Politecnico di Milano

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Analisi dei fattori di emissione di CO_2 da traffico stradale

Relatore: Prof. Stefano CASERINI

Tesi di Laurea di:

Anna Ciccarello matr. 739530

Anno accademico 2010 - 2011

Indice

Indice delle figure.....5

Indice delle tabelle.....10

Abstract.....14

Sommario e conclusioni.....15

1. Introduzione e normativa.....20
   1.1 La strategia Europea per la riduzione della CO_2 dai veicoli.....22
      1.1.1 Autovetture..... 22
      1.1.2 Veicoli commerciali leggeri.....23
      1.1.3 Veicoli pesanti.....24
      1.1.4 Motocicli e ciclomotori.....24
   1.2 Incentivi.....24
   1.3 Cicli di guida.....25
   1.4 Stile di guida- EcoDriving.....26
   1.5 Influenza della massa e della cilindrata.....27
   1.6 Biocarburanti.....29
   1.7 Tipologia dei fattori di emissione.....29
   1.8 Normativa Euro.....30
2. Fattori di emissione di CO_2 del parco circolante nazionale.....31
   2.1 Autovetture.....32
   2.2 Veicoli leggeri.....38
   2.3 Veicoli pesanti.....42
   2.4 Ciclomotori.....44
   2.5 Motocicli.....46
3. Proiezione dei fattori di emissione di CO_2 per il parco circolante nazionale.....48
   3.1 Autovetture.....48
   3.2 Veicoli leggeri.....52
   3.3 Veicoli pesanti.....54
   3.4 Motocicli e ciclomotori.....55

3.5 Conclusioni....56
4. Fattori di emissione di CO_2 dei veicoli immatricolati in Lombardia....58
4.1 Validazione dei dati....58
4.1.1 Autovetture....58
4.1.2 Veicoli leggeri....62
4.1.3 Veicoli pesanti....65
4.1.4 Motocicli....68
4.1.5 Conclusioni....70
5. Stima dei fattori di emissione di CO_2 dei veicoli immatricolati in Lombardia....73
5.1 Autovetture....73
5.1.1 Correlazioni statistiche....74
5.2 Veicoli leggeri....77
5.2.1 Correlazioni statistiche....78
6. Proiezione dei fattori di emissione di CO_2 per i veicoli immatricolati in Lombardia....81
6.1 Autovetture....81
6.2 Veicoli leggeri....83
7. Confronto fra i fattori di emissione del parco circolante e dei veicoli immatricolati....85
7.1 Confronto fra i fattori di emissione di CO_2 per il periodo 1997 – 2010....85
7.1.1 Autovetture....85
7.1.2 Veicoli leggeri....87
7.2 Confronto fra i fattori di emissione di CO_2 per il periodo 2011 – 2020....88
7.2.1 Autovetture....88
7.2.2 Veicoli leggeri....90
7.3 Variazioni delle emissioni nazionali da traffico autoveicolare nel 2015 e 2020....91
8. Confronto fra i fattori di emissione INEMAR e quelli stimati con i dati ISPRA....93
8.1 INEMAR Lombardia....93
8.2 Confronto fra i fattori di emissione INEMAR e ISPRA....93
8.2.1 Autovetture....94
8.2.2 Veicoli leggeri....96

Bibliografia....98
Sitografia....100

Indice delle figure

Figura I. Fattori di emissione di CO_2 normalizzati per il periodo 1999 - 2020.....17

Figura II. Andamento della varione del fattore di emissione di CO_2, della massa e della cilindrata per le autovetture per il periodo 1997 - 2010.....17

Figura III. Andamento della varione del fattore di emissione di CO_2, della massa e della cilindrata per i veicoli leggeri per il periodo 1999 - 2010.....18

Figura IV. Confronto fra gli andamenti nel periodo 1990 - 2020 del parco circolante e dei veicoli immatricolati.....19

Figura 1. 1 Emissioni di CO_2 dalle autovetture nuove per associazione di costruttori. (fonte CE, 2010).. 21

Figura 1. 2: andamento della massa delle automobili nell'UE27 divisa per tipo di combustibile.. 27

Figura 1. 3 Andamento della cilindrata per le automobili nuove nell'UE27 in base al tipo di combustibile. ..... .28

Figura 2. 1 Andamento dei fattori di emissioni medi delle autovetture per il periodo 1990-2009..... 33

Figura 2. 2 Andamento della variazione percentuale annuale dei fattori di emissione del totale delle autovetture per il periodo 1990-2009. 33

Figura 2. 3 Andamento dei fattori di emissione medi delle autovetture a benzina per il periodo 1990-2009..... 34

Figura 2. 4 Andamento dei fattori di emissioni medi delle autovetture diesel per il periodo 1990-2009.35

Figura 2.5 Andamento dei fattori di emissioni medi delle autovetture gpl e metano per il periodo 1990-2009..... 36

Figura 2.6 Andamento dei fattori di emissioni medi della somma delle autovetture benzina e diesel per il periodo 1990-2009..... 38

Figura 2. 7 Andamento dei fattori di emissioni medi dei veicoli leggeri con alimentazione benzina per il periodo 1990-2009..... 39

Figura 2. 8 Andamento dei fattori di emissioni medi dei veicoli leggeri con alimentazione diesel per il periodo 1990-2009. 40

Figura 2. 9 Andamento dei fattori di emissioni medi dei veicoli leggeri per il periodo 1999-2009. 41

Figura 2. 10 Andamento della variazione percentuale annuale dei fattori di emissione della CO_2 dei veicoli leggeri per il periodo 1990-2009. 42

Figura 2. 11 Andamento dei fattori di emissioni medi di CO2 dei veicoli pesanti per il periodo 1990-2009. 43

Figura 2. 12 Andamento della variazione percentuale annuale dei fattori di emissione dei veicoli pesanti per il periodo 1990-2009. 43

Figura 2. 13 Andamento dei fattori di emissioni medi di CO_2 dei ciclomotori per il periodo 1990-2009.. 44

Figura 2. 14 Andamento dei fattori di emissione dei ciclomotori per il periodo 1996-2009. 45

Figura 2. 15 Andamento della variazione percentuale annuale dei fattori di emissione dei ciclomotori per il periodo 1996-2009. 45

Figura 2. 16 Andamento dei fattori di emissione medi dei motocicli per il periodo 1990-2009. 46

Figura 2. 17 Andamento della variazione percentuale annuale dei fattori di emissione dei motocicli per il periodo 1990-2009. 47

Figura 2. 18 Andamento complessivo del fattore di emissione della CO_2 per tutte le categorie veicolari.47

Figura 3. 1 Proiezione dei fattori di emissione di CO_2 per il totale delle autovetture benzina e diesel per il periodo 1990- 2020. 48

Figura 3. 2 Proiezione dei fattori di emissione di CO_2 per il totale delle autovetture benzina e diesel per il periodo 2004-2020. 49

Figura 3. 3 Proiezione dei fattori di emissione di CO_2 per il periodo 1990- 2020 per le autovetture a benzina. 49

Figura 3. 4 Proiezione dei fattori di emissione di CO_2 per il periodo 2004- 2020 per le autovetture a benzina. 50

Figura 3. 5 Proiezione dei fattori di emissione di CO_2 per il periodo 1999- 2020 per le autovetture diesel. 50

Figura 3. 6 Proiezione dei fattori di emissione di CO_2 per il periodo 2004- 2020 per le autovetture diesel. 51

Figura 3. 7 Proiezione del fattore di emissione per i veicoli leggeri dal 1990 al 2020. 52

Figura 3. 8 Proiezione del fattore di emissione della CO_2 per i veicoli leggeri dal 2004 al 2020. 53

Figura 3. 9 Proiezione del fattore di emissione della CO_2 per i veicoli pesanti dal 1990 al 2020. 54

Figura 3.10 Proiezione del fattore di emissione della CO_2 per i ciclomotori dal 1996 al 2020.....55

Figura 3.11 Proiezione del fattore di emissione della CO_2 per i ciclomotori dal 1990 al 2020.....56

Figura 3.12 Andamento del fattore di emissione della CO_2 per il periodo 2010-2020 per tutte le categorie veicolari prese in considerazione. 57

Figura 4. 1 Andamento della massa media delle autovetture nel periodo 1997-2010. 71

Figura 4. 2 Andamento della cilindrata media delle autovetture nel periodo 1997-2010. 71

Figura 4. 3 Andamento della massa media dei veicoli leggeri nel periodo 1999-2010..... 72

Figura 4. 4 Andamento della cilindrata media dei veicoli leggeri nel periodo 1999-2010. 72

Figura 5. 1 Andamento del fattore di emissione della CO_2 dal totale delle autovetture immatricolate dal 1997 al 2010 in Lombardia. 73

Figura 5. 2 Correlazione fra massa media e fattore di emissione della CO_2 per le autovetture nel periodo 1997-2010. 74

Figura 5. 3 Correlazione fra cilindrata media e fattore di emissione della CO_2 per le autovetture nel periodo 1997-2010. 74

Figura 5. 4 Correlazione fra massa media e fattore di emissione medio delle autovetture per il periodo 2007-2010. 76

Figura 5. 5 Correlazione fra cilindrata media e fattore di emissione medio delle autovetture per il periodo 2007-2010. 76

Figura 5. 6 Andamento del fattore di emissione della CO_2 dei veicoli leggeri immatricolati dal 1999 al 2010 in Lombardia. 77

Figura 5. 7 Correlazione fra massa media e fattore di emissione della CO_2 per i veicoli leggeri nel periodo 1999-2010. 78

Figura 5. 8 Correlazione fra cilindrata media e fattore di emissione della CO_2 per i veicoli leggeri nel periodo 1999-2010. 79

Figura 5. 9 Correlazione fra massa media e fattore di emissione medio della CO_2 per i veicoli leggeri nel periodo 2007-2010. 79

Figura 5. 10 Correlazione fra cilindrata media e fattore di emissione medio della CO_2 per i veicoli leggeri nel periodo 2007-2010. 80

Figura 6.1 Proiezione del fattore di emissione della CO_2 per il totale delle autovetture immatricolate dal 1997 al 2020 in Lombardia. 81

Figura 6. 2 Proiezione del fattore di emissione della CO_2 per il totale delle autovetture immatricolate dal 2011 al 2020 in Lombardia a partire dal 2006. 82

Figura 6.3 Proiezione del fattore di emissione della CO_2 per il totale dei veicoli leggeri per il periodo 1999-2020. 83

Figura 7. 1 Confronto fra i fattori di emissione della CO_2 del parco circolante e del parco immatricolato delle autovetture totali per il periodo 1997-2010. 85

Figura 7. 2 Correlazione fra fattori di emissione della CO_2 per le autovetture del parco circolante e dei veicoli immatricolati per il periodo 1997-2010. 86

Figura 7. 3 Confronto fra i fattori di emissione della CO_2 del parco circolante e dei veicoli leggeri immatricolati totali per il periodo 1999-2010. 87

Figura 7. 4 Correlazione fra fattori di emissione della CO_2 del parco circolante e dei veicoli leggeri immatricolati per il periodo 1997-2010. 88

Figura 7. 5 Confronto fra i fattori di emissione del parco circolante e dei veicoli immatricolati con proiezione con proiezione dal 1997 e dal 2006 per il periodo 2011-2020..... 89

Figura 7. 6 Confronto fra la proiezione dei fattori di emissione di CO_2 del parco circolante e dei veicoli leggeri immatricolati per il periodo 2011-2020. 90

Figura 8.1 Andamento dei fattori di emissione medi di CO_2 INEMAR e ISPRA per le autovetture.....94

Figura 8.2 Andamento dei fattori di emissione medi di CO_2 INEMAR e ISPRA per i veicoli leggeri.....96

Indice delle tabelle

Tabella I Fattori di emissione del parco circolante e dei veicoli immatricolati 16

Tabella 1.1 Emissioni annuali di CO_2 dalle autovetture nuove per associazione di costruttori e variazione percentuale annua. (fonte CE, 2010). 21

Tabella 1. 2: massa media (kg) delle nuove automobili nell'UE27 divisa per tipo di combustibile. Fonte EEA..... 27

Tabella 1. 3 Cilindrata media (cm^3) delle nuove automobili immatricolate nell'UE27 in base al tipo di carburante utilizzato. 28

Tabella 1. 4 Normativa Euro e decreto normativo corrispondente. 30

Tabella 2. 1 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annuale per le autovetture. 32

Tabella 2. 2 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per le autovetture a benzina. 34

Tabella 2. 3 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per le autovetture diesel. 35

Tabella 2.4 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per le autovetture gpl e metano..... 36

Tabella 2.5 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua perla somma delle autovetture benzina e diesel. 37

Tabella 2. 6 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per i veicoli leggeri con alimentazione a benzina. 39

Tabella 2. 7 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per i veicoli leggeri con alimentazione diesel. 40

Tabella 2. 8 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per i veicoli leggeri. 41

Tabella 2. 9 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per i veicoli pesanti. 42

Tabella 2. 10 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per i ciclomotori. 44

Tabella 2. 11 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per i motocicli. 46

Tabella 3. 1 Andamento dei valori del FE di CO_2 per il periodo 2010-2020 in Italia del parco auto circolante e differenza in gCO_2/km fra il caso A e B 51

Tabella 3. 2 Proiezione del FE di CO_2 per il periodo 2010-2020 in Italia del parco dei veicoli leggeri circolante. 53

Tabella 3. 3 Andamento dei valori del FE di CO_2 per il periodo 2010-2020 in Italia del parco circolante dei veicoli pesanti. 54

Tabella 3. 4 Andamento dei valori del FE di CO_2 per il periodo 2010-2020 in Italia del parco circolante dei ciclomotori. 55

Tabella 3. 5 Andamento dei valori del FE di CO_2 per il periodo 2010-2020 in Italia del parco circolante dei motocicli. 56

Tabella 3. 6 Fattori di emissione degli anni 2009 e 2020, differenza in gCO_2/km e differenza percentuale. 57

Tabella 4. 1 Numero di autovetture in base alla cilindrata e al fattore di emissione della CO_2. 59

Tabella 4. 2 Valori percentuali del numero di autovetture rispetto al totale. 61

Tabella 4. 3 Riassunto delle percentuali tenute in considerazione e somma percentuale totale. 61

Tabella 4. 4 Numero di autovetture considerate valide nel database. 61

Tabella 4. 5 Numero di veicoli leggeri in base alla cilindrata e al fattore di emissione di CO_2. 63

Tabella 4. 6 Valori percentuali del numero di veicoli leggeri rispetto al totale. 64

Tabella 4. 7 Riassunto delle percentuali tenute in considerazione e somma percentuale totale. 65

Tabella 4. 8 Numero dei veicoli leggeri considerati validi nel database. 65

Tabella 4. 9 Numero di veicoli pesanti in base alla cilindrata e al fattore di emissione di CO_2. 66

Tabella 4. 10 Valori percentuali del numero di veicoli pesanti rispetto al totale. 67

Tabella 4. 11 Percentuale e numero di veicoli pesanti con fattore di emissione pari a 0 gCO_2/km. 68

Tabella 4. 12 Numero di motocicli in base alla cilindrata e al fattore di emissione di CO_2. 68

Tabella 4. 13 Valori percentuali del numero di motocicli rispetto al totale. 69

Tabella 4. 14 Tabella riassuntiva della percentuale di motocicli considerati dati validi. 70

Tabella 4. 15 Tabella riassuntiva del numero di motocicli considerati dati validi. 70

Tabella 4. 16 Tabella riassuntiva dei dati elaborati. 70

Tabella 5. 1 Fattore di emissione della CO_2 per le autovetture immatricolate dal 1997 al 2010 in Lombardia e variazione percentuale annua. 74

Tabella 5. 2 Fattore di emissione della CO_2 per i veicoli leggeri immatricolati dal 1999 al 2010 in Lombardia e variazione percentuale annua. 77

Tabella 6. 1 Andamento del fattore di emissione della CO_2 per il totale delle autovetture immatricolate per il periodo 2011-2020. 82

Tabella 6. 2 Andamento del fattore di emissione della CO_2 per i veicoli leggeri immatricolati per il periodo 2011-2020. 83

Tabella 7. 1 Valori del fattore di emissione della CO_2 per il periodo 1997-2010 del parco circolante e del parco immatricolato e loro differenza. 86

Tabella 7. 2 Valori del fattore di emissione della CO_2 per il periodo 1999-2010 per il parco circolante e dei veicoli immatricolati e loro differenza. 87

Tabella 7. 3 Valori del fattore di emissione della CO_2 per il periodo 2011-2020 del parco circolante, del parco immatricolato nel caso A e B e rispettive differenze rispetto al parco circolante. 89

Tabella 7. 4 Valori del fattore di emissione della CO_2 per il periodo 2011-2020 del parco circolante, del parco immatricolato e loro differenza. 90

Tabella 7.5 FE di CO_2 dei veicoli immatricolati per gli anni 2015 e 2020, FE per il parco circolante e loro differenza.....91

Tabella 8.1 Fattori di emissione medi per i veicoli stradali (Fonte INEMAR).....93

Tabella 8.2 Fattori di emissione di CO_2 INEMAR e ISPRA per gli anni 2003, 2005, 2007, 2008 per le autovetture.....94

Tabella 8.3 Confronto fra la cilindrata media nazionale e quella della regione Lombardia per le autovetture (Fonte ACI).....95

Tabella 8.4 Differenza fra cilindrata media in Italia e Lombardia e differenza del fattore di emissione corrispondente.....95

Tabella 8.5 Fattori di emissione di CO_2 INEMAR e ISPRA per gli anni 2003, 2005, 2007, 2008 per i veicoli leggeri.....96

Tabella 8.6 Confronto fra la massa media nazionale e quella della regione Lombardia per i veicoli leggeri (Fonte ACI).....97

ABSTRACT

Oggetto della presente tesi di laurea è l'analisi dell'andamento dei fattori di emissione di CO_2 dei veicoli circolanti in Italia nel periodo 1990 - 2009 e la proiezione nel periodo 2010 - 2020.

I fattori di emissione reali del parco circolante sono stati calcolati in base ai dati delle emissioni del parco circolante italiano, stimate da ISPRA, e ai dati ACI della consistenza del parco veicolare in Italia. L'analisi ha mostrato come il valore medio del fattore di emissione delle autovetture è diminuito di circa il 28% dal 2009 al 2020, con riduzioni anche per veicoli leggeri, pesanti e i motocicli.

Inoltre, sulla base dei dati disponibili per la Lombardia dei veicoli immatricolati e paganti la tassa di circolazione, è stato determinato l'andamento dei fattori di emissione nel periodo 1997 - 2010 per le autovetture, e 1999 - 2010 per i veicoli leggeri, e sulla base dei trend registrati è stata determinata la proiezione per il periodo 2011 - 2020. Sono state considerate solo autovetture e veicoli leggeri, in quanto solo per queste due categorie, soggette ai limiti imposti dalla normativa europea, sono disponibili un sufficientemente numero di dati. La proiezione del valore medio di emissione di CO_2 per le autovetture immatricolate in Lombardia è stata valutata in due casi con diverse assunzioni metodologiche: nel primo si è stimata una variazione del 17% nel periodo 2011 - 2020, nel secondo caso si è riscontrata una variazione del 29% sempre per il periodo 2011 – 2020 con valori dei fattori di emissione minori e molto vicino ai limiti imposti dalla normativa europea per gli anni 2015 e 2020.

SOMMARIO E CONCLUSIONI

Dal 1995 la Commissione Europea ha avviato una strategia comunitaria per la riduzione delle emissioni di CO_2 dal settore dei trasporti, una fonte significativa di emissioni di CO_2 a scala europea. Le ultime Direttive hanno istituito limiti ai fattori di emissione di CO_2 dei nuovi veicoli immatricolati, per il 2015 (120 gCO_2/km) e per il 2020 (95 gCO_2/km) per quanto riguarda le autovetture, e per il 2017 (175 gCO2/km) e 2020 (147 gCO2/km) per quanto riguarda i veicoli leggeri.

Obiettivo del presente lavoro è la stima dei fattori di emissione di CO_2 del parco circolante e dei veicoli immatricolati nel periodo 1990 - 2009, e la proiezione degli stessi fattori di emissione per il periodo 2010 - 2020.

A questo scopo sono stati stimati i fattori di emissione di CO_2 del parco circolante italiano in base ai dati delle emissioni del database dell'ISPRA, e i fattori di emissione di CO_2 per le autovetture e i veicoli leggeri immatricolati in base ai dati disponibili per la Regione Lombardia dei veicoli paganti la tassa di circolazione.

Sulla base dei trend dei fattori di emissione medi degli ultimi anni, sono state effettuate le proiezioni dei fattori di emissione medi di diverse tipologie di veicoli fino al 2020. Per i veicoli leggeri circolanti la proiezione del fattore di emissione ha considerato due casi: nel primo la proiezione si è basata sulla tendenza complessiva dal 1990 al 2009, e nel secondo caso sono stati considerati i dati successivi al 2003, anno in cui si è registrata una chiara variazione nell'andamento del fattore di emissione. Entrambi i casi hanno fornito risultati simili del coefficiente di correlazione che risulta essere superiore a 0,8.

Analogamente, per la proiezione dei fattori di emissione medi delle nuove vetture immatricolate sono stati considerati due casi.

Tutti i valori del fattore di emissione medi di CO_2 per il periodo 1990 - 2020 sono riportati nella tabella I.

	FE parco circolante [gCO_2/km]			FE veicoli immatricolati [gCO_2/km]		
	autovetture	**veicoli leggeri, caso A**	**veicoli leggeri, caso B**	**autovetture, caso A**	**autovetture, caso B**	**veicoli leggeri**
1990	183	280		-		-
1991	182	280		-		-
1992	181	277		-		-
1993	179	273		-		-
1994	178	267		-		-
1995	176	264		-		-
1996	177	258		-		-
1997	176	258		172		-
1998	174	256		168		-
1999	174	256		166		259
2000	173	254		162		238
2001	173	252		159		225
2002	173	250		157		222
2003	174	251		153		206
2004	174	259		151		208
2005	172	258		151		181
2006	170	256		151		184
2007	168	255		147		193
2008	165	249		145		193
2009	161	245		139		194
2010	160	244		135		188
2011	*157*	*243*	*240*	*135*	*131*	*181*
2012	*154*	*243*	*236*	*133*	*127*	*178*
2013	*151*	*243*	*233*	*131*	*122*	*176*
2014	*148*	*242*	*230*	*128*	*119*	*174*
2015	*146*	*242*	*227*	*126*	*115*	*173*
2016	*143*	*241*	*223*	*123*	*110*	*171*
2017	*140*	*240*	*220*	*120*	*106*	*169*
2018	*138*	*239*	*217*	*117*	*102*	*168*
2019	*135*	*238*	*214*	*115*	*98*	*166*
2020	*132*	*237*	*210*	*112*	*94*	*165*

Tabella I Fattori di emissione del parco circolante e dei veicoli immatricolati.

L'andamento dei fattori di emissione delle diverse tipologie veicolari, normalizzati rispetto ai rispettivi valori nell'anno 1999, è mostrato nella seguente figura I.

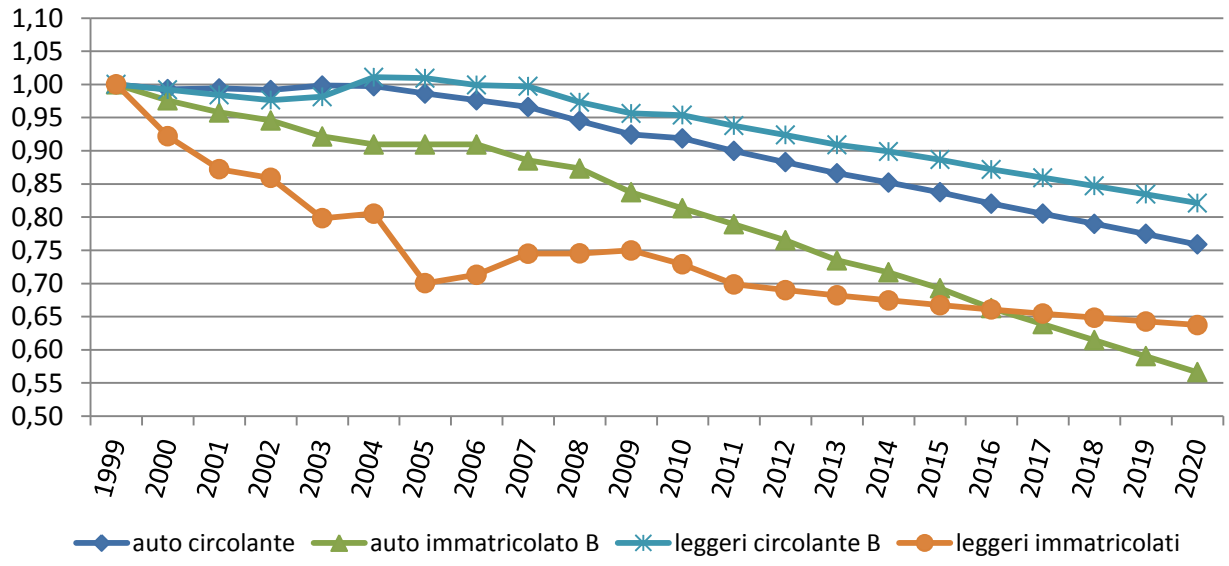

Figura I Fattori di emissione di CO_2 normalizzati per il periodo 1999 – 2020.

In figura II, riguardante le autovetture nuove immatricolate, e in figura III, riguardante i veicoli leggeri immatricolati, è mostrata la variazione del fattore di emissione di CO_2 della massa media e della cilindrata media nel periodo 1997 - 2010. Si nota che a un aumento negli anni della massa media non corrisponde un aumento della cilindrata media, ma nonostante ciò l'andamento dei fattori di emissione della CO_2 è decrescente, segno del miglioramento delle tecnologie motoristiche.

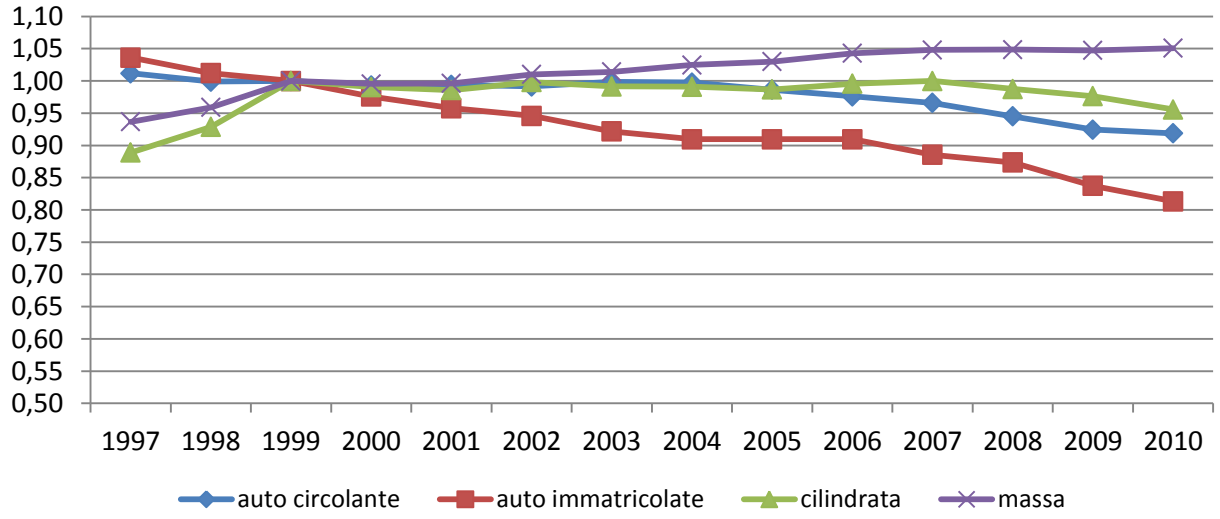

Figura II Andamento della variazione del fattore di emissione di CO_2, della massa e della cilindrata per le autovetture per il periodo 1997 – 2010.

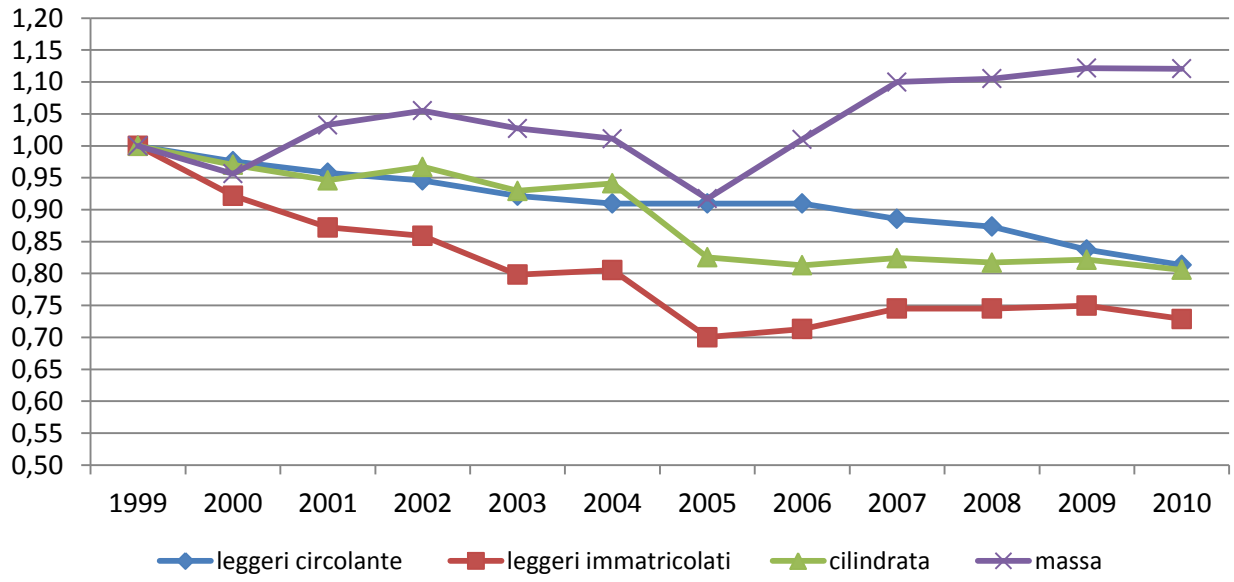

Figura III Andamento della variazione del fattore di emissione di CO_2, della massa e della cilindrata per i veicoli leggeri per il periodo 1999 – 2010.

Dalla figura IV riguardante il confronto fra i fattori di emissione di CO_2 del parco circolante e dei veicoli immatricolati, si nota come, normalizzando i fattori di emissione rispetto al 1999, si abbia una variazione maggiore per i veicoli immatricolati rispetto al parco circolante. Questo si verifica perché il parco circolante comprende anche vecchie immatricolazioni di veicoli che percorrono pochi chilometri ma hanno alte emissioni e bilanciano le minori emissioni dei nuovi immatricolati. Inoltre la variazione che si ha considerando il caso delle proiezioni a partire dal 2004 (caso B) è maggiore, e nel caso delle autovetture permette il rispetto dei limiti della normativa, sia per il 2015 che per il 2020, di 120 gCO_2/km e 95 gCO_2/km, portando a valori del fattore di emissione di CO_2 pari rispettivamente a 112 gCO_2/km e 94 gCO_2/km, come visto nella tabella I.

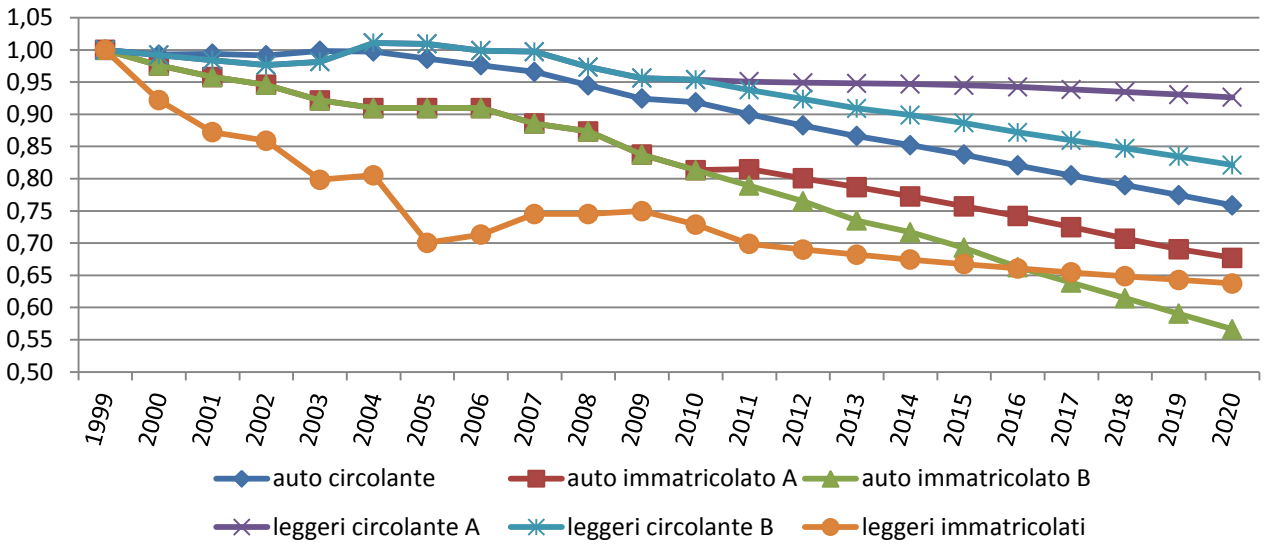

Figura IV Confronto fra gli andamenti nel periodo 1999 – 2020 del parco circolante e dei veicoli immatricolati.

La riduzione attesa al 2020 del fattore di emissione medio del parco circolante delle autovetture e dei veicoli leggeri è in grado di portare, a parità di chilometri percorsi dai veicoli, a riduzioni rispettivamente di 11MtCO_2/anno e 3 Mt CO_2/anno, che corrispondono al -30 % delle emissioni di CO_2 da traffico e al 18 % delle emissioni nazionali di CO_2 stimate da ISPRA.

