

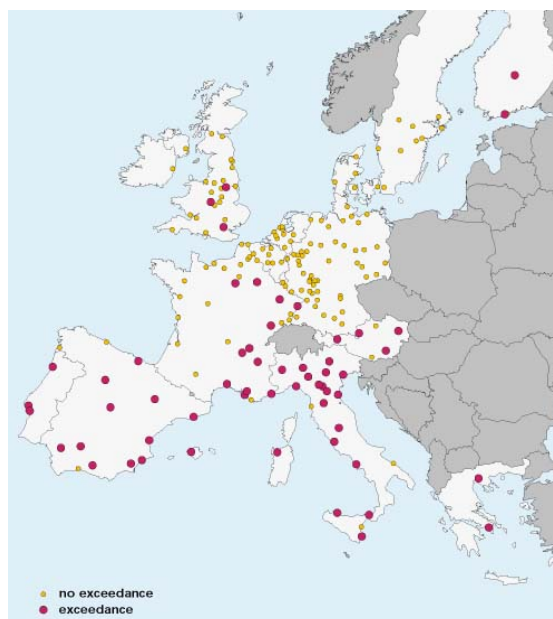
8 GLI INQUINANTI NON TRADIZIONALI

8.1 Introduzione

La presenza di benzene e di idrocarburi policiclici aromatici (IPA) è un problema rilevante in tutti i grandi centri urbani e nelle zone caratterizzate da un'elevata industrializzazione e da arterie stradali intensamente frequentate.

Il problema è stato affrontato a livello comunitario sia con direttive, adottate dagli stati membri fra cui l'Italia, volte a ridurre il contributo del traffico veicolare (imposizione della marmitta catalitica, riduzione del tenore del benzene nei combustibili), sia con i programmi Auto Oil. L'efficacia di tali disposizioni è stata parzialmente inficiata dal progressivo aumento del parco auto circolante. Dai dati pubblicati dal Rapporto ambientale n.12 dell'agenzia Europea dell'Ambiente si nota come il problema del superamento delle soglie di concentrazione per il benzene sia diffuso in tutta Europa (Figura 8-1), in particolare nei paesi del Sud Europa, fra cui l'Italia, la Spagna e parte della Francia. Si stima che la percentuale di popolazione europea esposta a valori di concentrazione di benzene superiori allo standard sia pari al 50%.

Figura 8-1: superamenti degli standard per il benzene. Anno di riferimento: 1995. Valore dello standard $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, come media annuale. (fonte: EEA Agenzia Europea per Ambiente, Centro Tematico europeo per la Qualità dell'Aria - ETC/AQ).



Il dipartimento di Verona dell'ARPA Veneto conduce già da diversi anni (dal 1996 per il benzene, dal 1997 per gli IPA) campagne di misura di questi inquinanti, sia nella città di Verona che in diversi siti della Provincia. In questo capitolo verranno descritti i risultati di queste campagne, in particolare verranno evidenziate le criticità e le problematiche ad esse connesse.

8.2 Il benzene

Il benzene (formula chimica C_6H_6) è il più semplice dei composti organici aromatici: è un liquido incolore dal caratteristico odore pungente che diventa irritante a concentrazioni elevate e che volatilizza facilmente a temperatura ambiente.

Il benzene è utilizzato in numerosi processi industriali come materia prima per la produzione di composti secondari, che a loro volta rappresentano i costituenti di plastiche, resine, detergenti,

pesticidi. Nella benzina è utilizzato come antidetonante al posto del piombo. La legge italiana prevede che il contenuto di benzene nei combustibili non superi l'1% in volume.

Il benzene presente nell'aria ambiente è prevalentemente di origine antropica e deriva principalmente da processi di combustione incompleta (emissioni industriali, veicoli a motore, incendi). La maggiore fonte emissiva è rappresentata dai veicoli a motore alimentati a benzina, i quali emettono benzene oltre che dal tubo di scappamento, dal serbatoio e dal carburatore. In questi ultimi due casi si tratta di perdite dovute all'evaporazione legate cioè alla volatilità del combustibile ed ai fenomeni fisici che la favoriscono.

