

LE EMISSIONI IN ATMOSFERA DEGLI INQUINANTI NELLE 24 PRINCIPALI CITTÀ ITALIANE

M. Bultrini, M. Colaiezzi, M. Faticanti, M. Pantaleoni, E. Taurino, C. Serafini, A. Leonardi, M.C. Cirillo

(APAT – Dipartimento Stato dell'ambiente e Metrologia Ambientale, Servizio Qualità dell'Aria)

SOMMARIO

Vengono presentate le emissioni dei più importanti inquinanti per i 24 capoluoghi di provincia italiani con popolazione maggiore di 150.000 abitanti con riferimento agli anni 1995, 2000 e 2003. Le stime sono state effettuate disaggregando spazialmente le emissioni nazionali con una opportuna metodologia. Tutti gli inquinanti considerati mostrano un andamento generalmente decrescente nel tempo con l'eccezione dell'ammoniaca (escludendo il contributo dell'agricoltura) le cui emissioni crescono progressivamente dal 1995 al 2003. Per il 2003 sono riportati i contributi dei vari settori (trasporto su strada, industria, etc.) per ogni singolo inquinante. Le tendenze nel tempo e la ripartizione delle emissioni nei vari settori sono comparate con le analoghe situazioni nazionali. Le emissioni pro capite stimate per ogni città presentano una minore variabilità rispetto ai valori assoluti.

1. INTRODUZIONE

Gli inventari delle emissioni in atmosfera rappresentano uno degli strumenti indispensabili per pianificare e gestire il risanamento della qualità dell'aria. La normativa vigente sui piani e programmi inerenti alla qualità dell'aria prevede che tutte le regioni/province autonome predispongano un inventario delle emissioni secondo criteri comuni stabiliti a livello europeo, un obiettivo questo che deve essere ancora pienamente perseguito da circa un terzo delle regioni/province autonome.

Per questo motivo acquista ancora maggiore rilievo l'attività di disaggregazione spaziale dell'inventario nazionale realizzato da APAT, disaggregazione che partendo dal dato nazionale si propone di stimare le emissioni su scala provinciale e comunale. In questo contesto, il presente lavoro si pone in continuità con quello presentato da APAT (De Lauretis et al., 2004) e dal CESI (Pertot et al., 2005) rispettivamente nel I e nel II rapporto APAT sulla qualità dell'ambiente urbano. Rispetto ai lavori precedenti è stato esteso il numero di inquinanti (monossido di carbonio e ammoniaca non considerati da APAT nel 2004, benzene non considerato da CESI nel 2005) e di aree urbane prese in considerazione (estendendo il campo di osservazione ai 24 capoluoghi di provincia con popolazione superiore ai 150.000 abitanti). Inoltre, mentre i lavori precedenti hanno fornito le emissioni comunali per il solo anno 2000, in questo lavoro la stima ha interessato tre anni (1995, 2000 e 2003) il che consente di poter valutare, per ogni città, gli andamenti degli inquinanti considerati in funzione del tempo in un arco di nove anni.

Operativamente il lavoro è stato suddiviso in due passi successivi: nel primo l'inventario nazionale è stato disaggregato a livello delle 103 province italiane, nel secondo una successiva disaggregazione è stata effettuata a livello comunale per le sole 24 città di interesse.

2. METODOLOGIA

2.1 La disaggregazione provinciale

La disaggregazione provinciale del dato emissivo nazionale è stata realizzata per gli anni 1995, 2000 e 2003 adottando un approccio di tipo *top-down* (Liburdi et al., 2004).

Per ogni attività emissiva si è scelta un'opportuna "variabile surrogato" (*proxy*) che fosse correlata alla stima dell'emissione e che è stata utilizzata per ripartire a livello provinciale il dato nazionale mediante la seguente formula:

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

dove $E_{k,i,j}$ rappresenta l'emissione provinciale relativa all'attività k , alla provincia i e all'anno j , $E_{k,j}$ è la corrispondente emissione nazionale, $S_{k,i,j}$ è il valore della variabile *proxy* associata all'attività k per l'anno j e per la provincia i , $S_{k,j}$ è il corrispondente valore nazionale della variabile *proxy*. Vale la relazione

$$S_{k,j} = \sum_{i=1}^N S_{k,i,j}$$

con $N=103$, numero delle province italiane.

La stima provinciale delle emissioni di un dato macrosettore viene ottenuta come somma delle emissioni provinciali relative alle attività che appartengono a quel macrosettore.

L'approccio utilizzato prevede l'utilizzo di variabili *proxy* di facile reperimento per i tre anni, ciò spiega il diffuso utilizzo di dati ISTAT in particolare del numero di addetti per la disaggregazione provinciale delle emissioni delle attività industriali.

2.1.1 Gli inquinanti considerati

Gli inquinanti presi in considerazione sono il particolato minore di 10 micrometri (PM10), gli ossidi di azoto (NO_x), i composti organici volatili non metanici (COVNM), gli ossidi di zolfo (SO_x), l'ammoniaca (NH₃), il benzene (C₆H₆) e il monossido di carbonio (CO).

2.1.2 La classificazione aggregata adottata nel rapporto

La stima delle emissioni è stata effettuata utilizzando la stessa nomenclatura SNAP 97 (*Selected Nomenclature for sources of Air Pollution*) adottata da APAT nell'inventario nazionale delle emissioni, e che classifica le diverse attività emissive in settori e macrosettori. I risultati sono presentati aggregando e/o rinominando alcuni macrosettori della nomenclatura SNAP 97 come mostrato in Tabella 1

Tabella 1: classificazione aggregata utilizzata nel presente lavoro

Macrosettori SNAP 97	Macrosettori aggregati
01 – Combustione nell'industria e impianti energetici	
03 – Combustione industriale	→ Industria
04 – Attività produttive	
05 – Estrazione e distribuzione di combustibili fossili e geotermia	
02 – Combustione non industriale	→ Riscaldamento
06 – Uso di solventi	→ Uso Solventi
07 – Trasporti stradali	→ Trasporto su strada
08 – Altri sorgenti mobili e macchinari	→ Altri trasporti
09 – Trattamento dei rifiuti e discariche	→ Trattamento rifiuti
10 – Agricoltura	→ Agricoltura
11 – Altre sorgenti ed assorbimenti	→ Natura

Nella voce altri trasporti sono inclusi il trasporto aereo e i trasporti marittimi: questi ultimi hanno un peso rilevante nelle città portuali. Per una completa tracciabilità del lavoro svolto, tutti i dati relativi alla procedura di disaggregazione (*data base* delle emissioni per i 3 anni, file excel per la disaggregazione a livello comunale, descrizione delle variabili *proxy* per la disaggregazione a livello provinciale e grafici) sono riportati nel CD allegato al presente volume.

2.1.3 Analisi cluster per il settore trasporti

Visto il peso rilevante delle emissioni dovute al trasporto stradale si è cercato di caratterizzare al meglio tale settore ampliando la metodologia *top-down* attraverso l'introduzione di tecniche di analisi statistica multivariata (Saija et al., 2001). L'obiettivo perseguito è quello della caratterizzazione delle province italiane rispetto alla composizione del parco veicolare e alla tipologia di trasporto predominante (commerciale, passeggeri...). A tal fine, per il solo 2003 è stata effettuata un'analisi *cluster* delle 103 province in modo da individuare gruppi di province simili rispetto alle variabili ritenute rappresentative e riportate in Tabella 2. Sono state prese in esame variabili costruite a partire dal numero di veicoli circolanti (con particolare riguardo ai veicoli commerciali al fine di caratterizzare al meglio il peso del traffico commerciale), variabili relative ad aspetti economici (vendite di combustibili ad uso trazione) e variabili legate alle infrastrutture stradali presenti nelle province (lunghezza dei tratti stradali per unità di superficie).

Tabella 2: variabili utilizzate per l'analisi cluster delle province italiane

Variabile	Descrizione	Fonte
X ₁	Lunghezza tratti autostradali/superficie provincia (km ⁻¹)	ISTAT
X ₂	Lunghezza tratti non autostradali/superficie provincia (km ⁻¹)	Elab.ARPALombardia
X ₃	Venduto benzina trazione (t)	Bollettino petrolifero
X ₄	Venduto gasolio trazione (t)	Bollettino petrolifero
X ₅	Rapporto tra n° di veicoli passeggeri benzina (euroII+euroIII)/(euroI+pre euro)	ACI
X ₆	Rapporto tra n° di veicoli passeggeri gasolio (euroII+euroIII)/(euroI+pre euro)	ACI
X ₇	Rapporto tra n° di veicoli passeggeri GPL (euroII+euroIII)/(euroI+pre euro)	ACI
X ₈	Rapporto tra n° di veicoli commerciali leggeri (euroII+euroIII)/(euroI+pre euro)	ACI
X ₉	Rapporto tra n° di veicoli commerciali leggeri (euroI+pre euro)/flotta veicolare	ACI
X ₁₀	Rapporto tra n° di veicoli commerciali leggeri (euroII+euroIII)/flotta veicolare	ACI
X ₁₁	Rapporto tra n° di veicoli commerciali pesanti (euroII+euroIII)/(euroI+pre euro)	ACI
X ₁₂	Rapporto tra n° di veicoli commerciali pesanti (euroI+pre euro)/flotta veicolare	ACI
X ₁₃	Rapporto tra n° di veicoli commerciali pesanti (euroII+euroIII)/flotta veicolare	ACI
X ₁₄	Rapporto tra n° di motocicli 97/24/EC e convenzionali	ACI

Nella Tabella 3 seguente viene riportata una descrizione dei *cluster* delle province ottenuti dall'elaborazione con il *software* statistico R 2.2.0 (R Development Core Team, 2005).

