



ANPA

Agenzia Nazionale per la
Protezione dell'Ambiente

Sviluppo ed uso di metodologie per la stima delle emissioni atmosferiche da trasporto stradale in Italia su scala provinciale

Rapporti 4/2001

ANPA - Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi

Informazioni legali

L'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente

Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma
Dipartimento Stato dell'Ambiente, Controlli e Sistemi Informativi
Unità Interdipartimentale Censimento delle Fonti di Emissione
www.anpa.it

© ANPA, Rapporti 4/2001

ISBN 88-448-0254-6

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Coordinamento ed elaborazione grafica

ANPA, Immagine
Grafica di copertina: Franco Iozzoli
Foto di copertina: Paolo Orlandi

Coordinamento tipografico

ANPA, Dipartimento Strategie Integrate Promozione e Comunicazione

Impaginazione e stampa

I.G.E.R. srl - Viale C. T. Odiscalchi, 67/A - 00147 Roma

Stampato su carta TCF

Finito di stampare nel mese di dicembre 2001



AUTORI

Autori:

Salvatore Saija, Riccardo De Lauretis, Riccardo Liburdi.

Indice

SOMMARIO	VI
SUMMARY	VII
1. INTRODUZIONE	I
2. LA METODOLOGIA CORINAIR	3
2.1 La metodologia di base per la stima delle emissioni da trasporti stradali	3
2.2 L'approccio top-down	4
2.3 Reperimento dell'informazione di base	4
2.4 I risultati delle stime nazionali per l'anno 1996	7
2.5 I risultati delle stime provinciali per l'anno 1996	8
3. CARATTERIZZAZIONE DELLE PROVINCE ITALIANE RISPETTO ALL'ATTIVITA' DEI TRASPORTI STRADALI	11
3.1 L'analisi in componenti principali (ACP)	12
3.2 La cluster analysis	17
4. I MODELLI DI REGRESSIONE LINEARE MULTIPLA	25
4.1 L'analisi della correlazione canonica	25
4.2 Calibrazione di modelli di stima delle emissioni provinciali	27
5. CONCLUSIONI E PROSPETTIVE	39
BIBLIOGRAFIA	43

Sommario

Tra le emissioni di inquinanti atmosferici, quelle connesse ai fenomeni di mobilità di merci e persone costituiscono complessivamente la parte di gran lunga più consistente, mentre, com'è noto, tra le diverse modalità di trasporto quella su strada rappresenta la maggior sorgente di inquinamento per quasi tutte le sostanze prese in considerazione nell'inventario Corinair.

Attualmente la metodologia di stima delle emissioni prevista dal progetto Corinair viene utilizzata dall'EEA (*European Environment Agency*) nell'ambito della redazione dei rapporti sullo stato dell'ambiente e dagli esperti nazionali dei *National Reference Center* per la realizzazione degli inventari nazionali. Da alcuni anni in Italia, Province e Regioni, in adempimento alla normativa vigente (DPR 203/88), sono tenute a realizzare inventari a livello locale. Ad essi in particolare si rivolge questo lavoro come contributo all'adozione di metodi e tecniche innovative di immediata applicabilità.

L'obiettivo perseguito è di verificare la possibilità di ampliare la metodologia Corinair di stima delle emissioni provinciali da trasporti stradali, attraverso l'utilizzazione di particolari tecniche di analisi statistica multivariata e l'introduzione di strumenti modellistici.

Sono riportati metodi e risultati della stima delle emissioni di 16 inquinanti in 103 province per 14 categorie di veicoli e modalità di guida nel 1996 e la struttura di 80 modelli di regressione per il calcolo dei valori totali di emissione per ciascun inquinante.

Summary

Road transport is one of the major contributors to air pollution in Italy. Estimates at national level show that, in the recent years, transport is the main source of pollution in urban areas related to different pollutants, such as NO_x (nitrogen dioxide), NMVOC (non methanic volatile organic compounds), CO (carbon monoxide) and PM (particulate matter).

The methodology used to estimate national air pollutants and from road transport is Copert (Computer Programme to estimate Emissions from Road Traffic), the same adopted by the EEA (European Environment Agency) inside Corinair Air Emissions Inventory Program.

Italian Regions and Provinces are asked to compile a regional/provincial emission inventory (DPR 203/88). Local emission inventories could be used to perform air quality preliminary assessments and traffic urban plans. These are the main users of the information contained in this report.

The goal of the study is to purpose issues on the question of the *top-down* approach for estimating local emissions of road transport sector from national level, by means of statistical multivariate analysis.

Local emissions are estimated at NUTS 3 (Nomenclature of Territorial Units of Statistics) by the Corinair *top-down* methodology.

Results for all pollutants are shown by driving modes and vehicle categories.

I. Introduzione

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

Dati recenti tratti dall'inventario nazionale delle emissioni atmosferiche (ANPA, 1999) mostrano che, a fronte di una diminuzione delle emissioni dovute alle attività di produzione di energia elettrica ed ai grandi impianti di combustione, in particolare per quelle emissioni sottoposte a controllo come gli ossidi di zolfo (SO_x), gli ossidi di azoto (NO_x), il particolato (PM) ed i composti organici volatili non metanici (COVNM), non si è riscontrata una altrettanto sostanziale diminuzione delle emissioni dovute al trasporto su strada.

A tale riguardo infatti l'aumento del numero dei veicoli e dei chilometri percorsi ha controbilanciato l'effetto positivo dovuto alla penetrazione di veicoli meno inquinanti; questo, oltre ad aumentare le situazioni di congestione con i connessi disagi (inquinamento acustico, aumento dei tempi di percorrenza), ha fatto permanere, o comunque non ha risolto nella misura auspicata, i problemi legati alle emissioni di inquinanti caratteristici del traffico (ANPA, 2000).

Attualmente in corrispondenza delle aree urbane i trasporti costituiscono su base annua la principale fonte di emissione per inquinanti come ossidi di azoto, composti organici volatili tra cui benzene, monossido di carbonio, polveri (PM, in particolare polveri fini, e cioè la frazione di polveri che è la principale responsabile dei danni alla salute); sono inoltre responsabili su base nazionale di una quota considerevole (intorno al 28%) di anidride carbonica, il principale gas a effetto serra.

In particolare i trasporti incidono, nelle aree urbane, per oltre il 60% delle emissioni di ossidi di azoto e di composti organici volatili, e per oltre il 90% delle emissioni di monossido di carbonio. Questo, accompagnato dal fatto che i veicoli emettono praticamente a livello del suolo (per cui le alte concentrazioni degli inquinanti emessi si fanno sentire soprattutto nelle immediate vicinanze dei punti di emissione), li rende le fonti di impatto più importanti a scala locale. I trasporti sono inoltre responsabili del 75% delle emissioni complessive di benzene, a scala nazionale; di queste oltre il 65% sono originate nelle aree urbane.

2. La metodologia CORINAIR

La metodologia Corinair (CORINAIR, 1988, Bocola W. et al., 1989, EMEP-CORINAIR, 1995, EMEP, 1996) di stima delle emissioni di inquinanti atmosferici si basa sulla raccolta, l'analisi statistica e l'organizzazione di informazioni coerenti, necessarie alla realizzazione di un inventario delle emissioni da utilizzare come base scientifica per la scelta delle politiche ambientali in materia di inquinamento atmosferico.

La stima delle emissioni di inquinanti atmosferici da trasporti stradali si avvale, nell'ambito della metodologia generale, di un modello matematico chiamato Copert (*Computer Programme to calculate Emission from Road Traffic*, Ntziachristos L., Samaras Z., 1999) basato su un ampio insieme di parametri che tengono conto delle caratteristiche generali del fenomeno e delle specifiche realtà di applicazione.

Per rispondere agli obiettivi del progetto Corinair, in particolare quello per cui i dati di emissione dovrebbero essere utilizzabili per avanzati modelli di dispersione in atmosfera, le informazioni di base dovrebbero essere disponibili per la più piccola unità territoriale considerata nel progetto stesso, ovvero il comune (livello 4 della classificazione NUTS), o quanto meno a livello di provincia (NUTS 3).

Questo presuppone la conoscenza di alcune statistiche attualmente non disponibili, come il consumo a livello provinciale dei combustibili, in particolare quelli per autotrazione: sono infatti noti i dati di vendita a livello provinciale, che ovviamente non sono immediatamente utilizzabili per la stima delle emissioni, senza un ulteriore modello che, a livello di minima unità territoriale, permetta un bilancio dei consumi per tipologia di veicolo. A tal fine sarebbero necessarie campagne mirate di campionatura dei comportamenti degli utenti della strada e dei flussi di traffico, attualmente non disponibili in Italia, se non limitatamente a casi locali.

In seguito sono descritte alcune nuove metodologie sviluppate dagli autori per pervenire a stime attendibili ovviando alla carenza di dati di base.

Attualmente la metodologia standard suggerisce che, relativamente a quei paesi per i quali i dati richiesti non sono disponibili al massimo livello di disaggregazione, sia più appropriato partire dal livello nazionale (NUTS 0), per poi stimare le emissioni provinciali ricorrendo ai cosiddetti indicatori *surrogati*, o variabili *proxy* noti a livello provinciale (approccio *top-down*).

Al contrario, qualora i dati richiesti fossero disponibili per le unità territoriali di minime dimensioni, sarebbe possibile utilizzare tali informazioni per applicare la tecnica *bottom-up* per la stima delle emissioni nazionali a partire dalle stime locali.

2.1 La metodologia di base per la stima delle emissioni da trasporti stradali

Le emissioni da traffico vengono suddivise in tre tipologie. In primo luogo vengono considerate le emissioni a caldo (*hot emissions*), ovvero le emissioni dai veicoli i cui motori hanno raggiunto la loro temperatura di esercizio. In secondo luogo le emissioni a freddo (*cold emissions*), ovvero quelle che si verificano durante il riscaldamento del veicolo (convenzionalmente, sono le emissioni che si verificano quando la temperatura dell'acqua di raffreddamento è inferiore a 70°C). Infine esistono le emissioni evaporative (per i soli COVNM, Composti Organici Volatili Non Metanici) rilevanti per i soli veicoli a benzina.

Le emissioni totali possono dunque esprimersi come :

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

dove E_{hot} sono le emissioni a caldo, E_{cold} le emissioni a freddo ed E_{evap} le emissioni evaporative. Alla somma delle emissioni a caldo e di quelle a freddo viene abitualmente dato il nome di emissioni dello scarico (*exhaust emission*).

Le emissioni a caldo sono stimate per tutte le tipologie di veicoli, le emissioni a freddo per le autovetture ed i veicoli commerciali leggeri.

2.2 L'approccio top-down

Seguendo l'approccio *top-down* (Cirillo M. C. et al., 1996) le emissioni vengono dapprima stimate a livello nazionale utilizzando il modello Copert a partire da una serie di dati di input, relativi agli indicatori e ai parametri precedentemente menzionati (parco circolante, consumi di combustibili, percorrenze medie annue dei veicoli, velocità medie dei veicoli, ecc.).

Le stime fornite dal modello Copert per il caso italiano si riferiscono a nove inquinanti e/o gas serra: ossidi di zolfo (SO_x), ossidi di azoto (NO_x), composti organici volatili non metanici (COVNM), metano (CH_4), monossido di carbonio (CO), anidride carbonica (CO_2), protossido di azoto (N_2O), ammoniaca (NH_3), particolato fine (PM); ed a sette metalli pesanti: cadmio (Cd), cromo (Cr), rame (Cu), nickel (Ni), piombo (Pb), selenio (Se), zinco (Zn).

Per applicare coerentemente il modello Copert, e dunque la metodologia Corinair, sono necessarie molte informazioni dettagliate - quali, ad esempio, le velocità medie e le percorrenze medie annue per tipo di veicolo e ciclo di guida - che, non essendo direttamente disponibili, vanno stimate a partire da dati rilevati in casi di studio.

In questa prima fase può essere necessario ricorrere a valutazioni soggettive di esperti del settore e a dati che, seppure non direttamente utilizzabili, forniscano un'integrazione e un ragionevole supporto nella raccolta dell'informazione di base.

2.3 Reperimento dell'informazione di base

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

Ad ogni classe e per ciascun inquinante sono associate delle funzioni di stima delle emissioni e dei consumi dipendenti dalla velocità. Tali funzioni rappresentano delle curve medie di emissione e di consumo di carburante (Eggleston S. et al., 1989, 1991, 1993, TNO, 1992) ricavate da misure sperimentali per diverse tipologie e marche di veicoli e si riferiscono a prove

realizzate in vari paesi europei, su una varietà di cicli di guida urbani ed extraurbani, inclusi quelli previsti dalle varie normative europee. Allo stato attuale, non sono ancora disponibili studi completi che consentano di utilizzare specifiche curve nazionali.

L'elaborazione del modello fornisce una serie di informazioni relative ai consumi (totali o per tipo di veicolo) che possono essere confrontate con le informazioni energetiche nazionali di cui si è in possesso. Ad ogni classe e per ciascun inquinante, infine, sono associate delle funzioni di stima delle emissioni dipendenti dalla velocità.

Per utilizzare correttamente il modello si devono quindi fornire molte informazioni dettagliate, che, non essendo direttamente disponibili, vanno stimate a partire da dati rilevati in casi di studio. In questa fase può essere necessario ricorrere a valutazioni soggettive di esperti del settore e a dati che, seppure non direttamente utilizzabili, forniscano un'integrazione ed un ragionevole supporto nella raccolta dell'informazione di base.

Per ottenere le informazioni relative al parco circolante, nel dettaglio richiesto da Copert, sono stati elaborati i dati forniti dall'ACI (Automobile Club d'Italia). Tali dati sono stati integrati con le informazioni fornite dall'ANFIA (Associazione Italiana fra Industrie Automobilistiche, ANFIA, 1996-1998) e dall'UNRAE (Unione Nazionale Distributori di Automotoveicoli).

Le percorrenze medie annue distinte per ciascuna classe veicolare considerata, sono il risultato di un'analisi incrociata delle differenti fonti informative come il Conto Nazionale dei Trasporti (Ministero dei Trasporti, 1996-1998), le pubblicazioni dell'ACI (1995b), dell'Unione Petrolifera (1996) e della CONFETRA (Confederazione generale italiana del Traffico e dei Trasporti, 1998b).

Per quanto riguarda le velocità medie dei veicoli non sono state individuate fonti informative specifiche a livello nazionale. Sono state sostanzialmente utilizzate le velocità medie fornite dal modello Copert, introducendo piccole modifiche volte ad armonizzare il confronto tra le classi dei veicoli, anche in funzione della loro anzianità e in riferimento alle diverse tipologie di guida (ciclo urbano, extraurbano e autostradale).

Sono stati inoltre presi in considerazione i consumi annui di benzina, gasolio e G.P.L. riportati sul Bilancio Energetico Nazionale (Ministero dell'industria, 1997) con riferimento alle voci dei trasporti stradali e della Pubblica Amministrazione (Tabella 2.1). Per la ripartizione dei consumi di benzina in con e senza piombo si è fatto riferimento a quanto riportato per il 1996 dall'Unione Petrolifera (Unione Petrolifera, 1997).

Tabella n. 2.1: Consumi finali di combustibile per autotrazione in Italia nel 1996

Combustibile	Consumo finale (in tonnellate)
Benzina	17.301.000
di cui senza piombo	7.883.579
di cui con piombo	9.417.421
Diesel	14.449.000
G.P.L.	1.510.000

Infine, per stimare le emissioni sono state utilizzate le curve dei consumi e dei fattori di emissione in funzione della velocità, riportate da Copert e che si riferiscono a prove realizzate in

diversi paesi europei. Nella Tabella 2.2 vengono riportati i dati di base utilizzati per stimare le emissioni, nel dettaglio richiesto dal modello.