In specifici studi è stato evidenziato come motori costruiti con diverse tecnologie emettono un volume variabile di composti organici volatili non metanici (COVNM), fra cui il benzene. La distribuzione relativa delle specie chimiche emesse allo scarico rimane invece la stessa. Questo significa che la percentuale di benzene emessa, rispetto al totale dei COVNM, non varia significativamente al variare del tipo di motore, mentre è strettamente legata alla formulazione della benzina.

L'introduzione della marmitta catalitica (direttiva 91/441/EEC) ha comportato un'importante diminuzione delle emissioni di composti organici non metanici. Un altro dato importante è il notevole contributo emissivo dei ciclomotori con cilindrata inferiore a 50 cl e delle autovetture a benzina non catalizzate.

8.2.1 La normativa

Il decreto ministeriale n. 60 dell'aprile 2002 ha recepito la Direttiva CEE 69/2000 che fissa per il benzene un valore limite per la protezione della salute umana pari a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come concentrazione media annua. Tale limite deve essere raggiunto progressivamente entro il 1 gennaio 2010. Fino al 31 gennaio 2005 il limite in vigore è pari a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, esso viene ridotto progressivamente fino a raggiungere il valore di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ al 1 gennaio 2010.

8.2.2 Effetti sulla salute

Esposizioni a concentrazioni elevate di benzene comportano danni rilevanti alla salute quali:

- danni ematologici (anemie)
- danni genetici (alterazioni cromosomiche e geniche)
- effetti oncogeni.

Il benzene è stato classificato dalla IARC (International Agency for Research on Cancer) fra le sostanze i cui effetti cancerogeni sono certi (gruppo 1).

Gli effetti di esposizioni prolungate a concentrazioni relativamente basse (come quelle che si misurano nell'atmosfera dei centri urbani) non sono ancora stati chiariti, in particolare la relazione fra esposizione al benzene e rischio di leucemia. Gli organismi scientifici nazionali ed internazionali ritengono sia opportuno adottare un approccio cautelativo, viene quindi accettato il così detto modello lineare senza soglia, cioè si suppone che a qualsiasi concentrazione, seppur bassa, sia associato un rischio, e che il rischio aumenti linearmente all'aumentare dell'esposizione.

Queste considerazioni sono alla base della determinazione del valore limite per la protezione della salute posto pari a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

8.2.3 Le misure

• Le misure con campionatori attivi

Presso la stazione di rilevamento situata a Verona, in Corso Milano, viene effettuato il prelievo dell'aria con campionatori attivi (fiale di carbone attivo) con cadenza di campionamento di 24 ore. La concentrazione di benzene viene poi determinata in laboratorio tramite analisi gascromatografica con rivelatore FID. Il risultato delle misure degli ultimi tre anni (2000, 2001 e 2002) è riportato in Figura 8-2: le concentrazioni più elevate si riscontrano nei mesi invernali, in cui le particolari condizioni meteorologiche impediscono la dispersione degli inquinanti. Dall'analisi della Tabella 8-1 emerge come il limite annuale pari a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, non sia mai stato superato. Tale valore è stato superato

episodicamente nel periodo invernale: i valori massimi sono stati rilevati infatti in gennaio e febbraio (fino a $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ il giorno 11 febbraio 2000).

Figura 8-2: andamento delle concentrazioni giornaliere di benzene in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, rilevate presso la postazione di Verona - Corso Milano negli anni 2000, 2001 e 2002.

