

nonché la formazione di particolato organico che in aree metropolitane può essere una frazione significativa del particolato fine. I contributi maggiori alle emissioni nazionali provengono nell'ordine dai trasporti stradali e dall'evaporazione di solventi (fig. 4). Emerge chiaramente da quanto detto che per 3 delle 4 specie considerate il settore principalmente responsabile di inquinamento è quello dei trasporti.

Piombo ed ammoniaca

Dal 1988 al 1992 si nota una netta diminuzione dei valori di emissioni di piombo dovuta essenzialmente alla diminuzione del tenore di piombo nella benzina (fig. 5). Per quanto riguarda l'ammoniaca (fig. 6) si nota una diminuzione delle emissioni a partire dal 1988. Questa diminuzione è imputabile per la maggior parte al settore agricolo, che è di gran lunga il settore più rilevante, ed è dovuta alla diminuzione del numero di capi allevati e al minor uso di fertilizzanti.

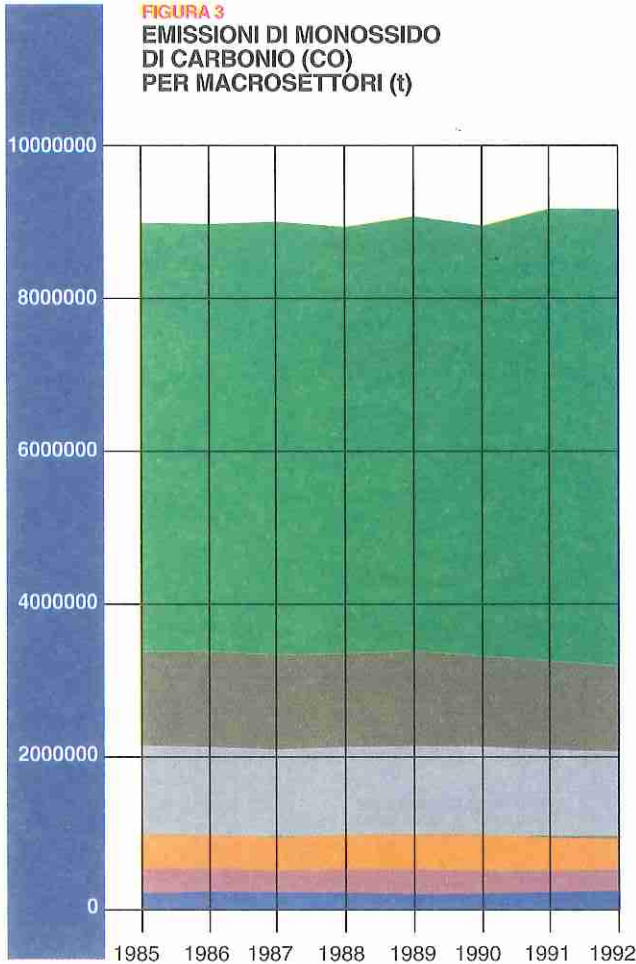
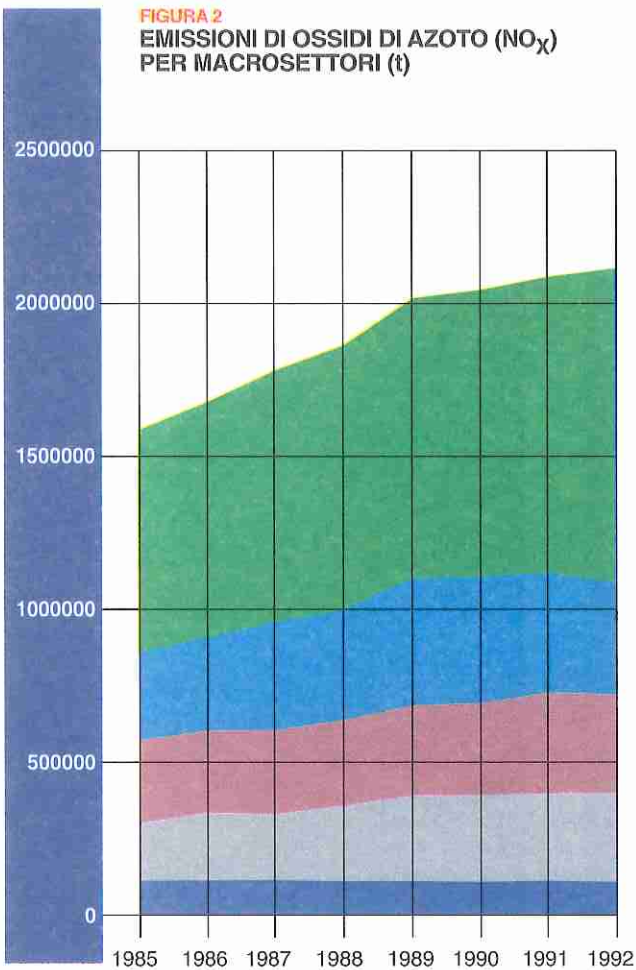
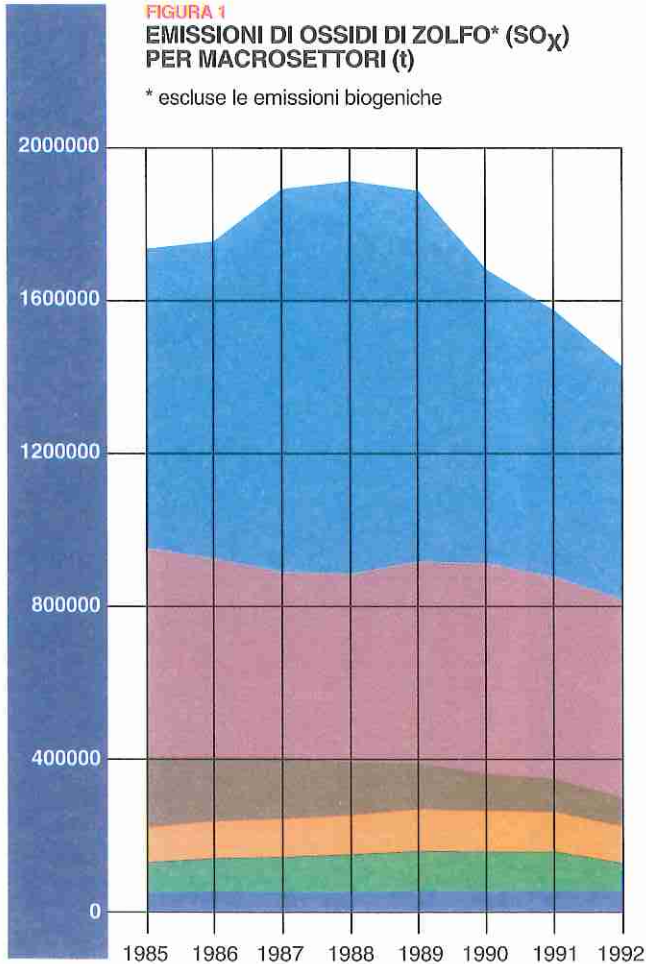


Figure 4, 5, 6, 7, 8 e 9



FONTE: ELABORAZIONE ENEA PER IL MINISTERO DELL'AMBIENTE, 1996

FIGURA 4
EMISSIONI DI COMPOSTI ORGANICI VOLATILI (COVNM) PER MACROSETTORI (t)

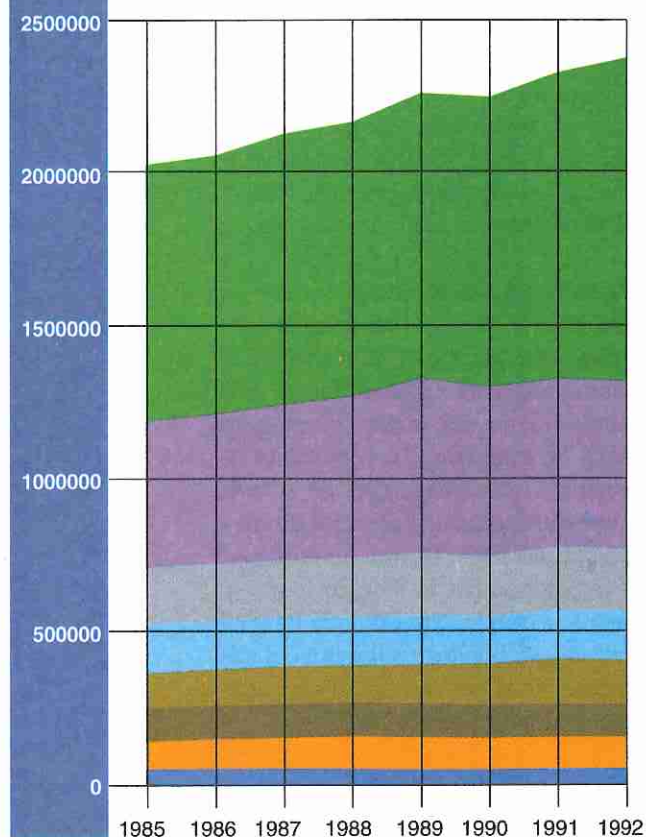


FIGURA 5
EMISSIONI DI PIOMBO (Pb) PER MACROSETTORI (kg)