1. INTRODUZIONE E NORMATIVA

La domanda di trasporto è in forte espansione. Nel periodo 1990 - 2008 la domanda di trasporto passeggeri in Italia è aumentata del 34% (pur segnalando una flessione del 7% nel 2008 rispetto al 2007 dovuta alla crisi economica), mentre per le merci si segnala un incremento del 20,4%.
L'Italia detiene il primato mondiale di auto private pro-capite (1,66 persone per vettura nel 2009) che percorrono circa 13000 km/anno, il 26% in più della media UE (MATTM, 2011).
Quando nel 2007 la Commissione Europea ha adottato la comunicazione riguardante le autovetture e i veicoli leggeri (CE, 2007), nella quale delineava una nuova strategia organica finalizzata alla riduzione del biossido di carbonio da questi veicoli venduti nell'Unione Europea, il settore dei trasporti era il secondo più grande emettitore di gas serra nell'UE 27 e a oggi le cose non sono cambiate.
A fronte della riduzione delle emissioni dovute alle attività di produzione dell'energia elettrica e ai grandi impianti di combustione nel periodo 1990-2009, non si è riscontrata una altrettanto diminuzione delle emissioni dovuto al trasporto su strada, anzi queste sono aumentate del 23% a livello europeo e del 26% in Italia.

Nell'ambito delle strategie emanate per la riduzione delle emissioni di biossido di carbonio, la Commissione ha adottato la prima strategia comunitaria nel 1995 (CE, 1995). I principi su cui si basava erano tre:

- impegni volontari dell'industria automobilistica ad abbattere le emissioni,
- migliore informazione dei consumatori,
- promozione di automobili a maggiore risparmio di carburante attraverso misure fiscali.

Nel 1998 l'associazione europea di costruttori di automobili (ACEA) si era impegnata volontariamente a ridurre le emissioni medie delle nuove automobili a 140 gCO_2/km entro il 2008; nel 1999 l'associazione coreana dei costruttori automobilistici (KAMA) e quella giapponese (JAMA) avevano assunto un impegno analogo, puntando a conseguire l'obiettivo dei 140 gCO_2/km entro il 2009 (figura 1.1). Per riduzione delle emissioni medie si intende che i costruttori dovrebbero garantire che le emissioni specifiche medie di tutte le autovetture nuove di cui sono responsabili, immatricolate nella Comunità, non superino la media degli obiettivi di emissione per tali autovetture (CE, 2007).

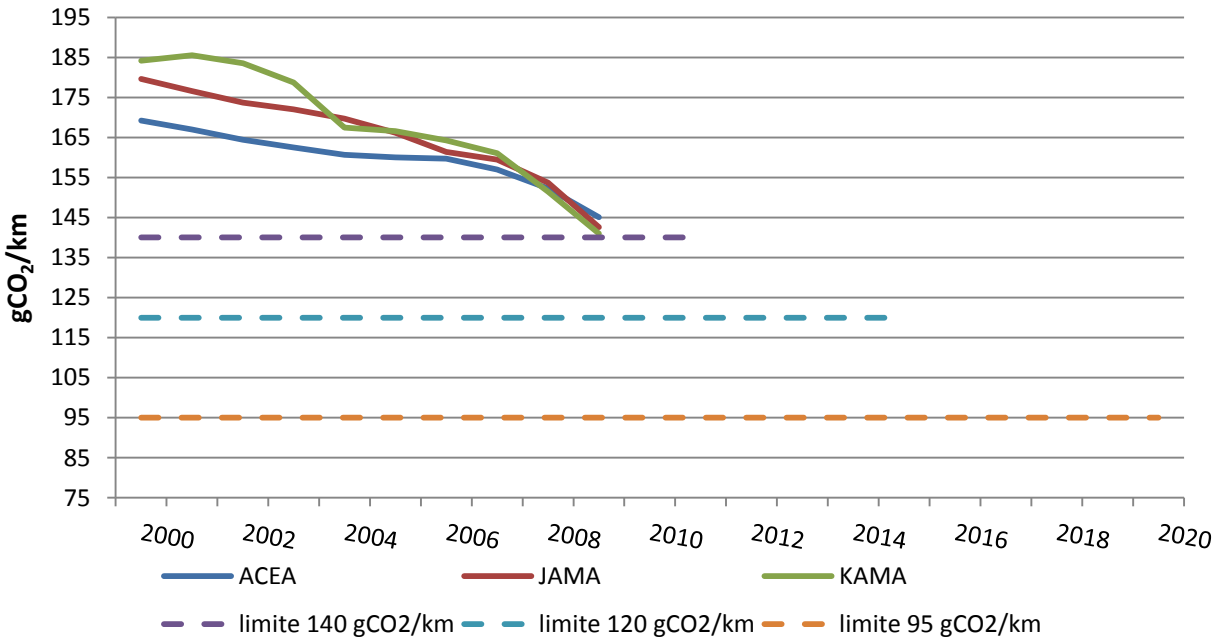

Figura 1. 1 Emissioni di CO_2 dalle autovetture nuove per associazione di costruttori. (fonte CE, 2010).

gCO_2/km	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ACEA	169,2	167,0	164,4	162,5	160,7	160,0	159,7	157,0	**152,3**	145,1
%		-1,3	-1,6	-1,2	-1,1	-0,4	-0,2	-1,7	-3,0	-4,7
JAMA	179,6	176,6	173,7	172,0	169,7	166,2	161,4	159,5	153,7	**142,6**
%		-1,7	-1,6	-1,0	-1,3	-2,1	-2,9	-1,2	-3,6	-7,2
KAMA	184,2	185,5	183,5	178,7	167,5	166,6	164,3	161,1	151,5	**141,0**
%		0,7	-1,1	-2,6	-6,3	-0,5	-1,4	-1,9	-6,0	-6,9

Tabella 1.1 Emissioni annuali di CO_2 dalle autovetture nuove per associazione di costruttori e variazione percentuale annua. (fonte CE, 2010).

Risulta evidente dai dati che l'obiettivo per il periodo 2008 non è stato raggiunto da nessuna associazione, mentre risultati migliori sono stati ottenuti da JAMA e KAMA per il 2009. Le diminuzioni osservate nel 2009 sono in parte dovute alla disponibilità di modelli a minori emissioni e in parte alla crisi economica e finanziaria, che ha modificato il comportamento dei consumatori (CE, 2010) portandoli a scegliere auto di costo e cilindrata inferiore con conseguente riduzione del fattore di emissione di CO_2.

1.1 La strategia Europea per la riduzione della CO_2 dei veicoli

Il 7 febbraio 2007 la Commissione Europea ha adottato la comunicazione " Risultati del riesame della strategia comunitaria per ridurre le emissioni di CO_2 delle autovetture e dei veicoli commerciali leggeri" (CE, 2007), nella quale ha delineato una nuova strategia organica finalizzata alla riduzione della CO_2 dalle autovetture e dai veicoli commerciali leggeri nuovi venduti nell'Unione Europea.

1.1.1 Autovetture

La strategia del 2007 mira a conseguire per le autovetture l'obiettivo comunitario di 120 gCO_2/km entro il 2012, mediante un quadro legislativo che prevede misure orientate all'offerta e comprendente i seguenti elementi:

- realizzazione dell'obiettivo di 130 gCO_2/km media del parco auto nuovo grazie ai miglioramenti apportati alla tecnologia di costruzione dei motori;
- una ulteriore riduzione di 10 gCO_2/km dovrà essere raggiunta tramite misure tecniche complementari (es. pneumatici, carburante,...);
- definizione di requisiti minimi di efficienza per gli impianti di condizionamento dell'aria dei veicoli;
- installazione obbligatoria di sistemi di controllo della pressione degli pneumatici;
- definizione di limiti massimi di resistenza al rotolamento degli pneumatici, applicabili nell'UE per gli pneumatici delle autovetture e dei veicoli commerciali leggeri;
- impiego di indicatori di cambio di marcia che tengano conto della misura in cui i consumatori utilizzano questi dispositivi nelle condizioni reali di guida;
- miglioramento in termini di risparmio di carburante nei veicoli commerciali leggeri (furgoni), con l'obiettivo di raggiungere 175 gCO_2/km entro il 2012 e 160 gCO_2/km entro il 2015;
- incremento dell'uso di biocarburanti, massimizzandone le prestazioni ambientali.

Se un costruttore non consegue l'obiettivo dovrà versare un'indennità per le emissioni in eccesso per ogni anno a partire dal 2012. Tale indennità sarà calcolata moltiplicando il numero di gCO_2/km che il costruttore ha emesso in più rispetto all'obiettivo per il numero di nuove auto immatricolate e per l'indennità delle emissioni in eccesso stabilita per l'anno in questione. Tale indennità sarà pari a 20 euro per le emissioni prodotte nel 2012, a 35 euro per le emissioni

prodotte nel 2013, a 60 euro per le emissioni prodotte nel 2014 e a 95 euro per le emissioni prodotte nel 2015 e in ogni anno successivo.

Il calendario degli obiettivi è stato però modificato; molte delle misure di attuazione previste dalla strategia COM 2007/19 entrano in vigore in date diverse e generalmente successive al 2012. A dicembre del 2008 l'adozione definitiva della legge ha spostato l'obiettivo di 120 gCO_2/km dal 2012 al 2015, definendo anche un ulteriore obiettivo per il 2020 che sposta il limite di emissione a 95 gCO_2/km.

A seguito di alcuni reclami da parte di alcune case automobilistiche che, storicamente, hanno delle masse più alte della media, nell'allegato I riguardante gli obiettivi per le emissioni specifiche di CO_2 (CE, 2007) si parla delle emissioni specifiche di CO_2 consentite per ciascuna autovettura e pari a :

$$FE = 130 + a * (M - M0)$$

dove M è la massa del veicolo, M_0 è pari a 1289 e a è pari a 0,0457.

1.1.2 Veicoli commerciali leggeri

Il 28 ottobre 2009 la Commissione ha adottato la proposta legislativa COM 593 (2009) relativa ai veicoli commerciali leggeri. La proposta è stata largamente ispirata alla normativa sulla riduzione delle emissioni di CO_2 prodotte dalle autovetture e, come questa, prevede due fasi di riduzione delle emissioni.

Il 31 marzo 2011 l'Unione Europea ha introdotto il limite medio di 175 gCO_2/km per i veicoli commerciali leggeri immatricolati nell'UE, limite che sarà introdotto in maniera graduale fra il 2014 e il 2017: nel 2014 il 70% del parco venduto da ogni costruttore dovrà rispettare la normativa, aumentando al 75% nel 2015 e all'80% nel 2016. Dal 2017 sarà richiesta la totale conformità a tutti i costruttori. Sempre per i veicoli commerciali leggeri si cercherà di restringere ulteriormente il limite di emissione a 147 gCO_2/km ma le modalità di raggiungimento saranno definite a gennaio 2013 durante la revisione del regolamento. Per incentivare gli investimenti nelle nuove tecnologie, dal 2014 in avanti i costruttori pagheranno una penale se le flotte non rispetteranno i limiti e la penale dipenderà dallo scostamento rispetto al valore limite dell'emissione. Gli standard sono applicati ai veicoli commerciali leggeri di massa pari o inferiore a 3.5 t ma nel 2014 la commissione proporrà l'introduzione di limiti di emissione anche ai minibus e ai furgoni di massa pari o inferiore a 12 t.

1.1.3 Veicoli pesanti

I veicoli pesanti rappresentano una parte significativa delle emissioni di CO_2 dai trasporti nell'UE. Le stime indicano che questa è la seconda principale fonte di emissioni nel settore dei trasporti, cioè più grande sia del trasporto aereo internazionale che di quello marittimo. La necessità di una strategia per affrontare le emissioni di CO_2 del settore è stata riconosciuta dalla Commissione nella sua strategia 2010 su veicoli puliti ed energia. Come primo passo è stato effettuato uno studio esaminando la struttura del mercato attuale e le opzioni tecnologiche che potrebbero aiutare il controllo delle emissioni di CO_2 dei veicoli pesanti (autobus e autocarri). Lo studio individua inoltre una serie di possibili opzioni politiche (EEA, marzo 2011). Non vi è però ancora nessuna normativa che dia indicazioni riguardo a limiti sull'emissione di CO_2 dai veicoli pesanti.

1.1.4 Motocicli e ciclomotori

La direttiva europea non prevede a oggi la misurazione delle emissioni di CO_2 per motocicli e ciclomotori e non vi è quindi normativa a riguardo.

1.2 Incentivi

Per favorire il conseguimento degli obiettivi concordati a livello comunitario, e per favorire la ripresa dell'industria automobilistica, il Governo italiano ha varato nelle leggi finanziarie degli anni 2007, 2008 e 2009 misure finalizzate al rinnovo del parco autovetture in Italia, attraverso l'incentivazione all'acquisto di veicoli ecologici e alla demolizione dei veicoli più inquinanti.

La Finanziaria 2007 (Legge n. 296/2006) ha previsto per l'anno 2007 misure per rinnovare il parco delle autovetture, dei motocicli e degli autocarri di massa inferiore alle 3,5 t. Questa legge riguardava i motocicli, le autovetture e gli autoveicoli adibiti a trasporto promiscuo (acquisto con rottamazione, acquisto senza rottamazione, rottamazione senza acquisto) e gli autocarri fino a 3,5 t (acquisto con e senza rottamazione).

La legge Finanziaria 2008 (Decreto Legge n. 248/2007, così come convertito dalla legge n. 31/2008 - pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 51 del 29/02/2008) ha previsto, anche per l'anno 2008, le agevolazioni per l'acquisto dei veicoli ecologici e la demolizione dei veicoli più inquinanti. Questi provvedimenti hanno introdotto come novità anche gli incentivi per l'installazione di impianti gpl o metano, in modo da incrementare il numero di veicoli a più ridotta emissione di CO_2. Questa legge riguardava i motocicli, le autovetture e gli autoveicoli a trasporto promiscuo (acquisto con rottamazione, acquisto senza rottamazione, rottamazione

senza acquisto, installazione di impianti gpl o metano) e gli autocarri fino a 3,5 t (acquisto con e senza rottamazione).

La Finanziaria 2009 (Decreto-Legge 10 febbraio 2009, n. 5 convertito con la Legge di conversione 9 aprile 2009, n. 33, recante misure urgenti a sostegno dei settori industriali in crisi) ha introdotto ulteriori incentivi entrati in vigore dal 7 febbraio 2009. Questa legge riguardava i motocicli, le autovetture e gli autoveicoli a trasporto promiscuo (acquisto con rottamazione, rottamazione senza acquisto, installazione di impianti gpl o metano) e gli autocarri per uso specifico o uso speciale e gli autocaravan Euro 4 ed Euro 5 fino a 3,5 t (acquisto con e senza rottamazione).

Per quanto riguarda il trasporto merci, i D.M. 592 del 04/08/2010 e D.M. 750 del 14/10/2010, emanati dal Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, fissano gli incentivi a favore del trasporto combinato strada-ferro. L'Ecobonus è l'incentivo nazionale rivolto agli autotrasportatori per promuovere il trasporto navale in alternativa alla strada. La legge n. 265 del 2002 ha messo a disposizione degli autotrasportatori con uno stanziamento quindicennale circa 240 milioni di euro. Le modalità di ripartizione e di erogazione dei fondi sono state definite con D.P.R. 11 aprile 2006, n. 205.

1.3 Cicli di guida

Il ciclo di guida standardizzato è realizzato tenendo conto dell'uso del veicolo da parte di un conducente medio europeo. L'impiego di cicli standardizzati consente misure comparabili su veicoli diversi secondo basi scientifiche oggettive, in quanto alcune delle diverse variabili esterne che influiscono sul consumo sono determinate secondo una procedura uniforme e tenute sotto controllo. Altre variabili come condizioni di traffico, pendenza e curvature della strada, livello di carico del veicolo, condizioni ambientali, stile di guida, modifica della resistenza all'avanzamento che deriva dall'utilizzo di portabagagli esterni o di altri dispositivi peggiorativi per l'aerodinamica, non possono essere considerate con una prova standardizzata per il rilievo dei consumi. Inoltre nell'esecuzione del ciclo di prova standardizzato, non sono attivati tutti gli impianti e i dispositivi ausiliari come ad esempio l'impianto di aria condizionata, i sistemi per l'intrattenimento (radio, riproduttori di cd e video), l'ausilio della guida (navigatori), l'impianto di illuminazione come le luci di posizione o gli abbaglianti, ecc..., che nella vita quotidiana vengono utilizzati secondo le esigenze momentanee o secondo i gusti personali degli utenti e influiscono sui consumi.

Pertanto i dati di consumo ed emissione di CO_2 esposti nei libretti, nelle guide o nelle pubblicità non corrispondono ai consumi e alle emissioni verificatesi su strada dall'uso delle autovetture da parte dei singoli automobilisti.

In genere è di norma valutare le emissioni di inquinanti su cicli di guida ottenuti su un banco a rulli ma che danno solitamente risultati falsati rispetto a test su strada che consentono di valutare le emissioni di inquinanti nelle reali condizioni di utilizzo del veicolo e permettono di ottenere risultati più aderenti alla realtà (Alessandrini et al., 2010).

1.4 Stile di guida - EcoDriving

Tra i fattori che determinano l'impatto ambientale di un veicolo, lo stile di guida del conducente è uno dei più rilevanti e le differenze di impatto ambientale tra guidatori a parità di veicolo non sono trascurabili.

Lo stile di guida di un conducente può determinare differenze in termini di consumi di carburante (e quindi di emissioni di CO_2) anche del 40% tra un guidatore calmo e un guidatore aggressivo (Alessandrini et al., 2010). Una delle strade percorribili per ridurre l'impatto ambientale causato dal trasporto stradale è quindi quella di adottare uno stile di guida eco-compatibile cioè che educhi il conducente a un uso "sostenibile" del veicolo. EcoDriving è un nuovo approccio allo stile di guida sviluppato negli anno '90 e che a livello europeo ha portato alla creazione di numerose iniziative, l'ultima delle quali Ecodriven, che si è conclusa nel 2008 e che ha generato una serie di regole per un corretto stile di guida eco-compatibile:

1) cambiare marcia il prima possibile (tra i 2000 e i 2500 RPM, revolutions per minutes);
2) mantenere la velocità il più possibile costante (usando la marcia più alta a disposizione),
3) usare in generale marcie alte e tenere sempre il motore a bassi regimi di rotazione ;
4) anticipare il flusso del traffico mantenendo una certa distanza dal veicolo che precede ed evitare inutili accelerazioni e frenate;
5) decelerare in maniera graduale rilasciando l'acceleratore in tempo e mantenendo la marcia inserita per sfruttare il cut-off del motore.

Numerosi studi hanno dimostrato che adottando questo stile di guida si ottengono riduzioni del consumo del carburante e delle emissioni di CO_2 mediamente fra il 10% e il 15% rispetto a uno stile di guida tradizionale.

Gli interventi sulle modalità di guida sono, tuttavia, provvedimenti che agiscono a valle del problema della CO_2 e presentano comunque notevoli incertezze.

1.5 Influenza della massa e della cilindrata

Le emissioni di CO_2 generalmente incrementano con la massa del veicolo.

Se un veicolo è più pesante, e se vi sono più componenti o accessori, è necessario aumentare la potenza del motore per mantenere la performance del veicolo. Aumentare la potenza del motore vuol dire aumentare i consumi di combustibile e aumentare l'emissione di CO_2 allo scarico. Non solo la massa ma anche il tipo di combustibile influenza l'emissione di CO_2: l'utilizzo della benzina come combustibile, a parità di massa del veicolo, genera un'emissione maggiore di CO_2 rispetto al diesel. Grazie all'avanzamento nella tecnologia sui veicoli e alla migliore efficienza dei combustibili, mediamente le emissioni di CO_2 per chilometro percorso sono diminuite.

La massa media delle automobili nuove immatricolate nell'UE27 nel 2010 è aumentata di 28 kg rispetto al 2009, ma è ancora inferiore di 8 kg rispetto alla massa registrata nel 2008 (tabella 1.2).

		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
tutti i veicoli	**massa media [kg]**	1347	1356	1372	1379	1373	1337	1365
	variazione %	-	0,67	1,18	0,51	-0,44	-2,62	2,09
benzina	**massa media [kg]**	1237	1235	1238	1235	1228	1206	1216
	variazione %	-	-0,16	0,24	-0,24	-0,57	-1,79	0,83
diesel	**massa media [kg]**	1463	1479	1501	1510	1508	1498	1507
	variazione %	-	1,09	1,49	0,60	-0,13	-0,66	0,60
altri combustibili	**massa media [kg]**	1415	1404	1392	1271	1237	1169	1203
	variazione %	-	-0,78	-0,85	-8,69	-2,68	-5,50	2,91

Tabella 1. 2: massa media (kg) delle nuove automobili nell'UE27 divisa per tipo di combustibile. Fonte EEA.

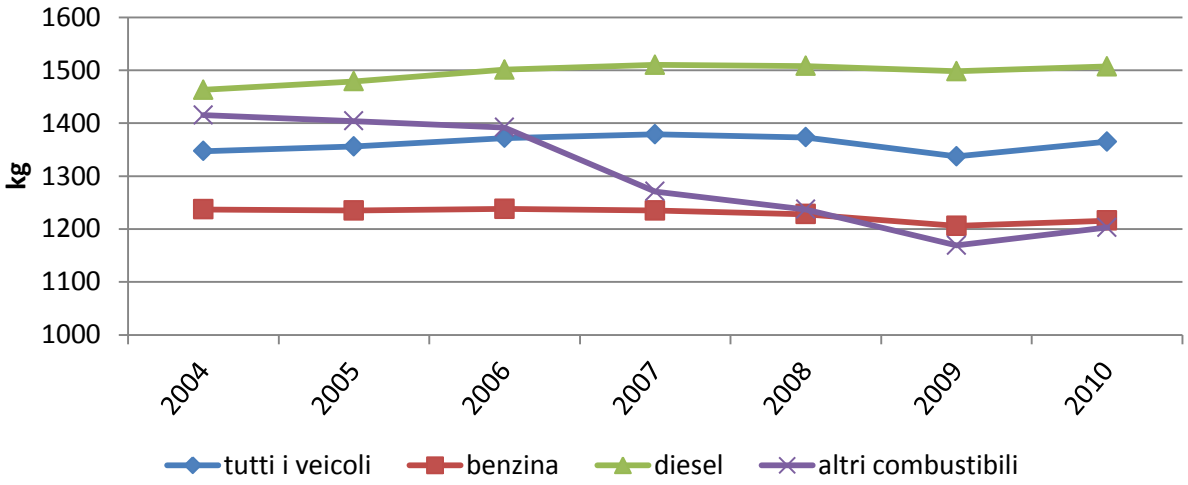

Figura 1. 2: andamento della massa delle automobili nell'UE27 divisa per tipo di combustibile.

C'è stato un leggero incremento anche nella cilindrata del motore rispetto al 2009 (tabella 1.3). La cilindrata delle nuove auto diesel è diminuita di 25 cm^3 nel 2010 rispetto al 2009 (circa l'1,4%) mentre quella della auto a benzina è rimasta quasi costante nel 2010. La differenza tra le nuove auto diesel e benzina è intorno a 352 cm^3 nel 2010, mentre nel 2001 era di 421 cm^3. Per le auto con combustibile alternativo la cilindrata è aumentata nel 2010 rispetto al 2009; questi veicoli stanno registrando la più alta diminuzione rispetto a tale parametro (EEA, 2010).

		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
tutti i veicoli	**cilindrata media [cm^3]**	1714	1731	1743	1730	1726	1724	1729	1703	1620	1633
	variazione %	-	0,99	0,69	-0,75	-0,23	-0,12	0,29	-1,50	-4,87	0,80
benzina	**cilindrata media [cm^3]**	1560	1570	1572	1571	1573	1561	1556	1531	1454	1457
	variazione %	-	0,64	0,13	-0,06	0,13	-0,76	-0,32	-1,61	-5,03	0,21
diesel	**cilindrata media [cm^3]**	1981	1961	1948	1904	1886	1885	1892	1869	1832	1807
	variazione %	-	-1,01	-0,66	-2,26	-0,95	-0,05	0,37	-1,22	-1,98	-1,36
altri combustibili	**cilindrata media [cm^3]**	1602	1672	1628	1581	1561	1562	1424	1387	1328	1349
	variazione %	-	4,37	-2,63	-2,89	-1,27	0,06	-8,83	-2,60	-4,25	1,58

Tabella 1. 3 Cilindrata media (cm^3) delle nuove automobili immatricolate nell'UE27 in base al tipo di carburante utilizzato.

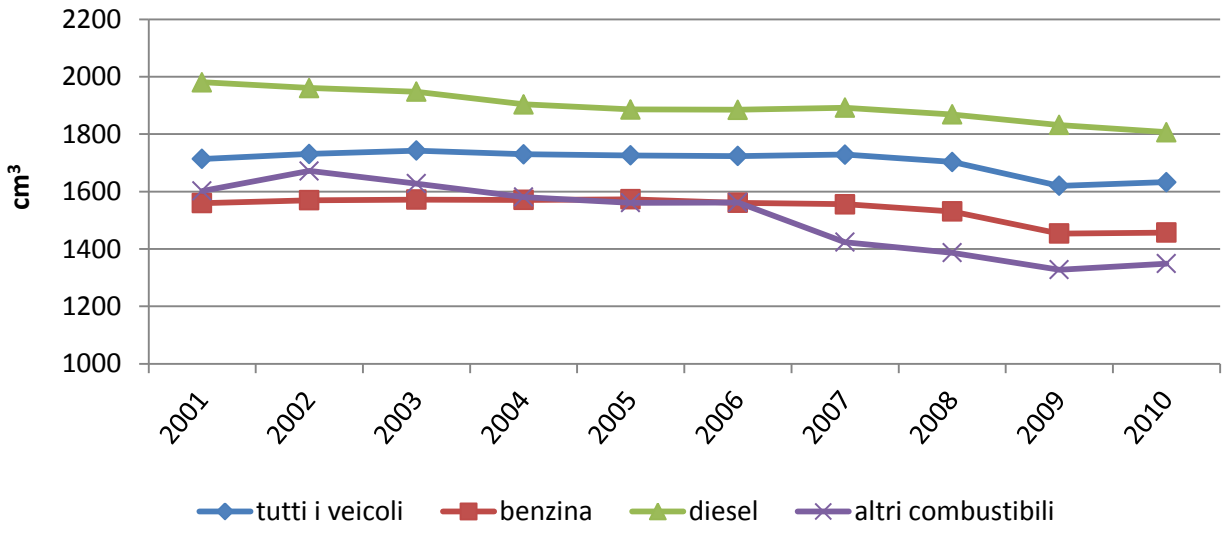

Figura 1. 3 Andamento della cilindrata per le automobili nuove nell'UE27 in base al tipo di combustibile.

1.6 Biocarburanti

L'UE ha emanato negli ultimi anni numerosi atti legislativi riguardanti i biocarburanti.

La direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, ha stabilito obiettivi vincolanti che impongono agli Stati membri di raggiungere entro il 2020 una quota del 10% di energia rinnovabile nel settore dei trasporti. La direttiva 98/70/CE, relativa alla qualità della benzina e del combustibile diesel, ha fissato criteri di sostenibilità per i biocarburanti, fra cui le riduzioni minime delle emissioni di gas a effetto serra rispetto alla benzine e al combustibile diesel, calcolate sulla base del ciclo di vita.

La direttiva 98/70/CE riveduta nel 2009 ha imposto ai fornitori di carburante di ridurre del 6% entro il 2020 l'intensità di emissione di gas a effetto serra dell'energia fornita per i trasporti su strada. In Italia, la legislazione ha fissato una quota minima di biocarburanti su base energetica dell'1% per il 2007 e del 2% per il 2008. La quota minima obbligatoria per il 2009 è stata incrementata al valore del 3%, mentre gli obblighi di miscelazione per gli anni 2010, 2011 e 2012 sono stati fissati rispettivamente al 3,5%, al 4,0% e al 4,5%, sempre su base energetica.

L'utilizzo dei biocarburanti ha un significativo impatto economico sia per gli investimenti necessari sul sistema logistico e distributivo (soprattutto per il bioetanolo) che per il costo più elevato di tali carburanti rispetto a quelli fossili. Appare, pertanto, difficoltoso rispettare questo obbligo attraverso l'uso di percentuali crescenti di biocarburanti di prima generazione (bioetanolo e biodiesel) nelle benzine e nei gasoli, anche in relazione alla posizione ufficiale dell'industria motoristica europea, che rigetta l'ipotesi di sviluppare specifiche di carburanti con percentuali di biocarburanti di prima generazione superiori rispetto alle attuali. Si ipotizza che lo sviluppo massimo entro il 2020 per i biocarburanti, sia quello di ottenere la massima percentuale volumetrica miscelabile con benzina e gasolio (Unione Petrolifera, 2011).

1.7 Tipologia dei fattori di emissione

La normativa definisce i limiti sulle emissioni specifiche medie di CO_2, ovvero la media , per il costruttore, delle emissioni specifiche di CO_2 delle autovetture (e dei veicoli leggeri) nuove immatricolate in un anno.

Nel presente lavoro si parla di fattore di emissione dei veicoli immatricolati, che è quello sopra definito e fa riferimento alla media dei fattori di emissione ci CO_2 che si trovano sui libretti dei veicoli, sulle riviste e sulle pubblicità, ma anche al fattore di emissione del parco circolante che è il fattore di emissione di tutto il parco veicolare considerato, nuove e vecchie immatricolazioni,

che viene stimato tramite i consumi di combustibile e fa quindi riferimento a ciclo di guida e consumi reali.

1.8 Normativa Euro

La normativa Euro concerne solo limiti di emissione di NO_x, CO, HC e PM mentre non dà indicazioni riguardo la CO_2.

E' comunque utile mostrare l'entrata in vigore delle diverse classi Euro e del corrispettivo decreto normativo dei veicoli trattati in questo lavoro (tabella 1.4).

Automobili	Euro 0	< 1993
	Euro 1 - 91/441/EEC	da 01/01/1993 a 31/12/1996
	Euro 2 - 94/12/EC	da 01/01/1997 a 31/12/2000
	Euro 3 - 98/69/EC stage 2000	da 01/01/2001 a 31/12/2004
	Euro 4 - 98/69/EC stage 2005	da 01/01/2005
	Euro 5 -715/2007	da 01/09/2009
	Euro 6-725/2007	da 01/09/2014
Commerciali leggeri	conventional	< 30/06/1993
	Euro 1 - 93/59/EEC	da 01/01/1994 a 31/12/1998
	Euro 2 - 96/69/EC	da 01/01/1998 a 31/12/2000
	Euro 3 - 98/69/EC stage 2000	da 01/01/2001 a 31/12/2004
	Euro 4 - 98/69/EC stage 2005	da 01/01/2005
	Euro 5	da 01/01/2010
Commerciali pesanti	conventional	< 30/06/1993
	Euro 1 - 91/542/EEC stage I	da 01/01/1993 a 31/12/1996
	Euro 2 - 91/542/EEC stage II	da 01/01/1996 a 31/12/2000
	Euro 3 - 1999/96/EC	da 01/01/2001 a 31/12/2004
	Euro 4 - COM (1998) 776	da 01/01/2005 a 01/01/2008
	Euro 5 - COM (1998) 777	da 01/01/2008
Ciclomotori	conventional	< 31/12/2008
	Euro 1 - 97/24/EC stage I	da 01/07/1999 a 31/12/2001
	Euro 2 - 97/24/EC stage II	da 01/06/2002
	Euro 3	non ancora definito
Motocicli	conventional	< 31/12/2008
	Euro 1 - 97/24/EC	da 01/07/1999 a 31/06/2002
	Euro 2	da 01/06/2003 a 31/12/2005
	Euro 3	da 01/01/2006

Tabella 1. 4 Normativa Euro e decreto normativo corrispondente.

2. FATTORI DI EMISSIONE DI CO_2 DEL PARCO CIRCOLANTE NAZIONALE

La stima dell'emissione di origine antropica di CO_2, si effettua con metodologie approvate da organismi scientifici internazionali quali l'IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change, in ambito UNFCC, Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici) o l'EEA (European Environment Agency).
A livello europeo le stime delle emissioni da trasporti si basano su una metodologia comune, la metodologia CORINAIR (CORe INventory AIR emission), proposta dall'Agenzia Europea per l'Ambiente e utilizzata per la valutazione anche di altri inquinanti. La metodologia CORINAIR per eseguire la stima dettagliata delle emissioni da traffico stradale, permette di utilizzare come modello di calcolo il modello COPERT (COmputer Program to calculate Emissions from Road Transport) che calcola le emissioni di CO_2 sulla base del consumo di carburante, assumendo che il carbonio contenuto in esso sia portato tutto allo stato di massima ossidazione, ovvero a CO_2.

Le emissioni a caldo dipendono da una serie di fattori inclusa la distanza di viaggio percorsa da ogni veicolo, la sua velocità, l'età, la potenza del motore e la massa. Il livello utilizzato da ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, (chiamato Tier 2 dall'EEA) si basa sulla percorrenza dei veicoli e sul loro numero in base alla formula seguente:

$$emissione\ [g] = FE\left[\frac{g}{km}\right] \times n°\ veicoli\ \times distanza\ percorsa\ [\frac{km}{veicolo}] \qquad \text{(Equazione 1)}$$

Il sito dell'ISPRA mette a disposizione degli utenti una serie di dati relativi all'emissione dei vari inquinanti derivanti dal trasporto stradale stimati con la metodologia COPERT, nonché una stima dei chilometraggi totali effettuati dalle autovetture. La serie storica fornita riporta i dati dal 1990 al 2009. I dati sono aggregati in base alla categoria veicolare, al tipo di carburante, alla cilindrata e alla tecnologia EURO di appartenenza. Fra i dati vi sono sia i chilometraggi percorsi dai veicoli che le emissioni di CO_2, utili per una stima dei fattori di emissione realizzabile invertendo l'equazione 1.

2.1 Autovetture

Nella metodologia COPERT le autovetture sono suddivise in base al tipo di combustibile e alla normativa che li caratterizza nel loro specifico anno di immatricolazione. Dopo aver aggregato i dati si può stimare la media dei fattori di emissione per ogni anno. Le autovetture vengono divise a seconda del tipo di combustibile utilizzato in benzina, diesel, gpl e metano.