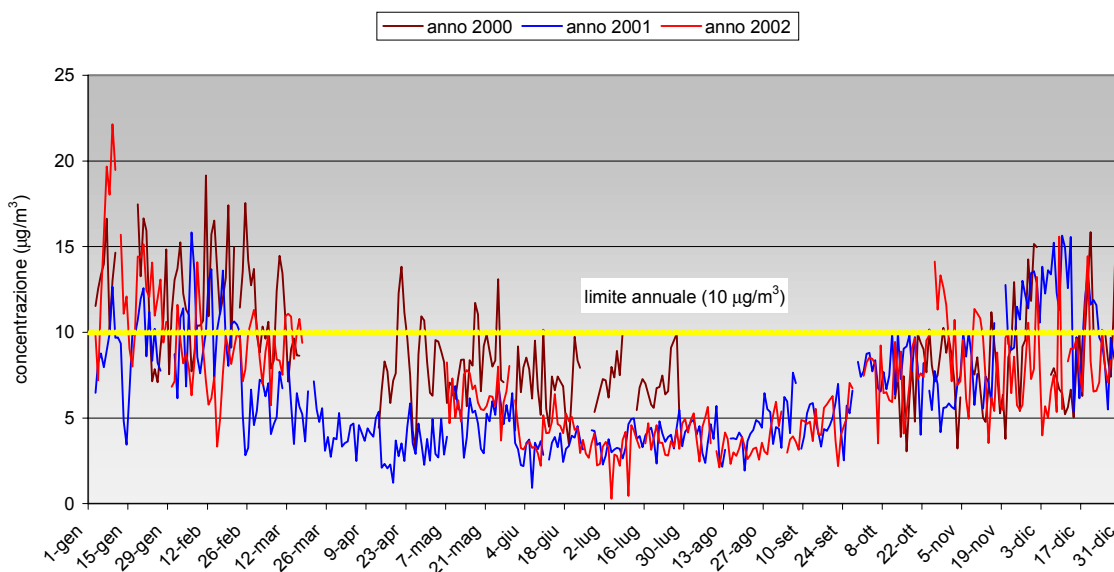
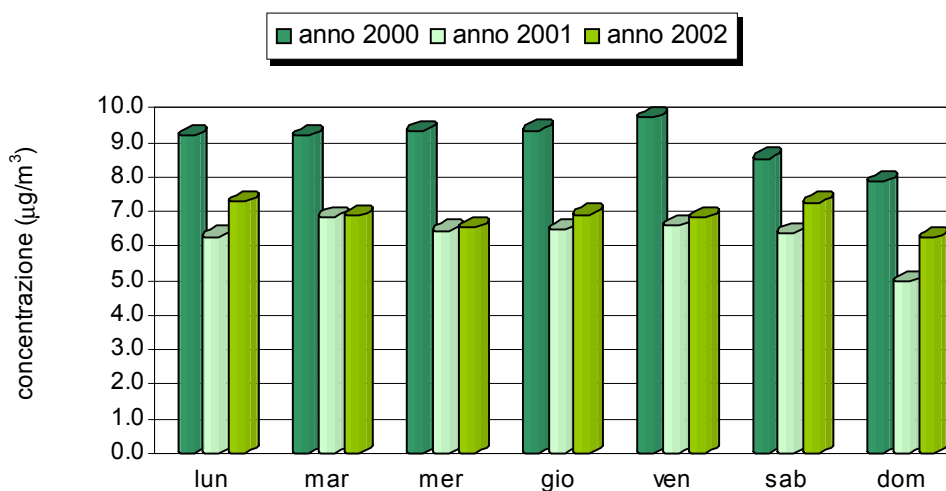


Tabella 8-1: valori medi, massimi e minimi di benzene in aria misurati presso la postazione di Verona – Corso Milano. Fra parentesi, in corsivo, i giorni in cui sono stati rilevati i valori massimi e minimi. Le concentrazioni di benzene sono espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