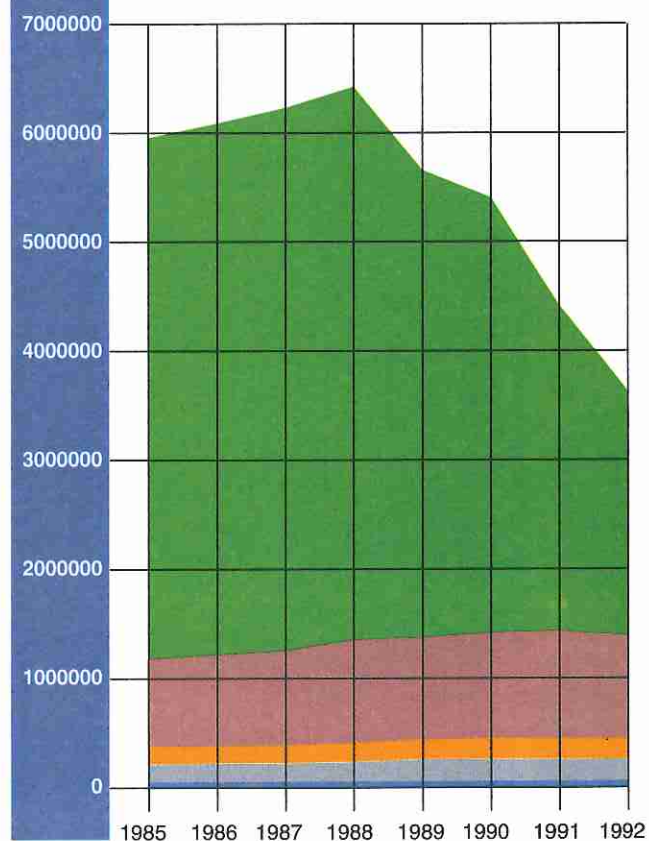


FIGURA 6
EMISSIONI DI AMMONIACA (NH_3)
PER MACROSETTORI (t)

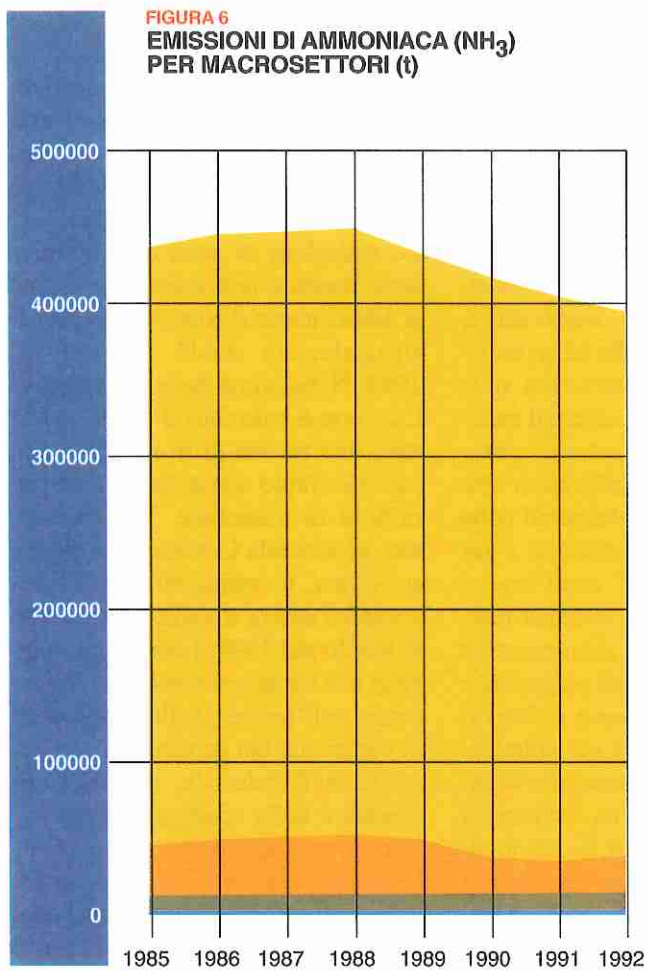


FIGURA 8
EMISSIONI DI METANO (CH_4)
PER MACROSETTORI (t)

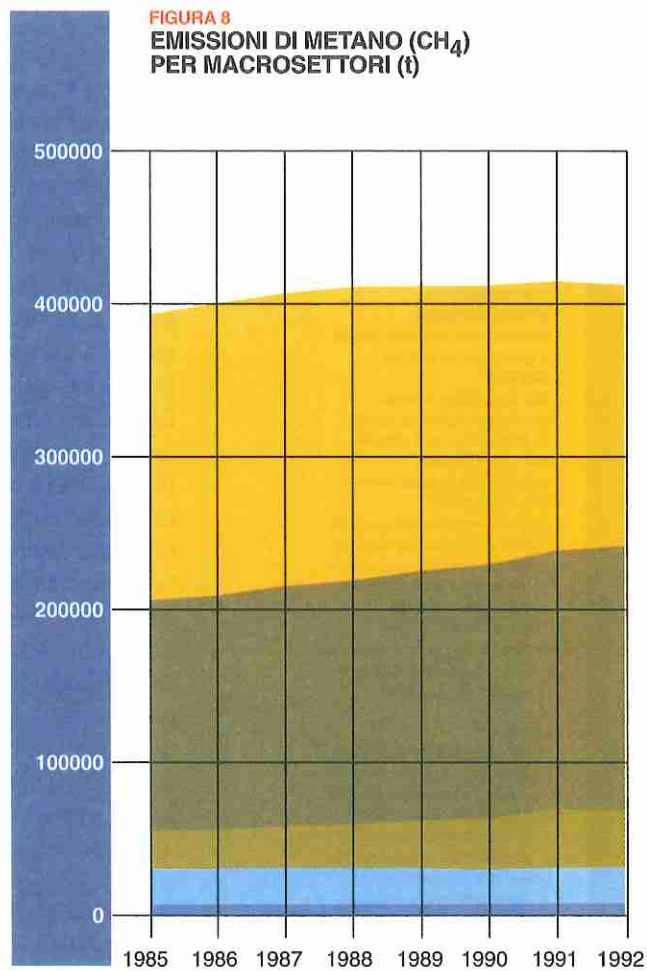


FIGURA 7
EMISSIONI DI ANIDRIDE CARBONICA (CO_2)
PER MACROSETTORI (migliaia di t)

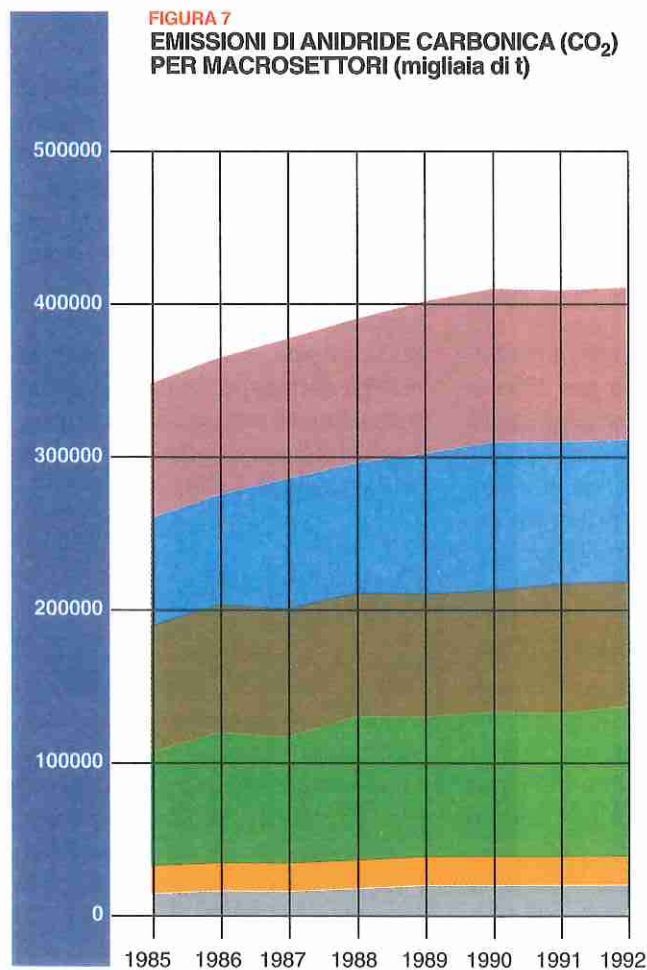


FIGURA 9
EMISSIONI DI PROTOSSIDO
DI AZOTO (N_2O)
PER MACROSETTORI (t)

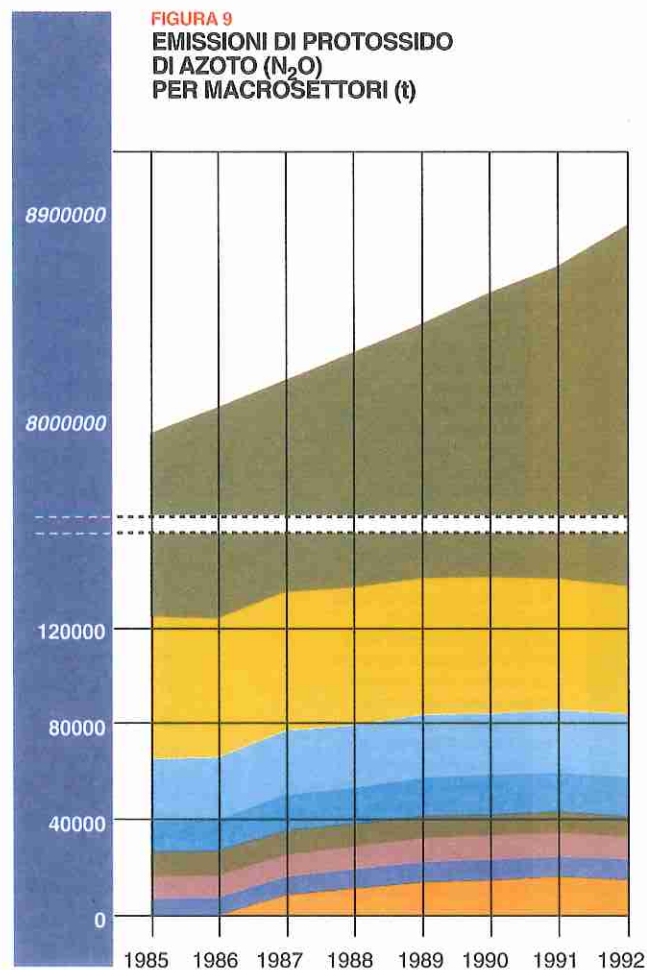


Tabella 1

LEGENDA

DPCM 28.3.1983: limiti massimi accettabili degli inquinanti atmosferici con riferimento alle concentrazioni ed all'esposizione.
 DPR 203/24.5.1988: limiti massimi ammissibili per le concentrazioni e l'esposizione con riferimento all'inquinamento atmosferico e i valori limite e guida per la qualità dell'aria.
 DM 15.4.1994: norme tecniche relative ai livelli di attenzione e di allarme per gli inquinanti atmosferici in aree urbane.
 DM 25.11.1994: aggiornamento delle norme tecniche in materia di limiti di concentrazione e di livelli di attenzione e di allarme per gli inquinanti atmosferici nelle aree urbane e disposizioni per la misura di alcuni inquinanti di cui al DM 15.4.1994.