I dati utilizzati, il fattore di emissione stimato e le rispettive variazioni percentuali annuali sono riportati nelle tabelle seguenti da 2.1 a 2.11.

	totale auto			
	percorrenze [Mkm]	**emissioni [ktCO$_2$]**	**FE [gCO$_2$/km]**	**variazione %annua**
1990	300.228	54.780	182	-
1991	311.179	56.505	182	-0,48
1992	329.396	59.457	181	-0,60
1993	344.194	61.520	179	-0,98
1994	349.641	62.083	178	-0,66
1995	359.401	63.369	176	-0,70
1996	360.793	63.648	176	0,05
1997	360.849	63.521	176	-0,21
1998	386.443	67.248	174	-1,14
1999	388.849	67.736	174	0,10
2000	388.093	67.147	173	-0,68
2001	390.311	67.612	173	0,12
2002	403.420	69.729	173	-0,22
2003	403.476	70.201	174	0,66
2004	408.651	71.031	174	-0,10
2005	413.814	71.164	172	-1,06
2006	421.760	71.823	170	-0,98
2007	421.664	71.094	169	-0,99
2008	405.529	66.998	165	-2,01
2009	399.179	64.616	162	-2,02

Tabella 2. 1 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annuale per le autovetture.

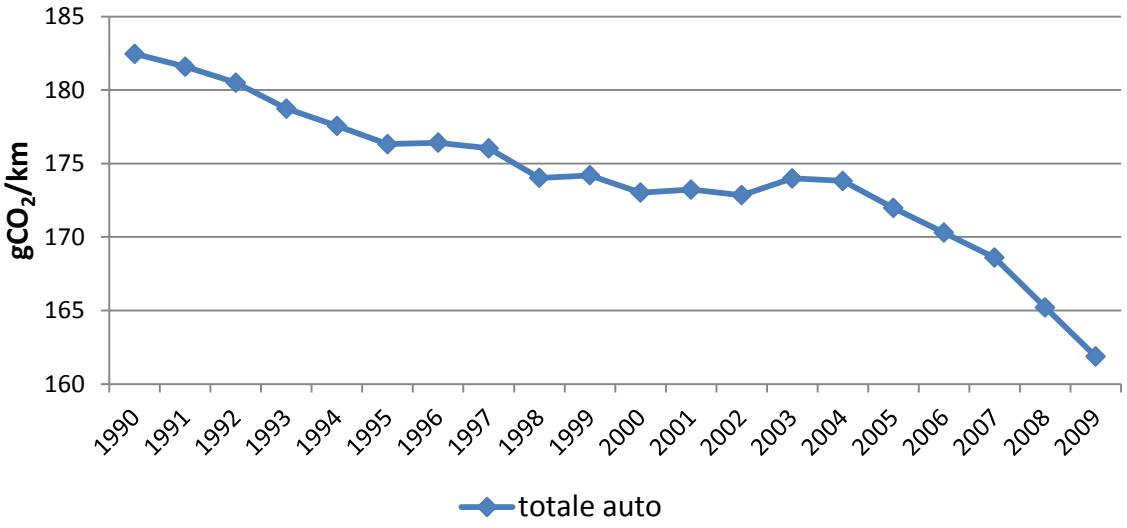

Figura 2. 1 Andamento dei fattori di emissioni medi delle autovetture per il periodo 1990-2009.

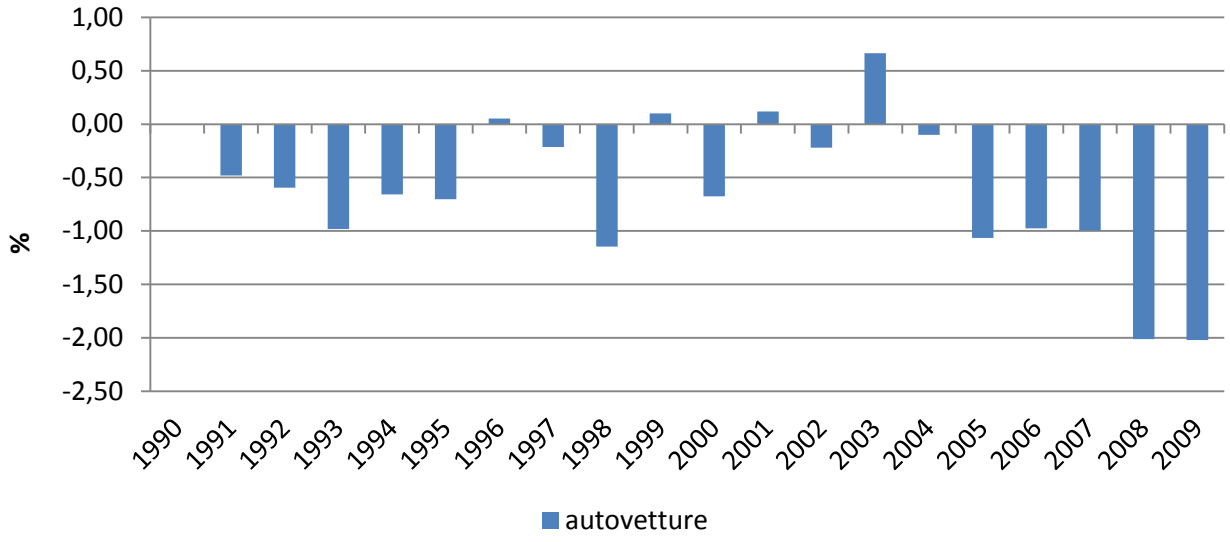

Figura 2. 2 Andamento della variazione percentuale annuale dei fattori di emissione del totale delle autovetture per il periodo 1990-2009.

	autovetture benzina			
	percorrenze [Mkm]	**emissioni [ktCO$_2$]**	**FE [gCO$_2$/km]**	**variazione %annua**
1990	203.822	36.861	181	-
1991	221.471	39.843	180	-0,52
1992	244.776	43.730	179	-0,69
1993	256.573	45.302	177	-1,17
1994	265.343	46.564	175	-0,61
1995	275.704	48.046	174	-0,69
1996	277.918	48.504	175	0,15
1997	278.443	48.441	174	-0,32
1998	288.344	49.315	171	-1,69
1999	282.143	48.247	171	-0,02
2000	269.849	45.642	169	-1,09
2001	267.060	45.303	170	0,29
2002	258.789	43.940	170	0,09
2003	243.116	41.850	172	1,38
2004	227.326	39.212	172	0,21
2005	209.957	35.924	171	-0,81
2006	194.698	33.186	170	-0,38
2007	180.931	30.608	169	-0,75
2008	166.935	28.174	169	-0,24
2009	159.749	26.812	168	-0,55

Tabella 2. 2 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per le autovetture a benzina.

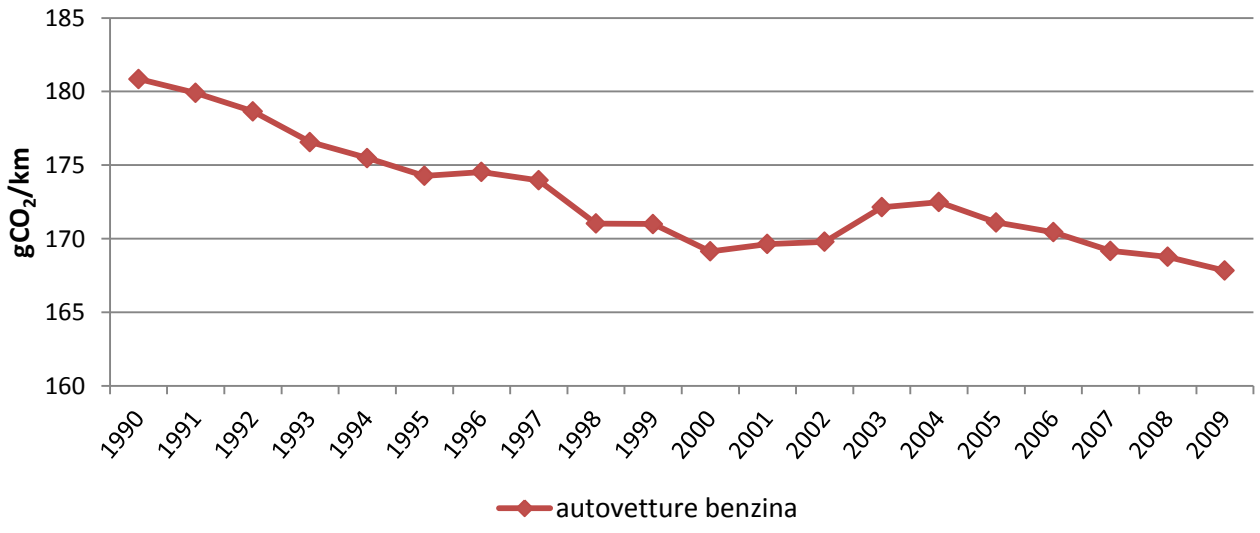

Figura 2. 3 Andamento dei fattori di emissione medi delle autovetture a benzina per il periodo 1990-2009.

	autovetture diesel			
	percorrenze [Mkm]	**emissioni [ktCO$_2$]**	**FE [gCO$_2$/km]**	**variazione %annua**
1990	73.151	13.893	190	-
1991	67.303	12.783	190	0,01
1992	64.051	12.166	190	0,00
1993	65.225	12.336	189	-0,43
1994	60.377	11.362	188	-0,50
1995	58.207	10.889	187	-0,59
1996	56.859	10.614	187	-0,21
1997	56.045	10.491	187	0,28
1998	71.650	13.313	186	-0,74
1999	83.325	15.397	185	-0,55
2000	93.938	17.247	184	-0,64
2001	99.517	18.147	182	-0,68
2002	122.266	21.858	179	-1,96
2003	139.815	24.731	177	-1,06
2004	162.576	28.507	175	-0,87
2005	186.462	32.159	172	-1,64
2006	210.454	35.681	170	-1,69
2007	224.933	37.666	167	-1,23
2008	221.861	35.818	161	-3,59
2009	221.212	34.520	156	-3,34

Tabella 2. 3 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per le autovetture diesel.

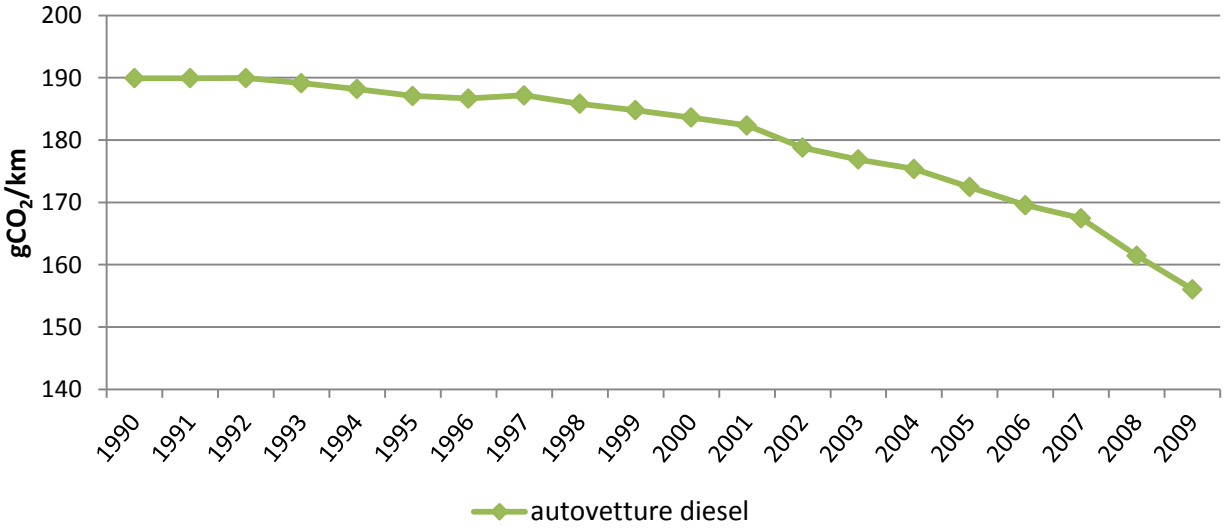

Figura 2. 4 Andamento dei fattori di emissioni medi delle autovetture diesel per il periodo 1990-2009.

	auto gpl e metano			
	percorrenze [Mkm]	**emissioni [ktCO$_2$]**	**FE [gCO$_2$/km]**	**variazione %annua**
1990	23.254	4.026	173	-
1991	22.405	3.879	173	0,00
1992	20.569	3.561	173	0,00
1993	22.396	3.882	173	0,12
1994	23.921	4.158	174	0,28
1995	25.490	4.434	174	0,07
1996	26.016	4.530	174	0,10
1997	26.361	4.590	174	0,00
1998	26.449	4.620	175	0,32
1999	23.381	4.092	175	0,19
2000	24.306	4.258	175	0,09
2001	23.733	4.162	175	0,11
2002	22.366	3.931	176	0,24
2003	20.544	3.620	176	0,24
2004	18.748	3.312	177	0,24
2005	17.395	3.081	177	0,28
2006	16.608	2.955	178	0,47
2007	15.800	2.821	179	0,32
2008	16.732	3.006	180	0,64
2009	18.218	3.285	180	0,35

Tabella 2.4 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per le autovetture gpl e metano.

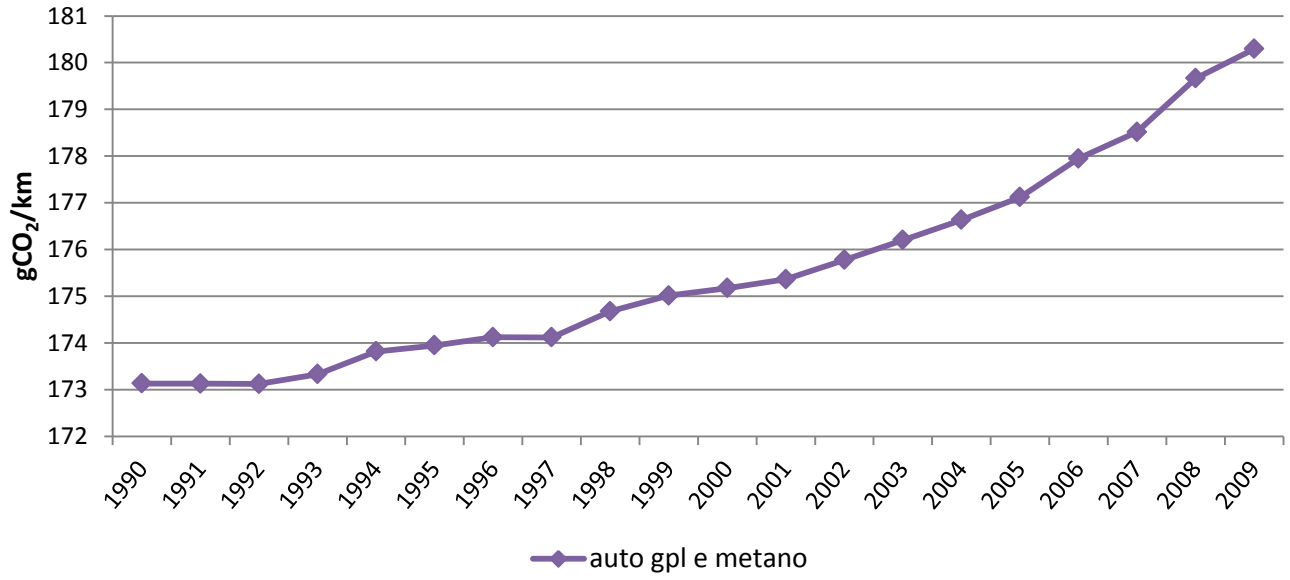

Figura 2.5 Andamento dei fattori di emissioni medi delle autovetture gpl e metano per il periodo 1990-2009.

Il grafico 2.5 mostra un andamento crescente dei fattori di emissione della CO_2 per le auto con alimentazione gpl e metano. Anche negli anni in cui sono stati istituiti gli incentivi statali (2007-2009) in cui nel parco circolante sono presenti anche le nuove auto immatricolate, non si evidenzia nessuna variazione in negativo che porti alla diminuzione, anche piccola, del fattore di emissione. Da quanto dichiarato da Riccardo De Laurentis questo è dovuto al fatto che ci sono in COPERT solo due fattori di consumo totale per il GPL, uno per i veicoli convenzionali e un altro per le vetture catalizzate. Inoltre il parco veicoli non è nemmeno differenziato per cilindrata. Negli anni quindi i fattori di consumo sono rimasti uguali, mentre sono aumentate le percorrenze e il numero di veicoli catalizzati, di conseguenza sono aumentate le emissioni. Per i veicoli diesel e benzina invece l'analisi è più affidabile perché queste sono differenziate in base alla cilindrata e per categoria legislativa EURO.

Considerando questi dati come non coerenti con la realtà si valutano i fattori di emissione solo dalla somma delle auto benzina e diesel.

	totale auto benzina e diesel			
	percorrenze [Mkm]	**emissioni [ktCO$_2$]**	**FE [gCO$_2$/km]**	**variazione %annua**
1990	276.974	50.754	183	-
1991	288.774	52.626	182	-0,55
1992	308.827	55.896	181	-0,68
1993	321.798	57.638	179	-1,04
1994	325.720	57.925	178	-0,71
1995	333.911	58.935	176	-0,75
1996	334.777	59.118	177	0,05
1997	334.488	58.931	176	-0,23
1998	359.994	62.628	174	-1,26
1999	365.468	63.644	174	0,10
2000	363.787	62.889	173	-0,73
2001	366.577	63.450	173	0,12
2002	381.055	65.798	173	-0,24
2003	382.931	66.581	174	0,69
2004	389.903	67.720	174	-0,11
2005	396.419	68.083	172	-1,12
2006	405.152	68.867	170	-1,03
2007	405.864	68.274	168	-1,04
2008	388.797	63.992	165	-2,16
2009	380.961	61.331	161	-2,19

Tabella 2.5 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua perla somma delle autovetture benzina e diesel.

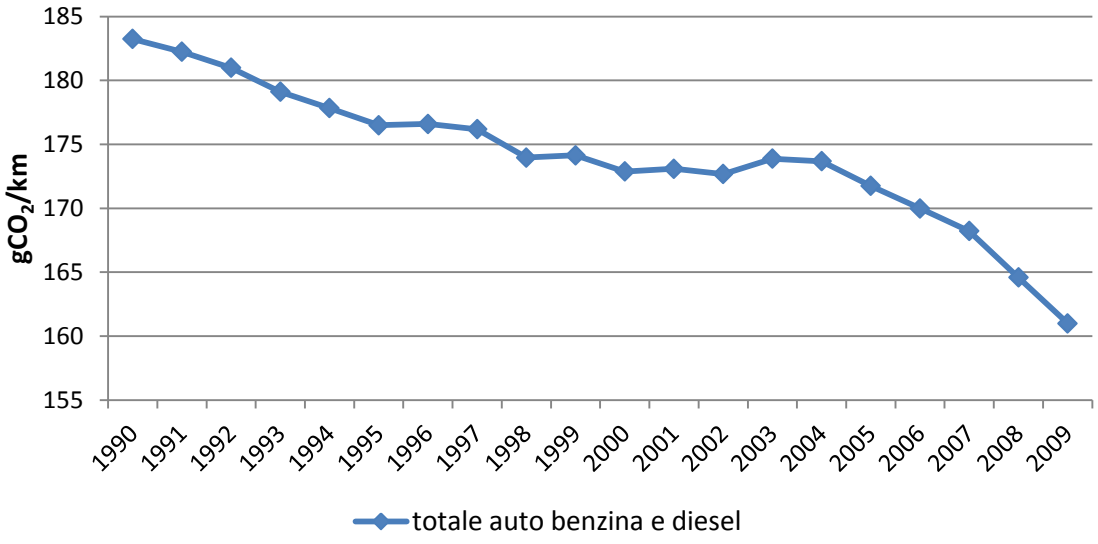

Figura 2.6 Andamento dei fattori di emissioni medi della somma delle autovetture benzina e diesel per il periodo 1990-2009.

Come si vede dalla figura 2.6 anche se non si considerano le auto con combustibile alternativo gpl e metano, l'andamento del fattore di emissione della CO_2 risulta analogo a quello del totale delle auto della figura 2.1.

2.2 Veicoli leggeri

Come veicoli leggeri si considerano i furgoni e i camion con massa inferiore o uguale a 3,5 t. In questo caso oltre alla suddivisione di questa categoria veicolare in base alla normativa Euro di appartenenza, la suddivisione in base al combustibile considera solo i veicoli diesel e benzina, in quanto altre fonti alternative non sono abbastanza efficienti rispetto alla massa che deve essere trainata. Da quanto constatato dai chilometraggi, i veicoli leggeri con alimentazione diesel sono in numero superiore rispetto ai veicoli a benzina, in quanto la loro massa implica un consumo di combustibile maggiore che soprattutto negli anni precedenti ha favorito l'acquisto di veicoli diesel per il minore prezzo di tale combustibile. Ciò è stato constatato anche nel lavoro fatto da Gaifami nella sua tesi di laurea (2010).

	veicoli leggeri a benzina			
	percorrenze [Mkm]	**emissioni [ktCO$_2$]**	**FE [gCO$_2$/km]**	**variazione %annua**
1990	6.123	1.652	270	-
1991	5.649	1.524	270	0,00
1992	5.711	1.541	270	0,00
1993	6.602	1.750	265	-1,73
1994	6.596	1.700	258	-2,75
1995	7.000	1.812	259	0,39
1996	6.838	1.778	260	0,49
1997	7.620	1.996	262	0,73
1998	6.629	1.755	265	1,09
1999	6.849	1.839	268	1,38
2000	6.057	1.640	271	0,88
2001	4.657	1.265	272	0,31
2002	4.700	1.294	275	1,34
2003	4.748	1.319	278	0,90
2004	4.325	1.217	281	1,26
2005	4.291	1.211	282	0,33
2006	4.310	1.246	289	2,44
2007	4.338	1.257	290	0,21
2008	3.683	1.069	290	0,21
2009	3.552	1.031	290	0,01

Tabella 2. 6 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per i veicoli leggeri con alimentazione a benzina.

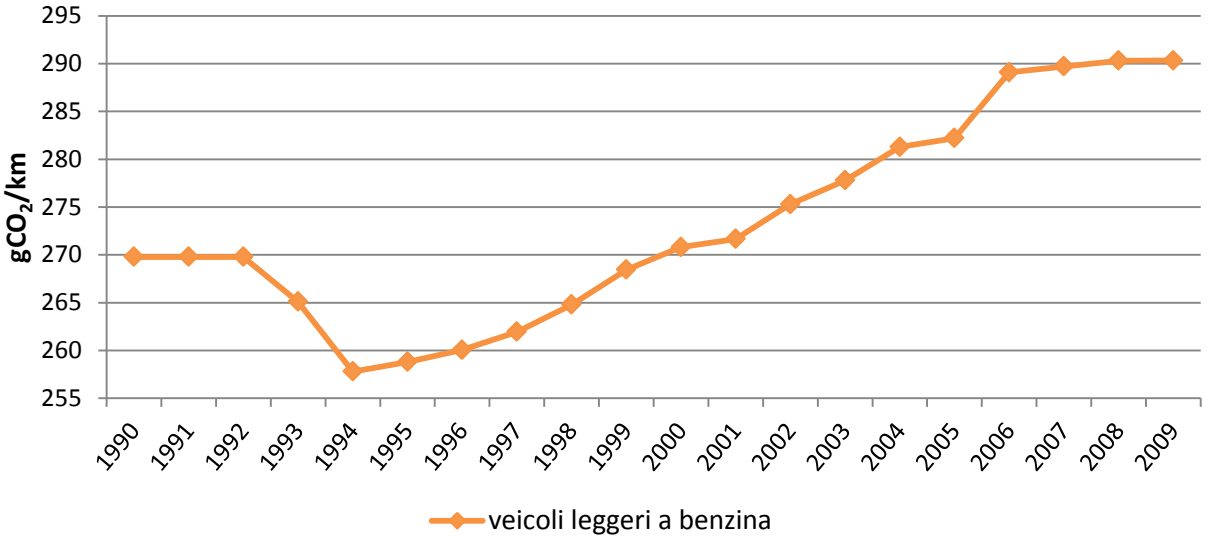

Figura 2. 7 Andamento dei fattori di emissioni medi dei veicoli leggeri con alimentazione benzina per il periodo 1990-2009.

	veicoli leggeri diesel			
	percorrenze [Mkm]	**emissioni [ktCO$_2$]**	**FE [gCO$_2$/km]**	**variazione %annua**
1990	27.730	7.831	282	-
1991	25.166	7.107	282	-0,01
1992	27.010	7.535	279	-1,21
1993	31.212	8.571	275	-1,57
1994	32.746	8.784	268	-2,31
1995	33.176	8.789	265	-1,24
1996	37.403	9.651	258	-2,60
1997	39.509	10.156	257	-0,38
1998	44.688	11.400	255	-0,76
1999	47.689	12.116	254	-0,41
2000	52.361	13.189	252	-0,86
2001	54.168	13.547	250	-0,71
2002	55.819	13.826	248	-0,96
2003	58.964	14.683	249	0,53
2004	61.868	15.903	257	3,23
2005	61.005	15.653	257	-0,18
2006	64.449	16.330	253	-1,25
2007	66.996	16.945	253	-0,18
2008	66.148	16.320	247	-2,45
2009	67.927	16.459	242	-1,79

Tabella 2. 7 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per i veicoli leggeri con alimentazione diesel.

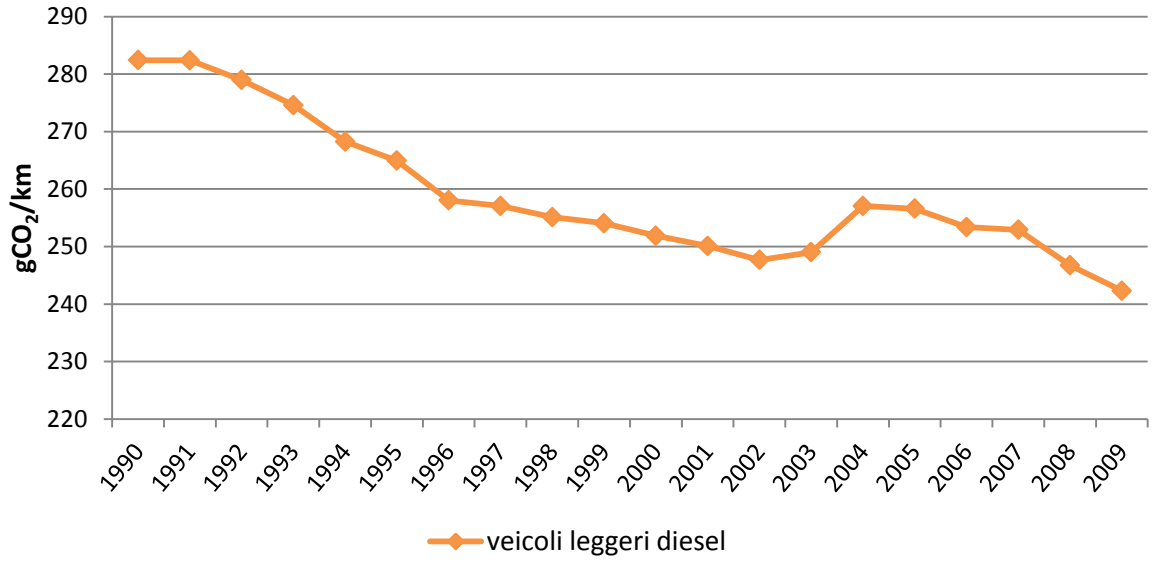

Figura 2. 8 Andamento dei fattori di emissioni medi dei veicoli leggeri con alimentazione diesel per il periodo 1990-2009.

	totale veicoli leggeri			
	percorrenze [Mkm]	**emissioni [ktCO$_2$]**	**FE [gCO$_2$/km]**	**variazione %annua**
1990	33.853	9.483	280	-
1991	30.815	8.631	280	-0,01
1992	32.721	9.076	277	-0,97
1993	37.814	10.321	273	-1,60
1994	39.342	10.485	267	-2,36
1995	40.176	10.601	264	-0,99
1996	44.241	11.430	258	-2,09
1997	47.129	12.152	258	-0,19
1998	51.317	13.155	256	-0,58
1999	54.538	13.954	256	-0,19
2000	58.418	14.829	254	-0,79
2001	58.825	14.812	252	-0,80
2002	60.520	15.120	250	-0,78
2003	63.712	16.001	251	0,53
2004	66.193	17.119	259	2,98
2005	65.296	16.864	258	-0,14
2006	68.759	17.576	256	-1,03
2007	71.334	18.201	255	-0,18
2008	69.831	17.390	249	-2,40
2009	71.479	17.490	245	-1,74

Tabella 2. 8 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per i veicoli leggeri.

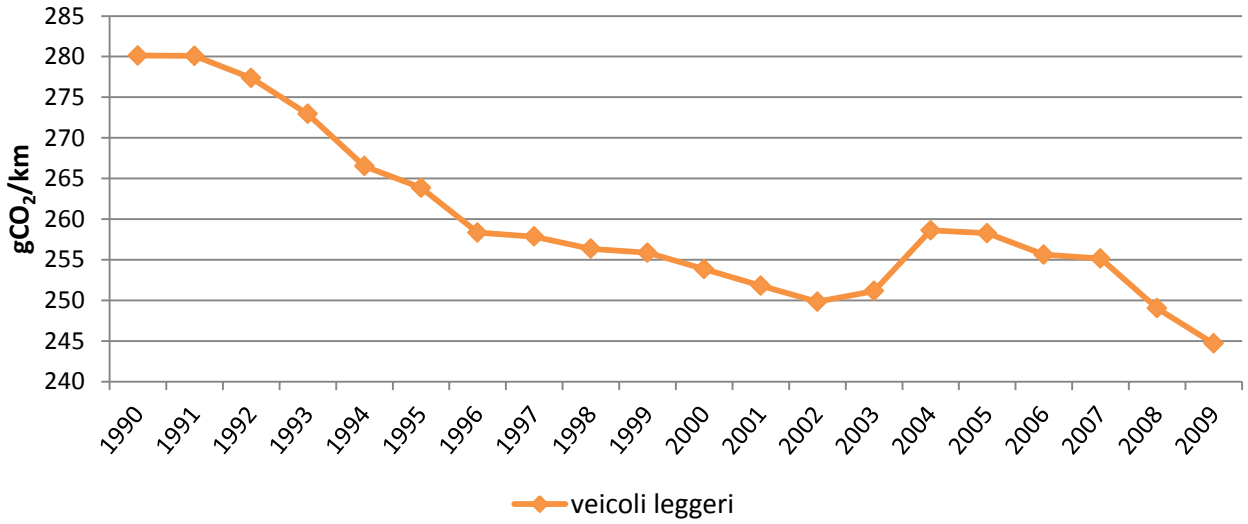

Figura 2. 9 Andamento dei fattori di emissioni medi dei veicoli leggeri per il periodo 1999-2009.

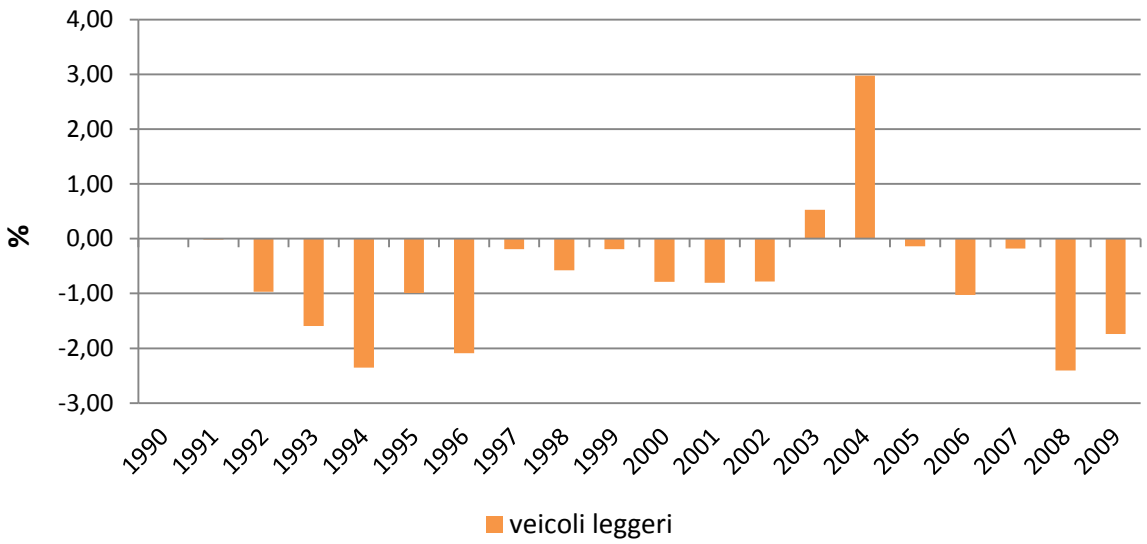

Figura 2. 10 Andamento della variazione percentuale annuale dei fattori di emissione della CO_2 dei veicoli leggeri per il periodo 1990-2009.

L'andamento crescente dei fattori di emissione della CO_2 dei veicoli leggeri a benzina è più che compensato dall'andamento decrescente dei fattori di emissione della CO_2 dei veicoli diesel, anche perché il numero di questi ultimi aumenta.

2.3 Veicoli pesanti

Per veicoli pesanti si intendono i veicoli di massa superiore a 3,5 tonnellate e gli autobus, di fatto tutti con alimentazione diesel.

	veicoli pesanti			
	percorrenze [Mkm]	**emissioni [ktCO$_2$]**	**FE [gCO$_2$/km]**	**variazione %annua**
1990	40.322	26.083	647	-
1991	39.901	27.023	677	4,70
1992	41.501	27.880	672	-0,81
1993	38.486	26.334	684	1,85
1994	36.716	25.347	690	0,89
1995	38.237	25.531	668	-3,28
1996	38.057	24.647	648	-3,01
1997	39.462	25.416	644	-0,55
1998	35.590	23.763	668	3,67
1999	36.732	23.655	644	-3,55
2000	35.334	23.600	668	3,71
2001	39.514	25.744	652	-2,45
2002	40.405	25.555	632	-2,92
2003	40.417	25.201	624	-1,42
2004	39.913	25.315	634	1,72

2005	37.990	23.893	629	-0,84
2006	37.027	23.511	635	0,96
2007	37.278	23.873	640	0,86
2008	37.928	23.814	628	-1,96
2009	35.190	21.878	622	-0,98

Tabella 2. 9 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per i veicoli pesanti.