Tabella 3: descrizione dei cluster e delle relative province di appartenenza

Cluster	Descrizione	Province
1	20 province ad alto sviluppo economico. All'interno del <i>cluster</i> si trovano diverse aree urbane nelle quali la mobilità stradale è legata ad un'intensa attività turistica e commerciale	Alessandria, Bari, Bergamo, Bologna, Brescia, Caserta, Catania, Firenze, Napoli, Padova, Perugia, Ravenna, Reggio Emilia, Salerno, Torino, Trento, Treviso, Venezia, Verona, Vicenza
2	51 province medio-piccole e con minor peso demografico e, di conseguenza, con parchi veicolari più piccoli. Esso si distingue nettamente dagli altri per la numerosità.	Agrigento, Aosta, Arezzo, Asti, Avellino, Belluno, Benevento, Biella, Brindisi, Caltanissetta, Campobasso, Catanzaro, Cremona, Crotone, Enna, Ferrara, Gorizia, Grosseto, Imperia, Isernia, La Spezia, L'Aquila, Lecco, Lodi, Lucca, Macerata, Massa Carrara, Matera, Novara, Nuoro, Oristano, Pescara, Pistoia, Pordenone, Potenza, Prato, Ragusa, Rieti, Rimini, Rovigo, Savona, Siena, Siracusa, Sondrio, Terni, Trapani, Trieste, Verbano-Cusio-Ossola, Vercelli, Vibo Valentia, Viterbo
3	30 province di dimensioni medio-grandi. Si distingue dal primo per i minori consumi di	Ancona, Ascoli Piceno, Bolzano, Cagliari, Chieti, Como, Cosenza, Cuneo, Foggia, Forlì, Frosinone, Genova,

	carburanti ed un parco auto passeggeri a gasolio e veicoli commerciali leggeri più anziani.	Latina, Lecce, Livorno, Mantova, Messina, Modena, Palermo, Parma, Pavia, Pesaro Urbino, Piacenza, Pisa, Reggio Calabria, Sassari, Taranto, Teramo, Udine, Varese
4	Le 2 maggiori metropoli italiane che si distinguono nettamente da tutte le altre per popolazione e parco veicolare	Milano, Roma

Per ogni *cluster* è stata applicata la metodologia Copert per stimare le emissioni di sei inquinanti (PM10, NO_x, COVNM, NH₃, CO e C₆H₆), ad eccezione di SO_x poiché negli ultimi 15 anni il tenore di zolfo nei carburanti si è ridotto di ben oltre il 90%. I valori di emissione risultanti sono stati comparati con i valori provinciali ottenuti con la metodologia *top-down* (Saija, Romano, 2001) e aggregati per i *cluster* risultanti da questa analisi ottenendo un fattore correttivo:

$$V_c^k = \frac{\sum_{i \in I_c} E_i^k - E_c^k}{\sum_{i \in I_c} E_i^k}$$

dove:

V_c^k = indice di variazione per il *cluster* c ed il settore veicolare k

E_c^k = emissione stimata con metodologia Copert per il *cluster* c ed il settore veicolare k

E_i^k = emissione della i -esima provincia per settore veicolare k stimata con disaggregazione *top-down*

I_c = insieme delle province appartenenti al *cluster* c

Per quanto riguarda il benzene, le emissioni considerate come metodologia Copert sono state calcolate per classe veicolare a partire dalle rispettive emissioni di COVNM, in accordo con quanto riportato in “*Emissioni di benzene in Italia dal 1990 al 2000*” (De Lauretis et al., 2003). In questo modo è stato possibile valutare un indice di variazione per settore anche nel caso del benzene, altrimenti valutato da Copert III solo a livello di macrosettore.

In Tabella 4 sono riportati i risultanti indici di variazione dove il valore negativo di V_c^k sta a significare che la stima relativa al *cluster* c ed effettuata mediante la metodologia Copert è superiore alla stima *top-down*.

Tabella 4: indici di variazione dei *cluster* per i sei inquinanti considerati per il 2003

Cluster	Settore veicolare	PM10	NO _x	COVNM	NH ₃	C ₆ H ₆	CO
1	Auto passeggeri	-0,07	-0,12	-0,13	-0,03	-0,03	0,01
	Veicoli commerciali leggeri	-0,02	-0,01	0,07	0,17	-0,03	0,09
	Veicoli pesanti e autobus	-0,10	-0,13	-0,14	-0,12	-0,26	-0,13
	Ciclomotori	0,05	0,07	0,07	0,06	0,08	0,07
	Motocicli	0,01	0,07	0,12	0,09	0,09	0,11
	Emissioni evaporative	-	-	-0,04	-	-0,16	-
2	Auto passeggeri	0,07	0,07	-0,22	0,14	-0,13	-0,06
	Veicoli commerciali leggeri	-0,04	0,01	-0,04	0,24	-0,17	-0,03
	Veicoli pesanti e autobus	0,10	0,10	0,04	0,17	-0,07	0,05
	Ciclomotori	-0,20	-0,17	-0,17	-0,17	-0,15	-0,18
	Motocicli	0,01	0,15	0,04	0,09	0,01	0,11
	Emissioni evaporative	-	-	0,02	-	-0,10	-
3	Auto passeggeri	0,09	0,07	-0,15	0,10	-0,07	0,00
	Veicoli commerciali leggeri	0,04	0,08	0,06	0,29	-0,05	0,07
	Veicoli pesanti e autobus	0,00	-0,02	-0,05	0,06	-0,17	-0,03
	Ciclomotori	-0,15	-0,14	-0,13	-0,15	-0,11	-0,13

4	Motocicli	-0,02	0,09	0,03	0,04	0,00	0,08
	Emissioni evaporative	-	-	0,06	-	-0,19	-
	Auto passeggeri	-0,19	-0,25	0,08	-0,81	0,11	0,15
	Veicoli commerciali leggeri	0,05	0,02	0,11	-2,25	0,05	-0,03
	Veicoli pesanti e autobus	0,06	0,07	0,04	-0,07	-0,08	0,04
	Ciclomotori	0,29	0,29	0,29	0,26	0,30	0,29
	Motocicli	-0,01	0,22	0,18	-0,01	0,15	0,05
	Emissioni evaporative	-	-	-0,10	-	-0,23	-

L'emissione corretta per l'*i-esima* provincia inclusa nel *cluster c* e settore veicolare *k* è:

$$\overline{E}_i^k = E_i^k (1 - V_c^k).$$

dove E_i^k è la stima provinciale ottenuta utilizzando la metodologia *top-down*.

2.2 La disaggregazione in area urbana

A partire dalla disaggregazione su base provinciale dell'inventario nazionale si è proceduto ad una valutazione delle emissioni, per gli anni 1995, 2000 e 2003, relative ai capoluoghi di provincia italiani con una popolazione superiore a 150.000 abitanti. Le 24 città oggetto di studio sono state: Torino, Genova, Milano, Brescia, Verona, Trieste, Venezia, Padova, Modena, Parma, Bologna, Firenze, Prato, Livorno, Roma, Napoli, Bari, Foggia, Taranto, Reggio Calabria, Messina, Catania, Palermo, Cagliari.

2.2.1 Dalla stima provinciale alla stima in ambito urbano

La metodologia usata per stimare le emissioni in ambito urbano prosegue l'approccio *top-down* utilizzato per la disaggregazione provinciale: sono state adottate per ciascuna categoria emissiva delle variabili *proxy* che fossero disponibili a livello comunale e correlate con l'attività emissiva (ad esempio il numero degli addetti per quanto riguarda le attività produttive, la lunghezza delle strade asfaltate per i trasporti su strada, la lunghezza dei tratti navigabili per le vie di navigazione interna, ecc.). La seguente Tabella 5 riporta le fonti delle variabili *proxy* a livello comunale che sono state utilizzate per la disaggregazione spaziale delle emissioni

Tabella 5: indicatori utilizzati per la disaggregazione a livello comunale

Fonte	Descrizione	Variabile <i>proxy</i>
ISTAT	Censimento industria e servizi	Numero di addetti
ISTAT	Tavole edilizia	Numero nuove abitazioni
ISTAT	Censimento popolazione	Popolazione residente
Elaborazione ARPA Lombardia		Lunghezza tratti navigabili
Elaborazione ARPA Lombardia		Lunghezza strade asfaltate
Elaborazione ARPA Lombardia		Lunghezza rete ferroviaria

Il numero di addetti alle unità locali delle imprese è stato largamente impiegato come *proxy* per la disaggregazione dei macrosettori 03 (combustione industriale), 04 (attività produttive) e 06 (uso di solventi). La fonte dei dati è il censimento generale dell'industria e dei servizi degli anni 1996 e 2001 (ISTAT, 2001). Gli addetti del censimento 1996 sono stati utilizzati come *proxy* per il 1995, mentre quelli del 2001 sono stati utilizzati come *proxy* per gli anni 2000 e 2003, opportunamente rimodulati in base ai consumi elettrici delle imprese nei rispettivi anni. La popolazione residente, provinciale e comunale, è stata impiegata per la disaggregazione comunale del macrosettore 02 (riscaldamento), alcune attività dei macrosettori 05 (estrazione e distribuzione di combustibili fossili) e 07 (trasporti stradali). Il numero di nuove abitazioni per provincia e comune è stato impiegato come *proxy* per disaggregare due attività, legate all'utilizzo di solventi in ambito domestico, del macrosettore 06 (uso di solventi).

Si è assunto come ipotesi di base che l'area urbana sia coincidente con il territorio comunale. Tale approssimazione semplifica il reperimento delle variabili *proxy* con cui effettuare la disaggregazione dell'inventario e consente di valutare le emissioni relative a tutte le sorgenti contenute nei limiti comunali.

Per valutare il contributo delle sorgenti puntuali è stato adottato un approccio differente basato sulla valutazione di quanto il processo emissivo si manifesti in ambito urbano attraverso l'attribuzione di una coefficiente q compreso tra 0 ed 1. Più precisamente l'emissione provinciale dovuta all'attività emissiva delle sorgenti puntuali è stata attribuita alla corrispondente area urbana in base ad una quota variabile tra 0 ed 1 ottenuta rapportando le emissioni dovute agli impianti presenti nell'area urbana sul totale provinciale delle emissioni. Di conseguenza, per una certa area urbana, la quota q è pari a 0 se non è presente alcun impianto all'interno del confine comunale, q è pari ad 1 se tutti gli impianti della provincia si trovano all'interno dell'area urbana. Si ottengono valori di q compresi fra 0 ed 1 nei casi in cui solo una parte degli impianti provinciali è localizzata nell'area urbana.

In alcuni casi (estensione delle foreste, macchia mediterranea, ecc), in analogia con la metodologia adottata nel primo rapporto APAT sulle aree urbane, è stato attribuito un valore costante al coefficiente q per le varie città.

Volendo valutare le emissioni in ambito urbano non si è preso in considerazione il macrosettore 10 (Agricoltura e allevamento) in quanto ritenuto non rilevante rispetto agli altri macrosettori. Al fine di rendere omogenei i confronti nei grafici e nelle tabelle seguenti il contributo del macrosettore 10 non è stato considerato per le emissioni provinciali e nazionali.