NOTE:

[1] ai sensi del DPR 203/88 il limite di 250 µg/mc non può essere superato per più del 2% delle misure valide su base annua e si devono prendere tutte le misure atte ad evitare il superamento di questo valore per più di 3 giorni consecutivi.
 [2] i valori delle concentrazioni di particelle sospese totali misurate in modo non automatico con metodo gravimetrico, concorrono alla determinazione degli stati di attenzione e di allarme e ai conseguenti provvedimenti da adottare, compatibilmente con i tempi necessari per il completamento delle operazioni di prelievo e di misurazione; questi valori corrispondono ai valori fissati come standards di qualità nel DPCM 28.3.83;
 [3] da non raggiungere più di una volta al mese;
 [4] questi valori corrispondono rispettivamente alla soglia per l'informazione alla popolazione e alla soglia di allarme previste dalla direttiva 92/72/CEE sull'inquinamento dell'aria provocato dall'ozono;
 [5] in periodo del giorno da specificarsi secondo le zone a cura delle autorità regionali competenti; da adottarsi soltanto nelle zone e nei periodi dell'anno nei quali si siano verificati superamenti significativi dello standard dell'aria per l'ozono (200 µg/mc);
 [6] valore medio annuale di riferimento da raggiungere e rispettare dal 1 gennaio 1996 al 31 dicembre 1998;
 [7] valore medio annuale di riferimento da raggiungere e rispettare dal 1 gennaio 1999.

FONTE: ENEA, 1996

Gas serra

I gas che influenzano il bilancio radiativo dell'atmosfera sono chiamati gas serra e generalmente vengono suddivisi in due gruppi principali: quelli radiativamente attivi e quelli chimicamente attivi. In linea generale, si può dire che i gas "radiativamente attivi" sono quelli che modificano il clima attraverso il loro effetto diretto sull'equilibrio energetico della terra (esempi di gas radiativamente attivi sono l'anidride carbonica, l'ozono, il metano, il protossido di azoto ed i clorofluorocarburi responsabili, quest'ultimi, anche dell'assottigliamento della fascia di ozono stratosferico), i gas "chimicamente attivi" sono invece quelli che influenzano il clima indirettamente reagendo chimicamente con altri componenti dell'atmosfera e producendo gas che sono radiativamente attivi (esempi di gas chimicamente attivi sono il monossido di carbonio, gli ossidi di azoto, i composti organici volatili ed il biossido di zolfo). Bisogna inoltre considerare altre sostanze, e cioè il vapore acqueo e gli aerosol capaci anch'essi di influire sul bilancio radiativo dell'atmosfera. In realtà, il fatto che un gas appartenga ad un gruppo non lo esclude automaticamente dall'altro: ci sono specie, come il metano, che hanno caratteristiche tali da consentirne l'inserimento in entrambi i gruppi; generalmente la scelta del gruppo in cui vengono classificate dipende da quale aspetto viene considerato più rilevante.

Il cambiamento nella concentrazione atmosferica di un dato gas dipende dalle quantità totali emesse per anno e dalle quantità totali che vengono distrutte o assorbite per anno. Quindi, la concentrazione di un gas aumenterà solo se le fonti sono più consistenti della capacità di smaltimento. L'impatto dei diversi gas serra è anche determinato dalla durata media nell'atmosfera di ogni molecola di gas ("tempo di residenza"). Le specie che hanno tempi di residenza più lunghi sono senz'altro l'anidride carbonica ed i clorofluorocarburi (circa cento anni per la prima e circa sessantacinque anni per i secondi). Ultimamente hanno assunto particolare interesse, oltre ai gas sopra elen-

cati, alcune altre sostanze anch'esse capaci di influenzare il bilancio radiativo dell'atmosfera: gli idrofluorocarburi, i perfluorocarburi e l'esfluoruro di zolfo, derivanti da processi di refrigerazione i primi e da processi industriali gli altri due.

Le emissioni di anidride carbonica sono risultate in crescita (fig.7) fino al 1990 mentre si sono mantenute sostanzialmente stabili dal 1990 al 1992. Nelle stime delle emissioni di CO₂ non è calcolato il "sink" costituito dall'attività di riforestazione, il cui contributo ammonta a circa 40 milioni di tonnellate. Va ricordato che, in base alla Convenzione quadro sul clima, le emissioni di CO₂ dovrebbero essere stabilizzate nel 2000 al livello del 1990. I contributi maggiori alle emissioni nazionali provengono, nell'ordine: dalla produzione di elettricità, dai processi di combustione nell'industria, dai trasporti stradali e dalla combustione nel terziario e nell'agricoltura.

Per quanto concerne il metano si nota una situazione pressoché stazionaria dal 1988 in poi (fig. 8). I contributi maggiori alle emissioni nazionali provengono dallo smaltimento dei rifiuti e dal settore agricolo.

Nel caso del protossido di azoto (fig. 9) si nota dopo il 1986 un aumento delle emissioni totali dovuto al fatto che i processi produttivi, che prima davano un contributo sostanzialmente nullo, iniziano dal 1986 ad emettere protossido di azoto per l'entrata in funzione di impianti di produzione di acido adipico. Per contro le emissioni negli altri settori si mantengono sostanzialmente stazionarie. I contributi principali provengono, nell'ordine, dall'agricoltura e dalla natura.

LA QUALITÀ DELL'ARIA IN ITALIA

I dati di qualità dell'aria misurati dalle reti di rilevamento dell'inquinamento atmosferico in alcune aree urbane e industriali sono presentati nelle figure 10 - 26. Le reti rappresentate sono state scelte in funzione dell'importanza dei siti, ma anche della quantità e qualità dei dati raccolti. Si sono individuate tre tipologie di reti:

reti urbane (es. "Torino città"); reti industriali (es. "Venezia zona industriale"); reti provinciali (in questo caso non viene aggiunto alcun attributo al nome della provincia, es. "Trento"). Infine, nel caso di Milano, si è distinto esplicitamente tra rete di "Milano città" e rete del restante territorio provinciale ("Milano provincia"). Ancora una volta si è constatata una grossa disomogeneità nella fornitura di dati. In particolare il Centro-Nord è in grado di fornire le informazioni richieste con maggior ric-

chezza che non il Sud e le Isole. È possibile confrontare in questa sede le informazioni raccolte con i principali standard contemplati dalla normativa vigente per i diversi inquinanti (tab.1). Analogamente a quanto fatto nella precedente Relazione sullo stato dell'ambiente, le informazioni vengono presentate in un formato grafico che rappresenta per ogni sito, per ogni inquinante e per ogni indice statistico valutato su un insieme di misure rilevate nell'arco di un anno (media, percentile, ecc.), l'intervallo dei va-

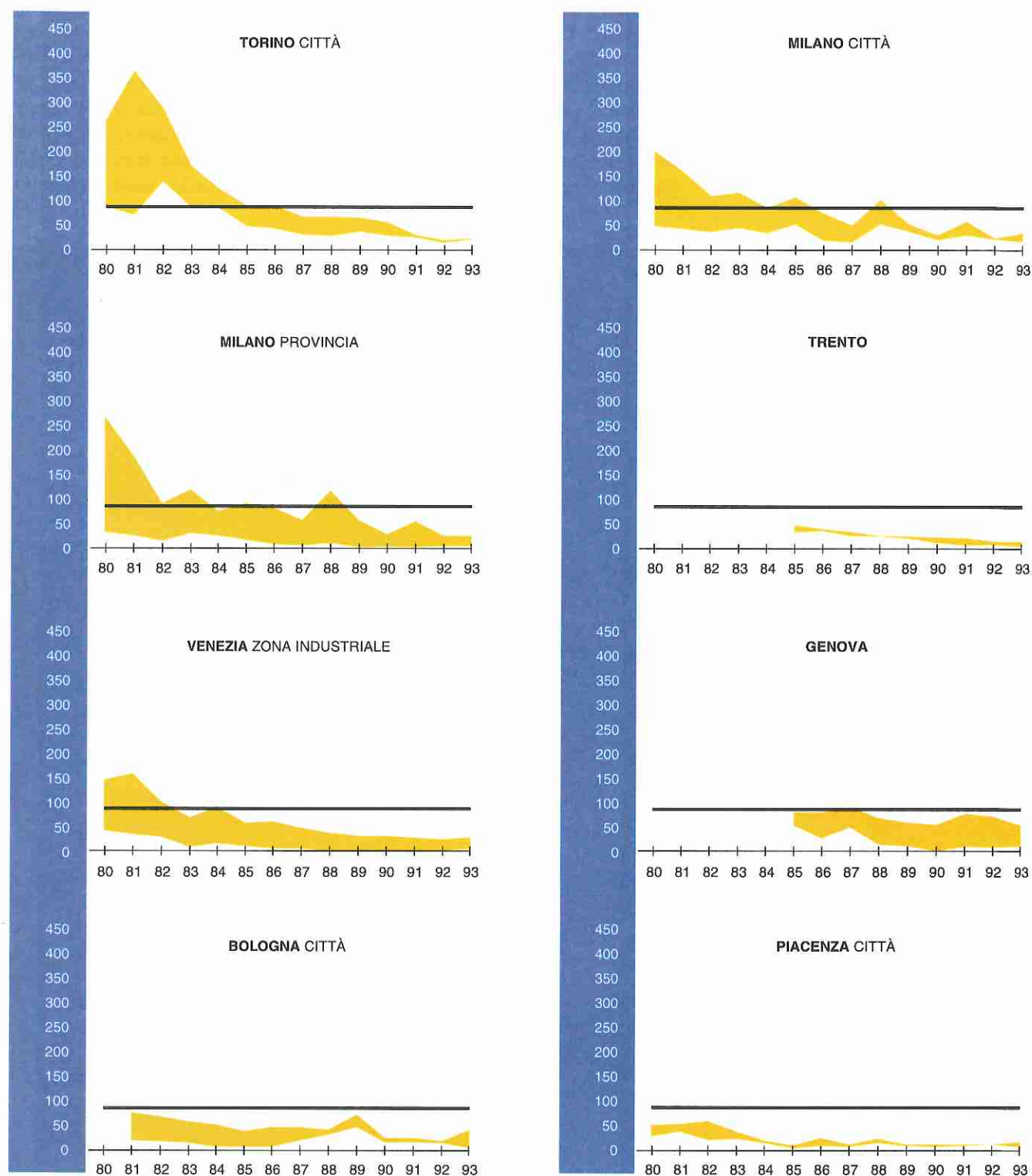
lori dell'indice di qualità dell'aria elaborato su tutte le stazioni della rete: in altre parole per ogni anno sono facilmente rilevabili i valori minimo e massimo dell'indice, da confrontarsi con lo standard di legge (rappresentato dalla linea orizzontale in grassetto), rilevati su tutte le stazioni della rete. Per il monossido di carbonio viene rappresentato l'intervallo del numero di volte (per l'ozono, l'intervallo del numero di giorni) nell'arco di un anno in cui avviene il superamento dello standard; è quin-

