Figura 7, mostrano una generale tendenza alla diminuzione (le emissioni derivanti da trasporto stradale dal 1990 si riducono nel caso del PM₁₀ del 36,3% e nel caso del PM_{2,5} del 40,1%). Il trasporto stradale, che costituisce la maggiore fonte di emissione, emette quote pari al 23,5% del PM₁₀ totale nazionale ed al 26,0% del PM_{2,5} totale nazionale. L'adozione di migliori tecnologie e la dotazione di dispositivi antiparticolato per i modelli più recenti di veicoli diesel spiega l'abbattimento delle emissioni.

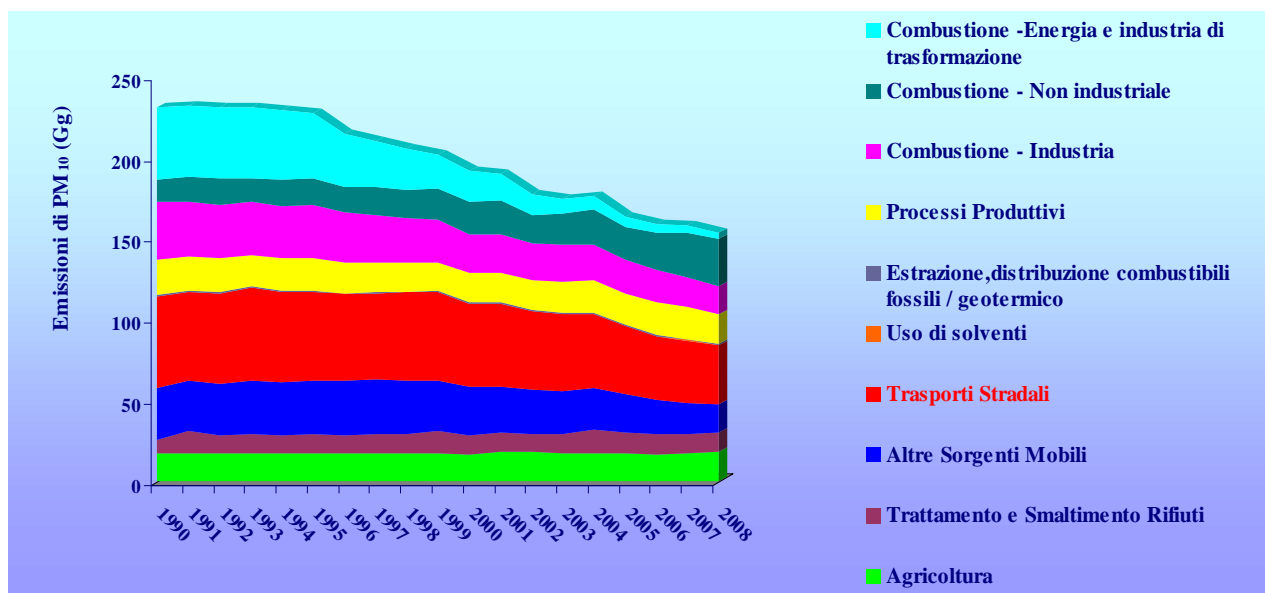


Figura 6 - Serie storica delle emissioni di PM₁₀ (Gg) per macrosettore di attività dal 1990 al 2008

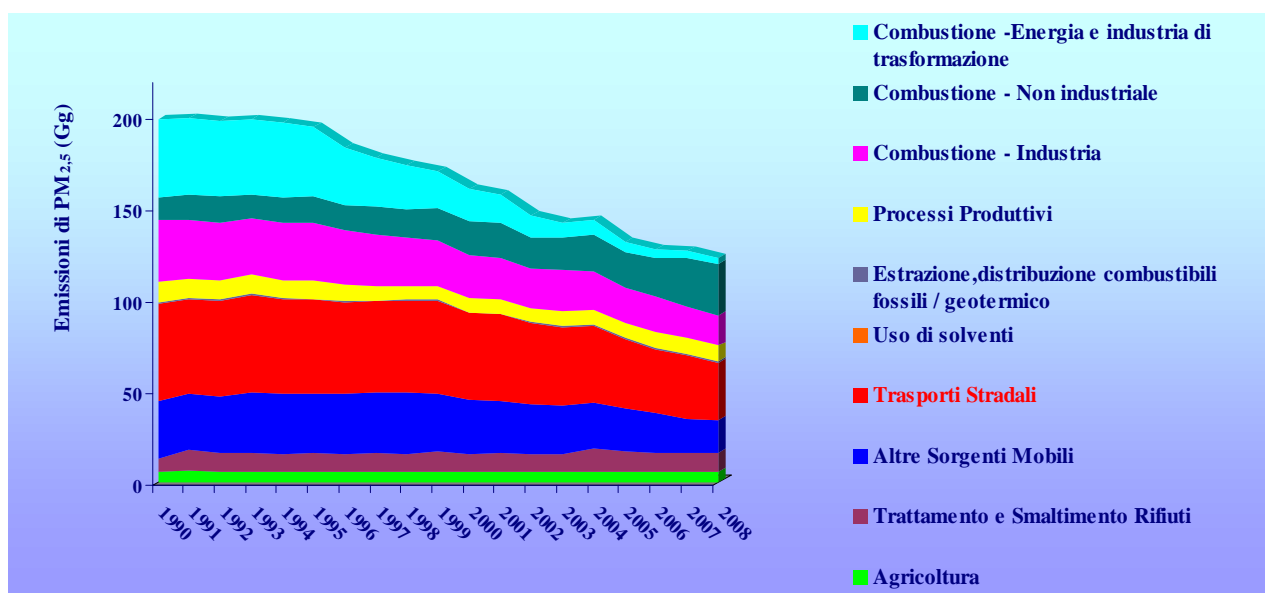


Figura 7 - Serie storica delle emissioni di PM_{2,5} (Gg) per macrosettore di attività dal 1990 al 2008

Viene infine illustrato l'andamento delle emissioni di anidride carbonica (Figura 8), il principale gas ad effetto serra, rilevante a livello nazionale ai fini della verifica del rispetto di impegni assunti a livello internazionale come la Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC) ed il Protocollo di Kyoto.

Le emissioni, caratterizzate da un trend crescente ed imputabili a livello nazionale principalmente alla combustione nel settore energetico e nell'industria di trasformazione, derivano per una quota consistente anche dal traffico stradale (24,3% del totale nel 2008). Essendo stimate sulla base del consumo di combustibile, le emissioni derivanti dal trasporto stradale registrano dal 1990 l'incremento maggiore (+22,0%), nonostante una riduzione registrata nel corso dell'ultimo anno pari al 4,0%. Il trasporto stradale si configura quindi come seconda fonte di emissione a livello nazionale.

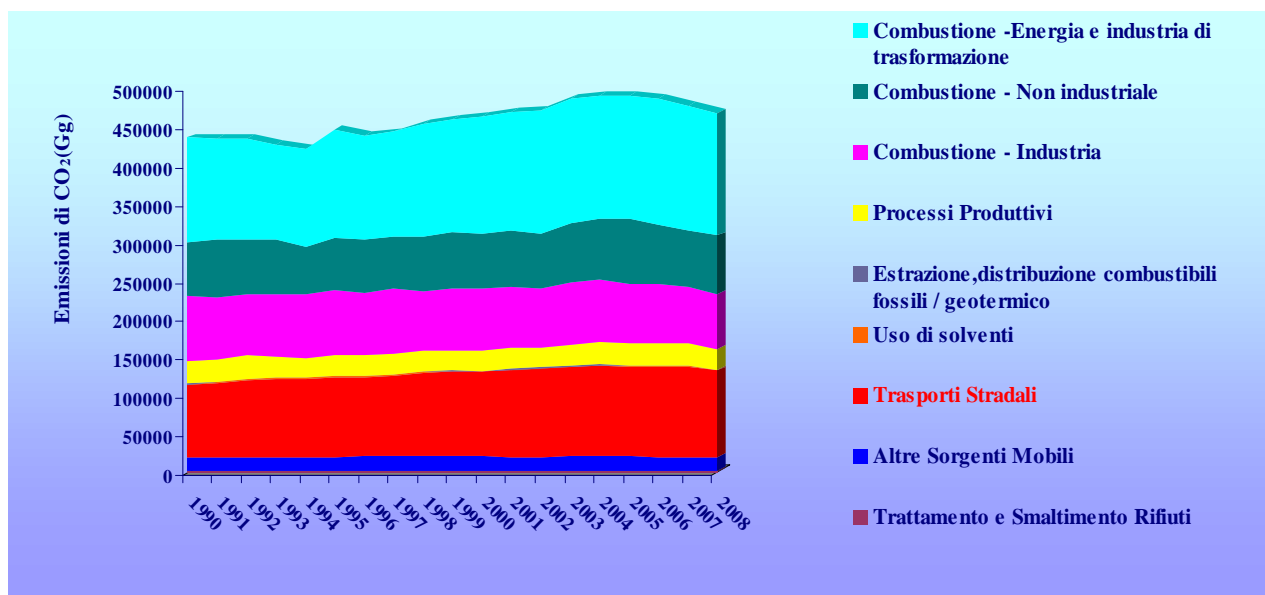


Figura 8 - Serie storica delle emissioni di CO₂ (Gg) per macrosettore di attività dal 1990 al 2008

1.1 La metodologia di stima delle emissioni

Ai fini della stima dell'inquinamento da traffico stradale, è stata sviluppata una metodologia nazionale in accordo con le Guidelines e Good Practice Guidance IPCC ([23], [24], [25]) e l'EMEP/EEA air pollutant Emission Inventory Guidebook del 2009 [15].

Viene utilizzato il modello Copert (Computer Programme to calculate emissions from road transport) [13], il cui sviluppo tecnico viene supportato dall'Agenzia europea dell'ambiente nell'ambito delle attività dello ETC/ACC (European Topic Centre on Air and Climate Change); la metodologia alla base del modello è riportata nel Guidebook EMEP/CORINAIR sugli inventari delle emissioni, sviluppato dalla task force UNECE sugli inventari delle emissioni e proiezioni. L'utilizzo di uno strumento e di una metodologia comune ha come obiettivo il conseguimento delle proprietà di trasparenza, completezza, accuratezza, coerenza, confrontabilità e comparabilità delle stime prodotte dai vari Paesi, nell'ambito delle procedure di reporting previste da Convenzioni e Protocolli internazionali e dalla legislazione dell'Unione europea.

Per la comunicazione dei dati nel 2010 è stata utilizzata la versione 7.1 del software Copert 4, che risale al mese di marzo dello stesso anno [13].

Il modello, sulla base dei dati di input inseriti, fornisce, distintamente per categoria veicolare e ambito urbano, extraurbano ed autostradale, le stime delle emissioni di CO, COV, COVNM, CH₄, NO_x, NH₃, PM_{2.5}, PM₁₀, PM exhaust (i fattori di emissione da combustione del materiale particolato si riferiscono a particelle di dimensione inferiore a 2,5 µm, cioè implicitamente si assume che la frazione PM_{2.5-10} sia trascurabile), CO₂, SO₂, metalli pesanti, la speciazione di NO_x in NO e NO₂, la speciazione in carbonio elementare e materia organica del PM, la speciazione dei COVNM. Per subsettore veicolare le emissioni da combustione vengono inoltre disaggregate tra emissioni a freddo ed a caldo e per i COVNM viene fornita la quota di emissioni evaporative.

In Tabella 1 vengono illustrate le diverse classi veicolari, così come riportate dalla versione 2009 dell'EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook, secondo i codici NFR, SNAP e secondo la classificazione UNECE.

Tabella 1 - Diverse classificazioni delle categorie veicolari (EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2009)

NFR Code	SNAP-like code	Vehicle category	UNECE Classification
1.A.3.b.i	07 01	PASSENGER CARS	M1: vehicles used for the carriage of passengers and comprising not more than eight seats in addition to the driver's seat.
	07 01 01	Gasoline < 1.4 l	
	07 01 02	Gasoline 1.4–2.0 l	
	07 01 03	Gasoline > 2.0 l	
	07 01 04	Diesel < 2.0 l	
	07 01 05	Diesel > 2.0 l	
	07 01 06	LPG	
	07 01 07	Two-stroke gasoline	
	07 01 08	Hybrids	
1.A.3.b.ii	07 02	LIGHT-DUTY VEHICLES < 3.5 t	N1: vehicles used for the carriage of goods and having a maximum weight not exceeding 3.5 tonnes.
	07 02 01	Gasoline	
	07 02 02	Diesel	
1.A.3.b.iii	07 03	HEAVY-DUTY VEHICLES	N2: vehicles used for the carriage of goods and having a maximum weight exceeding 3.5 tonnes but not exceeding 12 tonnes. N3: vehicles used for the carriage of goods and having a maximum weight exceeding 12 tonnes. M2: vehicles used for the carriage of passengers and comprising more than eight seats in addition to the driver's seat, and having a maximum weight not exceeding 5 tonnes. M3: vehicles used for the carriage of passengers and comprising more than eight seats in addition to the driver's seat, and having a maximum weight exceeding 5 tonnes.
	07 03 01	Gasoline	
	07 03 02	Diesel < 7.5 t	
	07 03 03	Diesel 7.5–16 t	
	07 03 04	Diesel 16–32 t	
	07 03 05	Diesel > 32 t	
	07 03 06	Urban buses	
	07 03 07	Coaches	
1.A.3.b.iv	07 04	MOPEDS and MOTORCYCLES < 50 cm ³	L1: two-wheeled vehicles with an engine cylinder capacity not exceeding 50 cm ³ and a maximum design speed not exceeding 40 km/h. L2: three-wheeled vehicles with an engine cylinder capacity not exceeding 50 cm ³ and a maximum design speed not exceeding 40 km/h. L3: two-wheeled vehicles with an engine cylinder capacity exceeding 50 cm ³ or a design speed exceeding 40 km/h. L4: vehicles with three wheels asymmetrically arranged in relation to the longitudinal median axis, with an engine cylinder capacity exceeding 50 cm ³ or a design speed exceeding 40 km/h (motor cycles with sidecar). L5: vehicles with three wheels symmetrically arranged in relation to the longitudinal median axis, with a maximum weight not exceeding 1 000 kg and either an engine cylinder capacity exceeding 50 cm ³ or a design speed exceeding 40 km/h (motor cycles with sidecar).
	07 05	MOTORCYCLES	
	07 05 01	Two stroke > 50 cm ³	
	07 05 02	Four stroke > 50 cm ³	
	07 05 03	Four stroke 50–250 cm ³	
	07 05 04	Four stroke 250–750 cm ³	
	07 05 05	Four stroke > 750 cm ³	

Le emissioni annuali da traffico stradale per inquinante, per categoria di fonte emissiva Corinair e per tipologia di strada, vengono stimate sulla base di variabili riguardanti il combustibile, quali consumi e parametri specifici, di dati di attività per tipologia veicolare e standard legislativo, quali

numerosità del parco e percorrenze, velocità medie e distribuzione del tipo di guida sui tre cicli urbano, extraurbano ed autostradale, parametri riguardanti il processo di evaporazione, dati climatici, informazioni su lunghezza e durata del viaggio medio nel Paese oggetto di studio. A partire dai dati inseriti come input per la stima delle emissioni finali, in una fase di elaborazione intermedia vengono calcolati fattori di emissione distintamente per le emissioni a caldo, a freddo e per le evaporative, per categoria veicolare e per tipologia di strada e le percentuali di percorrenza a freddo per mese e categoria veicolare.

Vengono in tale sede riportati alcuni elementi metodologici, tratti dall'EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook, su cui si basa il modello utilizzato ai fini delle stime delle emissioni inquinanti da trasporto stradale nell'ambito dell'aggiornamento all'anno 2008 dell'inventario nazionale; si rimanda allo stesso Guidebook per approfondimenti e per gli argomenti qui non trattati [15].

Vengono dapprima affrontate le emissioni allo scarico, quindi le emissioni evaporative ed infine le emissioni derivanti dall'usura di pneumatici e freni e dall'abrasione della strada (queste ultime non ancora incluse nel modello di calcolo).

1.1.1 Le emissioni allo scarico

Il calcolo delle emissioni inquinanti viene effettuato sulla base dei fattori di emissione calcolati per i modelli dei veicoli più diffusi e sistematicamente utilizzati, distinguendo a seconda della tipologia del veicolo, dell'alimentazione, della cilindrata del motore o della classe di peso, dello standard legislativo. La legislazione europea si occupa infatti dagli anni settanta dei controlli sui veicoli stradali, classificandoli a seconda dello standard legislativo che rispettano. Gli standard introdotti, più stringenti col passare degli anni, fanno sì che i veicoli più moderni emettano quantità molto inferiori rispetto ai veicoli più vecchi degli inquinanti regolamentati CO, NO_x e idrocarburi totali (THC).

Il metodo di calcolo delle emissioni allo scarico si differenzia sulla base dell'individuazione di quattro gruppi di inquinanti.

Per i primi due gruppi si utilizzano metodologie dettagliate che portano a dati di emissione qualitativamente soddisfacenti.

Il **primo gruppo** comprende: CO, NO_x, COV, CH₄, COVNM, N₂O, NH₃ e PM. Per questi inquinanti si ricorre a fattori di emissione specifici legati alle differenti condizioni del motore ed ai cicli di guida urbano, extraurbano ed autostradale.

Il **secondo gruppo** include: CO₂, SO₂, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Se, Zn. Le emissioni di questi inquinanti vengono stimate sulla base dei consumi di combustibile.

Per il **terzo gruppo** di inquinanti, comprendente IPA, PCDD/PCDF e gli altri inquinanti organici persistenti (POP), non si dispone di dati dettagliati e si ricorre quindi ad una metodologia semplificata.

Infine il **quarto gruppo** include inquinanti (alcani, alcheni, alchini, aldeidi, chetoni, cicloalcani e composti aromatici) ottenuti come frazione delle emissioni totali di COVNM, assumendo che la frazione dei COVNM residui siano IPA.

Nell'EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2009 vengono proposti fondamentalmente tre approcci metodologici alla stima delle emissioni allo scarico: il Tier 1, applicabile nel caso in cui si disponga solamente di statistiche sui combustibili, in modo tale che i dati di attività possano essere combinati anche con fattori di emissione di default; il Tier 2, applicabile nel caso di disponibilità dei dati sulle percorrenze per tecnologia dei veicoli, o nel caso queste possano essere stimate; il Tier 3, utilizzabile nel caso si disponga di dati sulle percorrenze e sulle velocità medie per modalità di guida e tecnologia dei veicoli.

Il Tier 3 è la metodologia più dettagliata, consigliata nel caso sia disponibile una base dati più ampia ed accurata, applicata nel presente studio in quanto implementata nel modello Copert 4.

Le emissioni totali vengono calcolate come somma delle emissioni a caldo, prodotte dal motore quando è stata raggiunta la temperatura di regime, e le emissioni a freddo, prodotte nella fase di riscaldamento. Il differente approccio metodologico è giustificato dalle differenti prestazioni dei veicoli nelle due fasi.

La produzione delle emissioni risulta inoltre strettamente legata alla modalità di guida, differenziandosi, sia a livello di dati di attività che di fattori di emissione, a seconda che si circoli in ambito urbano (in cui si assume che ricada la quasi totalità delle emissioni a freddo), extraurbano ed autostradale.

Si assume quindi che le emissioni totali E_T vengano espresse dalla seguente formula:

$$E_T = E_C + E_F = E_U + E_E + E_A,$$

in cui E_C ed E_F rappresentano rispettivamente le emissioni a caldo ed a freddo ed E_U , E_E , E_A rispettivamente le emissioni relative all'ambito urbano, extraurbano ed autostradale.

Diversi fattori concorrono alla determinazione delle **emissioni a caldo** quali la distanza percorsa, la velocità o la tipologia di strada, l'età del veicolo, la cilindrata ed il peso.

Con riferimento ad un dato periodo temporale, indicando con $fe_{C;i,t,s}$ il fattore di emissione a caldo (espresso in g/km) relativo all'inquinante i (primo e terzo gruppo suddetti), alla tecnologia veicolare t ed alla tipologia di strada s, con N_t il numero di veicoli circolanti dotati della tecnologia t, con $P_{t,s}$ le percorrenze (esprese in km/ veicolo) effettuate dal veicolo dotato della tecnologia t sulla tipologia di strada s, l'emissione a caldo $E_{C;i,t,s}$ relativa all'inquinante i, alla tecnologia t ed alla tipologia di strada s, è data da (la stessa formula può essere utilizzata per il calcolo dei consumi introducendo un'ulteriore differenziazione per le varie tipologie di combustibili utilizzati):

$$E_{C;i,t,s} = N_t * P_{t,s} * fe_{C;i,t,s}.$$

Il fattore di emissione è una funzione della velocità del veicolo, che viene introdotta attraverso i tre cicli di guida ed ha un'influenza determinante sulle emissioni allo scarico.

Un approccio semplificato consiste nell'utilizzare, ai fini della determinazione dei fattori di emissione, valori medi della velocità rappresentativi di ciascun ciclo di guida.

Il fattore di emissione può essere altrimenti ottenuto integrando sulle curve di distribuzione della velocità media; il miglioramento derivante dall'utilizzo di questo secondo approccio non è tuttavia quantificabile, data l'incertezza insita nella stima del fattore di emissione. Indicando con V la velocità dei veicoli in ambito urbano, extraurbano ed autostradale, con $fe(V)$ l'espressione della dipendenza di $fe_{C;i,t,s}$ dalla velocità, con $f_{t,s}(V)$, funzione della tecnologia t e della tipologia di strada s, la curva, corrispondente alla migliore interpolazione, che descrive la distribuzione di frequenze delle velocità medie relativamente ai cicli di guida urbano, extraurbano ed autostradale, si ottiene:

$$fe_{C;i,t,s} = \int [fe(V) * f_{t,s}(V)] dV.$$

Le **emissioni a freddo** vengono principalmente attribuite all'ambito urbano ed in secondo luogo a quello extraurbano, assumendo che il numero delle partenze dall'autostrada sia limitato. Altre semplificazioni metodologiche consistono nell'attribuirle solo alle automobili ed ai veicoli commerciali leggeri, che si ipotizza in tal caso abbiano le stesse prestazioni, ed a non considerarle funzioni dell'età dei veicoli.

Dipendono dal numero di km guidati con il motore freddo e quindi variano a seconda del Paese oggetto di studio, poiché le condizioni climatiche ed il comportamento di guida influiscono sul tempo necessario al riscaldamento del motore e/o del catalizzatore.

Indicando con $\beta_{i,t}$ la distanza percorsa con il motore freddo o con il catalizzatore che non ha ancora raggiunto la temperatura di esercizio con riferimento all'inquinante i ed alla tecnologia t (nella pratica, la metodologia lega i parametri β alle temperature medie mensili ed alla lunghezza media del tragitto percorso, che di default per i Paesi europei si assume pari a 12 km), con N_t il numero di veicoli circolanti dotati della tecnologia t , con P_t le percorrenze (esprese in km/ veicolo) effettuate dai veicoli dotati della tecnologia t , con $e^f / e^c \Big|_{i,t}$ il rapporto tra le emissioni a freddo e a caldo per l'inquinante i ed i veicoli dotati della tecnologia t (il rapporto è legato anche alla temperatura ambiente), con $fe_{C;i,t}$ il fattore di emissione a caldo relativo all'inquinante i ed alla tecnologia veicolare t , l'emissione a freddo $E_{F;i,t}$ nel periodo temporale di studio dell'inquinante i prodotta dal veicolo di tecnologia t , è data da:

$$E_{F;i,t} = \beta_{i,t} * N_t * P_t * fe_{C;i,t} * (e^f / e^c \Big|_{i,t} - 1).$$

L'applicazione di vincoli più stringenti sulle emissioni dei veicoli catalizzati a benzina ha avuto come conseguenza, dal punto di vista tecnico, l'accorciamento dei tempi di raggiungimento della temperatura di esercizio per il catalizzatore, quindi la riduzione della distanza percorsa in condizioni di avviamento a freddo, in tal senso i parametri β si legano anche alla normativa vigente.

Nel caso in cui la distanza percorsa in condizioni di motore freddo superi la quota di percorrenze assegnate all'ambito urbano, la parte residua delle emissioni a freddo viene attribuita all'ambito extraurbano. Tale caso, poco frequente, si può verificare quando si adotta un valore basso per la lunghezza media del tragitto. In simboli, se si verifica la condizione:

$$\beta_{i,t} > Q_U,$$

dove Q_U è la quota di percorrenze assegnate all'ambito urbano, ciò implica che le emissioni a freddo dell'inquinante i per i veicoli dotati della tecnologia t , rispettivamente per l'ambito urbano ($E_{FU;i,t}$) ed extraurbano ($E_{FE;i,t}$), siano espresse da:

$$E_{FU;i,t} = Q_{U;t} * N_t * P_t * fe_{CU;i,t} * (e^f / e^c \Big|_{i,t} - 1),$$

$$E_{FE;i,t} = (\beta_{i,t} - Q_{U;t}) * N_t * P_t * fe_{CU;i,t} * (e^f / e^c \Big|_{i,t} - 1),$$

dove $Q_{U;t}$ è la quota di percorrenze effettuate in ambito urbano dai veicoli dotati della tecnologia t , N_t il numero di veicoli circolanti dotati della tecnologia t , P_t le percorrenze effettuate dai veicoli dotati della tecnologia t , $fe_{CU;i,t}$ il fattore di emissione a caldo relativo all'ambito urbano per l'inquinante i e la tecnologia veicolare t (poiché si ipotizza che le emissioni a freddo non si differenzino a seconda del luogo di emissione, viene utilizzato lo stesso fattore per entrambe le equazioni), $e^f / e^c \Big|_{i,t}$ il rapporto tra le emissioni a freddo e a caldo per l'inquinante i ed i veicoli dotati della tecnologia t , $\beta_{i,t}$ la distanza percorsa con il motore freddo o con il catalizzatore che non ha ancora raggiunto la temperatura di esercizio con riferimento all'inquinante i ed alla tecnologia t .

Per il protossido di azoto, l'ammoniaca ed il metano, la metodologia contempla emissioni urbane a freddo, urbane a caldo, extraurbane ed autostradali, che si ottengono dalla modifica delle espressioni precedenti distinguendo i casi se le percorrenze effettuate con il motore a temperatura non a regime siano o meno maggiori della quota di percorrenze attribuite all'ambito urbano.

Secondo una differente logica viene effettuata la stima delle **emissioni degli inquinanti dipendenti dal consumo di combustibile**.

I dati di consumo dei vari combustibili vengono desunti dalle statistiche ufficiali nazionali a livello aggregato e quindi stimati nel dettaglio delle categorie veicolari; la stima delle emissioni che si ottiene sulla base di tali valori stimati di consumo comporta un errore di approssimazione rispetto al valore statistico del consumo totale di combustibile, cui si ovvia applicando a valle una procedura di correzione.

Il valore di emissione corretto $E_{i,t,k}^{Corr}$ riferito all'inquinante i (SO_2 e metalli pesanti) ed ai veicoli dotati della tecnologia t che utilizzano il combustibile k , si ottiene come:

$$E_{i,t,k}^{Corr} = E_{i,t,k}^{Calc} * \frac{FC_k^{Stat}}{\sum_t FC_{t,k}^{Calc}}$$

dove $E_{i,t,k}^{Calc}$ è l'emissione dell'inquinante i dipendente dal combustibile, calcolata a partire dai consumi di combustibile delle categorie veicolari dotate della tecnologia t ed alimentate con il carburante k , FC_k^{Stat} è il consumo totale di combustibile k derivante dalle fonti statistiche ufficiali, $FC_{t,k}^{Calc}$ è il consumo calcolato della classe di veicoli aventi la tecnologia t che consumano il carburante k .

Ai fini del calcolo delle **emissioni di CO_2** , per la stima delle emissioni nazionali, si assume che il tenore di carbonio del combustibile venga ossidato al 99% in CO_2 . Se la composizione del combustibile è nota, indicando con c , h e o le frazioni di massa degli atomi di carbonio, idrogeno ed ossigeno, con $c+h+o=1$, i rapporti tra idrogeno e carbonio e tra ossigeno e carbonio nel combustibile sono pari rispettivamente a:

$$r_{H:C} = 11,916 \frac{h}{c},$$

$$r_{O:C} = 0,7507 \frac{o}{c}.$$

Il calcolo delle emissioni di CO_2 provenienti dai veicoli alimentati a carburante k e dotati della tecnologia t , si ottiene da:

$$E_{CO_2,t,k}^{Calc} = 44,011 * \frac{FC_{t,k}^{Calc}}{12,011 + 1,008r_{H:C,k} + 16,000r_{O:C,k}}.$$

Ai fini della stima delle emissioni finali allo scarico, vengono considerate anche altre emissioni di atomi di carbonio, quali, con riferimento alla tecnologia t ed al combustibile k , emissioni di monossido di carbonio ($E_{t,k}^{CO}$), composti organici volatili ($E_{t,k}^{COV}$), carbonio elementare ($E_{t,k}^{EC}$) e massa organica nel materiale particolato ($E_{t,k}^{OM}$):

$$E_{CO_2,t,k}^{Calc} = 44,011 * \left(\frac{FC_{t,k}^{Calc}}{12,011 + 1,008 r_{H:C,k} + 16,000 r_{O:C,k}} - \frac{E_{t,k}^{CO}}{28,011} - \frac{E_{t,k}^{COV}}{13,85} - \frac{E_{t,k}^{EC}}{12,011} - \frac{E_{t,k}^{OM}}{13,85} \right).$$

Le **emissioni di SO₂** vengono calcolate assumendo che tutto lo zolfo contenuto nel combustibile si trasformi in SO₂; indicando con q_{S, k} la quantità di zolfo contenuta nel combustibile k (kg/kg di combustibile), si ha:

$$E_{S,t} = 2 * q_{S,k} * FC_{t,k}^{Calc}.$$

Le **emissioni di piombo** vengono stimate assumendo che venga emesso in atmosfera il 75% del piombo contenuto nella benzina; indicando con q_{Pb, k} la quantità di piombo contenuta nella benzina (kg/kg di combustibile), si ha:

$$E_{Pb,t}^{Calc} = 0,75 * q_{Pb,k} * FC_{t,k}^{Calc}.$$

Le **emissioni degli altri metalli pesanti** vengono stimate assumendo che le quantità di metalli, contenute nel carburante e nel lubrificante e legate all'usura del motore, vengano interamente emesse in atmosfera; indicando con q_{i, k} la quantità del metallo pesante i contenuta nel combustibile k (kg/kg di combustibile), si ha:

$$E_{i,t}^{Calc} = q_{i,k} * FC_{t,k}^{Calc}.$$

Al processo di stima delle emissioni, possono essere applicate correzioni finalizzate: all'aggiustamento del valore di emissione in funzione dell'età o percorrenza dei veicoli (nella pratica si applica alle automobili ed ai veicoli commerciali leggeri alimentati a benzina, per gli inquinanti CO, NO_x e COV); all'inserimento nel calcolo delle emissioni di fattori che tengano conto delle migliorie apportate ai carburanti utilizzati in seguito all'applicazione di specifiche normative; alla quantificazione degli effetti sulle emissioni prodotte delle pendenze stradali e del carico per i veicoli commerciali pesanti e gli autobus, qualora tali informazioni fossero disponibili.

1.1.2 Le emissioni evaporative

Le emissioni evaporative, calcolate dal modello per i COVNM, sono considerate rilevanti solo per i veicoli leggeri a benzina, a causa della maggiore volatilità di questo combustibile.

Influenzate dalle variazioni di temperatura e dalla pressione di vapore esercitata dal combustibile, sono aumentate consistentemente negli anni, tuttavia il contributo recentemente è diminuito conseguentemente all'introduzione di sistemi di controllo come il canister, dispositivo antinquinamento che consiste in un contenitore con filtro a carboni attivi che assorbe i vapori di benzina emessi impedendo il raggiungimento dell'atmosfera.

Legate al sistema di alimentazione dei veicoli, sono originate dalle variazioni di temperatura giornaliera e dalle conseguenti perdite dovute all'evaporazione del combustibile dal serbatoio durante la guida ed il parcheggio e dai fenomeni di permeazione e perdite di carburante.

Vengono distinti i processi di emissione diurna, perdite in movimento e di emissione durante la sosta a caldo. L'evaporazione di benzina legata al rifornimento presso le stazioni di servizio non viene conteggiata tra le emissioni da trasporto stradale.

Anche nel caso delle emissioni evaporative, l'EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2009 propone differenti approcci al calcolo delle emissioni dei quali il più dettagliato richiede una maggiore quantità di dati ed informazioni a disposizione, riguardanti la pressione di vapore del combustibile, la dimensione del serbatoio di carburante del veicolo ed il livello di riempimento, la dimensione del canister, la variazione diurna della temperatura, il chilometraggio cumulativo ed

infine uno schema di soste giornaliere effettuate dal veicolo sulla base del quale modellizzare i fenomeni di evaporazione, permeazione e perdite.

Indicando con G_s il numero di giorni per i quali è applicabile il fattore di emissione stagionale s , con N_j il numero di veicoli a benzina appartenenti alla categoria j , con ES_j le emissioni (a motore caldo, tiepido e freddo) medie (g/giorno) relative alla sosta giornaliera della categoria veicolare j , con $e_{g,j}$ le emissioni giornaliere medie della categoria veicolare j (g/giorno), con EM_j le perdite evaporative (g/giorno) giornaliere medie in marcia (calde, tiepide e fredde) della categoria veicolare j , le emissioni E_{COV} evaporative di composti organici volatili annuali sono date da:

$$E_{COV} = \sum_s G_s * \sum_j N_j * (ES_j + e_{g,j} + EM_j),$$

dove:

$$ES_j = x \{ a [b e_{s,c,a} + (1-b) e_{s,f,a}] + (1-a) e_{s,c,i} \},$$

$$EM_j = x \{ a [b e_{m,c,a} + (1-b) e_{m,f,a}] + (1-a) e_{m,c,i} \},$$

con

x : numero medio (calcolato per l'anno di riferimento) di tragitti per veicolo al giorno;

a : frazione dei veicoli a benzina con carburatore e/o sistemi di ritorno del carburante;

b : frazione dei tragitti terminati con motore caldo (dipendente dalla temperatura ambiente media mensile); $(1-b)$ rappresenta quindi la frazione dei tragitti terminati a motore tiepido e freddo ed è legato al parametro β utilizzato per il calcolo delle emissioni allo scarico da avviamento a freddo, dipendono entrambi anche dalla temperatura ambiente ed il fatto che β dipenda anche dalla lunghezza media del tragitto, conferma l'importanza di quest'ultima variabile;

$e_{s,c,a}$ ed $e_{s,f,a}$: fattori di emissione medi per la sosta, rispettivamente a caldo e a motore tiepido e freddo, dei veicoli a benzina con carburatore e/o sistemi di ritorno del carburante (espressi in g/durata della sosta, dipendente dalla volatilità del combustibile e dalla temperatura ambiente media mensile);

$e_{s,c,i}$ ed $e_{m,c,i}$: fattori di emissione medi, rispettivamente per la sosta a caldo e per la marcia a caldo, dei veicoli a benzina con sistemi di iniezione e non ritorno del carburante (espressi rispettivamente in g/durata della sosta e g/tragitto, dipendenti dalla volatilità del combustibile e dalla temperatura ambiente media mensile);

$e_{m,c,a}$ ed $e_{m,f,a}$: fattori di emissione medi per la marcia, rispettivamente a caldo e a motore tiepido e freddo, dei veicoli a benzina con carburatore e/o sistemi di ritorno del carburante (espressi in g/tragitto, dipendenti dalla volatilità del combustibile e dalla temperatura ambiente media mensile).

1.1.3 Le emissioni derivanti da usura di pneumatici e freni e da abrasione della strada (PM non exhaust)

Nella stima nazionale delle emissioni inquinanti da trasporto stradale, alle emissioni allo scarico e alle emissioni evaporative, si affiancano le emissioni da usura di gomme e freni dei veicoli; al momento il modello utilizzato non contempla la stima delle emissioni derivanti da abrasione stradale.

L'attenzione viene rivolta al particolato primario, derivante direttamente dai fenomeni di usura, più che al fenomeno della risospensione del materiale precedentemente depositato.

Il materiale che viene prodotto dagli effetti di usura e attrito tra le superfici è soggetto a fenomeni di evaporazione alle alte temperature sviluppate dal contatto.

Va tenuto presente che non tutto il materiale usurato diventa particolato atmosferico.

L'emissione di particolato derivante dall'usura degli pneumatici è fortemente legata alla composizione degli stessi, a base generalmente di gomme sintetiche e naturali, additivi metallici (l'ossido di zinco viene utilizzato come agente vulcanizzante) ed organici. Il carico ed il numero di assi del veicolo, i meccanismi di trazione e sterzo, le caratteristiche della superficie stradale percorsa, influiscono inoltre sulle emissioni. Il tasso di usura degli pneumatici è determinato dalla composizione, dalla posizione, dalle condizioni e dall'età, dal comportamento e dalle condizioni di guida (diversi studi dimostrano che alla guida in ambito urbano è associato il tasso di usura più elevato per unità di percorrenza), dal sistema di trazione del veicolo (nei veicoli a trazione anteriore si usurano più velocemente gli pneumatici anteriori; il contrario accade nei veicoli a trazione posteriore), dalle condizioni stradali, dalle condizioni atmosferiche. Influiscono sul tasso di usura anche sistemi di sterzo non allineati e una pressione non corretta degli pneumatici.

Riguardo all'emissione di particolato derivante dall'usura dei freni si distingue tra freni a disco e freni a tamburo caratterizzati da differenti sistemi di configurazione. Sulle emissioni influiscono anche le differenti composizioni dei materiali che costituiscono le componenti delle guarnizioni. La posizione dei freni nel veicolo influisce inoltre sul tasso di usura più di quanto la posizione delle gomme influisca sul proprio. I meccanismi di azionamento dei freni (elettrico, idraulico, pneumatico, meccanico) hanno infine una diversa influenza sul tasso di usura.

L'emissione di particolato da abrasione della superficie stradale, legata alla composizione dei materiali costituenti, risulta affetta da elevata incertezza in quanto molto variabile sia da Paese a Paese, sia all'interno di uno stesso Paese. L'abrasione stradale risulta inoltre determinata anche dalla velocità dei veicoli e dalla pressione degli pneumatici. L'usura di questi ultimi e del manto stradale sono infatti strettamente legate, ma mancano al momento dati sperimentali sui fattori di emissione che tengano conto delle diverse combinazioni tra pneumatici e superfici stradali. Le condizioni climatiche possono inoltre influire in modo determinante: nelle zone a clima freddo, ad esempio, in cui vengono utilizzati frequentemente gli pneumatici chiodati, l'usura della strada e le concentrazioni di materiale particolato imputabili alla risospensione sono molto maggiori; i trattamenti antighiaccio basati sullo spargimento di sabbia e sale hanno inoltre un impatto molto importante; infine anche la temperatura atmosferica ed il livello di umidità influiscono sull'usura della strada.

Ai fini della stima delle emissioni vengono proposti nel Guidebook due approcci: se sono disponibili dati dettagliati, oppure la combinazione delle sorgenti costituisce una categoria chiave, può essere utilizzato il Tier 2, altrimenti si utilizza il Tier 1 basato su fattori di emissione di default riferiti alle percorrenze.

Viene di seguito illustrato l'approccio Tier 2 per la stima delle **emissioni derivanti dall'usura di pneumatici o freni**.

Indicando con s l'indice relativo alla sorgente di emissione usura di pneumatici oppure usura di freni, con N_j il numero di veicoli appartenenti alla categoria j del dominio spaziale di riferimento, con P_j le percorrenze (km) di ogni veicolo della categoria j nel periodo di riferimento, con $FE_{PTS,s,j}$ il fattore di emissione (g/km) del particolato totale sospeso per la sorgente s e per i veicoli della categoria j , con $F_{s,i}$ la frazione di massa del particolato totale sospeso che può essere attribuita alla classe i di dimensione del particolato (le classi i sono: PTS, PM_{10} , $PM_{2,5}$, PM_1 e $PM_{0,1}$) con riferimento alla sorgente s , con $S_s(V)$ il fattore di correzione riferito alla velocità media V ed alla sorgente s , l'emissione totale ET per il periodo ed il territorio oggetto di studio è:

$$ET = \sum_j N_j * P_j * FE_{PTS,s,j} * F_{s,i} * S_s(V).$$

L'algoritmo proposto per il calcolo delle **emissioni di materiale particolato derivante da abrasione della strada** (materia sulla quale come si è già detto, l'informazione a disposizione è carente) viene illustrato di seguito.

Indicando con N_j il numero di veicoli appartenenti alla categoria j del dominio spaziale di riferimento, con P_j le percorrenze (km) dei veicoli della categoria j nel periodo di riferimento, con $FE_{PTS,A,j}$ il fattore di emissione (g/km) del particolato totale sospeso derivante dall'abrasione della strada per i veicoli della categoria j , con $F_{A,i}$ la frazione di massa del particolato totale sospeso derivante da abrasione della strada che può essere attribuita alla classe i di dimensione del particolato, l'emissione totale $ET_{A,i}$ derivante da abrasione della strada per l'inquinante i e per il dominio spaziale e temporale di riferimento è:

$$ET_{A,i} = \sum_j N_j * P_j * FE_{PTS,A,j} * F_{A,i}$$

1.2 I dati di base utilizzati

Il processo di stima delle emissioni nazionali si basa su un ampio insieme di dati, che spaziano dalle caratteristiche del Paese di riferimento alle caratteristiche tecnologiche della particolare categoria veicolare, quali ad esempio le temperature minime e massime mensili dell'anno oggetto di studio, la durata media degli spostamenti giornalieri, l'adozione di specifiche normative sull'utilizzo dei combustibili, la composizione del parco veicolare, le percorrenze medie annuali, la percorrenza cumulativa annuale, la velocità media e le quote di percorrenze per tipologia di strada per categoria veicolare, le caratteristiche tecniche veicolari che danno luogo ai fenomeni di evaporazione, l'applicazione di procedure di controllo e manutenzione dei veicoli, le classi di pendenza stradali ed i fattori medi di carico dei veicoli (attualmente il fattore di carico dei veicoli è considerato pari al 50%).

Ai fini della stima delle emissioni inquinanti da trasporto stradale, vengono utilizzati dati e informazioni tratte da diverse fonti, tra le quali, oltre ad Ispra: ACI [1], Aiscat [3], ANCMA [4], Comitato Centrale Albo Autotrasportatori [20], Confetra [11], Istat [30], Lat [13], Ministero delle infrastrutture e dei trasporti [36], Ministero dello sviluppo economico ([37], [38]), Unione petrolifera [42].

I dati grezzi vengono elaborati ai fini delle stime intermedie riguardanti i diversi aspetti del settore del traffico stradale da inserire nel modello Copert 4, la cui applicazione fornisce poi l'output emissivo definitivo.

In "Allegato 1 – Categorie veicolari contemplate nella stima nazionale" vengono riportate nel dettaglio del settore, sottosectore e della tecnologia, le categorie veicolari contemplate dal modello e utilizzate nella stima nazionale.

Il parco veicolare viene stimato fondamentalmente sulla base dei dati ACI (il riferimento principale è la pubblicazione "Autoritratto" [1]), valutando categoria per categoria la rappresentatività dei dati disponibili e quindi integrando eventualmente con dati ed informazioni provenienti da altre fonti.