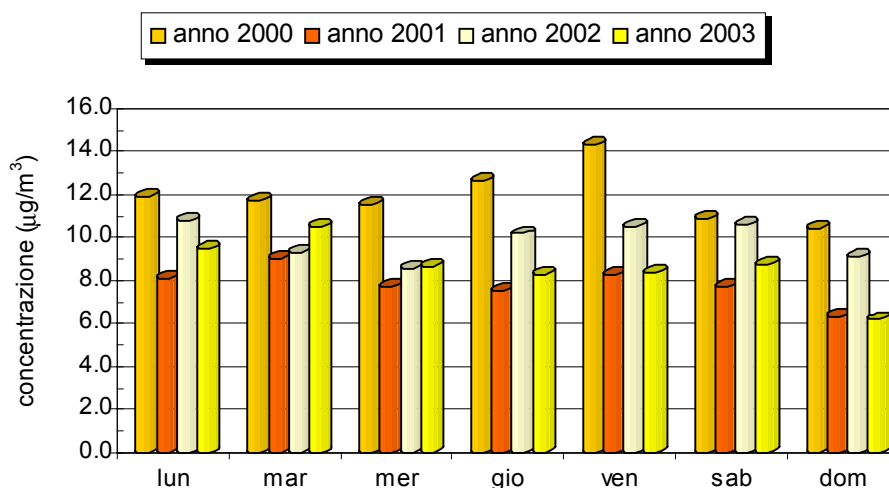
	Anno 2000	Anno 2001	Anno 2002
Valore medio	9.1	6.3	6.8
Valore minimo	3.1 (15 ottobre)	0.9 (6 giugno)	0.6 (4 luglio)
Valore massimo	19.2 (11 febbraio)	15.8 (6 febbraio)	22.2 (9 gennaio)

Figura 8-3: settimana tipo delle concentrazioni di benzene rilevate negli anni 2000-2002 presso la postazione di Verona – Corso Milano. Con il termine "domenica" si indicano anche i giorni festivi infrasettimanali.



La relazione fra emissioni da traffico veicolare e concentrazione di benzene emerge dai grafici di Figura 8-3 e di Figura 8-4 in cui sono riportate le concentrazioni medie giornaliere riferite al medesimo giorno della settimana, calcolate su base annuale. Tale rappresentazione dei dati, denominata settimana tipo, permette di evidenziare i giorni "più critici", in cui si rilevano i livelli maggiori di benzene. Tali giorni sono tipicamente il giovedì ed il venerdì, mentre la domenica, caratterizzata da un minor traffico veicolare, si rilevano valori inferiori di benzene. Analogamente se si analizza la settimana tipo riferita al solo periodo gennaio-marzo: il calo della concentrazione alla domenica e nei giorni festivi è evidente in tutto il periodo considerato, dal 2000 al 2003.

Figura 8-4: settimana tipo delle concentrazioni di benzene rilevate presso la postazione di Verona - Corso Milano nei mesi di gennaio, febbraio, marzo degli anni dal 2000 al 2003. Con il termine domenica sono stati indicati anche i giorni festivi infrasettimanali.



• Le campagne di misure con campionatori passivi (Radielli)

Dal 2000 sono iniziate campagne di misura delle concentrazioni di benzene tramite l'utilizzo di campionatori passivi denominati "Radielli". Tali campionatori sono costituiti da un corpo diffusivo cilindrico in policarbonato e polietilene nel quale è inserita una cartuccia assorbente, in rete di acciaio inossidabile, contenente carbone attivo. Il campionario viene esposto all'aria ambiente per un periodo variabile (10-20 giorni), successivamente le sostanze organiche volatili assorbite sul carbone sono estratte con solfuro di carbonio ed analizzate in laboratorio con metodi gascromatografici. L'utilizzo di tale metodica permette di studiare la distribuzione del benzene su aree vaste, senza i vincoli creati dalla necessità di disporre di un luogo di posizionamento riparato e della disponibilità dell'allacciamento alla rete elettrica.

Nel corso dell'anno 2000 è stata analizzata la distribuzione del benzene sull'area urbana di Verona. Sono stati posizionati 23 rivelatori in diversi luoghi del Comune, sia in prossimità di arterie di grande traffico che in zone residenziali, per un totale di 35 settimane di rilevamento e di 515 campioni prelevati ed analizzati.