TABELLA 1 LIMITI ALLE CONCENTRAZIONI DI INQUINANTI DELL'ARIA PREVISTI DALLA NORMATIVA NAZIONALE				
INQUINANTE	PERIODO DI RIFERIMENTO	LIMITE (µg/mc)	TEMPO DI MEDIAZIONE DEI DATI	COMMENTI
BIOSSIDO DI ZOLFO	anno (1 aprile - 31 marzo)	80 (mediana) 250 (98° percentile)	giorno	Valori limite DPR 203/24.5.1988
	semestre freddo (1 ottobre-31 marzo)	130 (mediana)	giorno	Valori limite DPR 203/24.5.1988
	anno (1 aprile - 31 marzo)	40 - 60 (media aritmetica)	giorno	Valore guida DPR 203/24.5.1988
	giorno (1 ottobre-31 marzo)	100 - 150	giorno	Valore guida DPR 203/24.5.1988
	giorno	125 (attenzione) 250 (allarme) [1]	giorno	DM 25.11.1994
PARTICOLATO (gravimetrico)	anno	150 (media aritmetica) 300 (95° percentile)	giorno	Valori limite DPR 203/24.5.1988
	giorno	150 (attenzione) [2] 300 (allarme) [2]	giorno	DM 25.11.1994
PARTICOLATO (fumi neri)	anno (1 aprile - 31 marzo)	40 - 60 (media aritmetica)	giorno	Valore guida DPR 203/24.5.1988
	giorno	100 - 150 (media aritmetica)	giorno	Valore guida DPR 203/24.5.1988
BIOSSIDO DI AZOTO	anno (1 gennaio-31 dicembre)	200 (98° percentile)	ora	Valori limite DPR 203/24.5.1988
	anno (1 gennaio-31 dicembre)	50 (mediana)	ora	Valore guida DPR 203/24.5.1988
	anno (1 gennaio-31 dicembre)	135 (98° percentile)	ora	Valore guida DPR 203/24.5.1988
	ora	200 (attenzione) 400 (allarme)	ora	DM 25.11.1994
OZONO	ora	200 [3]	ora	Valori limite DPCM 28.5.1983
	ora	180 (attenzione) [4] 360 (allarme) [4]	ora	DM 25.11.1994
IDROCARBURI NON METANICI	3 ore	200 (media aritmetica) [5]	ora	Valori limite DPCM 28.5.1983
MONOSSIDO DI CARBONIO	ora	40.000	ora	Valori limite DPCM 28.5.1983
	8 ore	10.000 (media aritmetica)	ora	Valori limite DPCM 28.5.1983
	ora	15.000 (attenzione) 30.000 (allarme)	ora	DM 25.11.1994
FLUORO	giorno	20	giorno	Valori limite DPCM 28.5.1983
	mese	10 (media aritmetica)	giorno	Valori limite DPCM 28.5.1983
PIOMBO	anno	2 (media aritmetica)	giorno	Valori limite DPCM 28.5.1983
PM10	anno	60 (media mobile) [6]	giorno	Obiettivo qualità DM 25.11.1994
		40 (media mobile) [7]		
BENZENE	anno	15 (media mobile) [6]	giorno su base oraria	Obiettivo qualità DM 25.11.1994
		10 (media mobile) [7]		
IPA con riferimento al BENZO(A)PIRENE	anno	0,0025 (media mobile) [6] 0,0010 (media mobile) [7]	giorno	Obiettivo qualità DM 25.11.1994

FIGURA 10

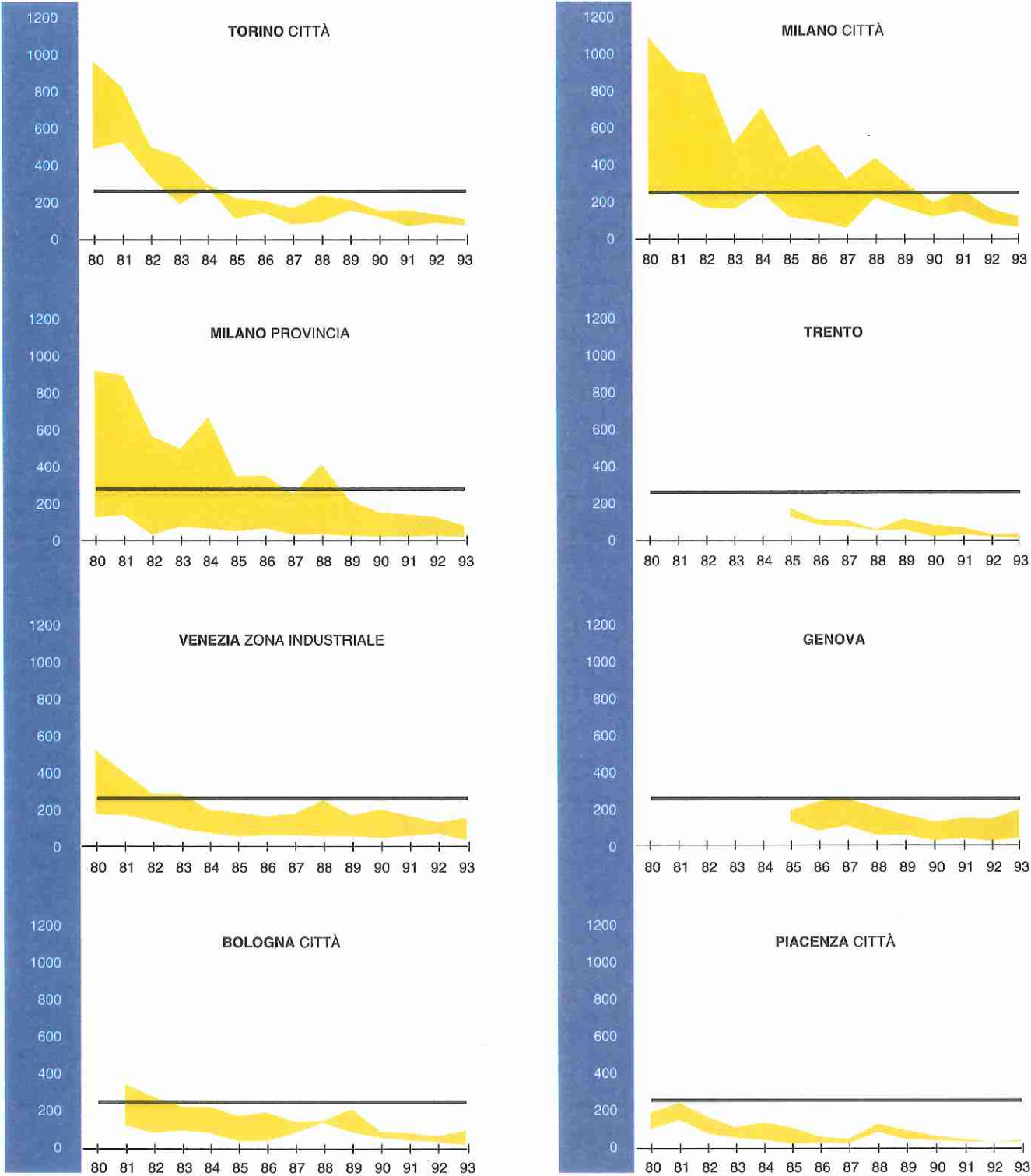
CONCENTRAZIONI DI BISSIDO DI ZOLFO ($\mu\text{g}/\text{mc}$)

MEDIANA DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE (limite DPR 203/88: $80 \mu\text{g}/\text{mc}$)



NOTA BENE: OGNI GRAFICO RAPPRESENTA L'INVILUPPO DEI VALORI DEGLI INDICI DI QUALITÀ DELL'ARIA PER TUTTE LE STAZIONI DI RILEVAMENTO DELLA RETE

FIGURA 11
CONCENTRAZIONI DI BIOSSIDO DI ZOLFO ($\mu\text{g}/\text{mc}$)
98° PERCENTILE DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE (limite DPR 203/88: 250 $\mu\text{g}/\text{mc}$)