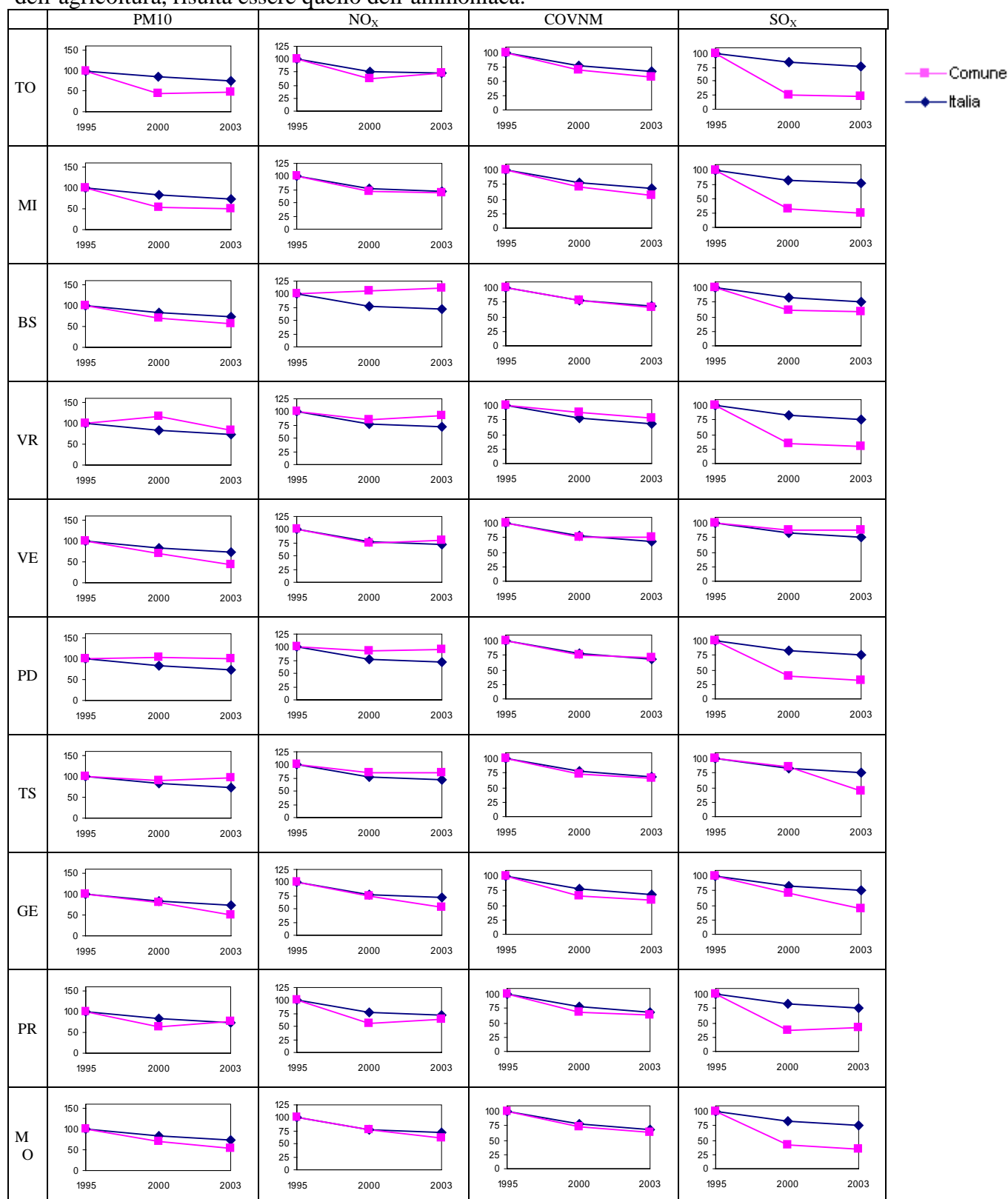
3. LE EMISSIONI IN ATMOSFERA NELLE 24 CITTA': I RISULTATI

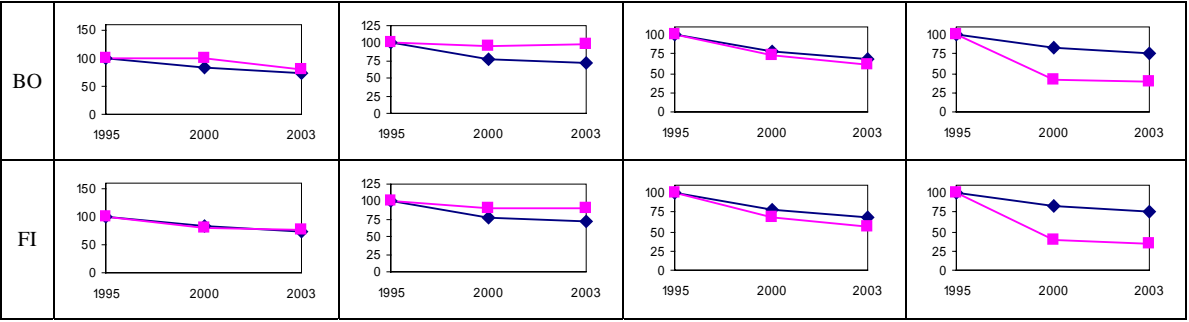
Nella Tabella 6 vengono riportate le emissioni comunali totali nelle 24 aree urbane per i diversi inquinanti considerati, assieme alle percentuali comunali delle emissioni provinciali per il 2003.

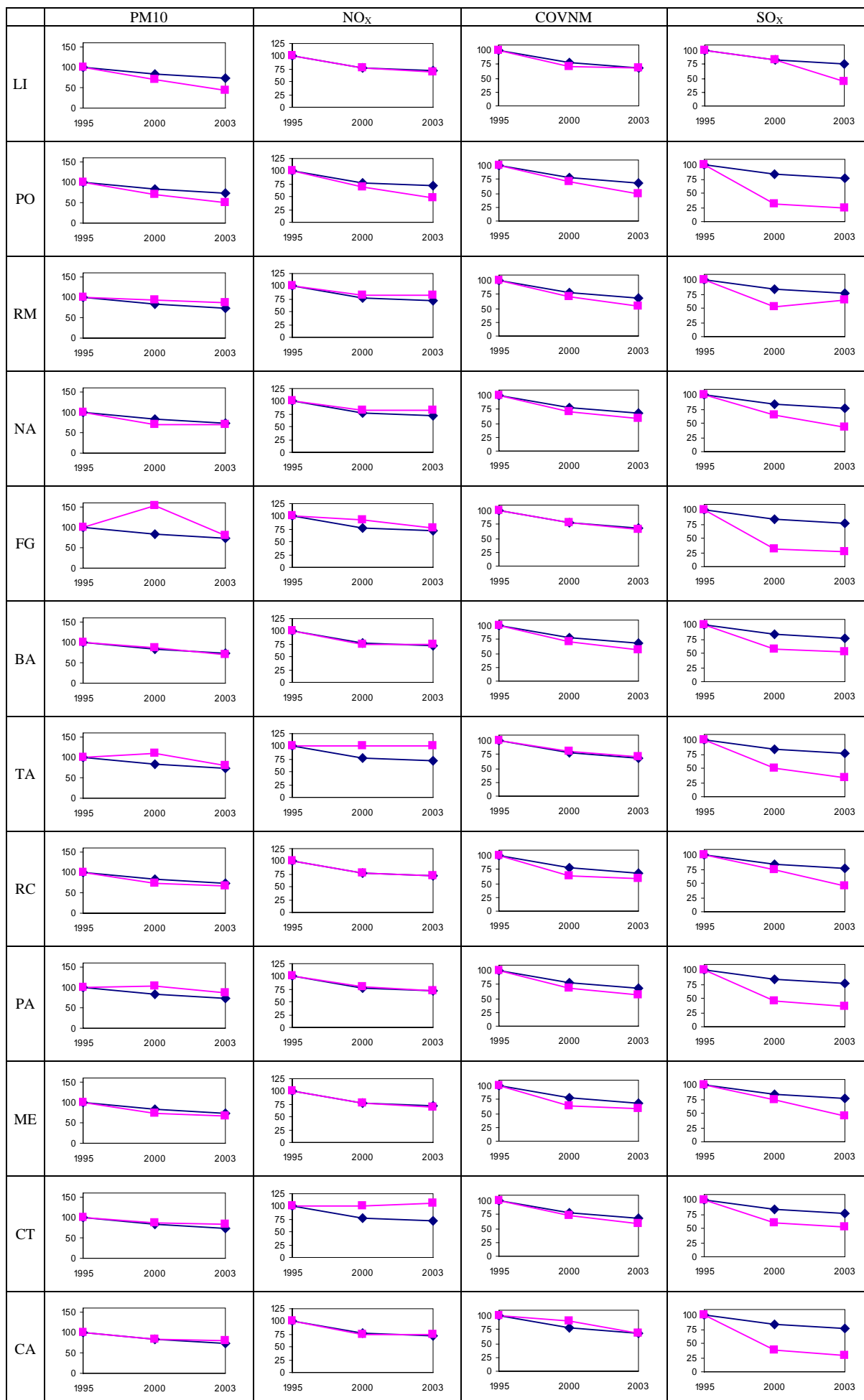
Tabella 6: emissioni comunali (esprese in tonnellate) nelle 24 aree urbane e pesi percentuali rispetto alla relative province di appartenenza – anno 2003

	PM10		NO _x		COVNM		SO _x		NH ₃		C ₆ H ₆		CO	
	Comune	% Pr.	Comune	% Pr.	Comune	% Pr.	Comune	% Pr.	Comune	% Pr.	Comune	% Pr.	Comune	% Pr.
TO	1008	15	9357	21	16375	32	1338	25	282	32	199	34	48499	28
MI	1435	16	12104	18	21426	26	2101	15	263	18	350	31	76262	25
BS	342	10	2754	13	3010	12	1774	38	18	3	13	5	7619	12
VR	230	10	2018	11	4674	22	263	13	25	8	70	30	10420	22
VE	1177	44	20060	62	7154	34	22659	95	39	13	66	26	16589	27
PD	199	8	1871	10	2930	15	239	7	24	7	35	18	7758	18
TS	395	70	3483	68	6622	84	1058	91	19	58	84	87	17435	84
GE	1116	51	11449	59	14165	63	8320	84	182	52	205	67	50449	65
PR	380	27	2765	25	3247	35	596	43	18	13	45	38	7882	29
MO	264	14	1215	9	3546	22	435	6	66	27	45	25	9531	23
BO	462	15	6762	32	6154	29	683	20	58	14	85	35	20628	22
FI	311	12	4269	23	5969	29	489	14	39	12	87	32	19396	27
LI	418	28	6303	38	6139	37	12744	56	23	21	83	34	13549	29
PO	95	37	892	43	2388	69	321	64	9	28	33	69	6233	64
RM	2377	37	23838	32	39175	62	6534	31	992	50	664	63	144963	59
NA	1238	26	16625	32	21838	30	6054	34	126	17	340	30	74881	30
FG	158	10	1546	11	3251	23	109	13	62	21	35	19	7733	17
BA	407	14	4890	20	6051	19	2781	59	44	9	62	13	21246	20
TA	1668	69	12296	69	6984	51	14345	98	14	8	320	76	32306	58
RC	759	50	12452	64	20520	69	8018	92	15	7	221	70	44309	68
PA	564	27	4752	21	9782	49	603	11	211	46	171	50	35287	45
ME	837	32	13077	37	20634	52	8086	24	30	10	241	50	49703	51
CT	379	24	5060	34	4631	29	668	55	131	35	77	28	16054	27
CA	154	6	1442	7	2868	12	331	2	9	4	26	10	7310	13