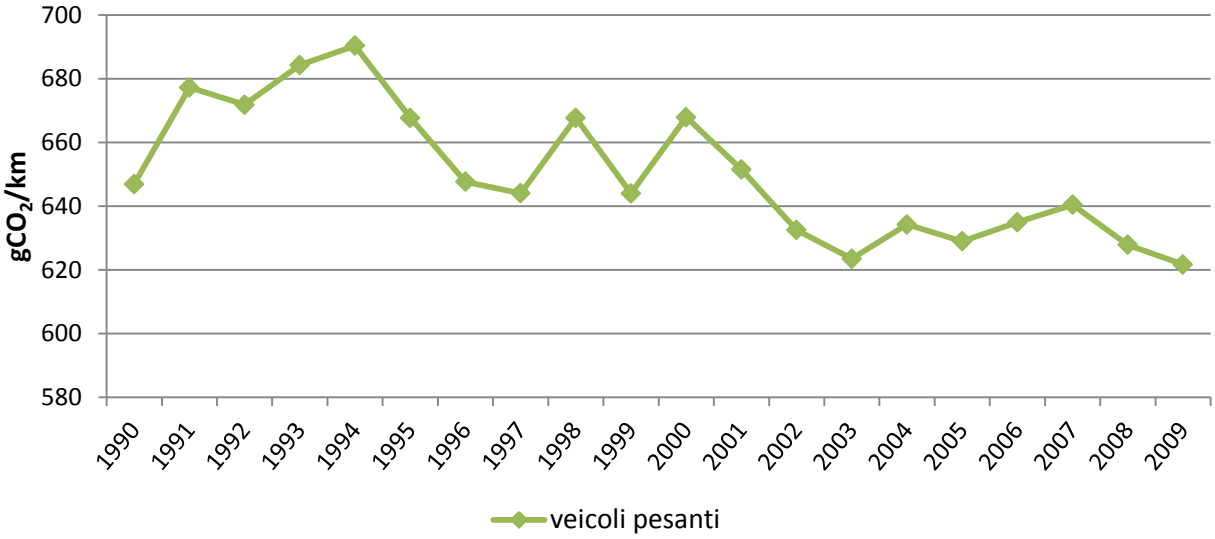

Figura 2. 11 Andamento dei fattori di emissioni medi di CO_2 dei veicoli pesanti per il periodo 1990-2009.

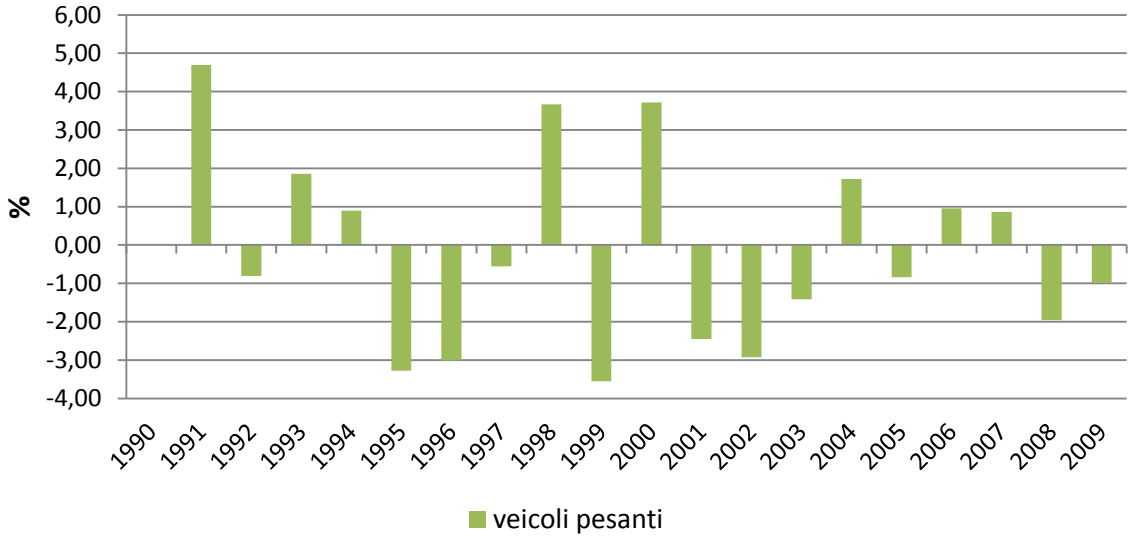

Figura 2. 12 Andamento della variazione percentuale annuale dei fattori di emissione dei veicoli pesanti per il periodo 1990-2009.

2.4 Ciclomotori

Per ciclomotori si intendono i veicoli a due ruote con cilindrata inferiore o pari a 50 cm^3.

	ciclomotori			
	percorrenze [Mkm]	**emissioni [ktCO$_2$]**	**FE [gCO$_2$/km]**	**variazione %annua**
1990	16.356	1.021	62	-
1991	17.083	1.066	62	0,00
1992	16.343	1.020	62	0,00
1993	19.774	1.234	62	0,00
1994	21.435	1.338	62	0,00
1995	22.230	1.734	78	24,99
1996	23.468	1.831	78	0,00
1997	24.686	1.926	78	0,01
1998	25.339	1.977	78	0,00
1999	25.402	1.976	78	-0,30
2000	22.779	1.755	77	-0,96
2001	21.993	1.686	77	-0,48
2002	21.403	1.626	76	-0,91
2003	20.817	1.559	75	-1,39
2004	20.128	1.485	74	-1,49
2005	19.454	1.412	73	-1,65
2006	18.764	1.340	71	-1,63
2007	18.166	1.273	70	-1,87
2008	17.564	1.209	69	-1,78
2009	17.103	1.158	68	-1,61

Tabella 2. 10 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per i ciclomotori.

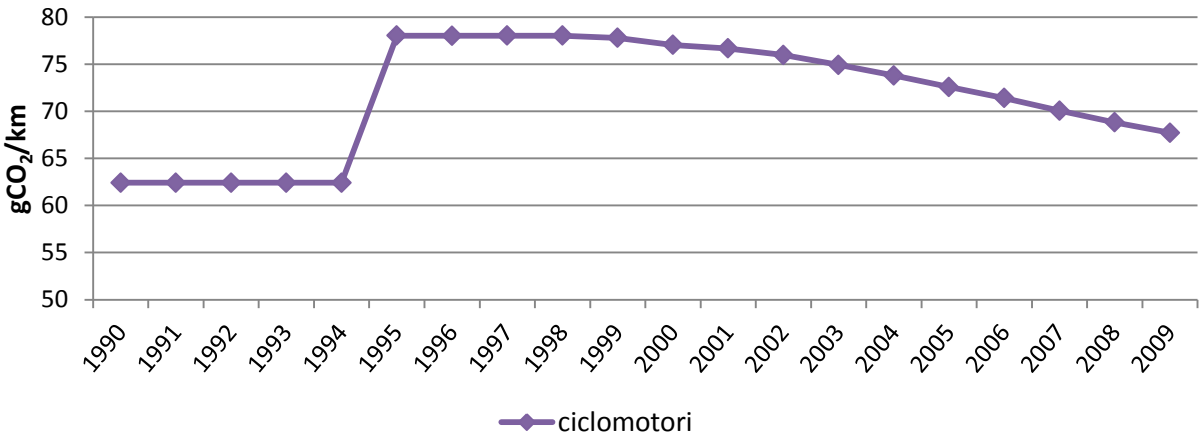

Figura 2. 13 Andamento dei fattori di emissioni medi di CO_2 dei ciclomotori per il periodo 1990-2009.

Nella figura 2.13 si nota un brusco salto durante gli anni 1994–1995 per riprendere poi con un andamento abbastanza regolare; si ipotizza che questa sia un'anomalia legata a diverse tipologie di stima e quindi si tengono in considerazione solo gli anni dal 1996 al 2009.

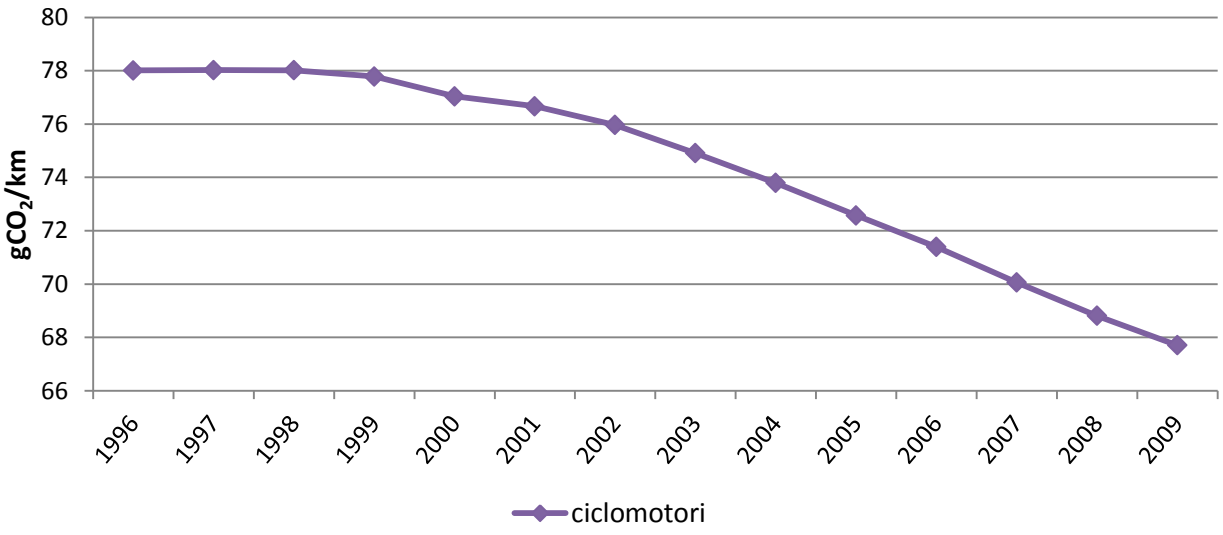

Figura 2. 14 Andamento dei fattori di emissione dei ciclomotori per il periodo 1996-2009.

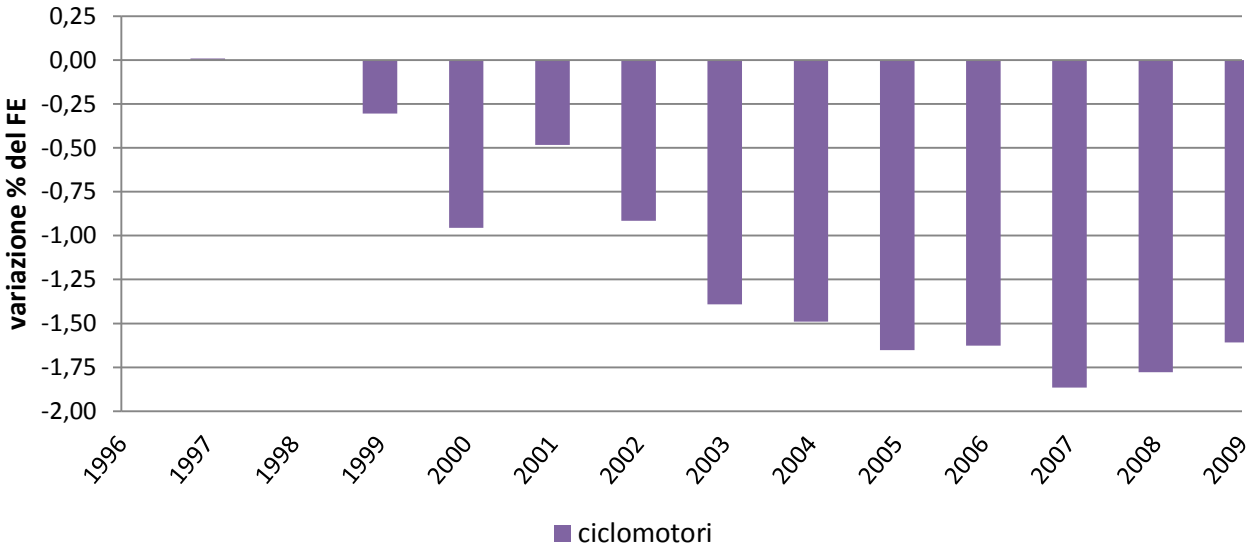

Figura 2. 15 Andamento della variazione percentuale annuale dei fattori di emissione dei ciclomotori per il periodo 1996-2009.

2.5 Motocicli

Per motocicli si intendono i veicoli a due ruote con cilindrata superiore a 50 cm^3.

	motocicli			
	percorrenze [Mkm]	**emissioni [ktCO₂]**	**FE [gCO₂/km]**	**variazione %annua**
1990	14.772	1.529	104	-
1991	15.720	1.617	103	-0,64
1992	17.024	1.743	102	-0,46
1993	16.768	1.716	102	0,00
1994	16.769	1.713	102	-0,22
1995	16.918	1.736	103	0,48
1996	17.487	1.799	103	0,24
1997	17.707	1.827	103	0,30
1998	19.879	2.047	103	-0,23
1999	20.792	2.134	103	-0,33
2000	22.567	2.259	100	-2,43
2001	23.464	2.327	99	-0,96
2002	23.404	2.306	99	-0,63
2003	25.193	2.474	98	-0,33
2004	26.308	2.577	98	-0,26
2005	29.245	2.792	95	-2,53
2006	31.119	2.977	96	0,19
2007	32.966	3.126	95	-0,88
2008	33.988	3.201	94	-0,68
2009	35.524	3.327	94	-0,56

Tabella 2. 11 Percorrenze totali annue (milioni di chilometri), emissioni annue (chilotonnellate), fattore di emissione di CO_2 (gCO_2/km) e variazione percentuale annua per i motocicli.

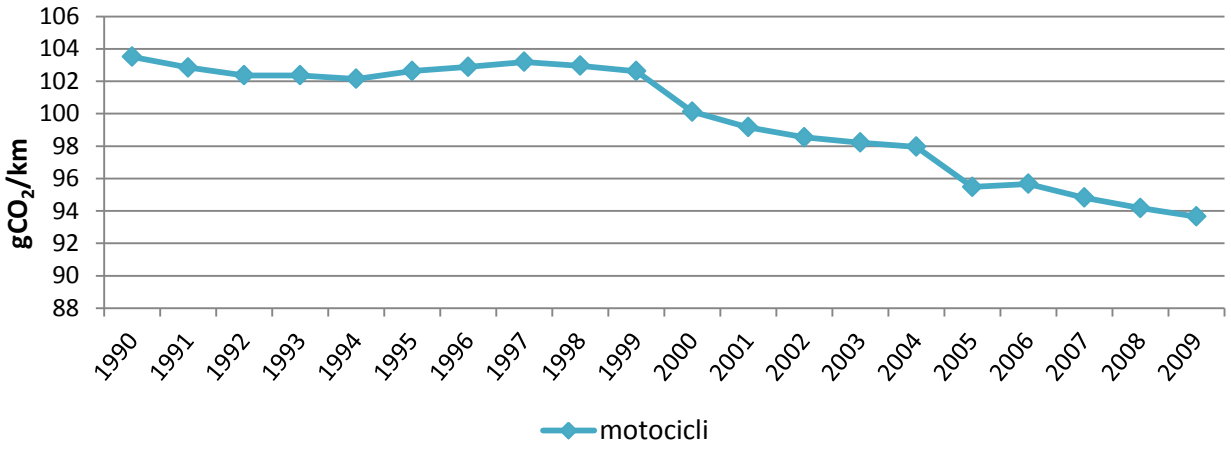

Figura 2. 16 Andamento dei fattori di emissioni medi dei motocicli per il periodo 1990-2009.

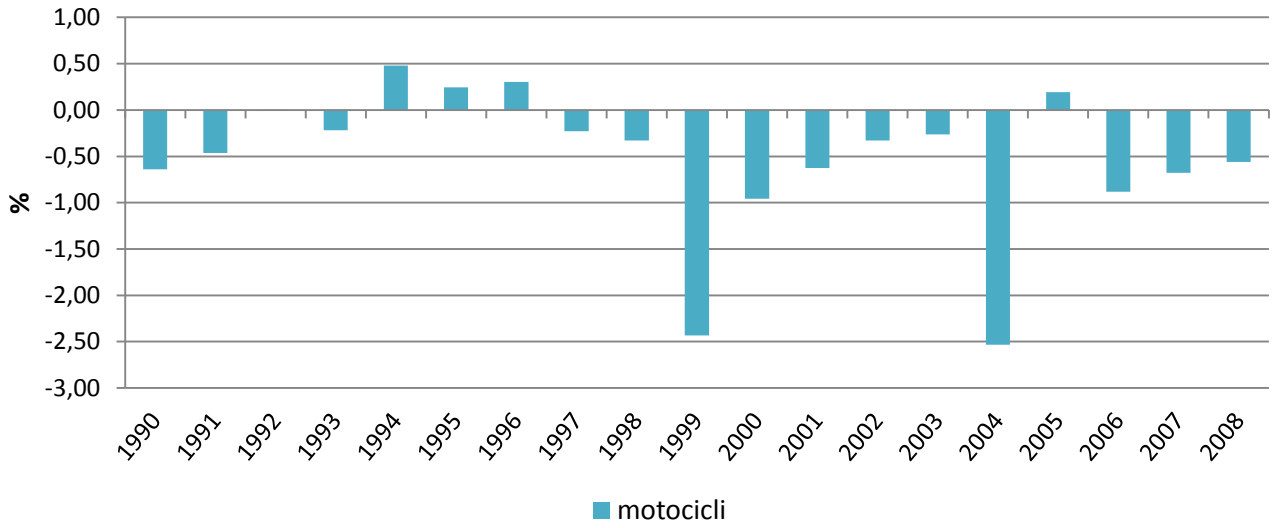

Figura 2. 17 Andamento della variazione percentuale annuale dei fattori di emissione dei motocicli per il periodo 1990-2009.

L'andamento globale dei fattori di emissione di CO_2 di tutti i veicoli è riportato nel grafico 2.18.

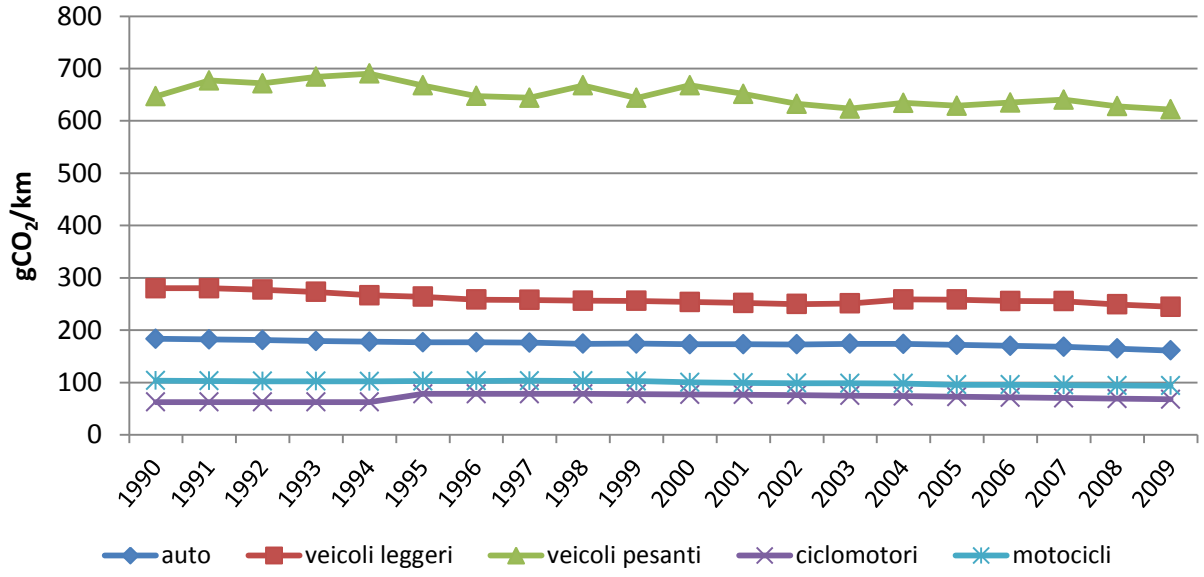

Figura 2. 18 Andamento complessivo del fattore di emissione della CO_2 per tutte le categorie veicolari.

3. PROIEZIONE DEI FATTORI DI EMISSIONE DI CO_2 PER IL PARCO CIRCOLANTE NAZIONALE

Oggetto del presente capitolo è la proiezione dei fattori di emissione medi di CO_2 dei veicoli fino all'anno 2020. Tale proiezione è effettuata proiettando i fattori di emissione di CO_2 del parco circolante per il periodo 2010 - 2020 partendo dai fattori di emissione di CO_2 del periodo 1990 - 2009.

3.1 Autovetture

Nel capitolo 2.1 si è visto che l'andamento del fattore di emissione medio di CO_2 per il periodo 1990 – 2009 non ha un andamento perfettamente lineare ma presenta delle irregolarità, si valutano due casi: nel primo caso (A) si considera la serie completa dei valori del fattore di emissione di CO_2 partendo dal 1990, mentre nel secondo (B) si considera la serie a partire dal 2004, poiché da quell'anno vi è una sostanziale variazione della pendenza della linea in relazione ai fattori di emissione. I due casi vengono presentati rispettivamente per il totale del parco auto circolante, e per le sole autovetture benzina e diesel.

Caso 1A

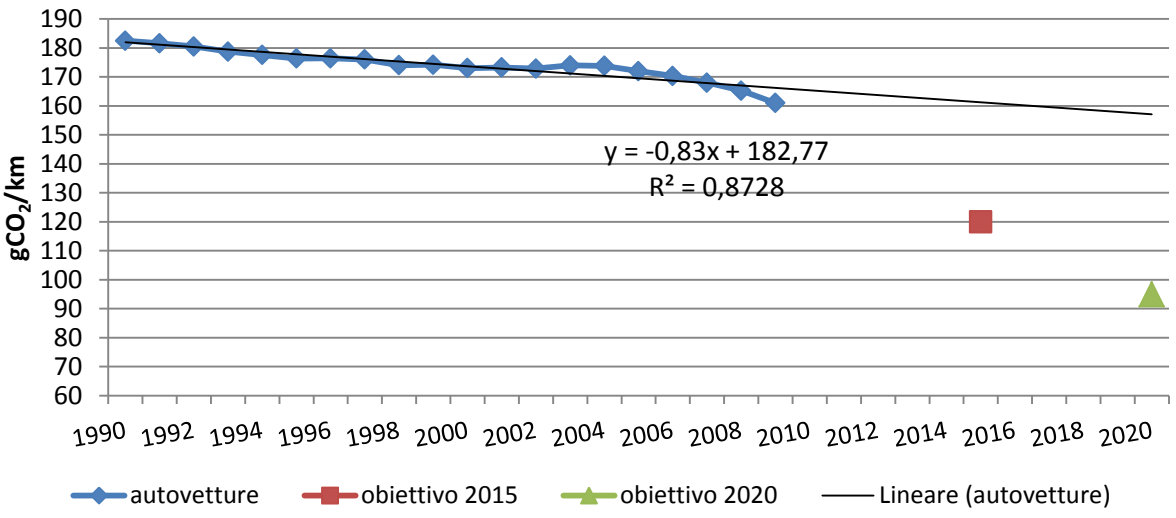

Figura 3. 1 Proiezione dei fattori di emissione di CO_2 per il totale delle autovetture benzina e diesel per il periodo 1990- 2020.

Caso 1B

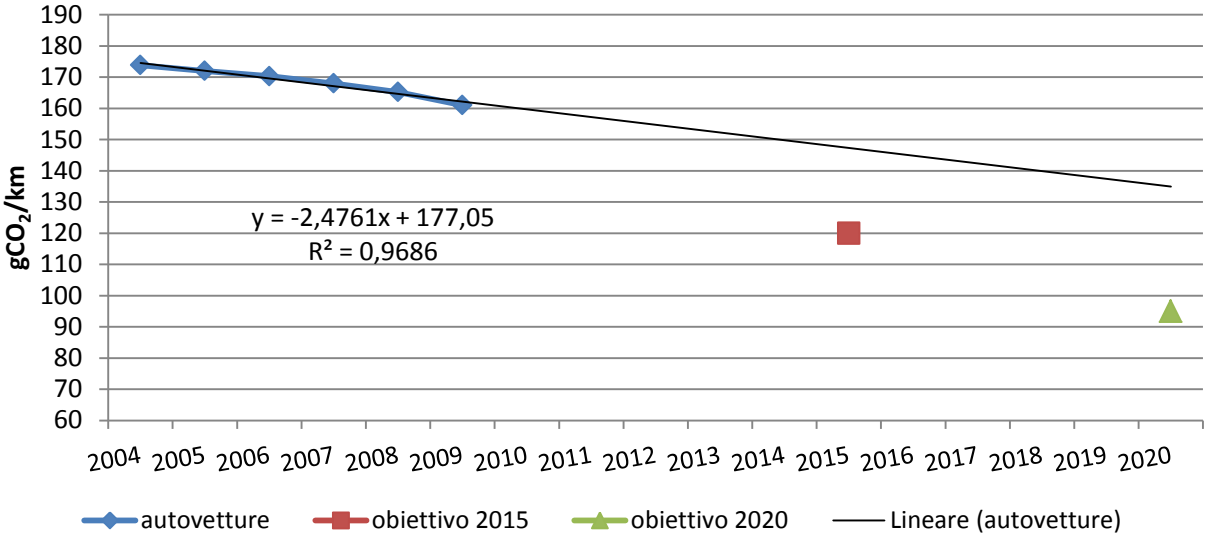

Figura 3. 2 Proiezione dei fattori di emissione di CO_2 per il totale delle autovetture benzina e diesel per il periodo 2004-2020.

Nel caso A visto nella figura 3.1, il coefficiente di correlazione è minore rispetto al caso B visto nella figura 3.2, questo succede perché partendo dal 1990 vi sono maggiori oscillazioni del fattore di emissione che si discostano dalla tendenza di tipo lineare e, nel 2004 vi è un cambio della linea di pendenza che interpola i dati. In entrambi i casi sono stati riportati a livello indicativo, gli obiettivi della normativa europea, in quanto questi sono disposti per i nuovi veicoli immatricolati e non per l'intero parco circolante.

I dati relativi ai fattori di emissione di CO_2 del parco circolante distinti per tipo di carburante, sono riportati nella figura da 3.3 a 3.6.

Caso 2A: auto a benzina

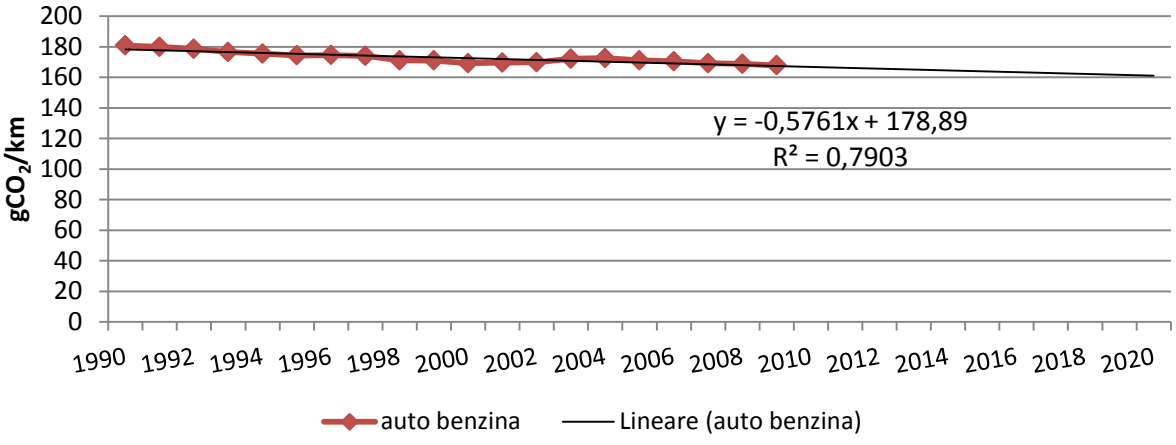

Figura 3. 3 Proiezione dei fattori di emissione di CO_2 per il periodo 1990- 2020 per le autovetture a benzina.

Caso 2B: auto a benzina

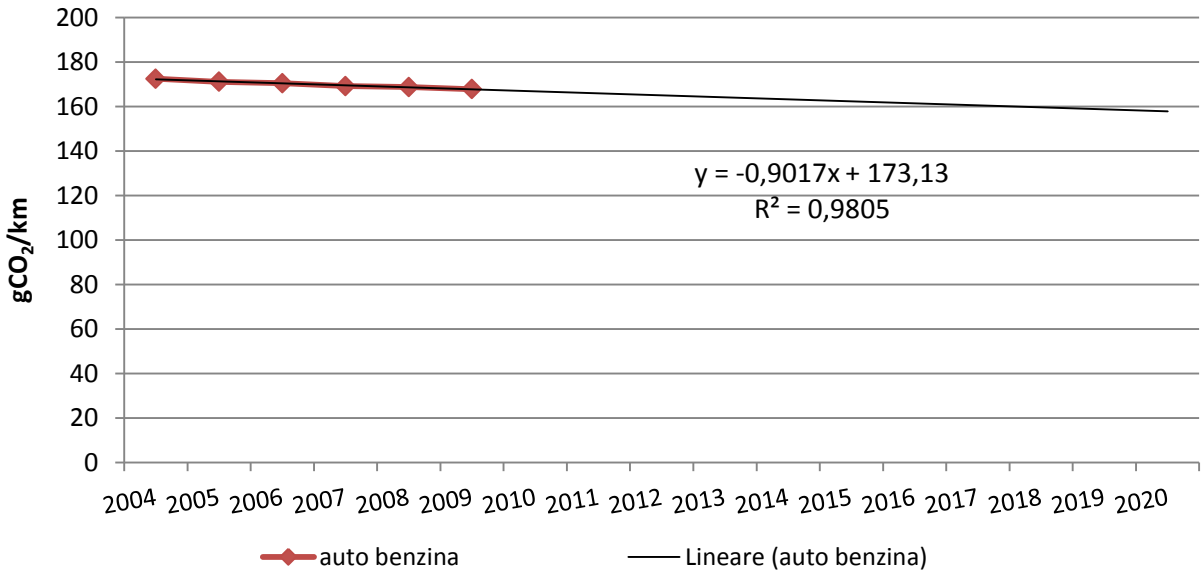

Figura 3. 4 Proiezione dei fattori di emissione di CO_2 per il periodo 2004- 2020 per le autovetture a benzina.

Caso 3A: auto diesel

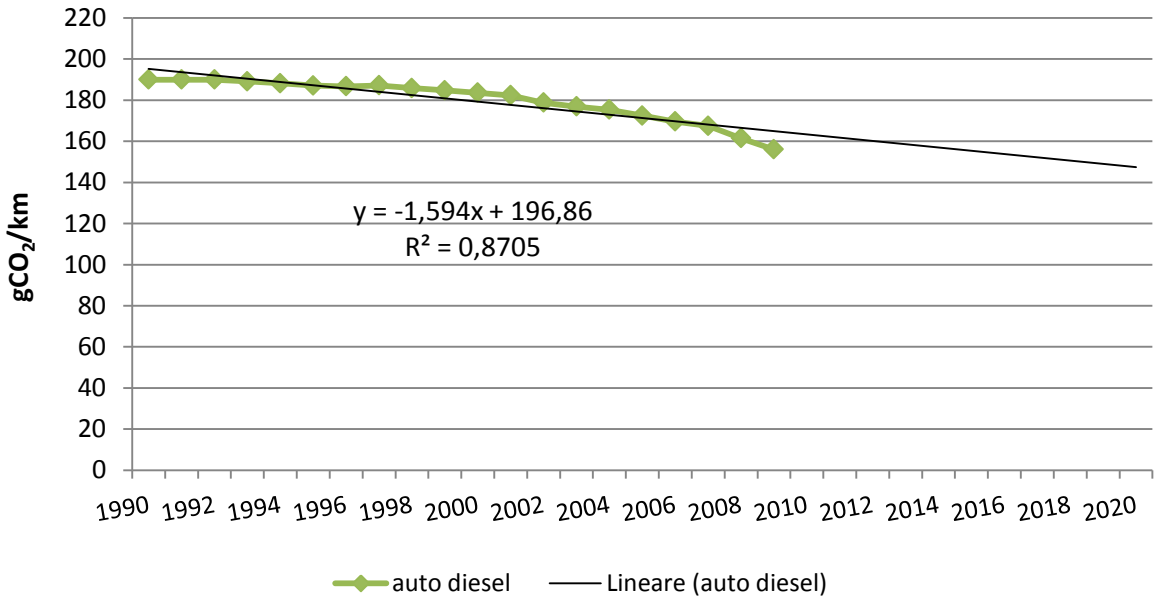

Figura 3. 5 Proiezione dei fattori di emissione di CO_2 per il periodo 1999- 2020 per le autovetture diesel.

Caso 3B: auto diesel

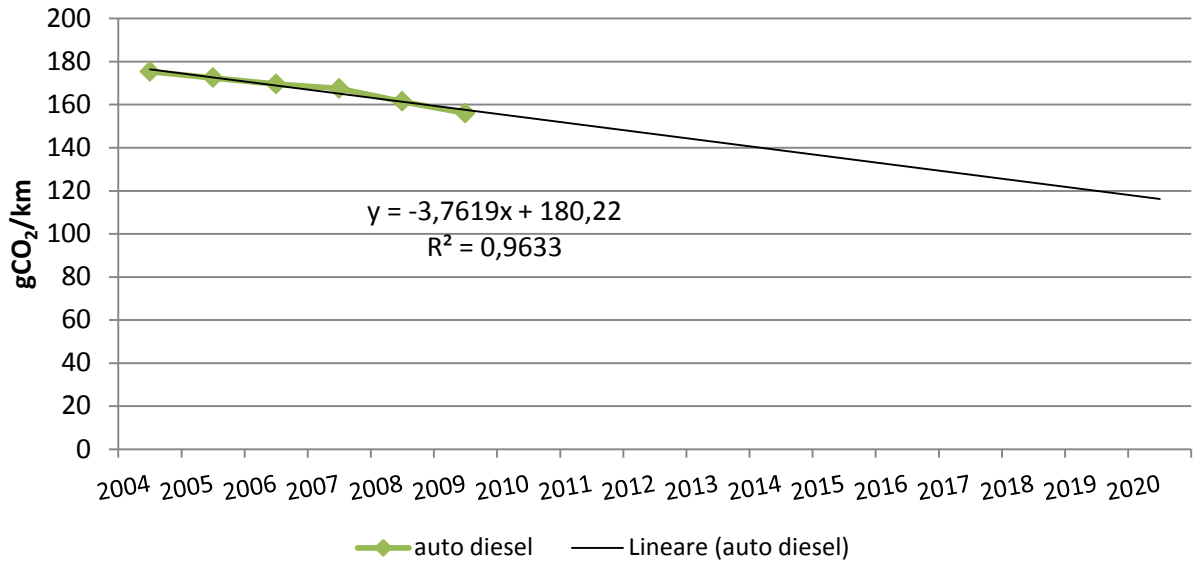

Figura 3. 6 Proiezione dei fattori di emissione di CO_2 per il periodo 2004- 2020 per le autovetture diesel.