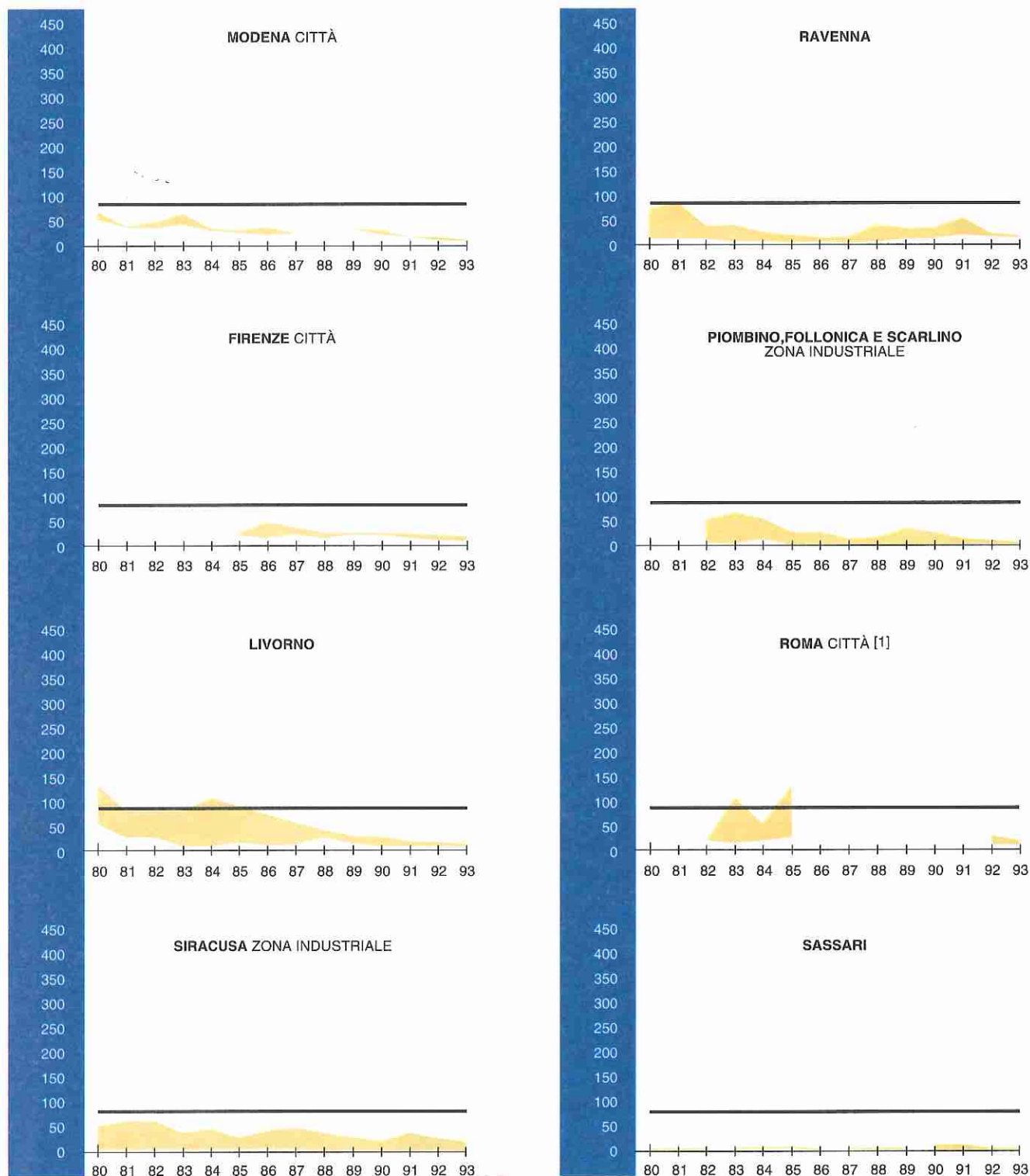


NOTA BENE: OGNI GRAFICO RAPPRESENTA L'INVILUPPO DEI VALORI DEGLI INDICI DI QUALITÀ DELL'ARIA PER TUTTE LE STAZIONI DI RILEVAMENTO DELLA RETE
FONTE: ELABORAZIONE ENEA PER IL MINISTERO DELL'AMBIENTE, 1996

FIGURA 12

CONCENTRAZIONI DI BISSIDO DI ZOLFO ($\mu\text{g}/\text{mc}$)

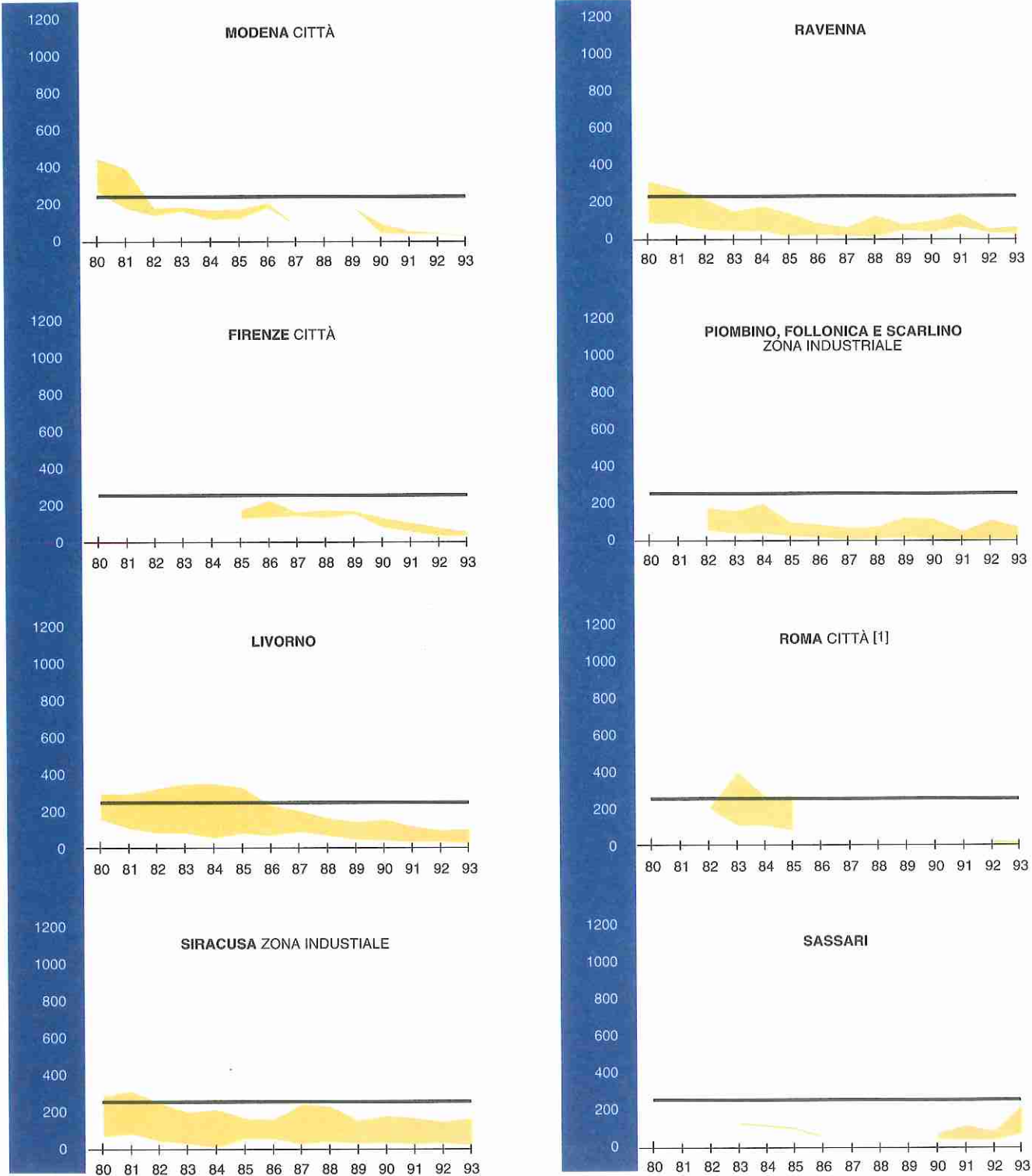
MEDIANA DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE (limite DPR 203/88: $80 \mu\text{g}/\text{mc}$)



NOTA BENE: OGNI GRAFICO RAPPRESENTA L'INVILUPPO DEI VALORI DEGLI INDICI DI QUALITÀ DELL'ARIA PER TUTTE LE STAZIONI DI RILEVAMENTO DELLA RETE

NOTA: [1] I dati relativi agli anni 80-85 e 92-93 sono stati rilevati da due diverse reti di rilevamento.

FIGURA 13
CONCENTRAZIONI DI BISSIDO DI ZOLFO ($\mu\text{g}/\text{mc}$)
 98° PERCENTILE DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE (limite DPR 203/88: 250 $\mu\text{g}/\text{mc}$)



NOTA BENE: OGNI GRAFICO RAPPRESENTA L'INVILUPPO DEI VALORI DEGLI INDICI DI QUALITÀ DELL'ARIA PER TUTTE LE STAZIONI DI RILEVAMENTO DELLA RETE