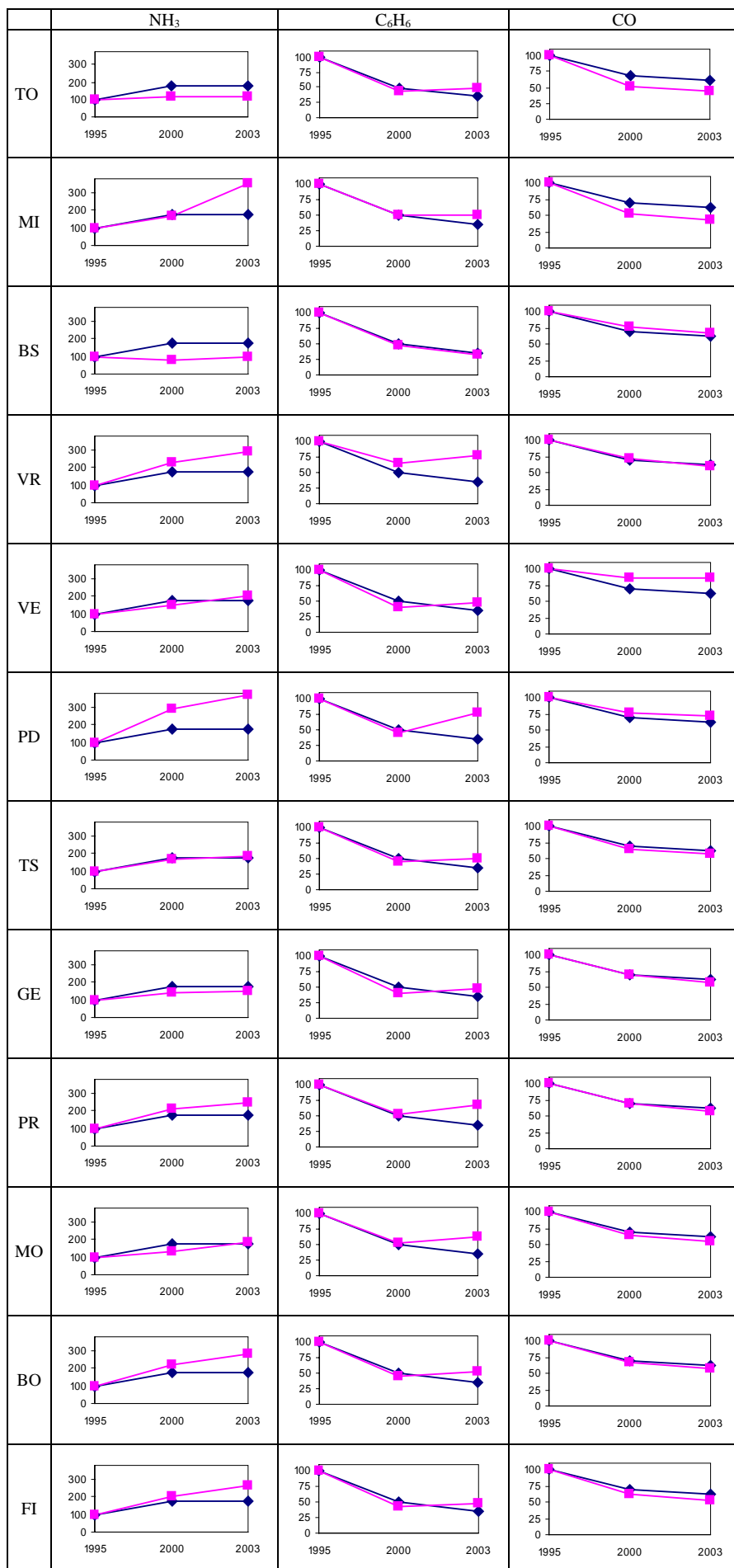
Nei grafici seguenti (Figura 1) sono riportate le emissioni dei sette inquinanti considerati per le 24 aree urbane evidenziando l'andamento dal 1995 al 2003 in confronto all'andamento nazionale sotto forma di numero indice con valore 100 nel 1995. L'unico *trend* crescente, al netto del contributo dell'agricoltura, risulta essere quello dell'ammoniaca.



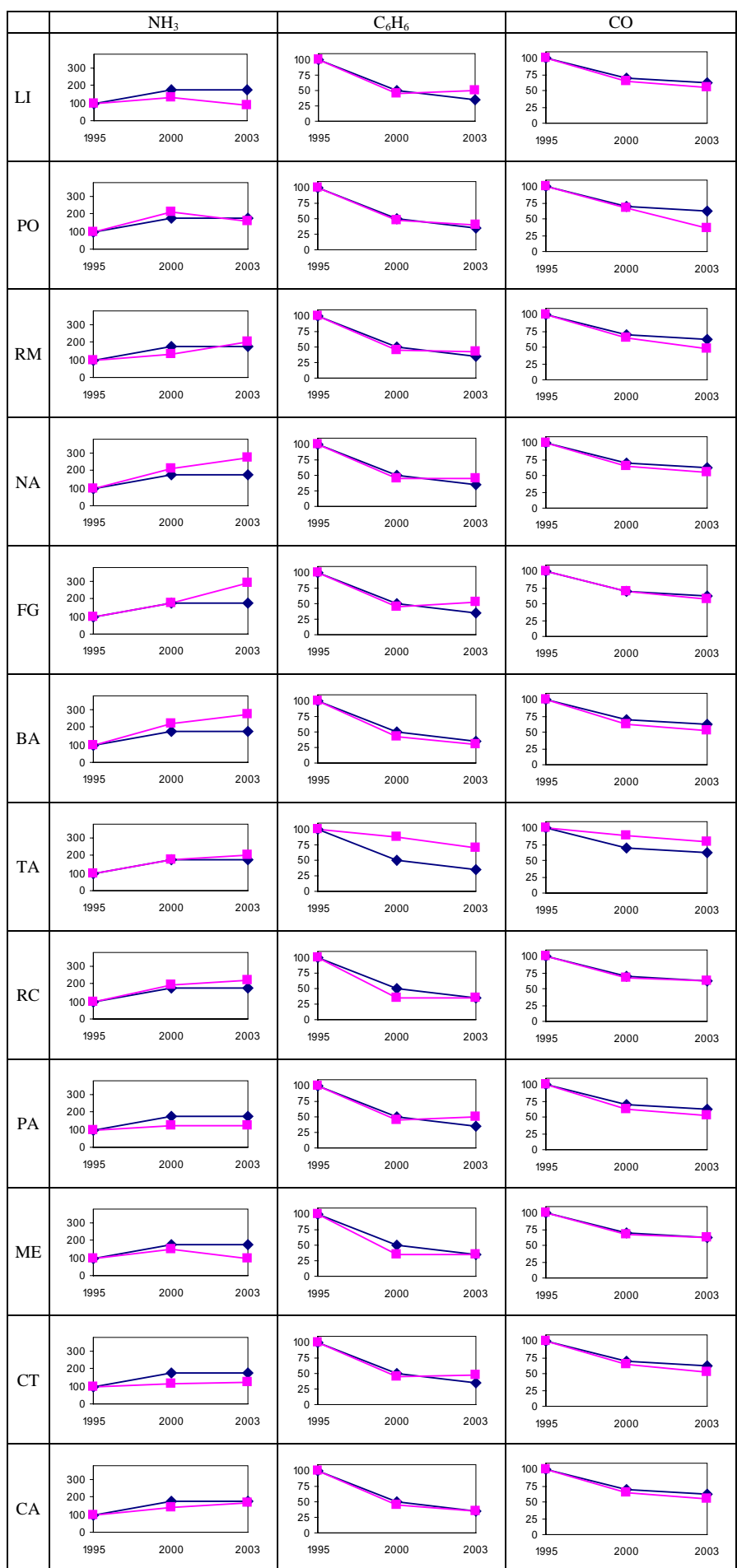




 Comune
 Italia



Comune
Italia



 Comune
 Italia

Figura 1: confronto fra le emissioni nazionali e le emissioni delle 24 aree urbane sotto forma di numero indice con valore 100 nel 1995.

Per le emissioni di PM10 (Figura 2) il trasporto su strada costituisce la principale sorgente emissiva per oltre il 50% delle aree urbane considerate, tra cui le più grandi città italiane. In particolare per Roma il contributo del trasporto su strada alle emissioni di PM10 è del 70%. Il contributo del settore industriale è consistente in particolar modo per le aree urbane in cui sono localizzati grandi poli industriali (Taranto, Genova e Venezia); a Reggio Calabria e Messina è preponderante il contributo del trasporto marittimo incluso nella voce Altro trasporto. Per le città del Centro – Nord risulta rilevante il contributo del macrosettore Riscaldamento.

La distribuzione di ossidi di azoto nelle diverse aree urbane (Figura 3) mette in evidenza i contributi emissivi del trasporto su strada e del settore industriale. Le città di Venezia, Taranto, Livorno e Brescia sono caratterizzate da un forte contributo dovuto agli impianti industriali. Nel caso di Brescia è rilevante l'apporto del teleriscaldamento (incluso nel settore aggregato Industria). Si distinguono Reggio Calabria, Messina, Catania, Cagliari e Napoli con un importante peso percentuale del trasporto marittimo e Bologna per il trasporto aereo.

Le emissioni relative ai composti organici volatili non metanici (Figura 4) sono essenzialmente dovute all'uso dei solventi, che interessano principalmente l'industria e, in misura minore, il domestico, ed al trasporto su strada, tranne che per le aree di Messina e Reggio Calabria dove incide il peso del trasporto marittimo; a Venezia, Trieste, Livorno e Taranto, oltre al contributo delle emissioni da solventi emerge un significativo contributo degli altri processi industriali.

Dall'analisi effettuata emerge che il settore industriale fornisce il maggior apporto alle emissioni comunali di ossidi di zolfo (Figura 5); i pesi percentuali più alti (90%-95%) si registrano a Livorno, Venezia e Taranto dove raffinerie, impianti di produzione di energia elettrica e impianti siderurgici, ricadono all'interno dell'area urbana; per le città portuali è rilevante il contributo del trasporto marittimo, in particolare per Reggio Calabria e Messina.