I casi che ACI riporta classificandoli come "non identificati" o "non contemplati" vengono considerati nelle stime ripartendoli (in assenza di informazioni specifiche, in modo proporzionale) per categoria veicolare e combustibile utilizzato, tra le classi note di cilindrata o di peso, distinguendo tra le varie tecnologie esistenti.

Più nel dettaglio, il parco delle autovetture, dei veicoli merci leggeri e pesanti rigidi e dei motocicli viene stimato a partire esclusivamente dai dati di fonte ACI; il parco degli autobus urbani ed extraurbani viene stimato sulla base congiuntamente dei dati ACI e dei dati desunti dal Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti (CNIT) [36]; dati e informazioni desunte da quest'ultimo e dati di fonte ANCMA [4] vengono utilizzati per la stima del parco dei ciclomotori.

La stima del parco dei veicoli commerciali pesanti articolati, degli autobus e dei ciclomotori richiede l'assunzione di ipotesi di stima che vanno a supplire la mancanza del dettaglio richiesto ai fini dell'elaborazione dei dati di emissione: nel caso degli autoarticolati si ricorre ad ipotesi che permettono di ricostruire la numerosità delle varie categorie veicolari sulla base del numero di trattori stradali appartenenti alle classi di peso compatibili [9]; nel caso di autobus e pullman alimentati a gasolio l'utilizzo congiunto di informazioni ACI su numerosità per alimentazione, classi di peso e normativa (essendo la classificazione per uso non corrispondente a quella utile per l'inventario) e di informazioni presenti sul CNIT, riguardanti gli indicatori dell'offerta di servizio di trasporto pubblico locale secondo la tipologia del servizio, permette di ottenere il dettaglio richiesto; nel caso dei ciclomotori, la stima del parco nel dettaglio richiesto viene ottenuta dalla sovrapposizione delle informazioni presenti nel CNIT e dei dati di vendita forniti dall'associazione di categoria ANCMA.

La stima delle percorrenze medie annuali per categoria veicolare in ambito urbano, extraurbano ed autostradale, affetta dall'incertezza dovuta all'assenza di dati ufficiali, viene effettuata sulla base di dati ed informazioni desunte da diverse fonti: statistiche Confetra [11], dati del Comitato Centrale Albo Autotrasportatori [20], dati del CNIT del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, dati Aiscat sulle percorrenze autostradali [3], dati Istat sui veicoli merci pesanti riguardanti le tonnellate per km [30], informazioni fornite dal Lat, il Laboratorio di Termodinamica Applicata dell'Università di Salonicco che ha sviluppato il software Copert [13].

La distribuzione delle percorrenze viene stimata assumendo una proporzionalità inversa tra percorrenze ed età dei veicoli, nel rispetto dei vincoli imposti dai consumi di carburante.

Nonostante i dati sul parco e sulle percorrenze per categoria veicolare vengano inseriti come input al modello sulla base delle stime summenzionate, i valori finali dei veicoli per km sono ottenuti come risultato di un processo di simulazione finalizzato alla quadratura del bilancio statistico dei combustibili, ossia all'azzeramento della deviazione percentuale tra i dati di consumo statistici e calcolati dal modello. I dati di consumo nazionali dei vari combustibili utilizzati vengono infatti inseriti come input e poi ripartiti tra le varie categorie secondo la logica simulativa della quadratura del bilancio.

In generale, sulla base delle informazioni disponibili, nel rispetto dei vincoli imposti dalla normativa nazionale che disciplina i vari aspetti del settore del trasporto su strada e nell'ottica della quadratura statistica del bilancio dei combustibili, vengono stimati i dati di attività utilizzati per la stima delle emissioni. Con riferimento ai dati sulla circolazione dei veicoli, le velocità in ambiti urbani, extraurbani ed autostradali vengono definite per categoria veicolare sulla base della normativa vigente, nel rispetto dei vincoli di consumo.

I valori di consumo aggregati a livello nazionale vengono stimati per gli anni della serie storica sulla base dei dati presenti nel Bilancio Energetico Nazionale [37] e nel Bollettino Petrolifero [38] pubblicati dal Ministero dello Sviluppo Economico e sulla base delle statistiche e previsioni prodotte dall'Unione Petrolifera [42].

Relativamente ai fattori di emissione, il riferimento per i valori utilizzati è l'EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook 2009 [15].

Al fine di caratterizzare al meglio il parco circolante italiano, sono stati utilizzati fattori di consumo nazionali per le autovetture di piccola cilindrata, le cosiddette "city cars" e per i ciclomotori.

Per i ciclomotori è stata effettuata una ricerca ad hoc in modo da produrre stime attendibili per i consumi negli ambiti urbano ed extraurbano, confrontando dati ed informazioni diffuse dalle case costruttrici [43], da ANCMA [4], da enti vari, oltre ad Ispra, (ACI [1], ADEME [2], OMS [18], ENEA [16], [17], Università di Genova [10], CNR [19], Labeco [33]; SSC [41]), diffusi nell'ambito di studi locali da enti regionali [21].

Per le city cars vengono inseriti fattori di consumo specifici per ogni anno dell'inventario. Sulla base del parco ACI delle autovetture per alimentazione e cilindrata, viene calcolato il peso della classe alimentata a benzina avente cilindrata inferiore a 1200 cc sul totale della classe di cilindrata inferiore a 1400 cc; vengono quindi stimati fattori di riduzione di consumo (g/km) distintamente per

gli ambiti urbano, extraurbano ed autostradale, in funzione della velocità, inseriti infine nelle formule di calcolo dei consumi di combustibile [7].

Sia nella fase di raccolta dei dati, che di elaborazione e definizione delle stime, vengono applicate procedure di verifica e controllo QA/QC ([8], [26], [27]). Il processo di elaborazione e stima viene monitorato ai fini del conseguimento della trasparenza, della completezza nel senso della considerazione di tutti i fattori e fonti disponibili, dell'accuratezza, della coerenza, confrontabilità e comparabilità sia internamente all'inventario delle emissioni nazionali, a diversi livelli di disaggregazione e di confronto trasversale tra i vari anni, che esternamente con riferimento a dati e studi effettuati da altri enti nazionali ed esteri. Il confronto interno all'inventario permette ad esempio di evitare doppi conteggi, come nel caso di stime che vanno incluse in settori diversi dal trasporto stradale, quali la stima delle emissioni prodotte dal rifornimento di carburante nelle stazioni di servizio, la stima delle emissioni di anidride carbonica legate all'utilizzo di biocombustibili nel trasporto su strada. Il confronto rispetto a studi elaborati da altri enti costituisce d'altra parte un efficace strumento di validazione dei dati, ad esempio nel caso della definizione dei valori di percorrenza per categoria veicolare ottenuti dal processo di bilanciamento dei valori di consumo di combustibile è importante la comparazione rispetto a statistiche indipendenti, quali ad esempio le statistiche del trasporto merci su strada elaborate dall'Istat [30].

I dati dell'inventario sono comunque soggetti a processi di verifica e revisione periodica, ai fini della verifica dell'adempimento di obblighi imposti sulle emissioni a livello nazionale ed internazionale.

L'istituzione di un expert panel a livello nazionale sul trasporto stradale permette, inoltre, da vari anni, il confronto e la validazione reciproca delle stime e delle metodologie utilizzate <http://www.sinanet.apat.it/it/EPT> .

Un processo di confronto è stato infine da qualche anno avviato con i referenti degli inventari locali, in modo da poter comparare i risultati di approcci top – down e bottom – up <http://www.sinanet.apat.it/it/inventaria/Gruppo%20inventari%20locali/> .

Il passaggio da Copert III a Copert 4 nella comunicazione dei dati del 2009, che ha comportato aggiornamenti sia relativamente al software che alla metodologia, è poi stata l'occasione per una revisione generale delle serie dei dati di input.

La valutazione dell'incertezza nelle stime è legata all'incertezza insita sia nei dati di attività che nei fattori di emissione e varia quindi a seconda della categoria veicolare oggetto di studio, a causa delle differenti disponibilità di dati e fonti di riferimento e a seconda degli inquinanti trattati a causa della differente accuratezza dei fattori di emissione disponibili.

Le stime delle emissioni possono ritenersi soddisfacenti con riferimento ai fattori di emissione se questi ultimi sono elaborati sulla base di un insieme esaustivo di informazioni e dati di misurazione, ad esempio la stima delle emissioni da combustione per gli inquinanti appartenenti ai primi due gruppi può ritenersi soddisfacente come dimostrato anche da studi terzi [32].

Riguardo ai dati di attività, la disaggregazione di valori di variabili non disponibili nella classificazione richiesta comporta incertezze tanto maggiori quanto più scarse sono le informazioni al riguardo.

Nel Guidebook sono riportati indicatori di precisione delle stime di emissione per categoria veicolare ed inquinante e, per i fattori di emissione delle automobili, l'errore stimato tramite il coefficiente di variazione [15].

Con riferimento all'inventario nazionale, sono stati svolti vari studi sull'incertezza [40] e per l'inventario dei gas serra [27] è stata effettuata una valutazione quantitativa dell'incertezza utilizzando il metodo Tier 1 definito nelle Good Practice Guidance IPCC del 2000 [24], basato sull'equazione di propagazione degli errori. Per l'anidride carbonica è stata individuata un'incertezza combinata prossima al 4% nelle emissioni annuali, mentre un'incertezza maggiore è risultata caratterizzare le emissioni di metano e protossido di azoto, imputabile ai fattori di emissione [27].

Alle emissioni di anidride carbonica da trasporto stradale è stato applicato anche l'approccio Tier 2, consistente nell'applicazione del metodo Monte Carlo, che ha condotto all'individuazione di bassi valori di incertezza anche in considerazione della disponibilità di un ampio insieme di misurazioni dei fattori di emissione. Alle emissioni di anidride carbonica è stata inoltre applicata una combinazione delle due metodologie Monte Carlo e Bootstrap, da cui è risultato un valore di incertezza globale per il trasporto stradale pari a 2,06%, inferiore a quella ottenuta dall'approccio Tier 1 a causa del valore inferiore fornito dal Bootstrap per il fattore di emissione del gasolio [27]. Alla valutazione dell'incertezza nelle stime è stato applicato il controllo della qualità dell'intera procedura.

1.3 L'applicazione del modello Copert alla redazione dell'inventario nazionale utilizzato per la disaggregazione top - down

Vengono di seguito presentati alcuni risultati ottenuti dall'applicazione del modello Copert ai fini della redazione dell'inventario nazionale comunicato nel 2009, relativo alla serie storica dal 1990 al 2007 e riferimento per la realizzazione successiva secondo una logica top - down dell'ultimo aggiornamento dell'inventario provinciale riferito agli anni: 1990, 1995, 2000 e 2005.

Viene illustrato l'andamento delle percorrenze, dei consumi e delle emissioni di monossido di carbonio, composti organici volatili, ossidi di azoto, materiale particolato ed ammoniacca.

1.3.1 La stima delle percorrenze e dei consumi per categoria veicolare

Nel dettaglio della categoria veicolare, del combustibile e del ciclo di guida, in "Allegato 2 - Serie storica dei veic*km (in migliaia) per categoria veicolare, combustibile e ciclo di guida" viene riportata la serie storica dei valori delle percorrenze totali (in migliaia di km), ottenute per categoria veicolare come prodotto tra la percorrenza media annuale e la numerosità del parco corrispondente.

Dall'analisi dei dati riportati in Allegato 2 si evince una riduzione delle percorrenze totali sia delle automobili alimentate a benzina che delle automobili alimentate a GPL, quest'ultima molto più marcata, a fronte di un netto aumento delle percorrenze delle macchine diesel.

Anche le percorrenze totali dei veicoli commerciali leggeri alimentati a benzina mostrano un trend decrescente, a fronte di un netto aumento di quelle dei veicoli commerciali leggeri alimentati a gasolio.

Le percorrenze totali dei veicoli commerciali pesanti alimentati a benzina mostrano una netta decrescita, mentre un lieve trend decrescente si nota per i veicoli commerciali pesanti e per gli autobus alimentati a gasolio.

Si rileva infine un trend crescente sia per i ciclomotori che, in maniera molto più marcata, per i motocicli. In questo ultimo caso la spiegazione va ricercata soprattutto nell'aumento dei veicoli circolanti a grossa cilindrata e nella generale crescita delle percorrenze.

In "Allegato 3 - Serie storica dei consumi di combustibile (Gg) per categoria veicolare, combustibile e ciclo di guida" vengono riportati i consumi di combustibile (in Gg) distintamente per categoria veicolare, combustibile e ciclo di guida, da cui si osserva una generale concordanza dei valori rispetto all'andamento delle percorrenze totali, nel rispetto dei vincoli relativi alla particolare cilindrata, classe di peso e tecnologia dei veicoli.

In Figura 9 vengono illustrate le serie storiche dal 1990 al 2007 delle percorrenze annuali delle automobili (milioni di veic*km) alimentate a benzina, gasolio e GPL distintamente per l'ambito urbano, extraurbano ed autostradale.

L'analisi dell'andamento delle percorrenze delle automobili alimentate a benzina, nel complesso decrescente, è il risultato di opposte tendenze: una decrescita relativa all'ambito urbano ed extraurbano ed un aumento dal 1990 delle percorrenze autostradali.

La generale diminuzione delle percorrenze delle automobili alimentate a GPL è invece il risultato di un trend decrescente sia in ambito urbano che extraurbano ed autostradale.

Di contro, la netta crescita delle percorrenze totali delle automobili alimentate a gasolio è la conseguenza di un forte aumento delle percorrenze in tutti gli ambiti.

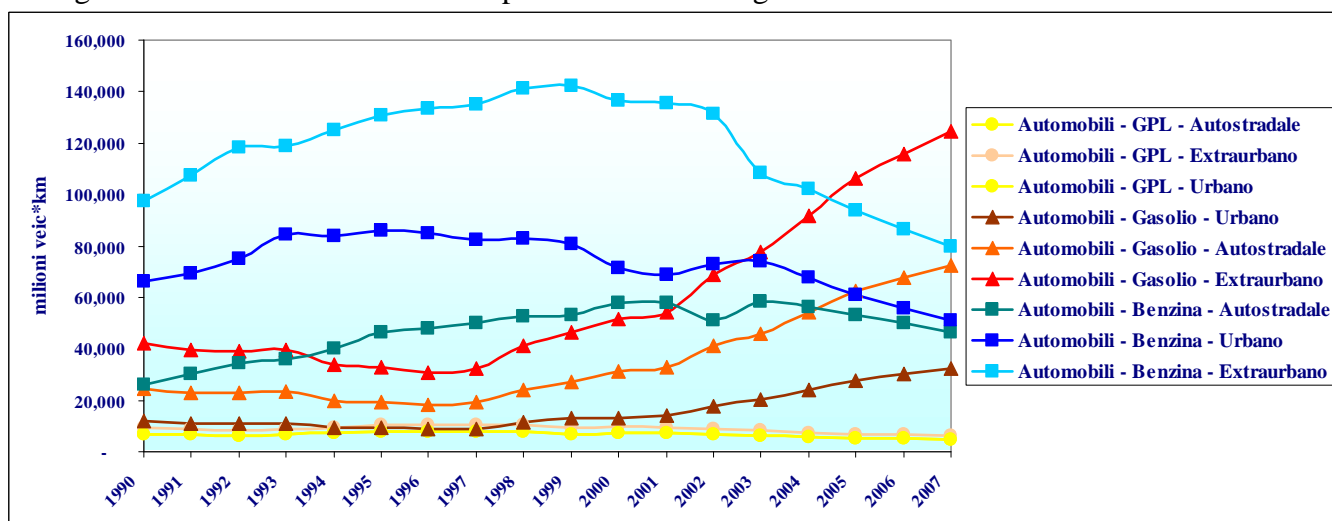


Figura 9 – Percorrenze (milioni di veic*km) annuali delle automobili distintamente per alimentazione e ciclo di guida

Le percorrenze annuali dal 1990 al 2007 dei veicoli commerciali leggeri e pesanti (milioni di veic*km) alimentati a benzina e gasolio distintamente per l'ambito urbano, extraurbano ed autostradale vengono illustrati rispettivamente in Figura 10 e Figura 11.

Dall'analisi delle percorrenze dei veicoli commerciali leggeri, che mostra una prevalenza dei valori delle percorrenze totali dei veicoli alimentati a gasolio, soprattutto in ambito extraurbano, si evince un trend decrescente per i veicoli a benzina, meno marcato per l'ambito extraurbano, ed un trend in forte crescita per i veicoli a gasolio in ambito sia urbano che extraurbano ed autostradale.

Il parco dei veicoli commerciali pesanti alimentati a benzina, di numero esiguo rispetto al totale dei mezzi pesanti, per la quasi totalità alimentati a gasolio, mostra una netta diminuzione delle percorrenze totali, ed è costituito da vecchi modelli a tecnologia convenzionale.

Le percorrenze dei mezzi commerciali pesanti alimentati a gasolio, in lieve diminuzione rispetto al 1990, risultano in particolare diminuire in ambito urbano ed extraurbano ed aumentare in ambito autostradale.

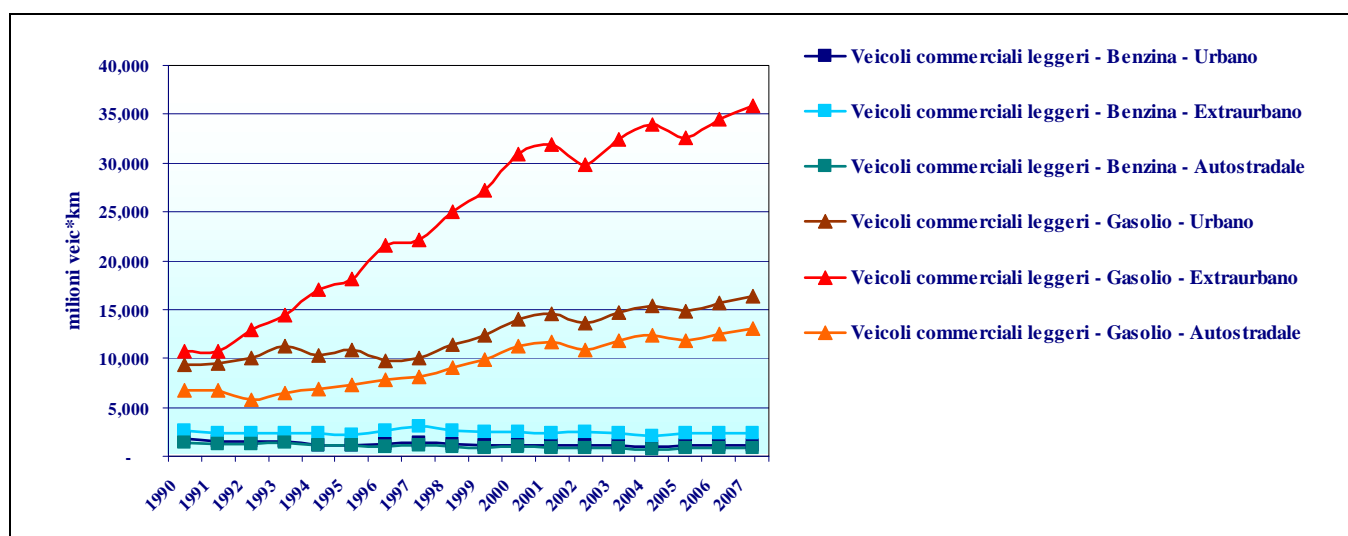


Figura 10 - Percorrenze (milioni di veic*km) annuali dei veicoli commerciali leggeri distintamente per alimentazione e ciclo di guida

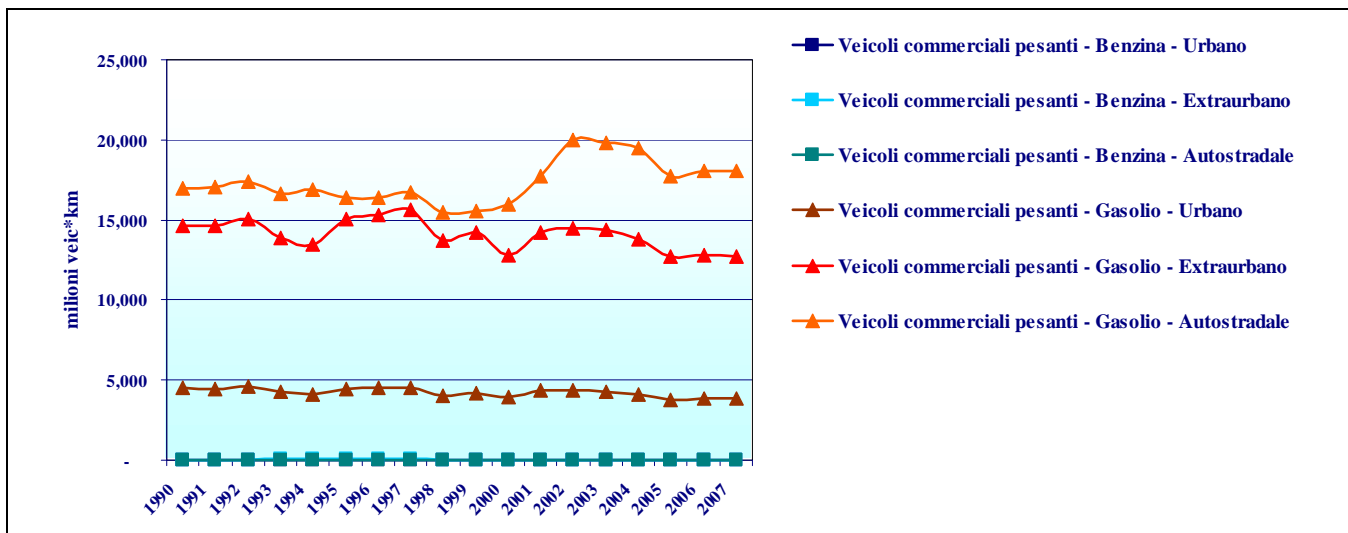


Figura 11 - Percorrenze (milioni di veic*km) annuali dei veicoli commerciali pesanti distintamente per alimentazione e ciclo di guida

La Figura 12 illustra le serie storiche dal 1990 al 2007 delle percorrenze annuali degli autobus diesel (milioni di veic*km) distintamente per l'ambito urbano, extraurbano ed autostradale. Il lieve trend decrescente della serie storica dei valori totali è il risultato da un lato della decrescita delle percorrenze in ambito urbano ed extraurbano (che si spiega anche con il parziale rinnovamento dei parchi in funzione di altri combustibili quali il gas metano) dall'altro dell'aumento delle percorrenze in ambito autostradale.

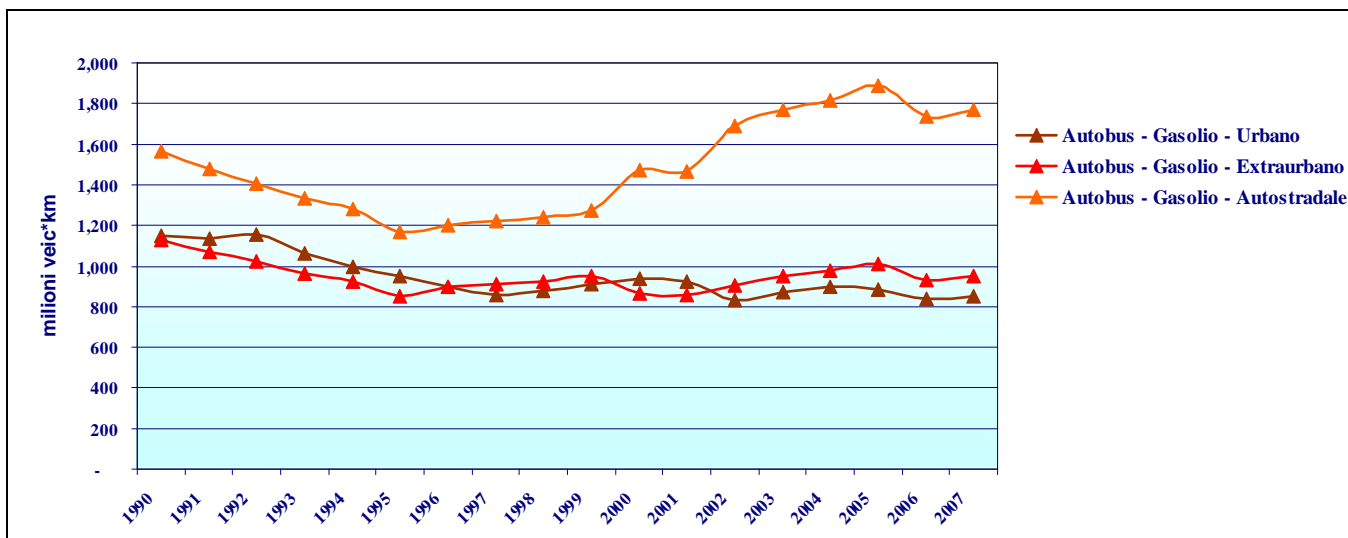


Figura 12 - Percorrenze (milioni di veic*km) annuali degli autobus distintamente per ciclo di guida

Le percorrenze annuali dal 1990 al 2007 dei ciclomotori e motocicli (milioni di veic*km) alimentati a benzina distintamente per l'ambito urbano, extraurbano ed autostradale (l'ambito autostradale si suppone non interessi i ciclomotori) vengono illustrati rispettivamente in Figura 13 e Figura 14. Le percorrenze dei ciclomotori, più elevate nel 2007 rispetto all'anno base, effettuate principalmente in ambito urbano, sono caratterizzate da un trend crescente negli anni novanta e lievemente decrescente negli anni successivi. Le percorrenze dei motocicli, distribuite principalmente in ambito urbano ed extraurbano piuttosto che autostradale, sono caratterizzate da andamenti generalmente crescenti.

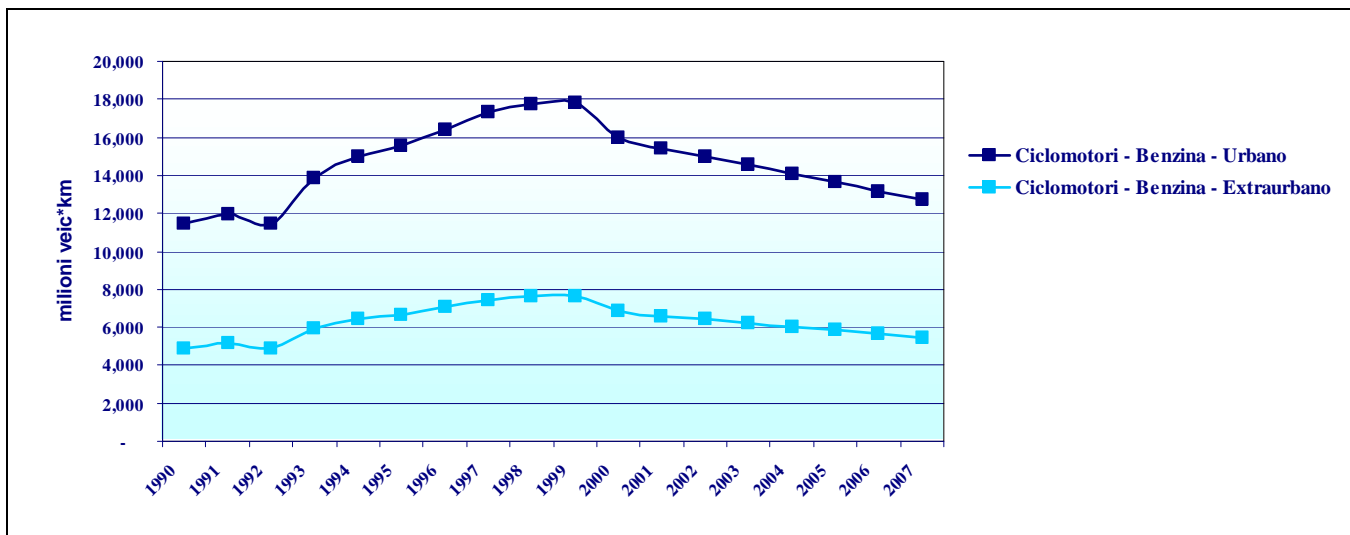


Figura 13 - Percorrenze (milioni di veic*km) annuali dei ciclomotori distintamente per ciclo di guida

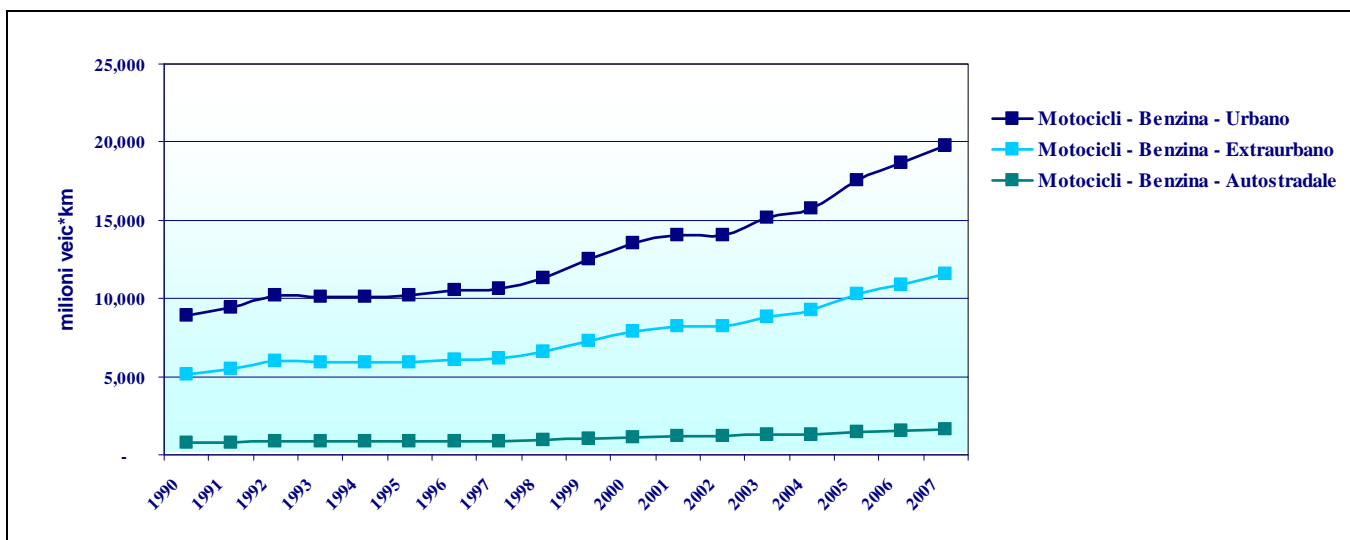


Figura 14 - Percorrenze (milioni di veic*km) annuali dei motocicli distintamente per ciclo di guida

In Figura 15 vengono illustrati gli andamenti dei **consumi di benzina** (Gg) per categoria veicolare dal 1990 al 2007.

Dall'analisi si evince come la quasi totalità del consumo stimato sia attribuibile alle automobili (84,7% nel 2007) e come i consumi di questa categoria crescano progressivamente nei primi anni novanta per poi diminuire dalla fine del decennio, facendo registrare un trend decrescente dal 2000 in poi (dal 1990 al 2007, i consumi risultano diminuire del 17%).

I motocicli, per cui si stima nel 2007 un consumo pari a circa l' 8,3% del totale, fanno registrare un trend in forte crescita dal 1990, pari al 125,5%. I ciclomotori e i veicoli commerciali leggeri risultano consumare nel 2007 la stessa quantità di benzina, pari al 3,5% del totale, ma mentre nel caso dei ciclomotori si tratta del risultato di un processo di crescita (+25,1% dal 1990), nel caso dei veicoli commerciali leggeri è il risultato di un trend decrescente (-18,9% dal 1990). I veicoli commerciali pesanti a benzina, essendo ormai rimasti in numero esiguo rispetto alla quasi totalità alimentata a gasolio, registrando una decrescita dei consumi pari a -55,5%, nel 2007 forniscono un contributo al consumo totale di benzina prossimo allo 0%.

Nel complesso, i consumi di benzina evidenziano un trend crescente fino al 1998 (dal 1990 al 1998 crescono del 34,1%), anno in cui si stima il massimo del consumo, per poi decrescere fino al 2007 (dal 1998 al 2007 decrescono del 34,0%), mostrando dal 1990 al 2007 una variazione globale pari a -11,4%.

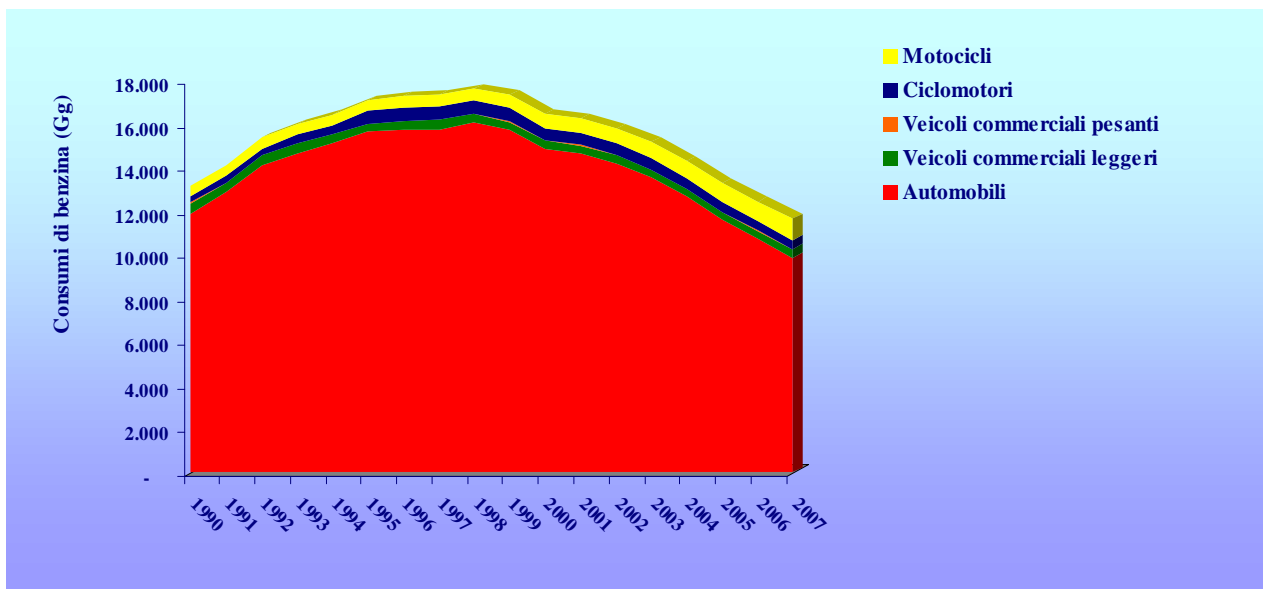


Figura 15 - Consumi di benzina (Gg) annuali per categoria veicolare

Data la preponderanza dei consumi di benzina delle automobili, si illustra in Figura 16 il dettaglio dei consumi distintamente per gli ambiti urbano, extraurbano ed autostradale per gli anni 1990, 1995, 2000 e 2005.

I consumi stimati in ambito urbano ed extraurbano mostrano una tendenza alla diminuzione, mentre aumentano i consumi autostradali.

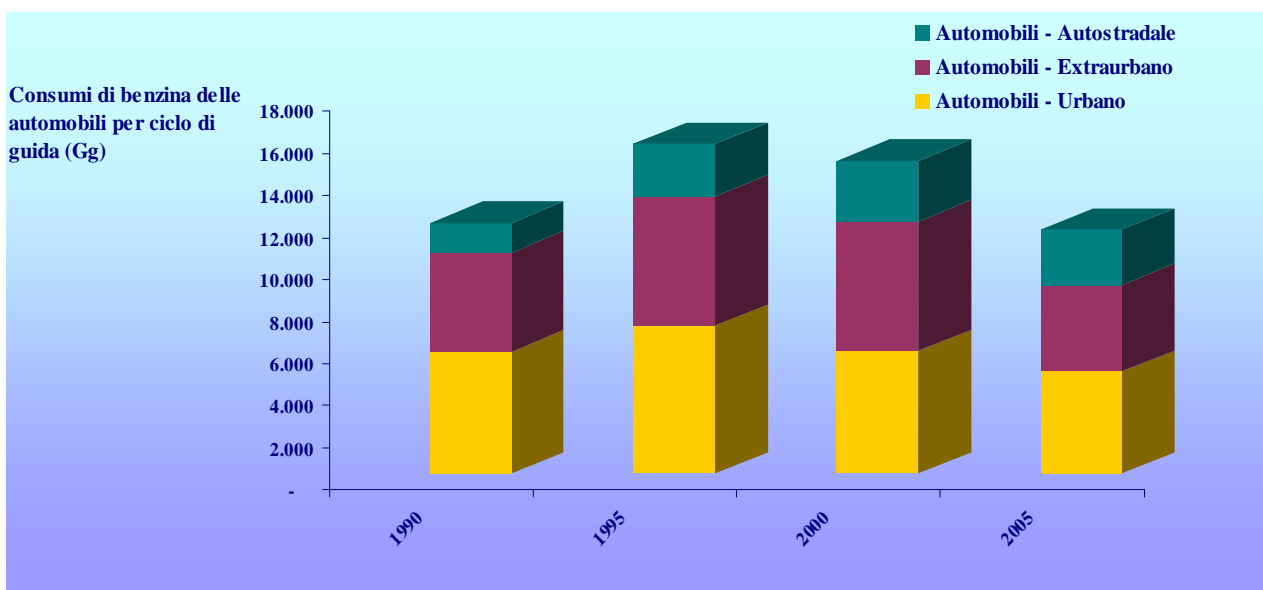


Figura 16 - Consumi di benzina (Gg) delle automobili per ciclo di guida per gli anni 1990, 1995, 2000 e 2005

L'andamento dei **consumi di gasolio** per categoria veicolare dal 1990 al 2007 viene illustrato in Figura 17 e, nel dettaglio della categoria veicolare e del ciclo di guida in Figura 18, Figura 19, Figura 20 e Figura 21.

Il trend complessivamente crescente del consumo di gasolio (+64,7%), nel dettaglio delle categorie veicolari mostra tendenze alla crescita per automobili (+168,2%) e veicoli commerciali leggeri (+118,4%) e tendenze in diminuzione per gli autobus (- 22,0%) e, in forma più lieve, per i mezzi commerciali pesanti (-10,5%).

Il consumo delle automobili, concentrato principalmente in ambito extraurbano, quindi in ambito autostradale e infine urbano, dal 1990 risulta crescente in tutti e tre gli ambiti.

Il consumo dei veicoli commerciali leggeri, anch'esso complessivamente in crescita, mostra un tasso di crescita maggiore in ambito extraurbano.

I veicoli commerciali pesanti sono caratterizzati da un consumo decrescente negli anni, più marcatamente in ambito urbano ed extraurbano, mentre in ambito autostradale la variazione risulta minima.

L'andamento decrescente dei consumi degli autobus risulta imputabile alla diminuzione riscontrata dal 1990 in ambito urbano ed extraurbano, mentre in autostrada si registra un lieve aumento dei consumi rispetto al 1990.

