

## 5.2 Aria

L'inquinamento atmosferico è un fenomeno tipico delle aree fortemente antropizzate anche se spesso sottovalutato perché considerato "invisibile"; le conseguenze negative su salute della popolazione, stato della vegetazione e conservazione del patrimonio storico-artistico delle aree urbane rappresentano invece fenomeni altrettanto "evidenti" la cui soluzione viene considerata prioritaria per il raggiungimento di uno sviluppo di tipo sostenibile. Le cause principali dell'inquinamento dell'aria sono riconducibili essenzialmente ai tipici fattori che, assieme ad altri, contribuiscono a definire lo stato di "sviluppo" delle moderne società: trasporto stradale privato, produzioni industriali ed energetiche, riscaldamento domestico.

Entrando in dettaglio sulla disponibilità di dati per Padova è necessario precisare che il maggior numero di elementi di valutazione della qualità dell'aria è riferito:

- alle misure in continuo fornite dalle stazioni di monitoraggio presenti nel territorio comunale e alle periodiche campagne di valutazione effettuate in specifiche zone dell'agglomerato urbano;
- alle stime delle emissioni prodotte dal traffico veicolare.

I dati sulle emissioni originate da produzioni industriali ed energetiche e dal riscaldamento domestico sono attualmente molto limitati perché manca un inventario completo delle fonti di emissione esteso a tutto il territorio comunale. La costruzione di un inventario georeferenziato e sistematicamente aggiornato delle principali fonti di emissioni dovrebbe rappresentare uno degli obiettivi prioritari per realizzare un controllo integrato del territorio e quindi una efficace politica di prevenzione ambientale.

Il presente capitolo sarà incentrato principalmente sui dati di qualità dell'aria monitorati attraverso le centraline fisse e sui risultati delle stime di emissione degli inquinanti prodotti dal traffico veicolare. Verrà inoltre presentata una stima aggiornata al 1995 delle emissioni di inquinanti prodotti dai differenti settori produttivi.

I riferimenti principali per valutare la qualità dell'aria nel Comune di Padova sono quindi rappresentati dall'analisi degli indicatori:

- di *stato* previsti dalla legislazione vigente per la valutazione della qualità dell'ambiente atmosferico urbano;
- di *pressione* relativi alle stime delle emissioni prodotte dal traffico veicolare.

Nei paragrafi successivi verrà presentata una breve rassegna sulla legislazione vigente in tema di qualità dell'aria e sulle metodologie di riferimento utilizzate per la stima delle emissioni prodotte dal traffico veicolare e dei principali settori produttivi.

### 5.2.1 Quadro normativo di riferimento

Il DM 60/02 (in vigore dal 28 aprile 2002), di recepimento delle Direttive Europee sui valori limite per biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto, particelle, piombo, benzene e monossido di carbonio, ha apportato alcune modifiche significative dell'assetto normativo di riferimento.

Il nuovo approccio è ispirato ad una notevole semplificazione e riduzione dei limiti di riferimento ed una effettiva integrazione modellistica delle tradizionali misure in campo. Anche la strutturazione della rete di monitoraggio è caratterizzata da una forte riduzione dei punti fissi di misura che però devono rispondere a precisi criteri di rappresentatività spaziale. A fronte di questi sostanziali cambiamenti è comunque necessario precisare che dal punto di vista operativo i nuovi limiti, effettivamente in vigore a partire dal 2005, sono stati condizionati al riferimento di alcuni specifici margini di tolleranza. Dal punto di vista normativo non è però ancora del tutto chiaro (luglio 2002) se questi margini di tolleranza valgono come limiti per sé o più semplicemente come termini di adeguamento progressivi al valore limite finale (in questa fase di transizione si trovano poi a coesistere “vecchi” e “nuovi” limiti creando non poche difficoltà di applicazione).

Viste le considerazioni sopra esposte e la necessità di fornire un quadro di riferimento univoco anche rispetto alla serie storica, lo stato della qualità dell'aria presentato in questo *Rapporto* verrà valutato *solo* in relazione ai “vecchi limiti” (cioè quelli in vigore prima dell'emanazione del recente DM 60/02).

La normativa a cui ci riferiremo prescrive il monitoraggio degli inquinanti *convenzionali* (SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PTS, NMHC) e *non convenzionali* (PM<sub>10</sub>, benzo(a)pirene e benzene). Quest'ultimi hanno assunto sempre maggiore importanza dal punto di vista sanitario-ambientale e attualmente sono i parametri che in ambito urbano risultano più attentamente considerati per una valutazione complessiva ed immediata dello stato della qualità dell'aria.

Esistono cinque diversi tipi di “vincoli” alle concentrazioni di sostanze inquinanti in atmosfera:

- *valori limite* per la protezione della salute umana validi su tutto il territorio nazionale;
- *valori guida* per la salvaguardia *a lungo termine* della salute umana e dell'ambiente finalizzati a costituire parametri di riferimento per l'istituzione di specifiche zone di protezione che necessitano di particolare tutela;
- *livelli di attenzione e di allarme* con riferimento specifico alla protezione della salute da *effetti acuti* in aree urbane;
- *obiettivi di qualità* finalizzati alla protezione *a lungo termine* della salute umana in aree urbane.

Tutti i parametri di qualità dell'aria sopra elencati vengono distinti, e quindi valutati, sulla base dei differenti tempi di esposizione: *acuto* (a breve termine) e *cronico* (a lungo termine). Per esposizione si intende il contatto per un definito periodo di tempo tra il recettore e uno specifico inquinante a determinate concentrazioni.

Sebbene l'esposizione della popolazione sia misurabile solo in parte attraverso le concentrazioni degli inquinanti rilevate *in situ*, sia a causa della diversa mobilità che dei diversi profili di attività dei vari settori della popolazione, la sua valutazione anche grossolana, realizzabile in prima approssimazione attraverso l'analisi dei parametri chimici secondo due differenti scenari temporali, fornisce comunque indicazioni utili per predisporre eventuali azioni di prevenzione sanitaria e/o protezione ambientale.

L'analisi della qualità dell'aria relativamente ai dati forniti dalle stazioni fisse di monitoraggio sarà incentrata su una *selezione* mirata di alcuni parametri individuati tra tutti quelli previsti per la valutazione a breve e a lungo termine. La scelta dei parametri di riferimento da utilizzare nella valutazione, riportata in dettaglio nei paragrafi 5.2.2 e 5.2.3., è stata ispirata da un criterio di semplificazione del complesso quadro legislativo di riferimento che a partire dagli anni '80 ha determinato lo stratificarsi nel tempo di provvedimenti successivi spesso poco coerenti. Per un sintetico commento relativo all'evoluzione normativa di riferimento si rimanda al Rapporto Annuale sullo stato della qualità dell'aria nel Comune di Padova (ARPAV, 2002).

La Tabella 5.2-1 riporta sinteticamente i diversi "vincoli" vigenti in termini di prevenzione e valutazione della qualità dell'aria *a breve termine* (*scenario acuto*, con periodo di osservazione da 1 ora fino ad 1 mese). Per ogni inquinante sono elencate le concentrazioni di riferimento da valutare secondo statistiche con tempi di mediazione e periodi di osservazione differenti.

	Ex lege	Parametro di riferimento	Conc. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Statistica	Tempo di mediazione	Periodo di osservazione
SO <sub>2</sub>	DPR 203/88	valore guida	100-150	Media	24 h	Giorno
	DM 25/11/94	liv. attenzione	125	Media	24 h	Giorno
	DM 25/11/94	liv. allarme	250	Media	24 h	Giorno
PTS	DM 25/11/94	liv. attenzione	150	Media	24 h	Giorno
	DM 25/11/94	liv. allarme	300	Media	24 h	Giorno
CO	DPCM 28/3/83	valore limite	40.000	Media	1 h	Ora
	DPCM 28/3/83	valore limite	10.000	Media	8 h	8 ore
	DM 25/11/94	liv. attenzione	15.000	Media	1 h	Giorno
	DM 25/11/94	liv. allarme	30.000	Media	1 h	Giorno
NO <sub>2</sub>	DM 25/11/94	liv. attenzione	200	Media	1 h	Giorno
	DM 25/11/94	liv. allarme	400	Media	1 h	Giorno
O <sub>3</sub>	DPCM 28/3/83	valore limite	200	Media	1 h	Mese <sup>(1)</sup>
	DM 16/5/96	liv. prot. veget.	200	Media	1 h	Ora
	DM 16/05/96	liv. prot. veget.	65	Media	24 h	Giorno
	DM 16/5/96	liv. prot. salute	110	Media mobile	8 h	Giorno <sup>(2)</sup>
	DM 16/5/96	liv. attenzione	180	Media	1 h	Giorno
NMHC	DPCM 28/3/83	valore limite	200	Media	3 h	Giorno <sup>(3)</sup>

Note

(1) valore limite da non superare più di una volta al mese

(2) calcolato per almeno 4 volte al giorno nei seguenti intervalli orari: 0-8, 8-16, 16-24, 12-20

(3) calcolato giornalmente dalle ore 06.00 alle ore 09.00; da adottarsi solo nelle zone e nei periodi dell'anno nei quali si sono verificati superamenti del valore limite per O<sub>3</sub> (200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Tabella 5.2-1 Limiti per il monitoraggio a breve termine degli inquinanti atmosferici (*scenario acuto con periodo di osservazione da 1 ora fino ad un mese*).

In Tabella 5.2-2 sono invece elencati i parametri di qualità dell'aria previsti per la valutazione dello scenario *a lungo termine* (*cronico*, con periodo di osservazione di 1 anno). Anche in questo caso per uno stesso inquinante sono previsti differenti "vincoli" che tengono conto di statistiche con tempi di mediazione differenti.

	Ex lege	Parametro di riferimento	Conc. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Statistica	Tempo di mediazione	Periodo di osservazione
SO <sub>2</sub>	DPR 203/88	valore limite	80	Mediana	24 h	Anno
	DPR 203/88	valore limite	250	98° %le	24 h	Anno <sup>(1)</sup>
	DPR 203/88	valore guida	40-60	Media	24 h	Anno
NO <sub>2</sub>	DPR 203/88	valore limite	200	98° %le	1 h	Anno
	DPR 203/88	valore guida	50	Mediana	1 h	Anno
	DPR 203/88	valore guida	135	98° %le	1 h	Anno
PTS	DPCM 28/3/83	valore limite	150	Media	24 h	Anno
	DPCM 28/3/83	valore limite	300	95° %le	24 h	Anno
PM <sub>10</sub>	DM 25/11/94	Obiettivo di qualità	40	Media mobile	24 h	Anno <sup>(2)</sup>
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	DM 25/11/94	Obiettivo di qualità	10	Media mobile	24 h	Anno <sup>(2)</sup>
IPA	DM 25/11/94	Obiettivo di qualità	0,001	Media mobile	24 h	Anno <sup>(2)</sup>

Note

(1) Ai sensi del DPR 203/83 si devono prendere tutte le misure atte ad evitare il superamento per più di 3 giorni consecutivi.

(2) obiettivo di qualità da raggiungere e rispettare a partire dal 01/01/99; valore medio di riferimento calcolato per almeno 15 giorni ogni mese.

*Tabella 5.2-2 Limiti per il monitoraggio a lungo termine degli inquinanti atmosferici (scenario cronico con periodo di osservazione di 1 anno).*

### 5.2.2 La metodologia COPERT per la stima delle emissioni da traffico

Per la stima delle emissioni di inquinanti atmosferici da trasporto stradale è stata utilizzata la metodologia di calcolo COPERT (*COmputer Programme to calculate Emissions from Road Traffic*). La metodologia proposta e consigliata dall'Agencia Europea per l'Ambiente è lo strumento di valutazione delle emissioni da trasporto stradale utilizzato nell'ambito del programma CORINAIR, che prevede la realizzazione dell'inventario nazionale delle emissioni originate da 11 macrosettori di cui uno specificamente relativo ai trasporti stradali (EMEP/CORINAIR, 1999). La versione COPERT III (Ntziachristos & Samaras, 1999) aggiorna ed integra le precedenti procedure di calcolo e permette una stima delle emissioni dei seguenti inquinanti: CO, COV, NO<sub>x</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, PTS, PM<sub>10</sub>.