Tabella n. 2.2: Parco circolante in Italia e percorrenze medie annue dei veicoli nel 1996

Categoria Veicolare	Tipologia di veicolo	Classe di età	Periodo di riferimento	Veicoli Circolanti	km/anno per veicolo
Autovetture	Benzina < 1,4 cm ³	PRE ECE	fino al 31.3.73	1.396.968	3.000
		ECE 15/00-01	fino al 31/9/78	1.474.367	5.000
		ECE 15/02	fino al 31/12/81	1.598.686	6.108
		ECE 15/03	fino al 31/12/84	2.159.043	7.997
		ECE 15/04	fino al 31/12/92	9.643.628	9.614
		91/441/EEC	dal 1/1/93 al 31/12/96	3.864.182	11.512
	Benzina 1,4-2,0 cm ³	PRE ECE	fino al 31.3.73	141.002	6.000
		ECE 15/00-01	fino al 31/9/78	156.924	8.000
		ECE 15/02	fino al 31/12/81	215.308	11.217
		ECE 15/03	fino al 31/12/84	319.630	13.020
		ECE 15/04	fino al 31/12/92	2.887.248	14.135
		91/441/EEC	dal 1/1/93 al 31/12/96	1.965.286	15.944
	Benzina >2,0 cm ³	PRE ECE	fino al 31.3.73	27.851	7.000
		ECE 15/00-01	fino al 31/9/78	22.127	9.500
		ECE 15/02	fino al 31/12/81	20.383	13.000
		ECE 15/03	fino al 31/12/84	17.763	14.000
		ECE 15/04	fino al 31/12/89	46.865	16.248
		91/441/EEC	dal 1/1/90 al 31/12/96	97.098	17.764
	Diesel <2,0 cm ³	Convenzionali	fino al 30/6/94	1.982.932	18.494
		91/441/EEC	dal 1/7/94 al 31/12/96	377.101	20.22
		Convenzionali	fino al 30/6/94	730.111	20.798
Diesel >2,0 cm ³	91/441/EEC	dal 1/7/94 al 31/12/96	144.758	22.118	
	Convenzionali	fino al 31/12/92	1.141.132	20.237	
G.P.L	91/441/EEC	dal 1/1/93 al 31/12/96	153.445	20.605	
	Benzina < 3,5t	Convenzionali	fino al 30/9/94	342.166	12.971
93/59/EEC		dal 1/10/94 al 30/9/98	36.766	13.732	
Veicoli comm. leggeri < 1,5t (3,5t totali)	Diesel < 3,5t	Convenzionali	fino al 30/9/94	1.508.031	17.745
	93/59/EEC	dal 1/10/94 al 30/9/98	260.879	18.776	
Veicoli Commerciali Pesanti (10t di portata = 16t totali)	Benzina > 3,5t	Convenzionali		15.748	5.000
	Diesel 3,5-7,5t	Convenzionali	fino al 30/9/93	338.317	31.825
		91/542/EEC St. I	dal 1/10/93 al 30/9/96	21.873	34.202
	91/542/EEC St. II	dal 1/10/97	2.343	9.552	
	Diesel 7,5-16t	Convenzionali	fino al 30/9/93	225.545	34.126
		91/542/EEC St. I	dal 1/10/93 al 30/9/96	14.582	35.686
	91/542/EEC St. II	dal 1/10/97	1.562	10.154	
Diesel 16-32t	Convenzionali	fino al 30/9/93	214.303	50.102	
	91/542/EEC St. I	dal 1/10/93 al 30/9/96	29.640	54.427	
91/542/EEC St. II	dal 1/10/97	4.043	13.414		
Diesel > 32t	Convenzionali	fino al 30/9/93	91.844	52.621	
	91/542/EEC St. I	dal 1/10/93 al 30/9/96	12.703	57.013	
	91/542/EEC St. II	dal 1/10/97	1.733	15.083	
Bus	Urbani	Convenzionali	fino al 30/9/93	14.777	40.898
		91/542/EEC St. I	dal 1/10/93 al 30/9/96	1.077	40.709
	91/542/EEC St. II	dal 1/10/97	105	10.000	
	Extraurbani	Convenzionali	fino al 30/9/93	60.979	43.639
91/542/EEC St. I		dal 1/10/93 al 30/9/96	5.806	43.375	
91/542/EEC St. II	dal 1/10/97	725	11.797		
Ciclomotori	< 50cm ³	Convenzionali	fino al 30/6/99	4.688.852	5.500
Motoveicoli	50 - 250 cm ³	Convenzionali	fino al 30/6/99	1.969.876	5.600
	250 - 750 cm ³	Convenzionali	fino al 30/6/99	885.681	5.900
	750 cm ³	Convenzionali	fino al 30/6/99	198.515	6.500

2.4 I risultati delle stime nazionali per l'anno 1996

Il modello Copert fornisce le emissioni nazionali da traffico stradale, stimate per il 1996, dei nove inquinanti principali (SO_x , NO_x , NMVOC, CH_4 , CO, CO_2 , N_2O , NH_3 , PM), e dei metalli pesanti (Cadmio, Cromo, Rame, Nickel, Piombo, Selenio, Zinco) considerati nell'inventario Corinair.

Nelle Tabelle 2.3 e 2.4, i risultati delle stime vengono invece presentati nel dettaglio richiesto dalla classificazione Corinair, e quindi si riferiscono alle categorie veicolari della SNAP 94 (Selected Nomenclature of Air Pollutants).

Tabella n. 2.3: Emissioni nazionali nel 1996 degli inquinanti principali (valori espressi in tonnellate) considerati nell'inventario Corinair, ripartite in base alla classificazione SNAP94

Snap Sector	SO_x	NO_x	NMVOC	CH_4	CO	CO_2	N_2O	NH_3	PM
Autoveiture	27.122	537.452	439.097	33.551	4.149.990	65.913.273	5.366	7.569	14.979
Autostrade	6.852	149.191	26.581	1.937	374.553	13.528.216	1.409	1.748	4.473
Strade Extraurbane	10.823	246a.230	288.660	24.687	2.889.448	27.283.086	1.750	1.522	4.254
Strade Urbane	9.447	142.230	288.660	24.687	2.889.448	27.283.086	1.750	1.522	4.254
Veic. comm. leggeri < 3,5 t	9.338	51.162	12.400	660	135.413	8.129.052	494	81	8.697
Autostrade	1.927	9.527	914	50	17.892	1.632.764	99	17	1.674
Strade Extraurbane	4.060	20.255	3.349	185	30.473	3.516.308	268	47	4.005
Strade Urbane	3.351	21.381	8.137	425	87.049	2.979.980	127	17	3.019
Veic. comm. pes. >3,5 t e bus	33.419	295.509	46.133	2.469	96.677	26.285.062	1.239	124	19.987
Autostrade	15.158	124.726	15.036	918	32.838	11.915.368	554	55	7.503
Strade Extraurbane	11.842	102.964	17.808	827	38.262	9.318.611	513	51	7.534
Strade Urbane	6.420	67.818	13.289	724	25.577	5.051.082	172	17	4.950
Ciclomotori < 50 cc	982	771	227.358	3.940	385.497	2.004.835	18	18	0
Motocicli > 50 cc	775	3.011	24.638	3.497	423.311	1.583.357	35	35	0
Autostrade	49	334	882	175	30.028	99.120	2	2	0
Strade Extraurbane	253	1.453	5.253	1.224	142.224	516.421	12	12	0
Strade Urbane	474	1.224	18.503	2.098	251.059	967.815	21	21	0
Emissioni evaporative	0	0	251.762	0	0	0	0	0	0
Totale	71.637	887.906	1.001.389	44.117	5.190.889	103.915.579	7.152	7.827	43.664

Tabella n. 2.4: Emissioni nazionali nel 1996 dei metalli pesanti (valori espressi in chilogrammi) considerati nell'inventario Corinair, ripartite in base alla classificazione SNAP94

Snap Sector	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn
Autoveiture Passeggeri	183	457	1.097	549	1.082.338	183	549
Autostrade	32	81	195	97	80.893	32	97
Strade Extraurbane	68	170	408	204	347.231	68	204
Strade Urbane	82	206	494	247	654.215	82	247
Veic. comm. leggeri < 3,5 t	29	72	173	87	99.469	29	87
Autostrade	6	14	34	17	14.866	6	17
Strade Extraurbane	12	31	75	37	40.954	12	37
Strade Urbane	11	27	65	32	43.649	11	32
Veic. comm. pes. >3,5 t e bus	84	209	503	251	3.783	84	251
Autostrade	38	95	228	114	743	38	114
Strade Extraurbane	30	74	178	89	2.027	30	89
Strade Urbane	16	40	97	48	1.013	16	48
Ciclomotori < 50 cc	12	31	74	37	184.107	12	37
Motocicli > 50 cc	10	24	58	29	145.402	10	29
Autostrade	1	2	4	2	9.102	1	2
Strade Extraurbane	3	8	19	9	47.424	3	9
Strade Urbane	6	15	36	18	88.876	6	18
Emissioni evaporative	0	0	0	0	0	0	0
Totale	317	794	1.905	952	1.515.100	317	952

2.5 I risultati delle stime provinciali per l'anno 1996

Come precedentemente accennato, le emissioni provinciali vengono stimate ricorrendo ad una tecnica largamente utilizzata in ambito statistico, vale a dire quella delle variabili *proxy* o surrogati. Si attribuisce all'attività di emissione incognita a livello provinciale, la stessa distribuzione territoriale di un'altra grandezza (surrogato), nota per quella provincia, e che si valuta sia ben correlata all'attività sconosciuta a tale livello di disaggregazione. Le emissioni vengono dunque stimate utilizzando la seguente formula:

$$E_{prov,i,j} = E_{naz,i} * \frac{S_{prov,i,j}}{S_{naz,i}}$$

dove:

- $E_{prov,i,j}$ = emissioni provinciali relative all'attività *i* e alla provincia *j* ;
- $E_{naz,i}$ = emissioni nazionali relative all'attività *i* ;
- $S_{prov,i,j}$ = statistica (surrogato) provinciale correlata alle emissioni dell'attività *i* e disponibile per la provincia *j* ;
- $S_{naz,i}$ = stessa statistica (surrogato) relativa all'attività *i* e riferita all'intera nazione;

La metodologia standard utilizzata nell'ambito del progetto Corinair per la disaggregazione spaziale (a livello provinciale) delle emissioni da traffico stradale (approccio *top-down*), può essere così sintetizzata:

- le emissioni urbane (quelle, cioè, prodotte su strade urbane) vengono disaggregate a livello provinciale, utilizzando come variabile *proxy* la popolazione provinciale residente nei comuni con più di 20.000 abitanti (fonte ISTAT).
- le emissioni extraurbane vengono disaggregate a livello provinciale, utilizzando come variabile *proxy* la popolazione provinciale residente nei comuni con meno di 20.000 abitanti (fonte ISTAT).
- le emissioni autostradali vengono disaggregate a livello di singola provincia, utilizzando come variabile *proxy* la lunghezza dei tratti autostradali nell'ambito della provincia stessa (fonte AISCAT, 1998).
- le emissioni evaporative vengono disaggregate a livello provinciale, utilizzando come variabile *proxy* il parco circolante provinciale a benzina (fonte ACI); vengono considerati i soli veicoli alimentati a benzina¹, dal momento che le emissioni evaporative vengono stimate esclusivamente per i veicoli che utilizzano questo tipo di carburante.

L'applicazione di tale metodologia ha consentito di ottenere la stima delle emissioni dovute ai trasporti stradali (macrosettore 7) di tutti gli inquinanti e dei metalli pesanti considerati nel progetto Corinair, per le 103 province italiane nel 1996.

I grafici di seguito riportati forniscono una sintesi dell'informazione ottenuta con le stime.

¹Vista l'assenza di tali informazioni presso le fonti censite, il numero di ciclomotori circolanti in una determinata provincia è stato stimato, ripartendo il numero di ciclomotori circolanti a livello nazionale, proporzionalmente alla quota della popolazione nazionale residente in quella provincia.

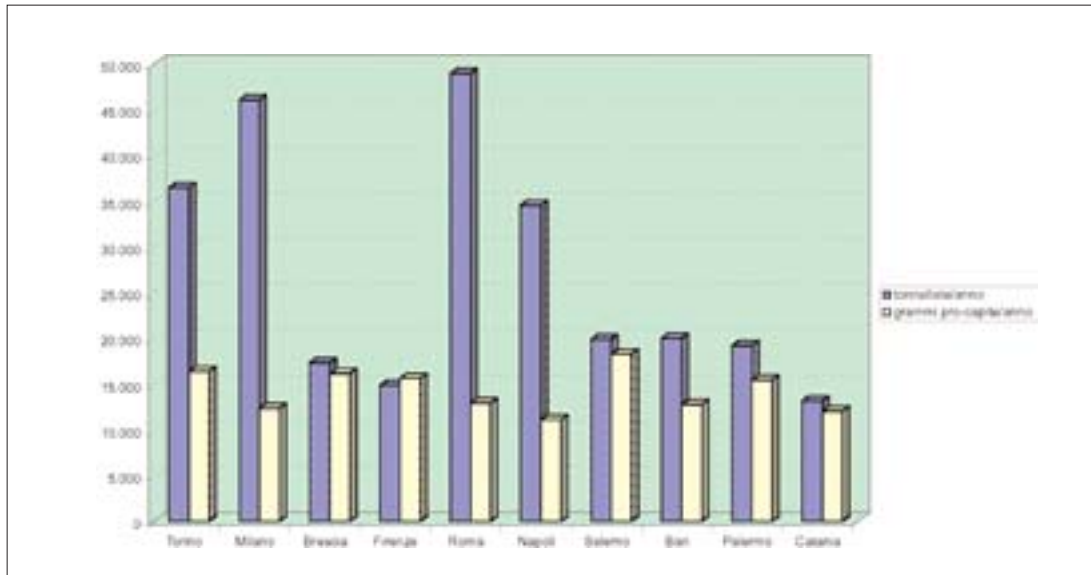


Figura n. 2.1: Emissioni di NO_x (tonnellate) da trasporti stradali. Anno 1996

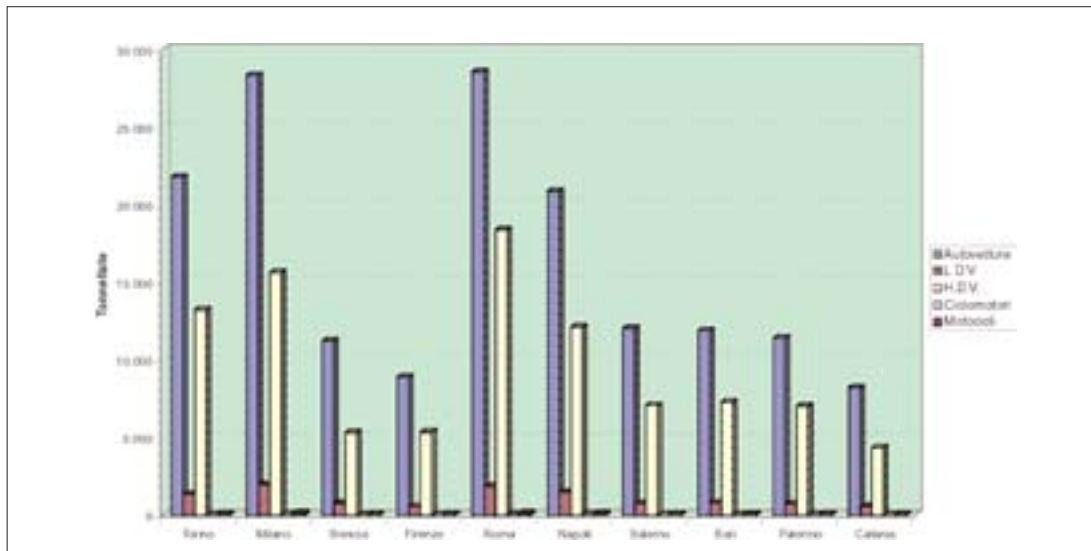


Figura n. 2.2: Emissioni di NO_x (tonnellate) per tipologia di veicolo. Anno 1996