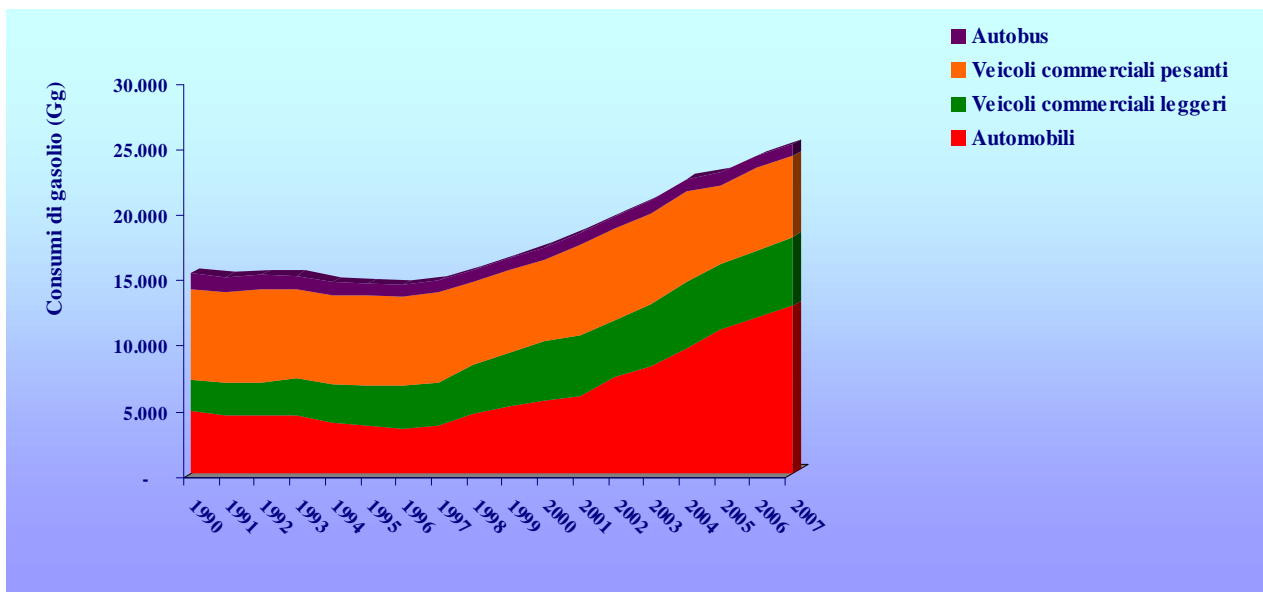


Figura 17 - Consumi di gasolio (Gg) annuali per categoria veicolare

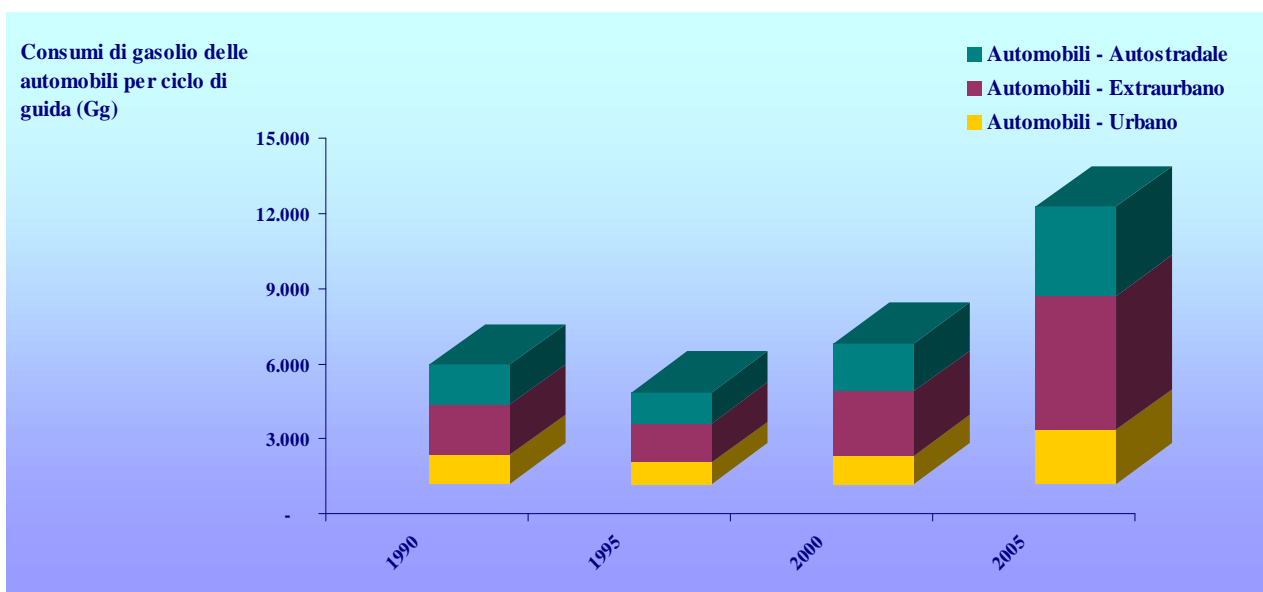


Figura 18 - Consumi di gasolio (Gg) delle automobili per ciclo di guida per gli anni 1990, 1995, 2000 e 2005

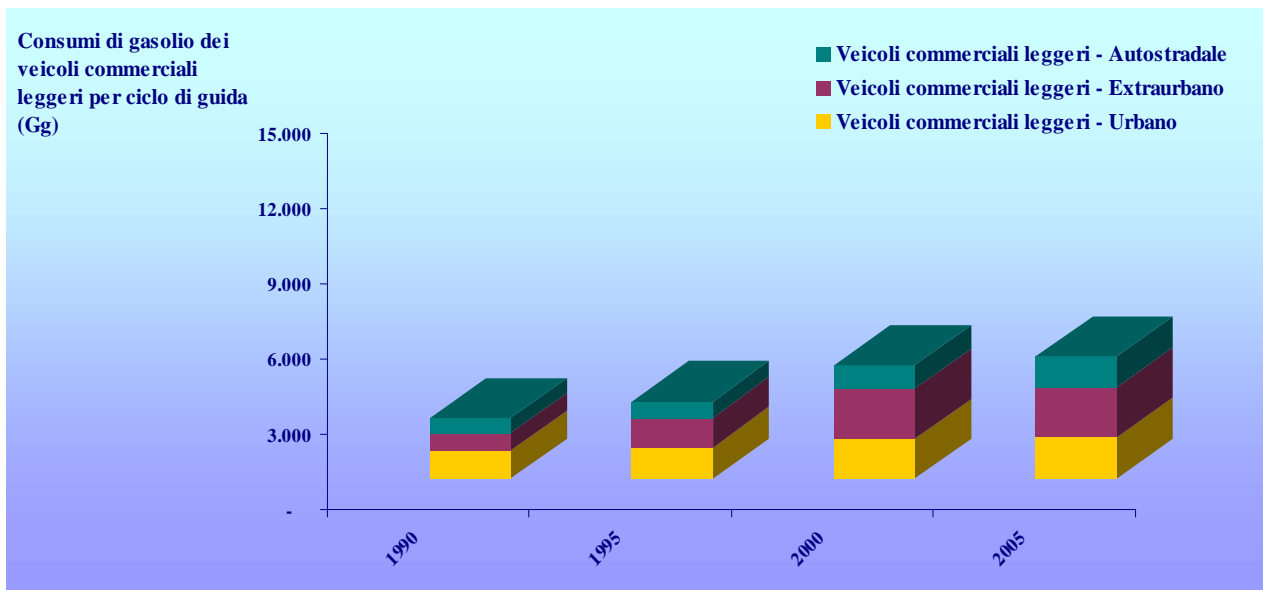


Figura 19 - Consumi di gasolio (Gg) dei veicoli commerciali leggeri per ciclo di guida per gli anni 1990, 1995, 2000 e 2005

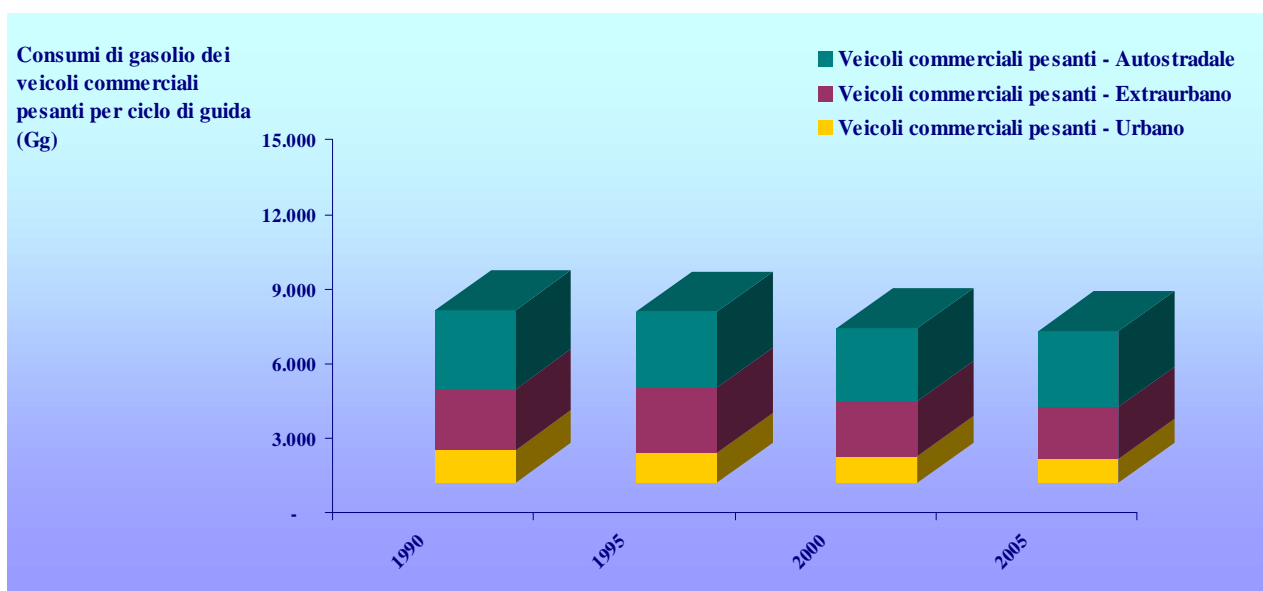


Figura 20 - Consumi di gasolio (Gg) dei veicoli commerciali pesanti per ciclo di guida per gli anni 1990, 1995, 2000 e 2005

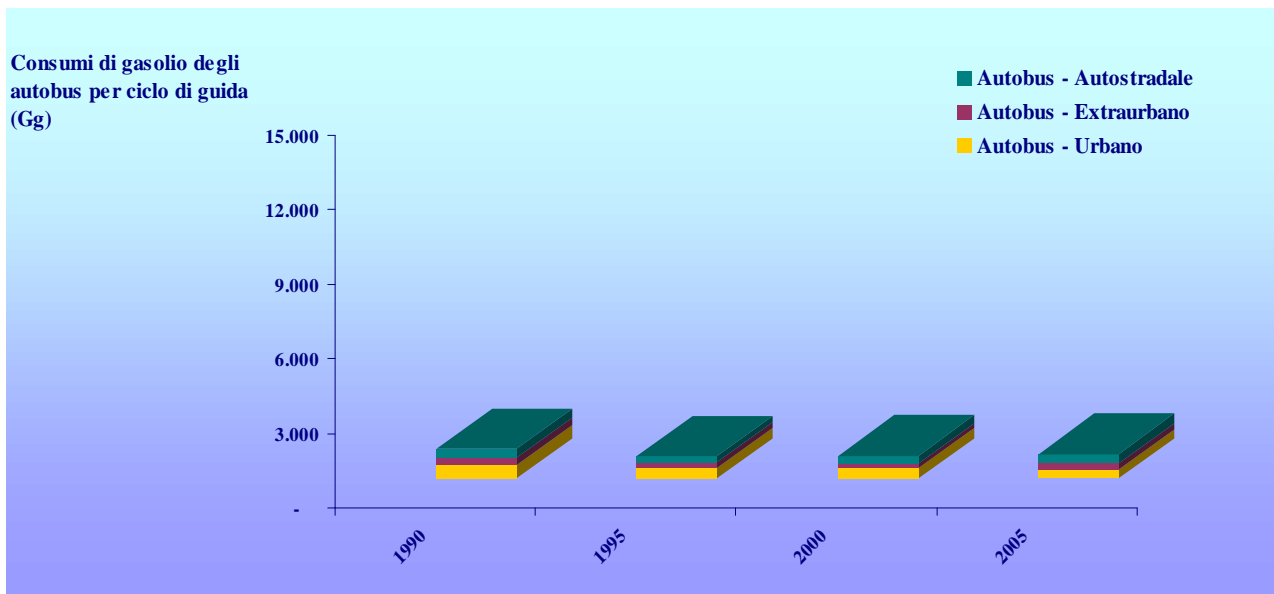


Figura 21 – Consumi di gasolio (Gg) degli autobus per ciclo di guida per gli anni 1990, 1995, 2000 e 2005

In Figura 22 viene illustrato l'andamento dei consumi dal 1990 al 2007 delle automobili alimentate a **GPL** distintamente per le strade urbane, extraurbane e le autostrade ed in Figura 23 il dettaglio dei consumi per gli anni 1990, 1995, 2000 e 2005.

La decrescita complessiva dei consumi rispetto al 1990 (-29,9%) deriva da un trend concordemente decrescente dei consumi sia in ambito urbano (-34,5%) che extraurbano (-32,2%) ed autostradale (-20,6%).

L'analisi dei valori degli anni in oggetto evidenzia come il consumo prevalente del combustibile sia effettuato dalle automobili in ambito urbano.

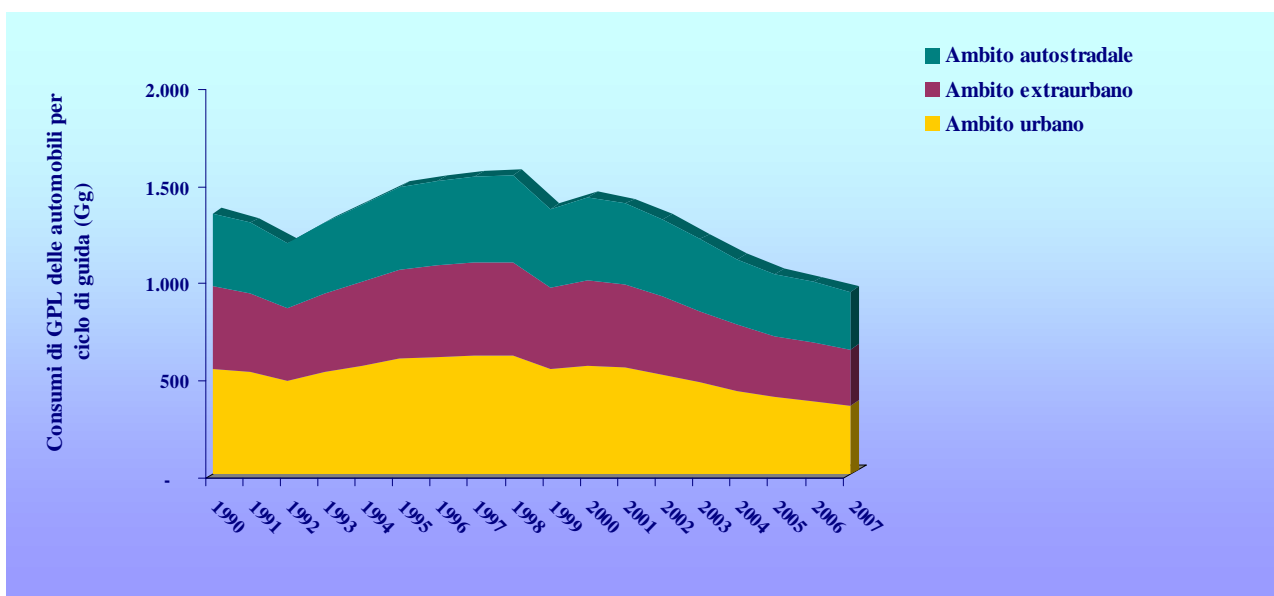


Figura 22 - Consumi di GPL (Gg) annuali delle automobili per ciclo di guida

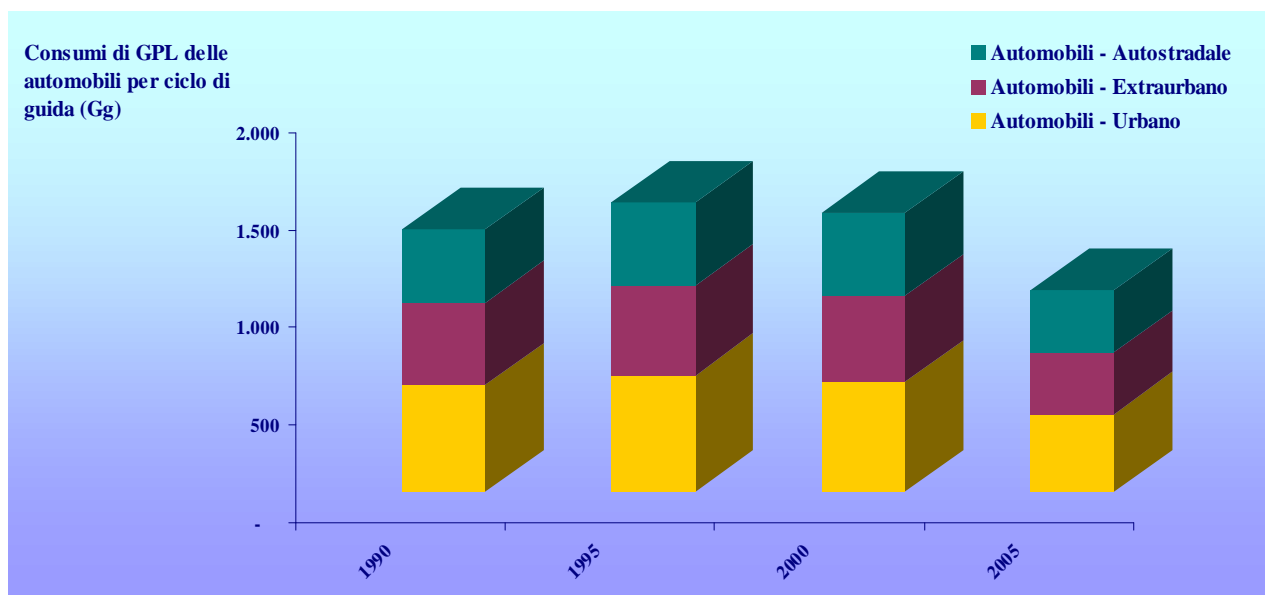


Figura 23 - Consumi di GPL (Gg) delle automobili per ciclo di guida per gli anni 1990, 1995, 2000 e 2005

1.3.2 Le emissioni nazionali del trasporto su strada

Di seguito vengono illustrate per il monossido di carbonio, i composti organici volatili, gli ossidi di azoto, il particolato e l'ammoniaca (rispettivamente in Figura 24, Figura 25, Figura 26, Figura 27 e Figura 28) le serie storiche delle emissioni dal 1990 al 2007 per categoria veicolare e combustibile mentre per l'anno 2005, ultimo anno di aggiornamento dell'inventario provinciale, viene descritta la ripartizione delle emissioni per categoria veicolare e tipologia di strada.

1.3.2.1 Le emissioni di Monossido di carbonio

Dalla Figura 24 si evince che il contributo maggiore alle emissioni di monossido di carbonio viene fornito dai veicoli alimentati a benzina.

Le emissioni registrano un andamento in crescita fino al 1992, anno in cui i valori raggiungono il massimo, e successivamente decrescente fino al 2007 (nel complesso le emissioni registrano una decrescita del 71%).

La maggior parte delle emissioni di CO sono imputabili alle automobili a benzina, caratterizzate da un trend decrescente (-84,2%) che le fa passare, dal 1990 al 2007, da una quota sul totale pari al 78,5% ad una pari al 42,9%.

Anche le emissioni dei ciclomotori registrano un trend decrescente dal 1990 (-23,8%), costituendo nel 2007 l'11,1% delle emissioni totali.

Le emissioni dei motocicli registrano invece una crescita dal 1990 pari al 31,5% e nel 2007 contribuiscono al totale delle emissioni per una quota pari al 30,2%.

Le emissioni delle automobili alimentate a GPL, che nel 2007 forniscono un contributo pari al 5,3% del totale, registrano una decrescita dal 1990 pari al 64%.

La somma dei contributi delle categorie veicolari rimanenti risulta pari al 10,5% del totale.

Si noti come le emissioni dei veicoli maggiormente inquinanti interessino soprattutto l'ambito urbano.

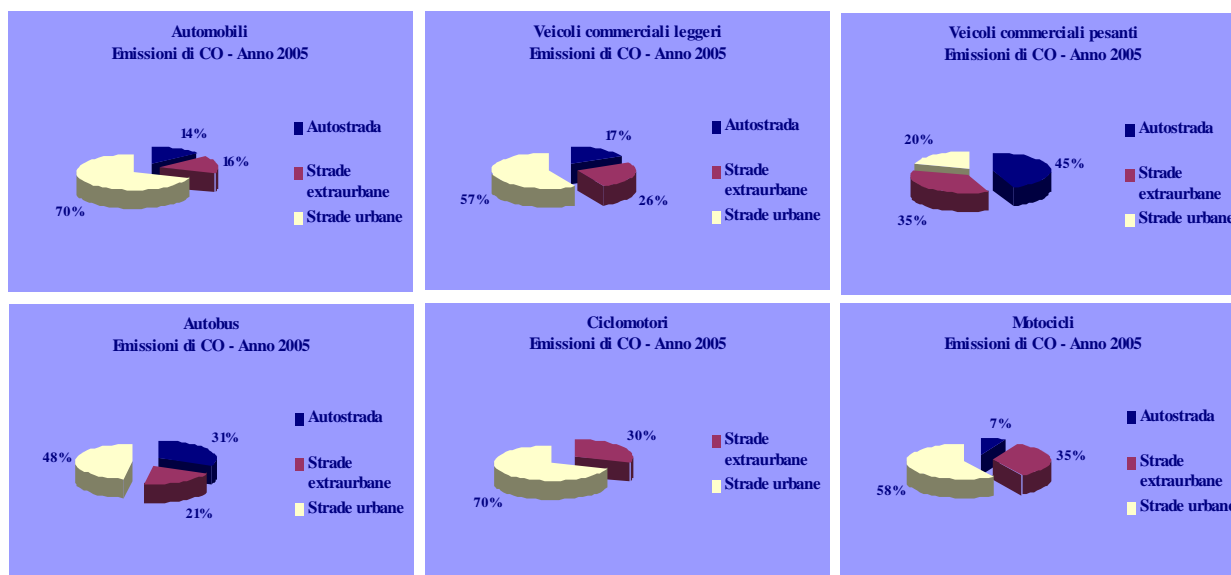
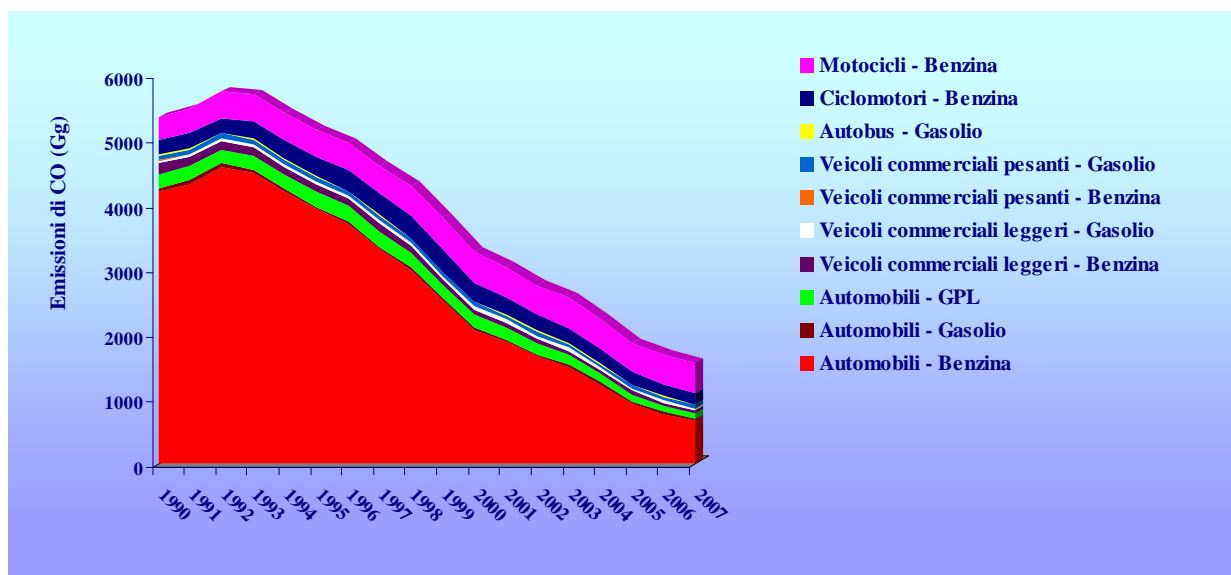


Figura 24 - Emissioni di CO (Gg) annuali per categoria veicolare dal 1990 al 2007 e nel dettaglio della ripartizione per tipologia di strada nel 2005

1.3.2.2 Le emissioni di Composti organici volatili

La Figura 25 mostra per le emissioni di composti organici volatili un andamento in crescita nei primi anni novanta (il massimo viene raggiunto nel 1993) e poi decrescente fino all'ultimo anno della serie storica (le emissioni decrescono complessivamente del 63,9%).

Come nel caso precedente, le emissioni risultano principalmente imputabili ai veicoli a benzina, ma in questo caso la categoria veicolare che fornisce il contributo maggiore sono i ciclomotori (48,4% nel 2007, risultato di una decrescita dal 1990 pari al 26,7%).

La decrescita maggiore (-85,0%) delle emissioni dal 1990 interessa le automobili alimentate a benzina, che nel 2007 contribuiscono al totale con una quota pari al 26,1%.

Le emissioni dei motocicli registrano una crescita dal 1990 pari al 59,4%, raggiungendo nel 2007 un peso sul totale delle emissioni pari all'11,9%.

Le emissioni delle automobili a GPL e dei veicoli commerciali pesanti a gasolio contribuiscono al totale delle emissioni con quote rispettivamente pari a 3,1% e 4,6%; il rimanente 5,9% delle emissioni risulta imputabile alle altre categorie veicolari.

Come nel caso del monossido di carbonio, le emissioni di composti organici volatili provengono principalmente da veicoli circolanti in ambito urbano.

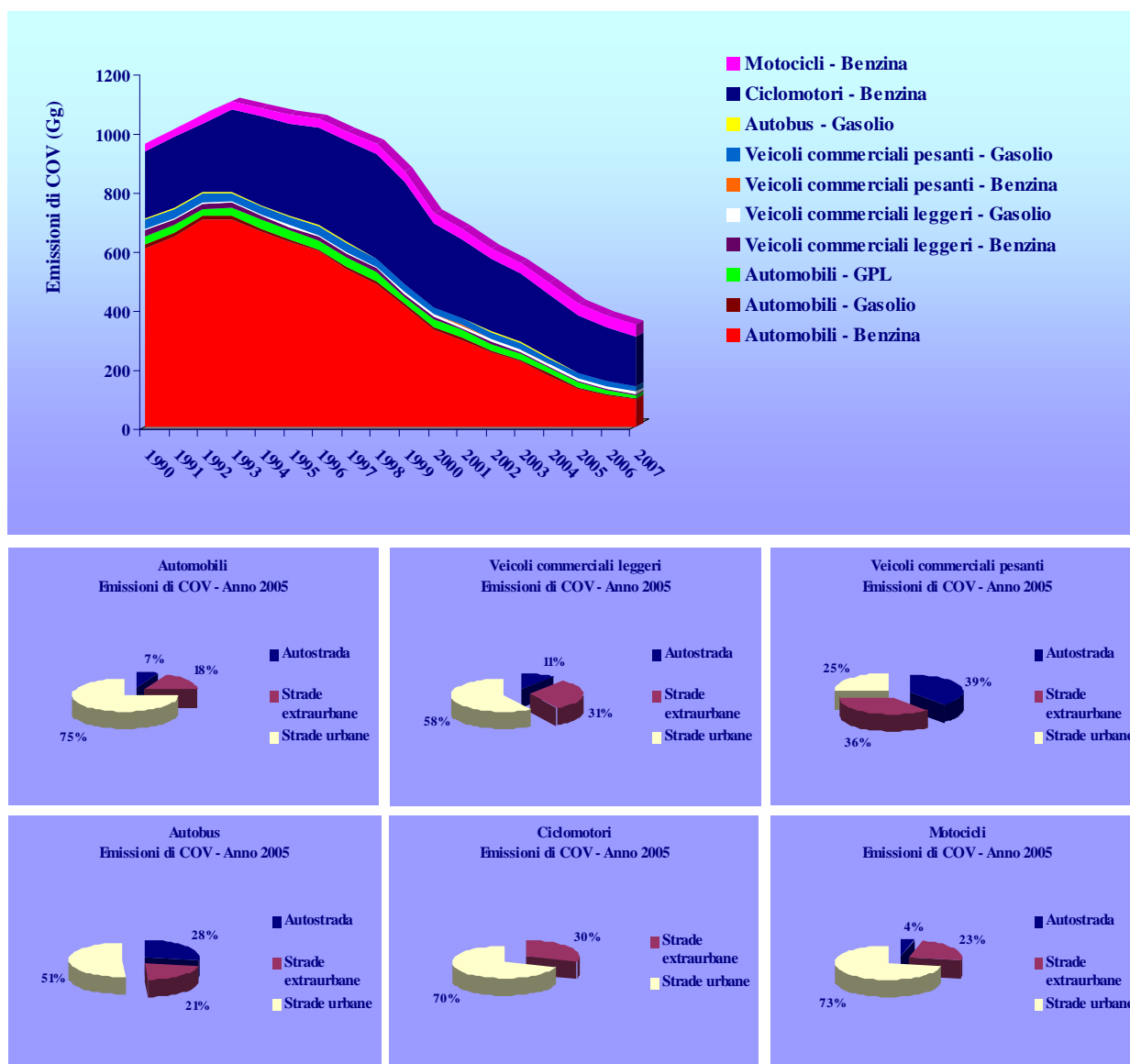


Figura 25 - Emissioni di COV (Gg) annuali per categoria veicolare dal 1990 al 2007 e nel dettaglio della ripartizione per tipologia di strada nel 2005

1.3.2.3 Le emissioni di Ossidi di azoto

La Figura 26 illustra l'andamento delle emissioni di ossidi di azoto dal 1990 al 2007 che decrescono complessivamente del 37,9%, mostrando nei primi anni della serie un aumento (raggiungendo un massimo nel 1992) e poi una decrescita fino al 2007.

Diversamente dal monossido di carbonio e dai composti organici volatili, le emissioni di ossidi di azoto risultano imputabili principalmente ai veicoli alimentati a gasolio.

Le emissioni provenienti dai mezzi commerciali pesanti diesel, decrescendo dal 1990 del 28,7%, forniscono nel 2007 il contributo maggiore al totale (37,7%).

Le emissioni provenienti dalle autovetture diesel mostrano una forte crescita dal 1990 (+222,0%), raggiungendo nel 2007 un peso sul totale pari al 28,4%.

Le emissioni derivanti dai veicoli commerciali leggeri diesel aumentano del 60,3% rispetto al 1990, pesando nel 2007 il 13,1% sul totale.

Le automobili a benzina, che nel 1990 costituiscono la fonte principale di emissione (43,0% del totale), registrano nel corso degli anni un trend decrescente (-84,5%), fino a raggiungere nel 2007 una quota pari al 10,7% del totale.

Le emissioni degli autobus diesel rappresentano il 5,6% del totale, mentre il restante 4,5% è imputabile alle categorie veicolari rimanenti.

Essendo fondamentalmente legate ai veicoli diesel ed in particolare ai mezzi commerciali pesanti, la quota maggiore delle emissioni interessa gli ambiti autostradale ed extraurbano.

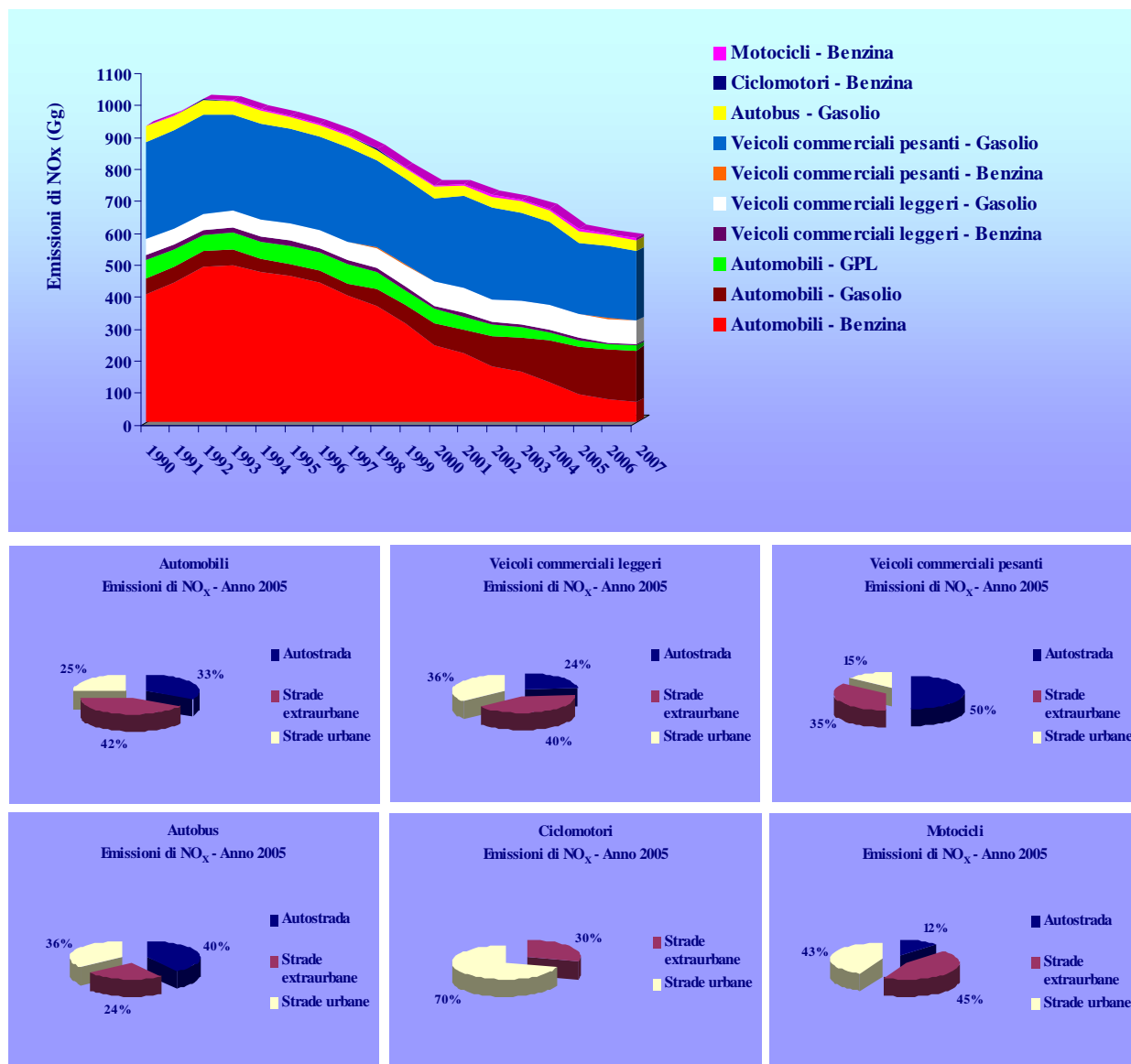


Figura 26 - Emissioni di NO_x (Gg) annuali per categoria veicolare dal 1990 al 2007 e nel dettaglio della ripartizione per tipologia di strada nel 2005

1.3.2.4 Le emissioni di Materiale particolato

La Figura 27 illustra l'andamento delle emissioni di materiale particolato proveniente dai gas di scarico.

Le emissioni mostrano nel complesso una decrescita del 41,3%, registrando un massimo nel 1993.

La categoria che emette la quota maggiore di particolato, nonostante un abbattimento dal 1990 del 46,0%, è quella delle autovetture diesel (37,3% del totale).

I veicoli commerciali leggeri e pesanti diesel, pur registrando anch'essi riduzioni consistenti delle emissioni dal 1990 (rispettivamente pari a 24,0% e 52,0%), producono nel 2007 rispettivamente il 25,9% ed il 22,0% del totale emesso.

Gli autobus diesel, registrando una decrescita del 60,1%, nel 2007 contribuiscono al totale delle emissioni con una quota pari al 3,2%.

I ciclomotori emettono l'8,8% del totale, mentre le emissioni derivanti da motocicli e macchine a benzina hanno un peso sul totale rispettivamente pari a 1,7% e 1,0%.

Le emissioni di particolato, derivando principalmente dai veicoli alimentati a gasolio, in primo luogo autovetture ma anche dai veicoli commerciali, interessano maggiormente l'ambito extraurbano.

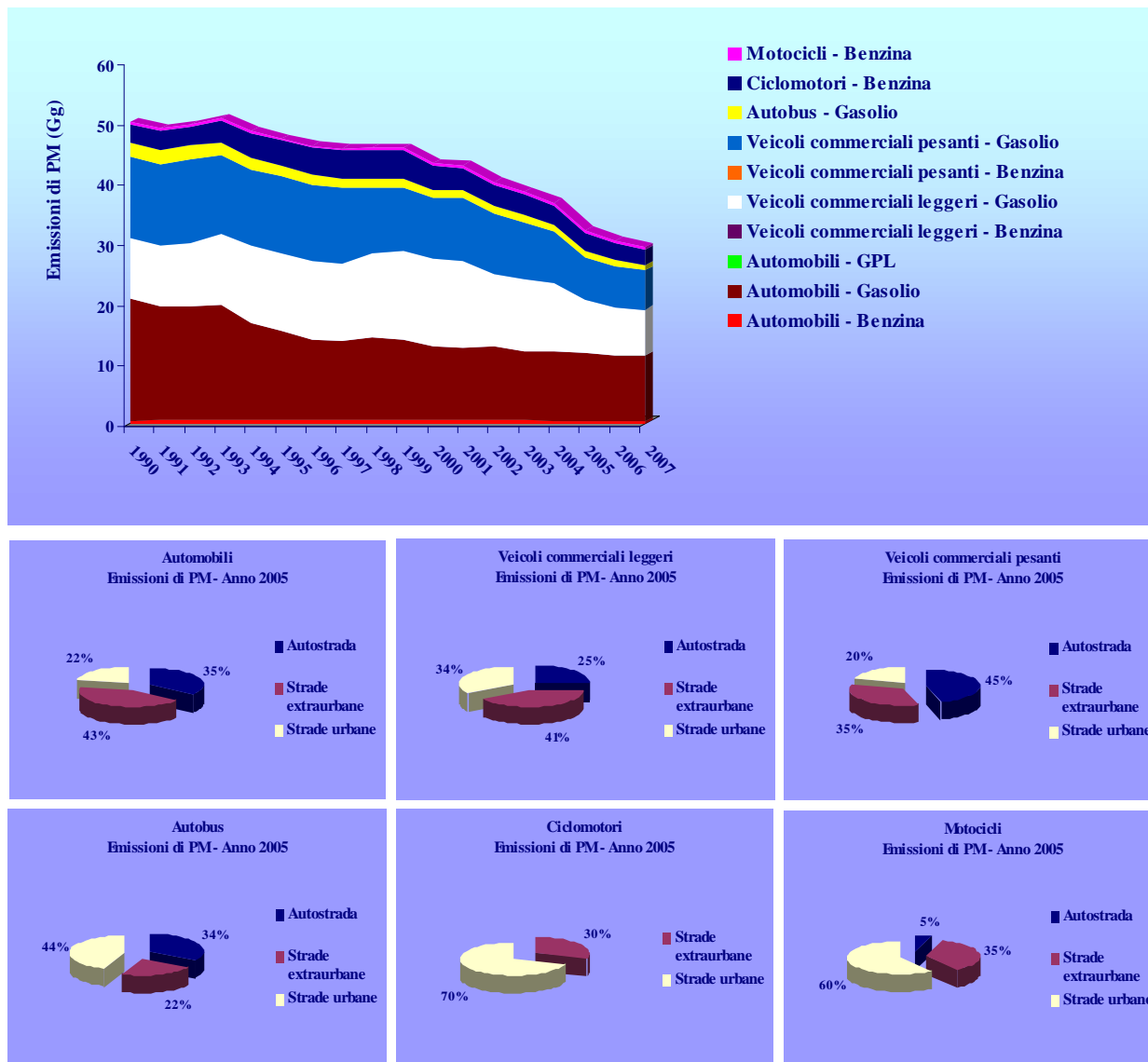


Figura 27 - Emissioni di PM (Gg) annuali per categoria veicolare dal 1990 al 2007 e nel dettaglio della ripartizione per tipologia di strada nel 2005

1.3.2.5 Le emissioni di Ammoniaca

La trattazione delle emissioni di ammoniaca, illustrate in Figura 28, viene inserita come riferimento nazionale ai fini dell'interpretazione dei risultati ottenuti dall'elaborazione sui dati di emissione provinciali, presentata successivamente.

La serie storica dei dati nazionali di emissione da trasporto stradale risulta crescente dal 1990 fino al 2000, anno in cui raggiunge il massimo, per poi decrescere fino al 2007 (si tenga presente che a livello nazionale il peso delle emissioni derivanti dal trasporto stradale è esiguo rispetto al totale, cui contribuisce per la quasi totalità il macrosettore dell'agricoltura).

L'incremento maggiore dal 1990 delle emissioni da traffico stradale risulta imputabile alle marmitte catalitiche delle automobili a benzina, che forniscono un contributo decisivo alle emissioni (61,3%

e 93,8% del totale rispettivamente nel 1990 e nel 2007) e interessano soprattutto l'ambito extraurbano (nel 2005 in ambito extraurbano viene emesso il 47% delle emissioni totali da trasporto stradale, il 46% nel 2006 e 2007).

Un contributo prossimo al 2% al totale delle emissioni del 2007 viene fornito sia dalle automobili diesel che dai veicoli commerciali leggeri a benzina, mentre attorno all'1% si attesta il contributo delle emissioni sia dei veicoli commerciali leggeri che pesanti diesel.

Ai fini dell'interpretazione dei risultati, si consideri che il fattore di emissione dell'ammoniaca è legato ai valori di percorrenza del veicolo e quindi anche all'età dello stesso, varia a seconda della tecnologia di cui è dotato il veicolo, del contenuto di zolfo del combustibile e delle condizioni di guida (in ambito urbano, extraurbano o autostradale). Si consideri infine che dispositivi di post-trattamento quali i convertitori catalitici si sono rivelati responsabili della produzione di ammoniaca, oltre che di protossido di azoto.

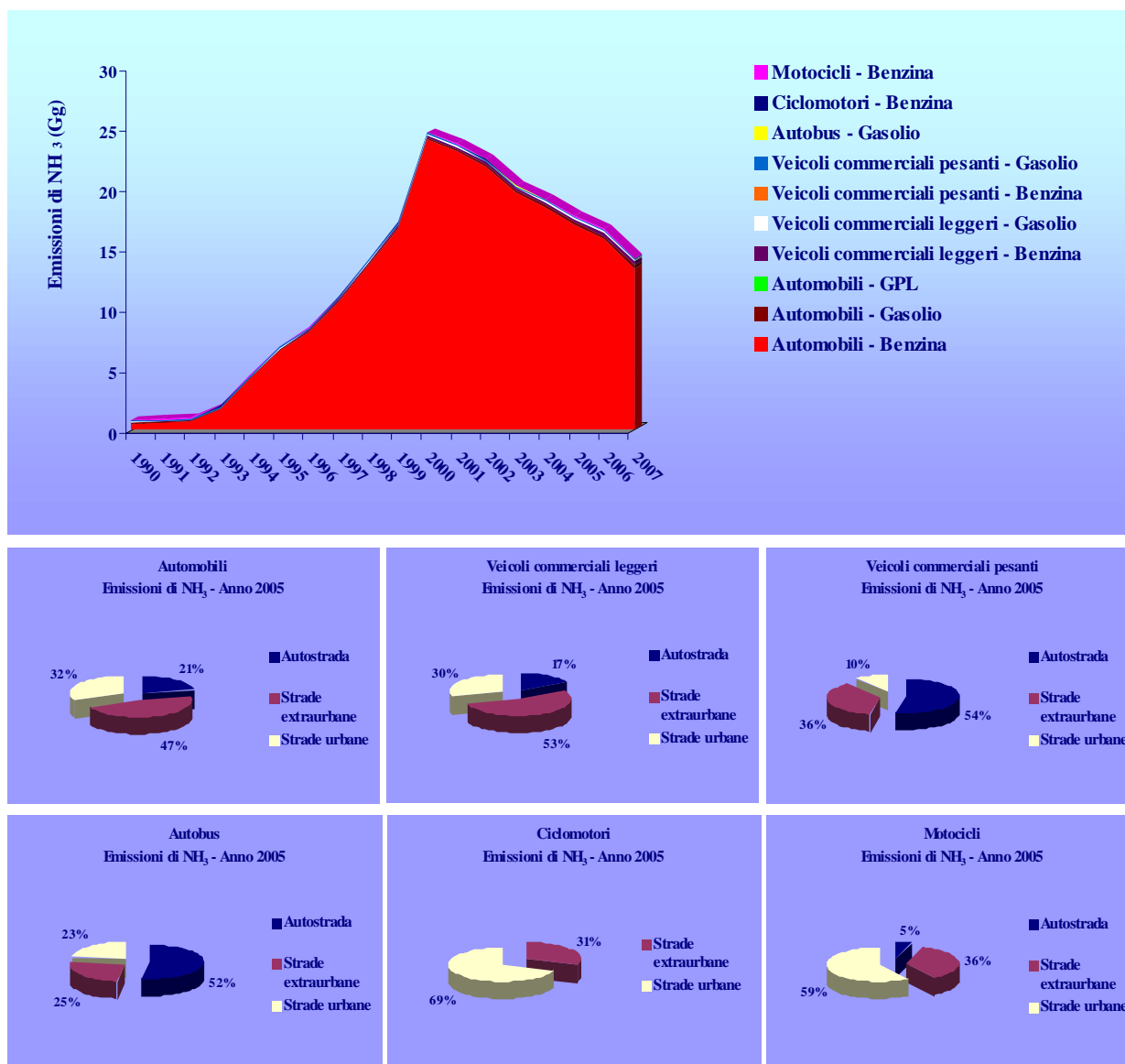


Figura 28 - Emissioni di NH₃ (Gg) annuali per categoria veicolare dal 1990 al 2007 e nel dettaglio della ripartizione per tipologia di strada nel 2005

1.4 Aspetti critici e aree di miglioramento

L'aggiornamento annuale della serie storica delle emissioni inquinanti da trasporto stradale ai fini dell'aggiornamento dell'inventario nazionale comporta un periodico processo di revisione delle stime.

I dati e le informazioni che si rendono man mano disponibili, vengono inseriti nel processo di elaborazione, controllando ed eventualmente aggiornando l'intera serie storica dei dati dal 1990. Vengono quindi inseriti nuovi elementi, oppure sostituiti ai valori di default qualora utilizzati. Ciò risulta valido in generale per tutti i dati di attività, fattori di emissione, di consumo, dati riguardanti i meccanismi di evaporazione e parametri di calcolo utili nell'elaborazione dei dati nazionali di inquinamento.