Il modello di calcolo assume che i fattori di emissione differenziati per ogni tipologia veicolare (moto e ciclomotori, auto, veicoli commerciali leggeri, veicoli commerciali pesanti, bus e pullman) dipendano dalle seguenti variabili:

- tipo di combustibile, anno di immatricolazione, cilindrata, peso complessivo;
- regime medio di conduzione (in area urbana, rurale, autostrade o strade a grande velocità);
- composizione del parco veicolare circolante e condizioni climatiche medie dello scenario di riferimento (temperatura).

La stima delle emissioni totali di inquinanti prodotte dai veicoli stradali deriva dalla somma delle componenti da combustione ed evaporative.

### 5.2.3 L'inventario CORINAIR delle emissioni

Il progetto CORINAIR (*COoRdination-Information-AIR*) è stato promosso e coordinato dalla DG XI della Comunità Europea nell'ambito del programma sperimentale CORINE (*COoRdinated Information on the Environment in the European Community*, Decisione del Consiglio 27 giugno 1985). L'obiettivo del progetto CORINE è la raccolta e l'organizzazione sistematica delle informazioni sullo stato dell'ambiente e delle risorse naturali nella comunità europea. La parte del programma relativa alle informazioni sull'atmosfera costituisce il progetto CORINAIR che prevede la realizzazione di un inventario delle emissioni dei principali inquinanti da utilizzare come base scientifica per la scelta delle future politiche ambientali. La metodologia di stima delle emissioni prevista dal progetto CORINAIR viene attualmente utilizzata dall'EEA (European Environment Agency) per la redazione dei rapporti sullo stato dell'ambiente (EMEP/CORINAIR, 1999; Ritter, 1997).

Una valutazione con monitoraggio in continuo direttamente "alla fonte" di emissione è realizzabile solo per alcune categorie di sorgenti come, ad esempio, i grandi impianti di combustione. Per tutte le altre attività, estremamente diffuse nel territorio, è più opportuno e vantaggioso adottare metodologie di stima indirette delle emissioni, basate sulla conoscenza dei processi tecnologici e naturali, sull'utilizzo di indicatori statistici, demografici ed economici.

L'inventario delle emissioni CORINAIR prende in considerazione:

- *le sorgenti diffuse e puntuali di minore entità* attraverso l'applicazione di fattori di emissione medi (su base temporale e spaziale) che stimano la quantità di inquinante rilasciato in atmosfera misurato da uno specifico indicatore di attività (ad esempio, consumo di combustibile, quantità di energia prodotta, quantità di prodotti finiti, etc.);
- *le sorgenti puntuali più importanti (large point sources)* applicando fattori di emissione specifici per ogni singola sorgente.

La stima complessiva delle emissioni su base territoriale è quindi data dalla somma delle emissioni diffuse e di quelle puntuali.

La suddivisione territoriale utilizzata nel progetto CORINAIR si riferisce alla Nomenclatura delle Unità Territoriali Statistiche (NUTS) adottata dal Servizio Statistico della Commissione delle Comunità Europee che considera, per ciascun paese, quattro unità territoriali: gruppi di regioni, regioni, province e comuni. Il progetto CORINAIR ha completato l'inventario aggiornato al 1990 per le unità territoriali a livello di province e attualmente è in fase di completamento l'aggiornamento al 1995.

### 5.2.4 Indicatori e monitoraggio della qualità dell'aria

Un sistema di indicatori della qualità dell'aria dovrebbe essere strutturato in funzione di molteplici obiettivi:

- monitoraggio in continuo dei principali parametri di qualità dell'aria per studiare il trend in atto e contemporaneamente per verificare il rispetto dei limiti imposti dalla legislazione e da eventuali obiettivi di qualità;

- organizzazione e aggiornamento continuo di un inventario delle principali fonti che contribuiscono alle emissioni di inquinanti in atmosfera per garantire un adeguato supporto decisionale allo sviluppo locale;
- controllo dei “costi ambientali” delle politiche in atto e programmate.

E' chiaro quindi che tutte queste informazioni lette alla luce di una adeguata conoscenza del territorio possono contribuire ad individuare azioni di intervento per la riduzione delle emissioni in specifici settori economici e fornire inoltre un valido strumento di supporto alla programmazione dei controlli ambientali.

Gli indicatori di qualità dell'aria selezionati per essere inclusi nel Rapporto sullo stato dell'ambiente nel Comune di Padova sono:

#### **indicatori di stato**

- biossido di azoto (NO<sub>2</sub>):
  - numero di superamenti annui del livello di attenzione e di allarme (rispettivamente 200 µg/m<sup>3</sup> e 400 µg/m<sup>3</sup>; *ex* DM 25/11/94);
  - valore limite di concentrazione annuale pari al 98° percentile delle medie orarie (200 µg/m<sup>3</sup>; *ex* DPR 203/88);
- ozono (O<sub>3</sub>):
  - numero di superamenti annui del livello di protezione della salute, del livello di attenzione e di allarme (rispettivamente 110 µg/m<sup>3</sup>, 180 µg/m<sup>3</sup> e 360 µg/m<sup>3</sup>; *ex* DM 16/5/96)
- benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>):
  - obiettivo di qualità per la concentrazione media annuale delle medie giornaliere (10 µg/m<sup>3</sup>; *ex* DM 25/11/94);
- benzo(a)pirene (BaP, indicatore IPA totali):
  - obiettivo di qualità per la concentrazione media annuale delle medie giornaliere (1 ng/m<sup>3</sup>; *ex* DM 25/11/94);
- polveri fini (PM<sub>10</sub>):
  - obiettivo di qualità per la concentrazione media annuale delle medie giornaliere (40 µg/m<sup>3</sup>; *ex* DM 25/11/94);

#### **indicatori di pressione**

- stima COPERT delle emissioni giornaliere prodotte dal traffico veicolare:
  - monossido di carbonio (CO Kg/die);
  - ossidi di azoto (NO<sub>x</sub> Kg/die);
  - composti organici volatili (COV Kg/die);
  - benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> Kg/die)
  - polveri fini (PM<sub>10</sub> Kg/die);

- stima del “costo ambientale”<sup>1</sup> del trasporto persone nel Comune di Padova:
  - confronto delle emissioni di composti organici volatili e di polveri fini per Km e per passeggero trasportato con mezzo pubblico e con mezzo privato (g /pax\*Km);
- stima CORINAIR delle emissioni annue prodotte dai differenti settori produttivi:
  - biossido di zolfo (SO<sub>2</sub> t/anno);
  - monossido di carbonio (CO t/anno);
  - ossidi di azoto (NO<sub>x</sub> t/anno);
  - composti organici volatili non metanici (NMCOV t/anno);

Riguardo gli **indicatori di risposta** è bene precisare che verranno discussi estesamente nell'ambito della mobilità urbana (capitolo 4.2); negli ultimi anni, l'impegno dell'Amministrazione Pubblica nel campo delle azioni di risanamento e prevenzione della qualità dell'aria si è concentrato principalmente verso la definizione di un assetto sostenibile della mobilità pubblica e privata nel territorio comunale di Padova.

Nei paragrafi successivi verranno presentate le analisi dei dati relativi:

- alle concentrazioni ambientali degli inquinanti monitorati presso le stazioni fisse di misura presenti nel territorio comunale; relativamente agli indicatori di stato sopra elencati si riferirà anche sulla valutazione dell'andamento della serie storica disponibile a partire dal 1999 (paragrafo 5.2.5);
- alle stime delle emissioni prodotte nel giorno feriale tipo dal traffico veicolare (paragrafo 5.2.6) e annualmente dai differenti settori produttivi presenti nell'area urbana di Padova (paragrafo 5.2.7);

### 5.2.5 Valutazione dello stato della qualità dell'aria

Prima di passare alla discussione sui dati di qualità dell'aria è necessario fornire alcune precisazioni importanti sulla scelta degli indicatori.

Tra tutti i parametri di valutazione previsti dalla normativa sono stati selezionati solo quelli relativi agli “inquinanti critici”. Il quadro fornito da questa rappresentazione è quindi sostanzialmente “peggiorativo” delle condizioni medie di qualità dell'aria presenti nel Comune di Padova. La scelta è stata dettata dall'esigenza di evidenziare i principali elementi di criticità ambientale su cui incentrare eventuali interventi futuri di risanamento e/o prevenzione (il principio guida non è quindi la rappresentazione esaustiva dello stato della risorsa aria che richiederebbe una trattazione oltre gli scopi primari del presente *Rapporto*).

Per ogni inquinante considerato verrà prima fornita una descrizione delle principali fonti

---

<sup>1</sup> in questo contesto il termine “costo ambientale” verrà usato in modo non rigoroso per individuare l'impatto dovuto alle emissioni di inquinanti atmosferici; non si tratta quindi di una vera e propria monetizzazione delle esternalità ambientali.

di emissione antropica e dei principali effetti ambientali e sanitari e successivamente un'analisi storica dei dati rilevati dalle stazioni di monitoraggio presenti nel territorio comunale.

### Biossido di azoto (NO<sub>2</sub>)

Il biossido di azoto è un gas dal colore rosso-bruno caratterizzato ad alte concentrazioni da un odore pungente e soffocante. Le fonti antropiche, rappresentate da tutte le reazioni di combustione, comprendono principalmente gli autoveicoli, le centrali termoelettriche e il riscaldamento domestico. I meccanismi biochimici mediante i quali l'NO<sub>2</sub> induce i suoi effetti tossici non sono del tutto chiari anche se è noto che provoca gravi danni alle membrane cellulari a seguito dell'ossidazione di proteine e lipidi. Gli effetti acuti comprendono infiammazione delle mucose e diminuzione della funzionalità polmonare. Gli effetti a lungo termine includono: aumento dell'incidenza delle malattie respiratorie, aumento della suscettibilità alle infezioni polmonari batteriche e virali. Il gruppo a maggior rischio è costituito dagli asmatici e dai bambini.

Per quanto riguarda la valutazione delle concentrazioni a breve termine di biossido di azoto (media oraria), in Tabella 5.2-3 sono riportati il numero totale di superamenti del livello di attenzione registrati a partire dal 1999 presso ciascuna stazioni fissa di monitoraggio e il valore medio relativo a tutto il territorio del Comune di Padova.

Stazioni	Numero superamenti livello di attenzione NO <sub>2</sub> DM 25/11/94 (200 µg/m <sup>3</sup> )		
	1999	2000	2001
Arcella	54	143	1
Mandria	- <sup>(1)</sup>	0	0
Ospedale	1	0	0
Zona Industriale	10	3	14
Mercato	0	26	36
Granze	10	0	0
Saonara	0	7	6
<b>Media anno per stazione tipo</b>	<b>13</b>	<b>26</b>	<b>8</b>

**Note:**

(1) nel 1999 la stazione fissa di Mandria non era ancora stata attivata

*Tabella 5.2-3 Numero di superamenti annui del livello di attenzione (200 µg/m<sup>3</sup>) registrati a partire dal 1999 presso le stazioni fisse di monitoraggio presenti nel Comune di Padova.*

Il numero totale di superamenti del livello di attenzione mostra nel corso degli anni un andamento altalenante, probabilmente perché si tratta di un inquinante secondario che, a breve termine, risente in modo significativo delle differenti condizioni climatiche medie e del contributo variabile delle diverse fonti di emissione. Durante tale periodo il livello di allarme pari a 400 µg/m<sup>3</sup> non è invece mai stato superato.

Per quanto riguarda la valutazione delle concentrazioni a lungo termine (annuale), nel

grafico in Figura 5.2-1 è rappresentato il valore del 98° percentile delle concentrazioni annuali di biossido di azoto monitorate presso le stazioni fisse posizionate nel territorio urbano del Comune di Padova. Come evidente si nota una sostanziale stabilità nel tempo dei livelli ambientali di biossido di azoto che risultano prossimi e in alcuni casi superiori al valore guida ( $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) anche se comunque sempre inferiori al valore limite stabilito dalla normativa ( $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Il valore medio relativo al 2001 per la stazione tipo (media di tutte le stazioni) è pari a  $129 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Il biossido di azoto è un inquinante di natura principalmente secondaria e assieme all'ozono è un indicatore di 'smog fotochimico'; è tra i parametri che devono essere valutati con maggiore attenzione anche in relazione alle possibili conseguenze che lo 'smog fotochimico' (quindi incluso l'ozono) comporta riguardo la formazione di particelle carboniose che entrano nella composizione delle polveri fini.