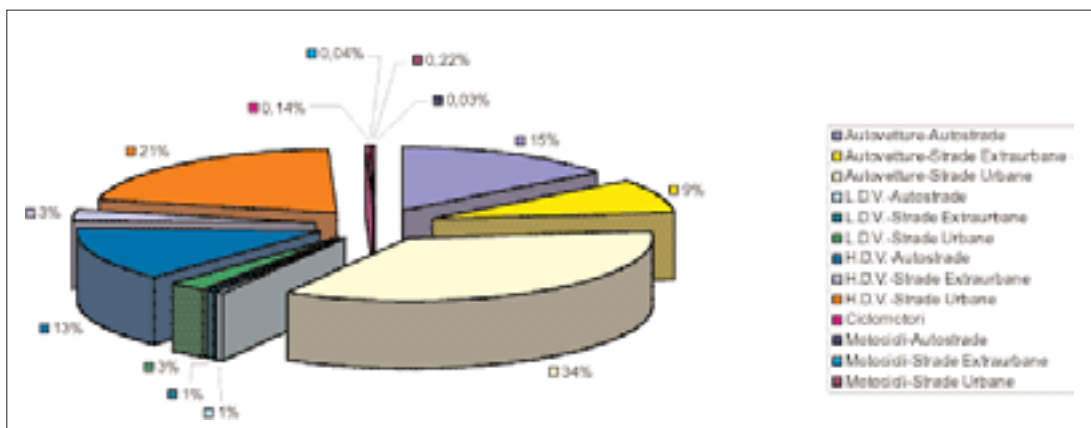


Figura n.2.3: Emissioni di NO_x nella provincia di Roma. Ripartizione percentuale in base alle attività della classificazione Corinair. Anno 1996

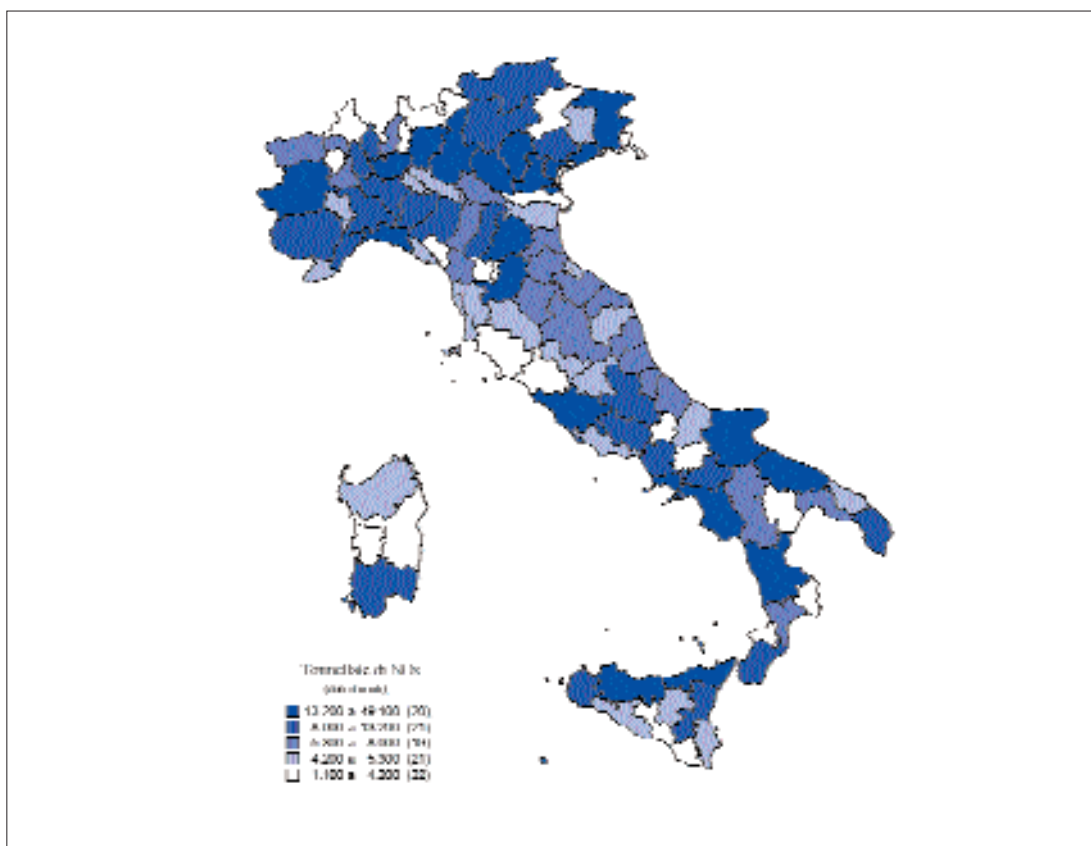


Figura n.2.4: Emissioni di NO_x da trasporto stradale nelle province italiane. Anno 1996

3. Caratterizzazione delle province italiane rispetto all'attività dei trasporti stradali

Nella seconda fase del percorso metodologico seguito è stata condotta una analisi esplorativa dei dati (Fabbri L., 1997, Fraire M., 1991), volta a caratterizzare le province italiane rispetto all'attività dei trasporti stradali e soprattutto ad individuare dei gruppi di province simili rispetto ad alcuni indicatori selezionati per la loro presumibile incidenza rispetto al fenomeno oggetto di studio.

Si è cercato innanzitutto di analizzare il comportamento statistico di una serie di variabili caratteristiche dell'attività dei trasporti stradali, al fine di selezionarne un insieme ristretto, utilizzabile come set di riferimento e confronto.

Naturalmente in questa scelta non sono state prese in considerazione le variabili (*standard*) utilizzate come *proxy* nella metodologia Corinair di stima delle emissioni provinciali.

Sono state complessivamente selezionate 18 variabili, nel seguito definite *descrittive di base*, relative ai principali aspetti dell'attività dei trasporti stradali. Sono state prese in considerazione variabili relative alla quantità di veicoli circolanti (variabili di parco), alle infrastrutture stradali presenti all'interno delle province, ad aspetti fisici (superficie provinciale), economici (spese per la viabilità, volume dell'import/export, vendite di combustibili), ai consumi di combustibili (consumi di gasolio dei veicoli commerciali pesanti), ed alle percorrenze dei veicoli all'interno delle province (percorrenze totali annue dei veicoli commerciali pesanti).

La Tabella 3.1 contiene la descrizione delle 18 variabili selezionate e le fonti dei dati ad esse relative (valori per provincia).

Tabella 3.1: Le 18 variabili descrittive di base e le fonti dei dati

VARIABILE	DESCRIZIONE	FONTE
PROVINCIALI	Lunghezza complessiva delle strade provinciali nella provincia (km)	Conto Naz. dei Trasporti
STATALI	Lunghezza complessiva delle strade statali della provincia (km)	ISTAT
EXTRAURBANE	Lunghezza complessiva delle strade extraurbane della provincia (km)	ISTAT
SUPERFICIE	Superficie provinciale (km ²)	Conto Naz. dei Trasporti
SPESA	Spese per la viabilità (milioni di lire)	Conto Naz. dei Trasporti
IMPEXP	Quantità delle merci importate dall'estero ed esportate all'estero (t)	Conto Naz. dei Trasporti
CONSUMIHD	Consumi di gasolio dei veicoli commerciali pesanti (l)	ISTAT
PERCORRHD	Percorrenze totali annue dei veicoli commerciali pesanti (km)	ISTAT
BENZAUTO	Numero di autovetture a benzina circolanti	ACI
DIESAUTO	Numero di autovetture a gasolio circolanti	ACI
GPLAUTO	Numero di autovetture a G.P.L. circolanti	ACI
LDBENZ	Numero di veicoli commerciali leggeri a benzina circolanti	ACI
LDDIESEL	Numero di veicoli commerciali leggeri a gasolio circolanti	ACI
DIESEL	Numero di veicoli commerciali pesanti a gasolio circolanti	ACI
MOTO	Numero di motoveicoli circolanti	ACI
TBENZVEND	Venduto di benzina trazione (t)	Bollettino Petrolifero
TDIESVEND	Venduto di gasolio trazione (t)	Bollettino Petrolifero
TGPLVEND	Venduto di G.P.L. trazione (t)	Bollettino Petrolifero

Nell'analisi le variabili di parco sono riferite alle differenti categorie veicolari, ripartite (come nel caso delle autovetture e dei veicoli commerciali leggeri) in base al tipo di combustibile utilizzato e senza ulteriori distinzioni per cilindrata o per anno di immatricolazione dei veicoli.

Tra le variabili di parco selezionate per l'analisi, non figura il numero di ciclomotori circolanti; i dati provinciali relativi a questa variabile, infatti, non sono reperibili e sono stati quindi stimati ripartendo il dato nazionale in maniera proporzionale alla popolazione provinciale residente. Di conseguenza, il numero di ciclomotori circolanti risulta fortemente correlato alle emissioni provinciali sulle strade urbane ed extraurbane che, come illustrato, vengono stimate utilizzando proprio la popolazione provinciale come variabile *proxy*.

I dati relativi ai consumi ed alle percorrenze dei veicoli commerciali pesanti (fonte ISTAT) provengono da un'indagine campionaria svolta nel 1997, tramite questionario, presso le principali aziende italiane di trasporto merci (SISTAN-ISTAT, 1997).

3.1 L'analisi in componenti principali (ACP)

L'analisi in componenti principali può essere applicata ad ogni tabella che fornisca, per ciascuna delle n unità statistiche di un collettivo, le misure di k variabili quantitative. Uno degli obiettivi principali dell'ACP è quello di ottenere una sintesi descrittiva del fenomeno studiato, con la minima perdita di informazioni. Tale sintesi viene realizzata mediante l'ottenimento di nuove variabili, le componenti principali appunto, che sono combinazioni lineari dell'insieme di variabili originarie e incorrelate tra loro.

Dal punto di vista geometrico, si tratta di proiettare gli n punti originari (punti-unità) in un sottospazio vettoriale di dimensione inferiore rispetto a quello di partenza (k), in modo che la nuvola di punti sia deformata il meno possibile consentendo, inoltre, di identificare le variabili che non contribuiscono, o contribuiscono minimamente, a spiegare il fenomeno (Rizzi A., 1985).

L'analisi in componenti principali è stata effettuata utilizzando il pacchetto informatico SPAD 3.2 (CISIA-CERESTA, 1998a, 1998b).

Nell'analisi, le 18 variabili precedentemente illustrate sono state considerate attive, mentre la popolazione provinciale residente, la lunghezza dei tratti autostradali ed il numero di ciclomotori circolanti, per i motivi precedentemente illustrati, sono state introdotte nell'analisi come variabili illustrative.

Poiché lo scopo della ACP è, come accennato, quello di ridurre lo spazio di rappresentazione delle unità e delle variabili al fine di consentire una più agevole interpretazione del fenomeno in esame, allora diviene molto importante disporre di strumenti atti a valutare la qualità di rappresentazione dei punti sul sottospazio principale.

L'indice di qualità di rappresentazione globale, dato dal rapporto λ_i/Φ , risponde proprio a questa esigenza poiché fornisce la percentuale di inerzia (o di varianza) totale catturata dall'asse i -mo².

Nel caso specifico, il calcolo dei suddetti indici ha rivelato, nell'analisi dell'intera matrice dei dati, per le prime sette componenti principali, le seguenti quote di variabilità lineare totale spiegata:

autovalore	%	% cumulata
$\lambda_1 = 10,8410$	57,06	57,06
$\lambda_2 = 2,6731$	14,07	71,13
$\lambda_3 = 1,3676$	7,20	78,32
$\lambda_4 = 0,8700$	4,58	82,90
$\lambda_5 = 0,8134$	4,28	87,18
$\lambda_6 = 0,5882$	3,10	90,28
$\lambda_7 = 0,4786$	2,52	92,80

Nella Figura 3.1 viene riportata la rappresentazione grafica degli autovalori e del corrispondente numero dei fattori in ordine di estrazione.

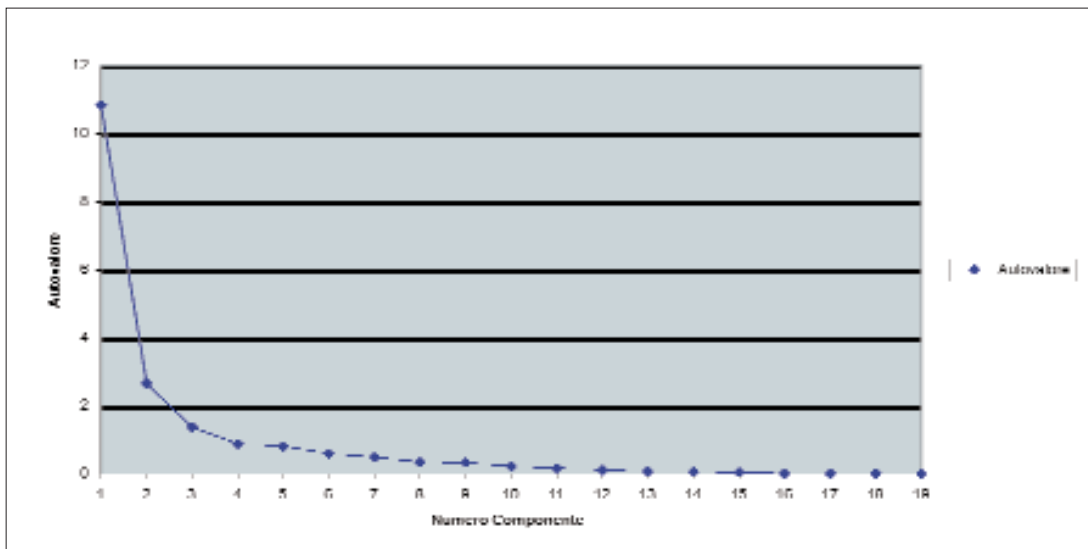


Figura n. 3.1: Rappresentazione grafica degli autovalori e corrispondente numero dei fattori in ordine di estrazione

² L'inerzia totale Φ misura lo scostamento dei punti (i vettori x_i) intorno al loro centro di gravità, ossia la distanza totale della nuvola dei punti, e viene definita in termini di distanza come:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n p_i \|x_i\|_M^2$$

(dove p_i è un peso che esprime la "massa" dei punti (vettori) x_i nello spazio delle unità); λ_i rappresenta invece l'inerzia della nuvola proiezione sull' i -mo asse principale e si ottiene risolvendo l'equazione agli autovalori definita massimizzando la varianza dell' i -ma componente principale sotto il vincolo che il vettore dei coefficienti della combinazione lineare sia normalizzato.

La qualità di rappresentazione globale che si raggiunge proiettando la nube nello spazio a quattro dimensioni consente di recuperare gran parte dell'informazione originaria ($\lambda_4 = 82,90\%$).