Nell'anno 2001 è stata ripetuta la campagna di misura in alcune delle postazioni ed inoltre sono state estese le misure anche all'ambito provinciale, nei comuni a più alta densità abitativa e con zone industriali sviluppate. Il periodo di monitoraggio non ha coperto tutto l'arco dell'anno: in particolare è stato monitorato solo in parte il periodo invernale, il più critico dal punto di vista dell'accumulo degli inquinanti negli strati più bassi dell'atmosfera. E' comunque possibile effettuare alcune considerazioni: le zone a più alta concentrazione sono quelle in prossimità delle arterie di grande traffico (postazioni di Bussolengo, San Martino B. A., Pozzo di San Giovanni Lupatoto.) dove i livelli di benzene rilevati sono confrontabili con quelli misurati nello stesso periodo nelle postazioni di tipo B collocate all'interno del comune di Verona. Nei centri abitati i valori di concentrazione più elevati sono stati misurati nei mesi di ottobre e novembre; superamenti dell'obiettivo di qualità di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sono stati rilevati in una sola postazione (Bussolengo).

Nell'anno 2002 la campagna di misura ha interessato la città di Verona e la provincia. In particolare sono state ripetute le misure in alcune stazioni cittadine quali Piazza Bernardi, via San Giacomo, via

Mameli, Corso Milano, Cason, sono state aggiunte alcune nuove stazioni in quartieri residenziali periferici quali Montorio, Avesa, San Massimo. In provincia sono state scelte postazioni in prossimità delle centraline fisse di monitoraggio della rete di qualità dell'aria. I risultati complessivi di questi tre anni di monitoraggio sono stati riportati nella Tabella 8-2. Anche nell'anno 2002 la concentrazione media non ha superato il valore limite di $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nelle postazioni analizzate: numerosi sono invece i superamenti del limite di $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ che entrerà in vigore a partire dal 2010.

Tabella 8-2: risultati delle campagne di monitoraggio della concentrazione di benzene tramite l'utilizzo di campionatori passivi, condotte negli anni 2000, 2001 e 2002. In grigio sono stati contrassegnate le stazioni di misure all'interno del Comune di Verona.

Anno 2000: dal 20/01/2000 al 30/12/2000		Anno 2001: dal 09/04/2001 al 23/11/2001		Anno 2002: dal 07/03/2002 al 07/04/2003	
Postazione	conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Postazione	conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Postazione	conc. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
L.go Calderara	8	Piazza Bernardi	4	P.zza Bernardi	4
Via S.Giacomo	6	Via San Giacomo	3	Via San Giacomo	3
Via Mameli	10	Via Mameli	7	Via Mameli	6
C.so Milano	8	C.so Milano	6	C.so Milano	6
Loc. Cason	2	Loc. Cason	2	Loc. Cason	2
Barriera B.go Roma	12	Barriera B.go Roma	9	Barriera B.go Roma	8
P.le Cadorna	6	Parona - Scuola Media	5	Parona - Scuola Media	4
P.zza Viviani	6			P.zza Viviani	4
P.le XXV Aprile	7			P.zza XXV Aprile	5
P.le Stefani	7	Bussolengo	7	Avesa - P.zza Avesa	3
P.le Porta Vescovo	9	Peschiera	2	P.ta Vescovo	5
Via Col.Fincato	6	San Giovanni Lupatoto	5	Montorio - P.zza Buccari	4
Via Mantovana	10	San Giovanni Lup. – loc. Pozzo	5	Via Mantovana	7
V.le delle Nazioni	7	Cerea	3	Via Belluzzo	5
Via Pallone	10	Legnago	2	Via Emilei	7
Via U.d'Italia	8	Domegliara	3	Lg.adige Sammiceli	5
Via Baganzani	6	Cologna Veneta	2	S.Massimo - P.zza Chiesa	4
Porto S.Pancrazio	7	Villafranca (centro)	4		
Via Pisano	8	Villafranca – ZAI	3	Villafranca	4
Via Tommaseo	5	Bovolone	2	Bovolone	3
P.zza Risorgimento	7	San Bonifacio	2	San Bonifacio	4
Via Sansovino	8	San Martino Buon Albergo	6	S.Martino BA	3
San Zeno	6	Legnago – loc. Porto	3	Legnago	3

In Figura 8-5 sono confrontate le concentrazioni di benzene misurate in alcune postazioni del comune di Verona nel periodo aprile–novembre, anni 2000-2002: l'andamento è legato sia alle caratteristiche meteorologiche degli anni presi in esame, sia alla tipologia di strada. Le concentrazioni maggiori si rilevano sempre presso le arterie più trafficate e in situazioni, come Barriera Borgo Roma, dove il traffico è rallentato per la presenza di un incrocio semaforico.