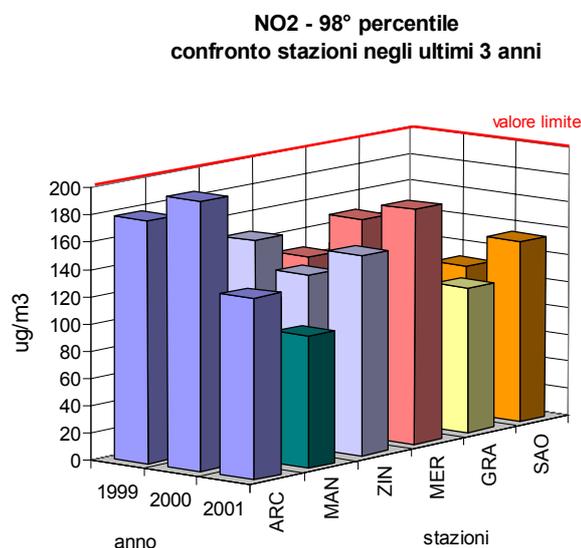


Figura 5.2-1 NO<sub>2</sub>: 98° percentile registrato negli ultimi 3 anni presso le stazioni fisse di Arcella (ARC), Mandria (MAN), Zona Industriale (ZIN), Mercato (MER), Granze (GRA), Saonara (SAO).

### Ozono (O<sub>3</sub>)

È un gas dall'odore leggermente pungente che non viene emesso come tale dalle attività umane. È infatti un tipico inquinante secondario che si forma nell'atmosfera in seguito alle reazioni fotochimiche a carico di alcuni inquinanti precursori prodotti dai processi di combustione (NO<sub>x</sub>, idrocarburi, aldeidi). Le concentrazioni ambientali di O<sub>3</sub> tendono pertanto ad aumentare durante i periodi caldi e soleggiati dell'anno. Nell'arco della giornata, i livelli di ozono sono bassi al mattino (fase di innesco del processo fotochimico), raggiungono il massimo nel primo pomeriggio e si riducono

progressivamente nelle ore serali con il diminuire della radiazione solare. Il bersaglio principale dell'O<sub>3</sub> è l'apparato respiratorio. Gli effetti acuti comprendono secchezza della gola e del naso, aumento della produzione di muco, tosse, faringiti, bronchiti, diminuzione della funzionalità respiratoria e della capacità battericida polmonare, irritazione degli occhi.

Nei grafici in Figura 5.2-2 sono riportati il numero totale annuo di superamenti del livello di protezione della salute e del livello di attenzione monitorati dal 1999 presso ciascuna stazione di monitoraggio presente nel Comune di Padova (il livello di allarme durante tale periodo non è mai stato superato). Nel 2001 il numero medio di superamenti riferibili alla stazione tipo (media di tutte le stazioni e quindi rappresentativa di tutto il territorio comunale) è per il livello di protezione della salute e per il livello di attenzione rispettivamente uguale a 107 e 17 superamenti.

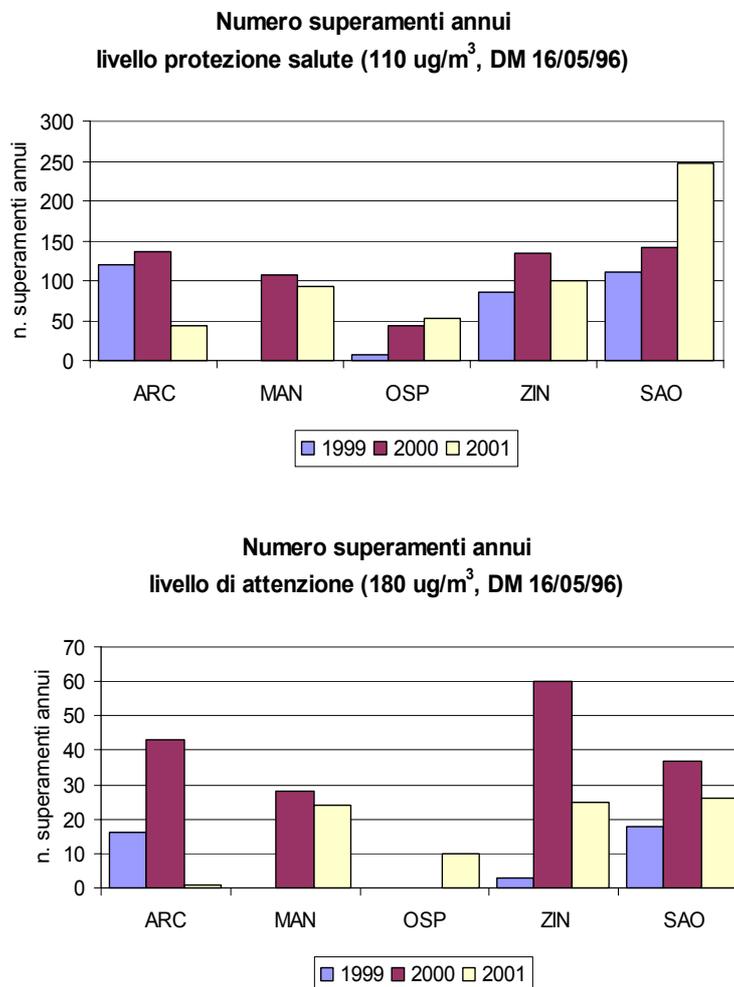


Figura 5.2-2 Numero di superamenti annui del livello di protezione della salute (sopra) e del livello di attenzione (sotto) registrati dal 1999 presso le stazioni di monitoraggio di Arcella (ARC), Mandria (MAN), Ospedale (OSP), Zona Industriale (ZIN), Saonara (SAO).

Come ricordato l'ozono è un inquinante tipicamente secondario il cui monitoraggio è particolarmente importante durante il periodo 'estivo' (la sua formazione a livello del suolo origina da una serie complessa di reazioni fotochimiche che coinvolgono ossidi di azoto, aldeidi e, in generale, idrocarburi).

La normativa prevede che per valutare correttamente il rispetto dei limiti per l'ozono si faccia riferimento essenzialmente a stazioni di misura localizzate in aree periferiche o suburbane: cioè stazioni di tipo D e quindi, in questo senso, la stazione che maggiormente risulta rappresentativa è quella di Mandria.

La registrazione di valori elevati di ozono presso le stazioni di monitoraggio "da traffico" è comunque un fenomeno da non sottovalutare perché in vicinanza delle sorgenti di inquinamento (autoveicoli) interviene l'azione di abbattimento esercitata dal monossido di azoto sui livelli ambientali di ozono (il monossido di azoto emesso dai processi di combustione entra come concorrente nel ciclo di formazione dell'ozono e quindi tende a diminuirne i valori medi rispetto alle aree urbane o verdi dove l'effetto competitivo è meno marcato).

L'inquinamento da ozono è indicativo di una situazione diffusa che più correttamente dovrebbe essere riferita a dimensioni areali più estese rispetto alla zona urbana considerata. Le emissioni di idrocarburi e ossidi di azoto prodotti dal traffico veicolare sono trasportati da grandi masse d'aria anche a notevole distanza dalle sorgenti e la conseguente produzione di ozono dipende dall'intensità della radiazione solare e dalla durata delle condizioni di stabilità atmosferica (Clini *et al.*, 2000).

### Benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)

Idrocarburo aromatico, tipico costituente delle benzine, è un liquido incolore dotato di un odore caratteristico. In ambito urbano gli autoveicoli rappresentano la principale fonte di emissione: in particolare, circa l'85% viene immesso nell'aria con i gas di scarico, il 15% per evaporazione del combustibile e durante le operazioni di rifornimento. L'intossicazione di tipo acuto è dovuta all'azione del benzene sul sistema nervoso centrale. Fra gli effetti a lungo termine sono note le interferenze sul processo emopoietico (con riduzione progressiva di eritrociti, leucociti e piastrine) e l'induzione della leucemia nei lavoratori maggiormente esposti. Il benzene è stato inserito da *International Agency for Research on Cancer (IARC)* nel gruppo 1 cioè tra le sostanze che hanno un accertato potere cancerogeno sull'uomo.

Il benzene ha evidenziato negli ultimi 3 anni un significativo *trend* in diminuzione delle concentrazioni ambientali medie e tra gli inquinanti di tipo non convenzionale sembra il parametro che per il futuro desta le minori preoccupazioni.

Le concentrazioni medie annuali registrate in continuo a partire dal 1999 presso le stazioni fisse sono risultate inferiori all'obiettivo di qualità fissato dalla normativa (il valore medio annuale per il 2001 è risultato pari a 4,6 µg/m<sup>3</sup>).

Le campagne di monitoraggio in discontinuo effettuate nel corso degli ultimi 3 anni in punti distribuiti su tutto il territorio dell'area urbana di Padova hanno evidenziato valori medi confrontabili con le medie registrate presso le stazioni fisse.

In tutta l'area urbana di Padova l'unico punto critico con valori superiori all'obiettivo di qualità è risultato in Via Pontevigodarzere; la rappresentatività spaziale di questo dato

resta comunque probabilmente circoscritta ad un “areale” di esposizione della popolazione piuttosto limitato. E’ in corso (luglio 2002) uno studio con una “maglia” di monitoraggio molto fine (10 campionatori nel raggio di 1 Km) che ha l’obiettivo principale definire un valore medio d’area rappresentativo dell’effettiva esposizione della popolazione residente.

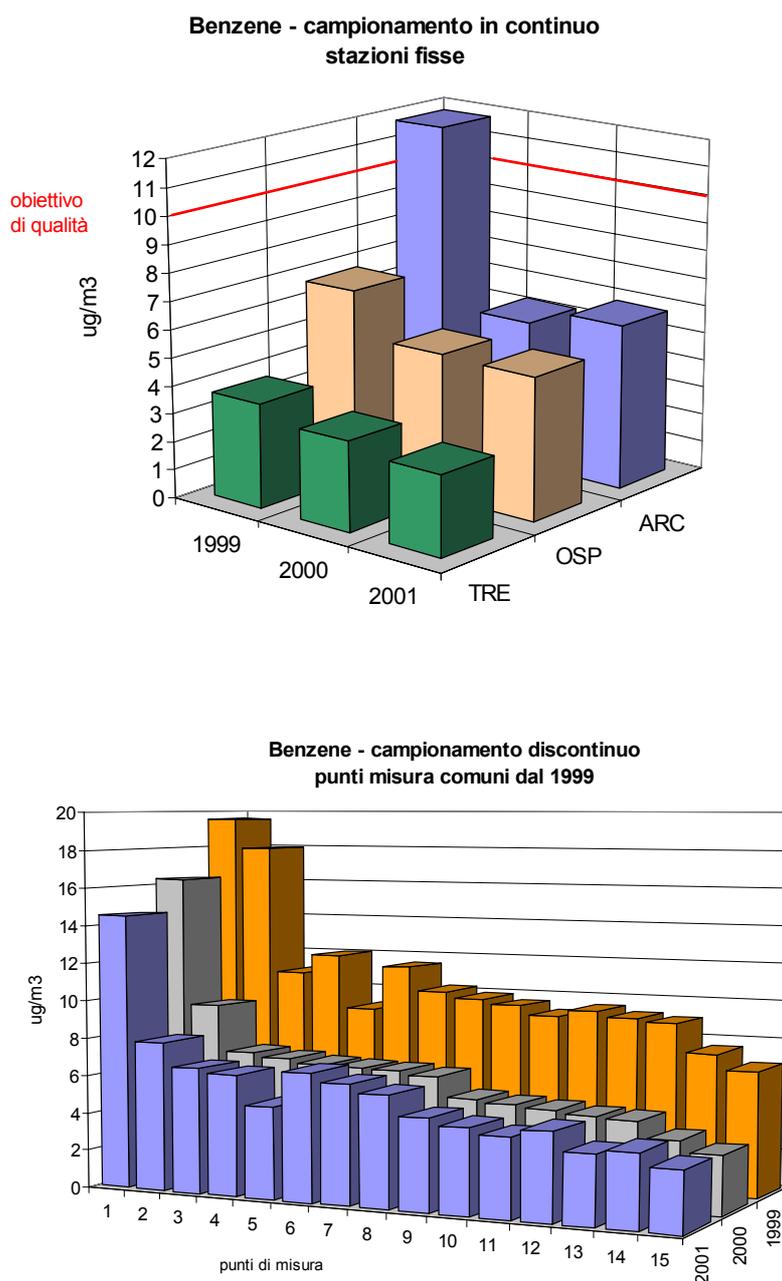


Figura 5.2-3 Confronto della media annuale di benzene monitorata a partire dal 1999 in continuo presso le stazioni fisse di Arcella (ARC), Ospedale (OSP) e Parco Treves (TRE) e in discontinuo presso i 15 punti storici distribuiti in tutta l’area urbana di Padova.