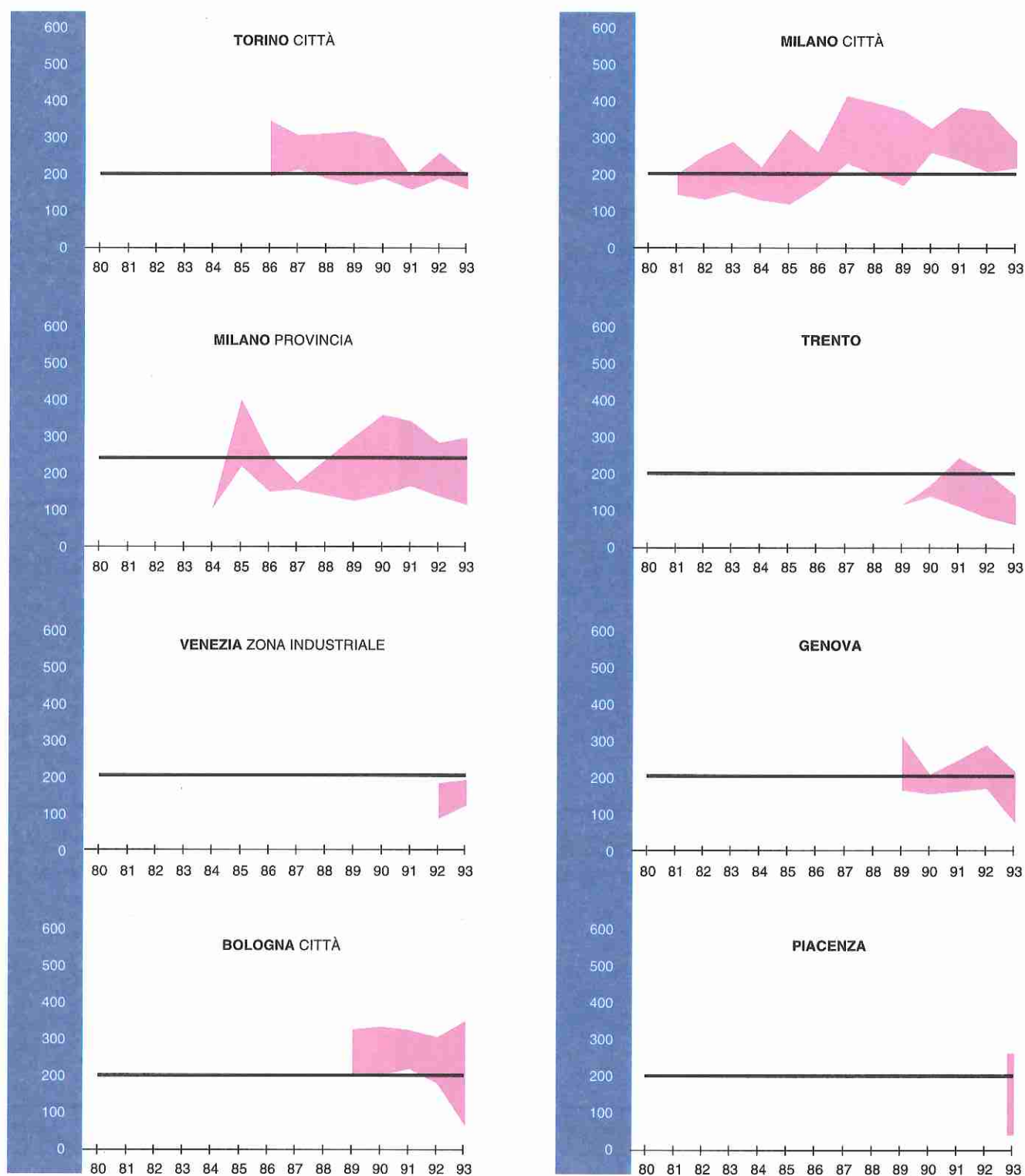
NOTA: [1] I dati relativi agli anni 80-85 e 92-93 sono stati rilevati da due diverse reti di rilevamento.

FONTE: ELABORAZIONE ENEA PER IL MINISTERO DELL'AMBIENTE, 1996

FIGURA 14

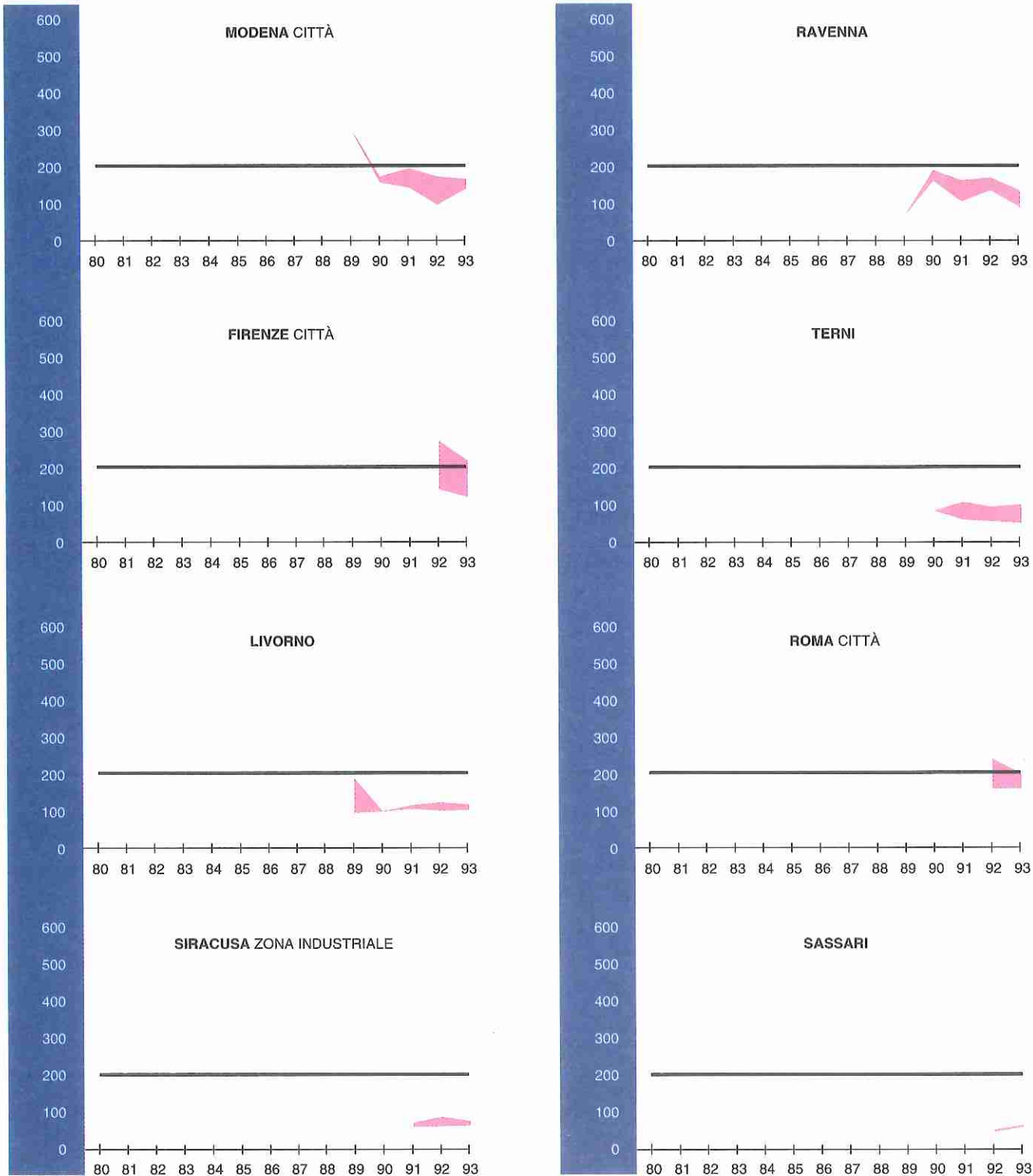
CONCENTRAZIONI DI BIOSSIDO DI AZOTO ($\mu\text{g}/\text{mc}$)

98° PERCENTILE DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE (limite DPR 203/88: 200 $\mu\text{g}/\text{mc}$)



NOTA BENE: OGNI GRAFICO RAPPRESENTA L'INVILUPPO DEI VALORI DEGLI INDICI DI QUALITÀ DELL'ARIA PER TUTTE LE STAZIONI DI RILEVAMENTO DELLA RETE

FIGURA 15
CONCENTRAZIONI DI BIOSSIDO DI AZOTO ($\mu\text{g}/\text{mc}$)
98° PERCENTILE DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE (limite DPR 203/88: 200 $\mu\text{g}/\text{mc}$)