Una delle aree prioritarie di intervento ai fini del miglioramento delle stime riguarda i combustibili contemplati. Al momento il modello viene utilizzato con riferimento ai veicoli alimentati a benzina, gasolio e GPL, mentre le stime delle emissioni legate all'utilizzo di gas naturale vengono calcolate a parte. Allo stesso modo, la distinzione nelle emissioni di anidride carbonica basata sull'utilizzo di biocombustibili viene calcolata separatamente. È tra gli obiettivi di miglioramento l'inclusione nel modello di stima di voci di consumo nuove o più dettagliate e l'inserimento di nuove categorie veicolari.

Un miglioramento attuabile può essere individuato nell'approfondimento e nella raccolta di ulteriori informazioni sul parco circolante che permettano una corretta classificazione dei dati al momento codificati come "non identificati" o "non contemplati" da ACI.

Può essere inoltre migliorata, tramite il ricorso ad informazioni più specifiche e dettagliate, la stima del parco dei veicoli commerciali pesanti articolati, degli autobus e dei ciclomotori.

Anche la qualità dei dati relativi alle percorrenze, alle velocità medie dei veicoli ed agli share di guida distintamente per le strade urbane, extraurbane e le autostrade potrebbe essere migliorata qualora si rendesse disponibile informazione più dettagliata a livello nazionale.

Riguardo ai veicoli commerciali pesanti ed agli autobus potrebbero essere utilizzati, se disponibili, valori specifici al posto dei valori di default riguardanti le classi di pendenza delle strade percorse ed il fattore di carico distintamente per ciascuna categoria veicolare e per gli ambiti urbano, extraurbano ed autostradale.

I parametri di calcolo relativi all'adeguamento dell'emissione in funzione delle percorrenze o dell'età dei veicoli, alle proprietà ed agli effetti dei combustibili utilizzati, ai fattori di emissione a caldo, a freddo, ai fattori di evaporazione, alla determinazione di altri meccanismi di emissione come l'usura di pneumatici e freni e l'abrasione della strada, sono in generale soggetti a miglioramento nell'ottica dell'inserimento nel processo di stima dei nuovi dati ed informazioni che si rendessero via via disponibili.

2 Inventario provinciale

Nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza (Long Range Transboundary Air Pollution – CLRTAP) dell'UNECE (United Nations Economic Commission for Europe), ogni 5 anni viene richiesta, ai Paesi membri, la presentazione dell'inventario delle emissioni degli inquinanti transfrontalieri a lungo raggio, disaggregate su grigliato EMEP 50 km x 50 km. Tale compito è affidato per l'Italia all'ISPRA. A tal fine l'inventario nazionale delle emissioni (inclusi i gas serra) è stato disaggregato a livello provinciale per gli anni 1990, 1995, 2000 e 2005 [29].

La disponibilità di un inventario provinciale delle emissioni in atmosfera è inoltre di grande utilità per le amministrazioni locali per la pianificazione e la gestione della qualità dell'aria, per l'applicazione di strumenti modellistici che richiedono in input dati di emissione, per l'attività di popolamento di indicatori di pressione e reporting ambientale (relazione sullo stato dell'ambiente, rapporto di valutazione della qualità dell'aria) nonché per le valutazioni di piani, programmi e opere (VAS/VIA).

È stato costituito un gruppo di lavoro sugli inventari locali a cui partecipano esperti dell'ISPRA, delle agenzie regionali, delle amministrazioni locali e dell'ENEA, al fine di armonizzare i criteri di calcolo delle emissioni per una maggiore coerenza e confrontabilità tra inventari locali ed inventario nazionale.

La disaggregazione dell'inventario nazionale a livello provinciale viene realizzata per tutte le sorgenti emissive (naturali ed antropiche), suddivise secondo la nomenclatura utilizzata a livello europeo EMEP/EEA, che classifica le attività secondo la SNAP raggruppandole in 11 macrosettori principali:

1. Combustione - energia e industria di trasformazione
2. Combustione – non industriale
3. Combustione – industria
4. Processi produttivi
5. Estrazione, distribuzione combustibili fossili/geotermico
6. Uso di solventi
7. Trasporti stradali
8. Altre sorgenti mobili
9. Trattamento e smaltimento rifiuti
10. Agricoltura
11. Altre sorgenti di emissione ed assorbimenti.

In particolare per le emissioni da trasporto stradale (macrosettore 07) vengono considerate le seguenti attività SNAP:

- 070101: autovetture passeggeri su ciclo di guida autostradale
- 070102: autovetture passeggeri su ciclo di guida extraurbano
- 070103: autovetture passeggeri su ciclo di guida urbano
- 070201: veicoli commerciali leggeri (inferiori a 3.5 t) su ciclo di guida autostradale
- 070202: veicoli commerciali leggeri (inferiori a 3.5 t) su ciclo di guida extraurbano
- 070203: veicoli commerciali leggeri (inferiori a 3.5 t) su ciclo di guida urbano
- 070301: veicoli commerciali pesanti (superiori a 3.5 t) e autobus su ciclo di guida autostradale
- 070302: veicoli commerciali pesanti (superiori a 3.5 t) e autobus su ciclo di guida extraurbano
- 070303: veicoli commerciali pesanti (superiori a 3.5 t) e autobus su ciclo di guida urbano
- 070400: ciclomotori inferiori a 50 cm³ (solo ciclo urbano)
- 070501: motocicli (superiori a 50 cm³) su ciclo di guida autostradale
- 070502: motocicli (superiori a 50 cm³) su ciclo di guida extraurbano
- 070503: motocicli (superiori a 50 cm³) su ciclo di guida urbano

A partire dall'inventario nazionale, viene costruito quello provinciale attraverso un approccio top-down, dall'alto verso il basso. Tale metodologia prevede l'utilizzo di cosiddette variabili proxy (o surrogato) fortemente correlate all'attività delle sorgenti emmissive ed i cui valori siano noti sia sull'area più estesa (in questo caso quella nazionale) sia al dettaglio territoriale di interesse (nello specifico quello provinciale). Alla base vi è quindi l'ipotesi che la quantità inquinante emessa sull'intera area abbia la stessa distribuzione spaziale della variabile proxy e che pertanto il valore assunto da tale variabile sull'entità territoriale di interesse possa essere considerata come fattore peso nella disaggregazione spaziale delle emissioni.

Le emissioni vengono dunque stimate utilizzando la seguente formula:

$$E_{\text{prov}, i, j} = E_{\text{naz}, i} \cdot S_{\text{prov}, i, j} / S_{\text{naz}, i}$$

dove:

$E_{\text{prov}, i, j}$ = emissioni provinciali relative all'attività i della classificazione SNAP e alla provincia j;

$E_{\text{naz}, i}$ = emissioni nazionali relative all'attività i della classificazione SNAP;

$S_{\text{prov}, i, j}$ = variabile proxy correlata alle emissioni dell'attività i della classificazione SNAP e disponibile per la provincia j;

$S_{\text{naz}, i}$ = variabile proxy relativa all'attività i della classificazione SNAP e riferita all'intera nazione;

con $S_{\text{naz}, i} = \sum_j S_{\text{prov}, i, j}$ con $j=1, N$ (numero della province)

Nel caso delle emissioni da trasporto su strada di inquinanti e di gas serra stimati attraverso il modello COPERT IV, le attività sono le diverse sorgenti emmissive nella classificazione SNAP (autovetture, veicoli commerciali leggeri e pesanti, ciclomotori e motocicli) per le tre modalità di guida (autostradale, extraurbana e urbana). A differenza dell'inventario nazionale, in quello provinciale le attività di emissioni di particolato (PM₁₀ e PM_{2.5}) dovute all'abrasione di pneumatici, freni e asfalto e di emissioni evaporative (COVNM e benzene) da autoveicoli a benzina, vengono sommate a quelle dovute alla combustione per ciascuna categoria veicolare e per ciascun ciclo di guida.

La stima delle emissioni, sia a livello nazionale che provinciale, viene fatta per ciascuna categoria COPERT, maggiormente dettagliata rispetto all'attività SNAP. Successivamente le emissioni sono state aggregate a livello di SNAP per facilità di lettura.

Il calcolo delle emissioni su base nazionale si basa attualmente sulla metodologia comunitaria COPERT IV, e pertanto è stato necessario un aggiornamento degli inventari provinciali per gli anni 1990, 1995, 2000 e 2005, che erano stati costruiti in base alla precedente versione COPERT III, che prevedeva una differente classificazione dei veicoli.

La metodologia COPERT fornisce i fattori di emissione (ovvero la quantità di inquinante mediamente emesso da un veicolo per unità di percorso ad una certa velocità media) per i mezzi circolanti suddivisi in base a:

- tipo di combustibile (benzina, gasolio, GPL);
- tipo di veicolo (automobili, motocicli, ciclomotori, mezzi commerciali, autobus);
- fascia di cilindrata o di peso a pieno carico;
- applicazione della normativa CEE.

Alle emissioni nazionali da traffico stradale sono state applicate tre diverse metodologie di disaggregazione spaziale a livello provinciale (approccio top-down) che vengono di seguito descritte.

2.1 Metodologia standard

La prima metodologia utilizzata, denominata standard, è quella suggerita nell'EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook [14], e si basa sull'ipotesi che esista una correlazione significativa tra la popolazione residente e la circolazione di veicoli su strada. Questa metodologia prevede che le emissioni urbane (vale a dire quelle prodotte su strade urbane) vengano disaggregate a livello provinciale, utilizzando come variabile proxy per ciascuna provincia, la popolazione residente nei comuni con più di 20.000 abitanti (fonte ISTAT), mentre le emissioni extraurbane vengono disaggregate a livello provinciale, utilizzando come variabile proxy per ciascuna provincia la popolazione residente nei comuni con meno di 20.000 abitanti (fonte ISTAT). Le emissioni relative alla modalità di guida autostradale vengono disaggregate per ogni provincia, utilizzando come variabile proxy la lunghezza dei tratti autostradali, moltiplicati per il numero delle relative corsie, nell'ambito della provincia stessa (fonte AISCAT).

Per le emissioni riferite alla modalità di guida urbana (U), l'emissione per ciascuna provincia si ottiene moltiplicando il dato nazionale per la quota provinciale della popolazione residente in comuni con più di 20000 abitanti, e pertanto possiamo scrivere che il contributo per provincia j e per categoria COPERT i è:

$$E^U_{i,j} = E^U_i \cdot P^U_j / P^U$$

dove:

$E^U_{i,j}$ = emissioni provinciali urbane relative alla categoria i e alla provincia j;

E^U_i = emissioni nazionali urbane relative alla categoria i;

P^U_j = popolazione residente nei comuni con più di 20000 abitanti all'interno della provincia j;

P^U = popolazione nazionale residente nei comuni con più di 20000 abitanti;

con $P^U = \sum_j P^U_j$ con $j=1,N$ (numero della province).

Il numero delle province è 95 per il 1990 e 103 per il 1995, 2000 e il 2005.

Analogamente, per le emissioni riferite alla modalità di guida extraurbana (E), l'emissione per ciascuna provincia si ottiene moltiplicando il dato nazionale per la quota provinciale della popolazione residente in comuni con meno di 20000 abitanti, e pertanto possiamo scrivere che il contributo per provincia j e per categoria COPERT i è:

$$E^E_{i,j} = E^E_i \cdot P^E_j / P^E$$

dove:

$E^E_{i,j}$ = emissioni provinciali extraurbane relative alla categoria i e alla provincia j;

E^E_i = emissioni nazionali extraurbane relative alla categoria i;

P^E_j = popolazione residente nei comuni con meno di 20000 abitanti all'interno della provincia j;

P^E = popolazione nazionale residente nei comuni con meno di 20000 abitanti;

con $P^E = \sum_j P^E_j$ con $j=1,N$ (numero della province)

Infine, per le emissioni riferite alla modalità di guida autostradale (A), il contributo per provincia j e per categoria COPERT i è:

$$E^A_{i,j} = E^A_i \cdot L_j / L$$

dove:

$E^A_{i,j}$ = emissioni provinciali autostradali relative alla categoria COPERT i e alla provincia j;

E^A_i = emissioni nazionali autostradali relative alla categoria COPERT i;

L_j = sommatoria del prodotto del numero delle corsie per la lunghezza dei rispettivi tratti di ciascuna autostrada presente sulla provincia j ;

L = sommatoria del prodotto del numero delle corsie per la lunghezza dei rispettivi tratti autostradali sull'intero territorio nazionale.

Con il termine autostrada nel Guidebook CORINAIR si fa riferimento a qualsiasi strada che viene percorsa in modalità di guida autostradale e quindi non esclusivamente a quelle a pedaggio.

Tuttavia la fonte informativa utilizzata relativamente ai dati autostradali (AISCAT [3]) fornisce i dati solamente per queste ultime, escludendo quindi tutte quelle nelle quali la velocità di percorrenza è tale da poterne consentire la classificazione in questa modalità di guida.

Un ulteriore limite di questa metodologia, relativamente a tutte e tre le modalità di guida, è in questo caso la scarsa variabilità nel tempo delle proxy rispetto agli indicatori utilizzati nelle altre metodologie, nonostante il lungo periodo considerato. Pertanto anche a livello provinciale si riflette lo stesso andamento temporale determinato dall'inventario nazionale.

2.2 Metodologia basata sulla flotta veicolare

2.2.1 Dati di base

La seconda metodologia, implementata all'interno dell'ISPRA e, applicata a partire dall'anno 2000, si basa sulla distribuzione provinciale della flotta veicolare.

I dati di base utilizzati per questa metodologia sono costituiti dal parco veicolare fornito dall'ACI (Automobile Club d'Italia) (Pubblicazione "autoritratto 2000" e "autoritratto 2005"), aggiornato annualmente sulla base delle risultanze dello stato giuridico dei veicoli (immatricolazione o radiazione) tratte dal Pubblico Registro Automobilistico (PRA).

Le categorie di veicoli considerate sono: le autovetture, i veicoli commerciali leggeri, i veicoli commerciali pesanti, gli autobus, i motocicli, i motocarri e i ciclomotori.

Questi dati sono suddivisi per ciascuna provincia, per tecnologia e secondo un'ulteriore classificazione che non in tutti i casi è coincidente con quella del modello COPERT ed è meno dettagliata. Per le due categorie di seguito riportate è stata necessaria un'ulteriore elaborazione per poter classificare i dati provinciali secondo la suddivisione adottata in COPERT IV.

2.2.2 Categoria buses

Nel caso degli autobus, l'ACI prevede per ciascuna tecnologia EURO la classificazione Extraurbano, Urbano, Privato trasporto persone e Altri usi, ben diversa da quella utilizzata per COPERT IV, che prevede una ripartizione per tipologia urbana o extraurbana, per normativa ed una suddivisione basata sulle classi di peso (Urban Buses Midi ≤ 15 t, Urban Buses Standard 15 – 18, Urban Buses Articulated >18 t, Coaches Articulated >18 t, Coaches Standard ≤ 18 t) oltre alla classificazione per tecnologia (Conventional, HD Euro I - 91/542/EEC Stage I, HD Euro II - 91/542/EEC Stage II, HD Euro III - 2000 Standards).

A partire dai dati provinciali del parco forniti da ACI, è stata effettuata, per ogni provincia e tra le varie classi di tecnologia, la ripartizione dei dati non identificati. Successivamente, i valori relativi alle diverse classi definite per ACI (Extraurbano, Urbano, Privato trasporto persone e Altri usi) sono stati accorpati per ciascuna provincia e ciascuna tecnologia. Quindi la distribuzione provinciale e per tecnologia ottenuta è stata utilizzata per ripartire:

- il totale nazionale degli autobus urbani ripartiti per classe di peso;
- il totale nazionale degli autobus extraurbani ripartiti per classe di peso;
- la quota di autobus extraurbani da assegnare alla classe dei veicoli commerciali leggeri,

ottenendo così la distribuzione provinciale degli autobus secondo le classi COPERT IV.

Il totale nazionale degli autobus è quello fornito da ACI, al quale viene sottratta la quota da attribuire alla classe dei veicoli commerciali leggeri; il totale degli autobus urbani viene desunto dal CNIT del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e il totale degli autobus extraurbani viene ricavato per differenza.

2.2.3 Veicoli commerciali pesanti

Un'attenzione particolare è stata rivolta anche alla distribuzione provinciale dei veicoli commerciali pesanti a gasolio, poiché la nuova classificazione utilizzata nel COPERT IV è differente e

maggiormente dettagliata rispetto a quella utilizzata da ACI fino al 2005 (vedi Figura 29). La suddivisione in categorie veicolari è in base alla massa a pieno carico definita anche come Peso Totale a Terra (P.T.T.) che è la massa massima del veicolo riportata sulla carta di circolazione. In questo caso per riuscire a costruire la flotta provinciale, per gli anni 2000 e 2005, per ciascuna classe COPERT, è stata utilizzata la distribuzione del parco provinciale fornito da ACI per il 2006, il primo anno per cui è stata adottata la nuova classificazione in accordo con COPERT. Sono stati infatti determinati i pesi per ciascuna provincia e per ciascuna classe COPERT (di peso e di tecnologia) sulla base dei quali poter ripartire i totali parziali del parco veicolare nazionale del 2000 e del 2005, relativi a ciascuna categoria COPERT.

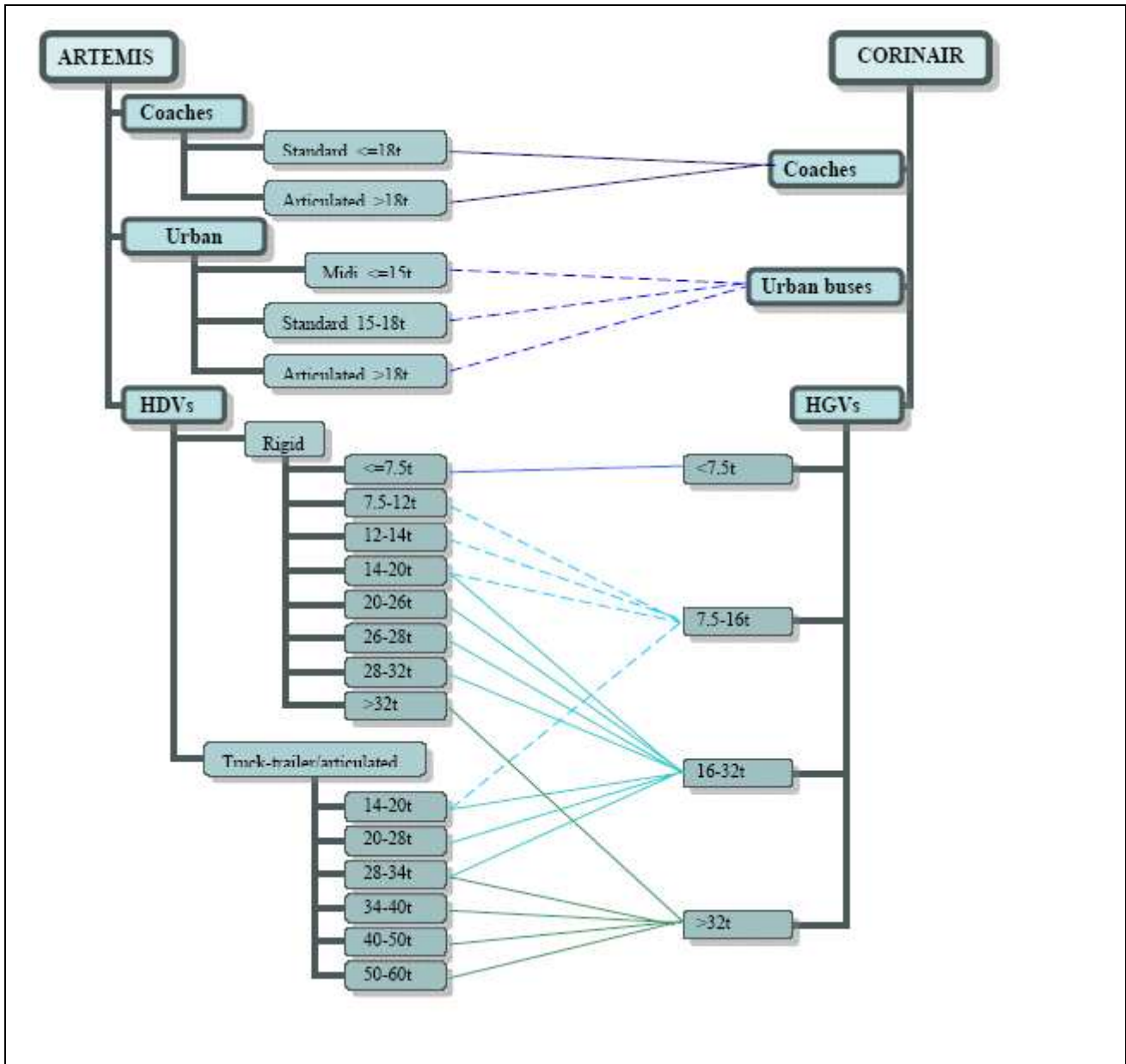


Figura 29 Corrispondenza tra la classificazione CORINAIR (utilizzata da ACI) e la nuova classificazione definita nell'ambito del progetto ARTEMIS (adottata nel modello COPERT IV) per autobus e veicoli commerciali pesanti (EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook 2007).

2.2.4 Descrizione della metodologia

Una volta ottenuto il parco veicolare per ciascuna provincia e per ciascuna categoria di COPERT¹, questa informazione viene utilizzata per ripartire, per il contributo urbano, extraurbano e autostradale, il valore nazionale dell'emissione di un certo inquinante, a livello provinciale, per ciascuna categoria COPERT, pesandolo con la numerosità della flotta provinciale rispetto al corrispondente valore nazionale.

Per le emissioni riferite alla modalità di guida k, il contributo per provincia j e per categoria COPERT i è:

$$E_{i,j,k} = E_{i,k} \cdot F_{i,j} / F_i$$

dove:

$E_{i,j}$ = emissioni provinciali relative alla categoria COPERT i, alla provincia j e alla modalità di guida k;

E_i = emissioni nazionali relative alla categoria COPERT i e alla modalità di guida k;

$F_{i,j}$ = flotta veicolare per categoria COPERT i e per provincia j ;

F_i = flotta veicolare nazionale per categoria COPERT i

con $F_i = \sum_j F_{i,j}$ con $j=1,N$ (numero della province).

Un limite di questa seconda metodologia risiede nel fatto che la distribuzione non varia tra le tre modalità di guida.

Si può ritenere vantaggioso tale metodo rispetto alla metodologia standard, poiché il dato nazionale relativo alla modalità di guida autostradale viene, in questo caso ripartito per tutte le province, non escludendo quelle che non contemplano tratti propriamente autostradali.

Inoltre l'indicatore utilizzato per la disaggregazione ha una maggiore capacità di descrivere la variabilità delle emissioni sia sul territorio, in quanto il rinnovo dei parchi provinciali è differente nelle diverse zone italiane (in genere la percentuale dei veicoli a tecnologie avanzate è maggiore al nord rispetto al sud), che nel tempo, poiché dipende dal rinnovo tecnologico del parco e dall'incremento sostanziale del numero di veicoli in circolazione.

2.3 Metodologia basata sul valore aggiunto per i veicoli commerciali

La terza metodologia riguarda solo le emissioni relative alle modalità di guida urbana e extraurbana dovute ai mezzi commerciali, cioè le categorie COPERT "Light Duty Vehicles" e "Heavy Duty Trucks", corrispondenti ai settori SNAP 0702 e 0703. Questa metodologia di disaggregazione [35] del dato nazionale, applicata per gli anni 2000 e 2005, utilizza l'indicatore economico del valore aggiunto provinciale e si basa sull'ipotesi che la distribuzione delle emissioni per queste categorie di veicoli sia legata maggiormente all'intensità dell'attività economica piuttosto che alla densità della popolazione o del parco veicolare. I dati di base per questa disaggregazione sono stati pubblicati sul sito dell'Istituto Tagliacarte (consultazione settembre 2004)) per l'anno 2000 e dall'Istat per il 2005 [31].

I risultati evidenziano naturalmente una correzione della distribuzione delle emissioni del trasporto merci su strada verso le province economicamente più importanti, in generale verso le province settentrionali.

Secondo questa metodologia, per ciascuna categoria COPERT relativa a Light Duty Vehicles e a Heavy Duty Vehicles, la stima top-down della componente urbana delle emissioni per ogni provincia j delle emissioni è data da:

$$E_j^U = E \cdot V_j^U$$

dove:

¹ Il database delle emissioni provinciali è disponibile su:

http://www.sinanet.apat.it/inventaria/disaggregazione_prov2005/database_provinciale/view

$$V_j^U = (V_j/V^U) \cdot (P_j^U / P_j) = (V_j / P_j) / (V^U / P_j^U)$$

Quest'ultima, in pratica è il rapporto tra il valore aggiunto procapite dell'intera provincia j (V_j/P_j) e la quota del valore aggiunto nazionale "urbano" (V^U / P_j^U) relativamente alla sola componente urbana della popolazione provinciale (che abbiamo già definito come la popolazione residente nei comuni con più di 20000 abitanti all'interno della provincia j). Infatti:

V_j : il valore aggiunto dell'economia totale della provincia j e

$V = \sum_j V_j = V^U + V^E$ è il valore aggiunto nazionale.

Il valore aggiunto nazionale della componente urbana (e di quella extraurbana) viene così definito:

$$V^U = \sum_j V_j \cdot (P_j^U / P_j)$$

e

$$V^E = \sum_j V_j \cdot (P_j^E / P_j)$$

da cui

$$V_j^U = V_j \cdot (P_j^U / P_j) / (\sum_j V_j \cdot (P_j^U / P_j))$$

dove: $\sum_j V_j^U = 1$.

Analogamente la componente extraurbana delle emissioni provinciale, per ciascuna categoria COPERT relativa a Light Duty Vehicles e a Heavy Duty Vehicles, sarà:

$$E_j^E = E \cdot V_j^E$$

dove

$$V_j^E = V_j \cdot (P_j^E / P_j) / (\sum_j V_j \cdot (P_j^E / P_j))$$

2.4 Rappresentazione spaziale della disaggregazione realizzata con metodologia standard

Si riportano di seguito le mappe delle emissioni provinciali di CO, COVNM, NO_x, PM₁₀ e NH₃ stimate con la metodologia standard per l'anno 2005 suddivise tra automobili, veicoli a due ruote e veicoli merci.

Per la rappresentazione spaziale dei dati è stato utilizzato il metodo Jenks, che basa la definizione delle classi sulla minimizzazione della varianza all'interno di ciascuna classe e sulla massimizzazione della varianza fra le classi.

Per tutti gli inquinanti si nota l'importanza in termini emissivi delle province in cui sono localizzati i grandi centri urbani italiani (Roma, Milano, Torino, Napoli, Palermo, Bologna, Firenze, Bari, Cagliari); a livello territoriale più aggregato si distingue la fascia nord della pianura Padana, che è caratterizzata da un'alta densità abitativa e un alto insediamento industriale, in particolare per i veicoli merci lungo la fascia che congiunge l'adriatico alla provincia di Milano.

Per i COVNM si nota che le emissioni relative ai veicoli commerciali si collocano nelle classi più alte rispetto a quanto si verifica per le automobili, i motocicli e i ciclomotori.

Figura 30 Emissioni provinciali di CO dovute alle autovetture calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005

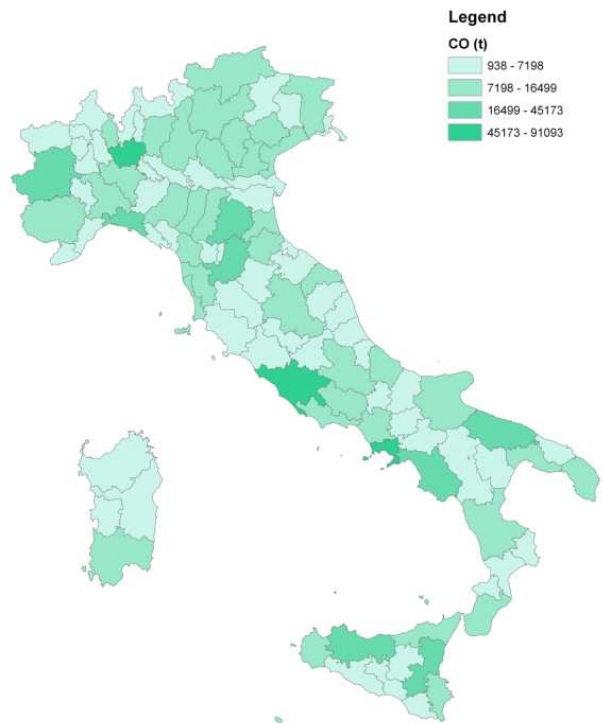


Figura 31 Emissioni provinciali di CO dovute ai motocicli e ai ciclomotori calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005

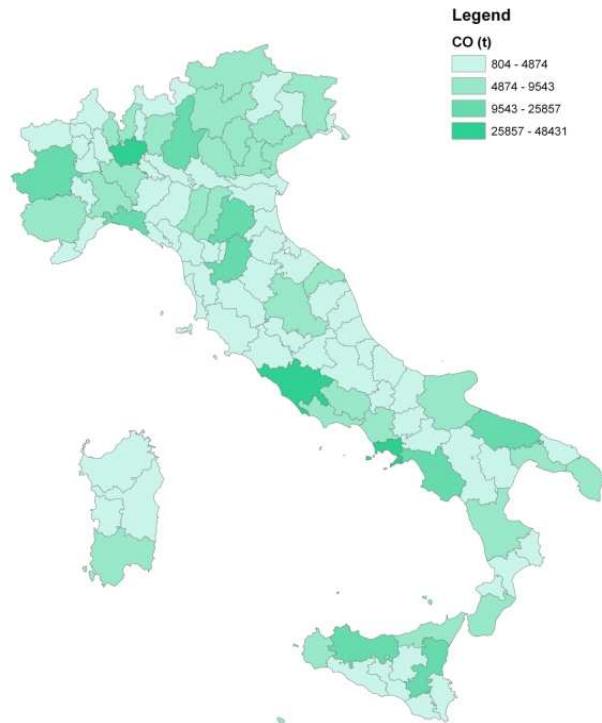


Figura 32 Emissioni provinciali di CO dovute ai veicoli commerciali calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005

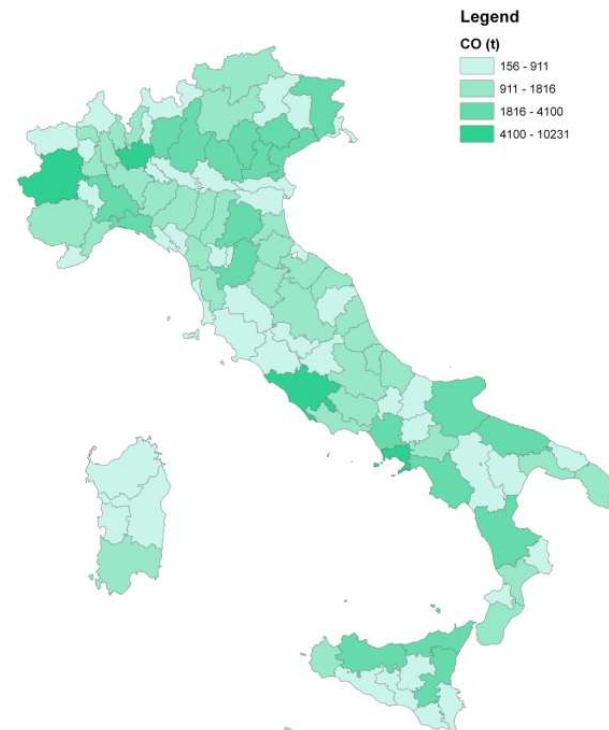


Figura 33 Emissioni provinciali di COVNM dovute alle autovetture calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005

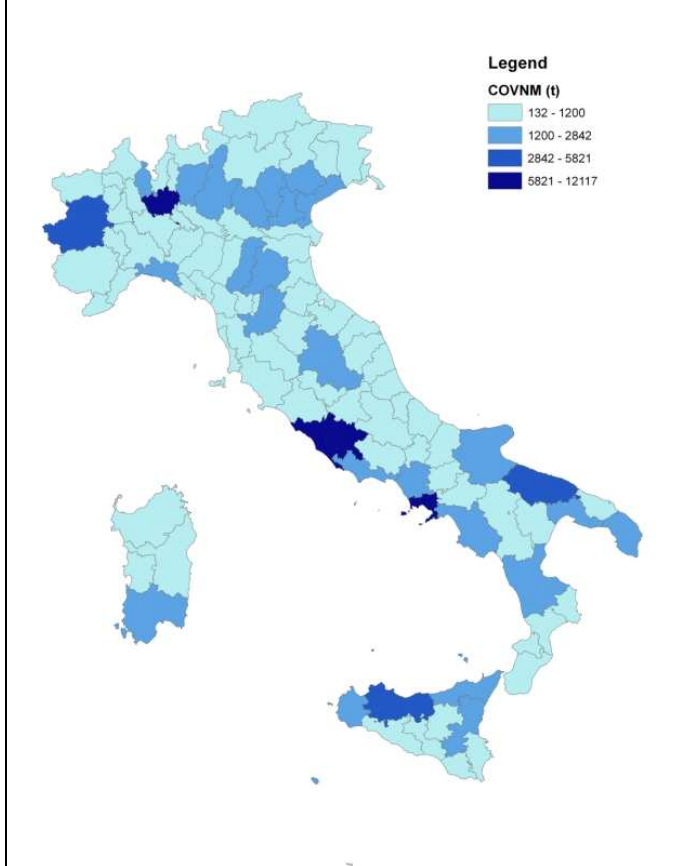


Figura 34 Emissioni provinciali di COVNM dovute ai motocicli e ai ciclomotori calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005

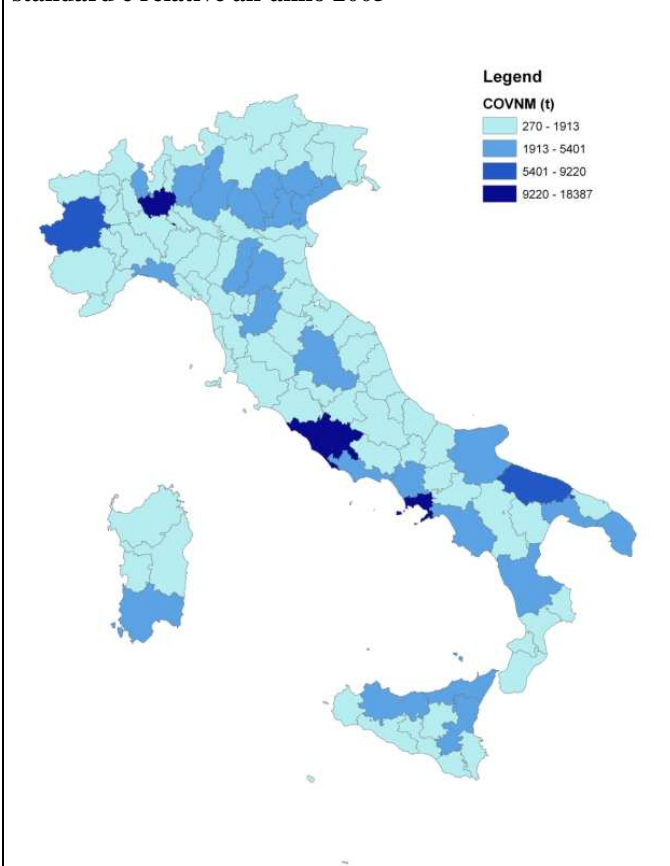


Figura 35 Emissioni provinciali di COVNM dovute ai veicoli commerciali calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005

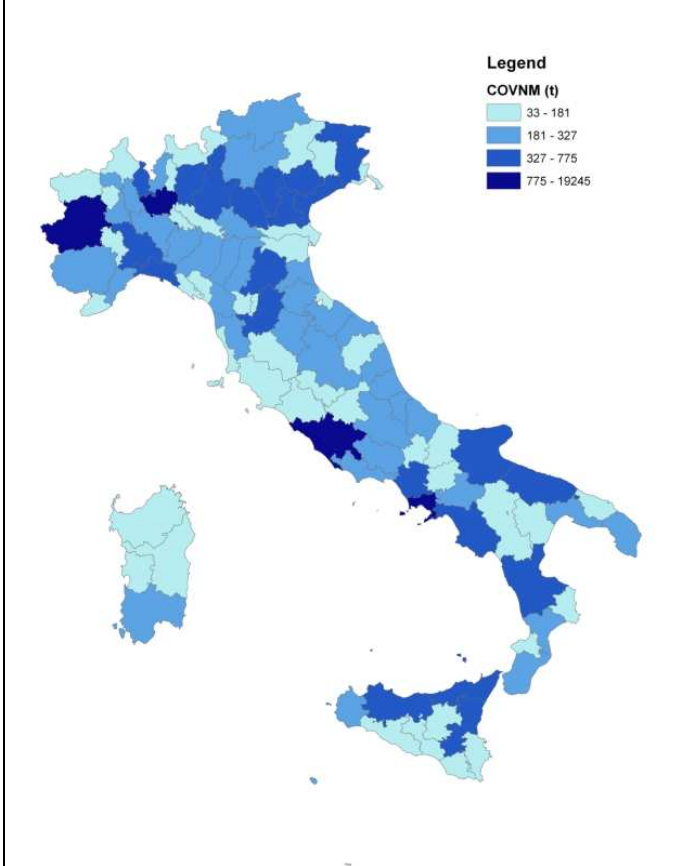


Figura 36 Emissioni provinciali di NH₃ dovute alle autovetture calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005

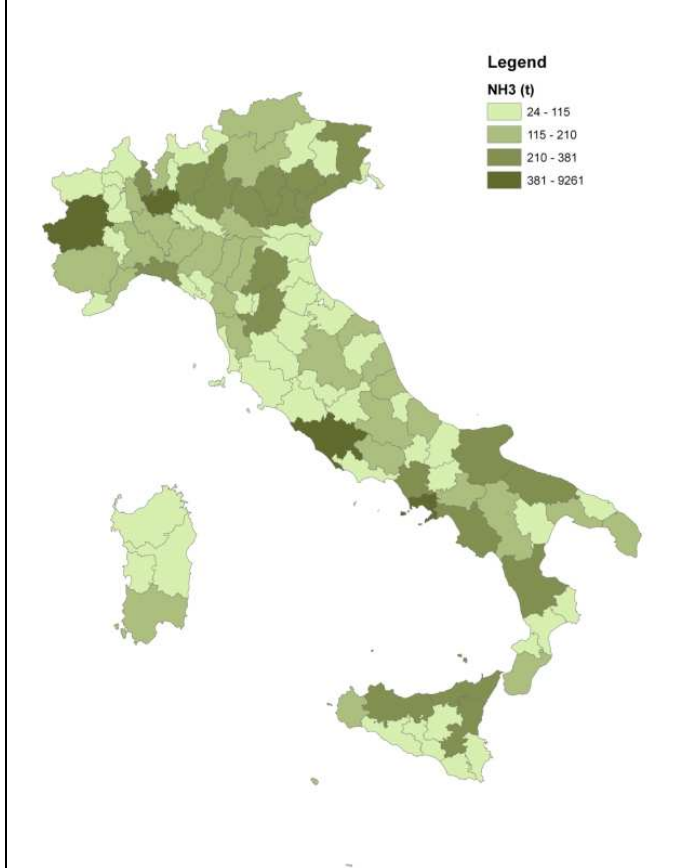


Figura 37 Emissioni provinciali di NH₃ dovute ai motocicli e ai ciclomotori calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005

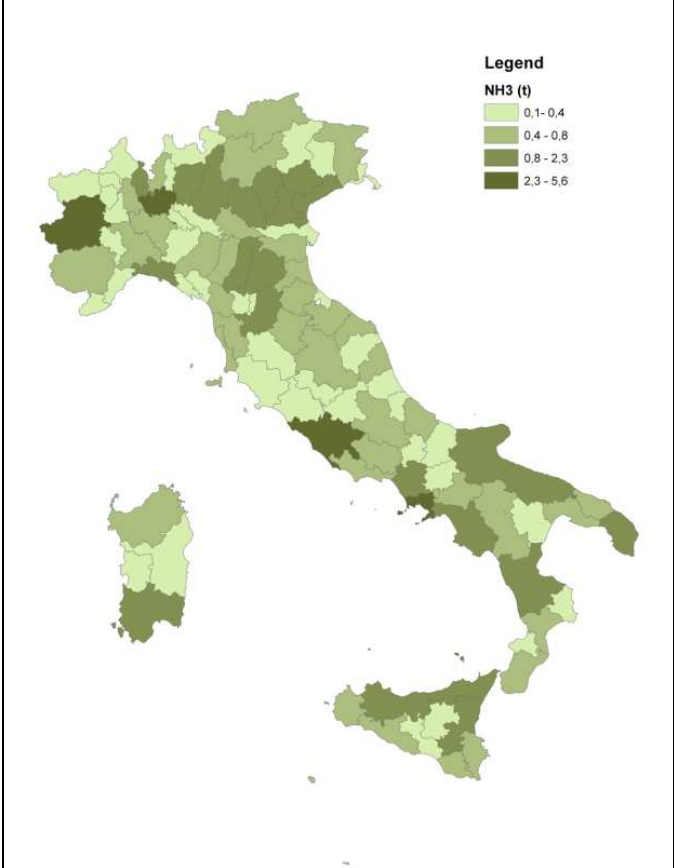


Figura 38 Emissioni provinciali di NH₃ dovute ai veicoli commerciali calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005

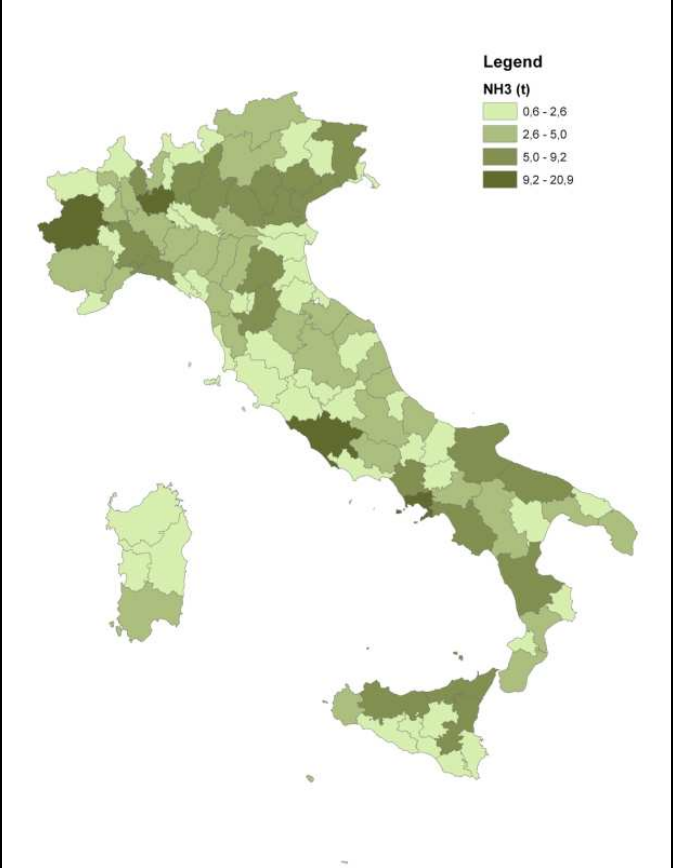


Figura 39 Emissioni provinciali di NO_x dovute alle autovetture calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005