Sia per le autovetture benzina, sia per quelle diesel, che per la loro somma, la linea che approssima meglio i dati ha una tendenza di tipo lineare, come si può riscontrare dai coefficienti di correlazione, ed è quella i cui fattori di emissioni di CO_2 partono dal 2004, ovvero il caso B. Come si può vedere dalla tabella 3.1 la proiezione della CO_2 nel caso A da dei fattori di emissione maggiori rispetto al caso B.

	autovetture benzina		**autovetture diesel**		**totale**	
	FE [gCO_2/km]		**FE [gCO_2/km]**		**FE [gCO_2/km]**	
	caso A	**caso B**	**caso A**	**caso B**	**caso A**	**caso B**
2010	167	167	163	154	165	160
2011	167	166	161	150	164	157
2012	166	165	159	145	163	154
2013	166	164	157	141	163	151
2014	166	163	154	137	162	148
2015	165	163	152	133	161	146
2016	165	162	150	128	160	143
2017	165	161	147	124	159	140
2018	165	160	145	120	158	138
2019	164	159	143	116	157	135
2020	164	158	141	112	156	132

Tabella 3. 1 Andamento dei valori del FE di CO_2 per il periodo 2010-2020 in Italia del parco auto circolante e differenza in gCO_2/km fra il caso A e B

3.2 Veicoli leggeri

Anche per i veicoli commerciali leggeri si applica la stessa metodologia usata per le autovetture. In questo caso consideriamo l'andamento totale dei veicoli leggeri, senza nessuna distinzione in veicoli leggeri diesel e benzina poiché il numero di questi ultimi è esiguo (Gaifani, 2010) e l'andamento del fattore di emissione della CO_2 dei veicoli a benzina è più che compensato da quello dei veicoli diesel.

I limiti della normativa sono di 175 gCO_2/km e di 147 gCO_2/km rispettivamente per gli anni 2017 e 2020 e anche qui vengono considerati solo come riferimento.

Caso A

L'andamento dei fattori di emissione per il periodo 1990-2009 visti nel capitolo 2, è riportato nel grafico di figura 3.7 che mostra come seguendo il trend di tipo logaritmico, che secondo il coefficiente di correlazione è quello che meglio approssima i dati, non si raggiugono i limiti della normativa né per il 2017 né per il 2020.

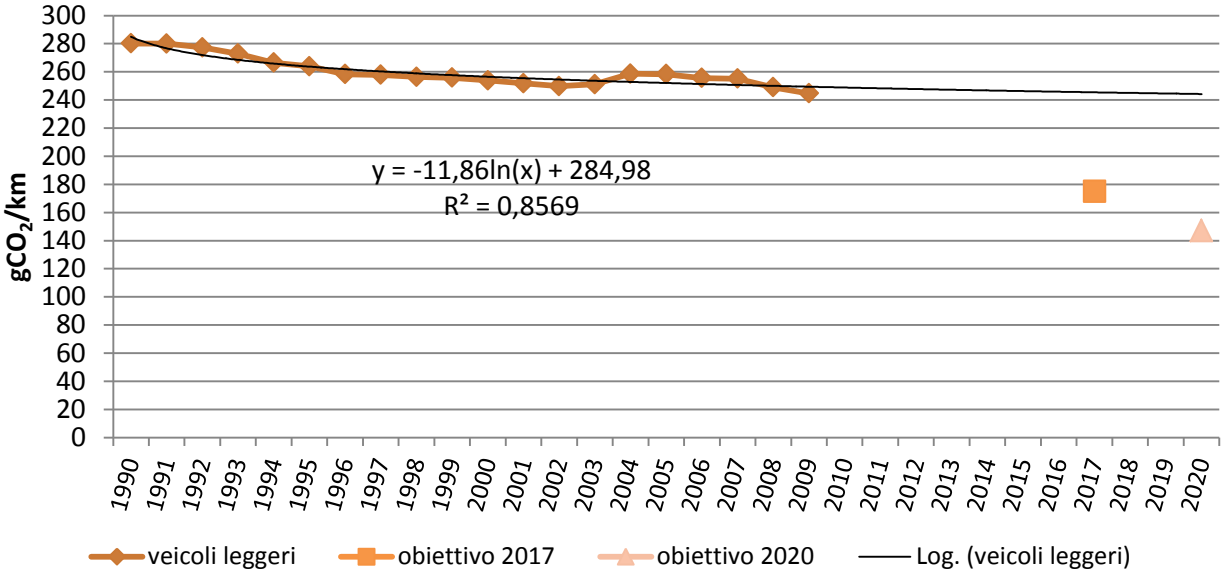

Figura 3. 7 Proiezione del fattore di emissione per i veicoli leggeri dal 1990 al 2020.

Caso B

Anche in questo caso essendoci una variazione della tendenza dei valori del fattore di emissione nel 2004, si effettua la proiezione dei fattori di emissione di CO_2 a partire da tale anno. Il grafico

che riporta tale andamento è mostrato nella figura 3.8 e i valori del fattore di emissione di CO_2 per il periodo 2010 - 2020 sono riportati nella tabella 3.2.

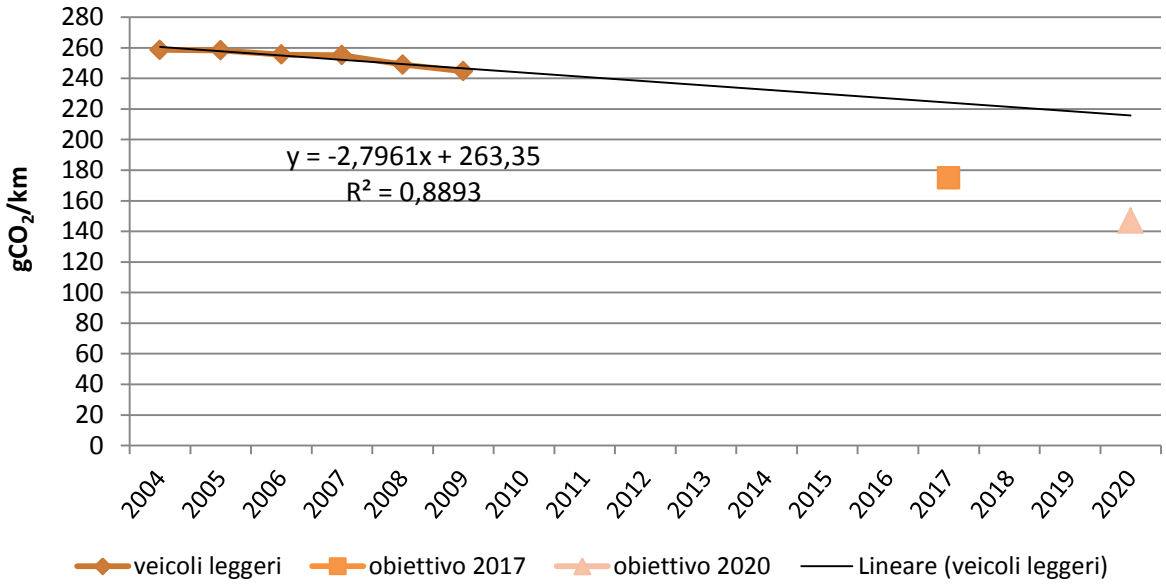

Figura 3. 8 Proiezione del fattore di emissione della CO_2 per i veicoli leggeri dal 2004 al 2020.

	FE CO_2 [gCO_2/km]	
	caso A	**caso B**
2010	244	244
2011	243	240
2012	243	236
2013	243	233
2014	242	230
2015	242	227
2016	241	223
2017	240	220
2018	239	217
2019	238	214
2020	237	210

Tabella 3. 2 Proiezione del FE di CO_2 per il periodo 2010-2020 in Italia del parco dei veicoli leggeri circolante.

In questo caso come si vede nelle figure 3.7 e 3.8 il coefficiente di correlazione è simile sia che si consideri la proiezione del fattore di emissione nel caso A che nel caso B. Come per le autovetture, il trend a partire dal 2004 porta a dei valori del fattore di emissione di CO_2 più bassi ma che non si avvicinano comunque al valore obiettivo della normativa (considerati anche in

questo caso solo a livello indicativo). Visto che l'indice di correlazione in ambedue i casi è simile, nel seguito verranno considerati entrambi i casi.

3.3 Veicoli pesanti

Per i veicoli pesanti non c'è ancora in vigore nessuna normativa europea che definisca dei limiti di emissione di CO_2. A tal punto nella figura 3.9 si mostra l'andamento della media del fattore di emissione annuale a partire dal 1990, e nella tabella 3.3 si riportano i rispettivi valori del fattore di emissione per il periodo 2010 - 2020.

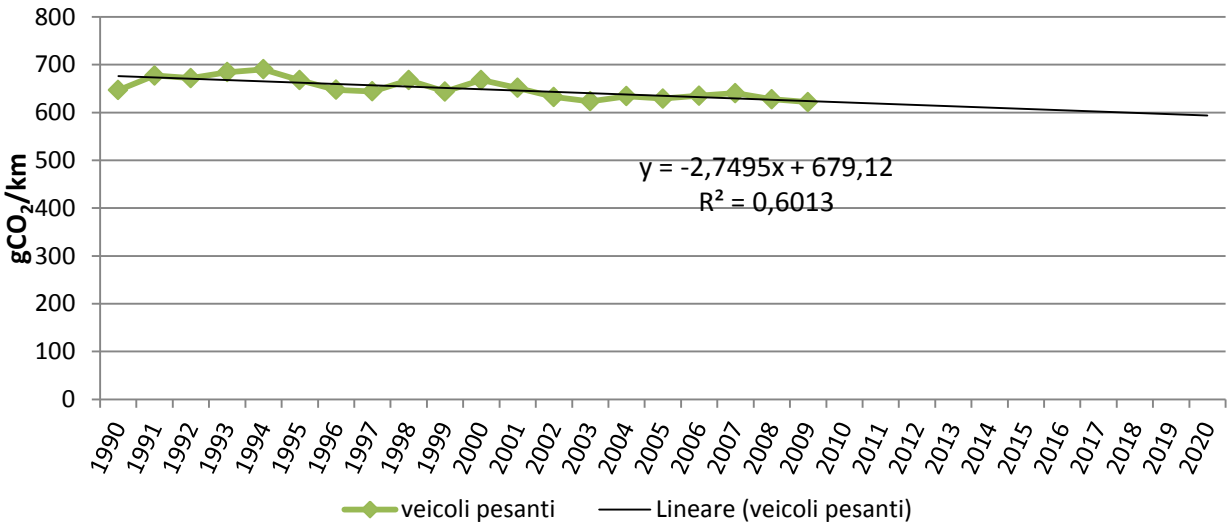

Figura 3. 9 Proiezione del fattore di emissione della CO_2 per i veicoli pesanti dal 1990 al 2020.

	FE [gCO_2/km]
2010	621
2011	615
2012	612
2013	608
2014	606
2015	605
2016	603
2017	599
2018	594
2019	593
2020	589

Tabella 3. 3 Andamento dei valori del FE di CO_2 per il periodo 2010-2020 in Italia del parco circolante dei veicoli pesanti.

3.4 Motocicli e ciclomotori

Come per i veicoli pesanti, nemmeno per i motocicli e per i ciclomotori c'è una normativa riguardo ai limiti dei fattori di emissioni della CO_2.

Visti gli andamenti dal 1990 al 2009 nel capitolo 2, per i ciclomotori si valuta solo il possibile andamento al 2020 considerando i dati a partire dal 1996, in modo da eliminare l'andamento anomalo degli anni precedenti. Per il periodo 1996 - 2020 l'andamento dei fattori di emissione di CO_2 per i ciclomotori è mostrato in figura 3.10 e i rispettivi valori per il periodo 2010 – 2020 nella tabella 3.4, e quelli per i motocicli riguardanti il periodo 1990 – 2020 rispettivamente nel grafico 3.11 e nella tabella 3.5.

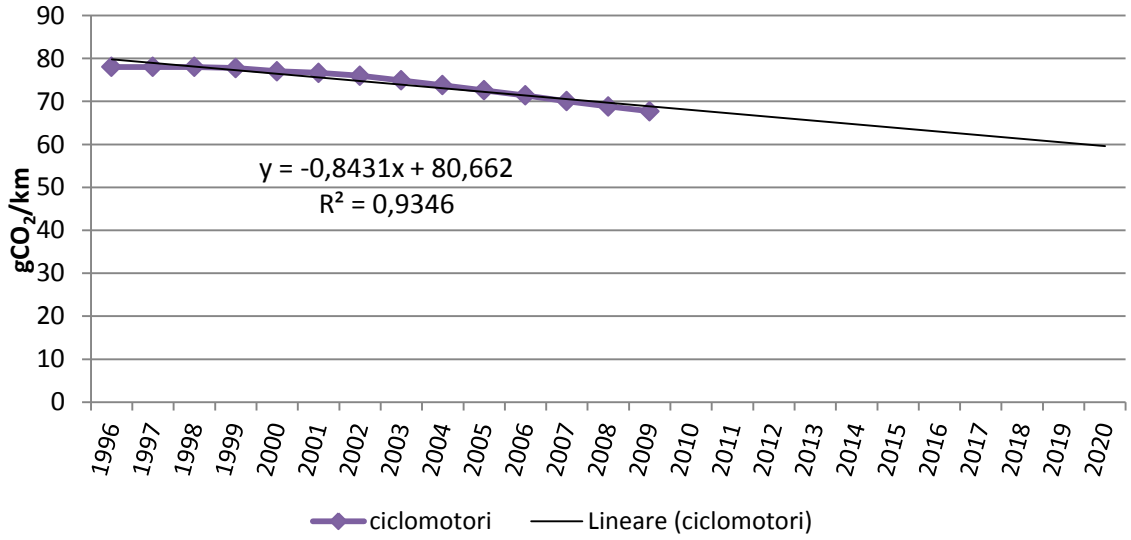

Figura 3. 10 Proiezione del fattore di emissione della CO_2 per i ciclomotori dal 1996 al 2020.

	FE [gCO_2/km]
2010	68
2011	67
2012	66
2013	65
2014	63
2015	62
2016	61
2017	60
2018	59
2019	59
2020	58

Tabella 3. 4 Andamento dei valori del FE di CO_2 per il periodo 2010-2020 in Italia del parco circolante dei ciclomotori.

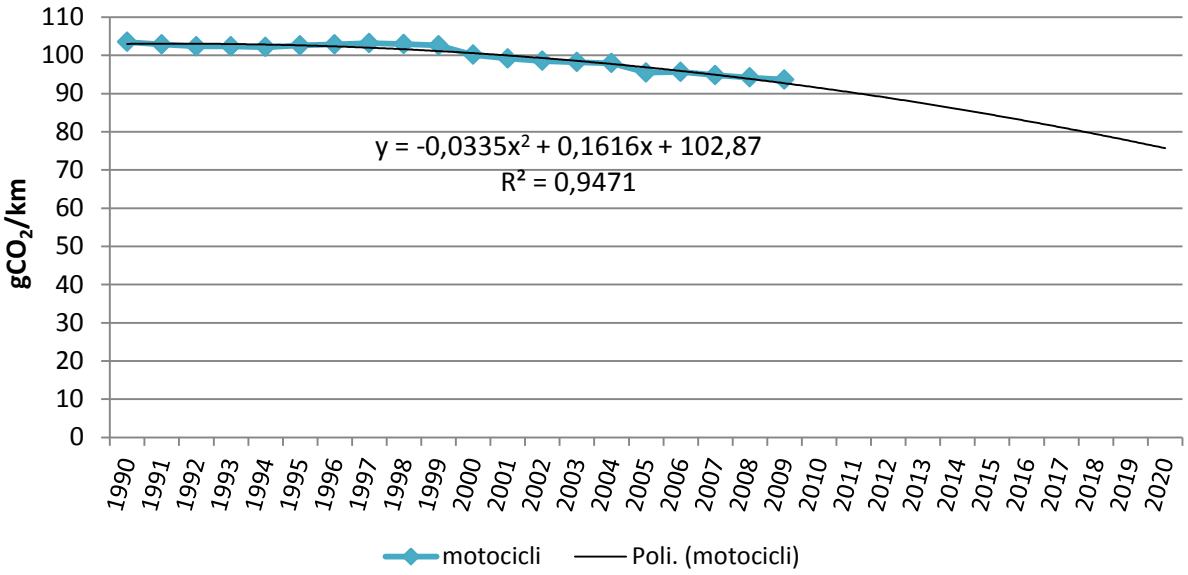

Figura 3. 11 Proiezione del fattore di emissione della CO2 per i motocicli da 1990 al 2020.

	FE [gCO_2/km]
2010	91
2011	90
2012	89
2013	87
2014	86
2015	84
2016	83
2017	81
2018	79
2019	78
2020	76

Tabella 3. 5 Andamento dei valori del FE di CO_2 per il periodo 2010-2020 in Italia del parco circolante dei motocicli.

3.5 Conclusioni

Sulla base dell'andamento medio dei fattori di emissione del parco circolante per il periodo 1990-2009 è stata determinata la proiezione dei fattori di emissione medi di CO_2 per il periodo 2010-2020.

Nella grafico 3.12 si mostrano l'insieme delle proiezioni di tutte le categorie veicolari prese in considerazione e nella tabella 3.6 si mostra la variazione percentuale e la differenza in base alle fasce temporali considerate.

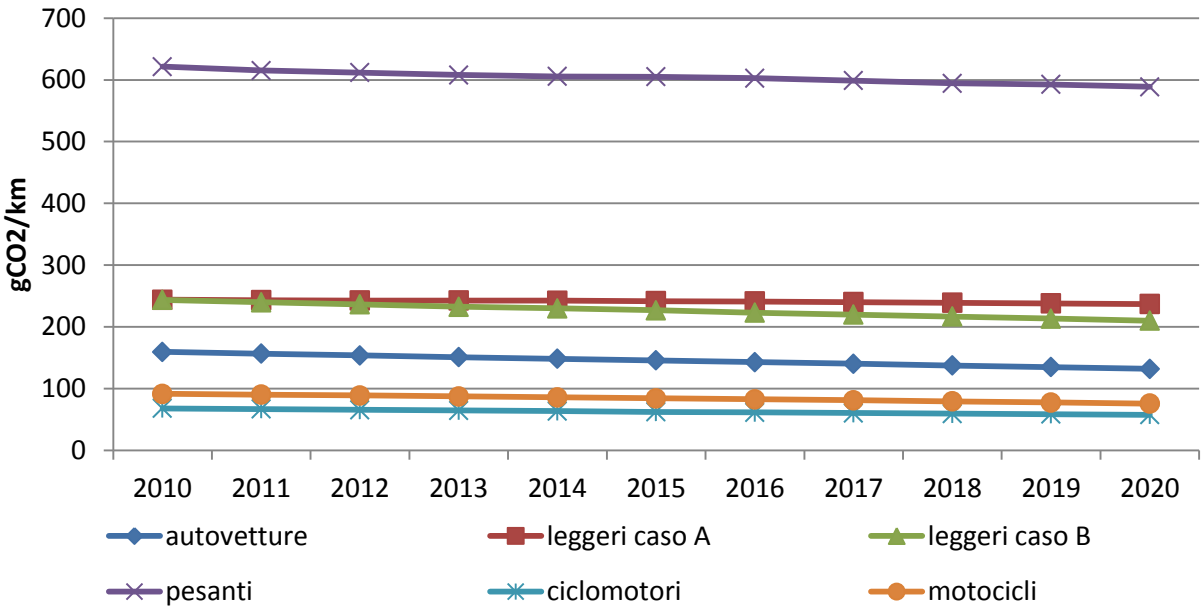

Figura 3. 12 Andamento del fattore di emissione della CO_2 per il periodo 2010-2020 per tutte le categorie veicolari prese in considerazione.

	anno	FE [gCO_2/km]	differenza [gCO_2/km]	differenza [%]
autovetture	**2009**	183	-51	-27,87
	2020	132		
veicoli leggeri (caso A)	**2009**	245	-8	-3,27
	2020	237		
veicoli leggeri (caso B)	**2009**	245	-35	-14,29
	2020	210		
veicoli pesanti	**2009**	622	-33	-5,31
	2020	589		
ciclomotori	**2009**	68	-10	-14,71
	2020	58		
motocicli	**2009**	94	-18	-19,15
	2020	76		

Tabella 3. 6 Fattori di emissione degli anni 2009 e 2020, differenza in gCO_2/km e differenza percentuale.

4. FATTORI DI EMISSIONE DI CO_2 DEI VEICOLI IMMATRICOLATI IN LOMBARDIA

I dati relativi ai veicoli immatricolati in Lombardia e paganti la tassa di circolazione sono stati forniti da LISPA, Lombardia Informatica s. p. a, società di servizi soggetta a direzione e coordinamento di Regione Lombardia.

Sono stati utilizzati i soli dati di categoria veicolare, fattore di emissione, peso, cilindrata, tipo di combustibile, anno di immatricolazione, categoria EURO di appartenenza.

Oltre ai veicoli considerati nel presente lavoro (autovetture, veicoli commerciali leggeri, veicoli pesanti, motocicli) nel database LISPA vi sono autocaravan, veicoli per trasporto promiscuo o speciale e altri immatricolati.

Visionando il database si prende atto che i dati contengono numerosi valori non validi, per esempio, il fattore di emissione della CO_2 varia da 0 a 9999 gCO_2/km e la cilindrata va da 0 a 10001 cm^3.

Come primo passo è stata effettuata la validazione dei dati.

4.1 Validazione dei dati

In base alla valutazione dei dati riportati nel database LISPA si nota che molti non sono congruenti con valori reali; ciò potrebbero essere dovuto a una sbagliata gestione dei dati durante la manipolazione. Poiché vi è una quarta cifra, si suppone che sia dovuta a degli errori sulla gestione delle cifre decimali. Si ipotizza, quindi, che i valori con quattro cifre in realtà contengano una cifra in più. Seguendo questo criterio si effettua la validazione dei dati per le autovetture, i veicoli leggeri, i veicoli pesanti e i motocicli. I ciclomotori non sono presenti in questi dati in quanto non ancora soggetti a tassa di circolazione.

4.1.1 Autovetture

Per quanto riguarda le autovetture i dati sono stati suddivisi in base alle seguenti categorie del fattore di emissione della CO_2:

- fattore di emissione non definito,
- fattore di emissione pari a 0 gCO_2/km,
- fattore di emissione compreso tra 1 gCO_2/km e 87 gCO_2/km, in quanto giudicati troppo bassi per delle autovetture;

- fattori di emissione compreso fra 88 gCO_2/km e 340 gCO_2/km, intervallo dei fattori di emissione reali delle autovetture dalle piccole alle grandi cilindrate;
- fattori di emissione compreso fra 341 gCO_2/km e 880 gCO_2/km, perché troppo alti per corrispondere a fattori di emissione di autovetture e, se avessero una cifra in più, sarebbero viceversa troppo bassi in quanto compresi nella fascia con fattore di emissione minore di 88 gCO_2/km;
- fattori di emissione maggiori di 880 gCO_2/km che potrebbero essere dei valori reali eliminando l'ultima cifra in quanto rientrerebbero nella fascia 88-340 gCO_2/km.

Sono state inoltre considerate le seguenti categorie di cilindrata: ND, da 0 a 50 cm^3, da 51 a 125 cm^3, da 126 a 250 cm^3, da 251 a 750 cm^3, da 750 a 1000 cm^3, da 1001 a 1200 cm^3, da 1201 a 1400 cm^3, da 1401 a 2000 cm^3, da 2001 a 3000 cm^3, da 3001 a 4000 cm^3, da 4001 a 5000 cm^3, da 5001 a 10000 cm^3, sopra i 10001 cm^3.
In relazione ai dati suddivisi per cilindrata e per fasce del fattore di emissione come sopra definito, nella tabella 4.1 si riportano il numero dei veicoli corrispondenti.

		Fascia di cilindrata [cm^3]				
		ND	**da 0 a 50**	**da 51 a 125**	**da 126 a 250**	**da 251 a 750**
FE [gCO_2/km]	**celle vuote**	18	3	2	27	40.213
	0	824	35	203	105	46.149
	tra 1 e 87	1	3	7	6	84
	tra 88 e 340	26	1	18	13	384
	tra 341 e 880	0	0	0	0	11
	tra 881 e 3400	15	10	8	6	31.434
	>3400	0	0	0	0	5
	Totale	884	52	238	157	118.280
		da 750 a 1000	**da 1001 a 1200**	**da 1201 a 1400**	**da 1401 a 2000**	**da 2001 a 3000**
FE [gCO_2/km]	**celle vuote**	49.475	49.871	62.997	121.698	24.856
	0	322.517	387.533	515.280	799.410	99.474
	tra 1 e 87	273	322	753	1.026	168
	tra 88 e 340	4.021	4.220	19.559	35.517	6.321
	tra 341 e 880	2.610	191	120	140	30
	tra 881 e 3400	335.082	474.132	1.477.778	2.054.584	466.244
	>3400	117	13	41	51	21
	Totale	714.095	916.282	2.076.528	3.012.426	597.114

		da 3001 a 4000	da 4001 a 5000	da 5001 a 10000	sopra i 10001	Totale complessivo
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	2.607	1.079	377	1	353.224
	0	17.016	6.713	4.265	42	2.199.566
	tra 1 e 87	19	10	6	5	2.683
	tra 88 e 340	697	255	67	30	71.129
	tra **341 e 880**	19	98	35	0	3.254
	tra 881 e 3400	45.935	12.519	2.626	12	4.900.385
	>3400	1.142	8.176	2.428	0	11.994
	Totale	67.435	28.850	9.804	90	7.542.235

Tabella 4. 1 Numero di autovetture in base alla cilindrata e al fattore di emissione della CO_2.

Stimata la percentuale del numero di autovetture rispetto al numero totale, si considerano significativi i valori delle singole categorie legati a una percentuale almeno dell'1% dei dati, in quanto le percentuali inferiori all'unità sono considerate troppo piccole e poco significative, poiché contengono un numero di vetture trascurabile che ricopre meno del 7% del totale dei dati disponibili. I valori percentuali validi sono quelli evidenziati in tabella 4.2.

		Fascia di cilindrata [cm^3]				
		ND	**da 0 a 50**	**da 51 a 125**	**da 126 a 250**	**da 251 a 750**
FE [gCO_2/km]	**celle vuote**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53
	0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,61
	tra 1 e 87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 88 e 340	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	tra 341 e 880	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 881 e 3400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42
	>3400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Totale	0,01	0,00	0,00	0,00	1,57
		da 750 a 1000	**da 1001 a 1200**	**da 1201 a 1400**	**da 1401 a 2000**	**da 2001 a 3000**
FE [gCO_2/km]	**celle vuote**	0,66	0,66	0,84	1,61	0,33
	0	4,28	5,14	6,83	10,60	1,32
	tra 1 e 87	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
	tra 88 e 340	0,05	0,06	0,26	0,47	0,08
	tra 341 e 880	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 881 e 3400	4,44	6,29	19,59	27,24	6,18
	>3400	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Totale	9,47	12,15	27,53	39,94	7,92

		da 3001 a 4000	da 4001 a 5000	da 5001 a 10000	sopra i 10001	Totale complessivo
gCO_2/km	celle vuote	0,03	0,01	0,00	0,00	4,68
	0	0,23	0,09	0,06	0,00	29,16
	tra 1 e 87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
	tra 88 e 340	0,01	0,00	0,00	0,00	0,94
	tra 341 e 880	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
	tra 881 e 3400	0,61	0,17	0,03	0,00	64,97
	>3400	0,02	0,11	0,03	0,00	0,16
	Totale	0,89	0,38	0,13	0,00	100,00

Tabella 4. 2 Valori percentuali del numero di autovetture rispetto al totale.

Il numero delle autovetture corrispondenti alle percentuali evidenziate nella tabella 4.2 sono riportati nella tabella 4.3.

		Fascia di cilindrata [cm^3]					
		da 750 a 1000	da 1001 a 1200	da 1201 a 1400	da 1401 a 2000	da 2001 a 3000	Totale
FE [gCO_2/km]	celle vuote	-	-	-	1,61	-	1,61
	0	4,28	5,14	6,83	10,60	1,32	28,16
	tra 881 e 3400	4,44	6,29	19,59	27,24	6,18	63,75
	Totale	8,72	11,42	26,43	39,45	7,50	93,52

Tabella 4. 3 Riassunto delle percentuali tenute in considerazione e somma percentuale totale.

		Fascia di cilindrata [cm^3]					
		da 750 a 1000	da 1001 a 1200	da 1201 a 1400	da 1401 a 2000	da 2001 a 3000	Totale
FE [gCO_2/km]	celle vuote	-	-	-	121.698	-	121.698
	0	322.517	387.533	515.280	799.410	99.474	2.124.214
	tra 881 e 3400	335.082	474.132	1.477.778	2.054.584	466.244	4.807.820
	Totale	657.599	861.665	1.993.058	2.975.692	565.718	7.053.732

Tabella 4. 4 Numero di autovetture considerate valide nel database.

Vengono considerati validi il 93,52% dei valori delle autovetture che corrispondono a un totale di 7.053.732 autovetture. Il 28,16% di questi dati hanno un fattore di emissione indicato con 0, il che fa pensare che è possibile che corrispondano a vecchie immatricolazioni, cioè antecedenti agli anni di obbligo di indicazione del fattore di emissione di CO_2 sul libretto dell'auto (DPR 17 febbraio 2003). La restante parte, che corrisponde al 63,75%, definisce valori del fattore di emissione compresi fra 880 gCO_2/km e 3400 gCO_2/km; tali valori troppo alti non possono

corrispondere a nessun tipo di autovettura, ma eliminando l'ultima cifra rientrerebbero nella fascia 88 - 340 gCO_2/km. A tal proposito per le stime del fattore di emissione è stata eliminata l'ultima cifra di tali dati. Una piccola percentuale pari a 1,61% è di celle vuote, cioè non è definito nessun valore per il fattore di emissione. Per questi veicoli è stata fatta un'ulteriore validazione considerando solo le auto con massa compresa fra i 900 e 3200 kg e le categorie Euro di appartenenza coerenti con l'anno di immatricolazione (per esempio sono state eliminate auto immatricolate nel 1944 e segnalate come EURO 3). Il numero effettivo di dati validi è riportato nella tabella 4.16.

4.1.2 Veicoli leggeri

Nel database LISPA non è presente un'unica suddivisione in veicoli commerciali leggeri e veicoli pesanti, ma la suddivisione è più articolata in quanto sono presenti autocarri, autobus e pullman, trattori per rimorchi e semirimorchi; considerando l'unione di queste tre categorie veicolari si considera la suddivisione in base alla massa (come per il database ACI), considerando leggeri i veicoli con massa inferiore o uguale a 3,5 t e pesanti quelli con massa superiore a 3,5 t.

I criteri ritenuti validi per la discriminazione in base al fattore di emissione sono:

- fattore di emissione non definito,
- fattore di emissione pari a 0 gCO_2/km,
- fattore di emissione compreso tra 1 gCO_2/km e 100 gCO_2/km, in quanto giudicati troppo piccoli per tali veicoli;
- fattore di emissione compreso fra 101 gCO_2/km e 500 gCO_2/km che ricopre l'intervallo attendibile per tali veicoli;
- fattore di emissione compreso fra 501 gCO_2/km e 1000 gCO_2/km, perché troppo alti per corrispondere a fattori di emissione di veicoli leggeri e che eliminando l'ultima cifra sarebbero viceversa troppo bassi in quanto compresi nella fascia con fattore di emissione inferiore a 100 gCO_2/km;
- fattore di emissione compreso fra 1001 gCO_2/km e 4000 gCO_2/km che potrebbero essere dei valori reali eliminando l'ultima cifra in quanto rientrerebbero nella fascia 100-500 gCO_2/km;
- fattori di emissione maggiori di 4000 gCO_2/km che sono giudicati troppo alti per questa tipologia veicolare.

Le fasce di cilindrata sono analoghe a quelle delle autovetture viste nel paragrafo 4.1.1.

		Fascia di cilindrata [cm^3]				
		ND	**da 0 a 50**	**da 51 a 125**	**da 126 a 250**	**da 251 a 750**
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	0	0	0	0	0
	0	539	9	21	32	262
	tra 1 e 100	4	1	1	0	4
	tra 101 e 500	7	0	1	2	3
	tra 501 e 1000	0	0	0	0	0
	tra 1001 e 4000	1	0	0	1	2
	>4000	0	0	0	0	0
	Totale	551	10	23	35	271
		da 750 a 1000	**da 1001 a 1200**	**da 1201 a 1400**	**da 1401 a 2000**	**da 2001 a 3000**
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	0	0	0	0	0
	0	12.280	7.695	22.417	188.221	297.078
	tra 1 e 100	9	13	31	174	374
	tra 101 e 500	17	31	759	1.182	1.628
	tra 501 e 1000	2	1	4	16	22
	tra 1001 e 4000	54	2.626	42.766	54.647	59.824
	>4000	0	0	3	2	134
	Totale	12.362	10.366	65.980	244.242	359.060
		da 3001 a 4000	**da 4001 a 5000**	**da 5001 a 10000**	**sopra i 10001**	**Totale complessivo**
FE CO_2[gCO_2/km]	**celle vuote**	0	0	0	0	0
	0	7.185	547	1.308	21	537.615
	tra 1 e 100	18	3	1	2	635
	tra 101 e 500	65	5	5	4	3.709
	tra 501 e 1000	0	0	0	0	45
	tra 1001 e 4000	2.044	200	29	0	162.194
	>4000	0	0	0	0	139
	Totale	9.312	755	1.343	27	704.337

Tabella 4. 5 Numero di veicoli leggeri in base alla cilindrata e al fattore di emissione di CO_2.