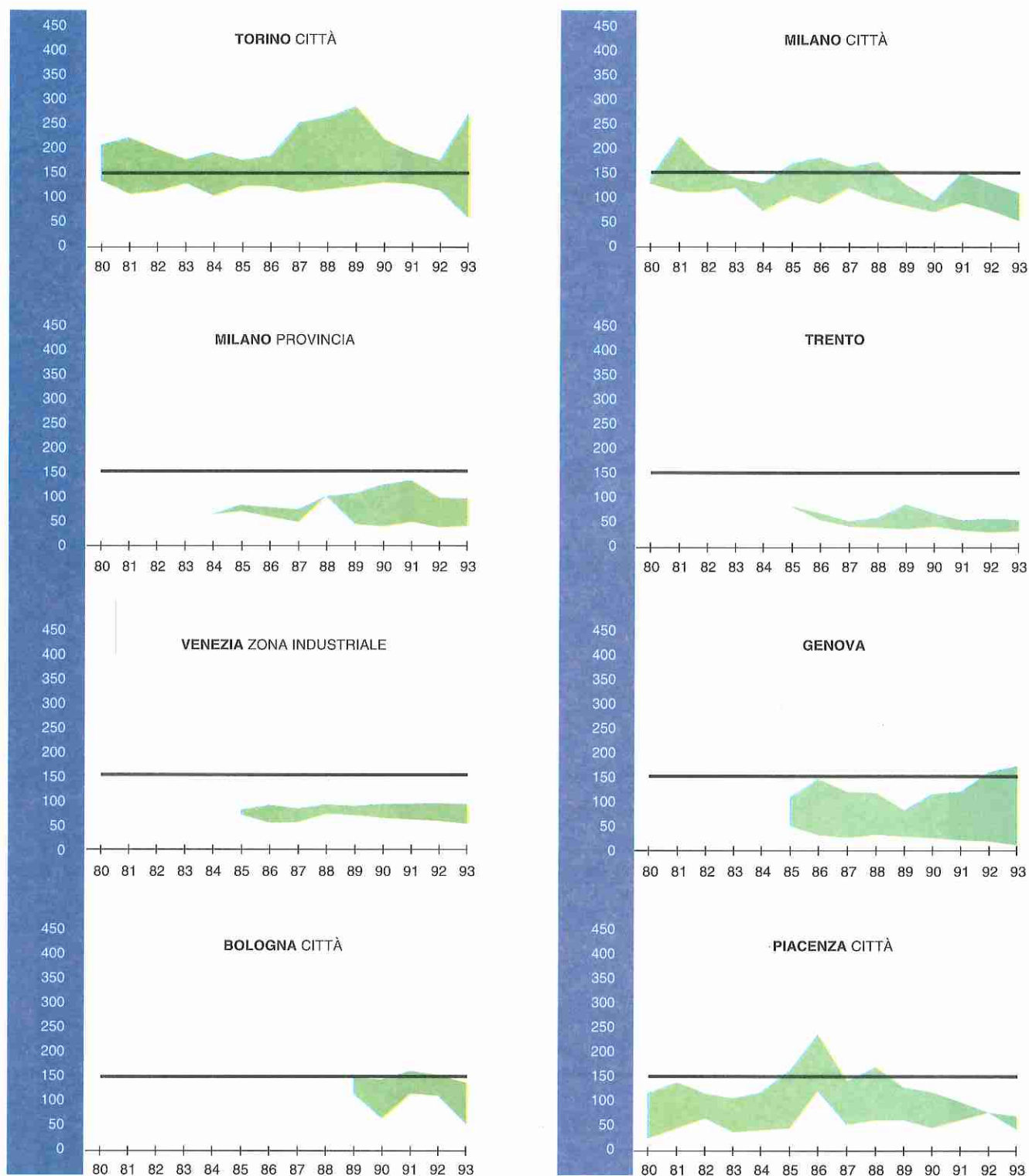


NOTA BENE: OGNI GRAFICO RAPPRESENTA L'INVILUPPO DEI VALORI DEGLI INDICI DI QUALITÀ DELL'ARIA PER TUTTE LE STAZIONI DI RILEVAMENTO DELLA RETE
FONTE: ELABORAZIONE ENEA PER IL MINISTERO DELL'AMBIENTE, 1996

FIGURA 16

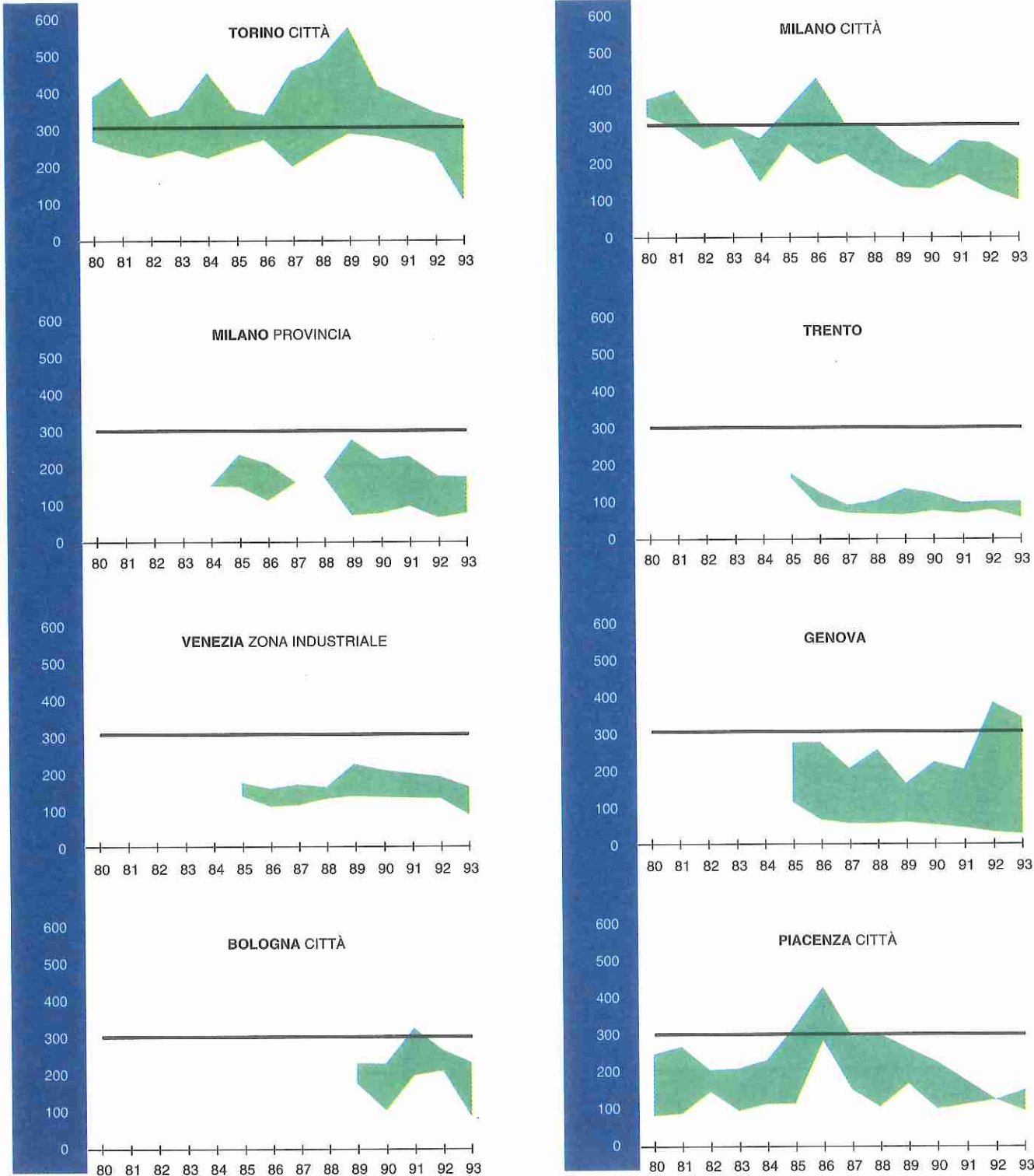
CONCENTRAZIONI DI PARTICELLE SOSPENSE ($\mu\text{g}/\text{mc}$)

MEDIA ANNUA DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE (limite DPCM 28/3/88: $150 \mu\text{g}/\text{mc}$)



NOTA BENE: OGNI GRAFICO RAPPRESENTA L'INVILUPPO DEI VALORI DEGLI INDICI DI QUALITÀ DELL'ARIA PER TUTTE LE STAZIONI DI RILEVAMENTO DELLA RETE

FIGURA 17
CONCENTRAZIONI DI PARTICELLE SOSPENSE ($\mu\text{g}/\text{mc}$)
 95° PERCENTILE ANNUO DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE (limite DPCM 28/3/83: 300 $\mu\text{g}/\text{mc}$)

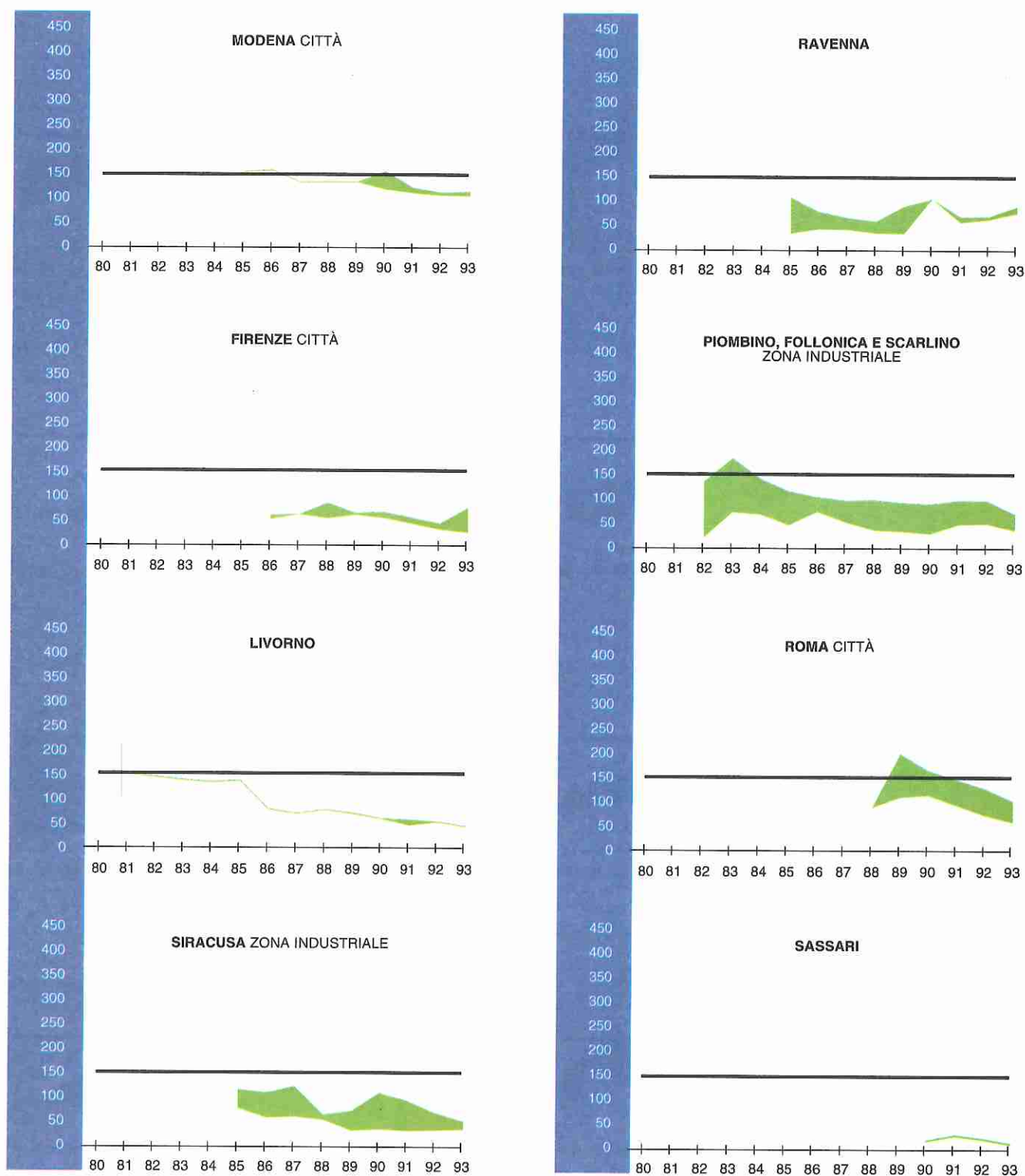


NOTA BENE: OGNI GRAFICO RAPPRESENTA L'INVILUPPO DEI VALORI DEGLI INDICI DI QUALITÀ DELL'ARIA PER TUTTE LE STAZIONI DI RILEVAMENTO DELLA RETE
 FONTE: ELABORAZIONE ENEA PER IL MINISTERO DELL'AMBIENTE, 1996