Il trend in diminuzione della concentrazione ambientale di benzene è probabilmente dovuto ad un miglioramento nella formulazione delle benzine e all'imposizione dei limiti più restrittivi previsti dalla normativa europea sulle emissioni dei veicoli a motore di nuova produzione.

Se quindi per quanto detto il "problema benzene" sembra essere per ora in larga misura sotto controllo, è utile ricordare che la nuova normativa sulla qualità dell'aria prevede una riduzione del limite di concentrazione annuale del benzene a  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (termine ultimo di recepimento 2010); i dati medi dell'area urbana di Padova (circa  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) devono quindi essere valutati con una certa attenzione soprattutto in prospettiva futura.

### Benzo(a)pirene (BaP, indicatore IPA totali)

E' un composto organico che appartiene alla famiglia degli idrocarburi policiclici aromatici che derivano dalla combustione incompleta di numerose sostanze organiche. La fonte più importante di origine antropica è rappresentata dalle emissioni veicolari seguita dagli impianti termici, dalle centrali termoelettriche e dagli inceneritori.

Oltre ad essere degli irritanti di naso, gola ed occhi gli IPA sono riconosciuti per le proprietà cancerogene. E' accertato il potere cancerogeno di tutti gli IPA a carico delle cellule del polmone, e tra questi anche del benzo(a)pirene (BaP) (gli IPA sono stati inseriti nel gruppo 1 della classificazione *IARC*). Poiché è stato evidenziato che la relazione tra BaP e gli altri IPA, detto profilo IPA, è relativamente stabile nell'aria delle diverse città, la concentrazione di BaP viene spesso utilizzata come indice del potenziale cancerogeno degli IPA totali

Gli idrocarburi policiclici aromatici sono molto spesso associati alle polveri sospese. La dimensione delle particelle del particolato aerodisperso rappresenta il parametro principale che condiziona l'ingresso e la deposizione nell'apparato respiratorio; gli IPA sono generalmente associati alle particelle con diametro aerodinamico inferiore ai 2 micron e quindi in grado di raggiungere facilmente la regione alveolare del polmone e da qui il sangue e i tessuti.

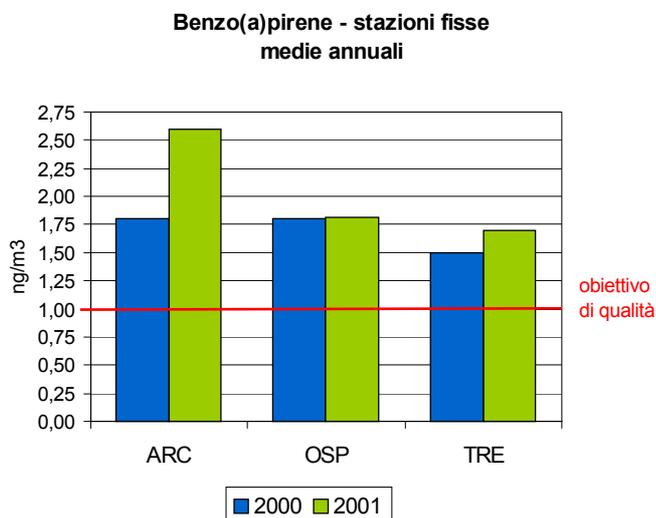
Negli ultimi due anni le concentrazioni medie di benzo(a)pirene sono risultate superiori all'obiettivo di qualità fissato dalla normativa ( $1 \text{ ng}/\text{m}^3$ ) presso tutte le stazioni fisse di monitoraggio (Figura 5.2-4). Il valore medio della stazione tipo (media di tutte le stazioni fisse) per il 2001 è risultato pari a  $2 \text{ ng}/\text{m}^3$ .

Questi dati, se in parte confrontabili con i valori registrati presso simili realtà urbane del Veneto, sono da considerare con estrema attenzione vista la pericolosità delle specie chimiche coinvolte.

La difficoltà di prevedere forme di "contenimento" per il benzo(a)pirene dipende anche dalle caratteristiche peculiari della sua distribuzione spaziale determinata da fenomeni di risospensione della frazione fine del particolato aerodisperso. Il benzo(a)pirene non è esclusivamente correlabile alle fonti di emissione cioè al traffico veicolare che insiste su uno specifico arco stradale perché associato alle polveri fini che possono essere veicolate anche a notevoli distanze.

La eventuale definizione di azioni di intervento a carattere locale o puntuale (comunale o

zonale) è quindi destinata ad avere molto probabilmente un effetto marginale e comunque non quantificabile nel breve periodo.



*Figura 5.2-4 Confronto media mobile annuale di benzo(a)pirene nel 2000 e nel 2001 presso le stazioni fisse di Arcella (ARC), Ospedale (OSP), Parco Treves (TRE).*

### Polveri fini (PM<sub>10</sub>)

Con il termine particolato sospeso totale vengono identificate tutte le particelle solide o liquide che restano in sospensione nell'aria.

Il particolato è costituito da un insieme estremamente eterogeneo di sostanze la cui origine può essere primaria (emesse come tali) o derivata (originata da una serie di reazioni chimico-fisiche). Una caratterizzazione esauriente del particolato sospeso si basa oltre che sulla misura della concentrazione e l'identificazione delle specie chimiche coinvolte anche sulla valutazione della dimensione media delle particelle. Quelle di dimensioni inferiori a 10 µm hanno un tempo medio di vita (permanenza in aria) che varia da pochi giorni fino a diverse settimane e possono essere veicolate dalle correnti atmosferiche anche per lunghe distanze. La dimensione media delle particelle determina il grado di penetrazione nell'apparato respiratorio e la conseguente pericolosità per la salute umana. Il monitoraggio ambientale del particolato con diametro inferiore a 10 µm (PM<sub>10</sub>) può essere considerato un indice della concentrazione di particelle in grado di penetrare nel torace (frazione inalabile).

Le fonti antropiche sono essenzialmente le attività industriali e il traffico veicolare. Gli inquinanti originati dal traffico veicolare contribuiscono in modo sostanziale alla produzione di particolato, specialmente per quanto riguarda la frazione fine PM<sub>10</sub>. Per valutare gli effetti sulla salute è quindi molto importante la determinazione delle dimensioni e della composizione chimica delle particelle. Le dimensioni determinano il

grado di penetrazione all'interno del tratto respiratorio mentre le caratteristiche chimiche influenzano la capacità di reagire con altre sostanze inquinanti (IPA, metalli pesanti, SO<sub>2</sub>).

Le particelle che si depositano nel tratto superiore o extratoracico (cavità nasali, faringe, laringe) possono causare effetti irritativi locali quali secchezza e infiammazione; quelle che si depositano nel tratto tracheobronchiale (trachea, bronchi e bronchioli) possono causare costrizione e riduzione della capacità epurativa dell'apparato respiratorio, aggravamento delle malattie respiratorie croniche (asma, bronchite ed enfisema).

Le particelle con un diametro inferiore ai 5-6 µm possono depositarsi nei bronchioli e negli alveoli e causare infiammazione, fibrosi ed eventualmente neoplasie. Le polveri fini possono anche indurre indirettamente effetti sistemici su specifici organi bersaglio a seguito del rilascio nei fluidi biologici degli inquinanti da esse veicolati. I gruppi più sensibili sono costituiti dagli asmatici e dai bronchitici.

La strumentazione per il monitoraggio delle polveri fini è stata attivata nella stazione di Mandria a partire da Febbraio 2001 mentre nella stazione di Arcella, per problemi tecnici, il funzionamento in continuo è iniziato da Giugno 2001.

Per questo motivo la serie di dati analizzati nel 2001 è incompleta e quindi non permette il calcolo della media mobile annuale secondo quanto prescritto dalla normativa (DM 25/11/94).

In Tabella 5.2-4 sono riportate *le medie delle medie mensili* dei dati disponibili monitorati nel corso del 2001 presso le stazioni fisse di Arcella e Mandria.

Stazioni	Obiettivo di qualità
	media mobile annuale 40 µg/m <sup>3</sup>
Arcella <sup>(1)</sup> (media su 10 valori mensili)	60
Mandria <sup>(2)</sup> (media su 11 valori mensili)	49

Note

(1) strumento funzionante in continuo da giugno 2001

(monitorati il 57% dei dati teoricamente disponibili).

(2) strumento attivato a partire da febbraio 2001

(monitorati l'85% dei dati teoricamente disponibili).

*Tabella 5.2-4 Concentrazioni medie annuali di polveri fini PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) monitorate presso le stazioni fisse e confronto con l'obiettivo di qualità previsto dalla normativa.*

La *frazione fine delle polveri aerodisperse*, PM<sub>10</sub>, rappresenta, anche alla luce della diffusa situazione verificatasi negli ultimi mesi del 2001 e nei primi del 2002, la parte più grave dell'inquinamento atmosferico dei centri urbani di medie e grosse dimensioni.

I dati sul monitoraggio del PM<sub>10</sub> a Padova, anche se non completi, lasciano pochi dubbi

sull'effettivo superamento dell'obiettivo di qualità fissato dalla normativa ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Il dato medio annuale di tendenza per l'area urbana oscilla infatti tra i  $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  registrati presso la stazione di Mandria (di fondo urbano) e i  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  presso la stazione di Arcella (di traffico).

Per quanto riguarda la valutazione degli eventi di tipo acuto la situazione appare altrettanto critica. La normativa europea, recepita recente dal DM 60/02 fissa un tetto massimo di 35 superamenti all'anno del limite di  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Riferendoci ai dati raccolti fino al 31/12/01, e quindi per quanto già spiegato insufficienti per la valutazione di una serie annuale, presso la stazione di Mandria sono stati registrati 116 superamenti del limite su 310 campioni e presso la stazione di Arcella 127 su 213. Anche considerando i margini di tolleranza, secondo quanto prescritto dalla normativa, la situazione appare decisamente preoccupante e pone indirettamente, stando alle condizioni medie verificatesi pressoché ovunque nelle città medio-grandi, il problema dell'effettiva possibilità di rispetto del limite.

Come sopra ricordato le polveri fini ( $\text{PM}_{10}$ ) hanno un tempo medio di vita che varia da pochi giorni fino a diverse settimane e quindi possono venir veicolate dalle correnti atmosferiche anche per lunghe distanze. Per questo scopo sarebbe più appropriata una valutazione su macro-scala come confermano indirettamente i dati medi registrati nel corso del 2001, non solo nel Veneto, ma in tutta la Pianura Padana.

### 5.2.6 Stima COPERT delle emissioni da traffico veicolare

L'utilizzo della metodologia di calcolo COPERT III, descritta nel paragrafo 5.2.2, ha permesso la stima delle emissioni da trasporto stradale per il monossido di carbonio (CO), gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), i composti organici volatili (COV), il benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), le polveri totali (PTS) e le polveri fini (PM<sub>10</sub>).

I dati relativi ai flussi di traffico utilizzati per la valutazione delle emissioni di inquinanti sono stati ricavati da una serie di sistemi e metodologie di rilievo che sono dettagliatamente descritti nel Rapporto Annuale 2001 sulla qualità dell'aria nel Comune di Padova (ARPAV, 2002).

Lo *scenario medio di riferimento* utilizzato per la stima delle emissioni prende in considerazione il *giorno feriale tipo durante il periodo invernale* ed è quindi rappresentativo di condizioni medie di flusso veicolare durante il periodo dell'anno a traffico più sostenuto. La georeferenziazione dei flussi di traffico lungo i principali assi di viabilità urbana, rappresentati da un grafo di circa 200 sezioni stradali (con uno sviluppo lineare complessivo di circa 172 Km), ha permesso la ricostruzione degli assi di penetrazione dall'area extraurbana, delle principali arterie di attraversamento del centro urbano e di parte della viabilità locale e secondaria (su un totale di circa 1400 strade censite nell'area urbana di Padova con uno sviluppo lineare complessivo di 793 Km).