Il contributo maggiore alle emissioni di ammoniaca (Figura 6) proviene dal trasporto su strada per quasi tutte le 24 aree comunali prese in considerazione, in particolare per Firenze e Padova rappresenta l'unica fonte emissiva. Per Torino, Genova, Roma e Palermo è rilevante invece il peso del macrosettore del trattamento dei rifiuti e discariche, considerato nella categoria Altro insieme al macrosettore Natura, che arriva fino al 69% del totale comunale nel caso di Palermo. Per Venezia è importante il contributo dell'industria attribuito agli impianti di produzione di energia elettrica.

In merito alle emissioni di benzene (Figura 7), è il macrosettore del trasporto su strada a fornire il maggior contributo emissivo; per le città portuali è consistente il contributo dovuto al trasporto marittimo. Su Parma, Verona e Milano è anche rilevante la percentuale relativa all'uso dei solventi. Si distinguono importanti contributi di natura industriale (impianti siderurgici, impianti di produzione di energia elettrica e raffinerie) nelle aree comunali di Taranto (84%), Venezia (40%), Livorno (28%) e Genova (15%).

Le emissioni di monossido di carbonio (Figura 8) sono dovute prevalentemente al trasporto su strada ad eccezione di Taranto per la presenza di grandi siti industriali e delle città portuali per il maggior peso del traffico marittimo (con un peso fino al 90% nel caso di Reggio Calabria). Per le città del centro-nord è consistente anche il contributo del riscaldamento.

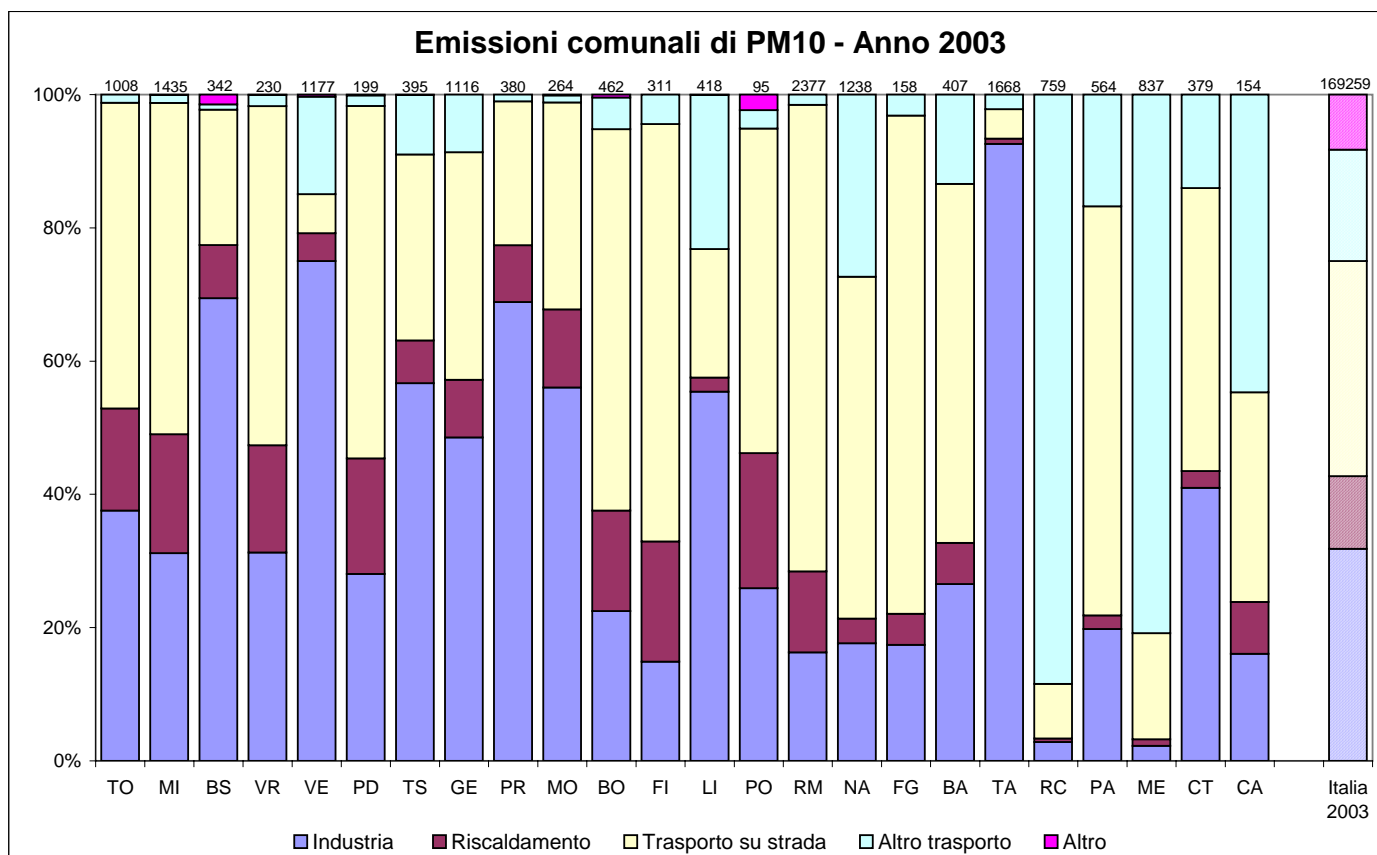


Figura 2: emissioni comunali di PM10 - ripartizione settoriale
 (in alto sono riportate le emissioni totali in tonnellate)

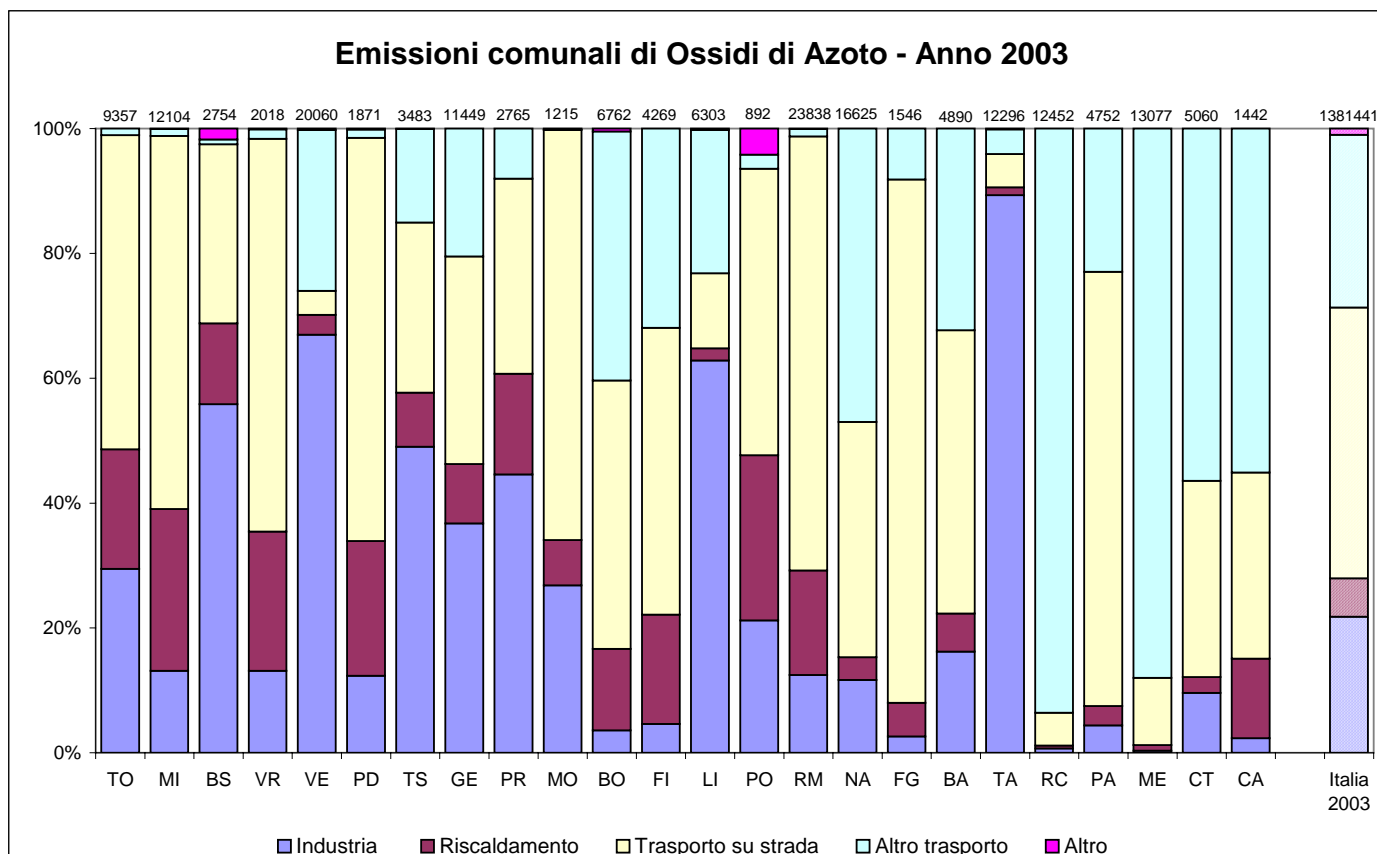


Figura 3: emissioni comunali di ossidi di azoto - ripartizione settoriale
 (in alto sono riportate le emissioni totali in tonnellate)