La caratterizzazione degli assi principali in termini di unità e variabili originarie è regolata contemporaneamente da due diverse operazioni interpretative: l'esame degli individui tipici da un lato ed il calcolo delle correlazioni variabili iniziali-componenti principali dall'altro.

Nel primo caso lo strumento descrittivo utilizzato è un indice (detto di contributo assoluto), volto a valutare il ruolo giocato dall'i-ma unità nella determinazione dell'asse. Tale indice, definito dal rapporto $p_i(c_i^k)^2/\lambda_k$ (dove con c_i^k si designa la coordinata dell'i-ma unità di peso p_i , sul k-mo asse principale), rappresenta proprio la quota di varianza di c_k dovuta all'individuo i-mo. Nella Tabella 3.2 vengono riportate le coordinate, i contributi assoluti e relativi³ delle province italiane che più caratterizzano i primi quattro assi fattoriali.

Tabella 3.2: Coordinate, contributi assoluti e relativi delle province italiane che più caratterizzano i primi quattro assi fattoriali

Primo asse				Secondo asse			
Provincia	Coordinata	Contributo assoluto (%)	Contributo relativo	Provincia	Coordinata	Contributo assoluto (%)	Contributo relativo
Semiasse negativo				Semiasse negativo			
Roma	-16,77	25,2	0,93	Milano	-5,82	12,3	0,11
Milano	-15,61	21,8	0,8	Napoli	-3,13	3,6	0,06
Torino	-11,36	11,6	0,78	Prato	-2,58	2,4	0,45
Napoli	-10,84	10,5	0,75	Trieste	-2,51	2,3	0,39
Semiasse positivo				Semiasse positivo			
Verbania	2,93	0,8	0,83	Foggia	3,66	4,9	0,77
Trieste	3,00	0,8	0,56	Potenza	4,07	6,0	0,69
Isernia	3,23	0,9	0,86	Cuneo	4,21	6,4	0,48
Gorizia	3,35	1,0	0,69	Cosenza	4,83	8,5	0,76

Terzo asse				Quarto asse			
Provincia	Coordinata	Contributo assoluto (%)	Contributo relativo	Provincia	Coordinata	Contributo assoluto (%)	Contributo relativo
Semiasse negativo				Semiasse negativo			
Sondrio	-6,36	28,7	0,77	Siracusa	-3,24	11,7	0,36
Bergamo	-3,20	7,3	0,43	Cagliari	-2,59	7,5	0,26
Treviso	-2,50	4,4	0,50	Milano	-2,34	6,1	0,02
Verona	-2,15	3,3	0,34	Taranto	-1,93	4,2	0,21
Semiasse positivo				Semiasse positivo			
Siracusa	1,77	2,2	0,11	Roma	1,71	3,3	0,01
Roma	1,85	2,4	0,01	Catania	1,72	3,3	0,28
Taranto	1,90	2,6	0,21	Lecce	1,72	3,3	0,45
Milano	2,57	4,7	0,02	Napoli	3,66	15,0	0,09

³ Si ricorda che il contributo relativo di un punto x_i sul piano P generato dalle prime due componenti principali può essere espresso in termini di $\frac{(c_i^1)^2 + (c_i^2)^2}{\sum_{k=1}^m (c_i^k)^2}$. Tale indice esprime la vicinanza, in termini di angolo, tra il punto x_i e la sua proiezione sul pia-

I contributi assoluti sommati su tutte le province per singola componente rappresentano il 100% dell'informazione catturata dalla stessa; i contributi relativi sommati su tutte le componenti di una singola provincia rappresentano il 100% della stessa. La lettura dei contributi assoluti permette di individuare immediatamente le province che più caratterizzano le componenti principali.

Dovendo invece stabilire il tipo e l'intensità del legame esistente tra le variabili di partenza, V_j , e le nuove variabili ausiliarie, le componenti principali C_i , è necessario ricorrere ai coefficienti di correlazione $r(C_i, V_j)$.

Il significato da attribuire a ciascuna componente principale dipende dunque dalle variabili ad essa maggiormente correlate, ossia con valore del coefficiente di correlazione molto vicino a +1 o a -1.

Nella Tabella 3.3 vengono riportati, per i quattro assi principali, i coefficienti di correlazione delle variabili considerate nell'analisi.

Tabella n. 3.3: Coefficienti di correlazione delle variabili con i primi 4 assi fattoriali

VARIABILE	I	II	III	IV
PROVINCIALI	-0,48	0,71	0,10	0,08
STATALI	-0,32	0,84	0,15	0,13
EXTRAURBANE	-0,43	0,36	-0,35	-0,39
SUPERFICIE	-0,37	0,85	0,03	-0,03
SPESA	-0,63	0,47	0,10	-0,19
IMPEXP	-0,44	-0,29	0,28	-0,64
CONSUMIHD	-0,66	-0,03	-0,71	-0,02
PERCORRHD	-0,66	-0,05	-0,71	0,00
BENZAUTO	-0,96	-0,20	0,13	0,07
DIESAUTO	-0,90	-0,08	0,13	0,30
GPLAUTO	-0,82	-0,14	-0,07	0,30
LDBENZ	-0,87	-0,12	0,10	-0,03
LDDIESEL	-0,97	-0,12	0,01	-0,05
HDDIESEL	-0,97	-0,08	0,04	0,13
MOTO	-0,92	-0,23	0,10	0,03
TBENZVEND	-0,95	-0,21	0,11	-0,02
TDIESVEND	-0,89	-0,23	0,11	-0,11
TGPLVEND	-0,81	-0,08	0,16	0,07

Alla luce di questi valori va quindi interpretata la rappresentazione delle province nel sottospazio a quattro dimensioni: ogni asse (cioè ogni componente principale) caratterizza gli individui in maniera *polare* o *antitetica*, secondo le caratteristiche da esso catturate cioè, in altre parole, le province che si dispongono lungo il semiasse positivo hanno un comportamento antitetico rispetto a quelle disposte lungo il semiasse negativo.

L'analisi di tali elementi ha consentito di entrare nel dettaglio delle singole componenti principali per metterne in luce le specifiche peculiarità.

Per la prima componente principale (varianza spiegata: 57,06%) vanno segnalate le elevate correlazioni con le variabili di parco circolante, in particolare con quelle relative ai veicoli commerciali alimentati a gasolio: si registra un coefficiente di correlazione negativo, pari al 97% sia con i mezzi leggeri che con quelli pesanti.

Notevole risulta anche la correlazione con il venduto di benzina (95%), e con il numero di autovetture alimentate a benzina (96%), variabile quest'ultima che, come appurato attraverso un'analisi esplorativa iniziale, risulta fortemente correlata con la popolazione provinciale residente.

Non a caso, le province che presentano i contributi assoluti più interessanti sul primo asse principale e che trovano collocazione sull'estremità negativa dell'asse, sono quelle con il maggior numero di abitanti, con il maggior numero di veicoli circolanti nonché quelle a più intenso traffico veicolare: Milano ($C_1 = -15,61$), Roma ($C_1 = -16,77$), Torino ($C_1 = -11,36$) e Napoli ($C_1 = -10,84$). Si osserva, dunque, un'evidente polarizzazione del semiasse negativo dal momento che le correlazioni più elevate sono di tipo inverso.

Il semiasse positivo vede la presenza di unità con caratteristiche antitetiche rispetto a quelle delle precedenti province. Di fatto, troviamo, anche se con coordinate non particolarmente significative, Gorizia, Isernia, Trieste e Verbania, in altre parole le province italiane con il minor peso demografico e, di conseguenza, con parchi circolanti ridotti.

Queste ultime considerazioni confermano un risultato prevedibile ma di indubbia importanza: una variabile specifica di mobilità, quale il numero di autovetture a benzina, fornisce un'informazione del tutto simile a quella fornita dalla variabile standard popolazione residente, in termini di caratterizzazione del fenomeno mobilità.

La seconda componente principale (varianza spiegata: 14,07%) presenta una correlazione negativa con le variabili relative all'import/export (29%), ai motocicli (23%) ed al venduto di gasolio (23%) ed una correlazione positiva con le variabili relative alla superficie provinciale (85%), alle strade statali (84%) ed alle strade provinciali (71%).

La provincia che, rispetto a questo asse, assume il ruolo dominante è quella di Milano ($C_2 = -5,82$), città estremamente dinamica dal punto di vista economico e commerciale; nel semiasse opposto il primato spetta a Cosenza ($C_2 = 4,83$) cui seguono Cuneo ($C_2 = 4,21$), Potenza ($C_2 = 4,07$) e Foggia ($C_2 = 3,66$), con coordinate che rispecchiano il comportamento antitetico di tali province rispetto a Milano.

La terza componente principale (varianza spiegata: 7,20%) evidenzia l'opposizione tra la variabile di import/export, correlata positivamente (28%) con questo asse, e le variabili relative ai consumi di gasolio ed alle percorrenze annue dei veicoli commerciali pesanti; queste ultime

due variabili, rappresentative del traffico pesante, mostrano lo stesso valore negativo del coefficiente di correlazione con l'asse (71%)⁴.

Rispetto alla terza componente principale, la provincia che gode della migliore rappresentazione è Sondrio ($C_3 = -6,36$), con un contributo assoluto pari al 29%; sullo stesso semiasse troviamo Bergamo ($C_3 = -3,20$), Treviso ($C_3 = -2,50$) e Verona ($C_3 = -2,15$), mentre sul semiasse opposto si distinguono Milano ($C_3 = 2,57$), Taranto ($C_3 = 1,90$), Roma ($C_3 = 1,85$) e Siracusa ($C_3 = 1,77$).

La quarta componente principale (varianza spiegata: 4,58%) presenta una correlazione negativa piuttosto elevata con la variabile di import/export (64%) e correlazioni positive, inferiori in valore assoluto, con il parco autoveicoli a gasolio (30%) ed a G.P.L. (30%).

Riguardo alle province che più caratterizzano questo asse, troviamo sul semiasse negativo Siracusa ($C_4 = -3,24$), Cagliari ($C_4 = -2,59$), Milano ($C_4 = -2,34$) e Taranto ($C_4 = -1,93$), cui si oppongono sul semiasse positivo Napoli ($C_4 = 3,66$), Lecce ($C_4 = 1,72$), Catania ($C_4 = 1,72$) e Roma ($C_4 = 1,71$).

È interessante notare come questo asse, diversamente dai primi tre, opponga Milano e Roma, province che hanno caratteristiche di mobilità piuttosto simili, ma caratteristiche differenti dal punto di vista dell'attività economica.

3.2 La cluster analysis

Ultimata l'analisi in componenti principali, si procede all'analisi dei gruppi (cluster analysis). L'analisi dei gruppi comprende un insieme di tecniche di analisi statistica multivariata impiegate per classificare le n unità statistiche iniziali di un collettivo, generalmente numerose, in s (con $s \ll n$) sub-gruppi (o classi) esaustivi.

Gli s gruppi formati costituiscono una partizione del collettivo di partenza; quindi, per definizione di partizione, si avranno s gruppi non vuoti e disgiunti, caratterizzati al loro interno da unità statistiche omogenee (vicine, simili) rispetto ai k caratteri simultaneamente considerati (Rizzi A., 1985).

Si è ritenuto interessante completare l'analisi fattoriale con una classificazione opportunamente scelta, poiché i due approcci sono complementari: l'uno permette di meglio interpretare l'altro.

I quattro fattori estratti attraverso l'analisi in componenti principali sono stati dunque utilizzati per effettuare la classificazione automatica delle 103 province italiane, nel tentativo di individuare gruppi di province simili rispetto alle caratteristiche sintetizzate dai fattori stessi.

La classificazione automatica è stata effettuata utilizzando la procedura RECIP dello SPAD 3.2 (CISIA-CERESTA, 1998a, 1998b); questa procedura costruisce un albero di aggregazione gerarchica (o dendrogramma) delle unità statistiche caratterizzate dalle loro coordinate fattoriali, utilizzando il criterio di aggregazione di Ward .

⁴ A questo proposito è opportuno sottolineare che le due variabili CONSUMIHD e PERCORRHD (dati di fonte ISTAT, cfr. par. 4.1), sono fortemente correlate tra loro, come risulta dalla matrice (R) di correlazione delle variabili originarie.

La procedura PARTI ha permesso poi di effettuare il taglio del dendrogramma per ottenere una partizione in un certo numero di classi.

La migliore partizione individuata è quella costituita da cinque classi delle quali viene illustrata la composizione in Tabella 3.4 e la localizzazione sul territorio nazionale in Figura 3.2.

Tabella n. 3.4: Composizione dei 5 gruppi individuati

GRUPPO 1 (56 province)

I fatt. ($\cos^2= 0,877$) , II fatt. ($\cos^2= 0,104$)

Agrigento, Ancona, Aosta, Arezzo, Asti, Belluno, Benevento, Biella, Brindisi, Caltanissetta, Campobasso, Catanzaro, Como, Cremona, Crotone, Enna, Ferrara, Forlì, Gorizia, Grosseto, Imperia, Isernia, La Spezia, Latina, Lecco, Livorno, Lodi, Lucca, Macerata, Mantova, Massa, Matera, Novara, Oristano, Pescara, Piacenza, Pisa, Pistoia, Pordenone, Prato, Ragusa, Ravenna, Reggio Calabria, Rieti, Rimini, Rovigo, Savona, Siena, Teramo, Terni, Trieste, Varese, Verbania, Vercelli, Vibo Valentia, Viterbo

GRUPPO 2 (16 province)

I fatt. ($\cos^2= 0,669$) , III fatt. ($\cos^2= 0,311$)

Bari, Bergamo, Bologna, Brescia, Caserta, Catania, Firenze, Frosinone, Genova, Modena, Padova, Sondrio, Treviso, Venezia, Verona, Vicenza

GRUPPO 3 (16 province)

IV fatt. ($\cos^2= 0,466$) , II fatt. ($\cos^2= 0,375$)

Alessandria, Ascoli Piceno, Avellino, Cagliari, Chieti, L'Aquila, Lecce, Messina, Parma, Pavia, Pesaro, Reggio Emilia, Siracusa, Taranto, Trapani, Udine

GRUPPO 4 (11 province)

II fatt. ($\cos^2= 0,841$) , I fatt. ($\cos^2= 0,110$)

Bolzano, Cosenza, Cuneo, Foggia, Nuoro, Palermo, Perugia, Potenza, Salerno, Sassari, Trento

GRUPPO 5 (4 province)

I fatt. ($\cos^2= 0,976$) , II fatt. ($\cos^2= 0,018$)

Milano, Napoli, Roma, Torino

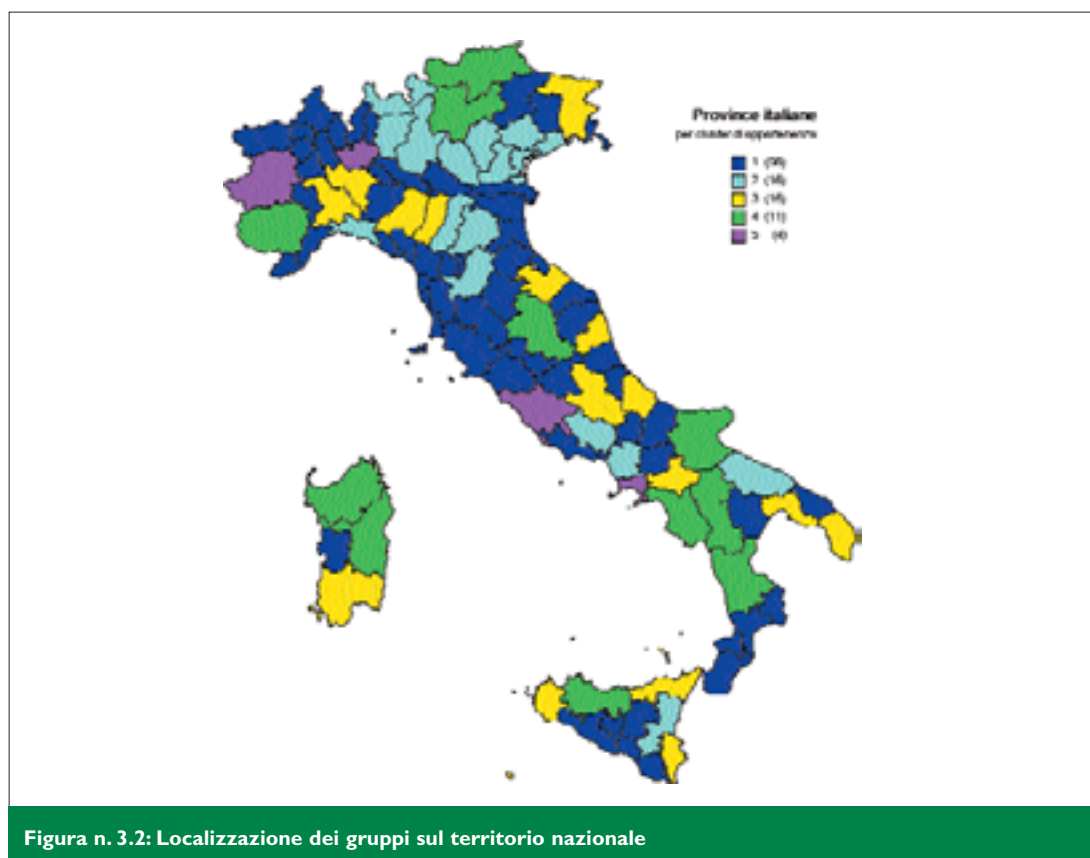


Figura n. 3.2: Localizzazione dei gruppi sul territorio nazionale

La considerazione più immediata riguarda la differenza netta, in termini di numerosità, tra il primo cluster (che contiene il 54% delle province) ed i restanti quattro; la presenza di un numero talmente elevato di province all'interno di un unico gruppo potrebbe far sorgere dei dubbi in merito alla sua omogeneità.