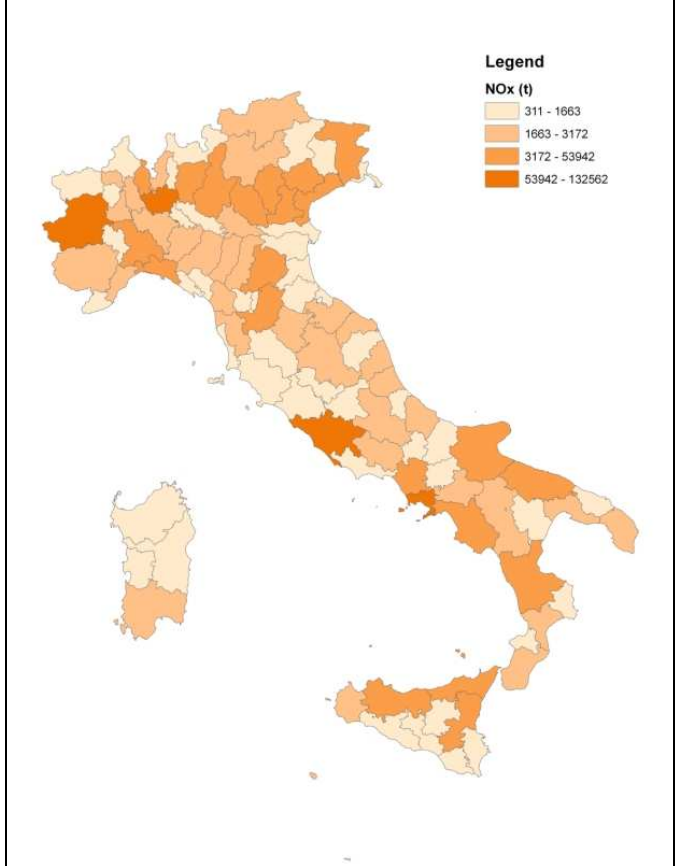


Figura 40 Emissioni provinciali di NO_x dovute ai motocicli e ai ciclomotori calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005

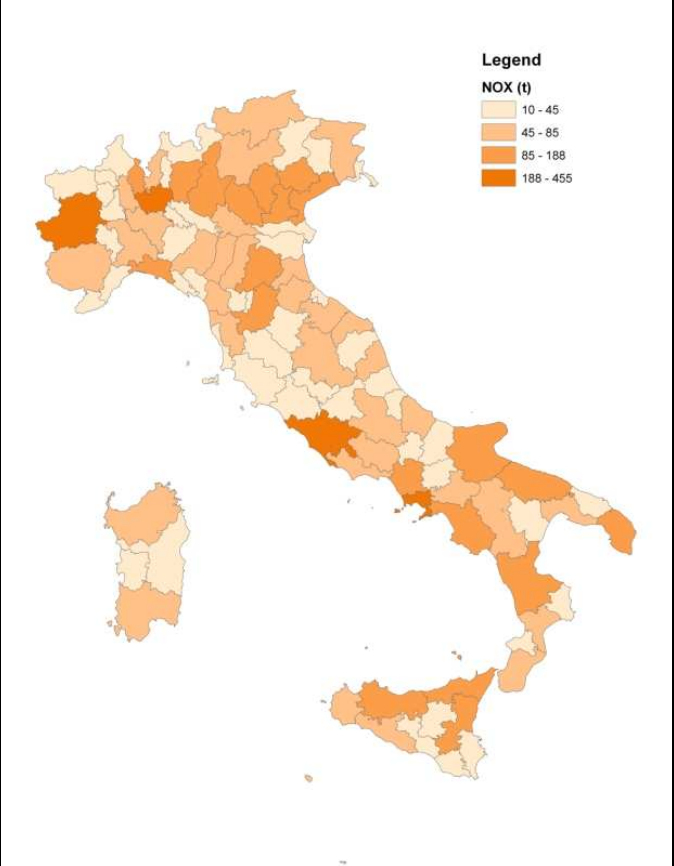


Figura 41 Emissioni provinciali di NO_x dovute ai veicoli commerciali calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005

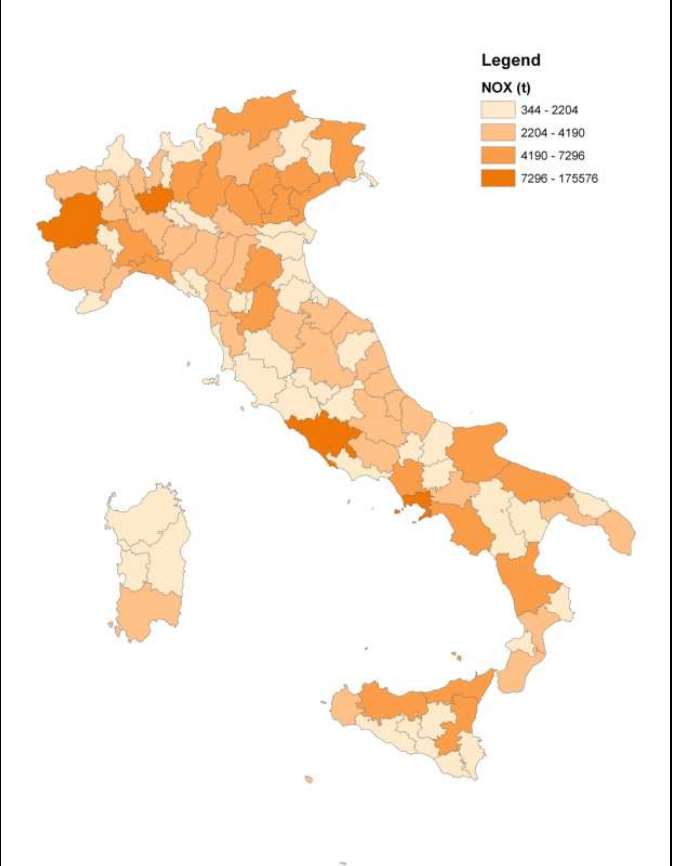


Figura 42 Emissioni provinciali di PM10 dovute alle autovetture calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005

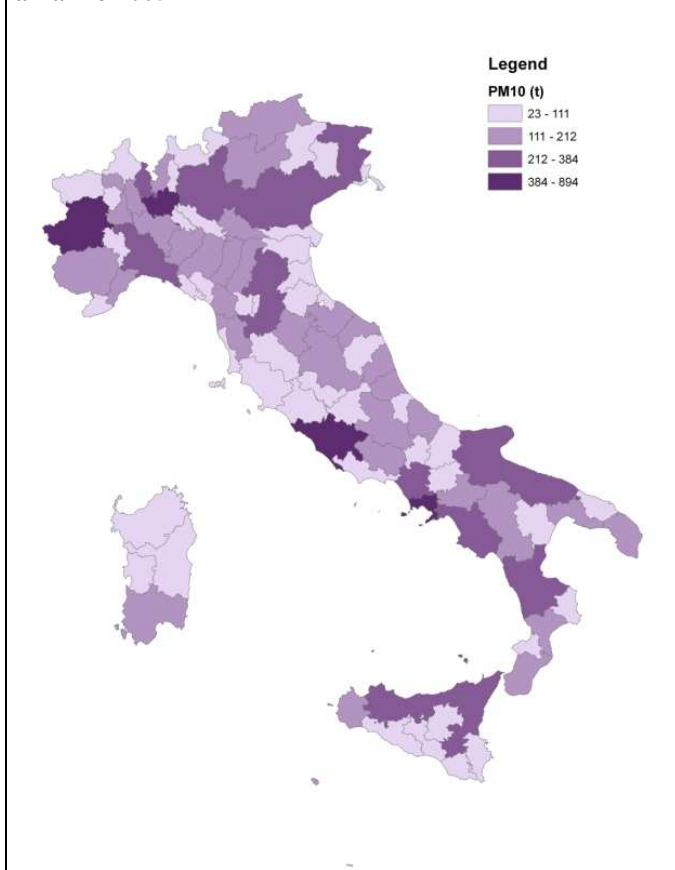


Figura 43 Emissioni provinciali di PM10 dovute ai motocicli e ai ciclomotori calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005

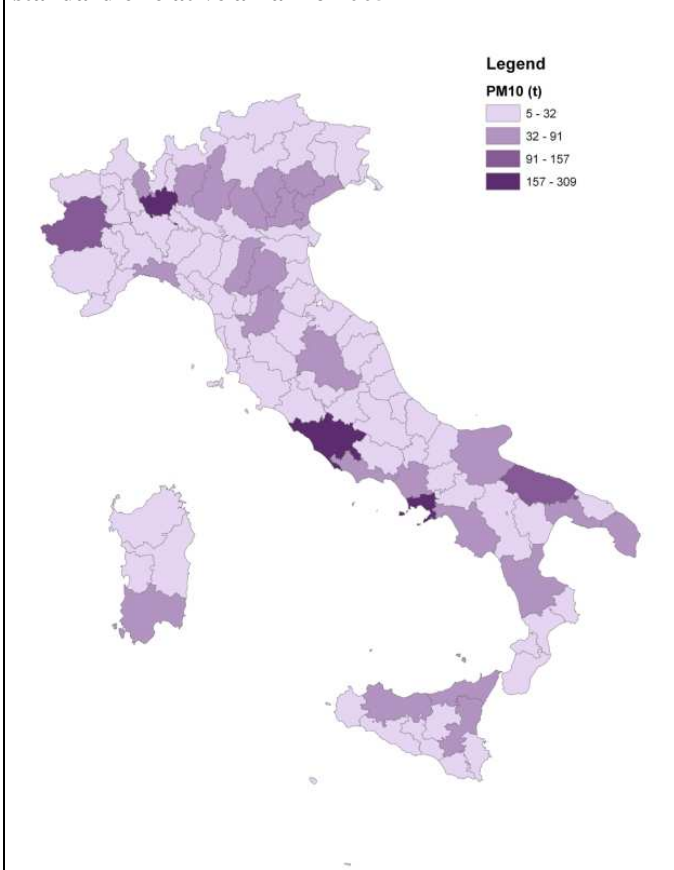
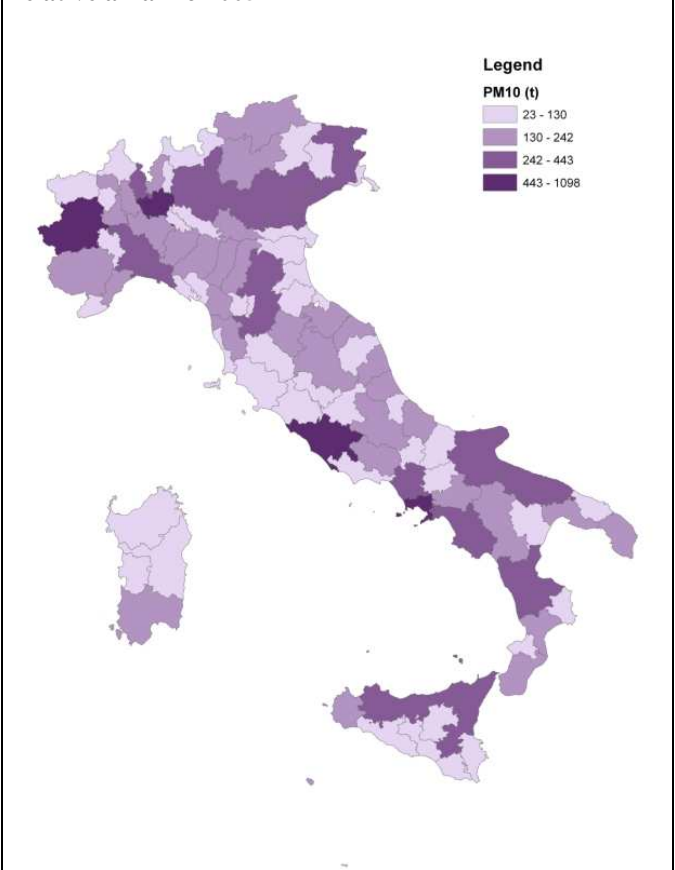


Figura 44 Emissioni provinciali di PM10 dovute ai veicoli commerciali calcolate con il metodo standard e relative all'anno 2005



2.5 Analisi di decomposizione della variazione delle emissioni

Al fine di evidenziare le determinanti dei cambiamenti osservati nel periodo 2000-2005, è possibile effettuare un'analisi di decomposizione della variazione delle emissioni [12]. Con questo tipo di analisi è possibile individuare quali cause danno luogo ad una certa variazione delle emissioni in un determinato periodo temporale ed attribuirle alla variazione delle sue componenti. Ai fini di questa analisi, basata su un modello di ragionamento *ceteris paribus*, le singole determinanti sono esaminate come se fossero indipendenti dagli altri fattori.

Il modello che viene qui utilizzato scompone la variazione delle emissioni del trasporto su strada dal 2000 al 2005 in tre determinanti. Le emissioni in un certo anno t (E_t) si possono scrivere come:

$$E_t = \sum (E_t / F_t)_i \cdot (F_{it} / F_t) \cdot F_t$$

dove:

- $(E / F)_i$ sono le emissioni per unità di flotta nella provincia i ; questo fattore fornisce un'indicazione sull'intensità di emissione;
- (F_i / F) è la quota della flotta nella provincia i , che indica come varia la composizione della flotta nel periodo considerato;
- F rappresenta la flotta veicolare sull'intero territorio nazionale.

Pertanto il modello che viene utilizzato fornisce una componente tecnologica, una componente indicativa della struttura della flotta veicolare ed un fattore di scala rappresentato dal volume della flotta.

L'analisi è stata condotta utilizzando le emissioni relative al metodo di disaggregazione, per le automobili e i veicoli commerciali, basato sulla flotta veicolare e aggregando le province nelle seguenti quattro classi:

- province con popolazione superiore al milione di abitanti ($Pop > 1 M$)²;
- province con popolazione compresa fra 500000 e un milione di abitanti ($1M > Pop > 500m$)³;
- province con popolazione compresa fra 300000 e 500000 abitanti ($300m > Pop > 500m$)⁴;
- province con popolazione inferiore a 300000 abitanti ($Pop < 300m$)⁵.

In generale, come visto nel capitolo "La stima dei dati di emissione da trasporto stradale a livello nazionale ed il modello Copert", le emissioni totali per le automobili e i veicoli commerciali decrescono dal 2000 al 2005. Nelle figure seguenti si presentano le variazioni totali decomposte secondo le tre determinanti individuate per COVNM e NH₃ a titolo esemplificativo; le emissioni provinciali sono quindi presentate secondo le quattro aggregazioni suddette. Il contributo principale della decrescita delle emissioni è dato dal forte miglioramento di efficienza, identificato dalla componente intensità di emissione, verificabile sia per le emissioni di COVNM che per quelle di NH₃, sia per le automobili che per i veicoli commerciali. Tale contributo è maggiore nelle province con popolazione oltre il milione di abitanti, per la categoria automobili; infatti in queste province si

² Milano, Roma, Napoli, Torino, Bari, Palermo, Firenze, Brescia, Salerno, Catania, Bergamo

³ Bologna, Como, Genova, Padova, Caserta, Verona, Treviso, Varese, Vicenza, Venezia, Lecce, Cagliari, Cosenza, Catanzaro, Foggia, Modena, Forlì, Messina, Perugia, Taranto, Cuneo, Reggio Calabria, Udine, Latina, Novara, Pavia, Trento

⁴ Reggio Emilia, Frosinone, Bolzano, Sassari, Ancona, Agrigento, Avellino, Trapani, Alessandria, Parma, Brindisi, Siracusa, Pisa, Mantova, Chieti, Potenza, Ascoli Piceno, Lucca, Ravenna, Pesaro, Vercelli, Ferrara, Cremona, Livorno, Arezzo, Macerata, Pescara, Ragusa, L'Aquila, Viterbo, Pordenone

⁵ Teramo, Benevento, Savona, Pistoia, Piacenza, Caltanissetta, Nuoro, Siena, Rovigo, Trieste, Campobasso, Terni, La Spezia, Grosseto, Imperia, Asti, Belluno, Matera, Massa, Sondrio, Enna, Rieti, Oristano, Gorizia, Aosta, Isernia

è avuto un incremento maggiore di automobili e di conseguenza un ricambio maggiore di veicoli più efficienti. Questo è testimoniato anche dal miglioramento della composizione della flotta automobilistica nelle province più grandi.

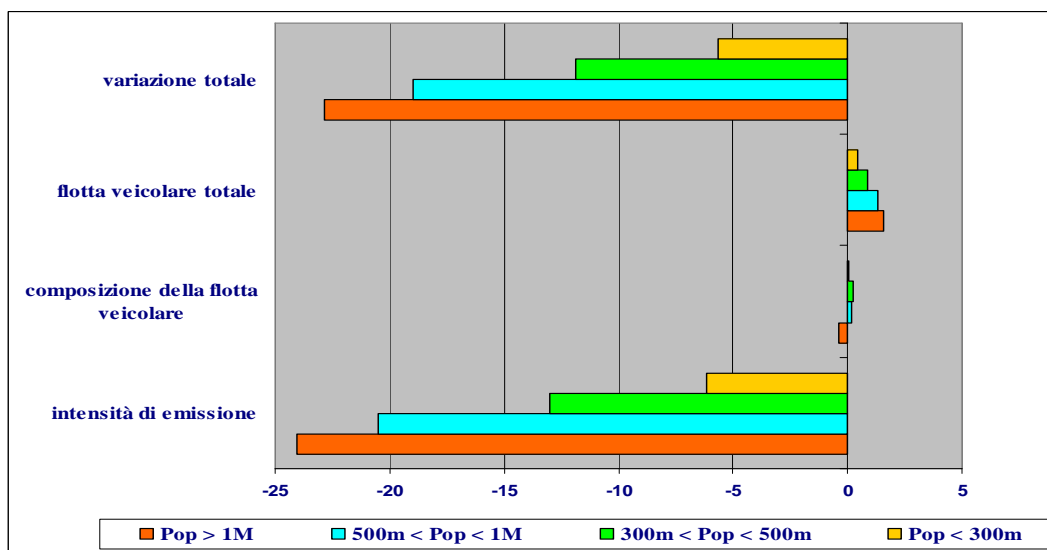


Figura 45 Decomposizione della variazione tra il 2000 e il 2005 delle emissioni di COVNM delle automobili (percentuali)

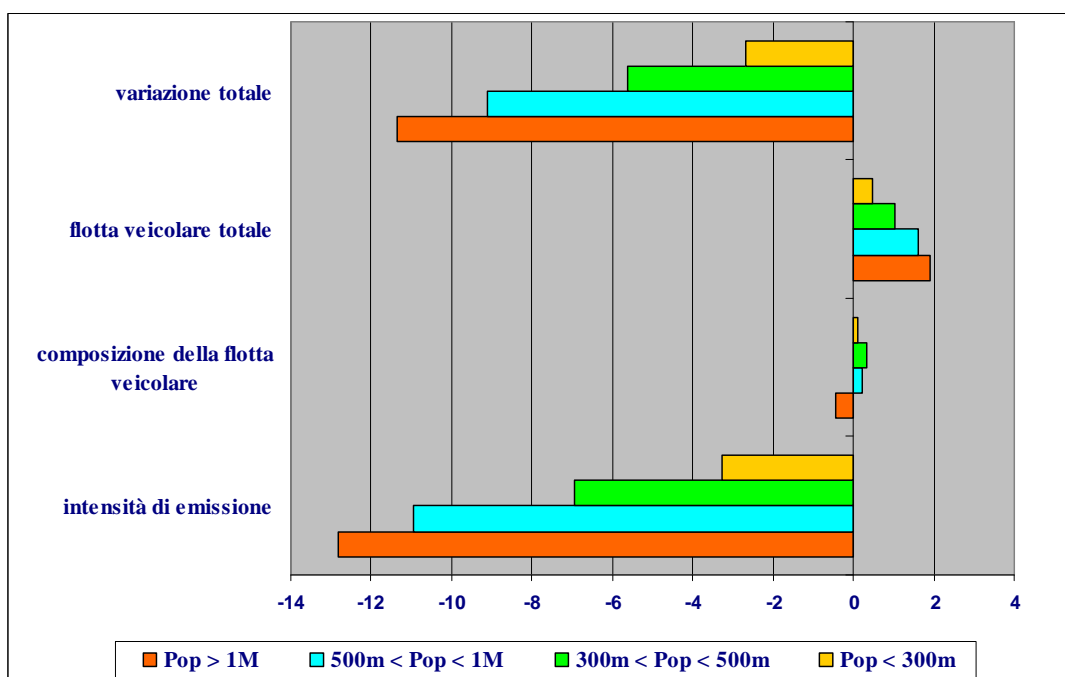


Figura 46 Decomposizione della variazione tra il 2000 e il 2005 delle emissioni di NH₃ delle automobili (percentuali)

I veicoli commerciali si comportano diversamente per le emissioni di COVNM e di NH₃. Per il primo inquinante si verifica una diminuzione uniforme per tre classi di province e meno accentuata per la classe che comprende i grandi centri urbani. L'aumento delle emissioni causate dalla componente flotta veicolare commerciale totale è minore nelle grandi province e di conseguenza meno forte è il contributo in termini di efficienza di queste province.

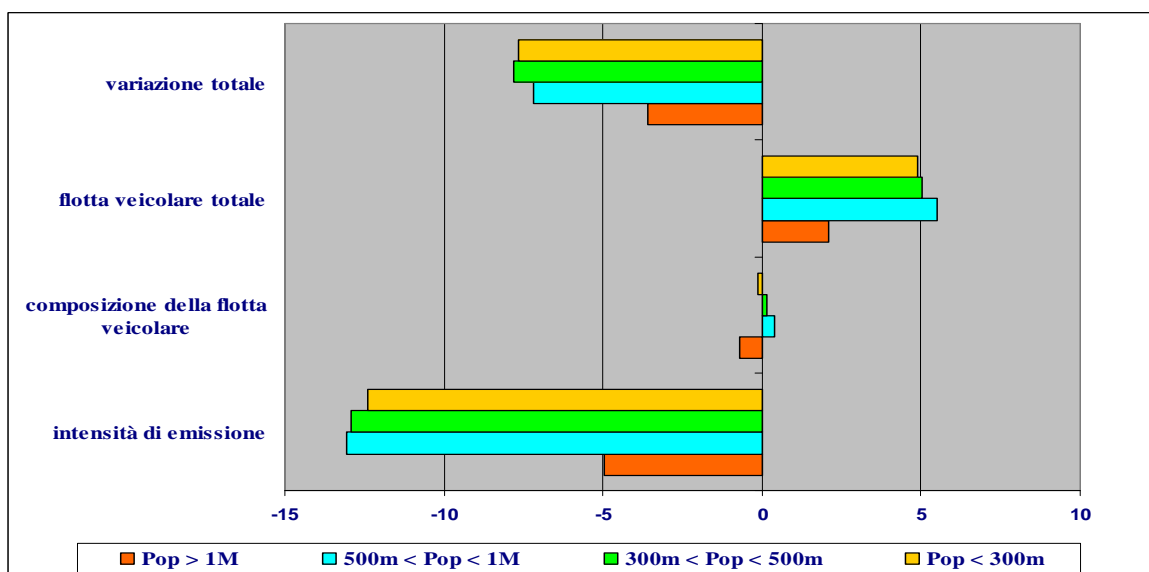


Figura 47 Decomposizione della variazione tra il 2000 e il 2005 delle emissioni di CO₂ dei veicoli commerciali (percentuali)

Le emissioni di ammoniaca dei veicoli commerciali decrescono complessivamente, ma non nelle province medio-grandi. Per questo inquinante la componente di scala e quella di efficienza quasi si compensano fra loro.

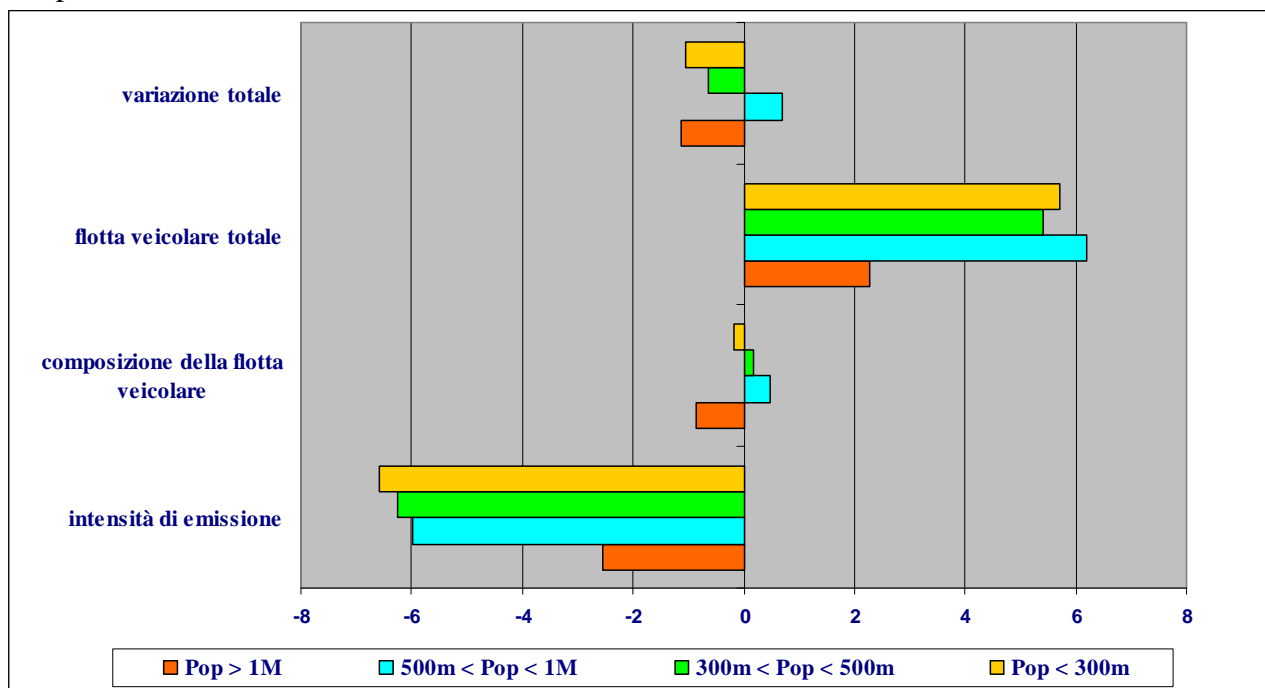


Figura 48 Decomposizione della variazione tra il 2000 e il 2005 delle emissioni di NH₃ dei veicoli commerciali (percentuali)

3 Analisi dei risultati e confronto tra le tre metodologie di disaggregazione

In questo capitolo sono descritti i confronti e le analisi delle stime delle emissioni ottenute con le tre metodologie di disaggregazione per i seguenti inquinanti: ossidi di azoto, monossido di carbonio, composti organici volatili non metanici, particolato fino a 10 μm , ammoniacca.

Le emissioni nazionali utilizzate come base per la disaggregazione a livello provinciale sono quelle riportate nell'Informative Inventory Report 2009 [26] mentre per il quadro completo dei dati relativi a tutte le province si rinvia alle tabelle pubblicate alla pagina:

http://www.sinanet.apat.it/it/inventaria/disaggregazione_prov2005/database_provinciale/view .

3.1 Analisi dei risultati e confronto qualitativo

Gli istogrammi evidenziano la caratterizzazione della disaggregazione delle emissioni nazionali in base alle diverse proxy utilizzate nelle tre metodologie: per tutti gli inquinanti, si riscontrano valori piuttosto alti, in corrispondenza dei grandi agglomerati urbani (Roma, Milano, Torino e Napoli) dovuti sia all'elevata densità di popolazione sia alla numerosità della flotta veicolare.

Le emissioni tendono a diminuire nel corso del periodo 1990-2005 con intensità dipendente dalla proxy utilizzata, tranne che per l'ammoniaca, che presenta valori crescenti fino al 2000 e solo a partire da questo anno inverte l'andamento.

Nell'interpretazione dei dati sul territorio bisogna considerare che, come emerso in precedenti studi [22], nel 2007 le regioni del sud e delle isole (Campania, Puglia, Basilicata, Molise, Sicilia, Calabria, Abruzzo, Sardegna) più la Liguria e le Marche sono ancora caratterizzate da una prevalenza di veicoli di vecchia generazione di tipo Euro 0 e Euro I . Viceversa nelle regioni del centro-nord (Valle d'Aosta, Trentino Alto Adige, Toscana, Piemonte, Lombardia, Emilia Romagna, Umbria, Lazio, Veneto, Friuli Venezia Giulia) lo sviluppo della motorizzazione è caratterizzato dal prevalere negli ultimi anni di veicoli più efficienti e più puliti conformi agli standard emissivi Euro III ed Euro IV.

In Figura 49 si osserva come le emissioni maggiori di PM_{10} a livello regionale siano al nord in Emilia Romagna, Lombardia, Piemonte e Veneto mentre al centro-sud in Campania, Lazio e Sicilia.

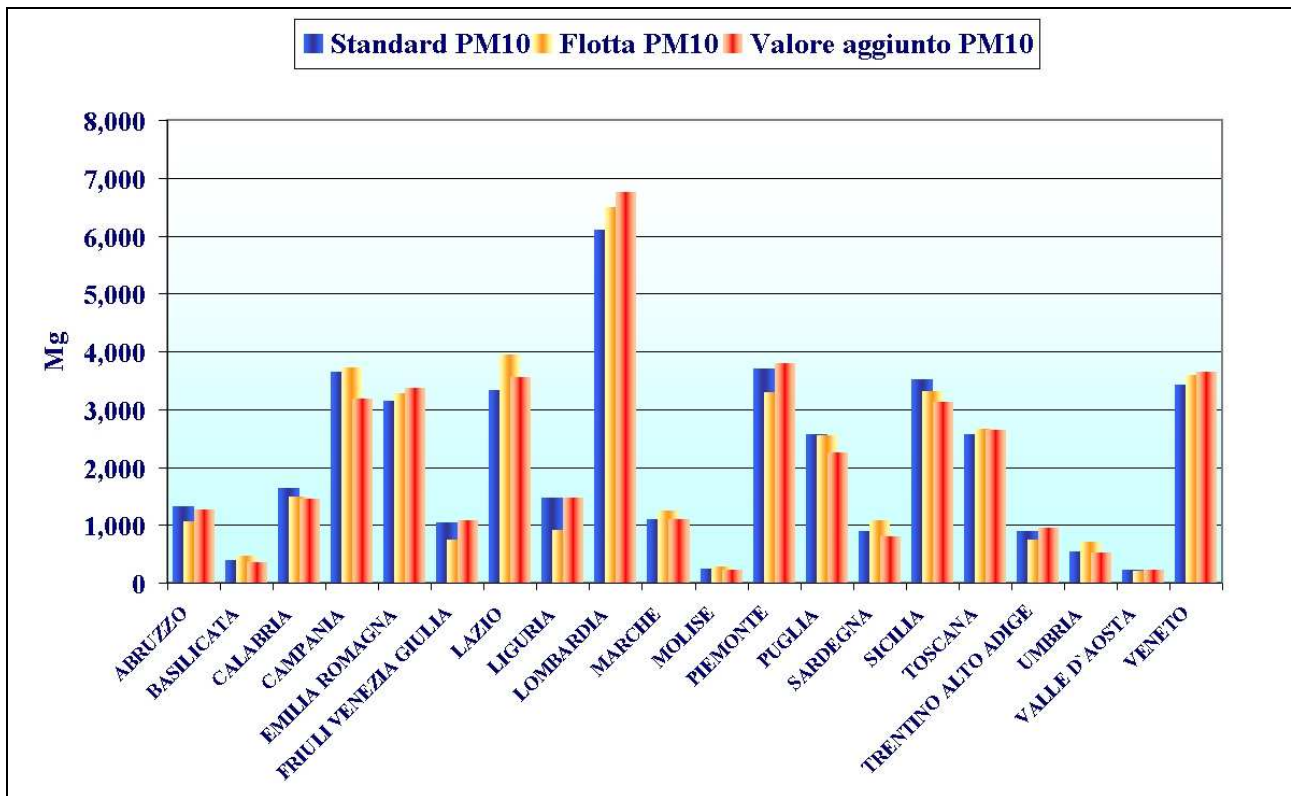


Figura 49 Confronto tra le emissioni regionali di PM₁₀ ottenute attraverso le tre differenti metodologie - 2005

In Figura 50 è riportato uno zoom sulle emissioni di veicoli merci stimate con il metodo del valore aggiunto per il 2000 e il 2005.

È interessante notare che per le regioni del nord la stima maggiore è quella che tiene in considerazione il valore aggiunto per la disaggregazione delle emissioni dai veicoli merci, questo comportamento è descritto anche in Figura 51 che mostra le differenze percentuali fra la metodologia del valore aggiunto e quella standard: il territorio nazionale risulta diviso fra parte settentrionale e meridionale, così rispecchiando la distribuzione della variabile economica nel paese.

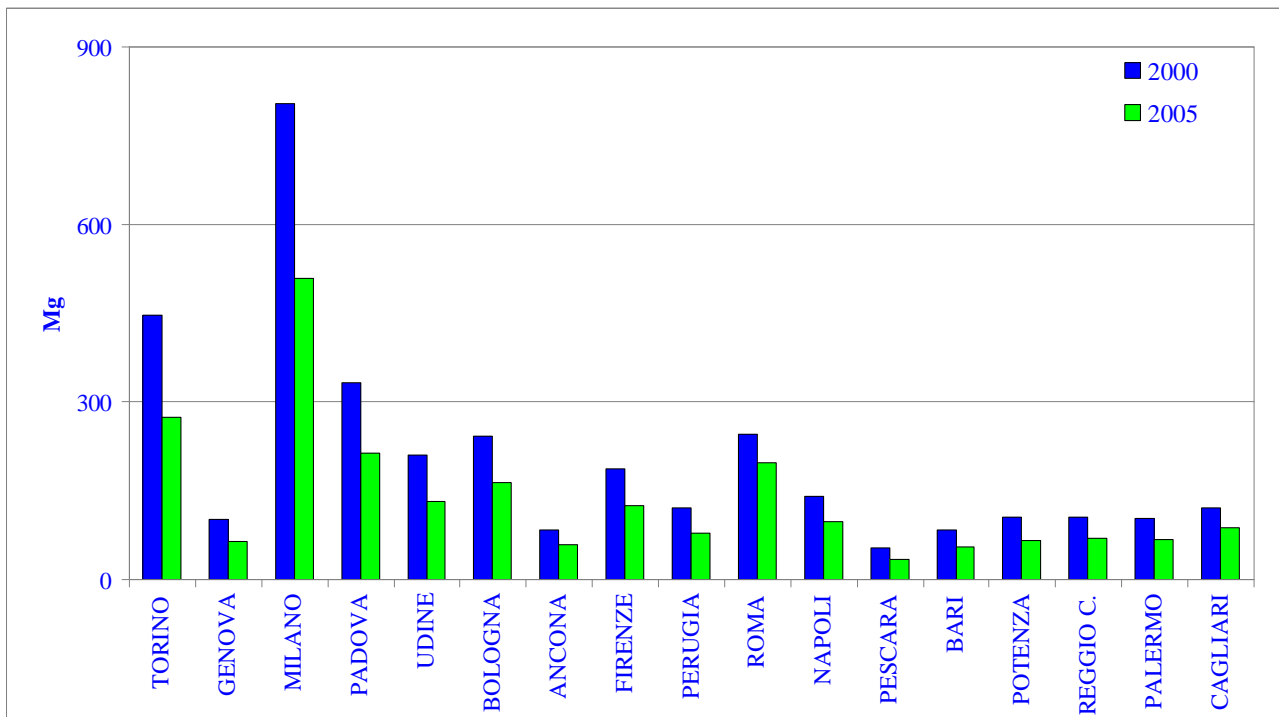


Figura 50 Emissioni provinciali di PM₁₀ stimate per la categoria mezzi commerciali con la metodologia del valore aggiunto per il ciclo di guida extraurbano.

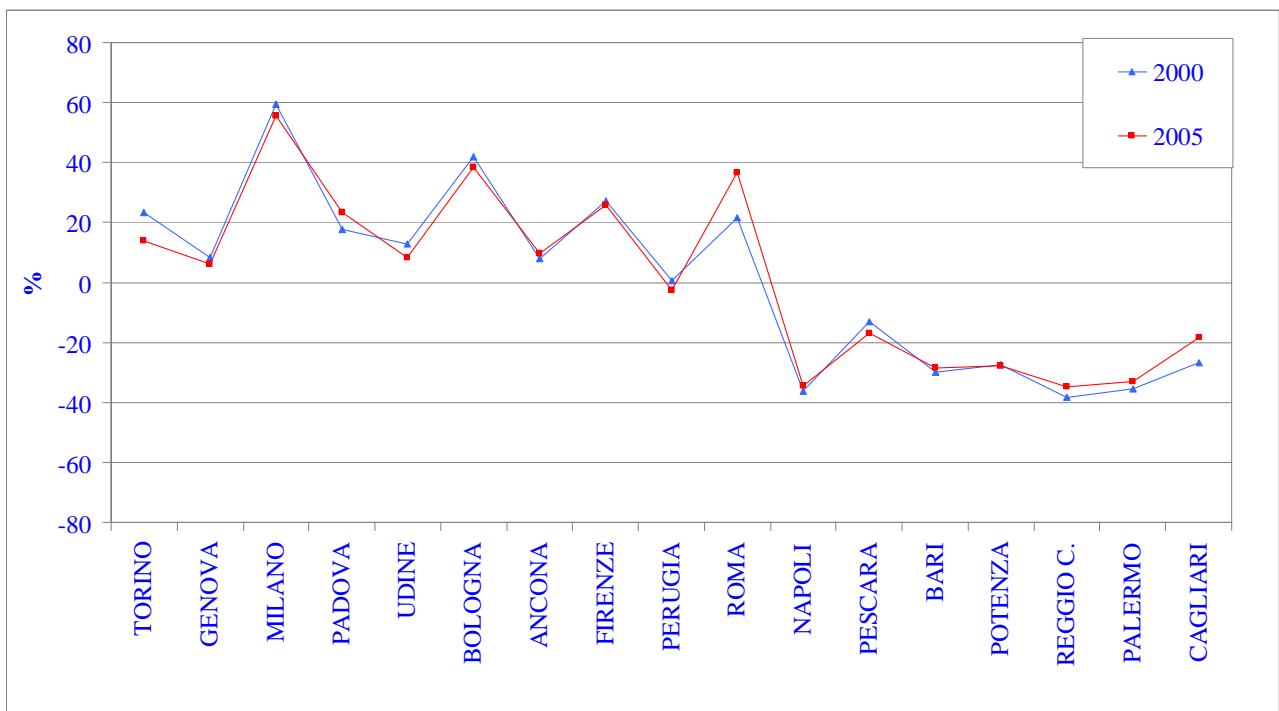


Figura 51 Differenza percentuale tra le emissioni provinciali di PM₁₀ stimate, per la categoria veicoli commerciali e per il ciclo di guida extraurbano, con la metodologia del valore aggiunto rispetto alla metodologia standard.

Per quanto riguarda le emissioni di NO_x il comportamento a livello regionale è del tutto simile a quello del PM₁₀. In Figura 52 sono riportate le emissioni di ossidi di azoto a livello regionale mentre in Figura 53 è descritta la stima delle emissioni di NO_x da mezzi commerciali per le province selezionate relativamente alla disaggregazione in base alla flotta.

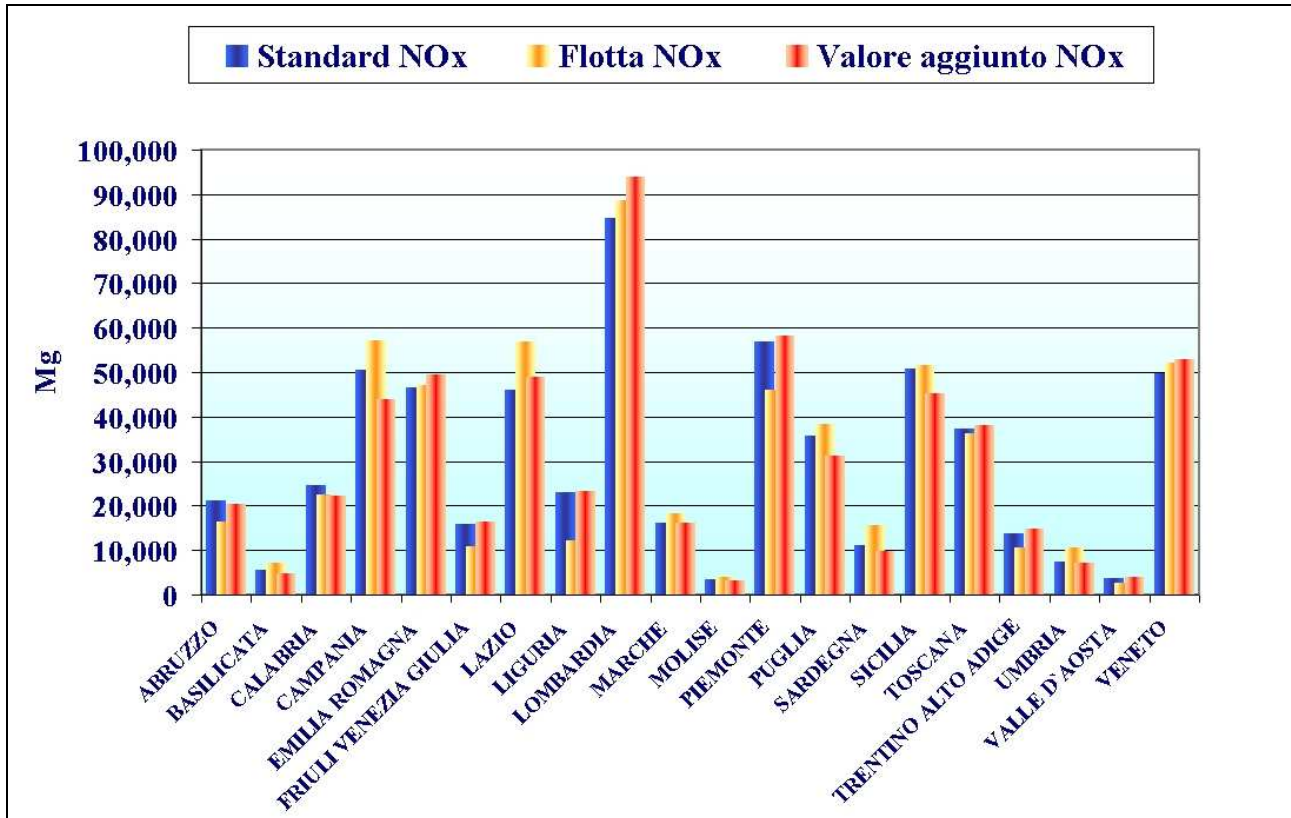


Figura 52 Confronto tra le emissioni regionali di NO_x ottenute attraverso le tre differenti metodologie - 2005

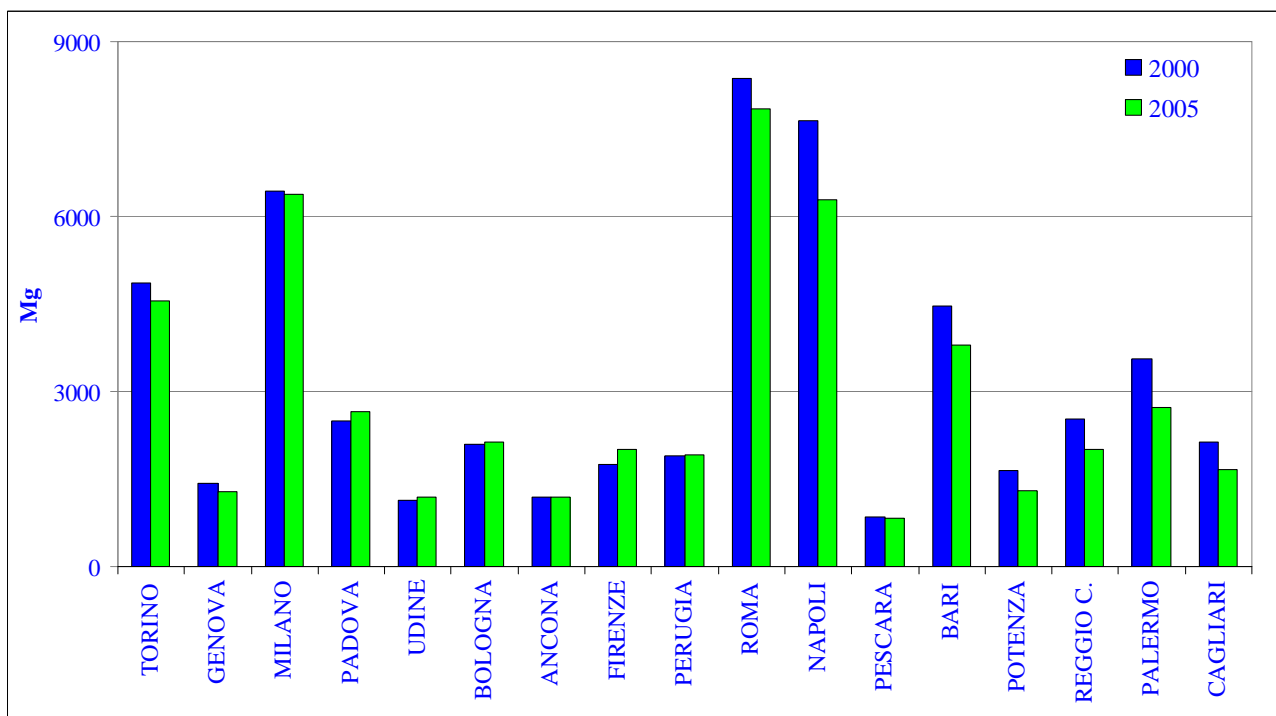


Figura 53 Emissioni provinciali di NOx stimate per la categoria mezzi commerciali con la metodologia “flotta” per il ciclo di guida autostradale.