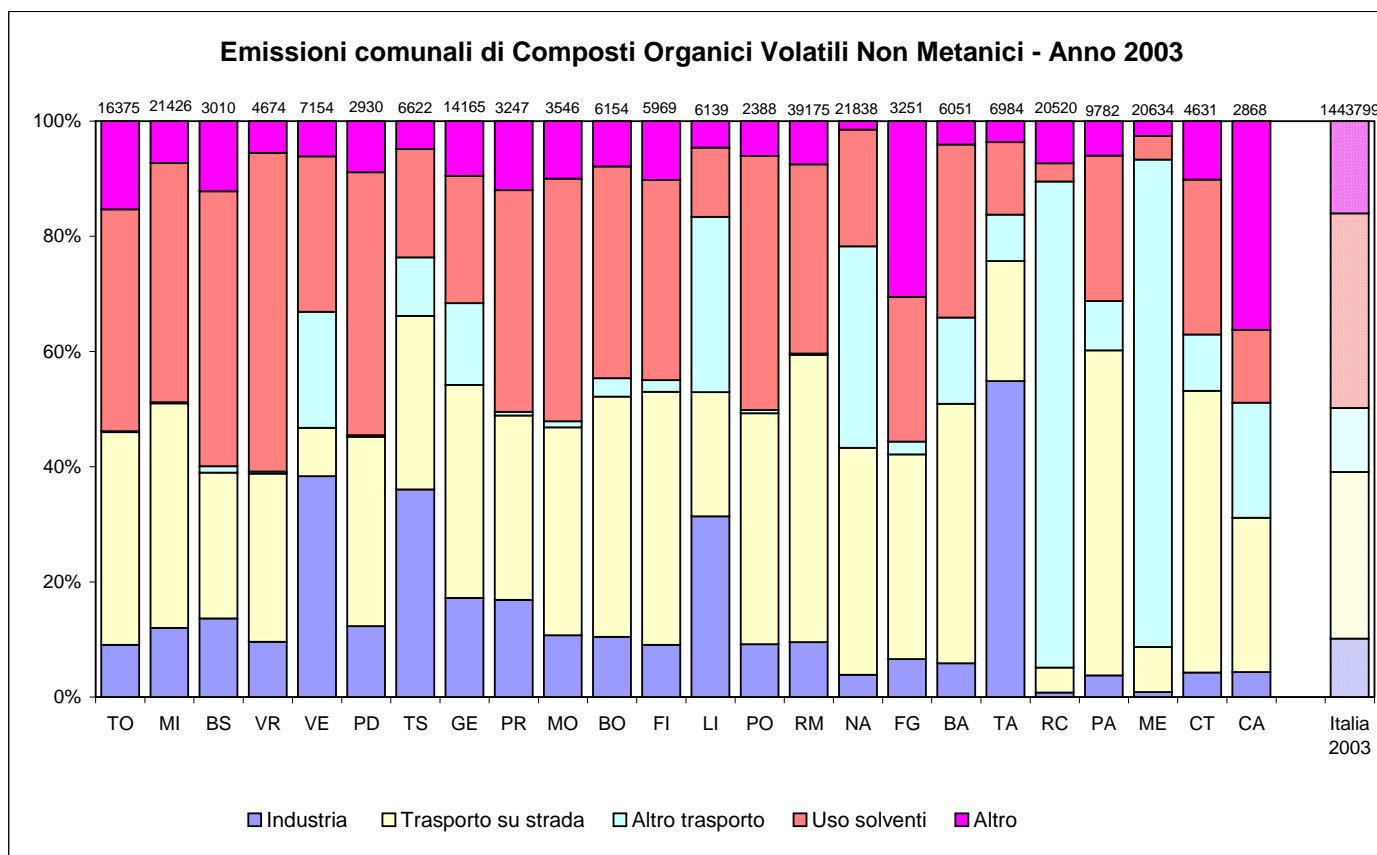


Figura 4: emissioni comunali di COVNM - ripartizione settoriale
(in alto sono riportate le emissioni totali in tonnellate)

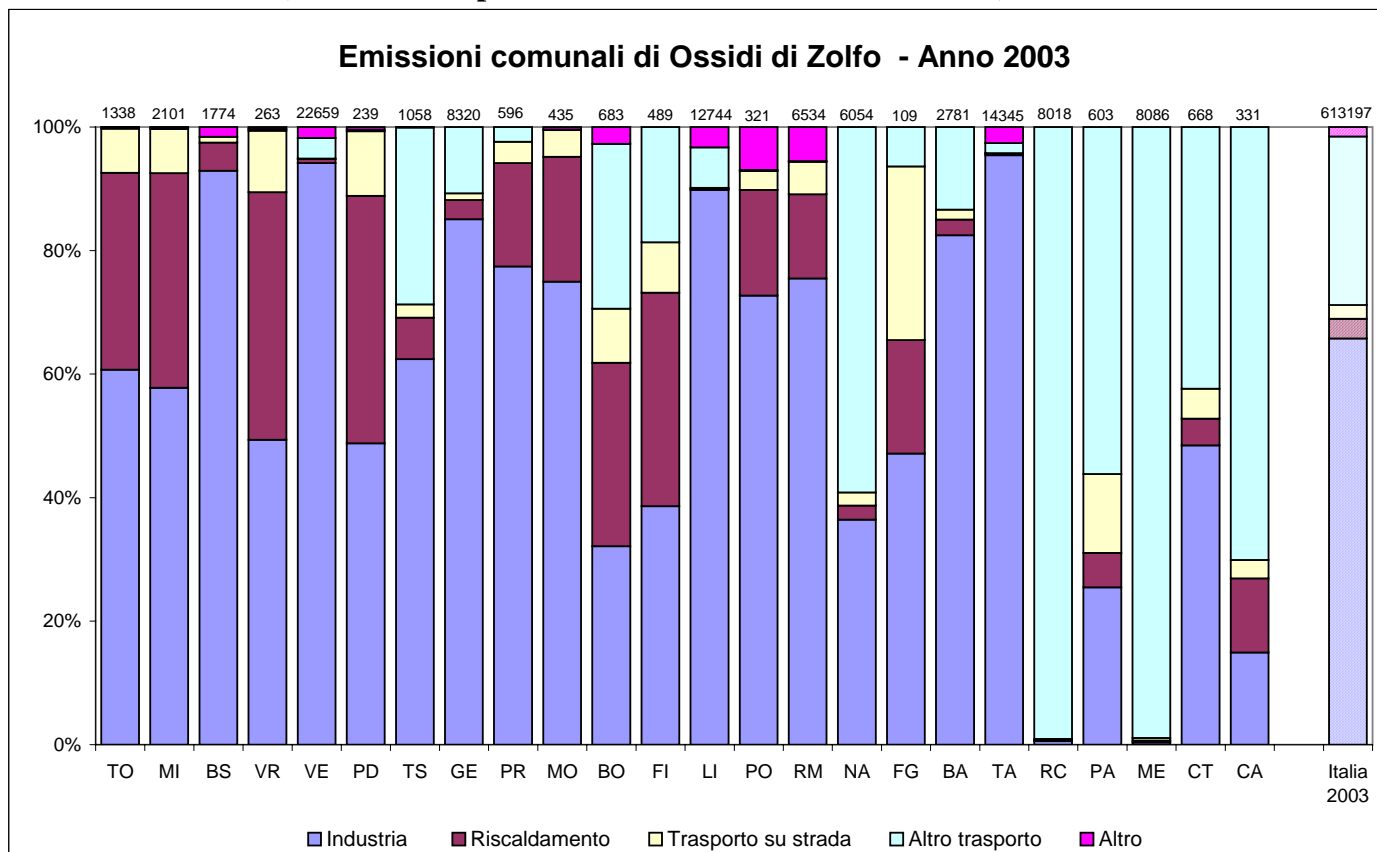


Figura 5: emissioni comunali di ossidi di zolfo - ripartizione settoriale
(in alto sono riportate le emissioni totali in tonnellate)

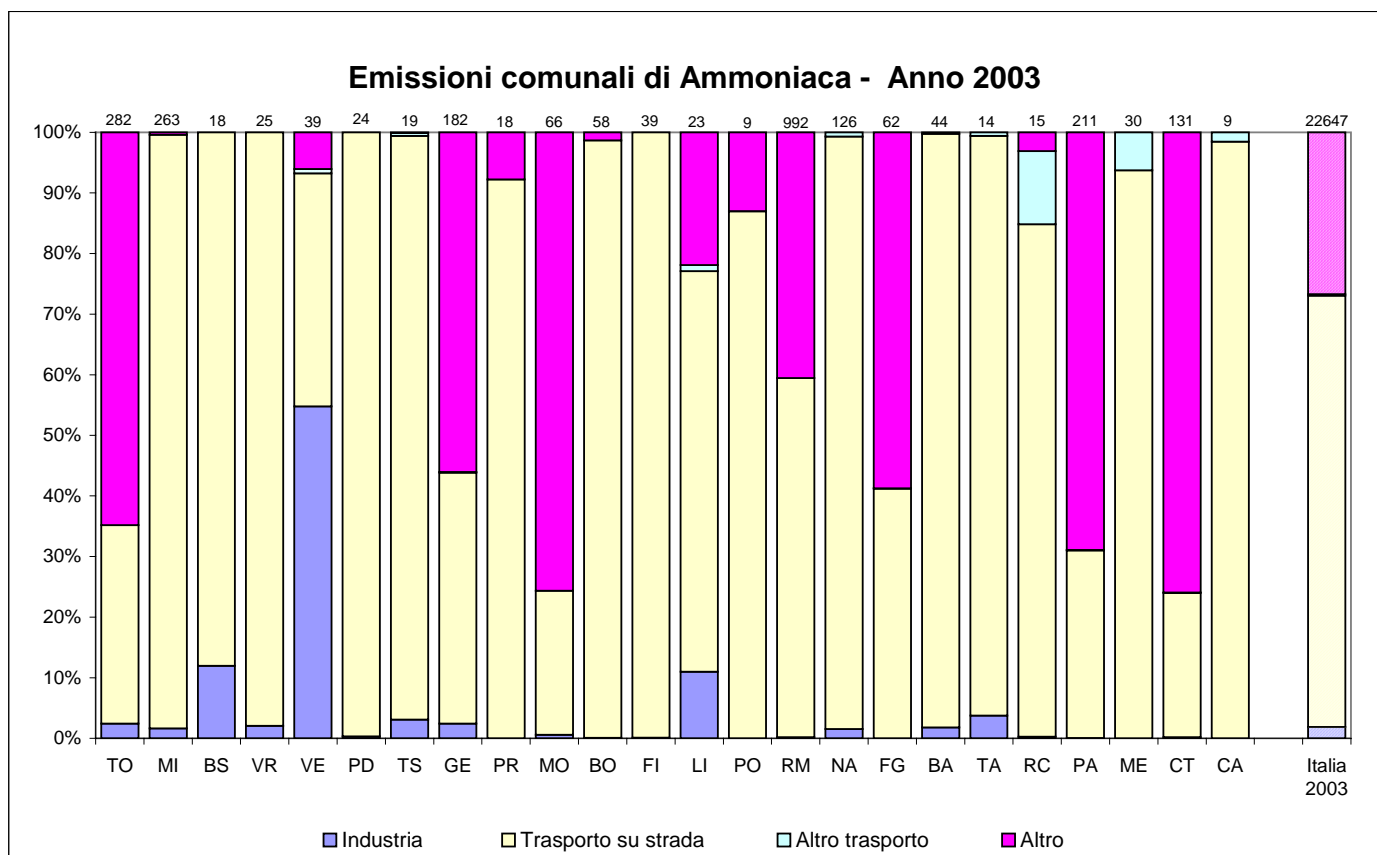


Figura 6: emissioni comunali di ammoniaca - ripartizione settoriale
 (in alto sono riportate le emissioni totali in tonnellate)