La stima delle emissioni riferita a ciascun arco stradale dell'area urbana di Padova deriva dall'applicazione di specifici fattori di emissione che variano in funzione della categoria veicolare considerata, della composizione media del parco veicolare circolante, del regime medio di conduzione e delle condizioni medie ambientali. Per ciascuna categoria veicolare sono quindi definiti dei fattori medi di emissione che rappresentano il quantitativo medio di inquinante emesso per un Km percorso da un singolo veicolo della categoria veicolare considerata.

Per la definizione dei fattori di emissione dei bus, che utilizzano tutti il combustibile alternativo "*gasolio bianco*", è stata considerata la stima di riduzione delle emissioni ricavata da test al banco e su strada in condizioni standard: fino al 30% per gli ossidi di azoto e fino al 50% per il monossido di carbonio e le polveri. Poiché si tratta di dati ottenuti in condizioni di funzionamento non completamente sovrapponibili al regime di medio di conduzione e alla composizione del parco mezzi considerato è stata ipotizzata in via cautelativa una efficienza di abbattimento degli inquinanti pari al 15% per gli ossidi di azoto e al 25% per il monossido di carbonio e le polveri (corrispondente cioè alla metà della percentuale teorica-standard dichiarata).

Nei grafici seguenti sono presentati in ordine crescente per ogni classe veicolare i fattori medi di emissione degli inquinanti stimati. Per i bus sono riportati sia i fattori di emissione con "*gasolio tradizionale*" che con "*gasolio bianco*" (barre in verde in Figura 5.2-5 e Figura 5.2-6).

E' evidente che i fattori medi di emissione di ogni inquinante, espressi in *g/Km*, sono molto diversi in funzione della classe veicolare considerata:

- per il *monossido di carbonio (CO)* i fattori di emissione maggiori sono caratteristici di *auto e moto*;

- per i *composti organici volatili (COV)* i fattori di emissione maggiori sono associati a *moto* e *mezzi pesanti* (in particolare *bus*, *pullman* e *commerciali pesanti*);
- per il *benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)*, le *moto* e le *auto* hanno i fattori medi più elevati;
- per gli *ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>)* i fattori di emissione maggiori sono a carico di *bus*, *pullman* e *veicoli commerciali pesanti*;
- per *polveri totali (PTS)* e le *polveri fini (PM<sub>10</sub>)* le classi veicolari con fattori di emissione più elevata risultano *bus*, *pullman*, *autoarticolati*, *commerciali pesanti* e *leggeri*; (nella metodologia COPERT la frazione fine prodotta dagli autoveicoli è considerata pari a circa il 96% delle polveri totali e quindi le considerazioni per i due inquinanti sono identiche).

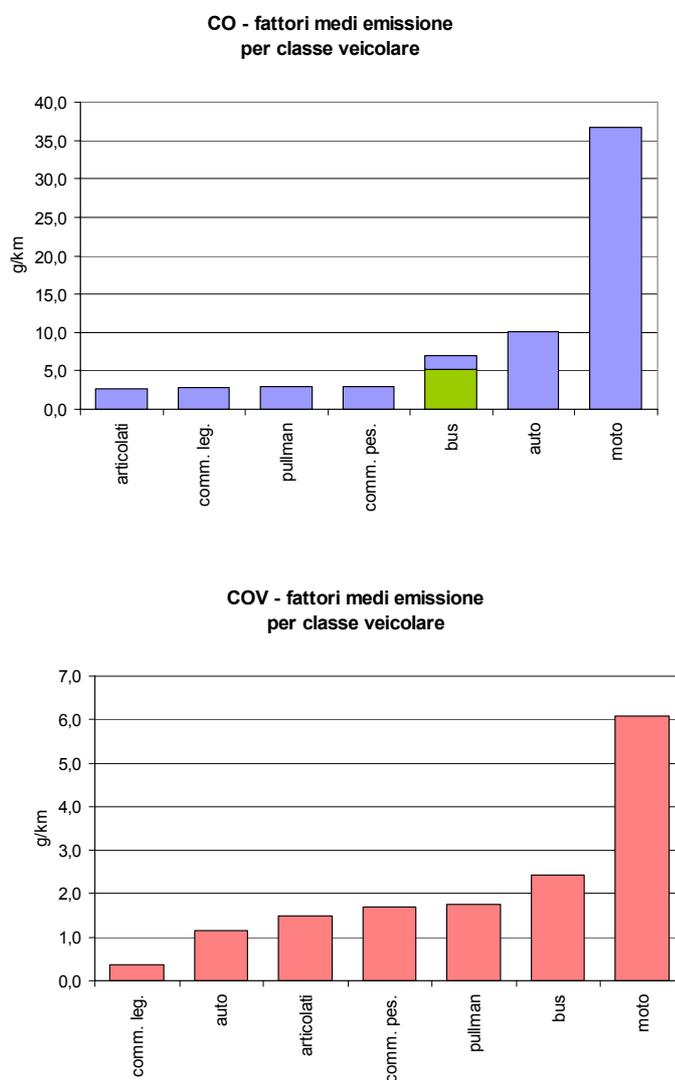


Figura 5.2-5 Fattori medi di emissione per classe veicolare di monossido di carbonio (CO) e composti organici volatili (COV).

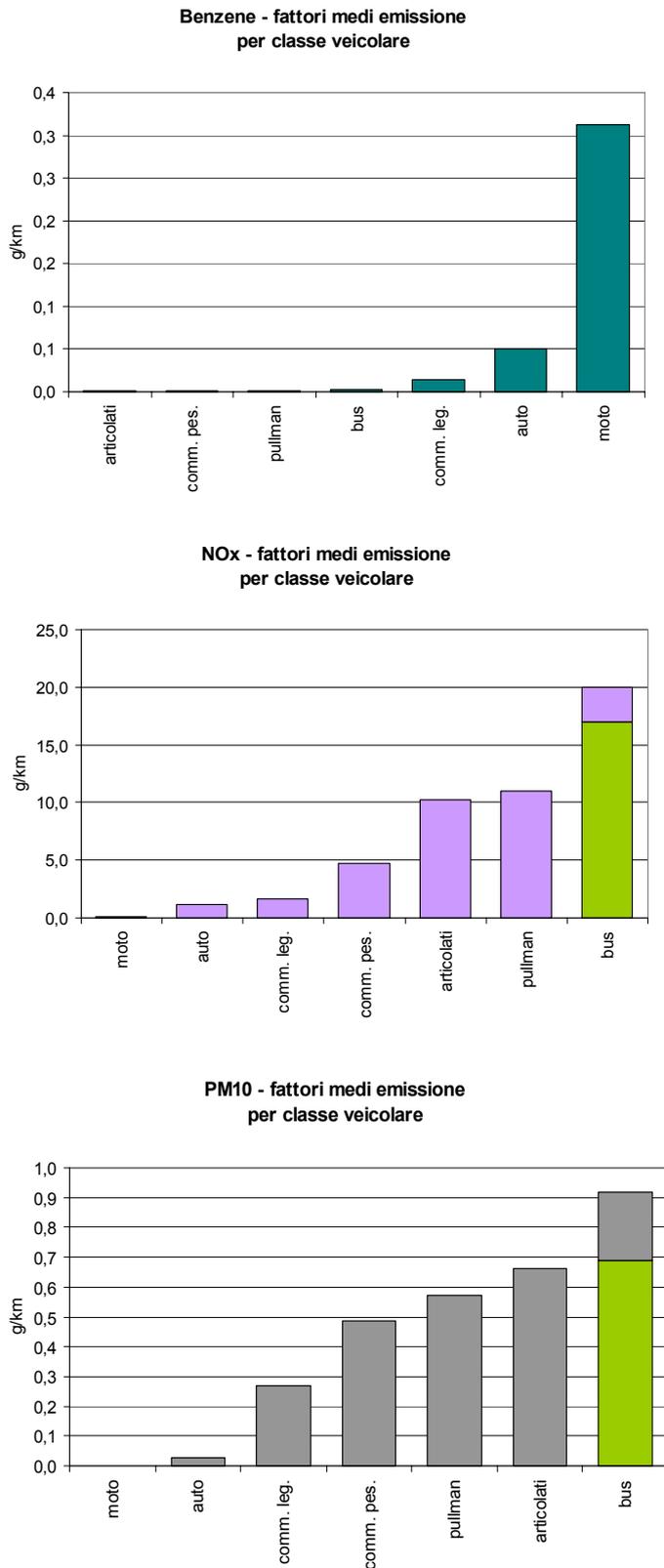


Figura 5.2-6 Fattori medi di emissione per classe veicolare di benzene ( $C_6H_6$ ) ossidi di azoto ( $NO_x$ ), polveri sospese totali (PTS) e polveri fini ( $PM_{10}$ ); per i bus le barre in verde sono relativi ai fattori di emissione con gasolio bianco.

Il confronto dei grafici sui fattori medi di emissione permette di individuare le classi veicolari che, in termini relativi, sono maggiormente responsabili del carico emissivo di uno specifico inquinante. Per una stima delle emissioni giornaliere complessive dei sei inquinanti considerati si rimanda invece alla Tabella 5.2-5 e alla Tabella 5.2-6 in cui sono presentate, suddivise per classe veicolare, le emissioni prodotte dai veicoli in marcia.

Classe	CO		NO <sub>x</sub>	
	Kg/die	%	Kg/die	%
Moto	9.696,2	23,6	26,5	0,5
Auto	30.054,0	73,1	3.401,8	63,2
Comm. leggeri	576,8	1,4	347,6	6,5
Comm. pesanti	560,6	1,4	81,7	16,4
Articolati	47,1	0,1	185,9	3,5
Bus	133,0	0,3	434,0	8,1
Pullman	27,7	0,1	104,1	1,9
<b>Totale</b>	<b>41.095,6</b>	<b>100</b>	<b>5.381,6</b>	<b>100</b>

Tabella 5.2-5 Emissioni totali giornaliere suddivise per classe veicolare (in Kg/die e in % sul totale) di CO e NO<sub>x</sub> originate con veicolo in marcia.

Le stime delle emissioni di benzene e PM<sub>10</sub> rappresentano rispettivamente una frazione del totale dei composti organici volatili e delle polveri totali (Tabella 5.2-6). Secondo la metodologia COPERT il benzene è calcolato, a seconda della categoria veicolare considerata, come percentuale variabile dallo 0,1% al 5% del totale dei composti organici volatili; la frazione fine delle polveri (PM<sub>10</sub>) è invece stimata pari al 96% delle polveri totali (PTS).

Classe	COV		Benzene		PTS		PM <sub>10</sub>	
	Kg/die	%	Kg/die	%	Kg/die	%	Kg/die	%
Moto	1.667,5	29,9	85,4	35,6	0,0	0,0	0,0	0,0
Auto	3.402,5	61,1	151,3	63,0	87,0	31,5	83,9	31,5
Comm. leggeri	74,4	1,3	2,9	1,2	57,9	21,0	55,8	21,0
Comm. pesanti	319,9	5,7	0,3	0,1	95,0	34,4	91,6	34,4
Articolati	27,1	0,5	0,0	0,0	12,4	4,5	12,0	4,5
Bus	61,8	1,1	0,1	0,0	18,3	6,6	17,6	6,6
Pullman	16,5	0,3	0,0	0,0	5,6	2,0	5,4	2,0
<b>Totale</b>	<b>5.569,6</b>	<b>100</b>	<b>240,1</b>	<b>100</b>	<b>276,2</b>	<b>100</b>	<b>266,3</b>	<b>100</b>

Tabella 5.2-6 Emissioni totali giornaliere suddivise per classe veicolare (Kg/die e in % sul totale) di composti organici volatili (COV), benzene, polveri totali (PTS) e polveri fini (PM<sub>10</sub>) originate con veicolo in marcia: da combustione (a freddo e a caldo) ed evaporative (tipo running).