FIGURA 18

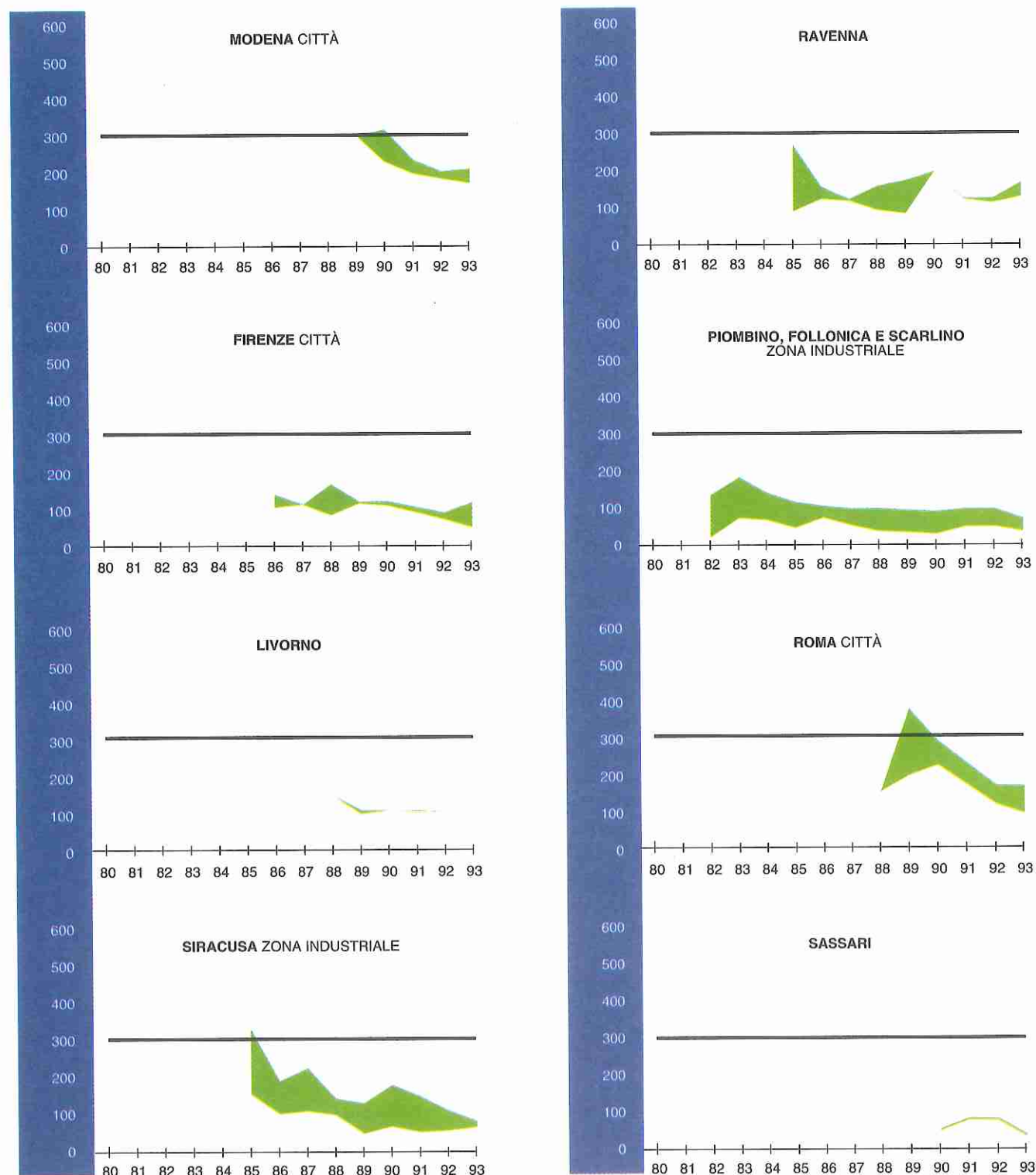
CONCENTRAZIONI DI PARTICELLE SOSPENSE ($\mu\text{g}/\text{mc}$)

MEDIA ANNUA DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE (limite DPCM 28/3/83: $150 \mu\text{g}/\text{mc}$)



NOTA BENE: OGNI GRAFICO RAPPRESENTA L'INVILUPPO DEI VALORI DEGLI INDICI DI QUALITÀ DELL'ARIA PER TUTTE LE STAZIONI DI RILEVAMENTO DELLA RETE

FIGURA 19
CONCENTRAZIONI DI PARTICELLE SOSPENSE ($\mu\text{g}/\text{mc}$)
 95° PERCENTILE ANNUO DELLE CONCENTRAZIONI MEDIE GIORNALIERE (limite DPCM 28/3/83: 300 $\mu\text{g}/\text{mc}$)



NOTA BENE: OGNI GRAFICO RAPPRESENTA L'INVILUPPO DEI VALORI DEGLI INDICI DI QUALITÀ DELL'ARIA PER TUTTE LE STAZIONI DI RILEVAMENTO DELLA RETE

FONTE: ELABORAZIONE ENEA PER IL MINISTERO DELL'AMBIENTE, 1996

EFFETTI DELL'INQUINAMENTO ATMOSFERICO SULLE OPERE D'ARTE E SUI MATERIALI

Le deposizioni acide, per trasporto atmosferico, piogge ecc., costituiscono il meccanismo principale di rimozione degli inquinanti dall'atmosfera con conseguente accumulo delle stesse sostanze sulle superfici; il fenomeno, inizialmente affrontato per i suoi effetti negativi osservati sulle foreste e sui sistemi acquatici del centro-nord Europa e dell'America settentrionale, costituisce causa di danno non soltanto per gli ecosistemi ma anche, e in misura rilevante, per i materiali costituenti i manufatti e in particolar modo i monumenti. Poiché il fenomeno è essenzialmente determinato dalla trasformazione in solfati e nitrati degli ossidi di zolfo e di azoto precedentemente immessi nell'atmosfera in seguito ad attività in parte naturali, ma soprattutto antropiche, quali i processi di combustione e il traffico veicolare, e dato che la concentrazione di monumenti all'aperto è massima nelle città, è all'interno delle aree urbane che i conseguenti problemi di degrado del patrimonio artistico sono avvertiti in forma acuta (un'eccezione a quanto appena accennato è costituita dai monumenti situati in prossimità di ambienti costieri ma in questo caso le cause del degrado sono da ricercarsi nella elevata concentrazione di cloruri dell'atmosfera circostante). Per descrivere il degrado dei monumenti causato dalle deposizioni acide è importante distinguere tra deposizioni umide, determinate dalle precipitazioni, e deposizioni secche. Poiché le particelle depositate sui monumenti e i gas adsorbiti sono chimicamente inattivi finché la superficie rimane asciutta, potrebbe sembrare che la causa del deterioramento dei materiali debba essere ricercata soltanto nella acidità delle precipitazioni incidenti sul monumento stesso; una conclusione di questo tipo è valida per quelle zone caratterizzate da una forte piovosità lungo l'intero arco dell'anno ma non è applicabile ad esempio per le aree pianeggianti del nord Italia caratterizzate invece da un inverno poco piovoso: in questo caso il deposito secco determina un forte accumulo di sostanze acide destinate a divenire chimicamente attive in occasione del primo evento piovoso. A questo punto diviene determinante il regime della precipitazione: nel caso di pioviggine il deposito secco viene bagnato senza essere rimosso dalla superficie del monumento per cui il carico acido della pioggia incidente si somma a quello preesistente, nel caso di pioggia battente invece il monumento viene rapidamente dilavato dal deposito secco presente per cui l'acidità della pioggia svolge un ruolo determinante. Complessivamente emerge comunque da numerosi studi che nelle aree urbane il degrado dei monumenti è riconducibile in maniera preponderante alle sostanze depositate per via secca. Le modalità di bagnamento delle superfici determinano anche, nel caso di pietre poco porose quali il marmo e gran parte dei calcari, effetti locali di degrado differenziato facilmente osservabili: aree bianche nelle zone più esposte della superficie e quindi soggette a ruscellamento da parte della pioggia, aree grigie nelle zone nelle quali la pioggia cade solo in casi eccezionali e infine aree nere laddove si ha apporto di acqua piovana senza che però si abbia ruscellamento. Nel caso di pietre porose quali le arenarie invece le sostanze depositate vengono intrappolate nei pori superficiali e non vengono rimosse né dal ruscellamento né dai vortici turbolenti per cui si assiste ad un processo di annerimento uniforme su tutta la superficie. Dall'analisi delle croste nere, il cui colore è determinato dalla presenza di particelle carboniose provenienti dalla combustione incompleta di idrocarburi, si osserva che esse sono costituite principalmente da gesso. Quanto affermato risulta plausibile nel caso di pietre porose in quanto si verifica che le croste nere si formano anche a spese della superficie sottostante, ma non trova identico riscontro nel caso di materiali poco porosi dove invece le croste sembrano essere principalmente costituite da accumuli di particelle depositate. In questo caso si suppone che la formazione di gesso sia conseguenza anche della capacità cristallogenica delle particelle carboniose depositate e contenenti elevati tenori di zolfo e di calcio, quest'ultima ipotesi è suffragata dall'osservazione della formazione di gesso anche su superfici bronzee, circostanza che non può certo essere spiegata supponendo un'interazione tra deposito e substrato. Per quanto concerne i materiali metallici si ricorda che i valori di umidità