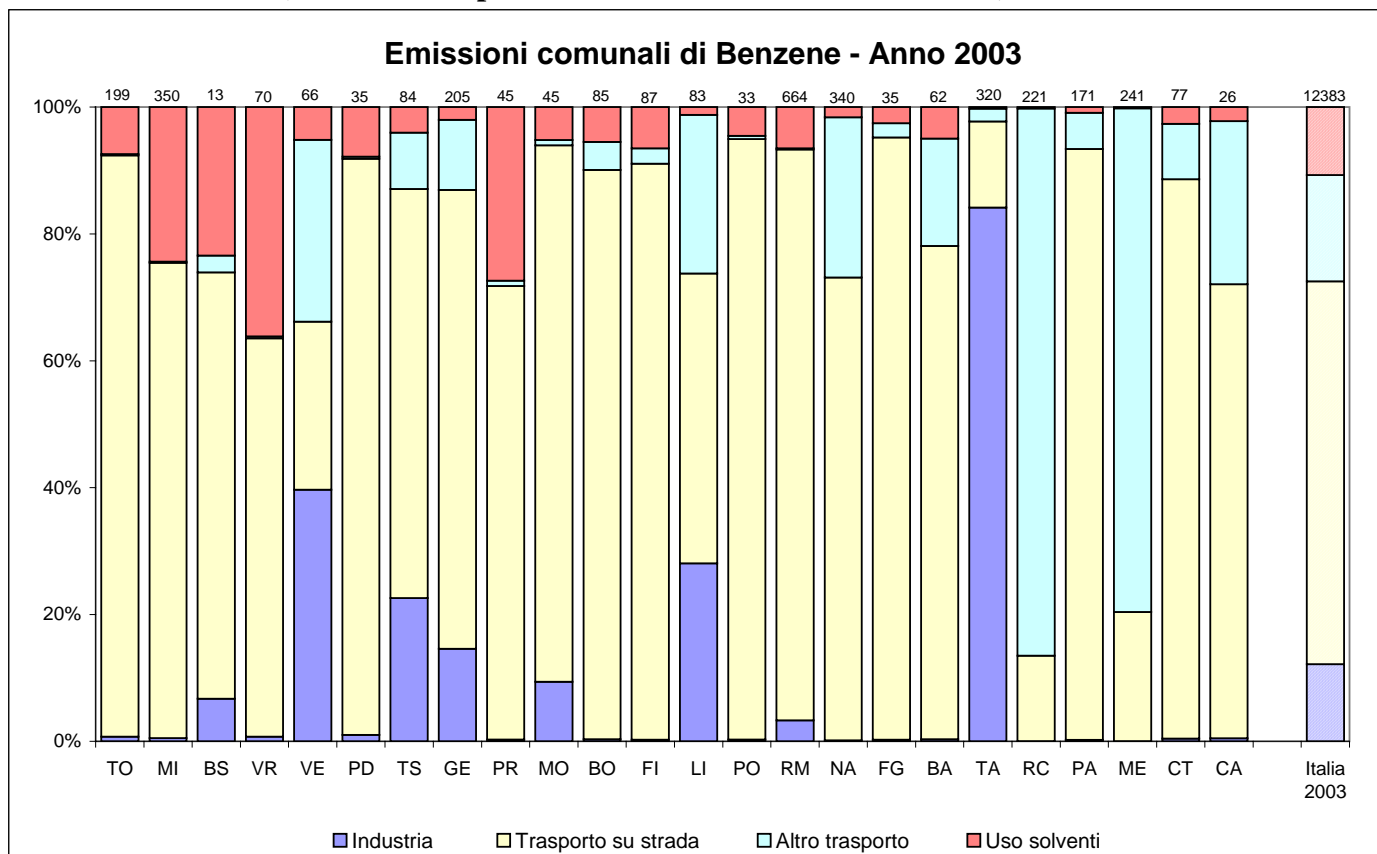


Figura 7: emissioni comunali di benzene - ripartizione settoriale
 (in alto sono riportate le emissioni totali in tonnellate)

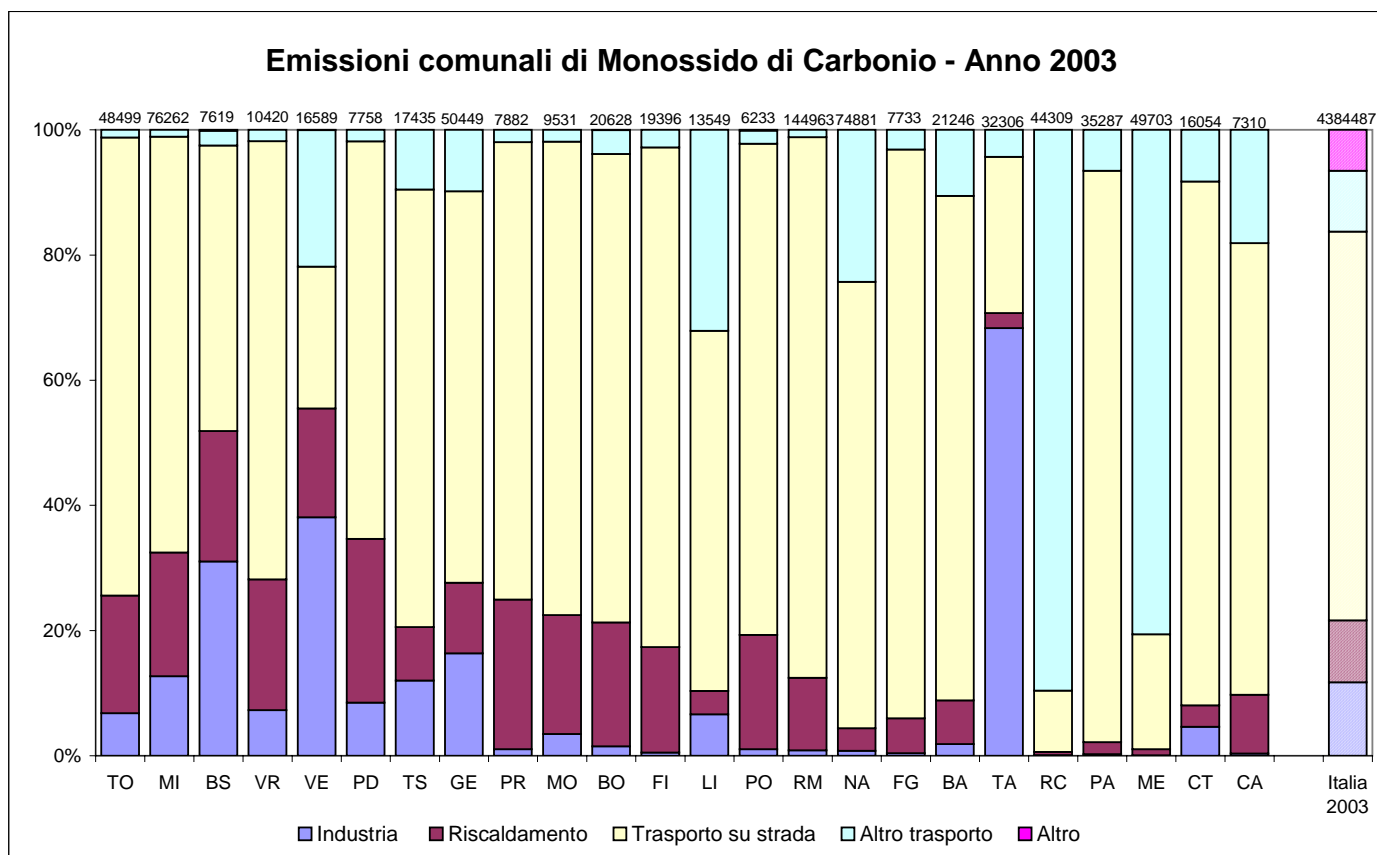


Figura 8: emissioni comunali di monossido di carbonio - ripartizione settoriale
(in alto sono riportate le emissioni totali in tonnellate)

La Figura 9 riporta il *trend* delle emissioni comunali di PM10 nelle 24 aree urbane oggetto di studio. Le emissioni decrescono quasi ovunque, i valori più elevati del 2003 sono a Roma, Taranto e Milano. Normalizzando le emissioni per la popolazione dei rispettivi anni, si ottiene il grafico riportato in Figura 10. Viene mantenuto un trend decrescente nella maggior parte delle aree urbane, ma assumono una maggiore importanza le emissioni relative alle città meno densamente popolate.