Dai risultati sopra esposti è evidente che le auto (79% del parco) rappresentano per tutti gli inquinanti ad esclusione delle polveri, la classe veicolare responsabile della maggiore

quantità giornaliera di emissioni. Per le polveri totali (PTS) e la frazione fine (PM<sub>10</sub>), i veicoli commerciali pesanti risultano i mezzi di trasporto che producono le emissioni più elevate (pur essendo solo il 2% circa del parco). Considerando quindi per ogni inquinante le classi veicolari che solo in via secondaria contribuiscono maggiormente alle emissioni si riscontra che:

- per il *monossido di carbonio*, le *moto* e i *motocicli* producono circa il 24% delle emissioni totali;
- per gli *ossidi di azoto*, le emissioni dei veicoli *commerciali pesanti* ammontano a circa il 16% del totale;
- per i *composti organici volatili* ed il *benzene* un contributo sostanziale, pari a circa il 30%, deriva dalle *moto* e dai *motocicli*;
- per le *polveri totali* e la *frazione fine* significativo risulta il contributo originato dai veicoli *commerciali leggeri* (circa 20%).

Da questa breve analisi risulta chiaro che per ottenere una significativa riduzione delle emissioni eventuali azioni di “contenimento e/o regolamentazione ” devono essere incentrate sulla classe veicolare numericamente più rilevante: *le auto*. La valutazione delle stime di emissione delle altre classi veicolari può fornire utili elementi di giudizio per provvedimenti mirati che però, come ovvio, non possono garantire gli stessi effetti complessivi, forse con la parziale eccezione del PM<sub>10</sub>, le cui emissioni possono essere significativamente ridotte da interventi di contenimento dei mezzi pesanti.

Le tavole di cartografia tematica riportate nell'Atlante da Tavola 5.2.1 a Tavola 5.2.5 individuano in dettaglio le sezioni stradali con le maggiori emissioni giornaliere di inquinanti prodotte dai flussi di traffico presentati nel capitolo sulla mobilità (4.2).

Per ogni inquinante viene proposta la stima relativa al totale emesso nelle 24 ore; per le polveri sono state incluse solo le Tavole relative alla frazione fine (il PM<sub>10</sub> è stimato pari al 96% delle polveri totali).

La georeferenziazione delle emissioni riportata nella cartografia tematica permette di trarre alcune considerazioni sulle sezioni stradali che si caratterizzano per elevate emissioni di inquinanti. Le sezioni critiche, come già evidente in base alla stima dei flussi di traffico, coincidono con:

- *le diretti di entrata-uscita dall'area urbana*: Via Pontevigodarzere, Via Boves, Corso Stato Uniti, Via Guizza, Via Adriatica, Via dei Colli, Via Chiesanuova;
- *la circonvallazione esterna (tangenziale)*: Corso Irlanda, Corso Argentina, Corso Kennedy, Corso Boston, Corso Australia;
- *alcune sezioni centrali dell'area urbana* (di seguito indicate).

Focalizzando l'attenzione solo sulle sezioni stradali del “centro” che rappresentano i punti *sensibili* a maggiore densità di popolazione si nota che le emissioni di:

- *monossido di carbonio* sono più intense lungo Via Tommaseo, Via Trieste, Via Gozzi, Via Morgagni, Via Falloppio, Via Giustiniani, Via Gattamelata, Via Ariosto, Via Stoppato, Via Manzoni, Via Giordano Bruno, Via Cavallotti, Via Cernaia (Tavola 5.2.1);

- *composti organici volatili* risultano più elevate in Cavalcavia Borgomagno, Via Tommaseo, Via Trieste, Via Gozzi, Via Ariosto, Via Stoppato, Via Manzoni, Via Cavallotti, Via Cernaia (Tavola 5.2.2);
- *benzene* mostrano una distribuzione spaziale sostanzialmente simile a quanto visto per i composti organici volatili (Tavola 5.2.3);
- *ossidi di azoto* sono maggiori lungo Cavalcavia Borgomagno, Via Codalunga, Via Gozzi, Via Gattamelata, Via Cavallotti (Tavola 5.2.4);
- *polveri fini*, anche se in assoluto inferiori all'area esterna, sono significative in Piazzale Stazione, Corso del Popolo, Corso Garibaldi, Via Gozzi, Via Morgagni, Via Falloppio, Via Giustiniani, Via Gattamelata (Tavola 5.2.5).

Per le polveri fini è comunque evidente che in termini quantitativi assoluti le emissioni sono molto più intense nell'area esterna al centro urbano perché legate principalmente al traffico di tipo pesante (in prevalenza diesel).

Generalizzando le considerazioni viste in dettaglio per ogni inquinante gli "archi critici" della parte centrale dell'area urbana coincidono con i seguenti assi di percorrenza:

- Cavalcavia Borgomagno, Via Sarpi, Via Bronzetti;
- Via Codalunga, Via Trieste;
- Via Gozzi, Via Morgagni, Via Falloppio, Via Giustiniani;
- Via Tommaseo, Via Venezia;
- Piazzale Stazione, Corso del Popolo, Corso Garibaldi;
- Via Cavallotti, Via Costa, Via Giordano Bruno, Via Manzoni, Via Stoppato, Via Gattamelata, Via Ariosoto;
- Via Cernaia, Via Paoli, Via Cavalletto.

Per maggiori dettagli sulla stima delle emissioni di tipo evaporativo e sulla cartografia tematica rappresentativa delle emissioni di inquinanti ripartite per fasce orarie si rimanda al Rapporto Annuale sulla qualità dell'aria nel Comune di Padova (ARPAV, 2002).

### 5.2.7 Stima CORINAIR delle emissioni nei differenti settori produttivi

In questo paragrafo sono presentati per l'area urbana di Padova i dati relativi alle emissioni di alcuni inquinanti atmosferici disaggregati per macrosettore, settore e attività produttiva e stimati secondo la metodologia CORINAIR (EMEP/CORINAIR, 1999; Ritter, 1997).

I valori riportati nelle Tabelle successive rappresentano la diasaggregazione spaziale a livello di area urbana del Comune di Padova di una parte dei dati definiti su base provinciale. Le stime sono state effettuate sui dati provinciali CORINAIR 1990, con l'utilizzo di indicatori statistici (ISTAT censimento 1991), secondo la metodologia *top-down* della European Topic Centre on Air Emission (ETC/AE) dell'EEA (Cirillo *et al.*, 1996).

Nella valutazione di questi dati è necessario porre particolare attenzione alla definizione

di "area urbana" il cui raggio risulta stimato in proporzione al numero di abitanti. Entro l'area così definita sono stati conteggiati gli impianti puntuali (*large point sources*) inventariati secondo la classificazione CORINAIR. L'emissione areale dovuta cioè a fonti diffuse è stata invece stimata a partire dalle corrispondenti emissioni provinciali pesate da una serie di indicatori statistici (46 in totale, tra cui: popolazione, consumo di carburante, quantità prodotta e consumata di materie prime, lavorati e prodotti finiti, numero di veicoli registrati e chilometri percorsi). Sono state inoltre individuate una serie di *variabili proxy* che fungono da surrogati degli indicatori selezionati per ciascun inquinante qualora questi non siano disponibili o utilizzabili in una specifica realtà urbana.

In Tabella 5.2-7 è riportata l'emissione annuale di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) stimata per l'area urbana di Padova e disaggregata per attività produttiva con l'indicazione delle corrispondenti percentuali assoluta e cumulativa. Analogamente per il monossido di carbonio (CO), gli ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), i composti organici volatili non metanici (NMCOV) (da Tabella 5.2-8 a Tabella 5.2-10).

Attività produttiva	emissione t/anno	% assoluta	% cumulativa
Terziario - caldaie < 50 MWth	292,15	68,5%	68,5%
Incenerimento rifiuti solidi urbani	57,80	13,6%	82,1%
Veicoli pesanti > 3.5 t e autobus - strade urbane	34,01	8,0%	90,1%
Automobili - strade urbane	23,91	5,6%	95,7%
Veicoli leggeri < 3.5 t - strade urbane	12,92	3,0%	98,7%
Ferrovie	4,33	1,0%	99,7%
Motocicli > 50 cm <sup>3</sup> - strade urbane	0,76	0,2%	99,9%
Motocicli < 50 cm <sup>3</sup>	0,43	0,1%	100,0%
Totale (t/anno)	426,31	100%	-

Tabella 5.2-7 Emissioni annue di biossido di zolfo (SO<sub>2</sub> t/anno) nell'area urbana di Padova disaggregate per attività produttiva (Inventario CORINAIR 1990).

Attività produttiva	emissione t/anno	% assoluta	% cumulativa
Automobili - strade urbane	7.439,17	72,1%	72,1%
Incenerimento rifiuti solidi urbani	809,00	7,8%	79,9%
Motocicli > 50 cc - strade urbane	499,48	4,8%	84,8%
Terziario - Caldaie <50 MWth	447,65	4,3%	89,1%
Veicoli leggeri < 3.5 t - strade urbane	418,36	4,1%	93,2%
Veicoli pesanti > 3.5 t e autobus - strade urbane	379,24	3,7%	96,8%
Motocicli < 50 cc	309,66	3,0%	99,8%
Ferrovie	13,79	0,1%	100,0%
Veicoli fuori strada e macchine - giardinaggio	2,62	0,0%	100,0%
Totale (t/anno)	10.318,97	100%	

Tabella 5.2-8 Emissioni annue di monossido di carbonio (CO t/anno) nell'area urbana di Padova disaggregate per attività produttiva (Inventario CORINAIR 1990).

Attività produttiva	emissione t/anno	% assoluta	% cumulativa
Terziario - caldaie < 50 MWth	344,30	33,7%	33,7%
Automobili - strade urbane	299,45	29,3%	63,0%
Veicoli pesanti > 3.5 t e autobus - strade urbane	235,79	23,1%	86,1%
Incenerimento rifiuti solidi urbani	57,80	5,7%	91,8%
Veicoli leggeri < 3.5 t – strade urbane	47,13	4,6%	96,4%
Ferrovie	27,66	2,7%	99,1%
Motocicli > 50 cc - strade urbane	7,50	0,7%	99,8%
Motocicli < 50 cc	1,54	0,2%	100,0%
Totale (t/anno)	1.021,17	100%	-

Tabella 5.2-9 Emissioni annue di ossidi di azoto ( $NO_x$  t/anno) nell'area urbana di Padova disaggregate per attività produttiva (Inventario CORINAIR 1990).

Attività produttiva	emissione t/anno	% assoluta	% cumulativa
Motori a benzina - emissioni evaporative	1.076,97	23,56%	23,56%
Automobili - strade urbane	719,30	15,74%	39,30%
Altra verniciatura industriale	632,01	13,83%	53,12%
Uso di solventi domestici (eccetto verniciatura)	444,11	9,72%	62,84%
Industria della stampa	246,96	5,40%	68,24%
Stazioni di servizio (incl. rifornimento di veicoli)	207,90	4,55%	72,79%
Motocicli < 50 cc	182,70	4,00%	76,79%
Reti di distribuzione di gas	177,27	3,88%	80,66%
Sgrassaggio metalli	135,94	2,97%	83,64%
Verniciatura: uso domestico	133,23	2,91%	86,55%
Verniciatura: edilizia	109,55	2,40%	88,95%
Veicoli pesanti > 3.5 t e autobus - strade urbane	78,35	1,71%	90,66%
Motocicli > 50 cc - strade urbane	69,94	1,53%	92,19%
Pulitura a secco	68,84	1,51%	93,70%
Applicazione di colle e adesivi	55,52	1,21%	94,91%
Interramento di rifiuti	46,79	1,02%	95,94%
Veicoli leggeri < 3.5 t – strade urbane	46,69	1,02%	96,96%
Deparaffinazione di veicoli	44,51	0,97%	97,93%
Terziario - Caldaie < 50 MWth	40,64	0,89%	98,82%
Produzione di Pane	25,07	0,55%	99,37%
Produzione di Birra	10,60	0,23%	99,60%
Ferrovie	7,37	0,16%	99,76%
Pavimentazione stradale con asfalto	3,78	0,08%	99,85%
Produzione di alcolici	3,49	0,08%	99,92%
Incenerimento rifiuti solidi urbani	1,60	0,04%	99,96%
Produzione di vino	1,08	0,02%	99,98%
Veicoli fuori strada e macchine - giardinaggio	0,87	0,02%	100,00%
Totale (t/anno)	4.571,08	100%	-

Tabella 5.2-10 Emissioni annue di composti organici volatili non metanici (NMCOV t/anno) nell'area urbana di Padova disaggregate per attività produttiva (Inventario CORINAIR 1990).