		Fascia di cilindrata [cm^3]				
		ND	**da 0 a 50**	**da 51 a 125**	**da 126 a 250**	**da 251 a 750**
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0	0,08	0,00	0,00	0,00	0,04
	tra 1 e 100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 101 e 500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 501 e 1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 1001 e 4000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	>4000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Totale	0,08	0,00	0,00	0,00	0,04
		da 750 a 1000	**da 1001 a 1200**	**da 1201 a 1400**	**da 1401 a 2000**	**da 2001 a 3000**
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0	1,74	1,09	3,18	26,72	42,18
	tra 1 e 100	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05
	tra 101 e 500	0,00	0,00	0,11	0,17	0,23
	tra 501 e 1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 1001 e 4000	0,01	0,37	6,07	7,76	8,49
	>4000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	Totale	1,76	1,47	9,37	34,68	50,98
		da 3001 a 4000	**da 4001 a 5000**	**da 5001 a 10000**	**sopra i 10001**	**Totale complessivo**
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0	1,02	0,08	0,19	0,00	76,33
	tra 1 e 100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
	tra 101 e 500	0,01	0,00	0,00	0,00	0,53
	tra 501 e 1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
	tra 1001 e 4000	0,29	0,03	0,00	0,00	23,03
	>4000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	Totale	1,32	0,11	0,19	0,00	100,00

Tabella 4. 6 Valori percentuali del numero di veicoli leggeri rispetto al totale.

Anche in questo caso come si vede nella tabella 4.6, si considerano validi i valori con almeno l'1% dei dati in quanto il numero dei veicoli compreso nelle fasce non corrispondenti a questa percentuale è molto esiguo e corrispondente a meno del 2% del totale dei veicoli.

		Fascia di cilindrata [cm^3]						
		da 750 a 1000	**da 1001 a 1200**	**da 1201 a 1400**	**da 1401 a 2000**	**da 2001 a 3000**	**da 3001 a 4000**	**totale**
FE [gCO_2/km]	**0**	1,74	1,09	3,18	26,72	42,18	1,02	75,94
	tra 1001 e 4000	-	-	6,07	7,76	8,49	-	22,32
	totale	1,74	1,09	9,25	34,48	50,67	1,02	98,26

Tabella 4. 7 Riassunto delle percentuali tenute in considerazione e somma percentuale totale.

		Fascia di cilindrata [cm^3]						
		da 750 a 1000	**da 1001 a 1200**	**da 1201 a 1400**	**da 1401 a 2000**	**da 2001 a 3000**	**da 3001 a 4000**	**totale**
FE [gCO_2/km]	**0**	12.280	7.695	22.417	188.221	297.078	7.185	534.876
	tra 1001 e 4000	-	-	42.766	54.647	59.824	-	157.237
	totale	12.280	7.695	65.183	242.868	356.902	7.185	692.113

Tabella 4. 8 Numero dei veicoli leggeri considerati validi nel database.

Vengono considerati validi il 98,26% dei valori dei veicoli leggeri che corrispondono a un totale di 692.113 veicoli. Il 75,94% di questi dati hanno un fattore di emissione indicato con 0 gCO_2/km, corrispondente a vecchie immatricolazioni, cioè antecedenti agli anni di obbligo di indicazione del fattore di emissione di CO_2 sul libretto del veicolo. La restante parte che ricopre una percentuale minore pari a 22,32% definisce valori del fattore di emissione compresi fra 1001 gCO_2/km e 4000 gCO_2/km; tale valore troppo alto non può corrispondere a nessun tipo di veicolo leggero; eliminando l'ultima cifra la fascia del fattore di emissione andrebbe da 100 gCO_2/km a 400 gCO_2/km, valori attinenti a quelli reali per i veicoli leggeri.

4.1.3 Veicoli pesanti

Per veicoli pesanti si considerano l'insieme di autocarri, autobus e pullman, trattori per rimorchi e semirimorchi di massa superiore a 3,5 t.

Riguardo i veicoli pesanti le fasce considerate hanno dei limiti maggiori di quelli considerati per i veicoli leggeri:

- tra 1 gCO_2/km e 200 gCO_2/km sono i fattori di emissione che non vengono considerati attendibili perché troppo bassi;
- tra 201 gCO_2/km e 700 gCO_2/km sono quelli considerati validi per questa tipologia veicolare;

- tra 701 gCO_2/km e 2000 gCO_2/km troppo alti per corrispondere a fattori di emissione di veicoli pesanti e togliendo l'ultima cifra sarebbero troppo bassi in quanto rientrerebbero nella fascia inferiore a 200 gCO_2/km;
- tra 2001 gCO_2/km e 7000 gCO_2/km potrebbero essere dei valori reali eliminando l'ultima cifra;
- maggiore di 7000 gCO_2/km sarebbero troppo alti.

		Fascia di cilindrata [cm^3]				
		ND	**da 0 a 50**	**da 51 a 125**	**da 126 a 250**	**da 251 a 750**
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	0	0	0	0	0
	0	278	2	6	2	2
	tra 1 e 200	4	0	1	0	0
	tra 201 e 700	0	0	0	0	0
	tra 701 e 2000	1	0	0	0	0
	tra 2001 e 7000	1	0	0	0	0
	>7000	0	0	0	0	0
	Totale	**284**	**2**	**7**	**2**	**2**
		da 750 a 1000	**da 1001 a 1200**	**da 1201 a 1400**	**da 1401 a 2000**	**da 2001 a 3000**
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	0	0	0	0	0
	0	7	206	316	132	8.838
	tra 1 e 200	0	2	2	6	48
	tra 201 e 700	0	2	0	3	30
	tra 701 e 2000	0	1	1	4	3
	tra 2001 e 7000	0	1	1	0	277
	>7000	0	0	0	0	6
	Totale	**7**	**212**	**320**	**145**	**9.202**
		da 3001 a 4000	**da 4001 a 5000**	**da 5001 a 10000**	**sopra i 10001**	**Totale complessivo**
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	0	0	0	0	0
	0	6.919	7.546	49.416	84.940	158.610
	tra 1 e 200	49	37	234	544	927
	tra 201 e 700	5	9	65	181	295
	tra 701 e 2000	5	6	58	171	250
	tra 2001 e 7000	12	1	19	30	342
	>7000	0	0	0	1	7
	Totale	**6.990**	**7.599**	**49.792**	**85.867**	**160.431**

Tabella 4. 9 Numero di veicoli pesanti in base alla cilindrata e al fattore di emissione di CO_2.

		Fascia di cilindrata [cm^3]				
		ND	**da 0 a 50**	**da 51 a 125**	**da 126 a 250**	**da 251 a 750**
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 1 e 200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 201 e 700	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 700 e 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 2001 e 7000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	>7000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Totale	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00
		da 750 a 1000	**da 1001 a 1200**	**da 1201 a 1400**	**da 1401 a 2000**	**da 2001 a 3000**
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0	0,00	0,13	0,20	0,08	5,51
	tra 1 e 200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
	tra 201 e 700	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	tra 700 e 2000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 2001 e 7000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
	>7000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Totale	0,00	0,13	0,20	0,09	5,74
		da 3001 a 4000	**da 4001 a 5000**	**da 5001 a 10000**	**sopra i 10001**	**Totale complessivo**
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	0	4,31	4,70	30,80	52,94	98,86
	tra 1 e 200	0,03	0,02	0,15	0,34	0,58
	tra 201 e 700	0,00	0,01	0,04	0,11	0,18
	tra 701 e 2000	0,00	0,00	0,04	0,11	0,16
	tra 2001 e 7000	0,01	0,00	0,01	0,02	0,21
	>7000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Totale	4,36	4,74	31,04	53,52	100,00

Tabella 4. 10 Valori percentuali del numero di veicoli pesanti rispetto al totale.

Come è evidenziato nella tabella 4.10 la percentuale almeno pari all'1% si riscontra solo per i fattori di emissione pari a 0 gCO_2/km e per le cilindrate che superano i 2000 cm^3. Il fatto che il fattore di emissione sia considerato pari a 0 gCO_2/km può essere sempre ricondotto al fatto che non vi è normativa riguardo alle emissioni dei veicoli pesanti ma il fatto che vi sia una percentuale di veicoli pari a 52,94% con una cilindrata superiore a 10000 cm^3 appare molto poco realistico. I veicoli pesanti non vengono quindi considerati nelle proiezioni al 2020.

	Fascia di cilindrata [cm^3]					
	da 2001 a 3000	**da 3001 a 4000**	**da 4001 a 5000**	**da 5001 a 10000**	**sopra i 10001**	**totale**
%	5,51	4,31	4,70	30,80	52,94	98,27
n° veicoli	8.838	6.919	7.546	49.416	84.940	157.659

Tabella 4. 11 Percentuale e numero di veicoli pesanti con fattore di emissione pari a 0 gCO_2/km.

4.1.4 Motocicli

Per quanto riguarda i motocicli sono dapprima eliminati tutti i veicoli che corrispondono alla fascia peso superiore a 3,5 t.

La suddivisione delle fasce di fattore di emissione è stata fatta considerando che un motociclo non supera in genere 100 gCO_2/km. Le fasce del fattore di emissione di CO2 e di cilindrata sono riportate nella tabella 4.12.

		Fascia di cilindrata [cm^3]				
		ND	**da 0 a 50**	**da 51 a 125**	**da 126 a 250**	**da 251 a 750**
FE [gCO_2/km]	**celle vuote**	6	225	21.230	10.485	16.818
	0	520	380	224.971	243.791	392.715
	tra 1 e 50	0	1	179	216	303
	tra 51 e 100	0	0	128	168	235
	tra 101 e 500	0	1	165	184	323
	tra 501 e 1000	0	0	10	9	17
	>1000	0	0	20	28	53
	Totale	**526**	**607**	**246.703**	**254.881**	**410.464**
		da 750 a 1000	**da 1001 a 1200**	**da 1201 a 1400**	**da 1401 a 2000**	**da 2001 a 3000**
FE [gCO_2/km]	**celle vuote**	2.812	1.210	136	36	5
	0	99.177	49.503	10.520	9.715	228
	tra 1 e 50	91	47	11	12	2
	tra 51 e 100	65	52	7	4	0
	tra 101 e 500	113	52	27	13	3
	tra 501 e 1000	3	3	2	1	0
	>1000	15	6	6	18	3
	Totale	**102.276**	**50.873**	**10.709**	**9.799**	**241**
		da 3001 a 4000	**da 4001 a 5000**	**da 5001 a 10000**	**sopra i 10001**	**Totale complessivo**
gCO_2/km	**celle vuote**	2	0	1	9	52.975
	0	4	5	6	18	1.031.553
	tra 1 e 50	0	0	0	0	862

	tra 51 e 100	1	0	0	1	661
	tra 101 e 500	0	0	0	0	881
	tra 501 e 1000	0	0	0	0	45
	>1000	0	0	0	0	149
	Totale	**7**	**5**	**7**	**28**	**1.087.126**

Tabella 4. 12 Numero di motocicli in base alla cilindrata e al fattore di emissione di CO_2.

		Fascia di cilindrata [cm^3]				
		ND	**da 0 a 50**	**da 51 a 125**	**da 126 a 250**	**da 251 a 750**
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	0,00	0,02	1,95	0,96	1,55
	0	0,05	0,03	20,69	22,43	36,12
	tra 1 e 50	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03
	tra 51 e 100	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
	tra 101 e 500	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03
	tra 500 e 1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	>1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Totale	**0,05**	**0,06**	**22,69**	**23,45**	**37,76**
		da 750 a 1000	**da 1001 a 1200**	**da 1201 a 1400**	**da 1401 a 2000**	**da 2001 a 3000**
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	0,26	0,11	0,01	0,00	0,00
	0	9,12	4,55	0,97	0,89	0,02
	tra 1 e 50	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 51 e 100	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 101 e 500	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	tra 501 e 1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	>1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Totale	**9,41**	**4,68**	**0,99**	**0,90**	**0,02**
		da 3001 a 4000	**da 4001 a 5000**	**da 5001 a 10000**	**sopra i 10001**	**Totale complessivo**
FE CO_2 [gCO_2/km]	**celle vuote**	0,00	0,00	0,00	0,00	**4,87**
	0	0,00	0,00	0,00	0,00	**94,89**
	tra 1 e 50	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,08**
	tra 51 e 100	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,06**
	tra 101 e 500	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,08**
	tra 501 e 1000	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,00**
	>1000	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,01**
	Totale	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**100,00**

Tabella 4. 13 Valori percentuali del numero di motocicli rispetto al totale.

	Fascia di cilindrata [cm^3]					
	da 51 a 125	**da 126 a 250**	**da 251 a 750**	**da 750 a 1000**	**da 1001 a 1200**	**totale**
celle vuote	1,95	-	1,55	-	-	3,50
0 gCO_2/km	20,69	22,43	36,12	9,12	4,55	92,92
totale	22,65	22,43	37,67	9,12	4,55	96,42

Tabella 4. 14 Tabella riassuntiva della percentuale di motocicli considerati dati validi.

	Fascia di cilindrata [cm^3]					
	da 51 a 125	**da 126 a 250**	**da 251 a 750**	**da 750 a 1000**	**da 1001 a 1200**	**totale**
celle vuote	21.230	-	16.818	-	-	38.048
0 gCO_2/km	224.971	243.791	392.715	99.177	49.503	1.010.157
totale	246.201	243.791	409.533	99.177	49.503	1.048.205

Tabella 4. 15 Tabella riassuntiva del numero di motocicli considerati dati validi.

I motocicli hanno una cilindrata superiore a 50 cm^3 e ciò rispecchia i valori percentuali della tabella 4.13 che riporta una percentuale totale con cilindrata minore a 50 cm^3 inferiore allo 0,11%.

4.1.5 Conclusioni

Un quadro riassuntivo dei dati considerati è mostrato nella tabella 4.16. Sono riportati il numero originale dei veicoli e quello utilizzato nelle successive valutazioni, che corrisponde al 61% e al 21% dei dati originali, rispettivamente per autovetture e veicoli leggeri. I dati eliminati riguardano quelli non coerenti con valori reali e con fattore di emissione pari a 0 gCO_2/km. Il numero di dati validi considera le fasce di fattore di emissione di CO_2, cilindrata e peso espresse nella tabella 4.16.

	n° veicoli originali	**n° veicoli validi**	**fascia FE valido [gCO_2/km]**	**fascia cilindrata valida [cm^3]**	**fascia peso [kg]**
autovetture	7.542.235	4.594.265	da 88 a 340	da 750 a 3000	da 900 a 3200
veicoli leggeri	704.337	150.541	da 100 a 400	da 1200 a 4000	da 1200 a 3500

Tabella 4. 16 Tabella riassuntiva dei dati elaborati.

Nelle figura da 4.1 a 4.3 si riporta, per il numero di autovetture e i veicoli leggeri validi utilizzati nelle successive elaborazioni, i valori medi della massa e della cilindrata rispetto all'anno di immatricolazione. I dati validi partono dall'anno 1997 per le autovetture e dal 1999 per i veicoli leggeri.

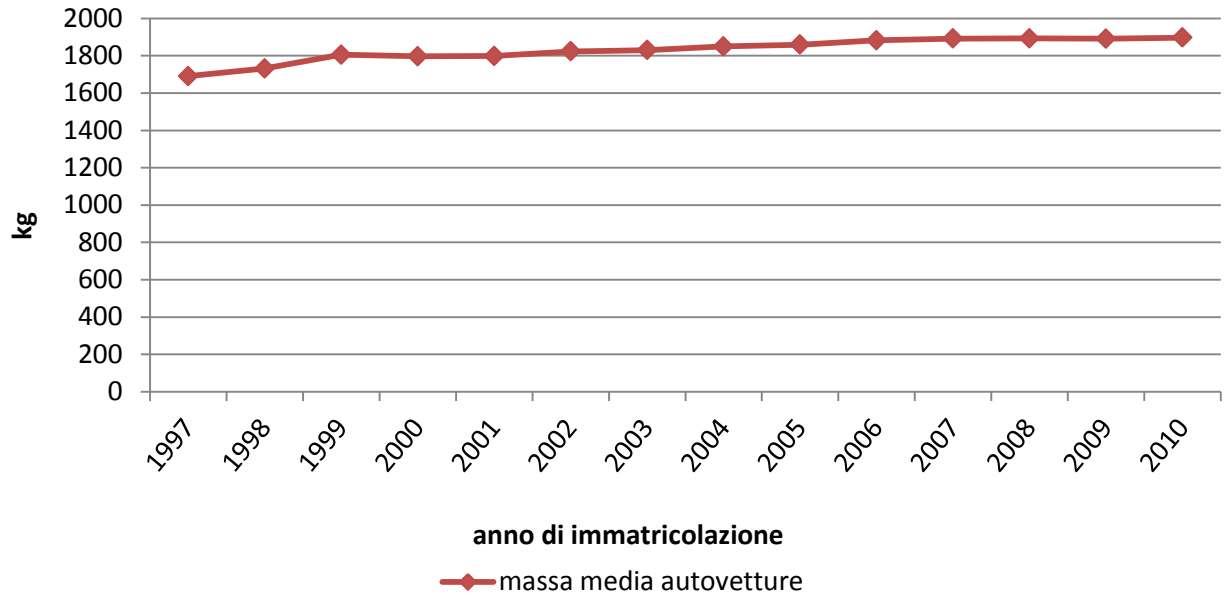

Figura 4. 1 Andamento della massa media delle autovetture nel periodo 1997-2010.

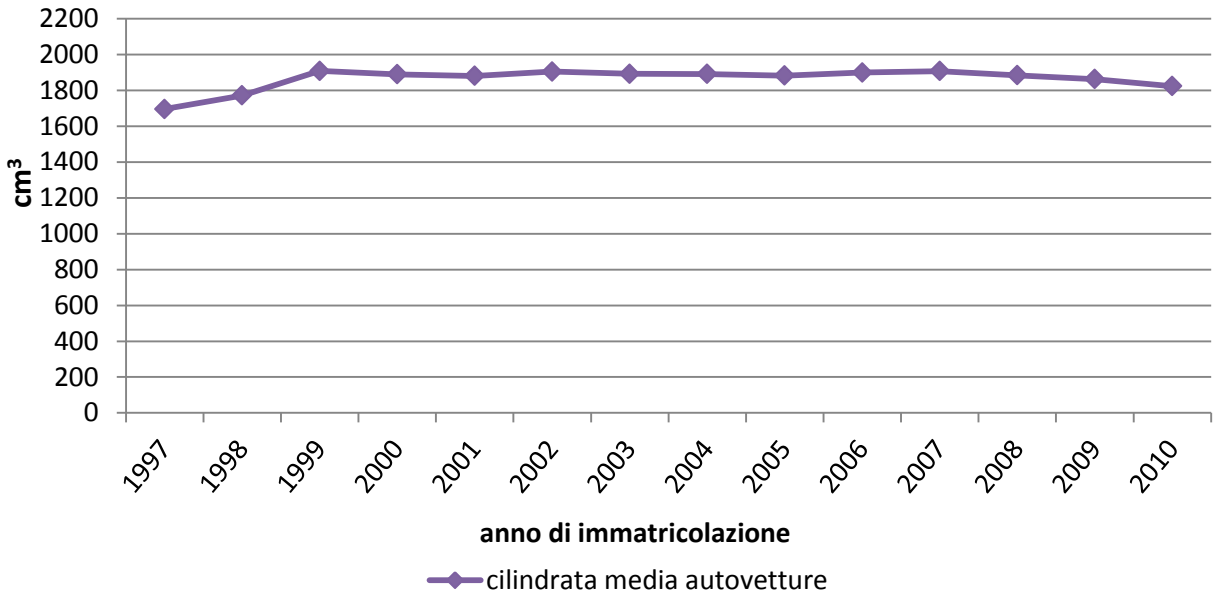

Figura 4. 2 Andamento della cilindrata media delle autovetture nel periodo 1997-2010.

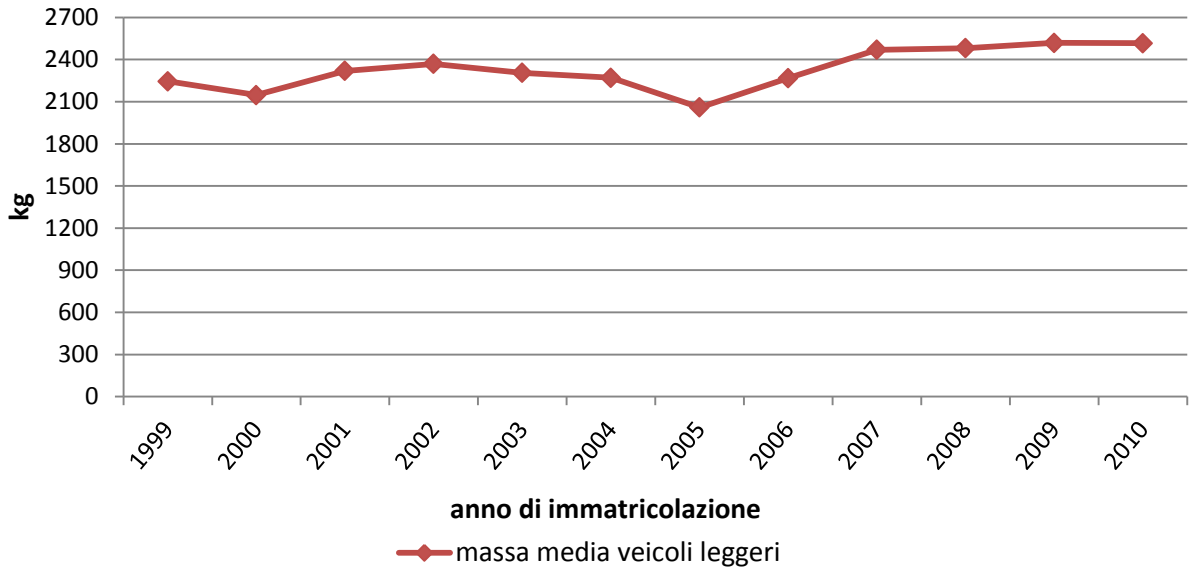

Figura 4. 3 Andamento della massa media dei veicoli leggeri nel periodo 1999-2010.

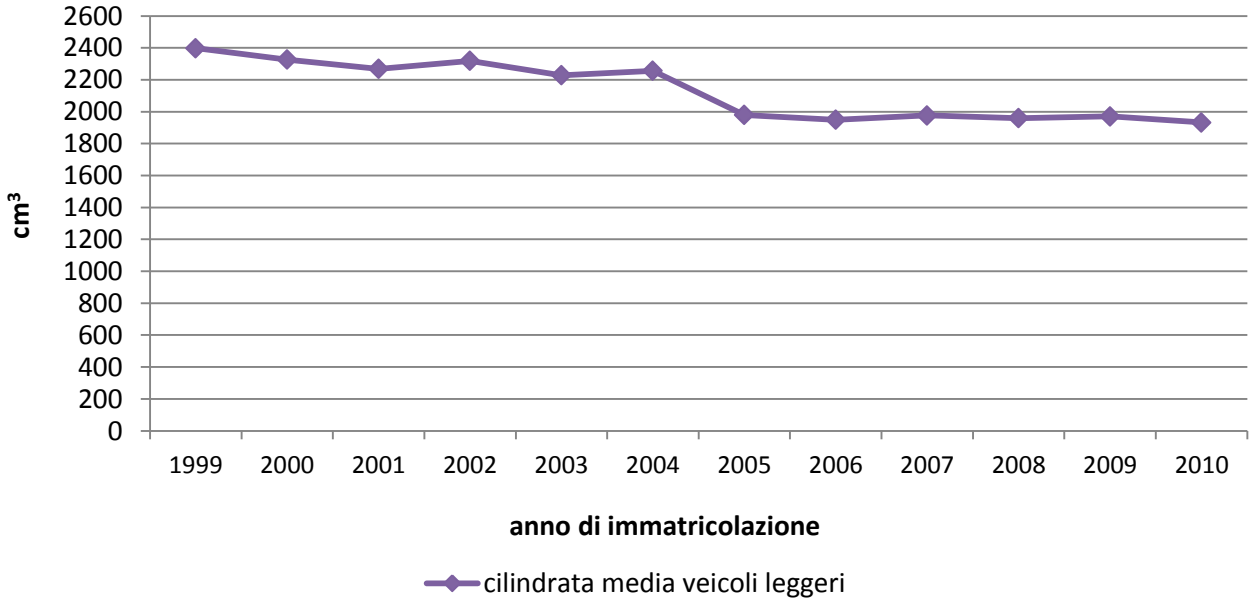

Figura 4. 4 Andamento della cilindrata media dei veicoli leggeri nel periodo 1999-2010.

5. STIMA DEI FATTORI DI EMISSIONE DI CO_2 DEI VEICOLI IMMATRICOLATI IN LOMBARDIA

Oggetto di questo capitolo è l'andamento dei fattori di emissione della CO_2 nella regione Lombardia per quanto riguarda le autovetture e i veicoli leggeri, facendo riferimento ai dati LISPA del parco immatricolato.

5.1 Autovetture

Tenuto conto delle vetture considerate nel capitolo 4, l'andamento del fattore di emissione di CO_2 per il periodo che va dal 1997 al 2010, e calcolato come media sul numero dei veicoli immatricolati, è mostrato nella figura 5.1 e i valori corrispondenti nella tabella 5.1.

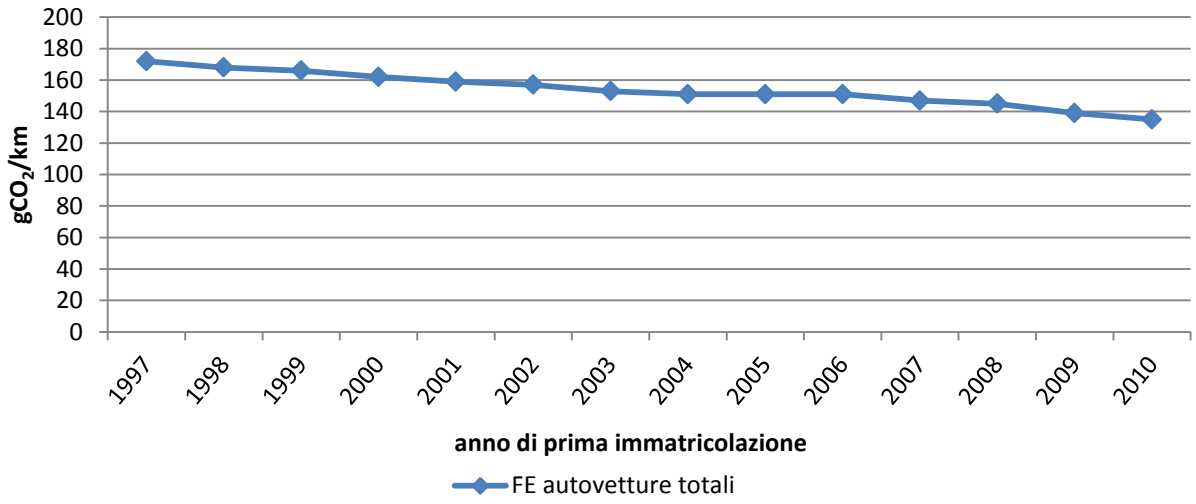

Figura 5. 1 Andamento del fattore di emissione della CO_2 dal totale delle autovetture immatricolate dal 1997 al 2010 in Lombardia.

	totale immatricolazioni	FE medio [gCO_2/km]	variazione % annua
1997	23.515	172	-
1998	52.237	168	-2,33
1999	143.929	166	-1,19
2000	345.135	162	-2,41
2001	387.883	159	-1,85
2002	377.052	157	-1,26
2003	387.480	153	-2,55

2004	411.523	151	-1,31
2005	411.636	151	0,00
2006	423.439	151	0,00
2007	467.661	147	-2,65
2008	385.746	145	-1,36
2009	412.181	139	-4,14
2010	344.617	135	-2,88

Tabella 5. 1 Fattore di emissione della CO_2 per le autovetture immatricolate dal 1997 al 2010 in Lombardia e variazione percentuale annua.

L'andamento del fattore di emissione di CO_2 è decrescente, tranne negli anni compresi fra il 2004 e il 2006 dove rimane costante. In questi anni a un aumento della massa media non corrisponde un altrettanto aumento della cilindrata media come visto nelle figure 4.1 e 4.2, quindi si pensa a un miglioramento della tecnologia costruttiva tale da non creare aumento nelle motorizzazioni.

5.1.1 Correlazioni statistiche

In questo paragrafo è valutata le correlazioni fra cilindrata, massa e fattore di emissione delle autovetture.

La prima correlazione effettuata che viene presentata nella figura 5.2, è fra il fattore di emissione della CO_2 e la massa del veicolo. La correlazione, come ci si aspetta, ha un andamento crescente, in quanto all'aumentare della massa cresce il consumo di combustibile a causa della maggiore forza di trascinamento necessaria al motore, e cresce di conseguenza l'emissione del veicolo.

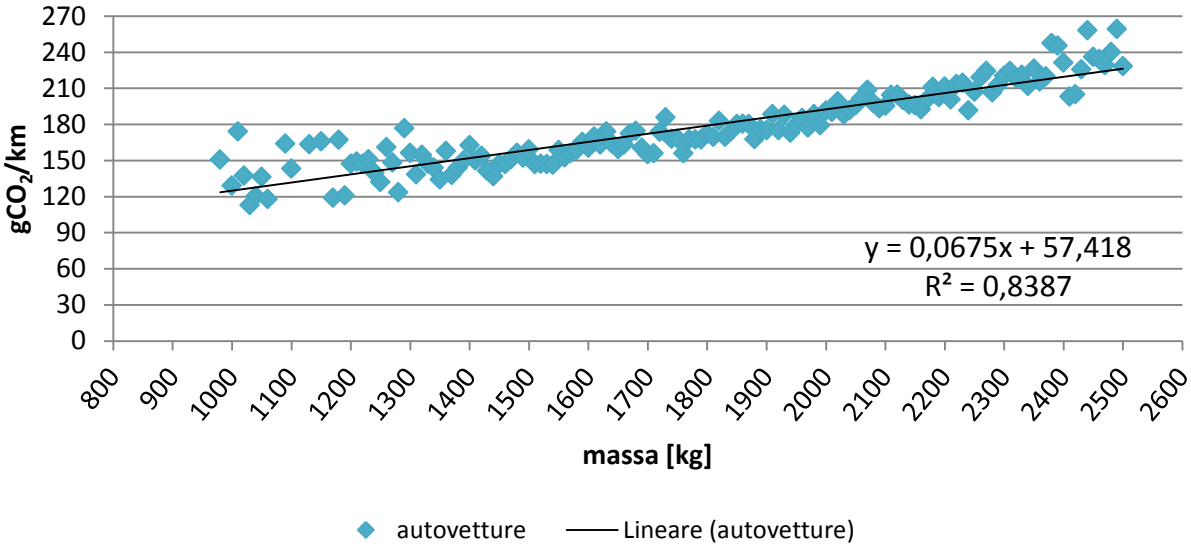

Figura 5. 2 Correlazione fra massa media e fattore di emissione della CO_2 per le autovetture nel periodo 1997-2010.

Come mostra la figura 5.2, la tendenza lineare è quella che meglio interpola i dati, anche se l'indice di correlazione non è molto alto a causa di alcuni valori che se ne discostano in maniera sostanziale. Lo stesso vale per la figura 5.3 che mostra la correlazione fra cilindrata media e fattore di emissione della CO_2, che anche se di tipo lineare, ha coefficiente di correlazione non molto alto.

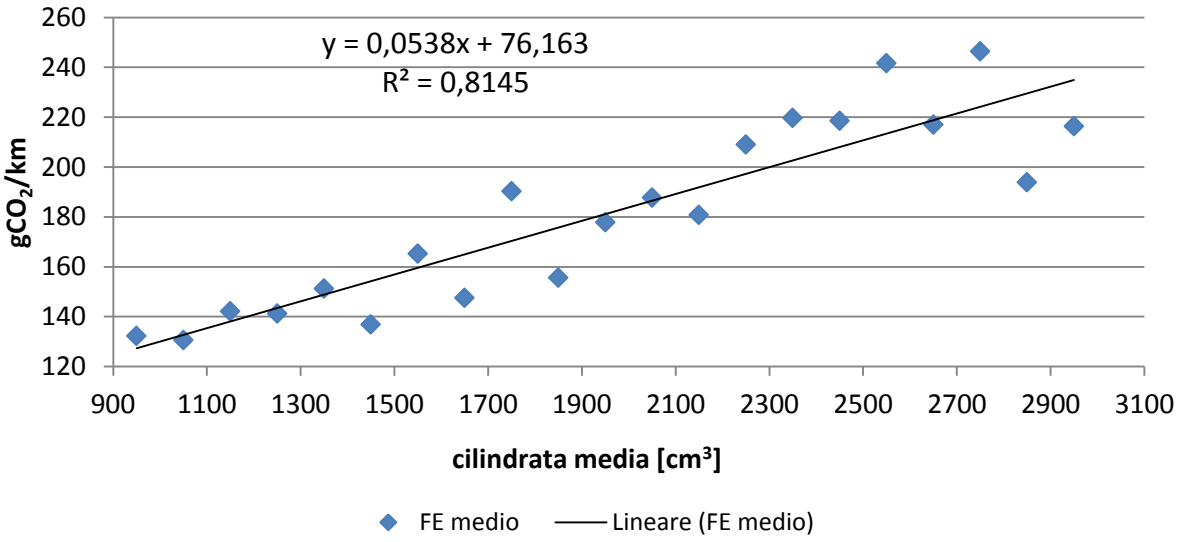

Figura 5. 3 Correlazione fra cilindrata media e fattore di emissione della CO_2 per le autovetture nel periodo 1997-2010.

Nella figura 5.4 si mostra la correlazione sempre fra la massa e il fattore di emissione ma considerando solo gli anni a partire dal 2007, anno di entrata in vigore della normativa, e si vede come una tendenza di tipo lineare interpoli molto bene i dati e come il fattore di emissione, sia decrescente con gli anni.