Alcune constatazioni confermano l'effettiva presenza, nel modo di aggregarsi delle province, di una struttura di base stabile, costituita da un primo gruppo molto più numeroso rispetto agli altri.

In particolare, si è appurato che, anche le partizioni formate da un maggior numero di classi (ad esempio la seconda migliore partizione individuata, costituita da otto cluster), che dovrebbero discriminare maggiormente i gruppi, vedono comunque la presenza di una prima classe nettamente più numerosa delle altre, che in tutti i casi risulta costituita da più di cinquanta province.

È stata inoltre effettuata una analisi esplorativa preliminare sui dati relativi ad alcune delle 18 variabili selezionate.

Da questa è stato possibile osservare che, considerando, volta per volta, l'ordinamento delle 103 province italiane secondo i valori crescenti di tali variabili (popolazione residente, autovetture a benzina, consumi dei veicoli commerciali pesanti, venduto di benzina, numero di motoveicoli circolanti), e calcolandone le somme parziali, il 50% del valore complessivo

(nazionale) di ciascuna variabile viene raggiunto in corrispondenza di un gruppo costituito dalle prime 70 – 80 province, dell'ordinamento crescente: questo dimostra la massiccia presenza di realtà provinciali di dimensioni ridotte e con caratteristiche simili rispetto a tali indicatori di attività dei trasporti stradali.

Primo gruppo: province minori (per superficie ed abitanti).

Composto da 56 province, è caratterizzato in primo luogo dal fattore 1 ($\cos^2 = 0,877$), rispetto al quale è situato sul semiasse positivo, e poi dal fattore 2 ($\cos^2 = 0,104$), rispetto al quale è situato sul semiasse negativo (Figura 3.4). I restanti tre fattori contribuiscono minimamente a caratterizzare questo gruppo.

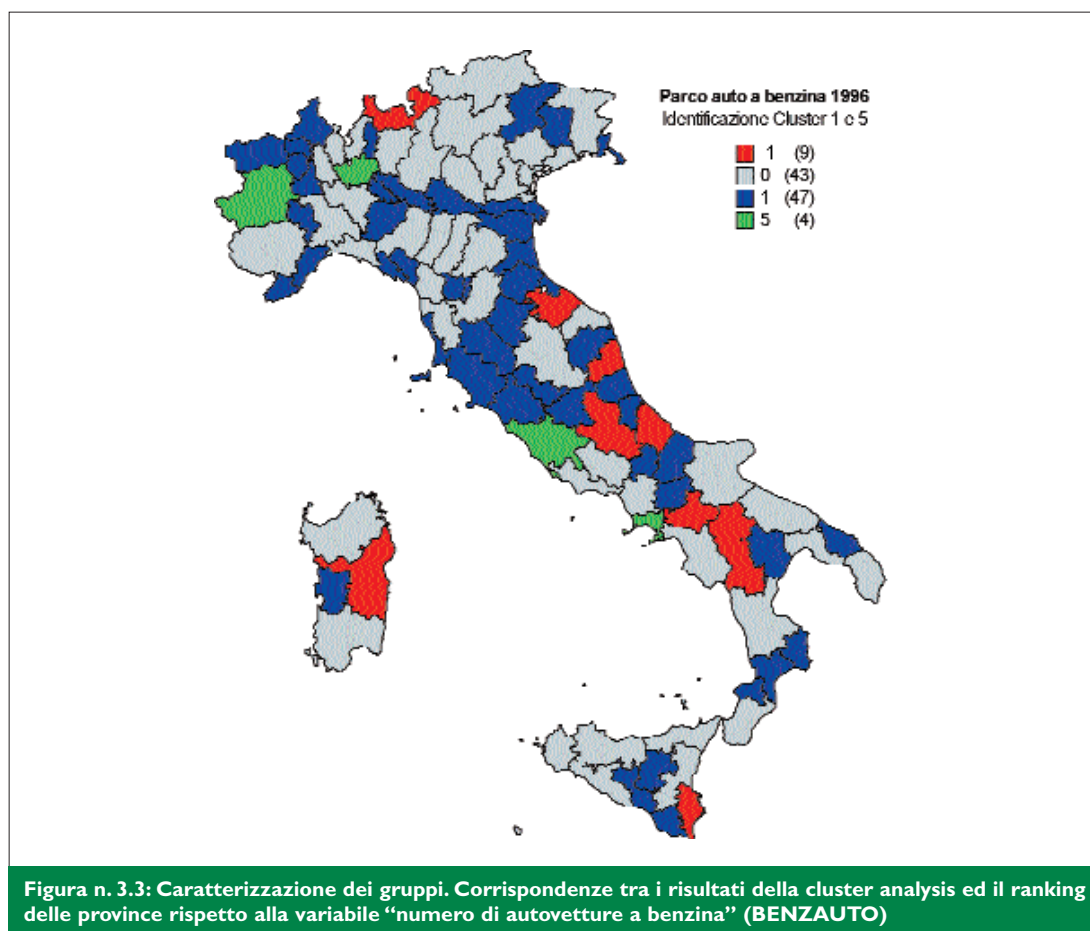
Si tratta, in sostanza, delle province più piccole (superficie media di circa 2.000 Km²), che hanno il minor peso demografico (il numero medio di residenti è pari a circa 290.000), e che, di conseguenza, presentano parchi circolanti mediamente ridotti.

All'interno della classe si osservano, per tutte le variabili, valori degli scarti medi (rispetto alla media della classe) sensibilmente inferiori rispetto a quelli registrati, per la stesse variabili, nelle altre classi, a dimostrazione della accentuata omogeneità del gruppo e della forte "coesione" delle province al suo interno.

A questo proposito è stato effettuato un confronto tra la classificazione delle province ottenuta attraverso la cluster analysis con quella ricavata dal *ranking* rispetto alla variabile BENZAUTO, scelta come variabile di sintesi (le prime 56 province nell'ordinamento crescente di tale indicatore sono state incluse in un primo gruppo, le successive 16 nel secondo e così via, ottenendo una ripartizione delle province in cinque gruppi aventi la stessa numerosità di quelli individuati attraverso la cluster analysis); a questo punto sono state valutate le corrispondenze tra le due classificazioni ottenute.

Dal confronto è stato possibile osservare che ben 47 delle 56 province che compongono il primo gruppo della cluster analysis fanno parte delle prime 56 nel *ranking* e dunque rientrano nel primo gruppo della classificazione ottenuta attraverso tale criterio; questo evidenzia la forte capacità della variabile BENZAUTO di discriminare il gruppo in questione, fornendone, sinteticamente, una precisa caratterizzazione (Figura 3.3).

Le province identificate dal valore 1 rappresentano le corrispondenze (per il primo cluster) nelle due classificazioni mentre quelle contrassegnate dal valore -1 individuano le province che, pur appartenendo al cluster 1, non soddisfano tale corrispondenza e che, rispetto alle prime, risultano scarsamente caratterizzate dalla variabile BENZAUTO. Le province identificate dal valore 5 sono quelle appartenenti al quinto cluster, mentre il valore 0 identifica le province appartenenti ai rimanenti tre cluster.



Secondo gruppo: mobilità pesante.

Composto da 16 province, è caratterizzato dal fattore 1 ($\cos^2 = 0,669$) e poi dal fattore 3 ($\cos^2 = 0,311$); rispetto ad entrambi gli assi che più lo caratterizzano esso si colloca sul semiasse negativo. Il gruppo non è per nulla caratterizzato dagli altri tre assi, in relazione ai quali si posiziona intorno all'origine.

Come osservabile dalla Figura 3.2, la maggior parte delle province della classe si concentrano nella parte nord-settentrionale della penisola, tra Lombardia e Veneto.

Gli individui più vicini al centro di gravità della classe sono province venete (Padova, Vicenza, Treviso e Verona), ovvero province ad alto sviluppo economico, evidentemente rappresentative della tipologia individuata.

All'interno del cluster si trovano inoltre diversi capoluoghi di provincia e città in cui la mobilità stradale è legata anche ad un'intensa attività turistica (Firenze, Bologna, Venezia, Verona) e/o commerciale (Genova, Bari, Caserta, Catania).

Le variabili caratteristiche di questa seconda classe (consumi e percorrenze dei veicoli commerciali pesanti), selezionate in base ad un criterio denominato *valeur-test* fornito dal pro-

gramma sono rappresentative della mobilità pesante e, più in generale, di lunga percorrenza. Oltretutto, diversamente da quanto osservato per le province del primo gruppo, nella seconda classe si registra una forte concentrazione, rispetto alla superficie provinciale, di autostrade e strade extraurbane, a dimostrazione del fatto che la mobilità generata dalle province che ne fanno parte è tipicamente extraurbana.

Terzo gruppo: import-export.

Costituito anch'esso da 16 province, si pone sul semiasse negativo di C_4 ($\cos^2 = 0,466$), su quello positivo di C_2 ($\cos^2 = 0,375$) e nella regione di indifferenza dei tre assi rimanenti, i quali non contribuiscono a caratterizzarlo.

Al suo interno troviamo province con un numero medio di abitanti (circa 490.000) nettamente inferiore a quello delle province del secondo gruppo (circa 850.000), parchi circolanti più ridotti, ma una superficie media molto vicina a quella delle province della seconda classe; inoltre va sottolineata una presenza più massiccia, sempre rispetto alle province del secondo gruppo, di infrastrutture stradali, ed un valore medio più elevato della spesa per la viabilità.

Denominatore comune di tali province, è l'import-export: la variabile che misura il livello di tale attività e che risulta essere quella che più caratterizza la terza classe, raggiunge all'interno del gruppo un valore medio sensibilmente più elevato rispetto a quello degli altri gruppi, fatta eccezione per il quinto (in cui figurano le quattro maggiori province italiane).

Quarto gruppo: superficie più estesa

Costituito da 11 province, è caratterizzato principalmente dal secondo fattore ($\cos^2 = 0,841$), rispetto al quale si colloca sul semiasse positivo, e, in misura minore, dal primo ($\cos^2 = 0,110$), rispetto al quale si dispone sul semiasse negativo.

Le province caratteristiche di questo gruppo (parangons), vale a dire quelle più vicine al centro di gravità della classe, sono, nell'ordine Foggia e Perugia.

Le province che fanno parte di questa classe hanno un numero medio di abitanti piuttosto elevato (circa 630.000), e soprattutto sono le province più estese: il valore medio della superficie provinciale all'interno del gruppo è pari a 6.518 Km², con un valore massimo (Sassari) pari a 7.520 Km².

Le variabili che più caratterizzano la classe sono, oltre alla superficie provinciale, le strade statali (media del gruppo pari a 958 Km), e le strade provinciali (media del gruppo pari a 1.923 Km); i valori medi di tali variabili raggiungono, all'interno di questo gruppo, i valori più elevati.

Quinto gruppo: province maggiori (per abitanti e parchi circolanti).

È costituito dalle quattro maggiori province italiane (Roma, Milano, Napoli e Torino) ed è caratterizzato quasi completamente, e quindi in maniera ottimale, dal primo fattore ($\cos^2 = 0,976$), rispetto al quale si colloca sul semiasse negativo e solo in minima parte dal secondo, sempre sul semiasse negativo.

quelle con il maggior peso demografico e con i parchi circolanti più numerosi. Dal punto di vista della presenza di infrastrutture stradali, sono le province più dotate di autostrade (228 Km in media) e di strade extraurbane (2.360 Km in media).

Le variabili che, in base al criterio del valeur-test, più caratterizzano la classe sono risultate principalmente variabili di parco, in particolare il numero di autovetture a benzina ed il numero di veicoli commerciali leggeri a benzina.

A tal proposito è utile sottolineare che per il cluster 5 vale un discorso analogo a quello fatto per il cluster 1: la variabile BENZAUTO fornisce un'ottima caratterizzazione del gruppo tanto che le quattro province che lo compongono individuano altrettante corrispondenze tra le due classificazioni precedentemente illustrate (Figura 3.3).

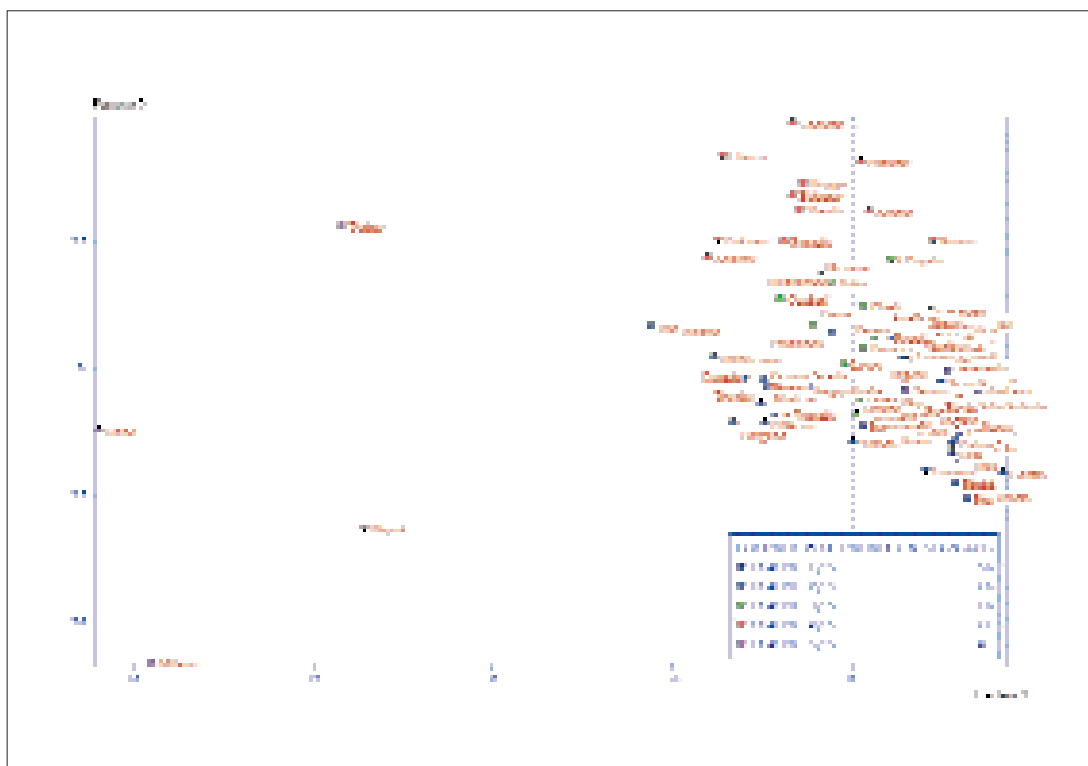


Figura n. 3.4: Disposizione dei gruppi rispetto ai primi due assi fattoriali.