Nelle figure seguenti sono rappresentate in forma grafica le curve cumulative relative al contributo percentuale di ciascuna attività alle emissioni di biossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ ), monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto ( $\text{NO}_x$ ), composti organici volatili non metanici (NMCOV) prodotti nell'area urbana di Padova (da Figura 5.2-7 a Figura 5.2-10). Si tratta degli stessi dati delle tabelle precedenti che, per facilità di lettura, sono riportati in dettaglio solo per le attività produttive che cumulativamente rappresentano circa il 90% delle emissioni (il restante 10% viene riferito sotto la voce *Altre attività*). Questo tipo di rappresentazione permette di individuare immediatamente le attività economiche che sono più importanti per contributo emissivo e quindi meritevoli di maggiore attenzione.

Per l' $\text{SO}_2$  il 90% delle emissioni è determinato solo da 3 attività produttive (caldaie, incenerimento rifiuti, veicoli pesanti), per il CO da 4 attività (auto, incenerimento rifiuti, motocicli e caldaie) e 4 anche per gli  $\text{NO}_x$  (caldaie, auto, veicoli pesanti, incenerimento rifiuti). Per i composti organici volatili non metanici, considerato anche l'insieme eterogeneo di specie chimiche presenti, il numero di attività che definiscono il 90% delle emissioni è superiore (11 in totale), tra le quali risultano però decisamente prevalenti il trasporto stradale, la verniciatura e l'uso di solventi domestici.

I dati risultano utili per individuare le attività economiche prioritarie per un intervento e/o controllo con una risoluzione spaziale che comprende approssimativamente la porzione di territorio urbano del Comune di Padova.

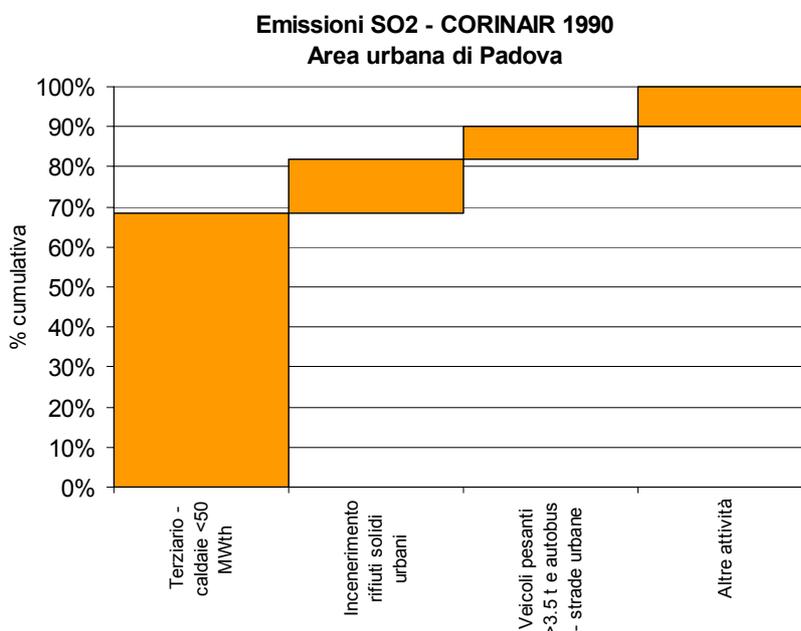


Figura 5.2-7 Area urbana di Padova: curva cumulativa percentuale delle emissioni di biossido di zolfo ( $\text{SO}_2$ ) disaggregate per attività produttiva (inventario CORINAIR 1990).

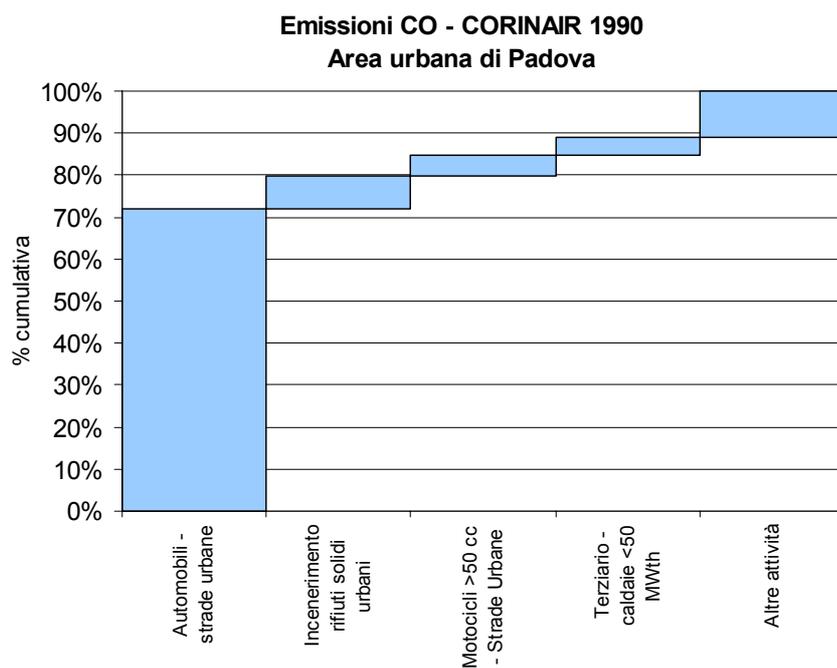


Figura 5.2-8 Area urbana di Padova: curva cumulativa percentuale delle emissioni di monossido di carbonio (CO) disaggregate per attività produttiva (inventario CORINAIR 1990).

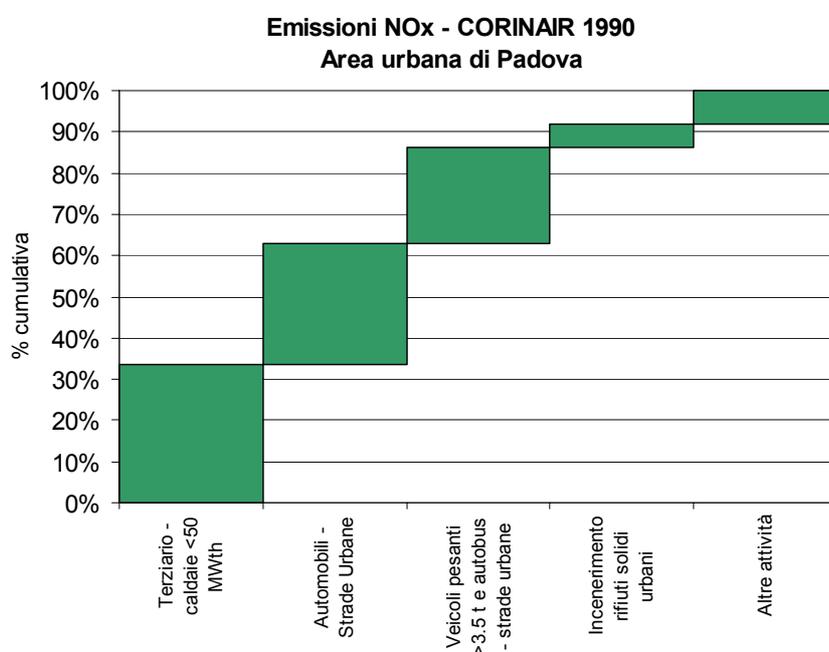


Figura 5.2-9 Area urbana di Padova: curva cumulativa percentuale delle emissioni di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>) disaggregate per attività produttiva (inventario CORINAIR 1990).

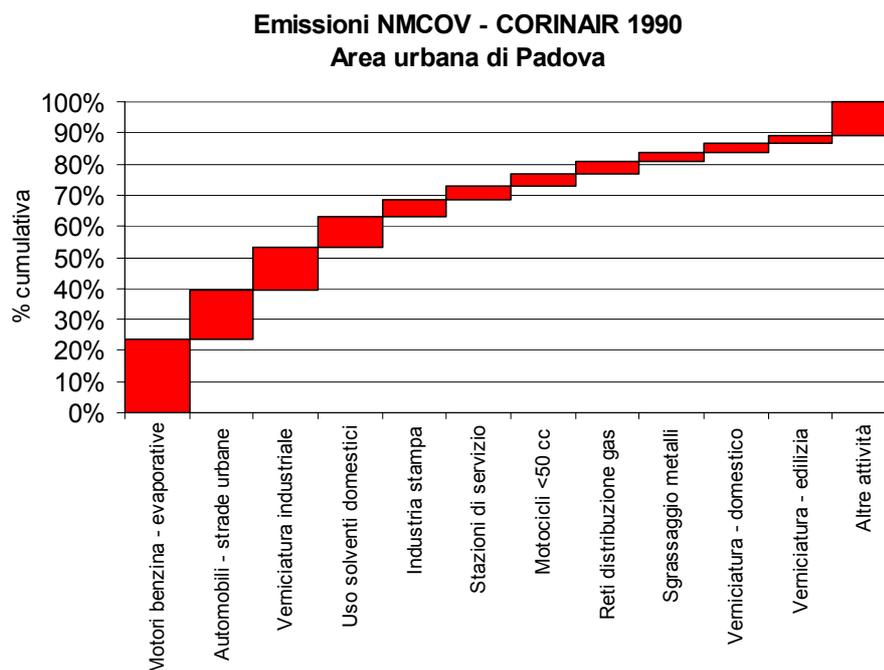


Figura 5.2-10 Area urbana di Padova: curva cumulativa percentuale delle emissioni di composti organici volatili non metanici (NMCOV) disaggregate per attività produttiva (inventario CORINAIR 1990).

### 5.2.8 Conclusioni

La valutazione e il giudizio finale sulla qualità dell'aria a Padova verrà prima riferito alle stime sulle fonti di pressione e successivamente ai dati sullo stato della qualità dell'aria monitorato con stazioni fisse e campagne di misura in specifici punti dell'area urbana.

La discussione sulle *fonti di pressione* sarà incentrata sulla valutazione dei flussi di traffico lungo le sezioni stradali dell'area urbana e le conseguenti emissioni di inquinanti stimati con la metodologia COPERT III. La georeferenziazione delle emissioni di CO, COV, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, NO<sub>x</sub>, e PM<sub>10</sub> stimate per il *giorno ferialo tipo* durante il periodo invernale ha permesso di individuare gli archi critici dell'area urbana soggetti alla maggiore pressione ambientale dovuta al traffico veicolare.

Una trattazione più estesa che comprende anche la valutazione di un "indice di esposizione" della popolazione ai differenti inquinanti prodotti dal traffico veicolare è inclusa nel Rapporto Annuale sullo stato della qualità dell'aria nel Comune di Padova (ARPAV, 2002).

Rinviando alle Tavole di cartografia tematica allegate (da Tavola 5.2.1 a Tavola 5.2.5) e al paragrafo 5.2.6 per l'individuazione delle singole sezioni stradali con le maggiori emissioni di inquinanti, riportiamo di seguito solo alcune considerazioni di carattere generale.

La classe *moto* (ciclomotori e motocicli) è la tipologia veicolare con i fattori medi di emissione più elevati in assoluto per *monossido di carbonio* e *composti organici volatili*

(tra cui il *benzene*); *bus* e *pullman* sono invece le classi che hanno fattori di emissione più elevati per *ossidi di azoto* e *polveri fini*. Questa valutazione deve però essere rapportata al numero effettivo di veicoli circolanti; se ci riferiamo infatti alla stima del quantitativo totale di inquinanti prodotto giornalmente nell'area urbana dall'insieme dei veicoli circolanti (paragrafo 5.2.4), la classe veicolare responsabile del maggior contributo inquinante risulta, in modo pressoché esclusivo, costituita dalle *auto* che emettono circa il 73% del *monossido di carbonio*, il 63% degli *ossidi di azoto* e il 61% dei *composti organici volatili* (tra cui il *benzene*). Da segnalare invece il rilevante contributo dei *mezzi commerciali* (pesanti, leggeri e autoarticolati) per le emissioni di *polveri fini* (circa il 60% del totale rispetto al 30% circa delle auto).