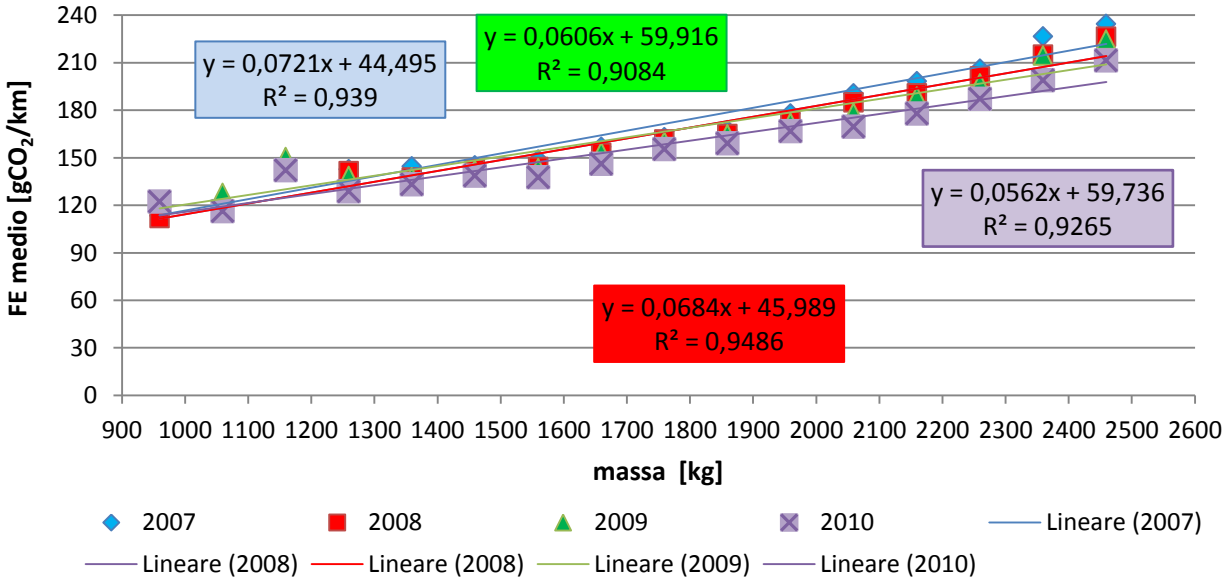

Figura 5. 4 Correlazione fra massa media e fattore di emissione medio delle autovetture per il periodo 2007-2010.

Si tiene in considerazione sempre il periodo 2007-2010 per mostrare la correlazione fra cilindrata e fattore di emissione della figura 5.5.

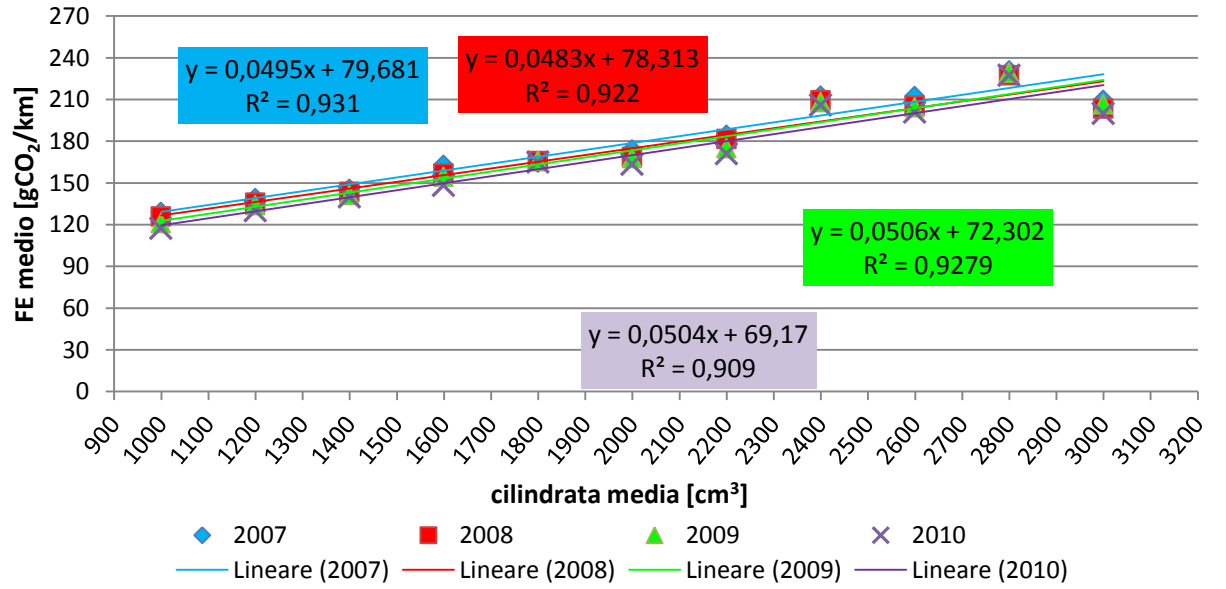

Figura 5. 5 Correlazione fra cilindrata media e fattore di emissione medio delle autovetture per il periodo 2007-2010.

Anche per la cilindrata la correlazione è ben rappresentata da un andamento di tipo lineare crescente.

5.2 Veicoli leggeri

Tenendo conto dei soli veicoli leggeri riassunti nella tabella 4.16, si valuta l'andamento nel periodo 1999-2010 dei fattori di emissione della CO_2. I valori per il periodo 1999 - 2010 sono riportati nella tabella 5.2 e il rispettivo andamento nel grafico 5.6.

	totale immatricolazioni	FE medio [gCO_2/km]	variazione % annua
1999	58	259	-
2000	102	238	-7,80
2001	2.018	225	-5,39
2002	3.263	222	-1,51
2003	2.457	206	-7,06
2004	4.615	208	0,87
2005	4.930	181	-13,03
2006	11.264	184	1,81
2007	27.094	193	4,49
2008	30.667	193	0,01
2009	30.809	194	0,61
2010	33.264	188	-2,78

Tabella 5. 2 Fattore di emissione della CO_2 per i veicoli leggeri immatricolati dal 1999 al 2010 in Lombardia e variazione percentuale annua.

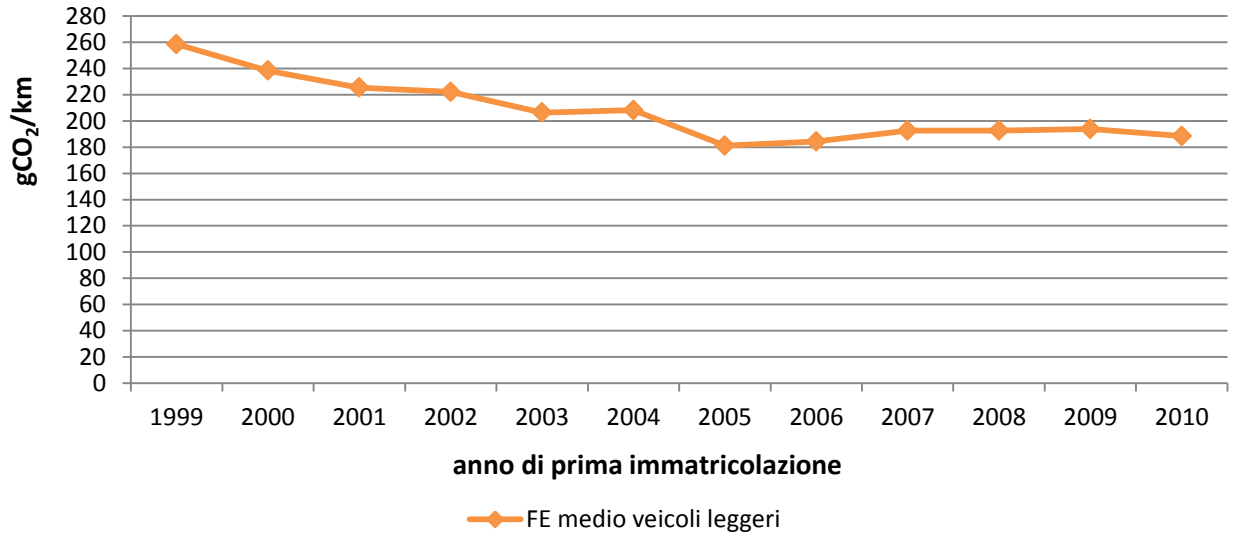

Figura 5. 6 Andamento del fattore di emissione della CO_2 dei veicoli leggeri immatricolati dal 1999 al 2010 in Lombardia.

Co si vede nel grafico 5.6, l'andamento che nei primi anni è nettamente decrescente, a partire dal 2002 inizia ad avere un andamento alquanto irregolare. L'andamento crescente dal 2006 al 2009 potrebbe essere spiegato dall'aumento del numero di immatricolazioni di veicoli con massa maggiore. Tale ipotesi è giustificata dall'aumento della massa negli anni dal 2005 al 2010 che si vede nella figura 4.3 anche se a ciò non corrisponde un'altrettanta variazione nell'aumento delle cilindrate (figura 4.4).

5.2.1 Correlazioni statistiche

La correlazione fra la massa e il fattore di emissione, come mostra la figura 5.7, è di tipo lineare. Anche se l'indice di correlazione non risulta essere molto alto, si nota come il fattore di emissione sia crescente con la massa. Risulta invece con un indice di correlazione maggiore la correlazione fra cilindrata e fattore di emissione della CO_2 mostrato nella figura 5.8. Considerando il periodo 2007-2010, per le stesse variabili, la correlazione è molto ben descritta da un andamento di tipo lineare in entrambi i casi, con massa e cilindrata, come si vede nelle figure 5.9 e 5.10.

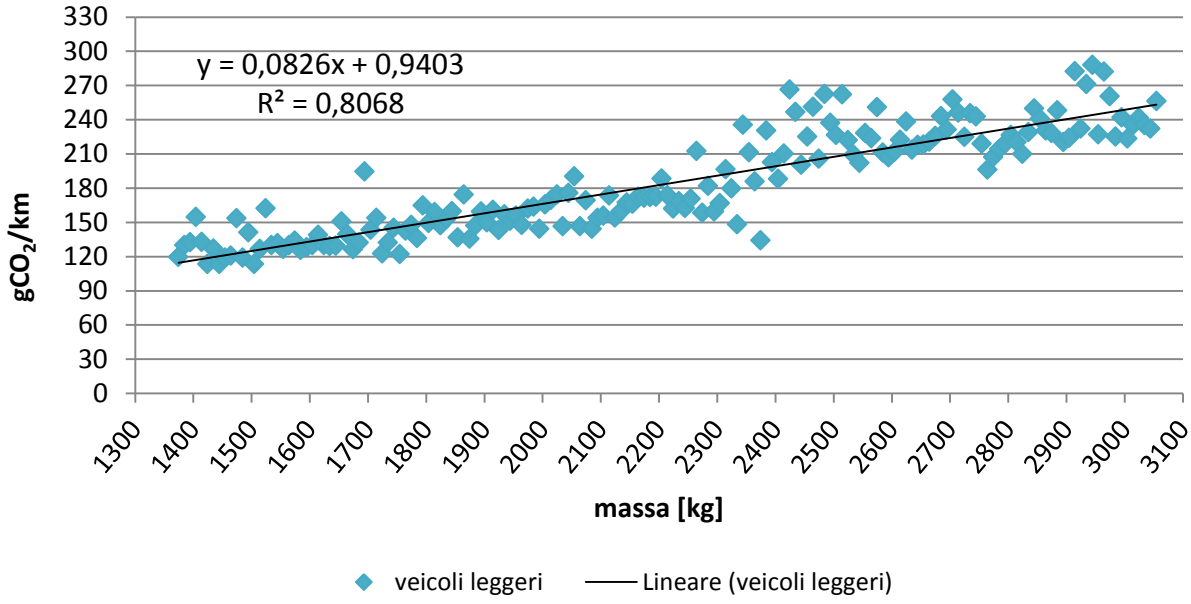

Figura 5. 7 Correlazione fra massa media e fattore di emissione della CO_2 per i veicoli leggeri nel periodo 1999-2010.

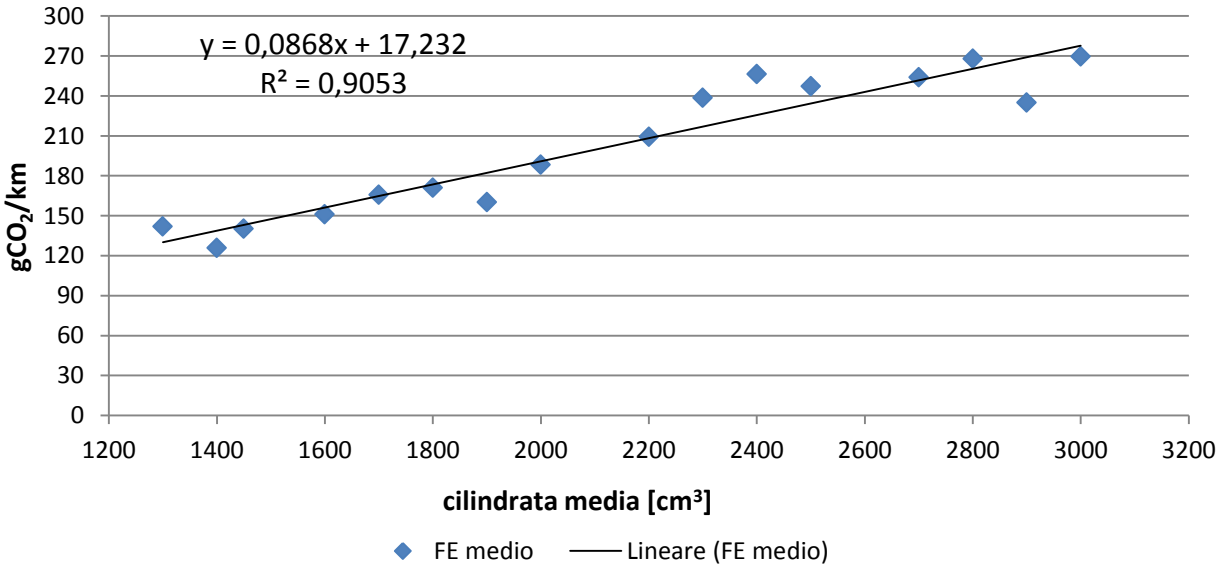

Figura 5. 8 Correlazione fra cilindrata media e fattore di emissione della CO_2 per i veicoli leggeri nel periodo 1999-2010.

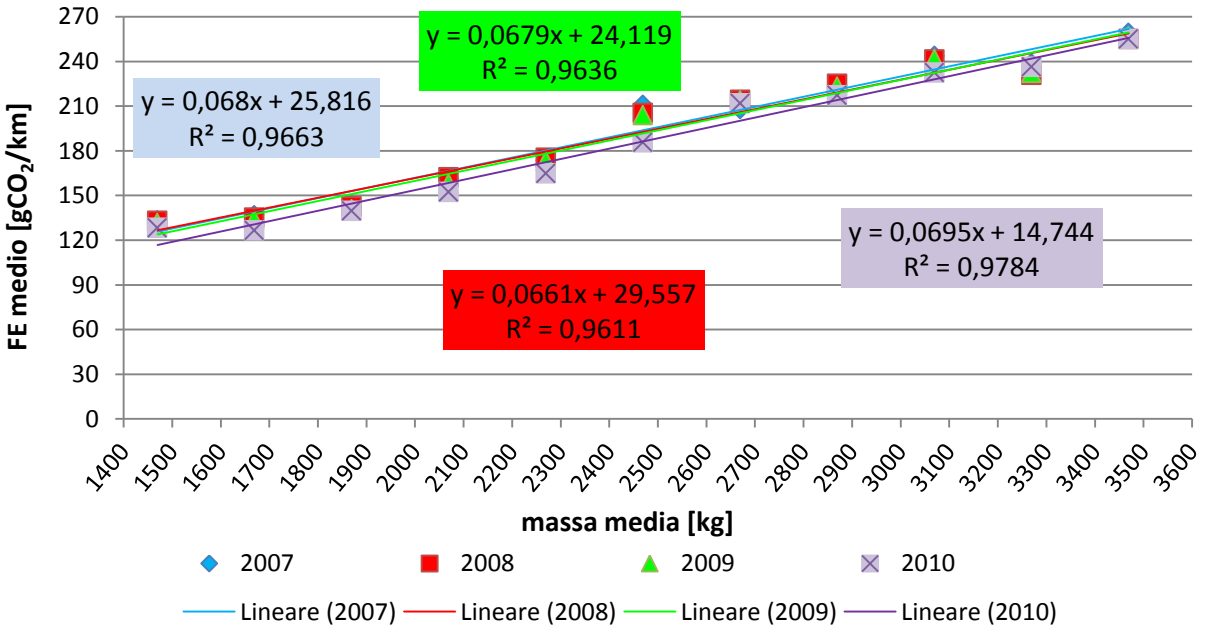

Figura 5. 9 Correlazione fra massa media e fattore di emissione medio della CO_2 per i veicoli leggeri nel periodo 2007-2010.

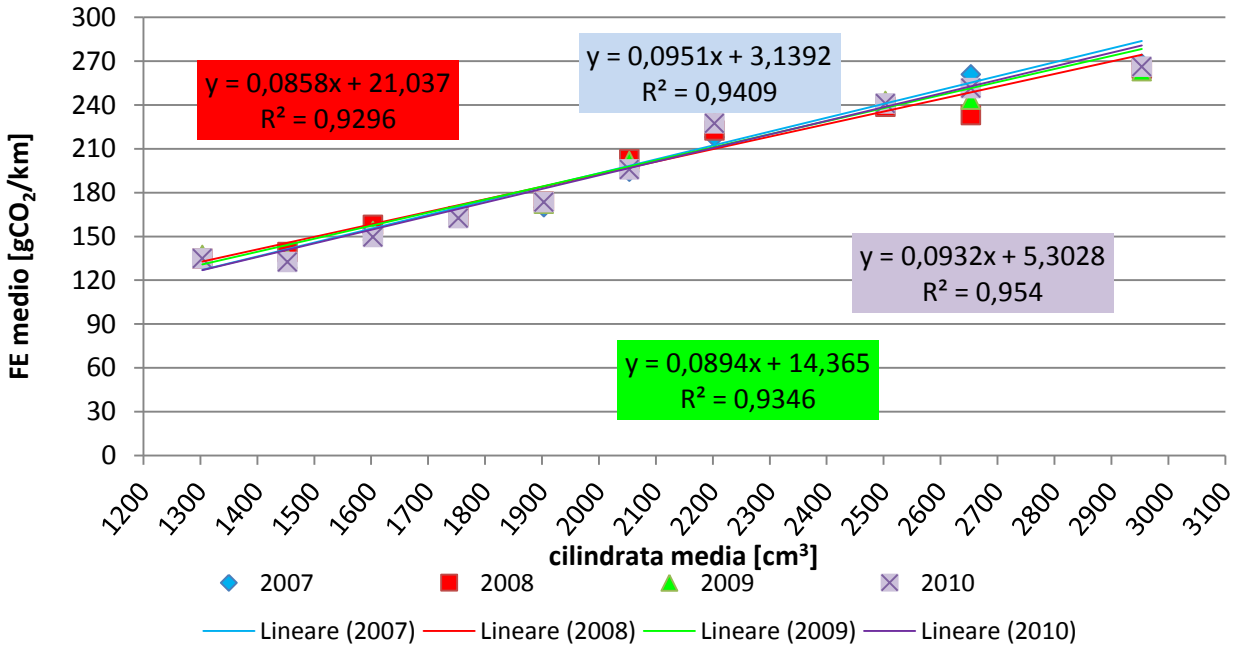

Figura 5. 10 Correlazione fra cilindrata media e fattore di emissione medio della CO_2 per i veicoli leggeri nel periodo 2007-2010.

6. PROIEZIONE DEI FATTORI DI EMISSIONE DELLA CO_2 PER I VEICOLI IMMATRICOLATI IN LOMBARDIA

Oggetto di questo capitolo è la proiezione dei fattori di emissione della CO_2, per i veicoli immatricolati in Lombardia nel periodo 2011-2020, a partire dall'andamento dei fattori di emissione del periodo 1998-2010 e 1999-2010, rispettivamente per le autovetture e i veicoli leggeri.

6.1 Autovetture

Per determinare l'andamento dei fattori di emissione della CO_2 dal totale delle autovetture immatricolate in Lombardia per il periodo 2011-2020 si prendono in esame due casi.

Caso A

La proiezione inizia dal 1997, ovvero considerando tutta la serie dei fattori di emissione a disposizione.

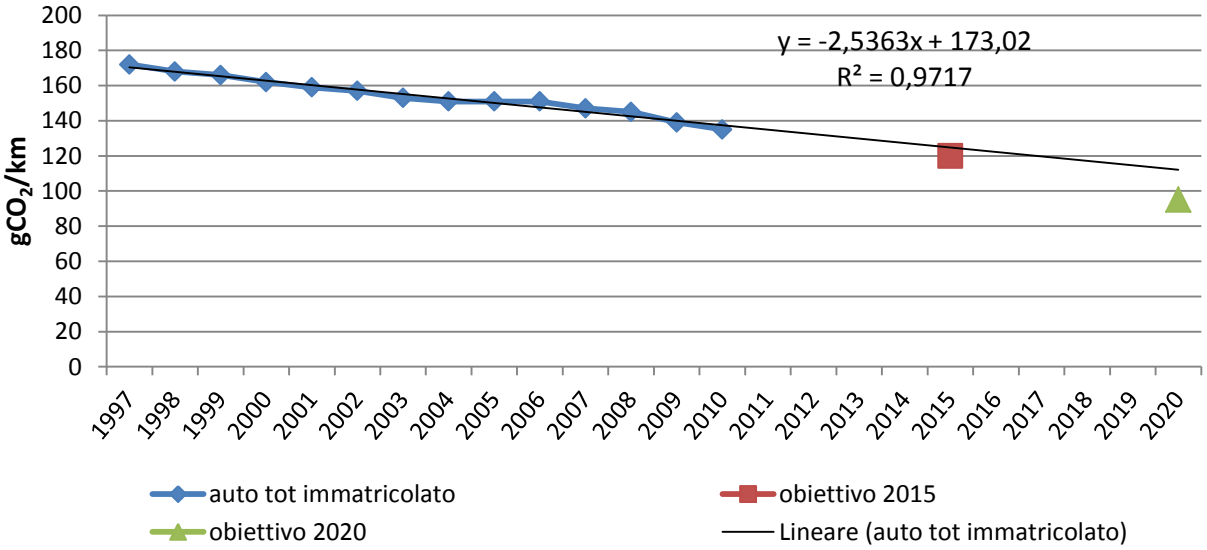

Figura 6.1 Proiezione del fattore di emissione della CO_2 per il totale delle autovetture immatricolate dal 1997 al 2020 in Lombardia.

Come si vede nella figura 6.1, l'andamento di tipo lineare interpola bene i dati ma, visto l'andamento del trend dell'anno 2006, probabilmente dovuto all'aumento della massa media, si decide di considerare anche il secondo caso.

Caso B

Si effettua la proiezione dei fattori di emissione per il periodo 2006 - 2020.

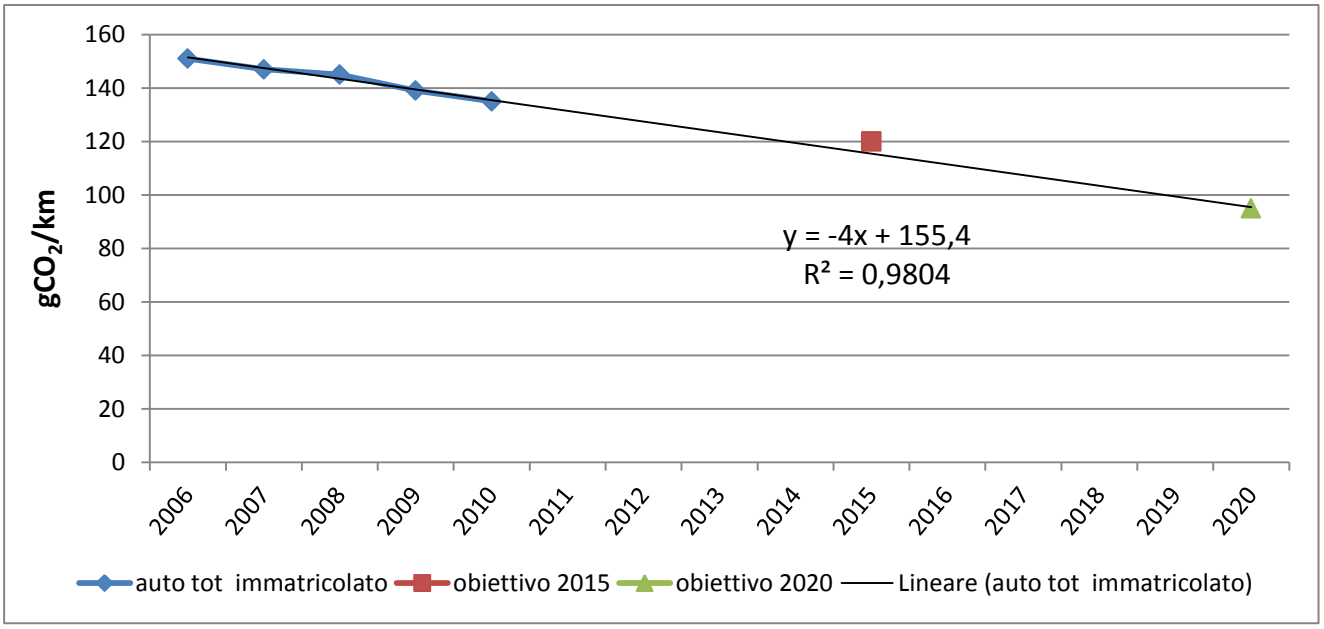

Figura 6. 2 Proiezione del fattore di emissione della CO_2 per il totale delle autovetture immatricolate dal 2011 al 2020 in Lombardia a partire dal 2006.

Come si vede dalla figura 6.2 anche partendo dal 2006 i dati vengono interpolati bene da una tendenza di tipo lineare. In questo caso sia nel 2015 che 2020 il valore del fattore di emissione della CO_2 rispetta quello della normativa (120 gCO_2/km e 95 gCO_2/km), portandosi a valori inferiori del limite e rispettivamente a 112 gCO_2/km e 94 gCO_2/km. Per entrambi i casi i valori del fattore di emissione di CO_2 per il periodo 2011 - 2020 sono riportati nella tabella 6.1.

	caso A [gCO_2/km]	**caso B [gCO_2/km]**
2011	135	131
2012	133	127
2013	130	122
2014	128	119
2015	126	115
2016	123	110
2017	120	106
2018	118	102
2019	115	98
2020	112	94

Tabella 6. 1 Andamento del fattore di emissione della CO_2 per il totale delle autovetture immatricolate per il periodo 2011-2020.

6.2 Veicoli leggeri

Per i veicoli leggeri si effettua la proiezioni a partire dal 1999, anno in cui inizia la serie dei dati tenuti in considerazione.

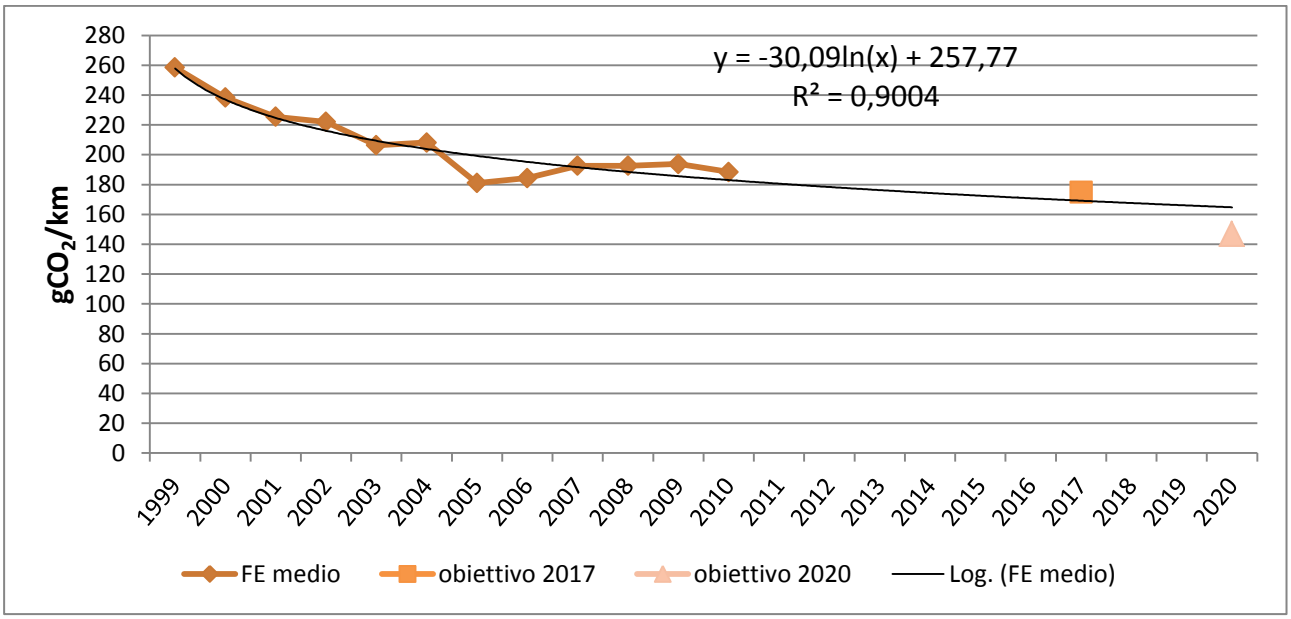

Figura 6.3 Proiezione del fattore di emissione della CO_2 per il totale dei veicoli leggeri per il periodo 1999-2020.

La proiezione è interpolata abbastanza bene da una tendenza di tipo logaritmico in quanto si ottiene un coefficiente di correlazione superiore a 0,9.

	gCO_2/km
2011	181
2012	178
2013	176
2014	174
2015	173
2016	171
2017	169
2018	168
2019	166
2020	165

Tabella 6. 2 Andamento del fattore di emissione della CO_2 per i veicoli leggeri immatricolati per il periodo 2011-2020.

Mentre per le autovetture il limite normativo nel caso B risulta rispettato sia per il 2015 che per il 2020, per i veicoli leggeri, anche se la proiezione logaritmica interpola bene i dati, il fattore di emissione di CO_2 della normativa europea di 175 gCO_2/km e 147 gCO_2/km, rispettivamente per il 2017 e 2020, viene rispettato solo nel 2017. Questo è dovuto alla lenta variazione del fattore di emissione della CO_2.

7. CONFRONTO FRA I FATTORI DI EMISSIONE DEL PARCO CIRCOLANTE E DEI VEICOLI IMMATRICOLATI

Oggetto di questo capitolo è il confronto fra il parco circolante e i veicoli immatricolati sia nel periodo 1997 - 2010 che 2011 - 2020.

7.1 Confronto fra i fattori di emissione di CO_2 per il periodo 1997 - 2010

Per il confronto si considerano i fattori di emissioni degli anni in comune alle due serie di dati, quella del parco circolante e quella dei veicoli immatricolati. Poiché per il parco circolante l'anno di fine serie è il 2009, si considera il 2010 facente parte di questo primo periodo. Il confronto riguarda perciò il periodo 1997-2010.

7.1.1 Autovetture

Come si vede dal grafico 7.1, lo scostamento fra i due andamenti cresce negli anni. I valori annuali del fattore di emissione del parco circolante e dei veicoli nuovi immatricolati e la loro differenza sono mostrati nella tabella 7.1. Come mostra la figura 7.3 la correlazione fra fattori di emissione del parco circolante e dei veicoli immatricolati risulta buona solo con una tendenza di tipo polinomiale del secondo ordine.

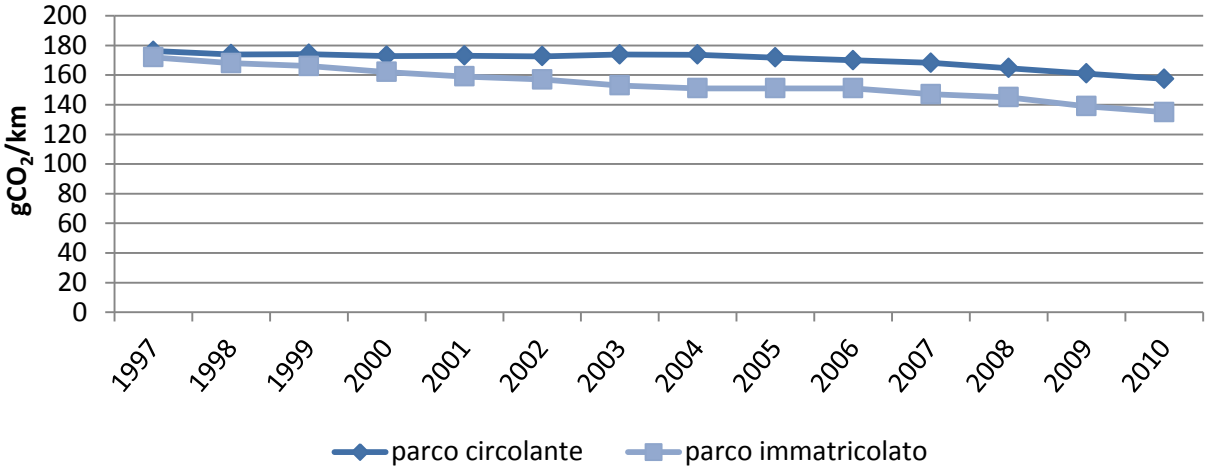

Figura 7. 1 Confronto fra i fattori di emissione di CO_2 del parco circolante e del parco immatricolato delle autovetture totali per il periodo 1997-2010.

	parco circolante [gCO_2/km]	veicoli immatricolati [gCO_2/km]	differenza [gCO_2/km]	differenza [%]
1997	176	172	4	-2,37
1998	174	168	6	-3,43
1999	174	166	8	-4,68
2000	173	162	11	-6,29
2001	173	159	14	-8,14
2002	173	157	16	-9,08
2003	174	153	21	-12,00
2004	174	151	23	-13,06
2005	172	151	21	-12,08
2006	170	151	19	-11,17
2007	168	147	21	-12,61
2008	165	145	20	-11,90
2009	161	139	22	-13,66
2010	160	135	25	-15,62

Tabella 7. 1 Valori del fattore di emissione di CO_2 per il periodo 1997-2010 del parco circolante e del parco immatricolato e loro differenza.