4. I modelli di regressione lineare multipla

Dopo aver individuato, attraverso la procedura di classificazione automatica, i cinque gruppi di province omogenei rispetto alle variabili selezionate, rappresentative dell'attività dei trasporti stradali, è stata effettuata la calibrazione, per ciascun cluster e per ognuno dei sedici inquinanti (i nove principali ed i sette metalli pesanti) presenti nell'inventario Corinair, di modelli di stima delle emissioni; questo è avvenuto attraverso un'analisi della regressione volta a determinare la relazione esistente tra le emissioni (stimate con la metodologia standard) di un determinato inquinante e le variabili descrittive di base che più caratterizzano il gruppo stesso.

Sebbene lo scopo dei modelli calibrati sia principalmente descrittivo, un approccio di questo tipo serve a valutare la possibilità di ottenere uno strumento metodologico che renda possibili aggiornamenti parziali (annuali) delle stime provinciali, attraverso il ricorso al minor numero possibile di dati, reperibili presso fonti statistiche ad ampia diffusione.

4.1 L'analisi della correlazione canonica

La calibrazione dei menzionati modelli di regressione lineare multipla è stata preceduta da una fase in cui, attraverso l'applicazione di una particolare tecnica di analisi statistica multivariata, l'analisi della correlazione canonica (Coppi R., 1998), si è cercato di verificare l'effettiva rappresentatività delle variabili selezionate in relazione alle caratteristiche dell'attività dei trasporti stradali ed in funzione della loro successiva utilizzazione come variabili *esplicative* nelle equazioni stimate.

È stata inizialmente misurata la correlazione tra un set ristretto di variabili specifiche dell'attività dei trasporti stradali, sottoinsieme del più ampio set costituito dalle 18 variabili descrittive di base, ed il set costituito dalle 3 variabili *standard* attualmente utilizzate, nella metodologia Corinair, come *proxy* per la stima delle emissioni provinciali, ovvero popolazione residente nei comuni con più (meno) di 20.000 abitanti per la quota urbana (extraurbana) e lunghezza dei tratti autostradali per provincia per la quota autostradale.

Successivamente, la misura della correlazione canonica tra i due set di variabili è stata confrontata con il valore (ottenuto attraverso l'applicazione della stessa tecnica di analisi) della correlazione canonica tra il sottoinsieme delle variabili di trasporto stradale sopra menzionato (set ristretto) ed un set più ampio costituito dalla maggior parte delle rimanenti variabili descrittive di base a nostra disposizione.

Le variabili che costituiscono il set ristretto sono variabili *strutturali* selezionate sulla base dei risultati dell'analisi in componenti principali (analisi della matrice di correlazione delle 18 variabili originarie).

L'ipotesi che il sottoinsieme selezionato descriva in maniera sintetica i differenti aspetti del fenomeno in questione, ha consentito di utilizzarlo come set rappresentativo e di confronto, nelle analisi effettuate.

Tabella n 4.1: Il set ristretto delle variabili strutturali

VARIABILE	DESCRIZIONE	FONTE
BENZAUTO	Numero di autovetture a benzina circolanti	ACI
HDDIESEL	Numero di veicoli commerciali pesanti a gasolio circolanti	ACI
IMPEXP	Quantità delle merci importate dall'estero ed esportate all'estero (t)	Conto Naz. dei trasporti
TDIESVEND	Venduto di gasolio trazione (t)	Bollettino Petroliero
PERCORRHHD	Percorrenze totali annue dei veicoli commerciali pesanti (km)	ISTAT

Il set esteso costituito dalle altre variabili caratteristiche dell'attività dei trasporti stradali (che, sempre a scopo esemplificativo, sono state definite variabili *caratteristiche*), sintetizza anch'esso l'informazione di base ed include una parte degli indicatori che, di volta in volta, verranno inseriti nei modelli di regressione come variabili indipendenti.

Tabella n 4.2: Il set esteso delle variabili caratteristiche

VARIABILE	DESCRIZIONE	FONTE
PROVINCIALI	Lung. complessiva delle strade provinciali nella provincia (km)	Conto Naz. dei trasporti
STATALI	Lung. complessiva della strada statale della provincia (km)	ISTAT
EXTRAURBANE	Lung. complessiva delle strade extraurbane della provincia (km)	ISTAT
SPESA	Spese per la viabilità (milioni di lire)	Conto Naz. dei trasporti
DIESAUTO	Numero di autovetture a gasolio circolanti	ACI
GPLAUTO	Numero di autovetture a G.P.L. circolanti	ACI
MOTO	Numero di motoveicoli circolanti	ACI
TBENZVEND	Venduto di benzina trazione (t)	Bollettino Petroliero
TGPLVEND	Venduto di G.P.L. trazione (t)	Bollettino Petroliero

L'analisi della correlazione canonica tra le variabili *strutturali* (set ristretto) e le variabili *proxy* Corinair (popolazione provinciale residente nei comuni con più di 20.000 abitanti, popolazione provinciale residente nei comuni con meno di 20.000 abitanti, lunghezza dei tratti autostradali all'interno della provincia), misurando il legame esistente tra i due set, permette di verificare la validità della scelta delle variabili Corinair, in relazione al ruolo di surrogati cui esse vengono adibite nell'attuale metodologia di stima delle emissioni provinciali.

Allo stesso modo, l'analisi della correlazione canonica tra il set ristretto delle variabili *strutturali* e quello esteso delle variabili *caratteristiche* permette di stabilire quanto la scelta effettuata sulle variabili descrittive di base si riveli opportuna per rappresentare il fenomeno oggetto di studio e, soprattutto, per la successiva calibrazione dei modelli di regressione.

I risultati della prima procedura (variabili *strutturali* vs variabili *standard*) hanno mostrato un valore molto elevato per la prima correlazione canonica (0,995617). Nella seconda procedura (variabili *strutturali* vs variabili *esplicative*) è stata osservata una prima correlazione canonica molto elevata (0,997308), di poco superiore a quella ottenuta nel primo caso.

L'ottenimento di un risultato migliore, in termini di correlazione canonica, attraverso la seconda procedura, si presta ad una valutazione: sebbene la differenza riscontrata tra i valori delle prime correlazioni canoniche sia minima (scarto relativo pari allo 0,1%), è evidente che l'utilizzazione di variabili specifiche dell'attività dei trasporti stradali garantisce la possibilità, se non di apportare un miglioramento sostanziale alla metodologia, quantomeno di perseguire coerentemente un approccio metodologico alternativo (calibrazione dei modelli di regressione lineare multipla), grazie ad una caratterizzazione più esauriente del fenomeno in esame.

4.2 Calibrazione di modelli di stima delle emissioni provinciali

Una volta verificata l'effettiva rappresentatività degli indicatori selezionati rispetto alle caratteristiche dell'attività dei trasporti stradali, gli stessi sono stati utilizzati come variabili *esplicative* per la calibrazione di ottanta modelli di regressione lineare multipla, volti ad individuare per ciascuno dei cinque gruppi di province, le relazioni esistenti tra le emissioni (stimate attraverso la metodologia standard Corinair) di ognuno dei sedici inquinanti considerati e le variabili che più caratterizzano il gruppo in esame.

Lo scopo dell'analisi è principalmente descrittivo, dal momento che si cerca di stabilire quali di queste variabili *esplicative* influiscano maggiormente sulle emissioni, per poter offrire strumenti conoscitivi ed interpretativi del fenomeno dell'inquinamento atmosferico da trasporti stradali, evidenziandone oltretutto gli aspetti specifici nei differenti gruppi di province. Inoltre, la calibrazione dei modelli è finalizzata ad una valutazione delle possibilità legate ad un approccio alternativo alla metodologia di stima delle emissioni, particolarmente utile nel caso di aggiornamenti parziali (annuali) delle stime stesse. Per effettuare l'analisi della regressione si è fatto ricorso al software statistico SPSS 8.0 (SPSS inc, 1998a, 1998b).

Per la selezione delle variabili indipendenti da considerare in ogni modello è stato utilizzato il metodo *stepwise*. Secondo questo metodo, la prima variabile da inserire nell'equazione è quella avente la più alta correlazione positiva o negativa con la variabile dipendente. L'adozione del metodo *stepwise* applicato ai cinque gruppi di province individuati attraverso la cluster analysis ha consentito di mantenere al minimo necessario il numero di variabili delle funzioni di stima, e ciò coerentemente con il criterio di parsimonia cui ogni modello deve rispondere e con l'esigenza di prevedere una più facile trasferibilità del modello stesso.

Come variabile dipendente sono state assunte, di volta in volta, le emissioni provinciali annue (per il 1996) di un determinato inquinante, precedentemente stimate attraverso l'applicazione della metodologia standard. Ricordiamo che le emissioni dei nove inquinanti principali (SO_x , NO_x , NMVOC, CH_4 , CO, CO_2 , N_2O , NH_3 , PM) sono espresse in tonnellate/anno, mentre quelle dei sei metalli pesanti (Cadmio, Cromo, Rame, Nickel, Piombo, Selenio, Zinco) sono espresse in kg/anno.

Per quel che riguarda le variabili indipendenti utilizzate, esse sono le medesime dell'analisi fattoriale ad eccezione delle variabili Corinair, che sono state escluse in quanto fortemente correlate con le variabili indipendenti (le emissioni) che da esse sono state fatte derivare.

Così come la procedura di classificazione automatica, anche l'analisi di regressione poteva essere applicata ai factor scores (punteggi fattoriali) ottenuti dall'analisi fattoriale dei dati originari; questa opzione avrebbe presentato soprattutto il vantaggio di ridurre drasticamente il numero di variabili su cui effettuare le regressioni multiple (da 18 a 4), pur conservando le informazioni più rilevanti grazie alla sintesi dei dati originari costituita dai fattori.

Ciononostante si è scelto di effettuare l'analisi di regressione con le variabili descrittive di base e cioè con gli stessi indicatori impiegati nell'analisi di raggruppamento. L'uso dei fattori, infatti, comporta l'esigenza di riapplicare ai dati l'intera procedura ogni volta che si intenda aggiornare gli indicatori sintetici per tener conto di mutamenti nelle caratteristiche delle province; mentre invece, con l'uso dei dati originari – ed ipotizzando che le relazioni individuate dalle funzioni di regressione restino invariate per periodi di tempo abbastanza lunghi – è necessario soltanto procurarsi nuove statistiche per poter applicare le funzioni di stima.

Si è ritenuto quindi, operando in questa maniera, di privilegiare la semplicità di utilizzazione delle procedure approntate da parte di chi dovesse servirsene. Nella prospettiva, infatti, del trasferimento di tali metodologie, le emissioni provinciali di un determinato inquinante potranno essere stimate attraverso il reperimento del minor numero possibile di dati, disponibili presso fonti statistiche ad ampia diffusione, senza dover applicare nuovamente procedure complesse di elaborazione dei dati.

Nelle tabelle riportate in seguito (dalla Tabella 4.3 alla Tabella 4.7), relative ai cinque cluster, vengono illustrate, per ogni variabile indipendente (sulle righe), le stime dei coefficienti di regressione (inclusa la costante, ovvero l'intercetta della funzione) e per ognuno dei modelli calibrati (nelle colonne) - relativi a ciascun inquinante - vengono indicati i valori di R^2 , R^2 corretto e di errore standard. Tali valori sono differenziati, nelle colonne, per ciascuno dei modelli calibrati (per i diversi inquinanti).

Tabella n. 4.3: CLUSTER I (56 province) - coefficienti di regressione per inquinante

Variabile Indipendente	Variabile Dipendente															
	Inquinanti Principali							Metalli Pesanti								
	SO _x	NO _x	NMVOG	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	PM	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn
PROVINCIALI								0,0085296								
STATALI																
EXTRAURBANE	0,0526819	0,7516251			71,953981	0,005255	0,005536	0,0344162	0,0002226	0,0011139	0,0378744	0,0015591			0,0002226	0,0222789
SUPERFICIE																
SPESA	0,0032951	0,0482625			4,9517626	0,0003661		0,0022328	1,54E-05	7,68E-05	0,0026127	0,0001076			1,54E-05	0,0015369
IMPEXP			0,000174	7,76E-06	0,0010557											
CONSUMIHD																
PERCORRHID																
BENZAUTO	0,0011543	0,0189562	0,0246197	0,000768	0,1015673	2,3378591	0,0001709	0,0001938	0,0009641	7,33E-06	3,66E-05	0,0012457	5,13E-05	3,25E-05	7,33E-06	0,0007328
DIESAUTO			0,0751434	0,0035346	0,4731641											
GPLAUTO																
LDBENZ																
LDDIESEL																
HDDIESEL													0,000392			
MOTO																
TBENZVEND																
TDIESVEND																
TGPLVEND	0,0030334	0,039673							0,0020374							
COSTANTE	36,381454	543,89613	301,46188	19,608306	2617,5249	98012,287	5,5821063	1,7457263	27,235256	0,304301	1,5219439	51,745939	2,1302959	1,4549657	0,304301	30,438797
R ²	0,58	0,63	0,87	0,81	0,80	0,66	0,68	0,70	0,66	0,67	0,67	0,67	0,69	0,91	0,67	0,67
R ² Corretto	0,55	0,60	0,86	0,80	0,79	0,64	0,67	0,68	0,63	0,65	0,65	0,65	0,66	0,90	0,65	0,65
Errore Standard	91,61	1291,95	849,54	37,68	5133,60	130224,69	9,07	9,36	60,24	0,40	2,01	68,51	2,77	0,96	0,40	40,30

Tabella n. 4.4: CLUSTER 2 (16 province), coefficienti di regressione per inquinante.