Per quanto riguarda il monossido di carbonio si notano a livello regionale dei comportamenti differenti rispetto a PM₁₀ e NO_x, infatti dalla Figura 54 si vede come le emissioni ottenute con la metodologia basata sul parco veicolare siano superiori a quelle basate anche sul valore aggiunto in regioni del nord come Lombardia e Veneto, mentre risultano inferiori in regioni come Campania e Lazio, esattamente al contrario di PM₁₀ e NO_x.

Ciò è dovuto ad un insieme di cause. Innanzitutto per il CO le emissioni disaggregate considerando il valore aggiunto variano meno rispetto a quelle ottenute unicamente in base alla popolazione. Vale a dire aumentano in maniera meno accentuata nelle province “ricche” e diminuiscono meno marcatamente nelle province “povere”. Questo perché le emissioni di CO (come anche quelle di COVNM) sono meno legate alle emissioni dai veicoli merci cui è applicato il metodo del valore aggiunto.

Inoltre, si può notare come, specialmente in regioni del centro-sud (Campania, Lazio, Puglia, Sicilia), la stima delle emissioni di CO e COVNM realizzata con la metodologia standard risulti superiore a quella basata sul parco veicolare (contrariamente a quanto avviene per NO_x e PM₁₀), andando ad analizzare nel dettaglio ciò si verifica per quanto riguarda il ciclo di guida urbano che per questi inquinanti ha un peso molto importante, soprattutto per automobili, ciclomotori e motocicli.

In Figura 55 è riportato l’andamento nel tempo delle emissioni di CO per le province selezionate stimate con metodologia standard per ciclo di guida urbano.

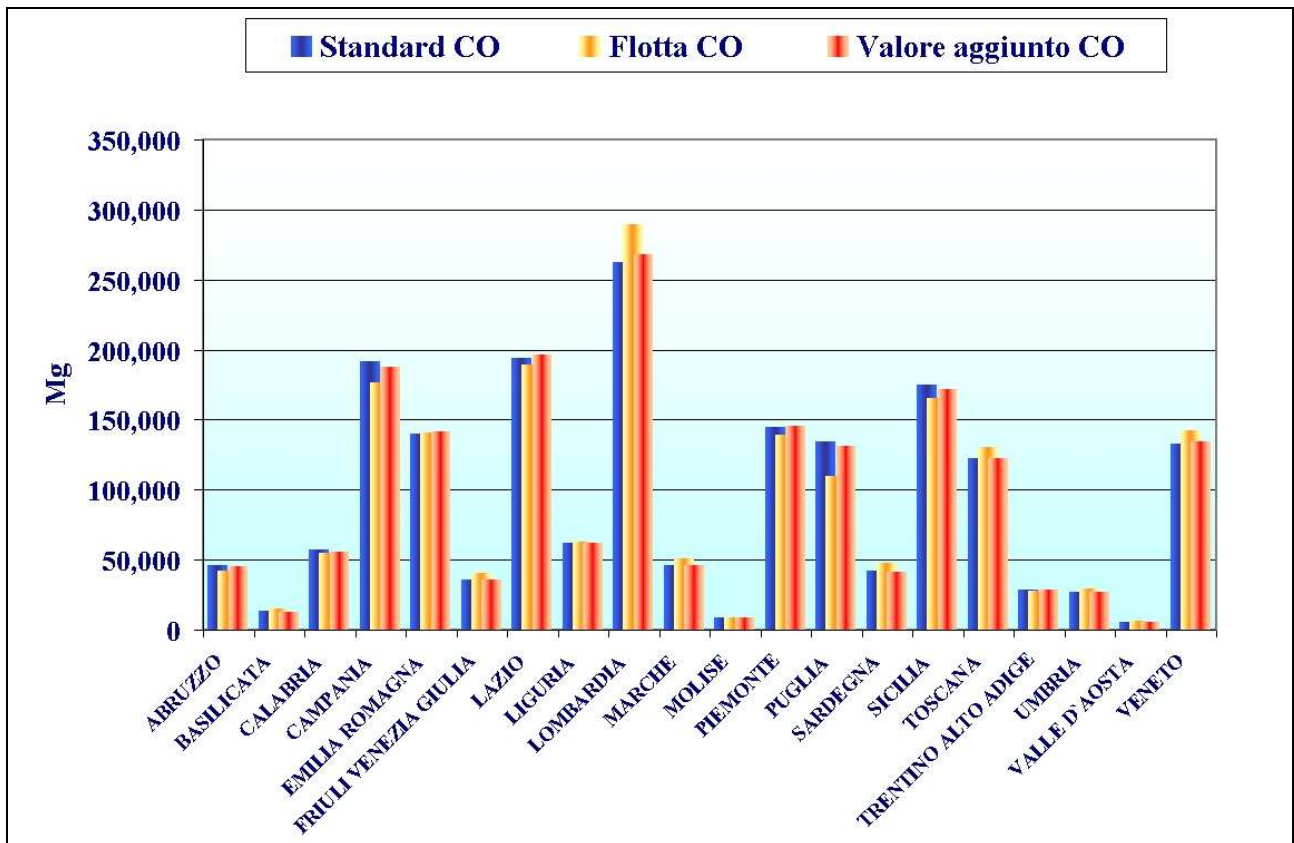


Figura 54 Confronto tra le emissioni regionali di CO ottenute attraverso le tre differenti metodologie - 2005

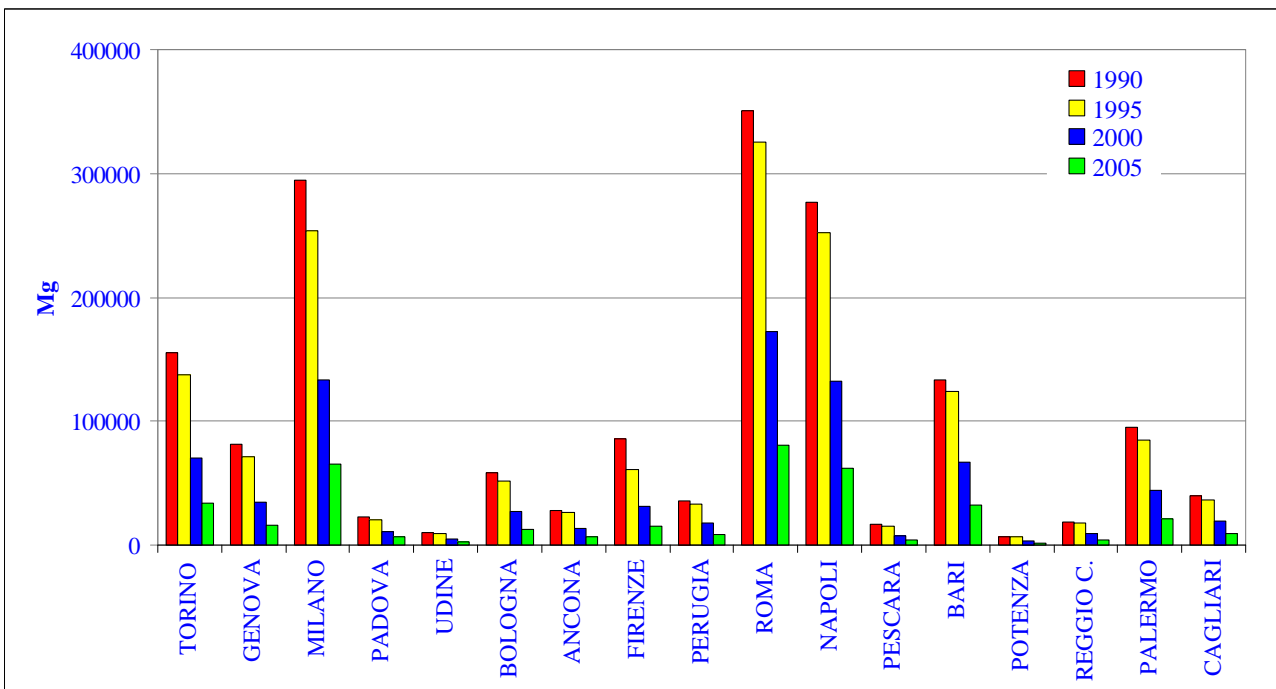


Figura 55 Emissioni provinciali di monossido di carbonio (CO) stimate per la categoria automobili con la metodologia standard per il ciclo di guida urbano.

Per i COVNM a livello regionale valgono considerazioni analoghe a quelle riportate per il CO. In Figura 56 sono riportate le emissioni di composti organici volatili diversi dal metano a livello regionale mentre in Figura 57 è descritta la stima delle emissioni di COVNM da motocicli e ciclomotori con la metodologia “flotta” per le province selezionate.

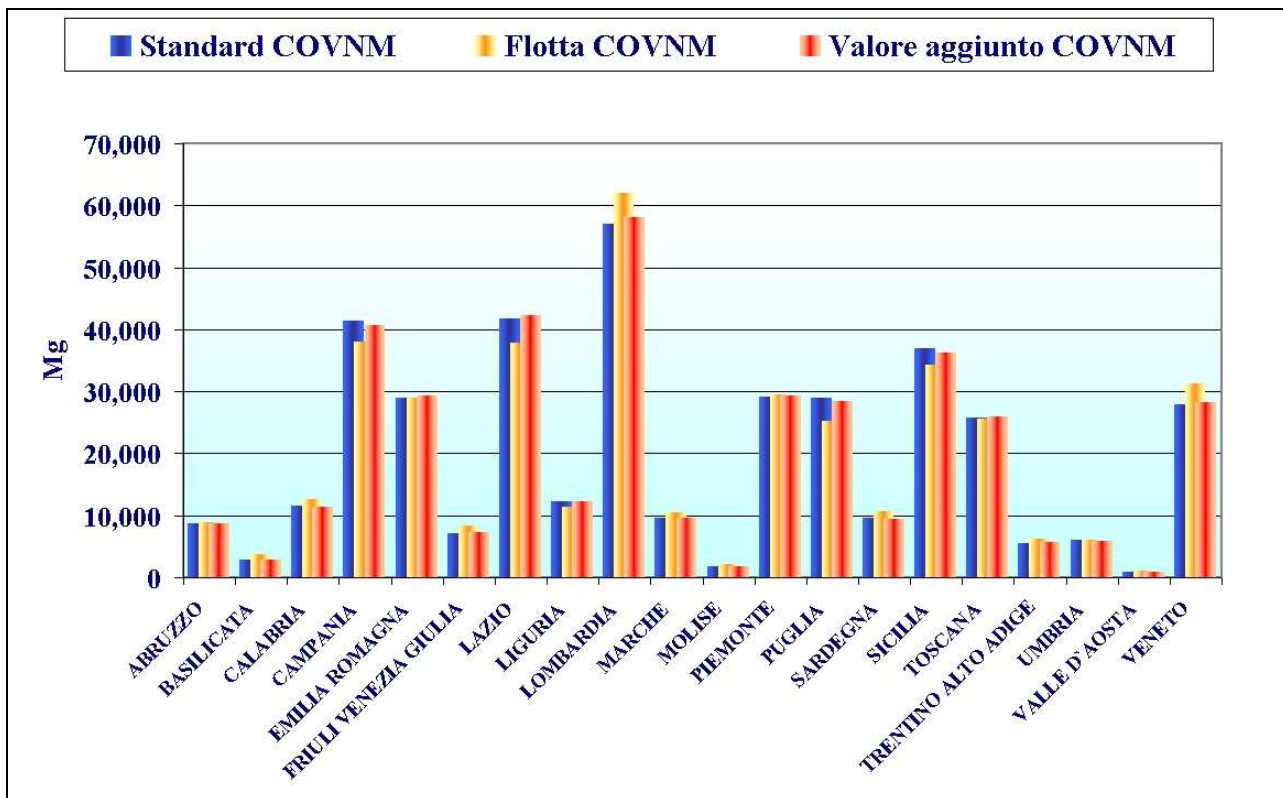


Figura 56 Confronto tra le emissioni regionali di COVNM ottenute attraverso le tre differenti metodologie - 2005

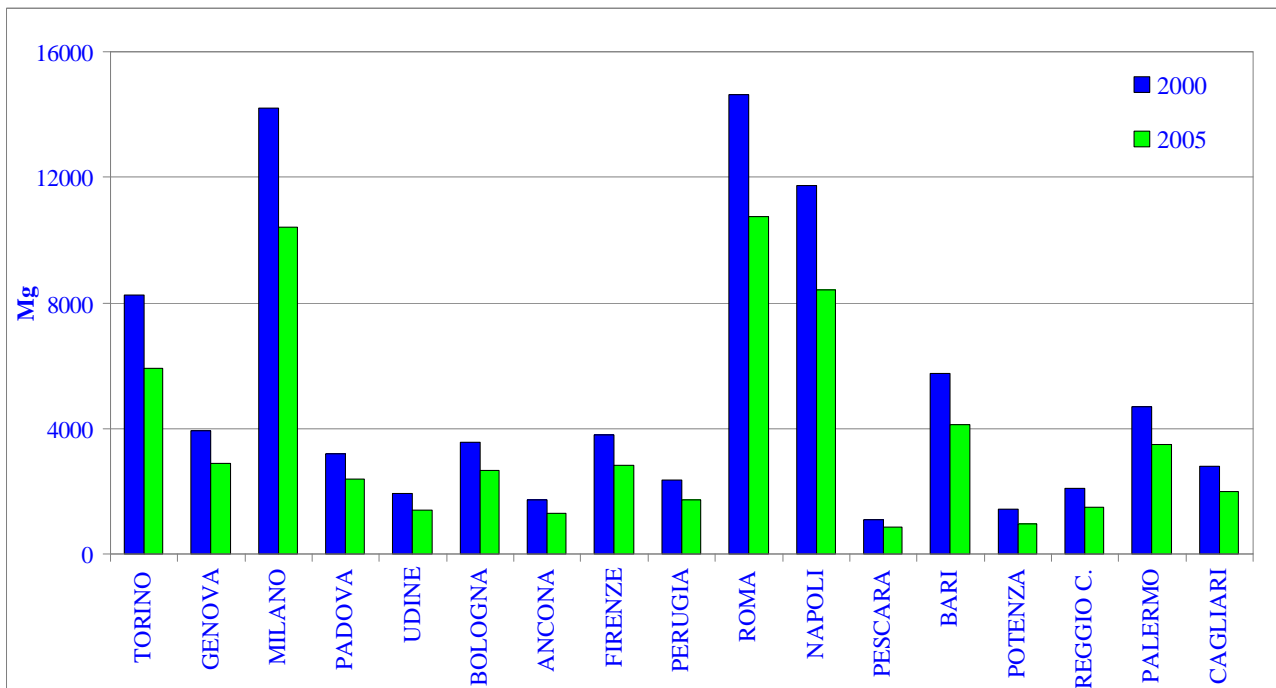


Figura 57 Emissioni provinciali di COVNM stimate per la categoria motocicli e ciclomotori con la metodologia “flotta” per il ciclo di guida urbano.

L’ammoniaca, come già sottolineato in precedenza ha un comportamento particolare che può essere evidenziato soprattutto andando a vedere l’andamento temporale poiché è l’unico inquinante in crescita rispetto al 1990. In Figura 58 sono riportate le emissioni regionali stimate con le tre metodologie mentre in Figura 59 sono riportate le emissioni in funzione del tempo e si vede chiaramente l’incremento fino al 2000.

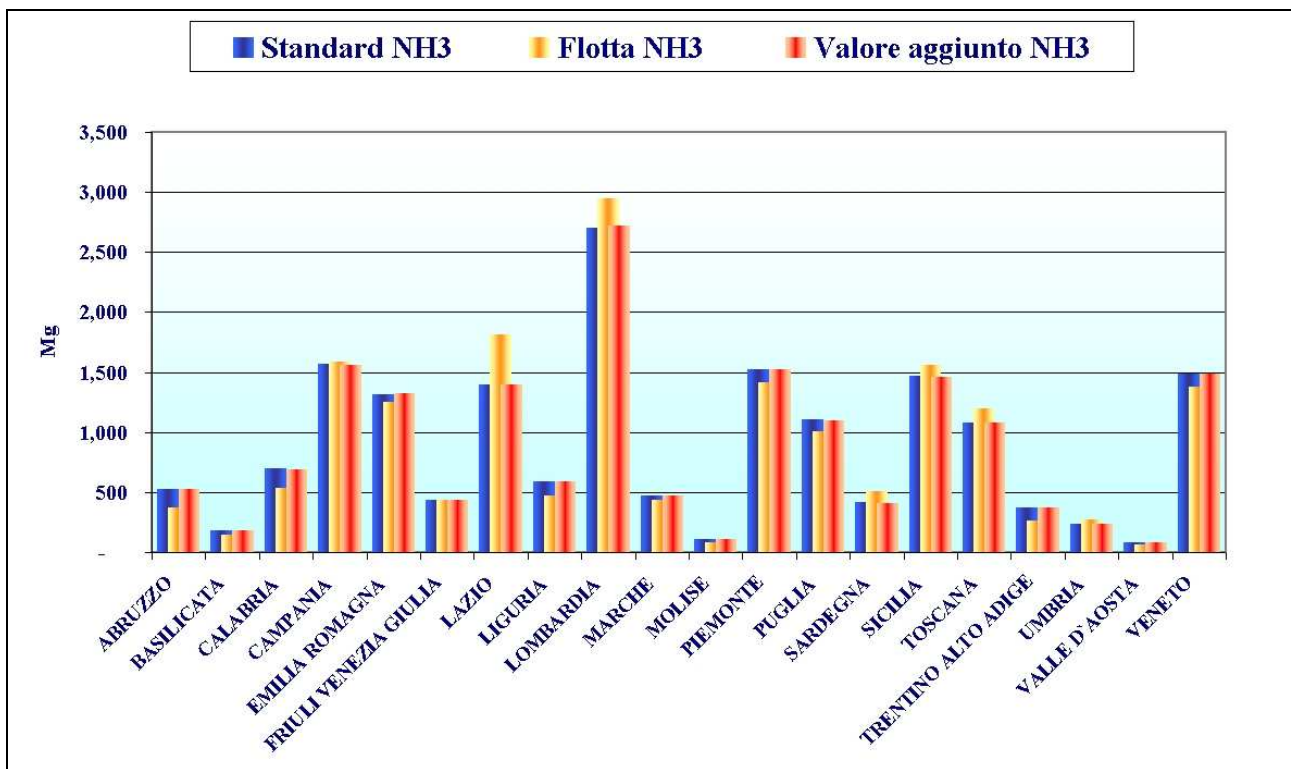


Figura 58 Confronto tra le emissioni regionali di NH₃ ottenute attraverso le tre differenti metodologie - 2005

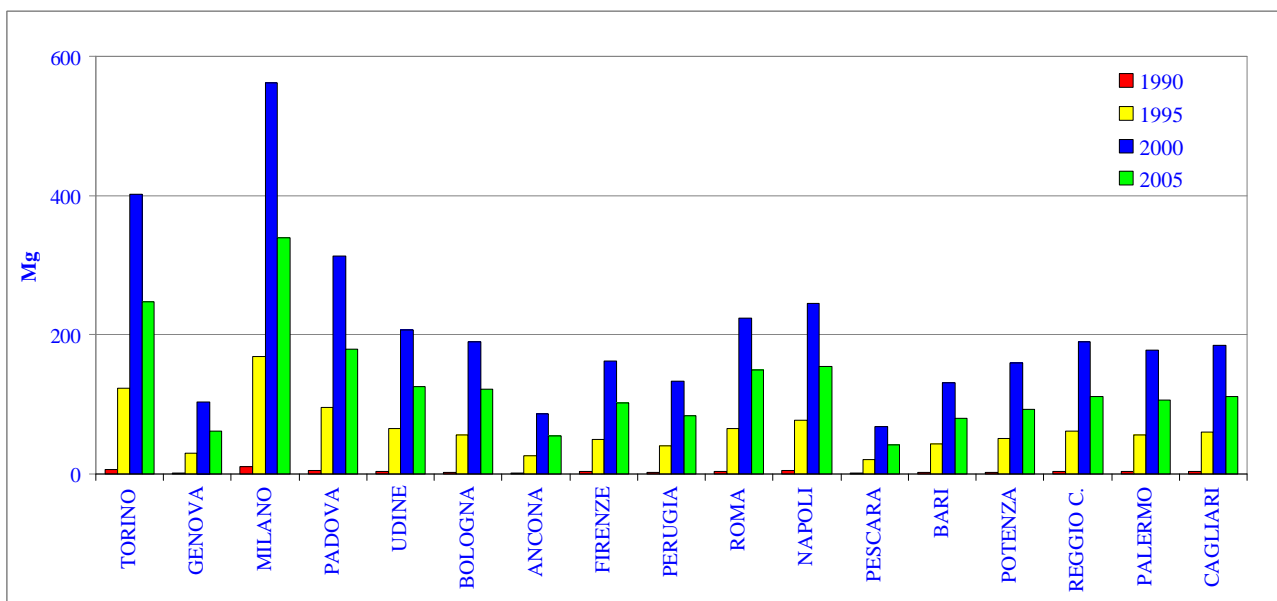


Figura 59 Emissioni provinciali di NH₃ stimate per la categoria automobili con la metodologia standard per il ciclo di guida extraurbano.

3.2 Analisi statistica

Al fine di analizzare differenze e analogie tra le tre distribuzioni delle emissioni provinciali del trasporto su strada sono state effettuate anche delle analisi statistiche con il software SPSS 15.0 per Windows [6].

Innanzitutto, per avere una rappresentazione della distribuzione dei valori di ciascuna delle variabili, si è utilizzato il grafico a scatola (box plot). Questo tipo di grafico fornisce tre tipi di informazioni: una misura di sintesi dei dati (la mediana); una indicazione della variabilità dei dati (altezza della scatola); la rappresentazione di eventuali dati estremi.

Inoltre, il diagramma a dispersione è stato utilizzato per rappresentare graficamente le variabili accoppiando due distribuzioni per volta.

Di seguito sono stati eseguiti dei test utilizzando metodi statistici non parametrici, in genere meno efficaci rispetto a quelli parametrici ma più generali. Questi possono essere utilizzati quando i metodi parametrici non possono essere applicati. Infatti i metodi statistici non parametrici non dipendono dalla forma della distribuzione della popolazione e non si basano sui parametri della distribuzione. I test non parametrici considerano i ranghi anziché i valori reali delle osservazioni e sono detti distribution free perché prescindono dalla distribuzione.

Le differenze tra le tre metodologie di disaggregazione sono state analizzate con la correlazione non parametrica di Spearman [34] al fine di studiare l'associazione tra le variabili. Tale correlazione è basata sui ranghi e ricorre agli stessi concetti della correlazione parametrica di Pearson. Il coefficiente di correlazione di Spearman è, dunque, in funzione della distanza tra le coppie di ranghi e può variare tra +1 (massima correlazione positiva) e -1 (massima correlazione negativa), quando invece è vicino a zero non esiste correlazione.

Si è utilizzato anche il test non parametrico di Wilcoxon dei ranghi con segno [39] al fine di valutare eventuali differenze dei valori di NO_x, CO, COVNM, PM₁₀ e NH₃ ottenuti con le tre diverse metodologie di disaggregazione top down. Il test di Wilcoxon prende in considerazione le informazioni relative al segno e all'entità delle differenze tra le coppie. Poiché il test di Wilcoxon include un maggior numero di informazioni relative ai dati, risulta più valido del test del segno.

Le analisi sono state eseguite sia sull'intero parco veicolare che considerando soltanto i veicoli merci in modo da valutare gli effetti della disaggregazione basata sul valore aggiunto.

3.2.1 Box plot e diagrammi a dispersione per l'intero parco veicolare

Di seguito si riporta la rappresentazione grafica attraverso box plot dei dati delle emissioni provinciali (da Figura 60 a Figura 64) che permette di sintetizzare una distribuzione e di comparare due o più collettivi, avvalendosi di medie e di indici di variabilità.

Questo grafico è caratterizzato da una linea che indica la posizione della mediana della distribuzione, da un rettangolo (box) la cui altezza (primo e terzo quartile) indica la variabilità dei valori prossimi alla media, da due segmenti detti baffi che partono dal rettangolo i cui estremi sono determinati in base ai valori estremi della distribuzione non classificati come anomali e da valori esterni ai baffi detti anomali e cioè molto diversi dalla maggior parte degli altri dati. I valori esterni ai baffi sono in tutti i box plot i valori degli inquinanti riferiti a Roma (obs 65 nei grafici che seguono), Milano (obs 13), Napoli (obs 76), Torino (obs 1), a seconda degli inquinanti si verificano anche altri valori esterni ai baffi come ad esempio Bari (obs 80). Il valore più alto è sempre quello relativo alla provincia di Roma, tranne nel caso di NO_x e PM₁₀ con l'applicazione della metodologia del valore aggiunto in quanto, coerentemente con quanto visto a livello regionale, le emissioni maggiori risultano quelle della provincia di Milano.

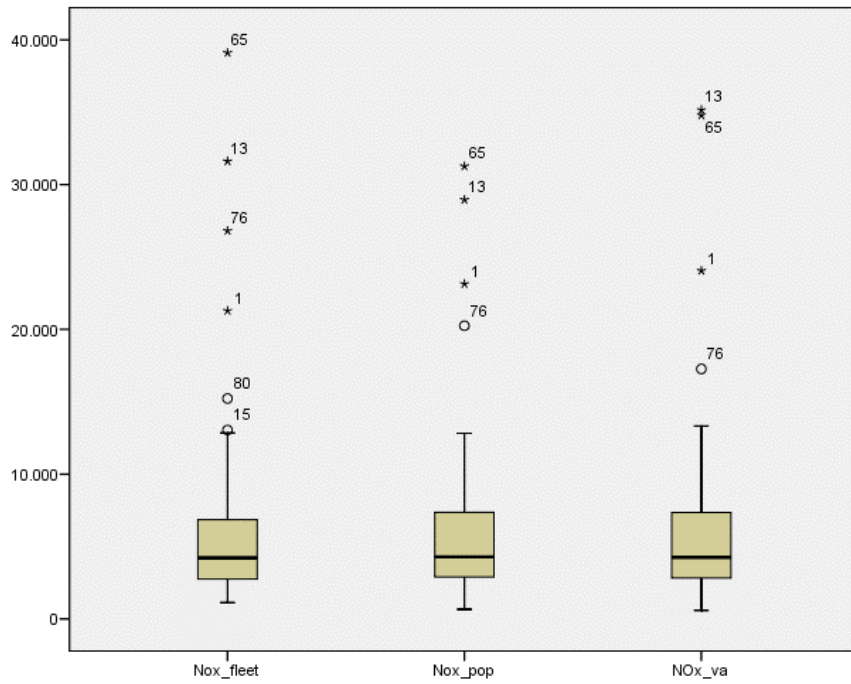


Figura 60 Box Plot delle emissioni di NOx per le tre metodologie: flotta (NOx_fleet), standard (NOx_pop) e valore aggiunto (NOx_va)

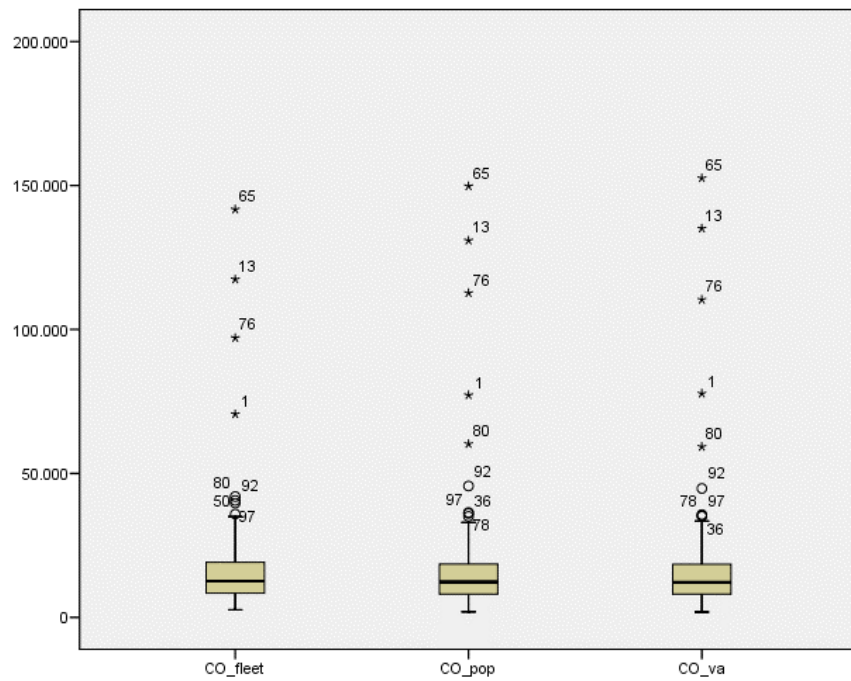


Figura 61 Box Plot delle emissioni di CO per le tre metodologie: flotta (CO_fleet), standard (CO_pop) e valore aggiunto (CO_va)

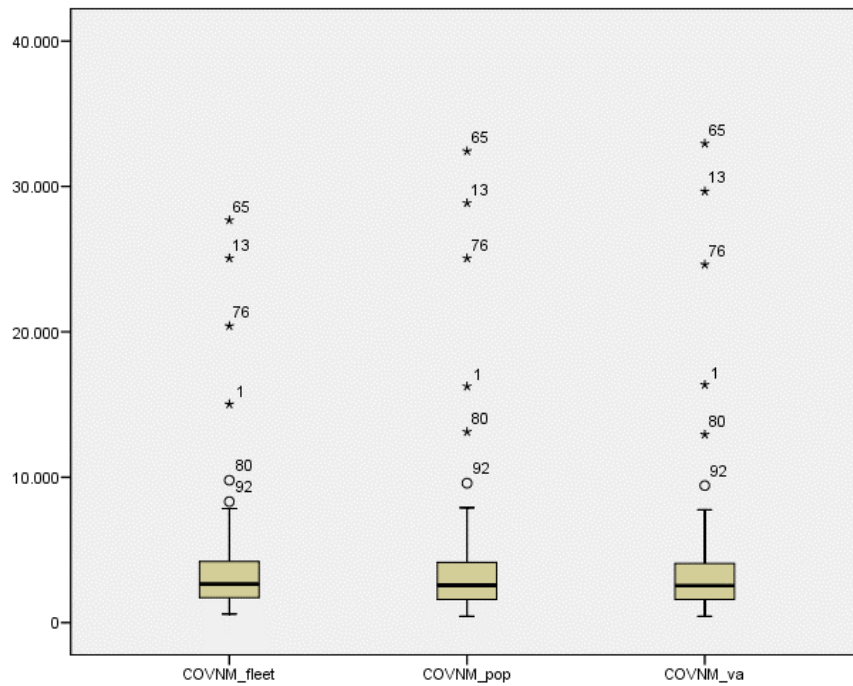


Figura 62 Box Plot delle emissioni di COVNM per le tre metodologie: flotta (COVNM_fleet), standard (COVNM_pop) e valore aggiunto (COVNM_va)

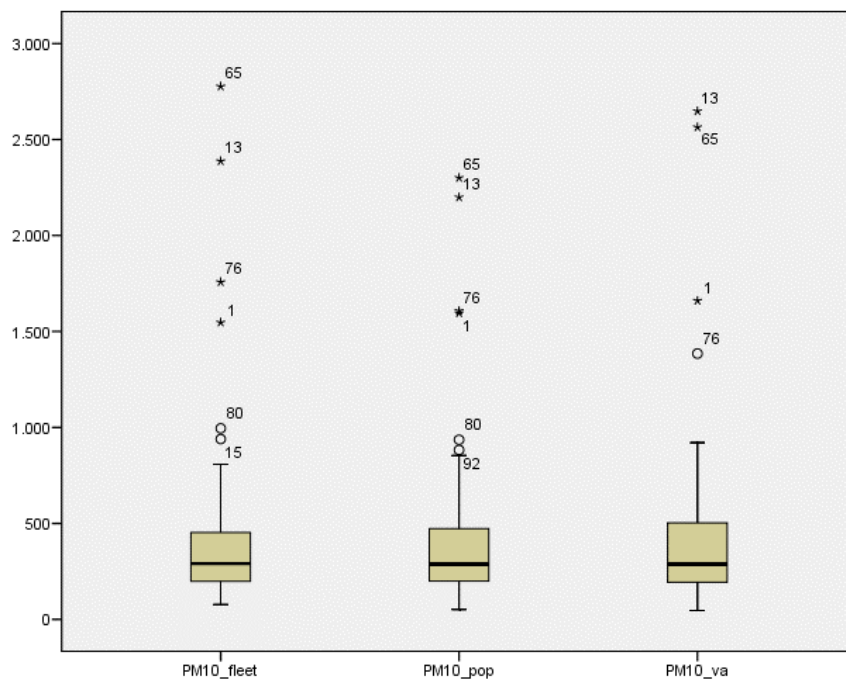


Figura 63 Box Plot delle emissioni di PM₁₀ per le tre metodologie: flotta (PM10_fleet), standard (PM10_pop) e valore aggiunto (PM10_va)

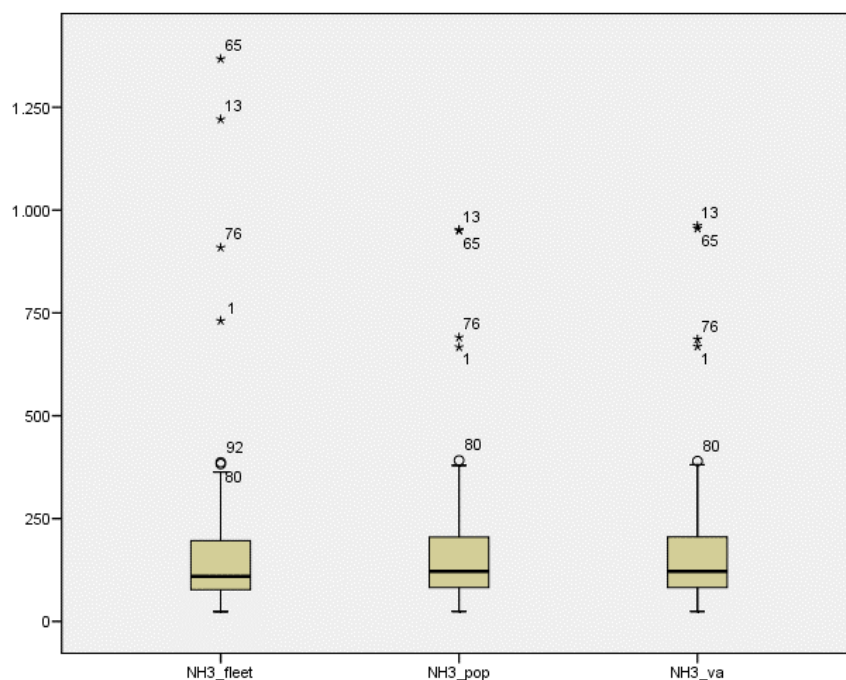


Figura 64 Box Plot delle emissioni di NH_3 per le tre metodologie: flotta (NH3_fleet), standard (NH3_pop) e valore aggiunto (NH3_va)

I diagrammi a dispersione, da Figura 65 a Figura 79, mostrano graficamente le distribuzioni a coppie di due. Si può immediatamente notare il quasi perfetto allineamento dei dati delle distribuzioni relative a metodologia standard e valore aggiunto lungo la bisettrice del quadrante. Nei casi in cui viene considerata la metodologia basata sul parco veicolare vi è un ottimo allineamento per CO e COVNM mentre per PM_{10} , NO_x e NH_3 si osserva una “dispersione” maggiore.

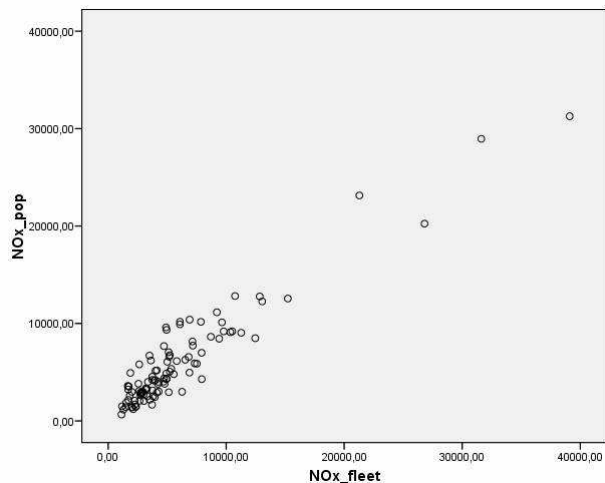


Figura 65 Grafico a dispersione delle emissioni di NOx per le metodologie flotta (NOx_fleet) e standard (NOx_pop).

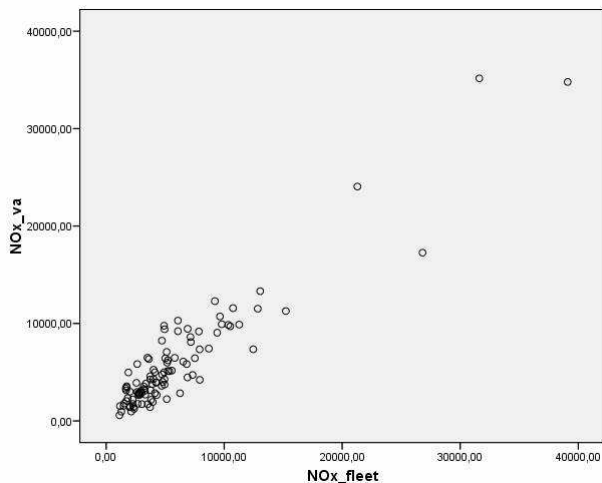


Figura 66 Grafico a dispersione delle emissioni di NOx per le metodologie flotta (NOx_fleet) e valore aggiunto (NOx_va).

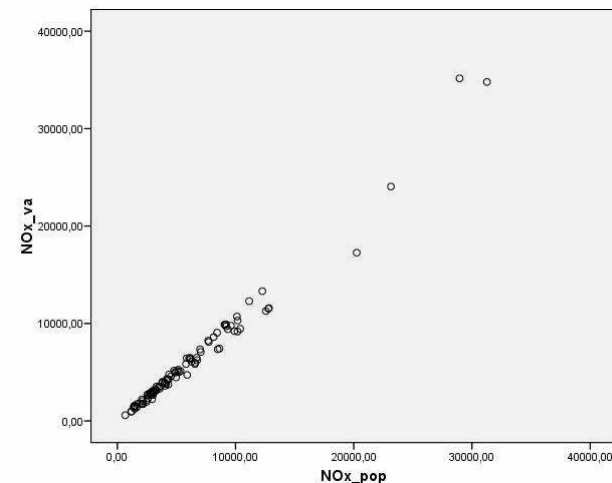


Figura 67 Grafico a dispersione delle emissioni di NOx per le metodologie standard (NOx_pop) e valore aggiunto (NOx_va).

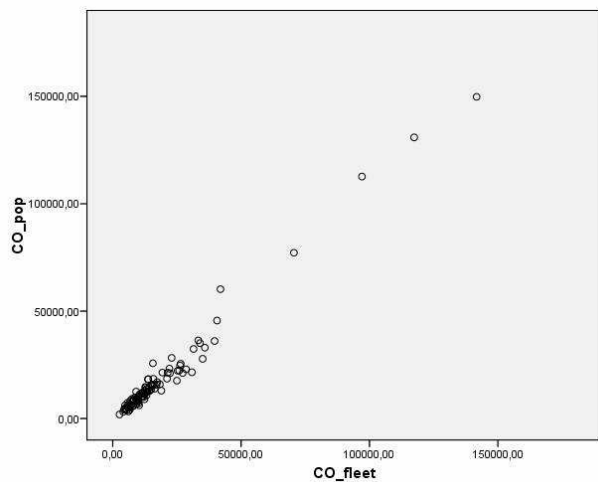


Figura 68 Grafico a dispersione delle emissioni di CO per le metodologie flotta (CO_fleet) e standard (CO_pop).

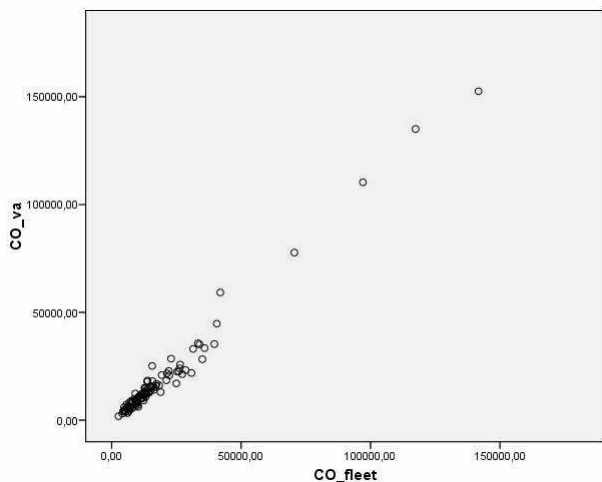


Figura 69 Grafico a dispersione delle emissioni di CO per le metodologie flotta (CO_fleet) e valore aggiunto (CO_va).