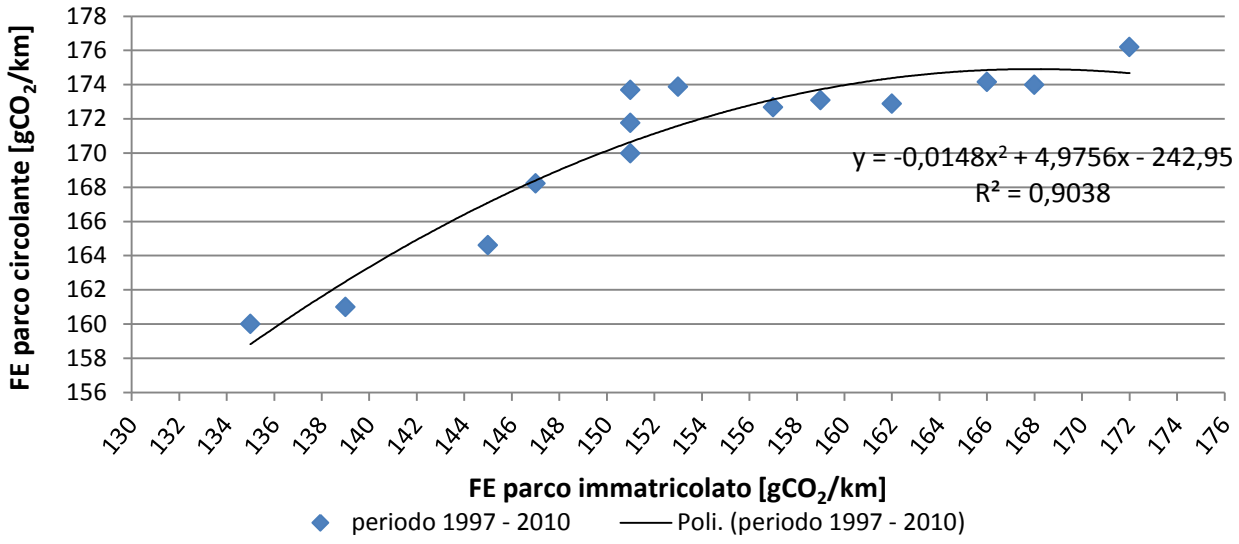

Figura 7. 2 Correlazione fra fattori di emissione di CO_2 per le autovetture del parco circolante e dei veicoli immatricolati per il periodo 1997-2010.

7.1.2 Veicoli leggeri

Come si vede nella figura 7.3, per i veicoli leggeri il confronto viene fatto a partire dal 1999 poiché i dati dei veicoli immatricolati sono attendibili a partire da quell'anno. Anche qui si ipotizza che l'anno 2010 della proiezione dei veicoli circolanti faccia parte della "serie storica".

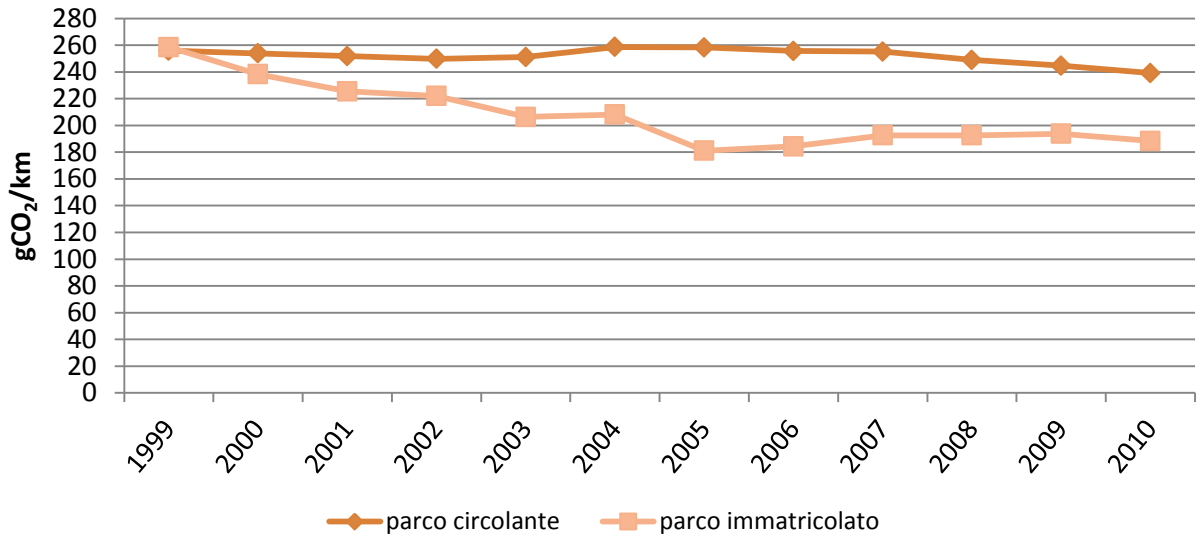

Figura 7. 3 Confronto fra i fattori di emissione della CO_2 del parco circolante e del parco immatricolato dei veicoli leggeri totali per il periodo 1999-2010.

	parco circolante [gCO_2/km]	veicoli immatricolati [gCO_2/km]	differenza [gCO_2/km]	differenza [%]
1999	256	259	-3	1,03
2000	254	238	16	-6,11
2001	252	225	26	-10,46
2002	250	222	28	-11,11
2003	251	206	45	-17,83
2004	259	208	50	-19,50
2005	258	181	77	-29,89
2006	256	184	71	-27,89
2007	255	193	63	-24,51
2008	249	193	56	-22,64
2009	245	194	51	-20,79
2010	244	188	56	-22,95

Tabella 7. 2 Valori del fattore di emissione di CO_2 per il periodo 1999-2010 per il parco circolante e dei veicoli immatricolati e loro differenza.

Come mostra la tabella 7.2, i fattori di emissioni che nel 1999 sono molto vicini fra loro subiscono poi uno scostamento molto marcato.

Da quanto mostra la figura 7.4 per i veicoli leggeri non c'è correlazione fra i fattori di emissione del parco circolante e dei veicoli immatricolati nel periodo 1999-2010.

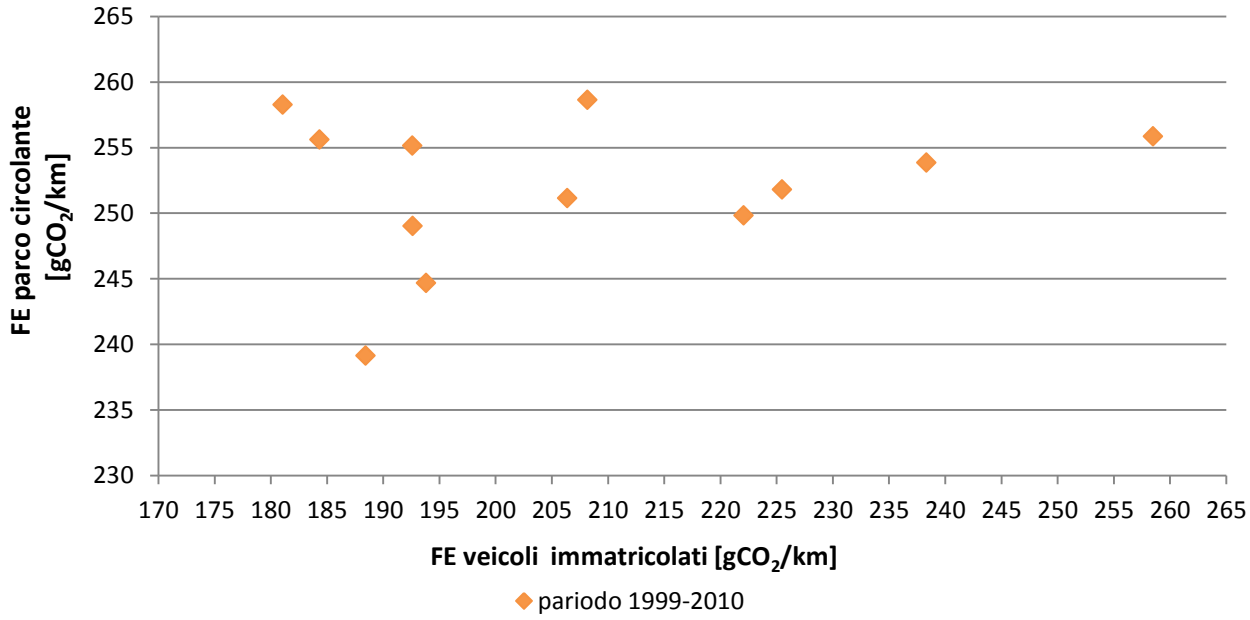

Figura 7. 4 Correlazione fra fattori di emissione di CO_2 del parco circolante e dei veicoli leggeri immatricolati per il periodo 1997-2010.

7.2 Confronto fra i fattori di emissione di CO_2 per il periodo 2011 - 2020

7.2.1 Autovetture

Come mostra la figura 7.5, lo scostamento fra la proiezione del parco circolante e dei veicoli nuovi immatricolati è maggiore nel caso in cui la proiezione venga fatta con il parco immatricolato a partire dal 2006 in quanto i fattori di emissione con tale andamento risultano essere minori. I fattori di emissione annuali del parco circolante, dei veicoli nuovi immatricolati e la loro differenza per il periodo 2011 - 2020, sono riportati nella tabella 7.3.

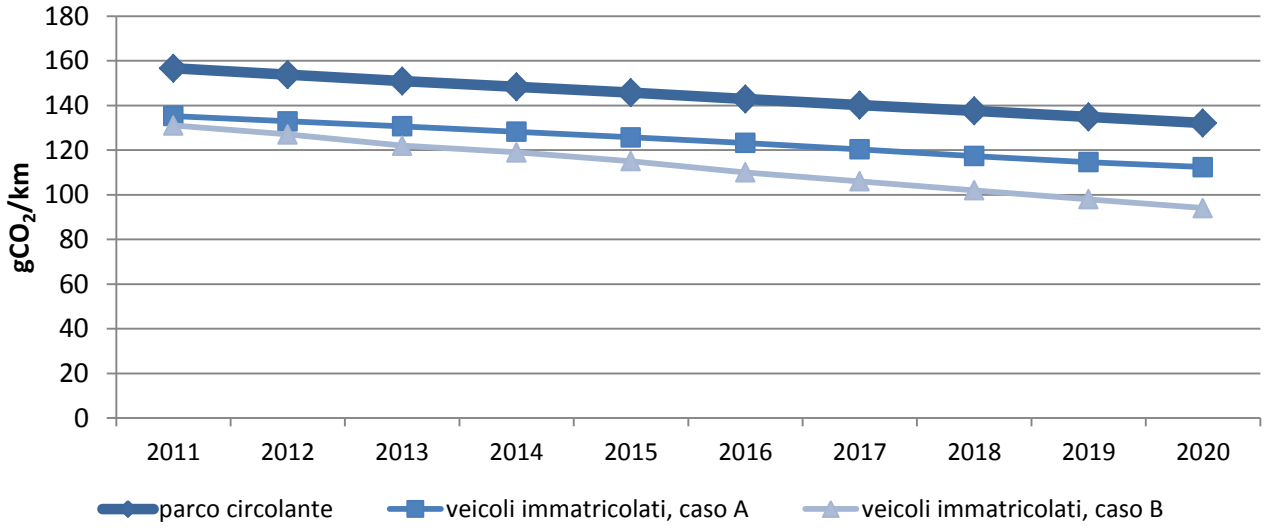

Figura 7. 5 Confronto fra i fattori di emissione del parco circolante e dei veicoli immatricolati con proiezione dal 1997 e dal 2006 per il periodo 2011-2020.

	circolante [gCO_2/km]	immatricolato caso A [gCO_2/km]	differenza [gCO_2/km]	differenza [%]	immatricolato caso B [gCO_2/km]	differenza [gCO_2/km]	differenza [%]
2011	157	135	21	13,66	131	26	16,39
2012	154	133	21	13,55	127	27	17,38
2013	151	131	20	13,39	122	29	19,12
2014	148	128	20	13,58	119	29	19,80
2015	146	126	20	13,80	115	31	21,14
2016	143	123	20	13,78	110	33	23,01
2017	140	120	20	14,18	106	34	24,39
2018	138	117	20	14,70	102	36	25,85
2019	135	115	20	15,01	98	37	27,35
2020	132	112	20	14,94	94	38	28,86

Tabella 7. 3 Valori del fattore di emissione della CO_2 per il periodo 2011-2020 del parco circolante, dei veicoli immatricolati nel caso A e B e rispettive differenze rispetto al parco circolante.

7.2.2 Veicoli leggeri

Per i veicoli leggeri circolanti si considerano entrambe le proiezioni del fattore di emissione di CO_2 per il periodo 2011 – 2020, sia quella a partire dal 1990 (A), che quella a partire dal 2004 (B). La figura 7.6 mostra l'andamento sia per i casi del parco circolante che dei veicoli immatricoli e i rispettivi valori e differenze dei fattori di emissione sono riportati nella tabella 7.4.

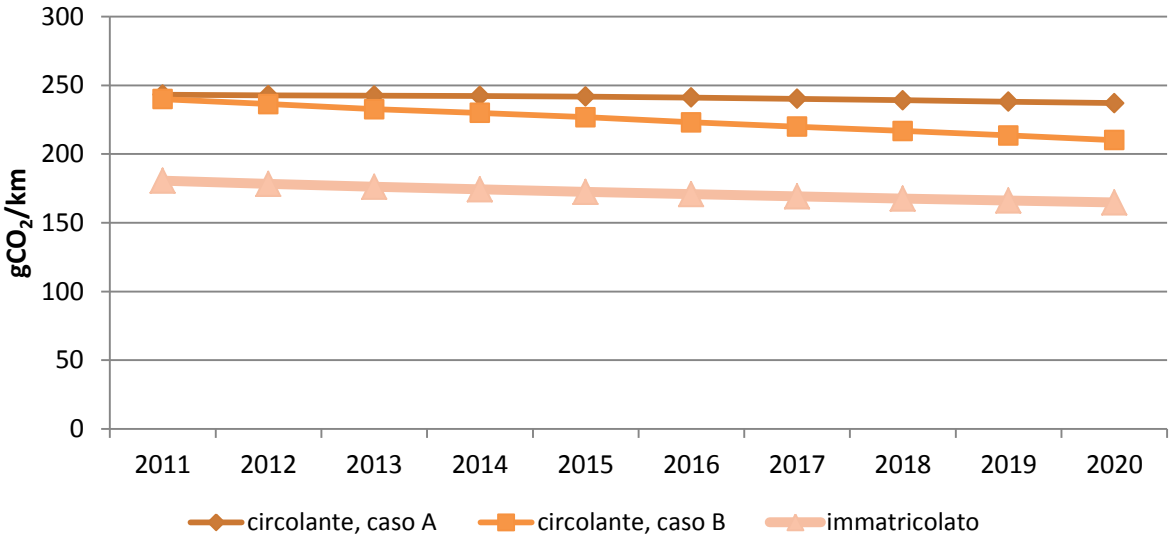

Figura 7. 6 Confronto fra la proiezione dei fattori di emissione di CO_2 del parco circolante e dei veicoli leggeri immatricolati per il periodo 2011-2020.

	immatricolato [gCO_2/km]	circolante caso A [gCO_2/km]	differenza [gCO_2/km]	differenza [%]	circolante caso B [gCO_2/km]	differenza [gCO_2/km]	differenza [%]
2011	181	243	63	25,75	240	59	24,74
2012	178	243	64	26,54	236	58	24,54
2013	176	243	66	27,33	233	56	24,22
2014	174	242	68	28,06	230	56	24,19
2015	173	242	69	28,65	227	54	23,94
2016	171	241	70	29,18	223	52	23,44
2017	169	240	71	29,56	220	51	23,07
2018	168	239	72	29,92	217	49	22,66
2019	166	238	72	30,21	214	47	22,18
2020	165	237	72	30,48	210	45	21,58

Tabella 7. 4 Valori del fattore di emissione di CO_2 per il periodo 2011-2020 del parco circolante, dei veicoli immatricolati e loro differenze.

7.3 Variazione delle emissioni nazionali da traffico autoveicolare nel 2015 e nel 2020

Da quanto visto nella figura 7.2 riguardante la correlazione fra fattore di emissione di CO_2 degli autoveicoli immatricolati e del parco circolante, in questo paragrafo si stimano le riduzioni attese nelle emissioni di CO_2 delle autovetture negli anni 2015 e 2020.

Si considerano i fattori di emissione dei veicoli immatricolati proiettati per gli anni 2015 e 2020. In base all'equazione che spiega la correlazione fra fattore di emissione dei veicoli immatricolati e del parco circolante vista nella figura 7.2, si stima il fattore di emissione del parco circolante corrispondente al fattore di emissione del parco immatricolato per lo stesso anno. Si riporta di seguito l'equazione polinomiale del secondo ordine, dove al termine Y corrisponde il fattore di emissione del parco circolante e al termine X corrisponde il fattore di emissione dei veicoli immatricolati.

$$Y = -0{,}0148 * X^2 + 4{,}9756 * X - 242{,}95 \qquad \text{Equazione 7.1}$$

I fattori di emissione di CO_2 dei veicoli immatricolati degli anni 2015 e 2020, i corrispondenti fattori di emissione del parco circolante ottenuti tramite l'equazione 7.1 e la loro differenza sono riportati nella tabella.

	FE immatricolato [gCO_2/km]		**FE circolante [gCO_2/km]**		**differenza [gCO_2/km]**	
	caso A	**caso B**	**caso A**	**caso B**	**caso A**	**caso B**
2015	125,70	115,00	148,63	133,51	22,94	18,51
2020	112,39	94,00	129,30	93,98	16,92	-0,02

Tabella 7. 5 FE di CO_2 dei veicoli immatricolati per gli anni 2015 e 2020, FE per il parco circolante e loro differenza.

Come mostra la tabella 7.5 il fattore di emissione di CO_2 del parco circolante stimato a partire dal fattore di emissione medio dei veicoli immatricolati- caso B, è nel 2020 simile a quello del parco immatricolato.

Nello stesso anno il fattore di emissione medio di CO_2 del parco circolante, stimato come proiezione dei dati storici, e pari a 132 gCO_2/km (cap. 3.1), molto simile a quello stimato a partire dal trend dei fattori di emissione medi dei veicoli immatricolati - caso A.

Considerando quindi questo valore di 132 gCO_2/km e ipotizzando che i chilometri percorsi dalle autovetture rimangano costanti per il periodo 2010 - 2020, pari al valore stimato da ISPRA per il 2009 (380.961 milioni di chilometri, ISPRA, 2011) si stimano le emissioni del parco circolante nel 2020 pari a 50 $MtCO_2$/anno che corrispondono a circa il 48% delle emissioni di CO_2 da

traffico e a -18% delle emissioni nazionali di CO_2 stimate da ISPRA. Analogamente considerando il valore di 210 gCO_2/km per i veicoli leggeri e i chilometri percorsi da tali veicoli stimati da ISPRA (71.479 milioni di chilometri, ISPRA, 2011), si stimano le emissioni del parco circolante nel 2020 pari a 15 $MtCO_2$/anno, pari al 14% delle emissioni di CO_2 da traffico e a -14% delle emissioni di CO_2 stimate da ISPRA.

8 CONFRONTO FRA I FATTORI DI EMISSIONE INEMAR E QUELLI STIMATI CON I DATI ISPRA

In questo capitolo si effettua un confronto fra i fattori di emissione di CO_2 del parco circolante derivanti dal database INEMAR Lombardia e quelli nazionali stimati tramite i dati ISPRA.

8.1 INEMAR Lombardia

INEMAR (INventario EMissioni ARia) è un database progettato a partire dal 1999 ed utilizzato per realizzare l'inventario delle emissioni di inquinanti in atmosfera in alcune regioni italiane (Lombardia, Piemonte, Emilia-Romagna, Veneto, Trentino-Alto Adige, Friuli-Venezia Giulia, Puglia, Marche).

L'inventario INEMAR realizzato da ARPA Lombardia per conto della regione, stima le emissioni a livello comunale per vari inquinanti e per i gas serra, suddividendoli per categoria di attività (secondo la metodologia CORINAIR in macrosettore, settore e attività) e tipo di combustibile. I valori del fattore di emissione di CO_2 per il parco circolante della Lombardia, e relativi ai veicoli stradali per gli anni 2003, 2005, 2007 e 2008, son riportati nella tabella 8.1

Tipo di veicolo	2003	2005	2007	2008
Automobili	189,7	189,4	188,6	188,3
Veicoli leggeri < 3.5 t	266,1	266,1	257,2	256,0
Veicoli pesanti > 3.5 t e autobus	796,2	809,4	758,7	751,7
Ciclomotori (< 50 cm3)	68,9	71,4	60,0	54,1
Motocicli (> 50 cm3)	107,6	106,5	106,4	106,2

Tabella 8. 1 Fattori di emissione medi per i veicoli stradali (fonte INEMAR).

8.2 Confronto fra fattori di emissione INEMAR e ISPRA

E' possibile fare il confronto fra i fattori di emissione di CO_2 INEMAR del parco circolante della Lombardia e i fattori di emissione della CO_2 nazionali ISPRA.

8.2.1 Autovetture

Come mostrato nella figura 8.1 e riportato nella tabella 8.2, l'andamento dei fattori di emissione di CO_2 INEMAR e ISPRA è in entrambi i casi decrescente, e la loro differenza cresce nel tempo. Anche fra gli stessi valori del fattore di emissione di CO_2 per la Lombardia la variazione non è molto alta; considerando il periodo 2003 - 2008 la variazione è mediamente di 3 gCO_2/km l'anno.

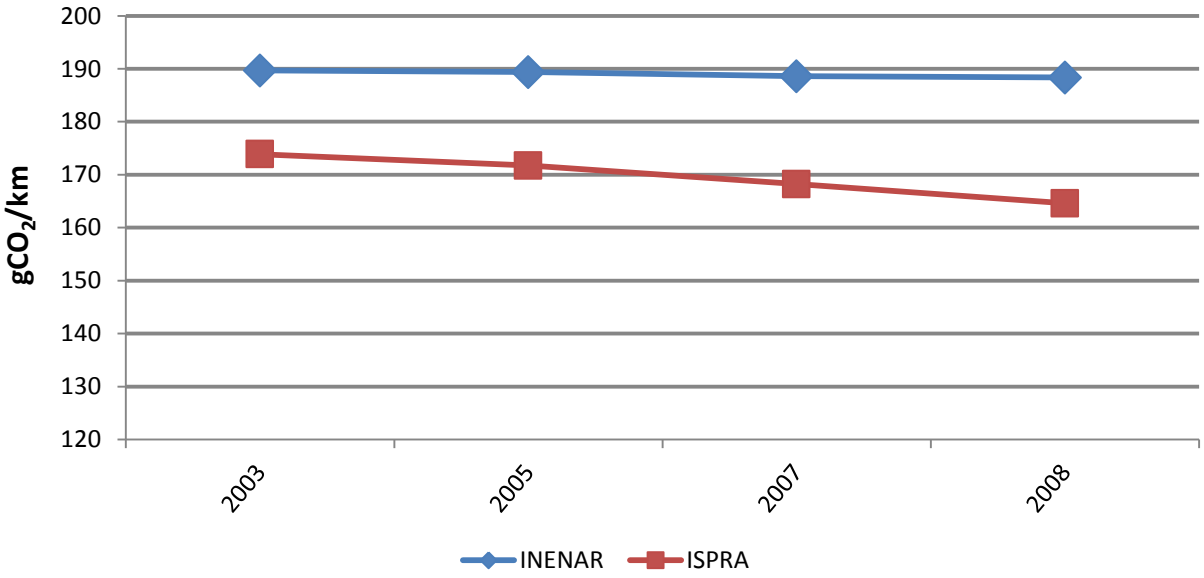

Figura 8. 1 Andamento dei fattori di emissioni medi di CO_2 INEMAR e ISPRA per le autovetture.

	INEMAR [gCO_2/km]	ISPRA [gCO_2/km]	differenza [gCO_2/km]	differenza [%]
2003	189,7	173,9	15,8	8,3
2005	189,4	171,7	17,6	9,3
2007	188,6	168,2	20,4	10,8
2008	188,3	164,6	23,8	12,6
media	189,0	169,6	19,4	10,3

Tabella 8. 2 Fattori di emissione di CO_2 INEMAR e ISPRA per gli anni 2003, 2005, 2007 e 2008 per le autovetture.

La differenza crescente fra i fattori di emissione del parco circolante medi nazionali e della Lombardia, potrebbe essere dovuta al fatto che la regione Lombardia rispetto ad altre regioni è economicamente più ricca e vi siano, quindi, automobili con cilindrata maggiore. Si fa perciò riferimento ai dati del parco circolante ACI per valutare se la cilindrata media delle auto in Lombardia è maggiore rispetto alla media italiana; i risultati sono esposti nella tabella 8.3.

	Lombardia [cm^3]	Italia [cm^3]	differenza [cm^3]	differenza [%]
2002	1614	1555	59	3,6
2003	1614	1555	59	3,6
2004	1611	1550	61	3,8
2005	1602	1545	58	3,6
2006	1603	1539	64	4,0
2007	1590	1531	60	3,7
2008	1577	1523	54	3,4
2009	1563	1514	49	3,1
media	1597	1539	58	3,6

Tabella 8. 3 Confronto fra la cilindrata media nazionale e quella della regione Lombardia per le autovetture (Fonte ACI).

Come mostrano i dati relativi ai veicoli circolanti, in Lombardia la cilindrata media è di 1600 cm^3 contro la media italiana di circa 1540 cm^3.

Facendo riferimento alla correlazione fra cilindrata e fattore di emissione di CO_2 vista nella figura 5.3 del capitolo 5.1.1, per i fattori di emissione delle vetture immatricolate in Lombardia, si verifica quanto la differenza di cilindrata influisce sul fattore di emissione.

Data l'equazione:

$$Y = 0{,}0538 * X + 76{,}163 \qquad \text{equazione 8.1}$$

dove X indica la cilindrata media e Y il fattore di emissione, i valori risultanti sono riportati nella tabella 8.4.

	differenza [cm^3]	gCO_2/km
2002	59	3,2
2003	59	3,2
2004	61	3,3
2005	58	3,1
2006	64	3,5
2007	60	3,2
2008	54	2,9
2009	49	2,6
media	58	3,1

Tabella 8. 4 Differenza fra cilindrata media in Italia e Lombardia e differenza del fattore di emissione corrispondente.

Tenendo conto di questi dati si evince che la differenza del fattore di emissione di CO_2 fra parco circolante lombardo e parco circolante italiano, può giustificare mediamente per il 16% dalla differenza di cilindrata; la restante percentuale è da attribuirsi alla diversità dei cicli di guida, in

quanto le velocità medie e massime dei veicoli e la frequenza dei fenomeni di congestione, possono portare a consistenti variazioni dei fattori di emissione reali dei veicoli. Un ultimo fattore che potrebbe influire sulla differenza è la quantità di biocarburanti considerata nel carburante, fattore su cui non è stato possibile reperire informazioni adeguate.

8.2.2 Veicoli leggeri

Per i veicoli leggeri l'andamento dei fattori di emissione INEMAR e ISPRA è riportato nella figura 8.3 e i valori e le differenza nella tabella 8.7.

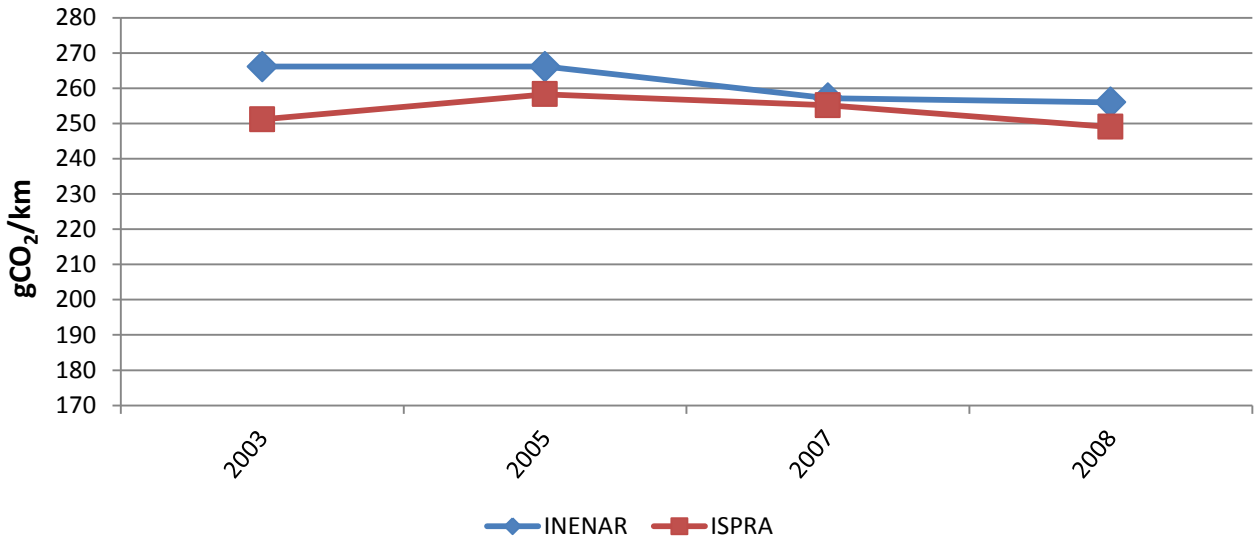

Figura 8. 2 Andamento dei fattori di emissioni medi di CO_2 INEMAR e ISPRA per i veicoli leggeri.

	INEMAR [gCO_2/km]	ISPRA [gCO_2/km]	differenza [gCO_2/km]	differenza [%]
2003	266,1	251,2	15,0	5,63
2005	266,1	258,3	7,9	2,95
2007	257,2	255,2	2,0	0,79
2008	256,0	249,0	7,0	2,73
media	261,4	253,4	8,0	3,0

Tabella 8. 5 Fattori di emissione di CO_2 INEMAR e ISPRA per gli anni 2003, 2005, 2007 e 2008 per i veicoli leggeri.

La differenza fra i fattori di emissione della CO_2 per i veicoli leggeri è minore rispetto alla stessa differenza per le auto e questo è probabilmente dovuto a una minore variazione delle tipologie dei cicli di guida per questi veicoli.

Per i veicoli leggeri il confronto sul parco circolante non può essere effettuato sulla cilindrata in quanto questa non è presente nel database ACI per questi veicoli, ma può essere fatto in base alla massa, che è il principale responsabile del consumo di combustibile per questi veicoli.

	Lombardia [kg]	**Italia [kg]**	**differenza [kg]**	**differenza [%]**
2002	1145	1163	18	1,5
2003	1138	1156	18	1,6
2004	1127	1144	17	1,5
2005	1123	1140	17	1,5
2006	1118	1135	17	1,5
2007	1115	1132	17	1,5
2008	1113	1130	17	1,5
2009	1112	1129	17	1,5

Tabella 8. 6 Confronto fra la massa media nazionale e quella della regione Lombardia per i veicoli leggeri (Fonte ACI).

In questo caso la massa media della regione Lombardia non si discosta di molto dalla massa media italiana dei veicoli leggeri ma è ad essa, se pur di poco, inferiore.

In questo caso senza fare ulteriori elaborazioni si ipotizza che l'unico fattore che possa spiegare tale differenza sia da attribuirsi solo alla congestione.

Bibliografia

CE (1995) Strategia comunitaria per ridurre le emissioni di CO_2 dalle autovetture e per migliorare il risparmio di carburante.

CE (2007) Comunicazione della Commissione europea COM 2007/19: Risultati del riesame della strategia comunitaria per ridurre le emissioni di CO_2 delle autovetture e dei veicoli commerciali leggeri. Bruxelles, 7 febbraio.

CE (2007) Comunicazione della Commissione europea COM 2007/856: Regolamento del Parlamento europeo e del consiglio che definisce i livelli di prestazione in materia di emissioni delle autovetture nuove nell'ambito dell'approccio comunitario integrato finalizzato a ridurre le emissioni di CO_2 dei veicoli leggeri. Bruxelles, 19 dicembre.

CE (2009) Regolamento del Parlamento Europeo e del Consiglio COM 593: definisce i livelli di prestazione in materia di emissioni dai veicoli commerciali leggeri nuovi nell'ambito dell'approccio comunitari integrato finalizzato a ridurre le emissioni di CO_2 dai veicoli commerciali leggeri.

CE (2010) Comunicazione della Commissione europea COM 2010/656: Relazione sui progressi ottenuti nell'attuazione dell'approccio comunitario integrato finalizzato a ridurre le emissioni di CO_2 dei veicoli leggeri. Bruxelles, 10 novembre.

CE (2010) Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio e al Comitato economico e sociale europeo COM 2010/186: " una strategia europea per i veicoli puliti ed efficienti sul piano energetico".

Pietro Gaifami (2011). Tesi: Proiezione delle emissioni da traffico in Lombardia nel periodo 2010-2020". Politecnico di Milano.

Bertagna, Casadei (2010). Articolo: "Emissioni di GHG da trasporto autoveicolare: proiezioni globali, situazione italiana".

APAT (2003) - Analisi dei fattori di emissione di CO_2 dal settore dei trasporti. Rapporto 28/2003.

EMEP/EEA (2010) - Emission inventory guidebook 2009.

TU_GRAZ (2009). Measurement of CO_2 and fuel consumption from cars in the NEDC and real world driving cycles.

Ministero dello Sviluppo Economico, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (2011). Guida sul risparmio di carburanti e sulle emissioni di CO_2 delle autovetture.

Alessandrini, Cattivera, Ortenzi (2010). Impatto energetico – ambientale dello stile di guida ecodriving.

EEA (2011). Monitoring the CO_2 emissions from new passenger cars in the EU: summary of data for 2010.

Quattroruote (giugno, 2011). Periodico mensile n° 668

Sitografia

www.sinanet.isprambiente.it

http://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/cars_en.htm

www.apat.gov.it

http://climate-l.iisd.org/news/eu-introduces-carbon-dioxide-emission-limits-for-light-vans

www.esrl.noaa.gov (National Oceanic & Atmospheric Administration)

www.transportenvironment.org

www.unionepetrolifera.it

www.efficienzaenergetica.enea.it/trasporti/incentivi

www.inemar.ue

www.aci.it/sezione-istituzionale/studi-e-ricerche/dati-e-statistiche