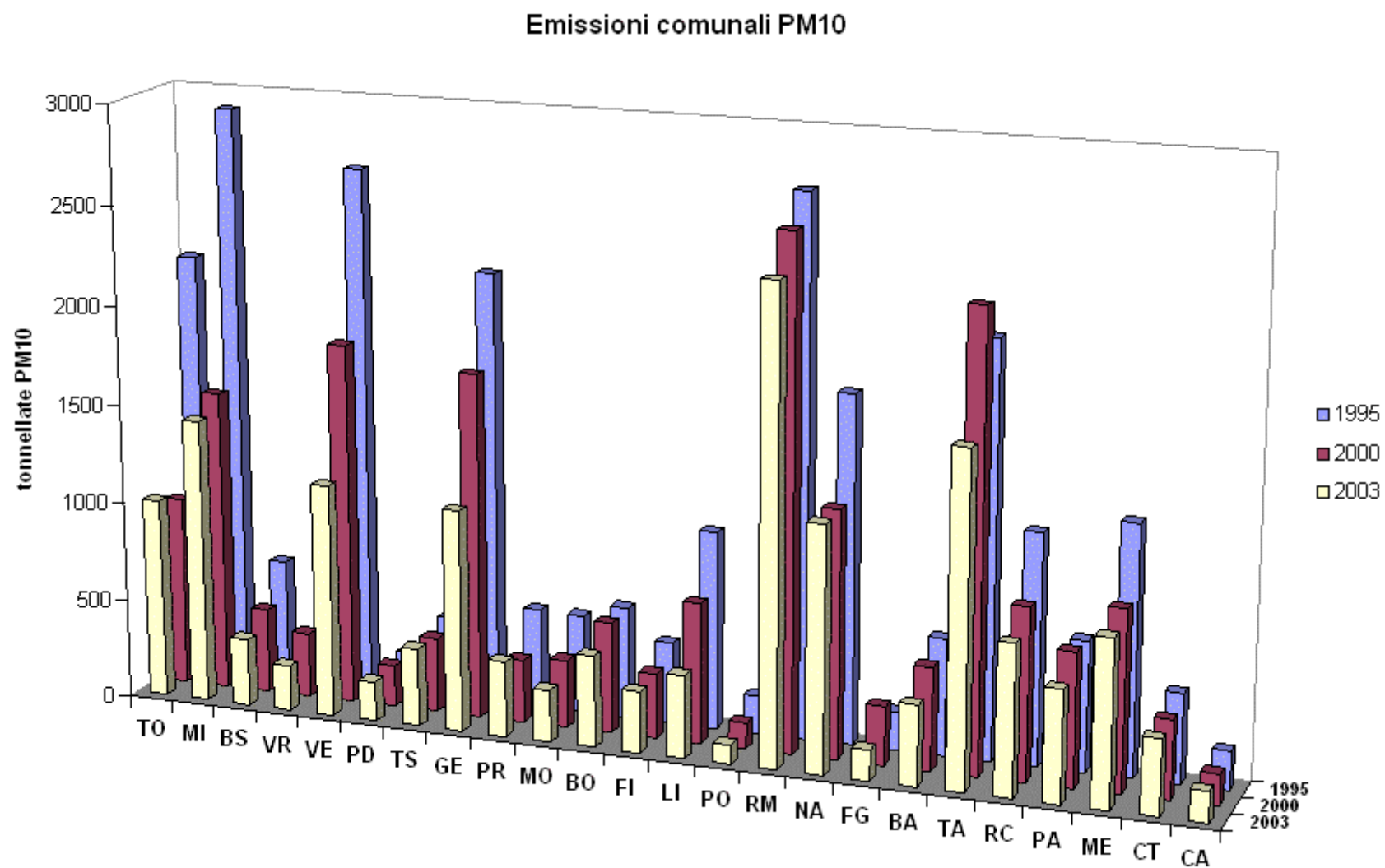


Figura 9: emissioni comunali di PM10 per gli anni 1995, 2000 e 2003

Emissioni comunali PM10 pro capite

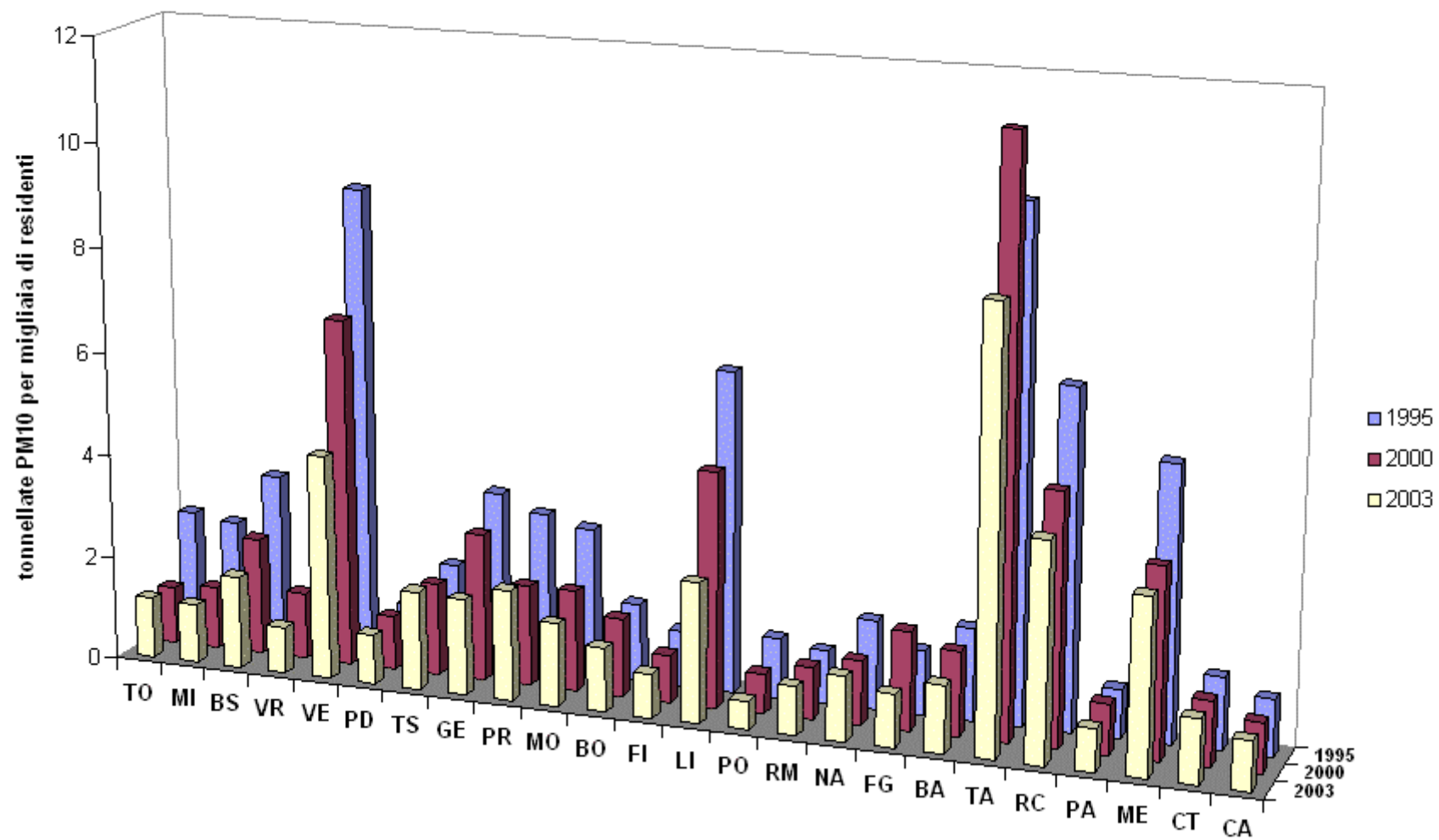


Figura 10: emissioni comunali di PM10 pro capite per gli anni 1995, 2000 e 2003

Analizzando per tutti gli inquinanti la distribuzione dei valori assoluti delle emissioni e dei valori pro capite emerge che la distribuzione dei valori assoluti presenta una maggiore variabilità in termini di dispersione attorno al proprio valore medio. Tale tendenza è confermata se si prende in considerazione un indice adimensionale di variabilità come il coefficiente di variazione (CV) ottenuto come rapporto tra deviazione standard e media. I risultati di tale analisi sono riportati in Tabella 7.

Tabella 7: Coefficienti di variazione delle emissioni

Anno	Inquinante	CV emissioni assolute	CV emissioni pro capite
1995	PM10	85,13	86,53
	NO _x	85,64	96,07
	COVNM	98,89	95,52
	SO _x	125,41	167,29
	NH ₃	173,32	82,58
	C ₆ H ₆	109,36	104,88
	CO	116,61	64,14
2000	PM10	84,33	97,84
	NO _x	83,78	93,79
	COVNM	97,45	80,66
	SO _x	136,08	175,24
	NH ₃	160,46	64,17
	C ₆ H ₆	109,53	109,16
	CO	113,08	63,54
2003	PM10	83,85	88,43
	NO _x	84,53	101,20
	COVNM	90,86	86,58
	SO _x	137,14	167,08
	NH ₃	181,73	67,22
	C ₆ H ₆	102,27	95,10
	CO	103,20	70,07

Come si può notare dalla tabella, i coefficienti di variazione relativi alle emissioni assolute sono generalmente superiori a quelli ottenuti normalizzando rispetto alla popolazione, tranne nel caso di SO_x e NO_x in modo marcato e del PM10 in maniera più contenuta. Ciò può essere imputato al fatto che le emissioni di tali inquinanti sono in gran parte dovute al settore industriale che non dipende dalla popolazione. Tale singolarità si ripete per tutti e tre gli anni.

4. CONCLUSIONI

Le emissioni comunali presentate in questo rapporto sono state ottenute applicando la metodologia di disaggregazione *top-down* alle stime delle emissioni nazionali. Tale procedimento, se da un lato introduce un elemento di incertezza nel processo di stima, dall'altro consente di applicare una metodologia uniforme su tutto il territorio nazionale. Si rendono così possibili i confronti fra le diverse entità territoriali e la costruzione di *trend* temporali. In particolare, per il settore trasporti su strada è stata applicata un'analisi statistica multivariata per il solo anno 2003 al fine di caratterizzare meglio le emissioni rispetto a variabili legate soprattutto alla composizione del parco veicolare. Ciò rende più preciso il confronto fra le città con riferimento al 2003, ma introduce un elemento di discontinuità nelle serie storiche che tuttavia non inficia il confronto temporale con gli anni precedenti effettuato a livello di macrosettore.

Nel presente lavoro è stato adottato un approccio che prevede un facile reperimento delle variabili *proxy*, trasparenza e tracciabilità dei dati, con l'obiettivo di mettere a punto una metodologia che permetta di realizzare la disaggregazione provinciale e comunale dell'inventario nazionale delle emissioni con cadenza annuale.

L'analisi dei dati mostra un *trend* decrescente per tutti gli inquinanti fatta eccezione per l'ammoniaca che presenta un andamento crescente, escludendo la componente agricoltura. I trasporti su strada e l'industria (inclusa la produzione di energia) sono i settori che contribuiscono in maggior misura per tutti gli inquinanti. Per le città portuali, in particolare Reggio Calabria e Messina, vi è un forte contributo dovuto al trasporto marittimo (incluso nel settore altro trasporto).

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Servizio Sviluppo sostenibile e cambiamenti climatici dell'APAT e in particolare Riccardo De Lauretis per aver fornito i dati dell'inventario nazionale delle emissioni e per le utili indicazioni date nel corso del lavoro.

Si ringrazia ARPA Lombardia e in particolare Elisabetta Angelino, Edoardo Peroni e Giuseppe Fossati per l'aiuto fornito nel reperimento di alcune *proxy* e per le elaborazioni cartografiche relative alle vie di navigazioni interne, la rete stradale, le rete di distribuzione SNAM e la rete ferroviaria.

Si ringrazia Pier Giorgio Catoni dell'ENEA per aver fornito i bilanci energetici regionali del 1995 e 2003.

RIFERIMENTI

R. De Lauretis, R. Liburdi, "*Emissioni in atmosfera nelle aree urbane*" in: "Qualità dell'ambiente urbano. I rapporto APAT", APAT/2004.

C. Pertot, G. Pirovano, G. M. Riva, "*Inventari delle emissioni in atmosfera nelle aree urbane*" in: "Qualità dell'ambiente urbano. II rapporto APAT", APAT/2005.

R. Liburdi, R. De Lauretis, C. Corrado, E. Di Cristofaro, B. Gonella, D. Romano, G. Napolitani, G. Fossati, E. Angelino, E. Peroni, "*La disaggregazione a livello provinciale dell'inventario nazionale delle emissioni*". APAT CTN-ACE, 2004.

S. Saija, R. De Lauretis, R. Liburdi, "*Sviluppo ed uso di metodologie per la stima delle emissioni atmosferiche da trasporto stradale in Italia su scala provinciale*", Rapporto 4/2001 ANPA.

S. Saija, D. Romano, "*Top-down methodology and multivariate statistical analysis to estimate road transport emissions at different territorial levels*", Rapporto 5/2001 ANPA.

R Development Core Team (2005). "*R: A language and environment for statistical computing*". R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>

ISTAT, "*VIII Censimento generale dell'industria e dei servizi, 22 Ottobre 2001*", <http://dwcis.istat.it/cis/index.htm>