In Figura 8-6 è raffigurata la distribuzione della concentrazione di benzene nell'ambito urbano di Verona: il periodo di misura va da marzo 2002 a marzo 2003. Si tratta di una forma di rappresentazione indicativa in quanto le concentrazioni di benzene possono mostrare variazioni significative in ambiti spaziali limitati dovuti a situazioni locali particolari (ad esempio traffico intenso, scarsa scorribilità, presenza di un semaforo).

Figura 8-5: andamento della concentrazione di benzene misurata tramite rivelatori passivi negli anni 2000, 2001, 2002 da aprile a novembre, in alcune postazioni del comune di Verona.

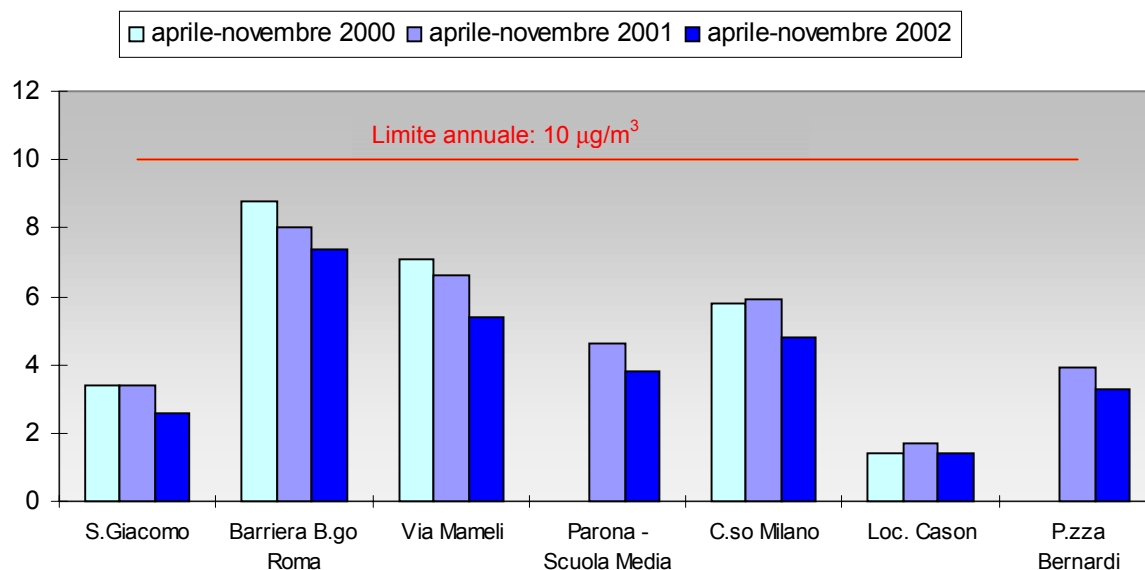
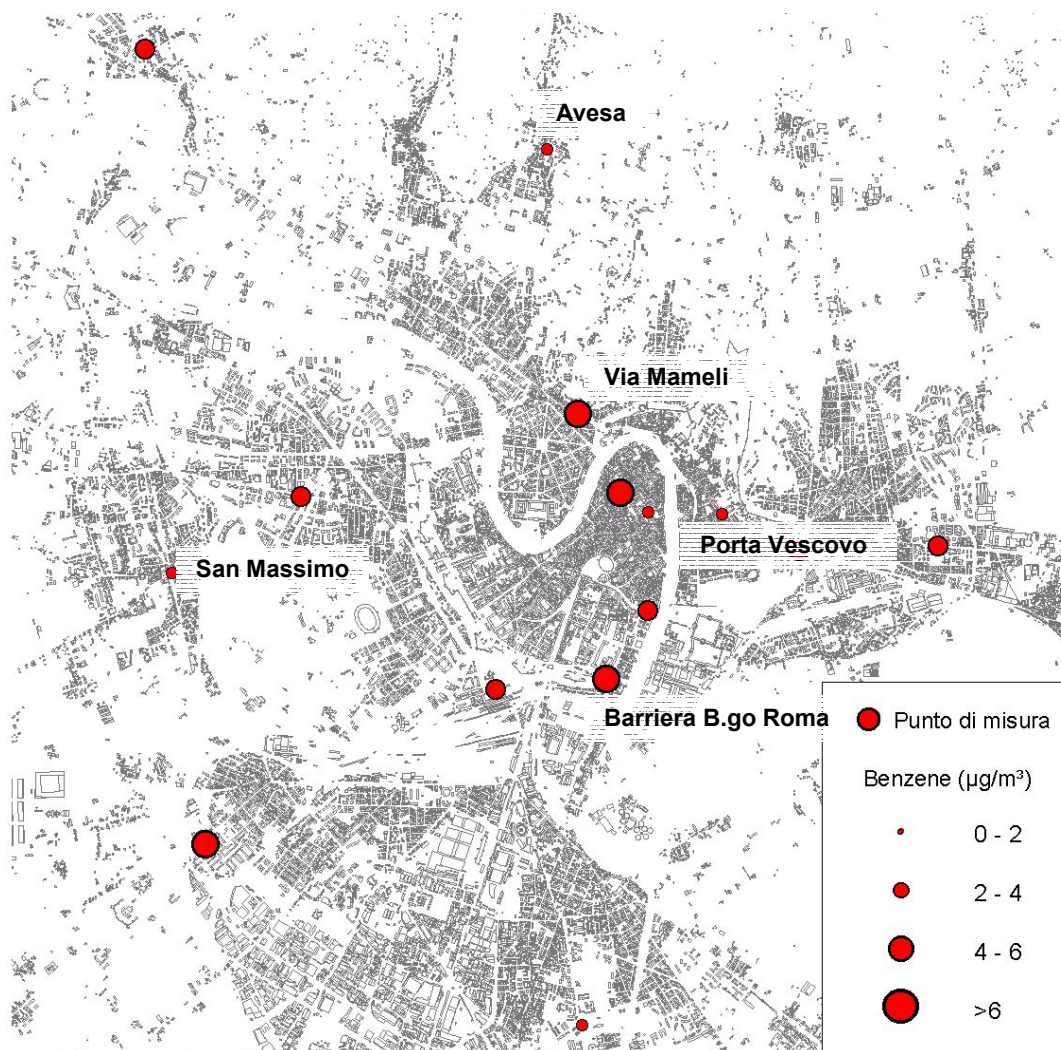