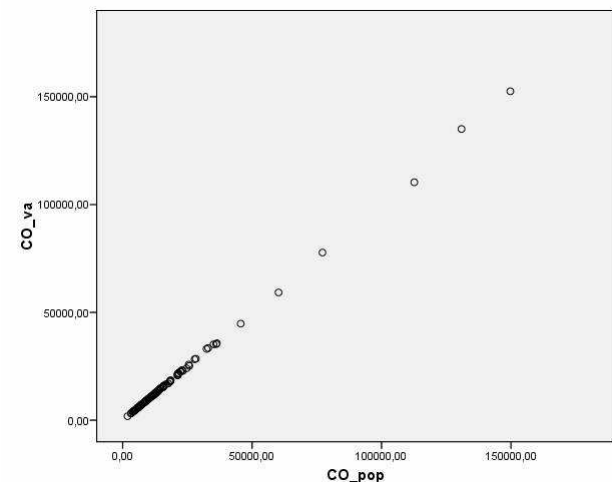


Figura 70 Grafico a dispersione delle emissioni di CO per le metodologie standard (CO_pop) e valore aggiunto (CO_va).

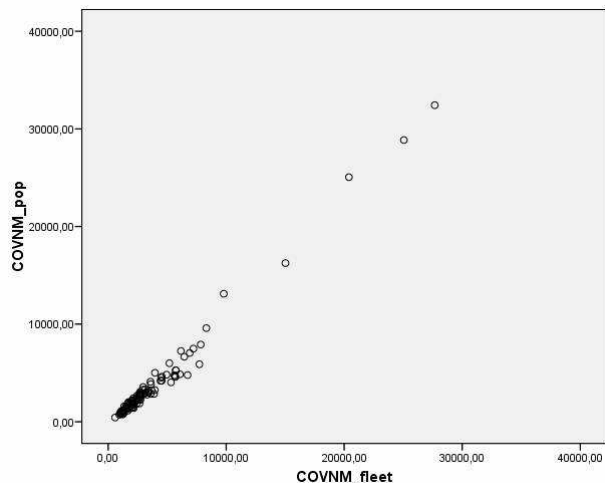


Figura 71 Grafico a dispersione delle emissioni di COVNM per le metodologie flotta (COVNM_fleet) e standard (COVNM_pop).

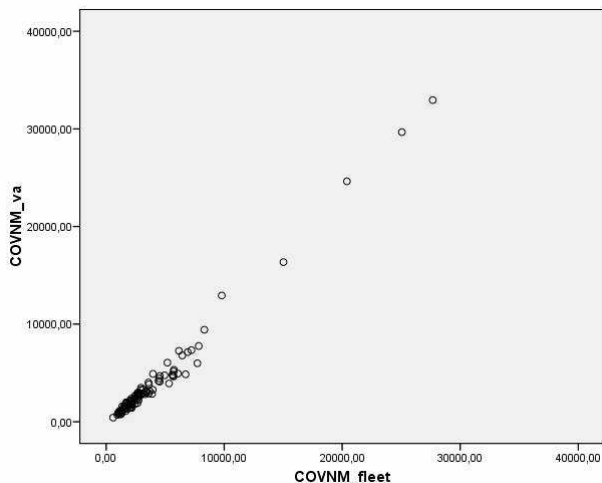


Figura 72 Grafico a dispersione delle emissioni di COVNM per le metodologie flotta (COVNM_fleet) e valore aggiunto (COVNM_va).

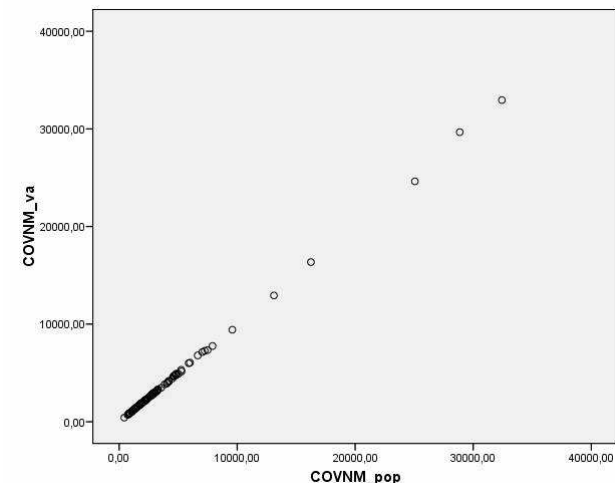


Figura 73 Grafico a dispersione delle emissioni di COVNM per le metodologie standard (COVNM_pop) e valore aggiunto (COVNM_va).

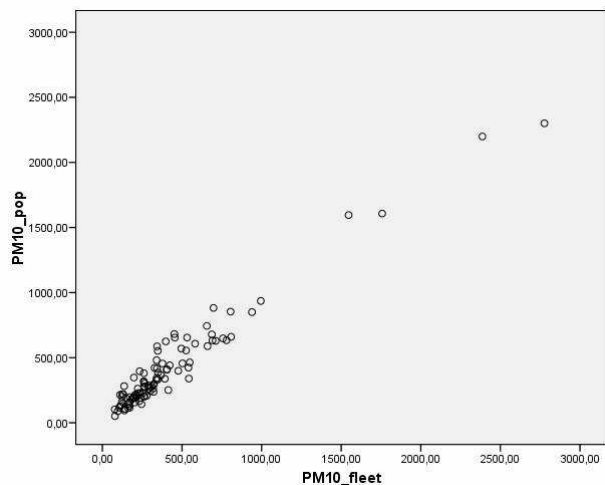


Figura 74 Grafico a dispersione delle emissioni di PM₁₀ per le metodologie flotta (PM10_fleet) e standard (PM10_pop).

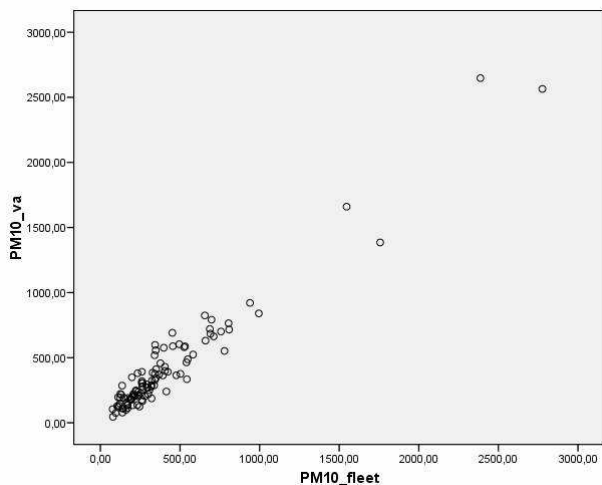


Figura 75 Grafico a dispersione delle emissioni di PM₁₀ per le metodologie flotta (PM10_va) e valore aggiunto (PM10_fleet).

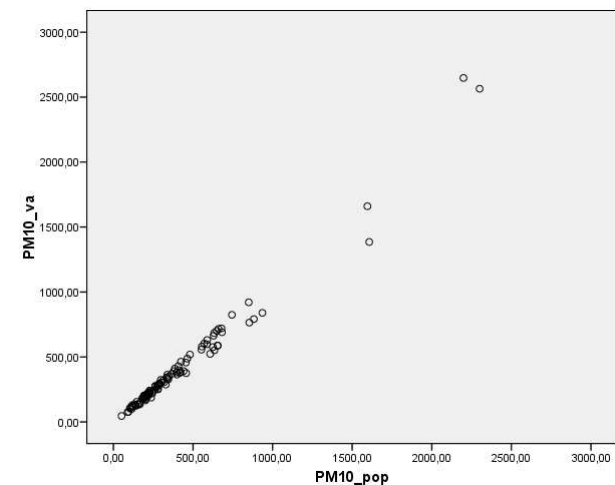


Figura 76 Grafico a dispersione delle emissioni di PM₁₀ per le metodologie standard (PM10_pop) e valore aggiunto (PM10_va).

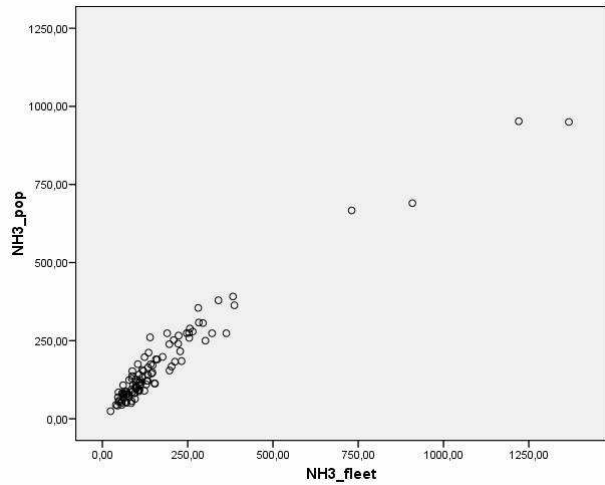


Figura 77 Grafico a dispersione delle emissioni di NH_3 per le metodologie flotta ($\text{NH}_3_{\text{fleet}}$) e standard (NH_3_{pop}).

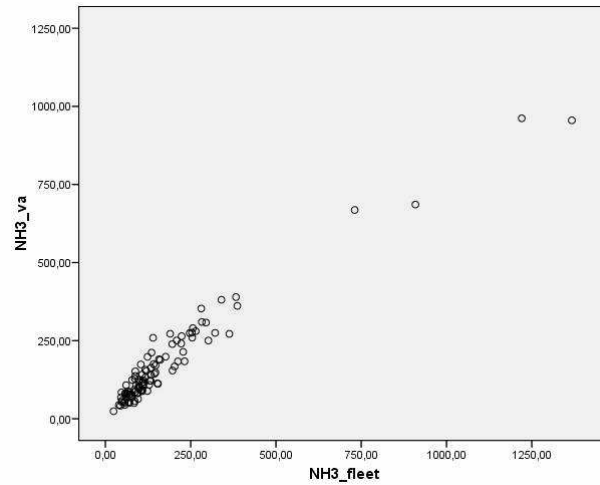


Figura 78 Grafico a dispersione delle emissioni di NH_3 per le metodologie flotta ($\text{NH}_3_{\text{fleet}}$) e valore aggiunto (NH_3_{va}).

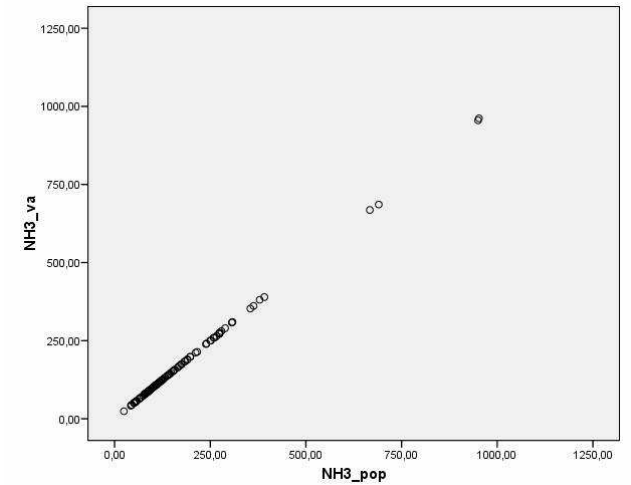


Figura 79 Grafico a dispersione delle emissioni di NH_3 per le metodologie standard (NH_3_{pop}) e valore aggiunto (NH_3_{va}).

3.2.2 Test non parametrici per l'intero parco veicolare

Le correlazioni non parametriche di Spearman calcolate per il 2005 sui valori provinciali riferiti a NO_x , CO, COVNM, PM_{10} , e NH_3 sono sempre significative al livello 0,001 (a due code), molto alte e rispettivamente mai inferiori a 0,831, di conseguenza in base a questo indice vi è una forte correlazione positiva fra le tre diverse metodologie per ogni inquinante. Da un punto di vista statistico, essendo molto alte le correlazioni di Spearman si dovrebbe affermare che statisticamente non ci sono grosse differenze tra le tre metodologie di disaggregazione top down.

E' stato anche applicato il test non parametrico di Wilcoxon dei ranghi con segno sugli stessi valori delle stime al livello provinciale. Questo test a differenza di quello del segno non ignora alcune informazioni potenzialmente utili come la grandezza delle differenze ed è utilizzato per testare l'ipotesi nulla che, nella popolazione originaria delle differenze tra le coppie, la differenza è uguale a zero. L'ipotesi nulla di uguaglianza non viene accettata se p è minore di 0,05.

Per i valori di CO ottenuti con la proxy flotta veicolare e la proxy basata sul valore aggiunto essendo $p=0,041$ non si accetta l'ipotesi nulla e per i valori di COVNM ottenuti con la proxy flotta veicolare e la proxy basata sulla popolazione e sulla lunghezza dei tratti autostradali ($p=0,008$), per quelli sempre di COVNM ottenuti con la proxy valore aggiunto e la proxy basata sulla flotta ($p=0,004$), e per NH_3 con metodologia standard e flotta ($p=0,031$) e sempre per NH_3 per valore aggiunto e flotta ($p=0,034$). Solo in questi casi rifiutiamo l'ipotesi nulla di uguaglianza e cioè le due variabili sono significativamente diverse.

Riassumendo quindi in 5 casi su 15 le variabili risultano diverse tra di loro.

Lo studio basato su questo test non parametrico non metterebbe pertanto in evidenza differenze tra i tre metodi di disaggregazione per NO_x , PM_{10} mentre le rileva per CO, COVNM e NH_3 .

È possibile notare, come schematizzato in Tabella 2 che differenze statisticamente significative si verificano solo quando è coinvolta la metodologia di disaggregazione in funzione del parco veicolare anche perché considerando le emissioni dall'intero macrosettore 07 è difficile pensare a delle differenze marcate tra la metodologia standard e quella del valore aggiunto.

Tabella 2 Risultati del test non parametrico di Wilcoxon dei ranghi con segno calcolato sui valori provinciali del settore trasporti inerenti NO_x, CO, COVNM, PM₁₀ e NH₃ in Mg –anno 2005.

	VARIABILI STATISTICAMENTE DIVERSE	VARIABILI STATISTICAMENTE UGUALI
NO _x fleet-pop		X
NO _x fleet-va		X
NO _x pop-va		X
CO fleet-pop		X
CO fleet-va	X	
CO pop-va		X
COVNM fleet-pop	X	
COVNM fleet-va	X	
COVNM pop-va		X
PM ₁₀ fleet-pop		X
PM ₁₀ fleet-va		X
PM ₁₀ pop-va		X
NH ₃ fleet-pop	X	
NH ₃ fleet-va	X	
NH ₃ pop-va		X

3.2.3 Box plot e diagrammi a dispersione per i veicoli merci

Poiché la metodologia basata sul valore aggiunto interessa solo i **veicoli merci** può essere interessante analizzare la categoria separatamente.

I box plot, che seguono (da Figura 80 a Figura 84), evidenziano distribuzioni (anno di riferimento 2005) relative alle emissioni del trasporto merci abbastanza simili tra loro.

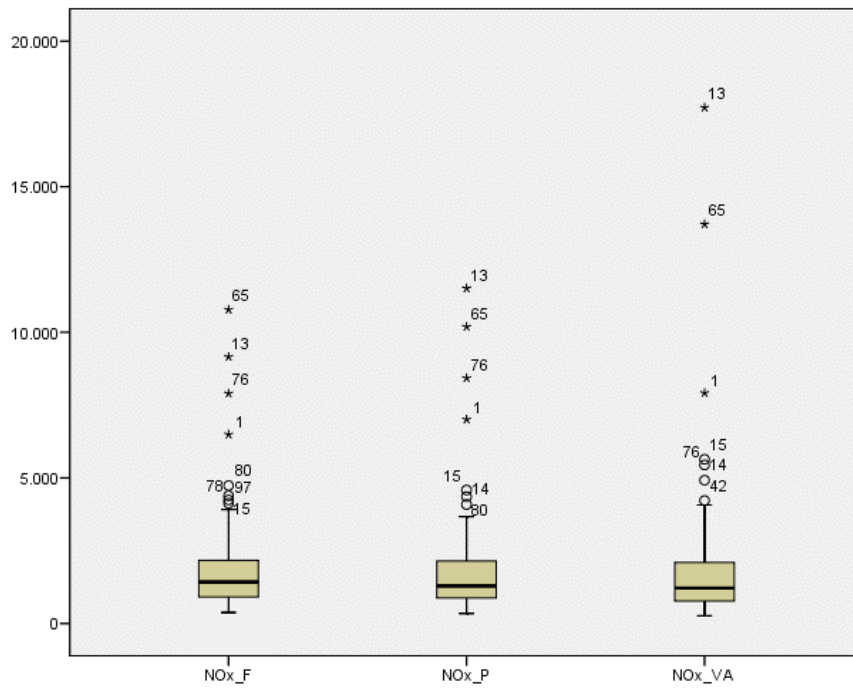


Figura 80 Box Plot di NO_x relativo alle tre diverse metodologie: flotta (NO_{x_fleet}), standard (NO_{x_pop}) e valore aggiunto (NO_{x_va}) – solo merci.

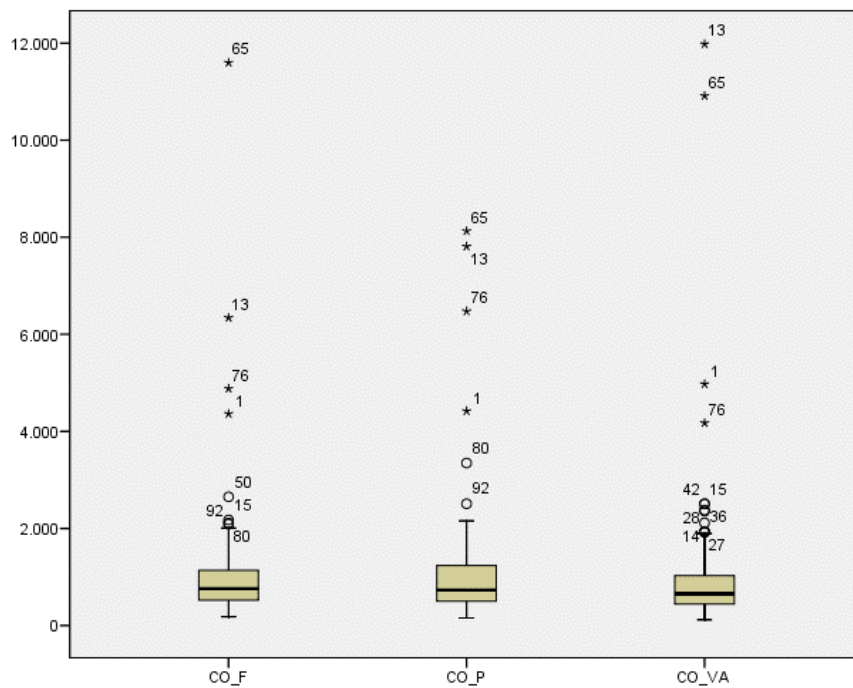


Figura 81 Box Plot di CO relativo alle tre diverse metodologie: flotta (CO_{fleet}), standard (CO_{pop}) e valore aggiunto (CO_{va}) – solo merci.

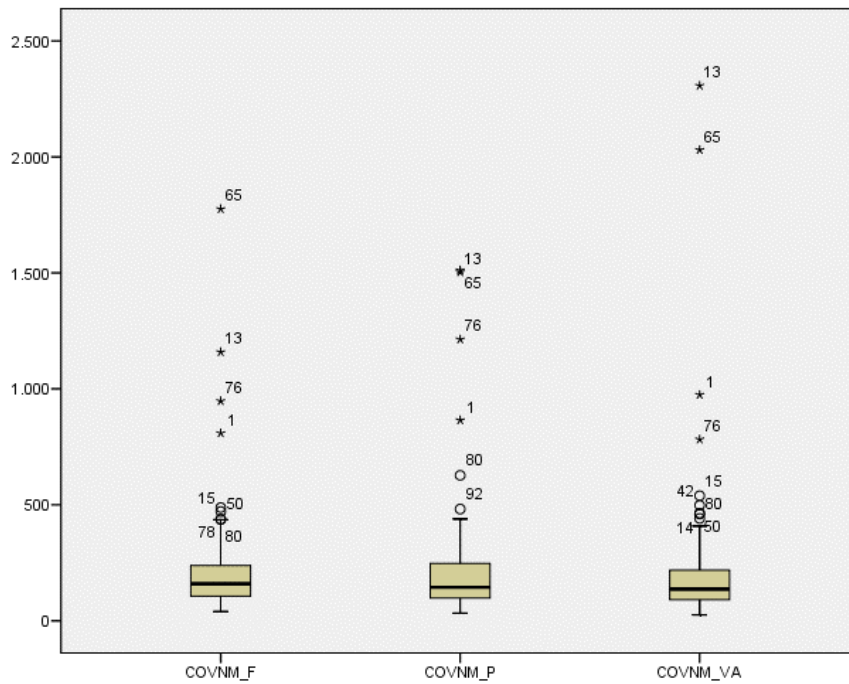


Figura 82 Box Plot di COVNM relativo alle tre diverse metodologie: flotta (COVNM_fleet), standard (COVNM_pop) e valore aggiunto (COVNM_va) – solo merci.

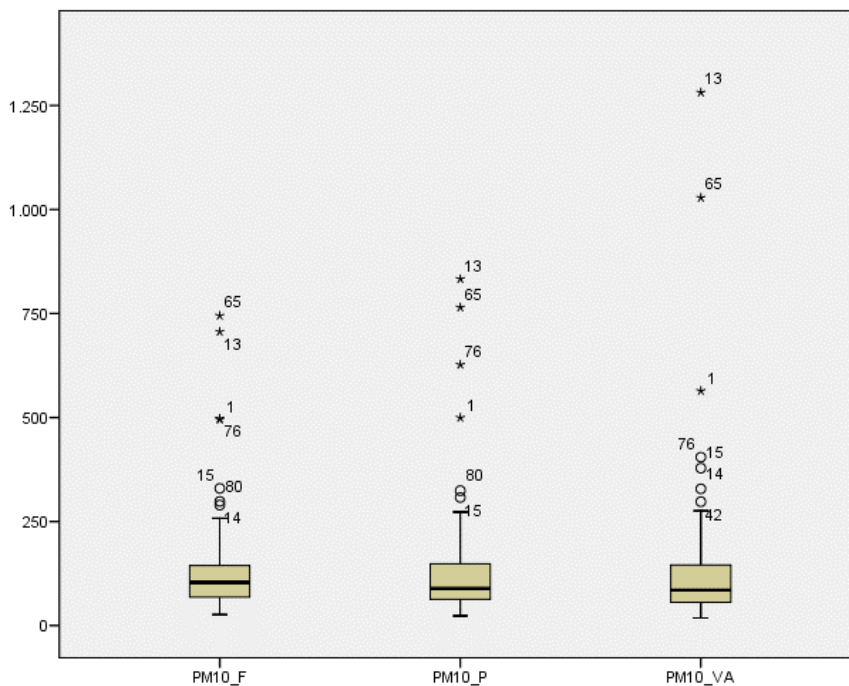


Figura 83 Box Plot di PM₁₀ relativo alle tre diverse metodologie: flotta (PM10_fleet), standard (PM10_pop) e valore aggiunto (PM10_va) – solo merci.

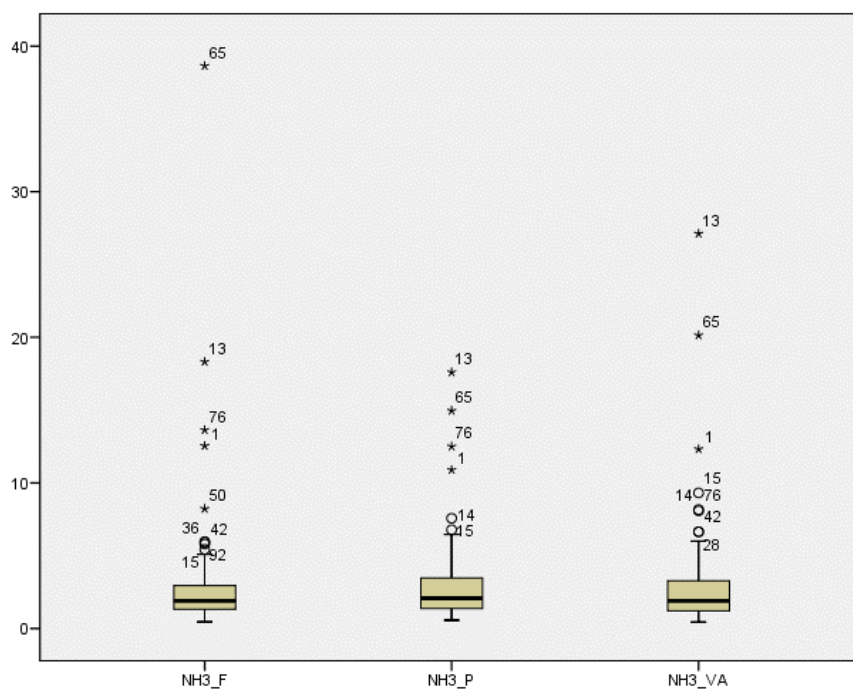


Figura 84 Box Plot di NH₃ relativo alle tre diverse metodologie: flotta (NH3_fleet), standard (NH3_pop) e valore aggiunto (NH3_va) – solo merci.

Per quanto riguarda i diagrammi a dispersione vengono riportati di seguito (da Figura 85 a Figura 89) quelli inerenti le emissioni dei veicoli merci nel caso del confronto tra la metodologia standard e quella basata sul valore aggiunto per i quali si nota la differenza tra le province del nord e quelle del sud, differenza assolutamente impercettibile nel caso in cui venga preso in considerazione l'intero parco veicolare. Infatti, per tutti gli inquinanti, nei diagrammi relativi a queste due metodologie, le province del nord si allineano al di sopra della bisettrice essendo "spinte" in alto dal valore aggiunto, mentre quelle del sud sono al di sotto.

I grafici a dispersione relativi al confronto tra le altre due coppie di metodologie sono riportati in Allegato 4 – Diagrammi a dispersione per i veicoli merci.

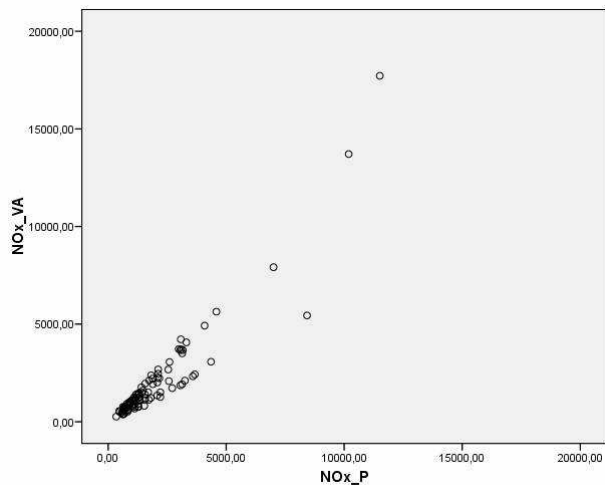


Figura 85 Grafico a dispersione delle emissioni di NOx per le metodologie standard (NOx_P) e valore aggiunto (NOx_VA) – solo merci.

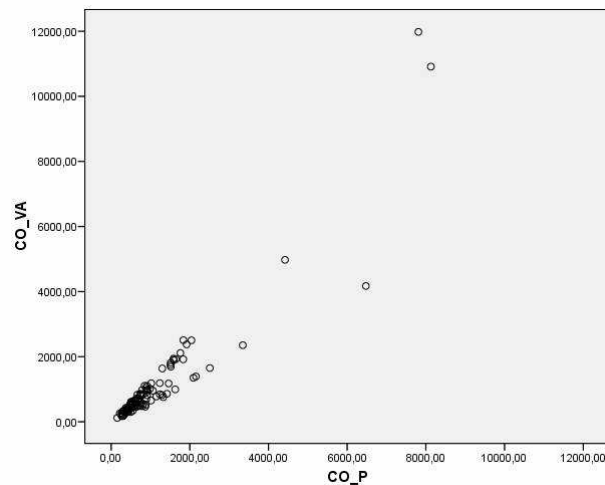


Figura 86 Grafico a dispersione delle emissioni di CO per le metodologie standard (CO_P) e valore aggiunto (CO_VA) – solo merci.

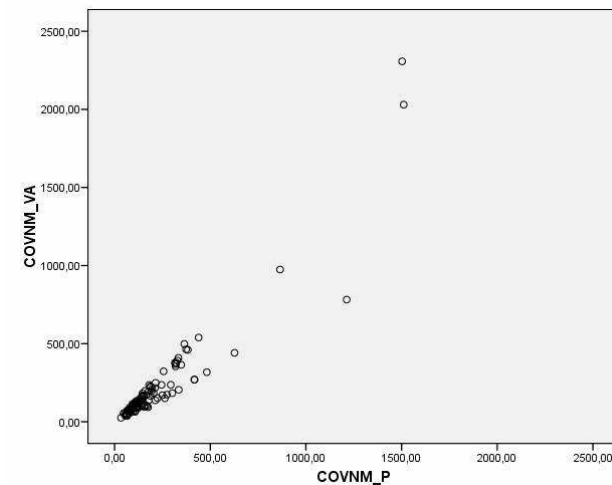


Figura 87 Grafico a dispersione delle emissioni di COVNM per le metodologie standard (COVNM_P) e valore aggiunto (COVNM_VA) – solo merci.

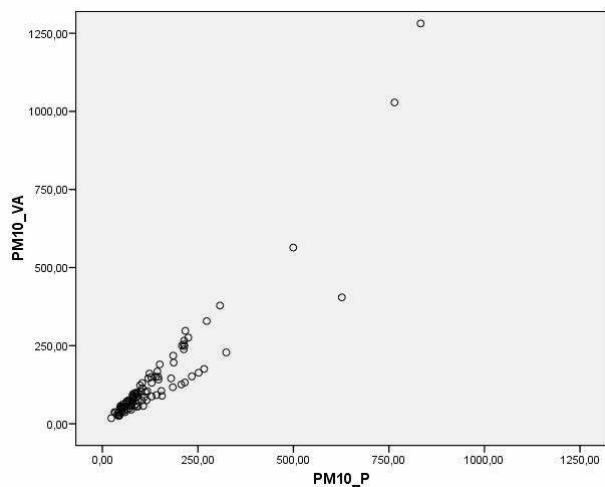


Figura 88 Grafico a dispersione delle emissioni di PM₁₀ per le metodologie standard (PM10_P) e valore aggiunto (PM10_VA) – solo merci.

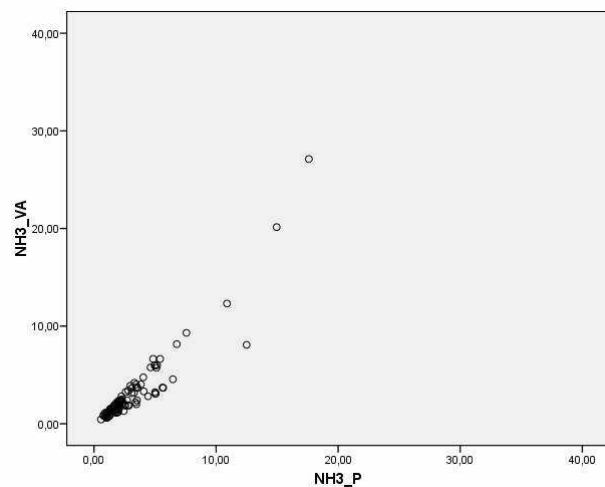


Figura 89 Grafico a dispersione delle emissioni di NH₃ per le metodologie standard (NH3_P) e valore aggiunto (NH3_VA) – solo merci.

3.2.4 Test non parametrici per i veicoli merci

Le correlazioni ottenute con l'indice di cograduazione tra graduatorie ρ di Spearman non sono mai inferiori a 0,859 e tutte significative al livello 0,01 (a due code), di conseguenza in base a questo indice vi è una forte correlazione positiva fra le tre diverse metodologie per ogni inquinante.

Il test di Wilcoxon calcolato per ciascun inquinante è sempre non statisticamente significativo ($p > 0,05$) tranne che per i valori di CO ottenuti con il valore aggiunto rispetto a quelli con la flotta veicolare ($p = 0,004$), il test non parametrico considerato è poi statisticamente significativo anche per i valori di COVNM ottenuti con le proxy popolazione-percorrenze e flotta veicolare ($p = 0,026$) e valore aggiunto e flotta veicolare ($p = 0,008$), i valori delle variabili sono diversi anche per il PM_{10} ottenuto con il valore aggiunto e la flotta ($p = 0,006$) e anche per NH_3 ottenuto con popolazione-percorrenze e flotta ($p = 0,001$).

Pertanto le variabili inerenti le stime al livello provinciale del trasporto su strada riferito solo alle merci in sei casi su quindici risultano diverse tra di loro.

Tabella 3 Risultati del test non parametrico di Wilcoxon dei ranghi con segno calcolato sui valori provinciali inerenti solo le merci del settore trasporti degli inquinanti NO_x , CO, COVNM, PM_{10} e NH_3 in Mg – anno 2005.

	VARIABILI STATISTICAMENTE DIVERSE	VARIABILI STATISTICAMENTE UGUALI
NO_x fleet-pop		X
NO_x fleet-va		X
NO_x pop-va		X
CO fleet-pop		X
CO fleet-va	X	
CO pop-va		X
COVNM fleet-pop	X	
COVNM fleet-va	X	
COVNM pop-va		X
PM_{10} fleet-pop		X
PM_{10} fleet-va	X	
PM_{10} pop-va		X
NH_3 fleet-pop	X	
NH_3 fleet-va		X
NH_3 pop-va		X

Analizzando i veicoli merci separatamente, dunque, si riscontra una differenza statisticamente significativa anche per il PM_{10} , risultato non emerso considerando l'intero macrosettore dei trasporti su strada.

4 Sintesi dei risultati

Per quanto riguarda la metodologia di stima delle emissioni nazionali da trasporto su strada, l'aggiornamento annuale della serie storica delle emissioni inquinanti comporta un periodico processo di revisione delle stime. I dati e le informazioni che si rendono man mano disponibili, vengono inseriti nel processo di elaborazione, controllando ed eventualmente aggiornando l'intera serie storica dei dati dal 1990.

Una delle aree prioritarie di intervento ai fini del miglioramento delle stime riguarda i combustibili contemplati. Al momento il modello viene utilizzato con riferimento ai veicoli alimentati a benzina, gasolio e GPL, mentre le stime delle emissioni legate all'utilizzo di gas naturale vengono calcolate a parte.

Un ulteriore miglioramento attuabile può essere individuato nell'approfondimento e nella raccolta di ulteriori informazioni sul parco circolante che permettano una corretta classificazione dei dati al momento codificati come "non identificati" o "non contemplati" da ACI. Può essere inoltre migliorata, tramite il ricorso ad informazioni più specifiche e dettagliate, la stima del parco dei veicoli commerciali pesanti articolati, degli autobus e dei ciclomotori.

Anche la qualità dei dati relativi alle percorrenze, alle velocità medie dei veicoli ed agli share di guida distintamente per le strade urbane, extraurbane e le autostrade potrebbe essere migliorata qualora si rendesse disponibile informazione più dettagliata a livello nazionale.

Per quanto riguarda i risultati delle stime, il settore del trasporto stradale produce un forte contributo alle emissioni totali nazionali: nel 2008, le emissioni di monossido di carbonio, composti organici volatili non metanici, ossidi di azoto, materiale particolato inferiore ai 10 μm (PM_{10}) e materiale particolato inferiore ai 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), costituiscono rispettivamente il 43,2%, 26,5%, 51,8%, 23,5% e 26,0% del totale.

Considerando invece i gas serra anidride carbonica, metano e protossido di azoto, i contributi del settore dei trasporti stradali al totale nel 2008 sono rispettivamente: 24,3%, 0,8% e 3,3%; il contributo complessivo in termini di anidride carbonica equivalente è pari al 21,3%.

A partire dall'inventario nazionale, viene costruito quello provinciale attraverso un approccio top-down, dall'alto verso il basso. Tale metodologia prevede l'utilizzo di cosiddette variabili proxy correlate all'attività delle sorgenti emissive ed i cui valori siano noti sia sull'area più estesa (in questo caso quella nazionale) sia al dettaglio territoriale di interesse (nello specifico quello provinciale). Alla base vi è quindi l'ipotesi che la quantità inquinante emessa sull'intera area abbia la stessa distribuzione spaziale della variabile proxy e che pertanto il valore assunto da tale variabile sull'entità territoriale di interesse possa essere considerata come fattore peso nella disaggregazione spaziale delle emissioni.

Alle emissioni nazionali da traffico stradale sono state applicate tre diverse metodologie di disaggregazione spaziale a livello provinciale (approccio top-down).

La prima metodologia utilizzata, denominata standard, si basa sull'ipotesi che esista una correlazione significativa tra la popolazione residente e la circolazione di veicoli su strada. Un limite di questa metodologia, relativamente a tutte e tre le modalità di guida (urbana, extra-urbana e autostradale), è in questo caso la scarsa variabilità nel tempo delle proxy rispetto agli indicatori utilizzati nelle altre metodologie, nonostante il lungo periodo considerato. Pertanto anche a livello provinciale si riflette lo stesso andamento temporale determinato dall'inventario nazionale. D'altra parte la facile reperibilità dei dati di popolazione rende possibile avere disposizione la disaggregazione per tutti e quattro gli anni.

La seconda metodologia, applicata a partire dall'anno 2000, si basa sulla distribuzione provinciale della flotta veicolare. Si può ritenere vantaggioso tale metodo rispetto alla metodologia standard, poiché il dato nazionale relativo alla modalità di guida autostradale viene, in questo caso ripartito per tutte le province, non escludendo quelle che non contemplano tratti propriamente autostradali.

Inoltre l'indicatore utilizzato per la disaggregazione ha una maggiore capacità di descrivere la variabilità delle emissioni sia sul territorio, in quanto il rinnovo dei parchi provinciali è in genere più rapido al nord e quindi la percentuale dei veicoli a tecnologie avanzate è maggiore rispetto al sud, che nel tempo, poiché dipende dal rinnovo tecnologico del parco e dall'incremento sostanziale del numero di veicoli in circolazione.

La terza metodologia riguarda solo le emissioni relative alle modalità di guida urbana e extraurbana dovute ai mezzi commerciali. Questa metodologia di disaggregazione del dato nazionale, applicata per gli anni 2000 e 2005, utilizza l'indicatore economico del valore aggiunto provinciale e si basa sull'ipotesi che la distribuzione delle emissioni per queste categorie di veicoli sia legata maggiormente all'intensità dell'attività economica piuttosto che alla densità della popolazione o del parco veicolare. I risultati evidenziano naturalmente una correzione della distribuzione delle emissioni del trasporto merci su strada verso le province economicamente più importanti, in generale verso le province settentrionali.

Anche le emissioni stimate a livello provinciale tendono a diminuire nel corso del periodo 1990-2005 con intensità dipendente dalla proxy utilizzata, tranne nel caso dell'ammoniaca, che presenta valori crescenti fino al 2000 e solo a partire da questo anno inverte l'andamento.

Considerando l'analisi per inquinanti, per particolato e ossidi di azoto è interessante notare che per le regioni del nord la stima maggiore è quella che tiene in considerazione il valore aggiunto per la disaggregazione delle emissioni dai veicoli merci, il territorio nazionale risulta diviso fra parte settentrionale e meridionale, così rispecchiando la distribuzione della variabile economica nel paese.

Per quanto riguarda il monossido di carbonio si notano a livello regionale dei comportamenti differenti rispetto a PM_{10} e NO_x , le emissioni ottenute con la metodologia basata sul parco veicolare risultano superiori a quelle basate anche sul valore aggiunto in regioni del nord come Lombardia e Veneto, mentre risultano inferiori in regioni come Campania e Lazio, esattamente al contrario di PM_{10} e NO_x .

Ciò è dovuto ad un insieme di cause. Innanzitutto per il CO le emissioni disaggregate considerando il valore aggiunto variano meno rispetto a quelle ottenute unicamente in base alla popolazione. Vale a dire aumentano in maniera meno accentuata nelle province "ricche" e diminuiscono meno marcatamente nelle province "povere". Questo perché le emissioni di CO (come anche quelle di COVNM) sono meno legate alle emissioni dai veicoli merci cui è applicato il metodo del valore aggiunto. Inoltre, si può notare come, specialmente in regioni del centro-sud (Campania, Lazio, Puglia, Sicilia), la stima delle emissioni di CO e COVNM realizzata con la metodologia standard risulti superiore a quella basata sul parco veicolare (contrariamente a quanto avviene per NO_x e PM_{10}), andando ad analizzare nel dettaglio ciò si verifica per quanto riguarda il ciclo di guida urbano che per questi inquinanti ha un peso molto importante, soprattutto per automobili, ciclomotori e motocicli.

Dall'analisi statistica basata sui test non parametrici non risultano differenze statisticamente significative per il test di Spearman mentre il test di Wilcoxon individua differenze significative per CO (parco veicolare vs valore aggiunto), COVNM (parco veicolare vs valore aggiunto, parco veicolare vs standard) e NH_3 (parco veicolare vs valore aggiunto, parco veicolare vs standard). Nel caso in cui vengano analizzate le sole emissioni dal trasporto merci il test di Wilcoxon individua un'ulteriore differenza per il PM_{10} (parco veicolare vs valore aggiunto).