Variabile Indipendente	Variabile Dipendente															
	Inquinanti Principali						Metalli Pesanti									
	SO _x	NO _x	NMVOG	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	PM	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn
PROVINCIALI																
STATALI																
EXTRAURBANE																
SUPERFICIE																
SPESA																
IMPEXP																
CONSUMIHD			2,37E-05	1,05E-06	0,0001413											
PERCORRHD																
BENZAUTO		0,0193965	0,1040934	0,0043402	0,5852173								3,94E-05			
DIESAUTO																
GPLAUTO																
LDBENZ	0,0601639				108,59075			0,0438288	0,0003363	0,0016819	0,0571795	0,0023541	0,0003363	0,0003363	0,0336352	
LDDIESEL			-0,681311	-0,0302458	-4,1027631		0,0013867									
HDDIESEL																
MOTO																
TBENZVEND							0,000173									
TDIESVEND	0,0024859	0,0241813			4,4142486	0,0002305	0,0002487	0,0019553	1,38E-05	6,90E-05	0,002347	9,66E-05	3,87E-05	1,38E-05	0,0013806	
TGPLVEND																
COSTANTE	-24,843977	13,117461	-9290,5538	-404,60578	-54818,37	-98269,996	-0,8695774	7,5571069	-23,097605	-0,3016932	-1,5070705	-5,1221558	-2,1092266	-2,0912263	-0,3016932	-30,131281
R ²	0,92	0,88	0,91	0,89	0,89	0,95	0,94	0,87	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
R ² Corretto	0,91	0,86	0,89	0,86	0,86	0,94	0,93	0,85	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Errore Standard	80,47	1480,11	2225,38	102,86	13976,30	120060,32	7,98	11,52	51,34	0,37	1,85	62,80	2,59	1,75	0,37	36,94

Tabella n. 4.5: CLUSTER 3 (16 province), coefficienti di regressione per inquinante.

Variabile Indipendente	Variabile Dipendente															
	Inquinanti Principali						Metalli Pesanti									
	SO _x	NO _x	NMVOG	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	PM	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn
PROVINCIALI	0,2483366		1,669233													
STATALI	0,3548618												0,0035362			
EXTRAURBANE																
SUPERFICIE																
SPESA																
IMPEXP	-0,0001531	9,37E-05			-0,0132628	-1,13E-06	-1,20E-06	-6,75E-06	-4,10E-08	-2,05E-07	-6,99E-06	-2,88E-07	-4,10E-08	-4,11E-06		
CONSUMIHD																
PERCORRHID																
BENZAUTO	0,0302342	0,0229166	0,0021902	0,2934468	3,244091	0,0002598	0,0002851	0,0014736	1,02E-05	5,08E-05	0,001727	7,11E-05	4,82E-05	1,02E-05	0,0010159	
DIESAUTO																
GPLAUTO	0,3548618	-0,2926854			-28,975419	-0,001696	-0,0014627	-0,0136843	-8,92E-05	-0,0004463	-0,0151747	-0,0006247	-8,92E-05	-0,0089262		
LDBENZ			-0,0808096	-10,963628												
LDDIESEL																
HDDIESEL																
MOTO																
TBENZVEND																
TDIESVEND																
TGPLVEND																
COSTANTE	209,86227	7564,5849	479,53865	77,657105	10502,653	779991	44,791607	38,827166	360,67837	2,4051296	12,037003	409,25266	16,847161	1,9753108	2,4051296	240,7354
R ²	0,56	0,78	0,88	0,73	0,72	0,76	0,82	0,84	0,77	0,76	0,76	0,76	0,76	0,84	0,76	0,76
R ² Corretto	0,44	0,72	0,85	0,69	0,68	0,70	0,77	0,80	0,71	0,70	0,70	0,70	0,70	0,81	0,70	0,70
Errore Standard	146,35	1496,70	894,60	48,79	6612,79	159100,91	9,99	9,97	72,34	0,49	2,46	83,74	3,45	1,56	0,49	49,26

Tabella n. 4.6: CLUSTER 4 (11 province), coefficienti di regressione per inquinante.

Variabile Indipendente	Variabile Dipendente															
	Inquinanti Principali						Metalli Pesanti									
	SO _x	NO _x	NMVOG	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	PM	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn
PROVINCIALI																
STATALI																
EXTRAURBANE																
SUPERFICIE																
SPESA	0,0061631	0,0891354			9,7295784	0,0006195	0,000598	0,0043747	3,02E-05	1,51E-04	0,0051391	0,0002116	0,0002116	3,02E-05	0,003023	
IMPEXP																
CONSUMIHD																
PERCORRHD																
BENZAUTO			0,049679	0,0013915	0,1871562											
DIESAUTO	0,0155012	0,2275262		0,0040221	0,5349559	26,017771	0,0016177	0,0015655	0,0114329	8,10E-05	0,0004049	0,0137662	0,0005667	8,10E-05	0,0080978	
GPLAUTO																
LDBENZ																
LDDIESEL																
HDDIESEL													0,0013209			
MOTO																
TBENZVEND																
TDIESVEND																
TGPLVEND																
COSTANTE	-207,89199	-2596,2155	-2122,0664	-112,38573	-15417,584	-317683,48	-11,074579	-5,4226188	-134,76748	-0,9770111	-4,8887033	-166,20168	-6,8421059	1,3930177	-0,9770111	-97,765663
R ²	0,86	0,87	0,92	0,93	0,93	0,88	0,87	0,87	0,87	0,88	0,88	0,88	0,88	0,86	0,88	0,88
R ² Corretto	0,82	0,83	0,91	0,92	0,92	0,85	0,84	0,83	0,84	0,85	0,85	0,85	0,85	0,84	0,85	0,85
Errore Standard	159,54	2263,04	1897,19	74,44	10067,02	243927,44	15,46	15,45	109,59	0,76	3,78	128,60	5,29	3,20	0,76	75,65

Tabella n. 4.7: CLUSTER 5 (4 province), coefficienti di regressione per inquinante.

Variabile Indipendente	Variabile Dipendente															
	Inquinanti Principali							Metalli Pesanti								
	SO _x	NO _x	NMVOG	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	NH ₃	PM	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn
PROVINCIALI																
STATALI																
EXTRAURBANE																
SUPERFICIE																
SPESA																
IMPEXP																
CONSUMIHD																
PERCORRHD	3,52E-05					0,0677041			2,74E-05	2,11E-07	1,05E-06	3,58E-05	1,47E-06		2,11E-07	2,11E-05
BENZAUTO			0,0417788											3,70E-05		
DIESAUTO																
GPLAUTO																
LDBENZ																
LDDIESEL								0,0020056								
HDDIESEL				0,0723515	9,7206401											
MOTO																
TBENZVEND								0,0001125								
TDIESVEND																
TGPLVEND																
COSTANTE	-16360,833	25486,052	2744,8763	-783,47905	-106252,01	-31730813	185,245	112,4448	-12744,381	-98,705208	-493,45086	-16776,674	-690,70838	18,461973	-98,705208	-9868,6985
R ²	0,94	0,94	0,88	0,85	0,84	0,98	0,98	0,97	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,99	0,97	0,97
R ² Corretto	0,92	0,91	0,83	0,77	0,77	0,96	0,98	0,96	0,93	0,96	0,96	0,96	0,96	0,99	0,96	0,96
Errore Standard	142,64	2089,08	7667,37	334,15	45339,18	175469,72	7,44	9,51	98,06	0,56	2,82	95,94	3,95	1,67	0,56	56,44

Da una prima analisi dei risultati si nota come il valore di R^2 (che, lo ricordiamo, fornisce una misura dell'adattamento della funzione di regressione ai valori osservati) si mantenga elevato per tutte le calibrazioni effettuate, e non scenda mai al di sotto di 0,56, valore che si osserva nel caso del modello relativo alle emissioni di SO_x per il cluster 3.

Il valore dell'errore standard si mantiene contenuto, anche se la sua dimensione va valutata in relazione alle caratteristiche del cluster di riferimento: quanto più all'interno di quest'ultimo sono elevati i valori delle emissioni, tanto maggiore apparirà l'errore standard.

Ad esempio, i valori elevati che si riscontrano per il cluster 5 sono dovuti al fatto che quest'ultimo è quello costituito dalle quattro principali province italiane (Roma, Milano, Torino, Napoli) e quindi ad aree in cui, come precedentemente illustrato, il fenomeno delle emissioni inquinanti da trasporti stradali assume il peso maggiore.

Pur senza addentrarsi in un esame più dettagliato ed esplicito di ogni funzione, è possibile tentare una valutazione globale del ruolo assunto dalle variabili analizzate in relazione alle emissioni dei differenti inquinanti. In questo senso, può essere utile una classificazione di tali variabili secondo un ordine che tiene conto della frequenza con cui appaiono nelle funzioni di stima, quindi da quella che è risultata significativa in più della metà dei casi (BENZAUTO), a quella meno ricorrente (STATALI), come illustrato nella Tabella 4.8 ed a quelle che non compaiono in alcun modello (Tabella 4.9).

La validità della metodologia applicata è stata testimoniata dagli ottimi risultati conseguiti per ciascun modello in termini di R^2 , dalla caratterizzazione di ogni cluster in base alle variabili per esso più rappresentative, dall'utilizzazione di quasi tutte le variabili selezionate, che consente una descrizione esauriente e differenziata del fenomeno in esame e dall'aver rispettato in tutti i casi il criterio di parsimonia del modello, visto che sono state introdotte al massimo quattro variabili nelle equazioni di regressione.

Tabella n 4.8: Le variabili incluse in una o più equazioni di regressione

VARIABILE	DESCRIZIONE	FREQ.ASS
SUPERFICIE	Numero di autovetture a benzina circolanti	41
SPESA	Spese per la viabilità (milioni di lire)	23
DIESAUTO	Numero di autovetture a gasolio circolanti	17
IMPEXP	Quantità delle merci importate dall'estero ed esportate all'estero (t)	15
TDIESVEND	Venduto di gasolio trazione (t)	13
EXTRAURBANE	Lunghezza complessiva delle strade extraurbane della provincia (km)	12
GPLAUTO	Numero di autovetture a G.P.L. circolanti	12
LDBENZ	Numero di veicoli commerciali leggeri a benzina circolanti	11
PERCORRHD	Percorrenze totali annue dei veicoli commerciali pesanti (km)	9
LDDIESEL	Numero di veicoli commerciali leggeri a gasolio circolanti	5
HDDIESEL	Numero di veicoli commerciali pesanti a gasolio circolanti	4
CONSUMIHD	Consumi di gasolio dei veicoli commerciali pesanti (l)	3
PROVINCIALI	Lunghezza complessiva delle strade provinciali nella provincia (km)	3
TBENZVEND	Venduto di benzina trazione (t)	3
TGPLVEND	Venduto di G.P.L. trazione (t)	3
STATALI	Lunghezza complessiva delle strade statali della provincia (km)	2

Tabella n. 4.9: Le variabili escluse da tutte le equazioni di regressione

VARIABILE	DESCRIZIONE	FREQ.ASS
BENZAUTO	Superficie provinciale (Km ²)	0
SPESA	Numero di motoveicoli circolanti	0

Nelle tabelle che seguono viene visualizzata, per ciascun cluster, la classificazione delle variabili in base alla frequenza con cui appaiono nei modelli calibrati: un'analisi di questo tipo permette di constatare l'effettiva differenziazione del fenomeno tra i gruppi e, quindi, di apprezzare le capacità descrittive delle relazioni stimate.

Tabella n. 4.10: Frequenza delle variabili nei modelli calibrati per il cluster 1

CLUSTER 1 (Province minori)	
VARIABILE	FREQ.ASSOLUTA
BENZAUTO	16
SPESA	11
EXTRAURBANE	12
DIESAUTO	3
IMPEXP	3
TGPLVEND	3
HDDIESEL	1
PROVINCIALI	1

Tabella n. 4.11: Frequenza delle variabili nei modelli calibrati per il cluster 2

CLUSTER 2 (Mobilità pesante)	
VARIABILE	FREQ.ASSOLUTA
TDIESVEND	13
LDBENZ	9
BENZAUTO	5
LDDIESEL	4
CONSUMIHD	3
TBENZVEND	1

Tabella n. 4.12: Frequenza delle variabili nei modelli calibrati per il cluster 3

CLUSTER 3 (Import – Export)	
VARIABILE	FREQ.ASSOLUTA
BENZAUTO	15
IMPEXP	12
GPLAUTO	12
PROVINCIALI	2
STATALI	2
LDBENZ	2

Tabella n. 4.13: Frequenza delle variabili nei modelli calibrati per il cluster 4

CLUSTER 4 (Superficie più estesa)	
VARIABILE	FREQ.ASSOLUTA
DIESAUTO	14
SPESA	12
BENZAUTO	3
HDDIESEL	1

Tabella n. 4.14: Frequenza delle variabili nei modelli calibrati per il cluster 5

CLUSTER 5 (Province maggiori)	
VARIABILE	FREQ.ASSOLUTA
PERCORRHD	9
BENZAUTO	2
HDDIESEL	2
TBENZVEND	2
LDDIESEL	1

La variabile più frequente (presente in tutte le calibrazioni) nelle equazioni di regressione stimate per il primo cluster, quindi quella che contribuisce maggiormente alla spiegazione dei differenti modelli, è il numero di autovetture a benzina circolanti a livello provinciale.

È un risultato importante e coerente con le finalità della metodologia applicata: visto l'elevato numero di province che costituiscono il gruppo (56), la variabile BENZAUTO, generalmente rappresentativa del livello di motorizzazione delle province, appare come l'indicatore in grado, più di ogni altro, di descrivere in maniera sintetica la relazione esistente tra le emissioni di inquinanti e le variegate caratteristiche di mobilità delle province stesse.

Le variabili incluse nei modelli calibrati per il secondo cluster sono, per la maggior parte, rappresentative del traffico pesante; oltre a confermare le caratteristiche principali della mobilità stradale all'interno di tali province, questo risultato testimonia il peso assunto dall'attività dei mezzi pesanti nella determinazione delle emissioni stimate per questa tipologia di province.

Riguardo ai modelli calibrati per il terzo cluster vale il discorso affrontato precedentemente e relativo alla variabile IMPEXP, che, insieme alla variabile BENZAUTO, contribuisce maggiormente alla spiegazione della relazione esistente tra le emissioni dei diversi inquinanti e l'attività dei trasporti stradali all'interno delle province del gruppo.

La variabile più frequente nelle equazioni di regressione stimate per il quarto cluster è il numero di autovetture a gasolio circolanti a livello provinciale (DIESAUTO); ciò significa che le emissioni da trasporti stradali nelle province di questo gruppo sono principalmente legate al traffico leggero di lunga percorrenza, tipicamente extraurbano e/o autostradale.

Una considerazione simile è valida per il quinto cluster: la variabile che con maggior frequenza viene inserita nei modelli calibrati per i diversi inquinanti è quella che rappresenta le percorrenze annue dei veicoli commerciali pesanti (PERCORRHD); ciò significa che nelle quattro maggiori province italiane (Roma, Milano, Napoli, Torino) in cui effettivamente il traffico pesante è più intenso, anche in relazione alla maggior presenza di strade ad alto scorrimento, questo indicatore è, tra quelli selezionati per l'analisi, quello che caratterizza e sintetizza nel modo migliore la relazione esistente tra le emissioni e l'attività dei trasporti stradali.

5. Conclusioni e prospettive

Questo paragrafo offre un quadro riassuntivo dei risultati ottenuti con l'analisi statistica dei dati. Vengono inoltre poste in evidenza le prospettive di sviluppo e di utilizzo della metodologia di analisi.

L'obiettivo iniziale era di verificare la possibilità di ottenere una semplificazione della metodologia Corinair di stima delle emissioni provinciali da trasporti stradali. Nella prima fase del lavoro la metodologia Corinair è stata dettagliatamente descritta e, successivamente, applicata.

In tal senso è doveroso sottolineare che le difficoltà legate al reperimento dei dati (parco circolante, percorrenze medie annue per classe veicolare e per tipo di guida, velocità medie, consumi di combustibili) nel dettaglio richiesto dal modello Copert, hanno reso necessaria una elaborazione preventiva degli stessi, rivelatasi particolarmente onerosa.