Oltre alla regolamentazione dei fattori di emissione dei singoli veicoli, definita dalla normativa europea già in vigore e di prossimo recepimento, è dunque evidente l'importanza di una gestione sostenibile della mobilità urbana di merci e persone.

Riguardo a quest'ultimo punto appaiono particolarmente significativi i risultati delle stime sul "costo ambientale"<sup>1</sup> medio del trasporto persone nell'area urbana di Padova. Per una dettagliata descrizione della metodologia di calcolo si rimanda al Rapporto Annuale sulla qualità dell'aria nel Comune di Padova (ARPAV, 2002) mentre in questo contesto verranno riportati solo i dati di sintesi.

Secondo tali stime un chilometro percorso nell'area urbana del Comune di Padova con un'auto privata "costa" in termini di *composti organici volatili* 22 volte di più rispetto ad un mezzo pubblico; questo significa che per ogni passeggero trasportato su un'auto il "costo" in termini di inquinamento è pari a 0,88 grammi di composti organici volatili per Km contro 0,05 grammi per Km percorso su un autobus.

Se ci riferiamo invece alle *polveri fini* il "costo ambientale" del mezzo privato è doppio di quello pubblico (il rapporto autobus/auto è di 1 a 2); un passeggero trasportato su un'auto è "causa" di una emissione pari a 0,02 g di polveri fini al Km mentre un passeggero che viaggia su un autobus ne "emette" esattamente la metà (0,01 g al Km).

Se questi dati appaiono per certi aspetti scontati e già ampiamente noti, sono comunque utili per evidenziare come una mobilità urbana sostenibile debba necessariamente essere incentrata su una ripartizione modale che prevede l'utilizzo di mezzi *alternativi* all'auto privata.

L'analisi degli scenari futuri di sostituzione del parco circolante, presentata in dettaglio nel Rapporto Annuale sullo stato della qualità dell'aria (ARPAV, 2002), ha evidenziato come un sostanziale rinnovo del parco veicolare può contribuire ad una significativa riduzione delle emissioni inquinanti.

Il rinnovo del parco circolante e l'adeguamento ai nuovi standard europei sulle emissioni dei veicoli a motore non può comunque, di per sé, garantire la soluzione al problema dell'inquinamento atmosferico urbano; rappresenta infatti solo una delle possibili misure che integrate agli interventi strutturali possono portare ad una efficace prevenzione dell'inquinamento.

---

<sup>1</sup> Cfr. nota 1 al paragrafo 5.2.4 Indicatori e monitoraggio della qualità dell'aria.

Passando all'analisi dello *stato della qualità dell'aria* ricavato dai dati forniti della rete di monitoraggio presente nel Comune di Padova, riassumiamo le conclusioni prima sugli inquinanti *convenzionali* e successivamente sui *non convenzionali*.

Gli *inquinanti convenzionali* biossido di zolfo (SO<sub>2</sub>) e monossido di carbonio (CO) rappresentano attualmente i parametri di valutazione con minore rilevanza ambientale; le concentrazioni medie sono sempre ampiamente al di sotto dei limiti previsti dalla normativa. Al contrario, il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) e l'ozono (O<sub>3</sub>) sono gli inquinanti convenzionali che dovranno essere monitorati con maggiore attenzione considerando anche le possibili implicazioni riguardo la formazione di 'smog fotochimico'.

Gli *inquinanti non convenzionali* rappresentano i parametri di qualità dell'aria che devono essere più attentamente considerati per una valutazione complessiva dello stato dell'ambiente urbano. A fronte di questa valutazione complessiva è comunque necessario tracciare le opportune distinzioni.

Il *benzene* (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) ha evidenziato in questi ultimi anni un significativo trend in diminuzione delle concentrazioni ambientali medie e tra gli inquinanti di tipo non convenzionale sembra il parametro che per il futuro desta le minori preoccupazioni. Le concentrazioni medie annuali registrate presso le stazioni fisse a partire dal 1999 sono risultate inferiori all'obiettivo di qualità previsto dalla normativa. Il monitoraggio in discontinuo in tutti gli altri punti distribuiti nell'area urbana di Padova ha evidenziato valori di concentrazione confrontabili con i valori medi monitorati presso le stazioni fisse; un unico punto (Via Pontevigodarzere) è risultato con valori di concentrazione media annuale superiori all'obiettivo di qualità. Rispetto a questa misura è necessario precisare che si tratta di una concentrazione media rappresentativa di una zona limitata dell'area urbana di Padova e quindi come tale non completamente rappresentativa dell'esposizione media della popolazione residente. E' comunque indubbio che il problema "puntuale" tende ad assumere connotati "cronici" e quindi come tale è meritevole di ulteriore attenta considerazione; nel corso del 2002 è stata programmata una campagna di misura che ha l'obiettivo di contestualizzare rispetto al resto del territorio adiacente la misura puntuale e quindi definire in modo più appropriato il valore medio d'area rappresentativo dell'esposizione della popolazione residente nella zona di Pontevigodarzere.

I problemi ambientali più pressanti riguardano il *benzo(a)pirene* (IPA) e le *polveri fini* (PM<sub>10</sub>).

La misura del *benzo(a)pirene* è utilizzata come indicatore degli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) che costituiscono una famiglia di composti chimici ad accertata cancerogenicità. Le concentrazioni medie annuali di *benzo(a)pirene* monitorate nel corso del 2001 presso le stazioni fisse sono risultate superiori all'obiettivo di qualità previsto dalla normativa; anche nel 2000 il valore medio di benzo(a)pirene registrato presso le stazioni fisse è risultato superiore ai limiti di legge. Anche se i dati registrati nell'area urbana di Padova sono sostanzialmente confrontabili con i valori medi di concentrazione di realtà urbane comparabili, sono comunque da considerare con attenzione vista la pericolosità delle specie chimiche coinvolte.

La *frazione fine delle polveri aerodisperse* (PM<sub>10</sub>) ha evidenziato un dato medio tendenziale per il 2001 superiore all'obiettivo di qualità fissato dalla normativa. La

concentrazione di polveri fini rappresenta attualmente il parametro di valutazione, sia a breve che a lungo termine, più significativo per il monitoraggio della qualità dell'aria nel Comune di Padova. La rilevanza ambientale e sanitaria del problema è accresciuta anche dall'effetto 'sinergico' dovuto all'interazione del particolato con gli altri inquinanti (le polveri fini con enorme capacità dispersiva fungono da 'mezzo di trasporto' per le altre specie chimiche). La frazione superfine delle polveri è inoltre connessa strettamente ai problemi dell'inquinamento fotochimico. Esiste infatti una complessa serie di reazioni che portano alla formazione di particelle carboniose di aerosol secondario a partire da componenti gassose (Facchini, 2000).

Concludendo in estrema sintesi, gli inquinanti che nel futuro dovranno essere più attentamente monitorati sono :l'ozono (durante il periodo estivo), il biossido di azoto, il benzene, il benzo(a)pirene e le polveri fini (durante il periodo invernale).

La definizione di un tipico andamento stagionale medio della massima concentrazione di inquinanti non deve comunque indurre nell'erronea considerazione che il problema dell'inquinamento atmosferico possa essere affrontato solo con provvedimenti contingenti e quindi misure limitate nel tempo.

E' infatti necessario entrare nella prospettiva di affrontare e valutare in modo integrato tutte le problematiche dell'inquinamento atmosferico con un programma di intervento diffuso su tutto il territorio e coordinato nel tempo.

## 5.2.9 Bibliografia

- ARPAV, 2002. Qualità dell'aria nel Comune di Padova. Rapporto Annuale 2001. *A cura di*: M. Bressan & K. Lorenzet, Dipartimento Provinciale di Padova - Osservatorio Regionale Aria, ARPAV, Padova.
- ARPAV, 2001. Qualità dell'aria nel Comune di Padova. Rapporto Annuale 2000. *A cura di*: M. Bressan & K. Lorenzet, Dipartimento Provinciale di Padova - Osservatorio Regionale Aria, ARPAV, Padova.
- ARPAV, 2000. Qualità dell'aria nel Comune di Padova. Rapporto Annuale 1999. *A cura di*: A. Benassi, F. Bergoglio, F. Liguori, K. Lorenzet, G. Maffeis & L. Susanetti, Dipartimento Provinciale di Padova - Osservatorio Regionale Aria, ARPAV, Padova.
- Cocheo V., Sacco P., Boaretto C., De Saeger E., Ballesta P.P., Skov H., Goelen E., Gonzales N. & Caracena A., 2000. Urban benzene and population exposure. *Nature* 404: 141-142.
- Cirillo M., De Lauretis R. & Del Ciello R., 1996. Review study on European urban emission inventories. Report to the Environment Agency from the European Topic Centre on Air Emission.
- Clini C., Gasparini G., La Grotta P., Pasella D., 2000. Le politiche e le iniziative per migliorare la qualità dell'ambiente nelle città. Ministero dell'Ambiente, Roma.
- Direttiva 00/69/CE del 16 novembre 2000 concernente i valori limite per il benzene e il monossido di carbonio nell'aria ambiente. *GUCE L313/12*.

- Direttiva 99/30/CE del 29 giugno 1999 riguardante Inquinamento e tutela dell'atmosfera - aspetti generali. *GUCE L163*.
- DLgs 04/08/99, n. 351. Attuazione della direttiva 96/62/CE in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente. *GU 13/10/99, n. 241*.
- DM 02/04/02 n. 60. Recepimento della direttiva 99/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 00/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio. *Suppl. Ord. GU 13/04/02, n. 87*.
- DM 21/04/99 n. 163. Regolamento recante norme per l'individuazione dei criteri ambientali e sanitari in base ai quali i sindaci adottano le misure di limitazione della circolazione. *GU 11/06/99, n. 135*.
- DM 16/05/96. Attivazione di un sistema di sorveglianza dell'inquinamento da ozono. *GU 13/07/96, n. 163*.
- DM 25/11/94. Aggiornamento delle norme tecniche in materia di limiti di concentrazione e di livelli di attenzione e di allarme per gli inquinamenti atmosferici nelle aree urbane e disposizioni per la misura di alcuni inquinanti di cui al DM 15 aprile 1994. *GU 13/12/94, n. 290*.
- DM 20/05/91. Criteri per la raccolta dei dati inerenti la qualità dell'aria. *GU 31/05/91, n. 126*.
- DM 12/07/90. Linee guida per il contenimento delle emissioni inquinanti degli impianti industriali e la fissazione dei valori minimi di emissione. *Suppl. Ord. GU 30/07/91, n. 171*.
- DPCM 28/03/83. Limiti massimi di accettabilità delle concentrazioni e di esposizione relativi ad inquinanti dell'aria nell'ambiente esterno. *Suppl. Ord. GU 28/05/83, n. 145*.
- DPR 24/05/88, n. 203. Attuazione delle direttive CEE numeri 80/79, 82/884, 84/360 e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell'art. 15 della L. 16 aprile 1987, n. 183. *Suppl. Ord. GU 16/06/88, n. 140*.
- EMEP/CORINAIR, 1999. Atmospheric Emission Inventory Guidebook, 2<sup>nd</sup> edition, September 1999.
- Facchini M.C., 2000. Il particolato fine in area urbana: sorgenti, composizione ed interazione con l'inquinamento fotochimico. *In: Arie di Città, Atti del Convegno Nazionale ANPA, Bologna*.
- JRC/EEA/EC DGXI, 1998. Guidance report on preliminary assessment under EC Air Quality Directives. *A cura di: R. Van Aalst, L. Edwards, T. Pulles, E. Saeger, M. Tombrou, D. Toennesen. Joint Research Centre Ispra, European Environmental Agency, DG XI Commissione Europea*.
- Ntziachristos L. & Samaras Z., 1999. COPERT III Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport - Methodology and Emission Factors, Final Draft Report, European Environment Agency, European Topic Centre on Air Emissions.
- Ritter M., 1997. CORINAIR 1994 Inventory. European Environment Agency. Topic Report 8., European Topic Centre on Air Emissions.
- Valerio F., Pala M. & Stella A., 2001. Esposizione a benzene in aree urbane. *Ambiente*,

*Risorse, Salute 81: 6-9.*

WHO, 1987. Air quality guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series 23, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen.

WHO, 1999. Air quality guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen (*in stampa*).