5 Riferimenti bibliografici

1. ACI, Autoritratto (diversi anni), <http://www.aci.it/index.php?id=54>
2. ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie). Recherche et développement: histoires de réussites. 2005
3. AISCAT (diversi anni), Aiscat in cifre, http://www.aiscat.it/pubbl_cifre.htm?ck=1&sub=3&idl=4&nome=pubblicazioni&nome_sub=aiscat%20in%20cifre
4. ANCMA (diversi anni), Dati disponibili al link: <http://www.ancma.it/it/publishing.asp>
5. APAT, Annuario dei dati ambientali 2007.
6. Barbaranelli C., D'Olimpo F., Analisi dei Dati con SPSS, vol.I Le Analisi di base, LED, 2007.
7. Bernetti A., Contaldi M., De Lauretis R., La stima delle emissioni da trasporto stradale nel passaggio a Copert 4: alcune osservazioni, XIV EP Trasporti Stradali, Venezia 16 Ottobre 2008
8. Bernetti A., Romano D., Quality Assurance/Quality Control Plan for the Italian Emission Inventory - Procedures Manual, 2006 http://www.apat.gov.it/site/_files/QA-QC_ITALY_procedures.pdf
9. Caserini S., Pennisi L., Vasserot A. La stima del parco circolante di Bus e Pullman a livello locale. Relazione orale XIII Expert Panel Trasporti, Roma 4 ottobre 2007. Disponibile al link: <http://www.sinanet.apat.it/it/EPT/convegni/annunci-e-convegni>
10. Capobianco M., Carraro C., Zamboni G. Veicoli a due ruote: definizione dei fattori di emissione e dei dati di base. Relazione orale presentata al XII Expert Panel Trasporti, Napoli 9 novembre 2006. Disponibile al link: <http://www.sinanet.apat.it/it/EPT/convegni/annunci-e-convegni>
11. CONFETRA (diversi anni), Il trasporto di merci su strada in Italia, Dati disponibili al link: <http://www.confetra.it/it/centrostudi/statistiche.htm>
12. Dietzenbacher, E., Los, B. (1998). Structural decomposition techniques: sense and sensitivity. Economic Systems Research, 10: 307-323.
13. EEA, Copert 4, Computer programme to calculate emissions from road transport, 2010, <http://lat.eng.auth.gr/copert/>
14. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook- 2007. EEA. Technical report No 16/2007.
15. EMEP/EEA air pollutant Emission Inventory Guidebook – 2009. EEA. Technical report No 9/2009
16. ENEA, relazioni orali presentate all'Expert Panel Trasporti (diversi anni). Disponibili al link: <http://www.sinanet.apat.it/it/EPT/convegni/annunci-e-convegni>

17. Santino D., Picini P., Martino L. Particulate Matter Emissions from Two-Stroke Mopeds. SAE Naples 2001-01-068, Naples Sept. 23-27, 2001
18. Faberi M. Organizzazione Mondiale della Sanità Centro Europeo per l'Ambiente e la Salute Ufficio di Roma. Relazione orale presentata al VI Export Panel Trasporti, Roma 3 luglio 2002. Disponibile al link: <http://www.sinanet.apat.it/it/EPT/convegni/annunci-e-convegni>
19. Gambino M., Iannaccone S., Prati M. V., Unich A. Regulated and unregulated emissions reduction with retrofit Catalytic after-treatment on small two stroke S.I. engine. Sae Technical Paper Series, 2000
20. Giordano R., Trasporto merci: criticità attuali e potenziali sviluppi nel contesto europeo. Comitato Centrale Albo Autotrasportatori, 2007
21. Grechi D., Martino L., Picini P., Santino D. Emissioni di polveri da ciclomotori. Stima comparativa delle emissioni di CO, HC e benzene da varie tipologie di veicoli a due ruote. Presentato nell'ambito della giornata di studio: Determinazione sperimentale delle emissioni provenienti da motoveicoli circolanti in area urbana, Bologna 9 maggio 2002
22. Iarocci G., Cattani G., Analisi dei dati italiani del trasporto su strada 2000-2005-2007, ISBN 978-88-448-0412-1, ISPRA, aprile 2009.
23. IPCC, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan, 2006
24. IPCC, Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, Technical Support Unit, Hayama, Kanagawa, Japan, 2000
25. IPCC, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Emission Inventories. Three volumes: Reference Manual, Reporting Manual, Reporting Guidelines and Workbook. IPCC/OECD/IEA. IPCC WG1 Technical Support Unit, Hadley Centre, Meteorological Centre, Meteorological Office, Bracknell, UK, 1997
26. ISPRA, Italian Emission Inventory 1990-2007, Informative Inventory Report 2009
http://www.apat.gov.it/site/it-IT/APAT/Pubblicazioni/Rapporti/Documento/rapporto_99_2009.html
27. ISPRA, Italian Greenhouse Gas Inventory 1990 - 2008. National Inventory Report 2010
http://www.apat.gov.it/site/it-IT/APAT/Pubblicazioni/Rapporti/Documento/rapporto_113_2010.html
28. ISPRA, Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2007. National Inventory Report 2009
http://www.apat.gov.it/site/it-IT/APAT/Pubblicazioni/Rapporti/Documento/rapporto_98_2009.html
29. ISPRA, La disaggregazione a livello provinciale dell'inventario nazionale delle emissioni, Anni 1990-1995- 2000-2005.

30. ISTAT (diversi anni), Il trasporto merci su strada, http://www.istat.it/salastampa/comunicati/non_calendario/20100402_00/
31. Istat, Occupazione e valore aggiunto nelle province. Periodo di riferimento: Anni 2001-2005 Diffuso il: 29 gennaio 2008; http://www.istat.it/dati/dataset/20080129_00/
32. Kouridis C., Gkatzoflias D., Kioutsoukis I., Ntziachristos L., Pastorello C., Dilara P. Uncertainty Estimates and Guidance for Road Transport Emission Calculations, European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability
33. Labeco, 2002. Comunicazione personale.
34. Leti G., Statistica descrittiva, Il Mulino, 1983.
35. Liburdi R., Contaldi M. Una metodologia alternativa per la disaggregazione a livello provinciale delle emissioni nazionali dei veicoli commerciali leggeri e pesanti su ciclo di guida urbano ed extraurbano. www.sinanet.apat.it/it/EPT/documentazione
36. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (diversi anni), Conto Nazionale delle Infrastrutture e dei Trasporti (CNIT), http://www.mit.gov.it/mit/site.php?p=cm&o=cl&f_metodo=rs&autoCompleteTextField=cnit
37. Ministero dello Sviluppo Economico (diversi anni), Bilancio Energetico Nazionale, <http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/dgerm/ben.asp>
38. Ministero dello Sviluppo Economico (diversi anni), Bollettino Petrolifero, <http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/dgerm/bollettino.asp>
39. Pagano M., Gauvreau K., Biostatistica, Guido Gnocchi Editore, 1994.
40. Romano D., Bernetti A., De Lauretis R., Different methodologies to quantify uncertainties of air emissions. Environment International vol 30 pp 1099-1107, 2004
41. Stazione Sperimentale per i Combustibili. Effetto della conversione a euro1 di dieci ciclomotori sulle emissioni inquinanti. Rapporto di prova, 30 ottobre 2000
42. Unione Petrolifera (diversi anni), Previsioni di domanda energetica e petrolifera italiana, <http://www.unione petrolifera.it/Stampa/Pubblicazioni>
43. Vitale F. Le due ruote in Italia. Analisi del parco circolante ed evoluzione della tecnologia. Relazioni Istituzionali Piaggio & C. spa Roma, 18 dicembre 2003. Disponibile al link: <http://www.sinanet.apat.it/it/EPT/convegni/annunci-e-convegni>

6 ALLEGATI

Allegato 1 – Categorie veicolari contemplate nella stima nazionale

Settore	Subsettore	Tecnologia
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	PRE ECE
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	ECE 15/00-01
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	ECE 15/02
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	ECE 15/03
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	ECE 15/04
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	Improved Conventional
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	Open Loop
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	PC Euro 1 - 91/441/EEC
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	PC Euro 2 - 94/12/EEC
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	PC Euro 3 - 98/69/EC Stage2000
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	PC Euro 4 - 98/69/EC Stage2005
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	PC Euro 5 - EC 715/2007
Passenger Cars	Gasoline <1,4 l	PC Euro 6 - EC 715/2007
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	PRE ECE
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	ECE 15/00-01
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	ECE 15/02
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	ECE 15/03
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	ECE 15/04
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	Improved Conventional
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	Open Loop
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro 1 - 91/441/EEC
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro 2 - 94/12/EEC
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro 3 - 98/69/EC Stage2000
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro 4 - 98/69/EC Stage2005
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro 5 - EC 715/2007
Passenger Cars	Gasoline 1,4 - 2,0 l	PC Euro 6 - EC 715/2007
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	PRE ECE
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	ECE 15/00-01
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	ECE 15/02
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	ECE 15/03
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	ECE 15/04
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	PC Euro 1 - 91/441/EEC
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	PC Euro 2 - 94/12/EEC
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	PC Euro 3 - 98/69/EC Stage2000
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	PC Euro 4 - 98/69/EC Stage2005
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	PC Euro 5 - EC 715/2007
Passenger Cars	Gasoline >2,0 l	PC Euro 6 - EC 715/2007
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	Conventional
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	PC Euro 1 - 91/441/EEC
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	PC Euro 2 - 94/12/EEC
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	PC Euro 3 - 98/69/EC Stage2000
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	PC Euro 4 - 98/69/EC Stage2005
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	PC Euro 5 - EC 715/2007
Passenger Cars	Diesel <2,0 l	PC Euro 6 - EC 715/2007

Settore	Subsettore	Tecnologia
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	Conventional
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	PC Euro 1 - 91/441/EEC
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	PC Euro 2 - 94/12/EEC
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	PC Euro 3 - 98/69/EC Stage2000
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	PC Euro 4 - 98/69/EC Stage2005
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	PC Euro 5 - EC 715/2007
Passenger Cars	Diesel >2,0 l	PC Euro 6 - EC 715/2007
Passenger Cars	LPG	Conventional
Passenger Cars	LPG	PC Euro 1 - 91/441/EEC
Passenger Cars	LPG	PC Euro 2 - 94/12/EEC
Passenger Cars	LPG	PC Euro 3 - 98/69/EC Stage2000
Passenger Cars	LPG	PC Euro 4 - 98/69/EC Stage2005
Passenger Cars	LPG	PC Euro 5 - EC 715/2007
Passenger Cars	LPG	PC Euro 6 - EC 715/2007
Light Duty Vehicles	Gasoline <3,5t	Conventional
Light Duty Vehicles	Gasoline <3,5t	LD Euro 1 - 93/59/EEC
Light Duty Vehicles	Gasoline <3,5t	LD Euro 2 - 96/69/EEC
Light Duty Vehicles	Gasoline <3,5t	LD Euro 3 - 98/69/EC Stage2000
Light Duty Vehicles	Gasoline <3,5t	LD Euro 4 - 98/69/EC Stage2005
Light Duty Vehicles	Gasoline <3,5t	LD Euro 5 - 2008 Standards
Light Duty Vehicles	Gasoline <3,5t	LD Euro 6
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	Conventional
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro 1 - 93/59/EEC
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro 2 - 96/69/EEC
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro 3 - 98/69/EC Stage2000
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro 4 - 98/69/EC Stage2005
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro 5 - 2008 Standards
Light Duty Vehicles	Diesel <3,5 t	LD Euro 6
Heavy Duty Trucks	Gasoline >3,5 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro III - 2000 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro V - 2008 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid <=7,5 t	HD Euro VI
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro III - 2000 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro V - 2008 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 7,5 - 12 t	HD Euro VI
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II

Settore	Subsettore	Tecnologia
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro III - 2000 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro V - 2008 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 12 - 14 t	HD Euro VI
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	HD Euro III - 2000 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	HD Euro V - 2008 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 14 - 20 t	HD Euro VI
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	HD Euro III - 2000 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	HD Euro V - 2008 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 20 - 26 t	HD Euro VI
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	HD Euro III - 2000 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	HD Euro V - 2008 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 26 - 28 t	HD Euro VI
Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	HD Euro III - 2000 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	HD Euro V - 2008 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid 28 - 32 t	HD Euro VI
Heavy Duty Trucks	Rigid >32 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Rigid >32 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Heavy Duty Trucks	Rigid >32 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Heavy Duty Trucks	Rigid >32 t	HD Euro III - 2000 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid >32 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid >32 t	HD Euro V - 2008 Standards
Heavy Duty Trucks	Rigid >32 t	HD Euro VI
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	HD Euro III - 2000 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	HD Euro V - 2008 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 14 - 20 t	HD Euro VI

Settore	Subsettore	Tecnologia
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	HD Euro III - 2000 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	HD Euro V - 2008 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 20 - 28 t	HD Euro VI
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	HD Euro III - 2000 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	HD Euro V - 2008 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 28 - 34 t	HD Euro VI
Heavy Duty Trucks	Articulated 34 - 40 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Articulated 34 - 40 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Heavy Duty Trucks	Articulated 34 - 40 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Heavy Duty Trucks	Articulated 34 - 40 t	HD Euro III - 2000 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 34 - 40 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 34 - 40 t	HD Euro V - 2008 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 34 - 40 t	HD Euro VI
Heavy Duty Trucks	Articulated 40 - 50 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Articulated 40 - 50 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Heavy Duty Trucks	Articulated 40 - 50 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Heavy Duty Trucks	Articulated 40 - 50 t	HD Euro III - 2000 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 40 - 50 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 40 - 50 t	HD Euro V - 2008 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 40 - 50 t	HD Euro VI
Heavy Duty Trucks	Articulated 50 - 60 t	Conventional
Heavy Duty Trucks	Articulated 50 - 60 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Heavy Duty Trucks	Articulated 50 - 60 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Heavy Duty Trucks	Articulated 50 - 60 t	HD Euro III - 2000 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 50 - 60 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 50 - 60 t	HD Euro V - 2008 Standards
Heavy Duty Trucks	Articulated 50 - 60 t	HD Euro VI
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	Conventional
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro III - 2000 Standards
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro V - 2008 Standards
Buses	Urban Buses Midi <=15 t	HD Euro VI
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	Conventional
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD Euro III - 2000 Standards

Settore	Subsettore	Tecnologia
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD Euro V - 2008 Standards
Buses	Urban Buses Standard 15 - 18 t	HD Euro VI
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	Conventional
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	HD Euro III - 2000 Standards
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	HD Euro V - 2008 Standards
Buses	Urban Buses Articulated >18 t	HD Euro VI
Buses	Coaches Standard <=18 t	Conventional
Buses	Coaches Standard <=18 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Buses	Coaches Standard <=18 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Buses	Coaches Standard <=18 t	HD Euro III - 2000 Standards
Buses	Coaches Standard <=18 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Buses	Coaches Standard <=18 t	HD Euro V - 2008 Standards
Buses	Coaches Standard <=18 t	HD Euro VI
Buses	Coaches Articulated >18 t	Conventional
Buses	Coaches Articulated >18 t	HD Euro I - 91/542/EEC Stage I
Buses	Coaches Articulated >18 t	HD Euro II - 91/542/EEC Stage II
Buses	Coaches Articulated >18 t	HD Euro III - 2000 Standards
Buses	Coaches Articulated >18 t	HD Euro IV - 2005 Standards
Buses	Coaches Articulated >18 t	HD Euro V - 2008 Standards
Buses	Coaches Articulated >18 t	HD Euro VI
Mopeds	<50 cm ³	Conventional
Mopeds	<50 cm ³	Mop - Euro I
Mopeds	<50 cm ³	Mop - Euro II
Mopeds	<50 cm ³	Mop - Euro III
Motorcycles	4-stroke <250 cm ³	Conventional
Motorcycles	4-stroke <250 cm ³	Mot - Euro I
Motorcycles	4-stroke <250 cm ³	Mot - Euro II
Motorcycles	4-stroke <250 cm ³	Mot - Euro III
Motorcycles	4-stroke 250 - 750 cm ³	Conventional
Motorcycles	4-stroke 250 - 750 cm ³	Mot - Euro I
Motorcycles	4-stroke 250 - 750 cm ³	Mot - Euro II
Motorcycles	4-stroke 250 - 750 cm ³	Mot - Euro III
Motorcycles	4-stroke >750 cm ³	Conventional
Motorcycles	4-stroke >750 cm ³	Mot - Euro I
Motorcycles	4-stroke >750 cm ³	Mot - Euro II
Motorcycles	4-stroke >750 cm ³	Mot - Euro III

Allegato 2 - Serie storica dei veic*km (in migliaia) per categoria veicolare, combustibile e ciclo di guida

Categoria veicolare	Comb.	Ciclo di guida	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Automobili	Benzina	Urbano	66.231.947	85.984.864	71.590.325	68.544.050	72.816.935	73.814.866	67.834.628	60.931.589	55.527.361	50.845.958
Automobili	Benzina	Extraurbano	97.524.417	130.663.703	136.357.149	135.343.963	131.194.959	108.306.227	102.238.913	93.824.181	86.759.936	79.896.926
Automobili	Benzina	Autostradale	26.132.910	46.209.148	57.618.520	58.101.941	51.160.088	58.217.835	56.105.741	52.989.441	49.994.375	46.377.378
Automobili	Benzina	Totale	189.889.274	262.857.715	265.565.995	261.989.953	255.171.982	240.338.928	226.179.281	207.745.210	192.281.673	177.120.262
Automobili	Gasolio	Urbano	11.753.511	9.171.473	13.140.209	13.926.922	17.773.109	20.066.177	23.841.704	27.767.954	30.179.107	32.518.256
Automobili	Gasolio	Extraurbano	42.136.735	32.755.754	51.352.990	54.321.141	68.850.194	77.469.221	91.683.273	106.567.601	115.584.355	124.316.120
Automobili	Gasolio	Autostradale	24.466.496	19.215.925	31.038.754	32.737.485	41.069.410	45.972.213	54.078.945	62.663.563	67.749.659	72.660.282
Automobili	Gasolio	Totale	78.356.742	61.143.152	95.531.953	100.985.548	127.692.712	143.507.610	169.603.922	196.999.118	213.513.121	229.494.658
Automobili	GPL	Urbano	6.976.090	7.647.119	7.301.996	7.119.977	6.709.701	6.163.334	5.624.520	5.218.538	4.982.281	4.735.048
Automobili	GPL	Extraurbano	9.301.454	10.196.159	9.735.995	9.493.303	8.946.268	8.217.779	7.499.359	6.958.050	6.643.041	6.313.398
Automobili	GPL	Autostradale	6.976.090	7.647.119	7.301.996	7.119.977	6.709.701	6.163.334	5.624.520	5.218.538	4.982.281	4.735.048
Automobili	GPL	Totale	23.253.635	25.490.397	24.339.988	23.733.257	22.365.670	20.544.447	18.748.399	17.395.126	16.607.602	15.783.494
Veicoli commerciali leggeri	Benzina	Urbano	1.728.797	1.096.520	1.128.664	1.086.455	1.106.653	1.072.593	943.463	1.072.775	1.077.472	1.084.465
Veicoli commerciali leggeri	Benzina	Extraurbano	2.593.195	2.193.039	2.483.061	2.390.201	2.434.636	2.359.704	2.075.619	2.360.106	2.370.438	2.385.822
Veicoli commerciali leggeri	Benzina	Autostradale	1.440.664	1.096.520	902.931	869.164	885.322	858.074	754.770	858.220	861.978	867.572
Veicoli commerciali leggeri	Benzina	Totale	5.762.656	4.386.079	4.514.657	4.345.820	4.426.611	4.290.371	3.773.852	4.291.101	4.309.888	4.337.859
Veicoli commerciali leggeri	Gasolio	Urbano	9.384.791	10.864.305	14.051.754	14.524.312	13.560.110	14.724.076	15.407.203	14.831.918	15.675.223	16.298.873
Veicoli commerciali leggeri	Gasolio	Extraurbano	10.725.475	18.107.176	30.913.858	31.953.487	29.832.241	32.392.966	33.895.846	32.630.220	34.485.491	35.857.521
Veicoli commerciali leggeri	Gasolio	Autostradale	6.703.422	7.242.870	11.241.403	11.619.450	10.848.088	11.779.260	12.325.762	11.865.535	12.540.179	13.039.098
Veicoli commerciali	Gasolio	Totale	26.813.688	36.214.351	56.207.014	58.097.250	54.240.438	58.896.302	61.628.811	59.327.673	62.700.893	65.195.492

Categoria veicolare	Comb.	Ciclo di guida	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
leggeri												
Veicoli commerciali pesanti	Benzina	Urbano	12.792	15.118	10.250	9.888	9.598	9.102	7.208	7.060	6.752	5.690
Veicoli commerciali pesanti	Benzina	Extraurbano	38.376	45.354	30.751	29.664	28.793	27.306	21.625	21.179	20.257	17.071
Veicoli commerciali pesanti	Benzina	Autostradale	12.792	15.118	10.250	9.888	9.598	9.102	7.208	7.060	6.752	5.690
Veicoli commerciali pesanti	Benzina	Totale	63.960	75.590	51.252	49.440	47.988	45.510	36.042	35.298	33.762	28.452
Veicoli commerciali pesanti	Gasolio	Urbano	4.475.642	4.389.704	3.925.164	4.364.464	4.314.526	4.299.522	4.138.527	3.797.774	3.832.735	3.816.879
Veicoli commerciali pesanti	Gasolio	Extraurbano	14.640.415	15.024.953	12.780.760	14.199.082	14.467.161	14.419.350	13.833.783	12.724.721	12.810.755	12.746.102
Veicoli commerciali pesanti	Gasolio	Autostradale	16.945.740	16.419.509	15.957.735	17.747.646	19.943.958	19.819.586	19.462.540	17.735.300	18.058.465	18.052.464
Veicoli commerciali pesanti	Gasolio	Totale	36.061.797	35.834.166	32.663.659	36.311.192	38.725.645	38.538.459	37.434.850	34.257.794	34.701.954	34.615.445
Autobus	Gasolio	Urbano	1.149.042	948.823	936.949	923.985	829.941	874.376	898.119	887.092	835.017	853.941
Autobus	Gasolio	Extraurbano	1.130.022	850.484	861.861	858.069	906.244	950.028	974.518	1.008.810	927.834	948.062
Autobus	Gasolio	Autostradale	1.563.183	1.170.029	1.470.937	1.466.372	1.690.675	1.771.356	1.816.740	1.890.506	1.734.344	1.771.988
Autobus	Gasolio	Totale	3.842.246	2.969.337	3.269.747	3.248.426	3.426.861	3.595.760	3.689.376	3.786.408	3.497.196	3.573.991
Ciclomotori	Benzina	Urbano	11.448.993	15.560.748	15.945.250	15.394.976	14.981.930	14.571.671	14.089.326	13.617.628	13.134.693	12.716.431
Ciclomotori	Benzina	Extraurbano	4.906.711	6.668.892	6.833.678	6.597.847	6.420.827	6.245.002	6.038.283	5.836.126	5.629.154	5.449.899
Ciclomotori	Benzina	Autostradale	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ciclomotori	Benzina	Totale	16.355.705	22.229.641	22.778.928	21.992.824	21.402.757	20.816.674	20.127.609	19.453.754	18.763.847	18.166.330
Motocicli	Benzina	Urbano	8.863.329	10.150.812	13.540.365	14.078.328	14.042.174	15.115.962	15.784.971	17.546.708	18.671.533	19.779.844
Motocicli	Benzina	Extraurbano	5.170.276	5.921.307	7.898.546	8.212.358	8.191.268	8.817.644	9.207.900	10.235.579	10.891.727	11.538.242
Motocicli	Benzina	Autostradale	738.611	845.901	1.128.364	1.173.194	1.170.181	1.259.663	1.315.414	1.462.226	1.555.961	1.648.320

Categoria veicolare	Comb.	Ciclo di guida	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Motocicli	Benzina	Totale	14.772.216	16.918.021	22.567.275	23.463.880	23.403.624	25.193.269	26.308.285	29.244.513	31.119.221	32.966.407

Allegato 3 - Serie storica dei consumi di combustibile (Gg) per categoria veicolare, combustibile e ciclo di guida

Categoria veicolare	Comb.	Ciclo di guida	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Automobili	Benzina	Urbano	5.817	7.035	5.828	5.591	5.837	5.900	5.414	4.847	4.423	4.054
Automobili	Benzina	Extraurbano	4.675	6.160	6.168	6.138	5.823	4.768	4.505	4.111	3.804	3.506
Automobili	Benzina	Autostradale	1.409	2.484	2.888	2.933	2.555	2.892	2.798	2.636	2.487	2.318
Automobili	Benzina	Totale	11.902	15.679	14.884	14.663	14.215	13.560	12.718	11.594	10.714	9.877
Automobili	Gasolio	Urbano	1.131	840	1.109	1.162	1.439	1.591	1.856	2.144	2.308	2.472
Automobili	Gasolio	Extraurbano	2.021	1.571	2.580	2.731	3.461	3.902	4.613	5.353	5.802	6.233
Automobili	Gasolio	Autostradale	1.606	1.257	1.921	2.006	2.444	2.683	3.100	3.560	3.813	4.058
Automobili	Gasolio	Totale	4.758	3.668	5.611	5.899	7.344	8.176	9.569	11.057	11.924	12.762
Automobili	GPL	Urbano	544	594	562	547	514	471	429	396	377	357
Automobili	GPL	Extraurbano	421	461	440	429	405	372	339	315	300	285
Automobili	GPL	Autostradale	377	423	422	414	394	366	338	318	310	299
Automobili	GPL	Totale	1.342	1.478	1.424	1.390	1.313	1.209	1.106	1.029	987	941
Veicoli commerciali leggeri	Benzina	Urbano	255	158	171	165	170	167	148	169	174	175
Veicoli commerciali leggeri	Benzina	Extraurbano	156	139	165	159	164	161	143	163	168	169
Veicoli commerciali leggeri	Benzina	Autostradale	87	67	58	56	58	57	51	58	59	60
Veicoli commerciali leggeri	Benzina	Totale	498	364	394	380	393	384	342	389	401	404
Veicoli commerciali leggeri	Gasolio	Urbano	1.125	1.259	1.600	1.646	1.524	1.645	1.707	1.632	1.707	1.773
Veicoli commerciali leggeri	Gasolio	Extraurbano	707	1.188	1.989	2.043	1.886	2.033	2.104	2.008	2.094	2.172
Veicoli commerciali leggeri	Gasolio	Autostradale	589	631	945	971	897	1.050	1.296	1.238	1.293	1.342
Veicoli commerciali leggeri	Gasolio	Totale	2.421	3.078	4.534	4.660	4.307	4.728	5.106	4.879	5.094	5.287

Categoria veicolare	Comb.	Ciclo di guida	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Veicoli commerciali pesanti	Benzina	Urbano	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1
Veicoli commerciali pesanti	Benzina	Extraurbano	6	7	5	4	4	4	3	3	3	3
Veicoli commerciali pesanti	Benzina	Autostradale	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1
Veicoli commerciali pesanti	Benzina	Totale	11	13	9	8	8	8	6	6	6	5
Veicoli commerciali pesanti	Gasolio	Urbano	1.295	1.214	1.067	1.182	1.128	1.104	1.078	957	980	973
Veicoli commerciali pesanti	Gasolio	Extraurbano	2.496	2.628	2.222	2.469	2.450	2.410	2.339	2.096	2.140	2.124
Veicoli commerciali pesanti	Gasolio	Autostradale	3.136	3.013	2.941	3.287	3.513	3.454	3.418	3.042	3.177	3.104
Veicoli commerciali pesanti	Gasolio	Totale	6.926	6.855	6.229	6.938	7.091	6.967	6.835	6.095	6.298	6.201
Autobus	Gasolio	Urbano	536	423	386	378	333	345	352	348	328	333
Autobus	Gasolio	Extraurbano	291	209	206	204	215	223	228	235	216	220
Autobus	Gasolio	Autostradale	346	257	313	310	355	368	375	389	355	361
Autobus	Gasolio	Totale	1.172	889	904	892	902	936	956	972	899	914
Ciclomotori	Benzina	Urbano	229	389	395	380	366	351	334	318	302	287
Ciclomotori	Benzina	Extraurbano	98	167	169	163	157	150	143	136	129	123
Ciclomotori	Benzina	Autostradale	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ciclomotori	Benzina	Totale	327	556	564	542	523	501	478	454	431	409
Motocicli	Benzina	Urbano	264	299	394	408	406	437	456	505	543	574
Motocicli	Benzina	Extraurbano	140	160	216	226	227	246	258	288	307	326
Motocicli	Benzina	Autostradale	27	31	44	47	48	52	56	63	66	71
Motocicli	Benzina	Totale	431	490	654	681	681	735	770	857	916	971

Allegato 4 – Diagrammi a dispersione per i veicoli merci

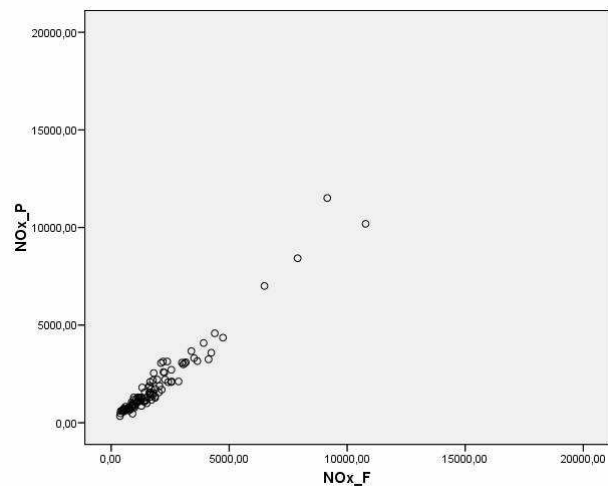


Figura 4A Grafico a dispersione delle emissioni di NOx per le metodologie flotta (NOx_F) e standard (NOx_P) – solo merci.

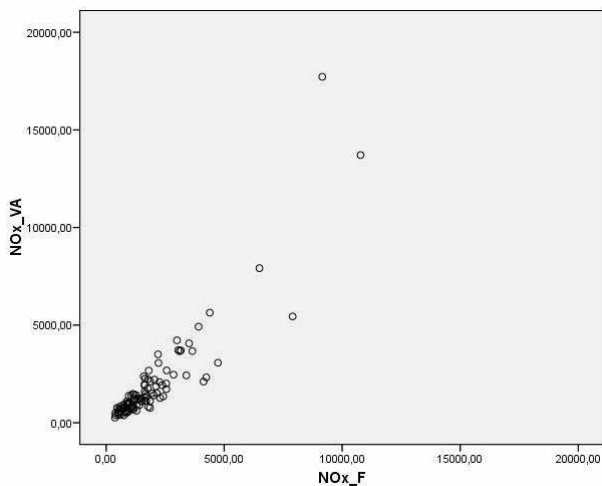


Figura 4B Grafico a dispersione delle emissioni di NOx per le metodologie flotta (NOx_F) e valore aggiunto (NOx_VA) – solo merci..

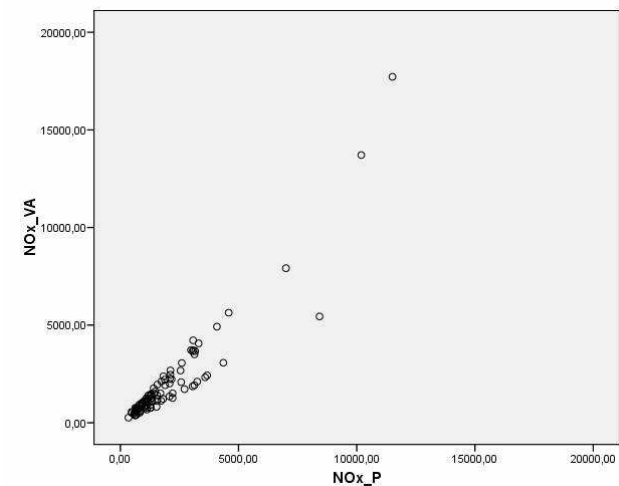


Figura 4C Grafico a dispersione delle emissioni di NOx per le metodologie standard (NOx_P) e valore aggiunto (NOx_VA) – solo merci.

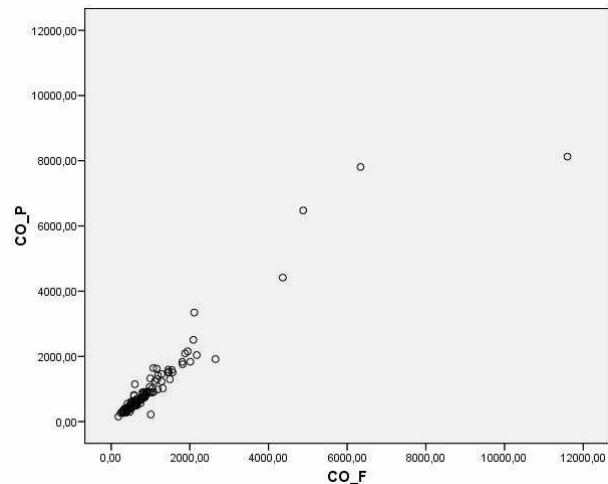


Figura 4D Grafico a dispersione delle emissioni di CO per le metodologie flotta (CO_F) e standard (CO_P) – solo merci.

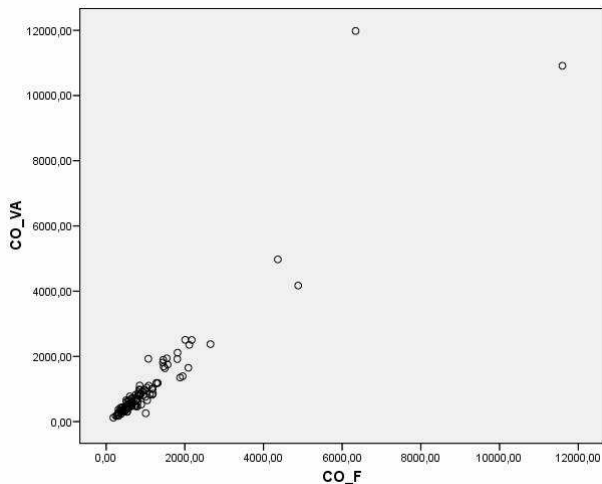


Figura 4E Grafico a dispersione delle emissioni di CO per le metodologie flotta (CO_F) e valore aggiunto (CO_VA) – solo merci.

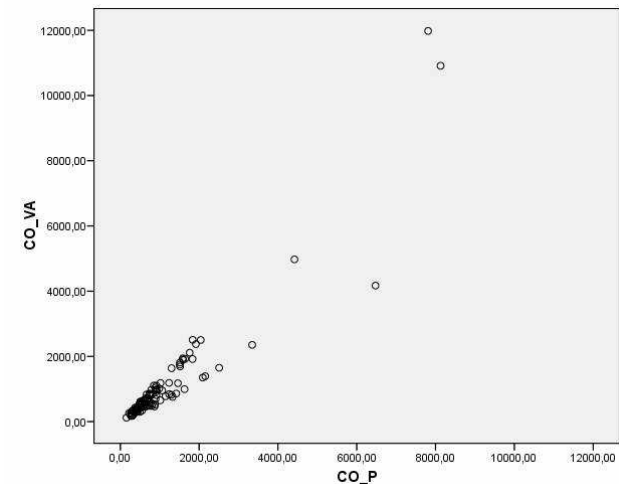


Figura 4F Grafico a dispersione delle emissioni di CO per le metodologie standard (CO_P) e valore aggiunto (CO_VA) – solo merci.

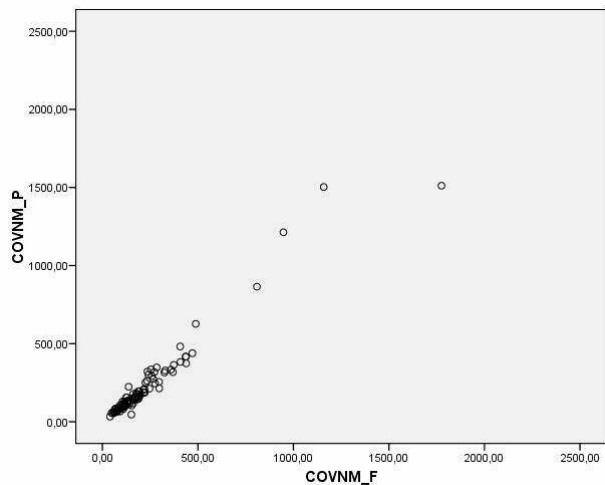


Figura 4G Grafico a dispersione delle emissioni di COVNM per le metodologie flotta (COVNM_F) e standard (COVNM_P) – solo merci.

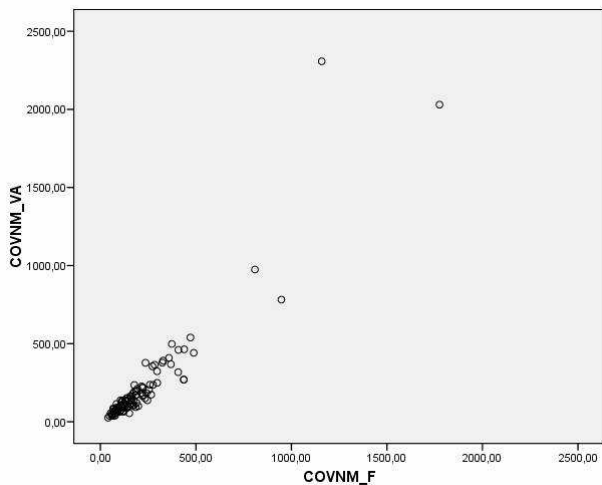


Figura 4H Grafico a dispersione delle emissioni di COVNM per le metodologie flotta (COVNM_F) e valore aggiunto (COVNM_VA) – solo merci.

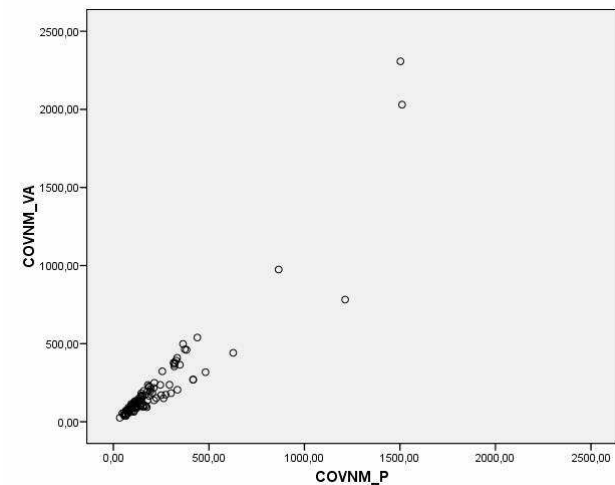


Figura 4I Grafico a dispersione delle emissioni di COVNM per le metodologie standard (COVNM_P) e valore aggiunto (COVNM_VA) – solo merci.

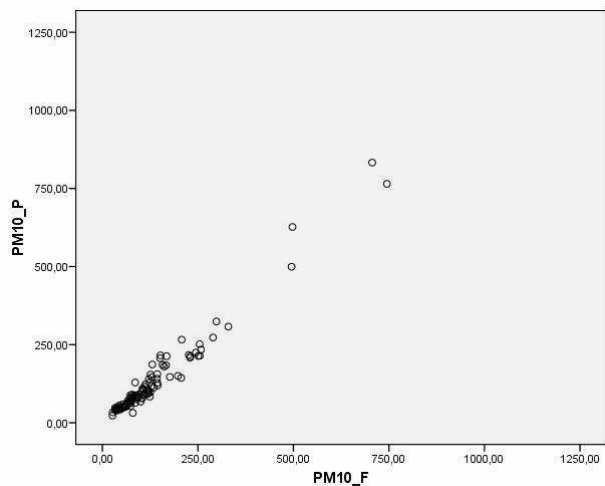


Figura 4L Grafico a dispersione delle emissioni di PM₁₀ per le metodologie flotta (PM10_F) e standard (PM10_P) – solo merci.

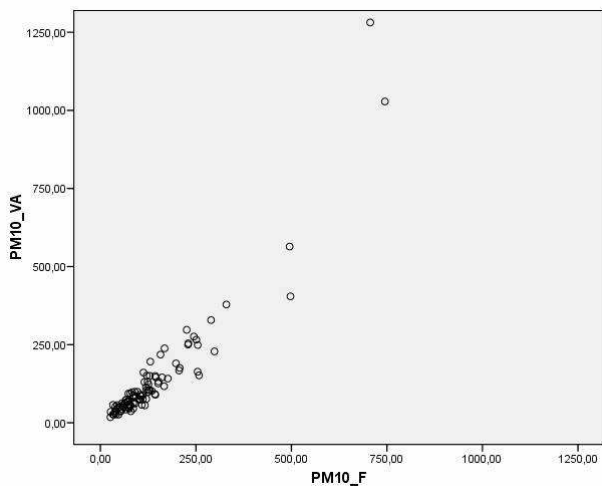


Figura 4M Grafico a dispersione delle emissioni di PM₁₀ per le metodologie flotta (PM10_F) e valore aggiunto (PM10_VA) – solo merci.

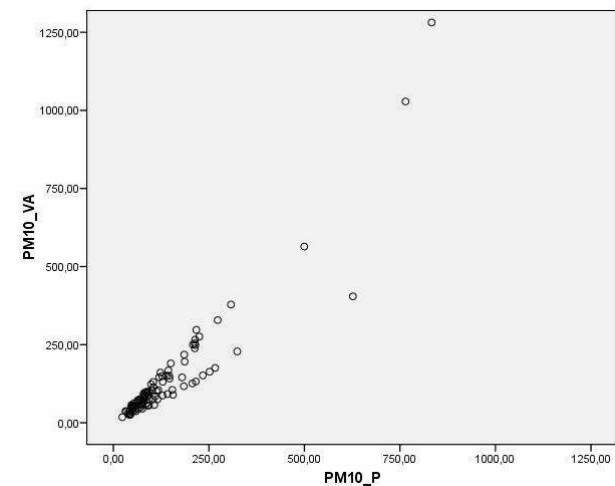


Figura 4N Grafico a dispersione delle emissioni di PM₁₀ per le metodologie standard (PM10_P) e valore aggiunto (PM10_VA) – solo merci.

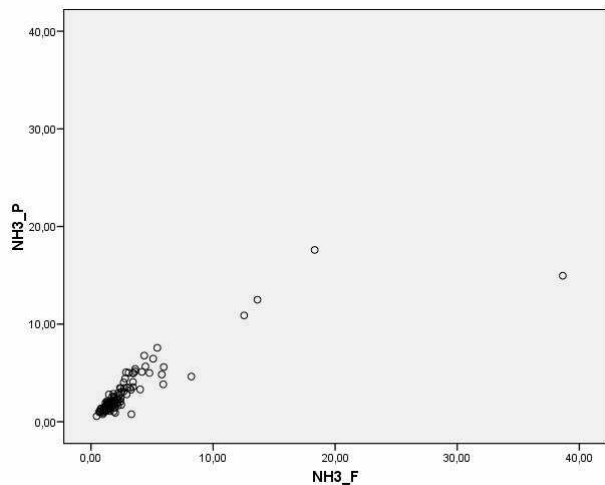


Figura 4O Grafico a dispersione delle emissioni di NH₃ per le metodologie flotta (NH3_F) e standard (NH3_P) – solo merci

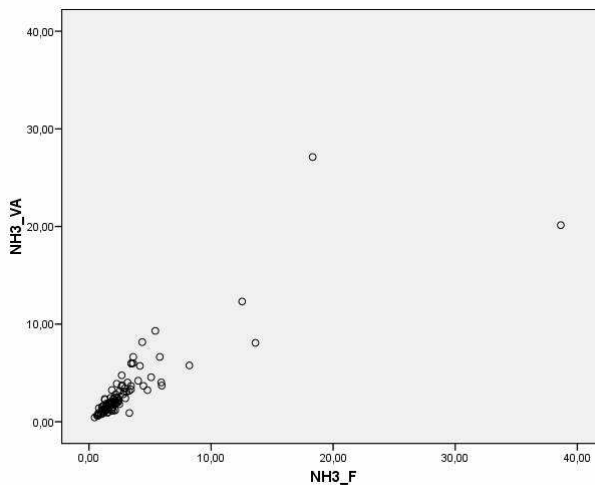


Figura 4P Grafico a dispersione delle emissioni di NH₃ per le metodologie flotta (NH3_F) e valore aggiunto (NH3_VA) – solo merci.

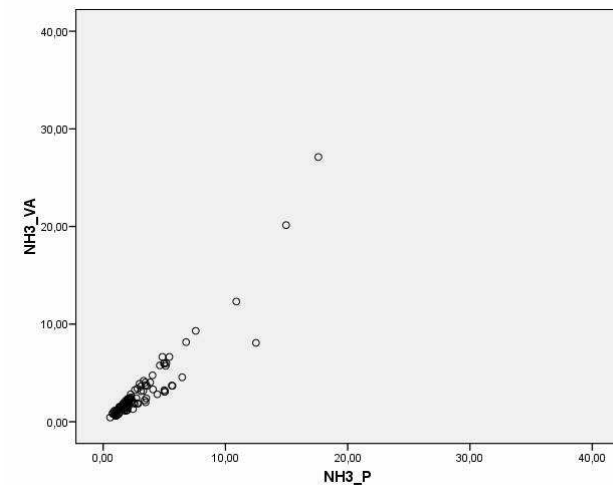


Figura 4Q Grafico a dispersione delle emissioni di NH₃ per le metodologie standard (NH3_P) e valore aggiunto (NH3_VA) – solo merci.