Recentemente sono stati compiuti notevoli passi in avanti nell'ottica del superamento di tali difficoltà, grazie alla creazione da parte dell'ANPA tramite il CTN/ACE (Centro Tematico Nazionale – Aria Clima Emissioni) di un EXPERT PANEL cui partecipano quei soggetti (associazioni, enti, imprese) che possano fornire un supporto tecnico-scientifico al consolidamento della metodologia, grazie all'aggiornamento periodico dei dati di base nel dettaglio richiesto dal modello ed al miglioramento della stessa, attraverso una più approfondita analisi delle specificità che occorrono nell'applicazione al caso italiano.

A partire dalle emissioni nazionali e seguendo la metodologia Corinair, sono state stimate le emissioni provinciali utilizzando opportune variabili *proxy* (popolazione provinciale residente nei comuni con più di 20.000 abitanti, popolazione provinciale residente nei comuni con meno di 20.000 abitanti, lunghezza dei tratti autostradali per provincia).

Nella seconda fase del lavoro è stata applicata una metodologia di classificazione automatica (cluster analysis) alle 103 province italiane, che ha consentito di individuare gruppi di province simili rispetto ad alcune variabili scelte per la loro presumibile incidenza rispetto al fenomeno della mobilità stradale.

Per quanto riguarda la scelta di tali variabili descrittive di base, c'è da dire che dopo un'attenta disamina delle fonti di dati disponibili, sono state complessivamente selezionate 18 variabili relative ai principali aspetti della mobilità.

L'analisi di raggruppamento è stata preceduta da un'analisi fattoriale (analisi in componenti principali) che ha permesso di individuare le macrovariabili (fattori) rispetto alle quali differenziare i gruppi di province.

Il metodo statistico (ACP) ha consentito di estrarre cinque fattori che, essendo costruiti combinando linearmente le diverse variabili rappresentative di base, in modo tale da rendere massima la quota di informazione originale da essi sintetizzata, consentono di valutare la posizione delle province italiane rispetto alle diverse caratteristiche legate all'attività dei trasporti stradali. Inoltre, la proiezione e rappresentazione della nuvola dei punti nello spazio a cinque dimensioni ha permesso di collocare le province, in relazione al valore per esse assunto, contemporaneamente, dai cinque fattori, favorendo quindi una valutazione del fenomeno oggetto di studio in termini comparativi.

La cluster analysis, infine, ha generato cinque classi tipologiche all'interno delle quali è possibile individuare le province accomunate da relazioni analoghe rispetto alle caratteristiche sintetizzate dai cinque fattori estratti.

Il terzo passo nel percorso metodologico seguito è stato preceduto da una fase in cui, attraverso l'applicazione di una particolare tecnica di analisi statistica multivariata (analisi canonica semplice), si è cercato di valutare se ed in che misura l'adozione di variabili specifiche dell'attività dei trasporti stradali, potesse apportare un effettivo miglioramento all'attuale metodologia Corinair di stima delle emissioni provinciali. I risultati ottenuti hanno permesso di appurare che l'utilizzazione di tali variabili garantisce la possibilità, se non di apportare un miglioramento sostanziale alla metodologia, quantomeno di perseguire coerentemente un approccio metodologico alternativo, grazie ad una caratterizzazione più esauriente e particolareggiata del fenomeno in esame.

Nella quarta ed ultima fase è stata effettuata (utilizzando la procedura *regression* del sistema SPSS 8.0) la calibrazione di ottanta modelli di regressione lineare multipla, volti a determinare, per ciascuno dei cinque gruppi di province, le relazioni esistenti tra le emissioni (stimate attraverso la metodologia standard Corinair) di ognuno dei sedici inquinanti considerati e le variabili di trasporto stradale che più caratterizzano il gruppo in esame.

La validità della metodologia applicata è stata testimoniata dagli ottimi risultati conseguiti per ciascuno dei modelli in termini di R^2 , dall'aver caratterizzato ogni cluster in base alle variabili che dall'analisi di raggruppamento erano risultate per esso più rappresentative, dall'utilizzazione di quasi tutte le variabili selezionate (soltanto due di esse sono state escluse da tutte le equazioni di regressione) che ha consentito una descrizione completa ed al contempo differenziata del fenomeno in esame e dall'aver rispettato in tutti i casi il criterio di parsimonia del modello, visto che sono state introdotte al massimo quattro variabili nelle equazioni di regressione.

Oltretutto, sebbene lo scopo delle equazioni stimate fosse principalmente descrittivo, la bontà dei risultati ottenuti permette di considerare i modelli di regressione lineare multipla come uno strumento metodologico di indubbia utilità nel caso di aggiornamenti parziali delle stime. In prospettiva infatti, tali modelli fanno sì che le emissioni provinciali totali di un determinato inquinante possano essere stimate attraverso il reperimento del minor numero possibile di dati, disponibili presso fonti statistiche ad ampia diffusione, senza dover applicare procedure complesse di elaborazione dei dati.

Resta da sottolineare che l'approccio metodologico seguito oltre a costituire un caso di studio sperimentale e dettagliato di cui giovare per immediati riscontri, apre la strada a tutta una serie di approfondimenti metodologici legati soprattutto, come già detto, alla possibilità di disporre in futuro di dati specifici della mobilità stradale (flussi di traffico).

Uno degli auspicabili sviluppi metodologici è legato, in prospettiva, alla possibilità di disporre di dati relativi ai flussi di traffico sulle strade che consentirebbero di fornire una rappresentazione realistica del fenomeno mobilità su differenti livelli di scala (provinciale, urbana, comunale) e, di conseguenza, una caratterizzazione effettiva delle specificità territoriali. Sotto questo aspetto, il contributo di quei soggetti, cui spetta la gestione di tali informazioni sia a livello nazionale (ANAS, AISCAT) che a livello locale (ad esempio la S.T.A., agenzia per la mobilità del comune di Roma) può rivelarsi decisivo.

Alla luce di quanto emerso ci si augura, dunque, che questo lavoro possa costituire lo spunto per lo sviluppo di una serie di applicazioni future. In tal senso, la proposta operativa che nell'immediato futuro appare più realistica ed auspicabile è costituita da una revisione approfondita del metodo di stima delle emissioni provinciali da traffico stradale (nel dettaglio

della classificazione dello SNAP 07 dell'inventario Corinair), che se avrà esito positivo influenzerà l'approccio europeo Corinair. Non bisogna dimenticare, infatti, che i risultati dell'applicazione del metodo suddetto vengono utilizzati dall'EEA per realizzare i rapporti annuali sullo stato dell'ambiente che, a loro volta, servono per programmare piani di risanamento della qualità dell'aria.

Alcuni recenti approfondimenti degli studi riguardanti le tecniche di classificazione delle province italiane rispetto alle loro caratteristiche socio-economiche e di mobilità, l'aggiornamento del set delle variabili di base e l'inclusione di nuovi indicatori rappresentativi dell'attività trasporti a livello locale, hanno consentito di individuare quattro macro-zone omogenee (gruppi di province) sul territorio nazionale, per le quali sembra determinabile in modo coerente una corrispondenza tra caratteristiche geo-morfologiche, livello di sviluppo economico e caratteristiche di traffico; la precisa identità di ciascuna di queste macro-zone e la riconosciuta necessità di considerare distintamente aree geografiche in cui i parchi circolanti presentano composizioni percentuali dissimili (ACI, 2000) (soprattutto per ciò che riguarda l'alimentazione dei veicoli, ad es. autovetture a benzina vs. autovetture diesel, e l'età del parco, veicoli catalizzati vs. veicoli non catalizzati) e le condizioni di guida differiscono notevolmente (velocità e percorrenze medie, ripartizione delle percorrenze per ciclo di guida), sembrano orientare le scelte future verso la zonizzazione del Copert nazionale, con la possibilità di considerare ad esempio quattro differenti Copert per macro-aree, in modo tale da tener conto delle particolarità locali e di come queste diversamente pesino in termini di contributo alle emissioni totali.

Ulteriori sviluppi ed approfondimenti sono legati anche all'applicazione delle metodologie illustrate per l'analisi del fenomeno a livello urbano o comunale e la sua rappresentazione su rete stradale georeferenziata (GIS).

Bibliografia

- ACI**, 1995a, "Analisi dell'anzianità dei veicoli circolanti in Italia negli anni 1980-1994", Roma, 1995.
- ACI**, 1995b, "Percorrenze medie annue dei veicoli - prezzi e consumi di carburanti 1993-1994", Roma, 1995.
- ACI**, 2000, "Autoritratto a giugno 2000", 2000.
- ANFIA**, 1996-1998, "Automobile in cifre", anni 1996-1998.
- ANPA**, 1999, "Emissioni in atmosfera e qualità dell'aria in Italia", Serie Stato dell'Ambiente 6/1999, ANPA, Roma, Dicembre 1999.
- ANPA**, 2000, "Le emissioni in atmosfera da trasporto stradale - I fattori di emissione medi per il parco circolante in Italia", Serie Stato dell'Ambiente 12/2000, ANPA, Roma, Luglio 2000.
- Bocola W., Cirillo M., Gaudioso D., Trozzi C., Napolitano C.**, 1989, "Progetto Corinair - Inventario delle emissioni di inquinanti dell'aria in Italia nell'anno 1985". ENEA RT/STUDI/89/8; pp. 84, 1989.
- Cirillo M., De Lauretis R., Del Ciello R.**, 1996, "From Corinair to Urban Inventories: Top - Down Approach" in: "Review Study on European Urban Emission Inventories". Report to the European Environment Agency from the European Topic Centre on Air Emission; pp. 8 - 9, 1996.
- CISIA - CERESTA**, 1998a, "SPAD version 3", Manuel de prise en main, 1998.
- CISIA - CERESTA**, 1998b, "SPAD version 3", Système pour l'analyse des données, 1998.
- Coppi R.**, 1998, "Lezioni di Analisi Statistica Multivariata", Dipartimento di Statistica, Probabilità e Statistiche Applicate, Università degli Studi di Roma "La Sapienza", 1998.
- CORINAIR**, 1988, "European Inventory of Emissions of Pollutants into the Atmosphere", Commission of the European Communities - Corinair project, DG XI, 30/3/1988.
- CORINE PROGRAMME**, 1988, Commission of European Communities (DG XI), "Corinair, Atmospheric Pollutant Emission Database", version 6.01b.
- De Felice F.**, 1996, "Modelli di gestione aziendale e domanda di trasporto collettivo", Rapporto Finale, Napoli 1996, realizzato da ITER srl, Centro Ricerche e Servizi di Napoli, nell'ambito del Progetto Finalizzato Trasporti 2 del CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche), annualità 1994/95.
- Eggleston S., Gorißen N., Jourmard R., Rijkeboer R.C., Samaras Z. and Zierock K.-H.**, 1989, "Corinair Working Group on Emissions Factors for Calculating 1985 Emissions from Road Traffic". Volume I: Methodology and Emission Factors. Final Report, Contract No. 88/661 I/0067, EUR 12260 EN.
- Eggleston H.S., Gorißen N., Jourmard R., Rijkeboer R., Samaras Z., Zierock K.H.**, 1991, "Corinair Working Group on Emission Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic". Volume I : Methodology and emission factors. Final Report. Economic European Community, Directorate General XI, March 1991.

Eggleston S., Gaudioso D., Gorißen N., Joumard R., Rijkeboer R.C., Samaras Z. and Zierock K.-H., 1993, “*Corinair Working Group on Emissions Factors for Calculating 1990 Emissions from Road Traffic*”. Volume I: Methodology and Emission Factors. Final Report, Document of the European Commission ISBN 92-826-5571-X.

EMEP-CORINAIR, 1995, “*Atmospheric Emission Inventory Guidebook*”, second draft. Edito da Gordon McInnes, EMEP Task Force & Corinair Coordinator, June 1995.

EMEP, 1996, Task Force on Emission Inventories, “*Atmospheric Emission Inventory Guidebook*”, edited by Gordon McInnes, European Environment Agency, February 1996.

ENEA, 1992, Dipartimento Ambiente, “*Gli indicatori ambientali, un’applicazione di analisi multivariata ai dati dell’inventario delle emissioni Corinair per l’Italia*”. pp. 48, 1992.

EPA, 1992, “*Compilation of Air Pollutant Emission Factors*”. 4th edition, September 1985 (e aggiornamenti).

Fabbi L., 1997, Statistica multivariata “*Analisi esplorativa dei dati*”, 1997.

ISTAT, 1995, “*Il controllo della qualità dell’aria: reti di monitoraggio, strumenti normativi e tecniche statistiche*”, Annali di statistica, serie X, vol.7, Roma, 1995.

ISTAT, 1996, “*L’informazione statistica per il governo dell’ambiente*”, Atti del Convegno, Annali di statistica, serie X, vol. 10, Roma, 1996.

ISTAT, 1997, “*Metodi di analisi statistica dei dati di qualità dell’aria. Rassegna critica ed alcune applicazioni*”, Metodi e Norme, Roma, 1997.

ISTAT, 1998, “*Statistiche ambientali*”. Annuari Ambiente e Territorio, 1998.

Ministero dell’Ambiente, 1997, “*Relazione sullo stato dell’ambiente*”, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, 1997.

Ministero dell’Industria del Commercio e dell’Artigianato, 1997, Direzione Generale delle Fonti di Energia e delle Risorse Minerarie, “*BILANCIO ENERGETICO NAZIONALE*”, 1996.

Ministero dei Trasporti e della Navigazione, 1996-1998, Direzione Generale Programmazione, Organizzazione e Coordinamento, “*CONTO NAZIONALE DEI TRASPORTI*”, anni 1996-1998, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato.

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

Rizzi A., 1985, “*Analisi dei dati. Applicazione dell’informatica alla Statistica*”. Ed.: La Nuova Italia Scientifica, pp. 210, Roma, 1985.

SAS (Statistical Analysis System) Institute Inc., 1987a, SAS/STAT, “*Guide for Personal Computers*”, Version 6, Edition, Cary, NC: SAS Institute Inc.

SAS Institute Inc., 1987b, "SAS Procedures Guide", Version 6 Third edition.

SAS Institute Inc., 1987c, SAS/STAT, "User's Guide", Vol. I, Version 6 Third edition.

SISTAN, Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato, 1994-1996, Direzione Generale dell'Energia e delle Risorse Minerarie, "BOLLETTINO PETROLIFERO", anni 1994-1996.

SISTAN- ISTAT Settore Servizi, 1997, "Trasporto Merci su Strada", 1997.

SPSS Inc., 1998a, SPSS Base 8.0, "Applications Guide", 1998.

SPSS Inc., 1998b, SPSS Base 8.0 per Windows, "Guida dell'utente", 1998.

TECHNE, 1994, "Inventario delle emissioni di inquinanti dell'aria in Italia nell'anno 1990", RA 3/94, Roma, Luglio 1994.

TNO (Netherland Organization for Applied Scientific Research), 1992, "Emission Factors Manual Parcom - Atmos. Emission factors for air pollutants 1992". TNO report 92-235, Settembre 1992.

UNIONE PETROLIFERA, 1996, "Statistiche economiche energetiche e petrolifere 1995", ottobre 1996.

UNIONE PETROLIFERA, 1997, "Previsioni di domanda di energia e prodotti petroliferi in Italia", febbraio 1997.

UNRAE, Unione Nazionale Distributori di Automotoveicoli, dati disponibili in rete, all'indirizzo www.unrae.com.

Per ulteriori informazioni ed approfondimenti sugli argomenti trattati nel presente lavoro si rimanda alla consultazione del sito dell'Expert Panel Trasporti Italia, all'indirizzo:

<http://amb-emiss.anpa.it/eptransport>