Figura 8-6: mappa della concentrazione media annuale di benzene (in µg/m³) misurata con rivelatori passivi. In verde sono indicati i punti di misura. Periodo di riferimento 03/02 - 03/03.



8.3 Gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA)

Sono costituiti da due o più anelli aromatici condensati e 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. Nelle aree rurali, anche i fuochi di sterpaglie e resti di potature contribuiscono in misura rilevante all'emissione di IPA. Le concentrazioni ambientali medie nell'aria sono state stimate in un intervallo variabile tra 1-10 ng/m³. Gli idrocarburi policiclici aromatici sono molto spesso associati alle polveri sospese, in quanto prodotti dalle stesse sorgenti, tanto che risulta che il particolato atmosferico sia una delle principali fonti di esposizione a IPA (Ist. Sup. Sanità, 1991). Poiché è stato evidenziato che la relazione tra benzo(a)pirene (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.

8.3.1 La normativa

La normativa vigente (DM 25/11/94) non stabilisce un limite per gli IPA (benzo-a-pirene), ma un "obiettivo di qualità", corrispondente ad un valore della media mobile annuale di 1 ng/Nm³:

8.3.2 Effetti sulla salute

Nell'aerosol urbano sono generalmente associati alle particelle con diametro aerodinamico minore di 2 micron e quindi in grado di raggiungere facilmente la regione alveolare del polmone e da qui il sangue e i tessuti. Oltre ad essere irritanti per naso, gola ed occhi, sono riconosciuti per le loro proprietà mutagene e cancerogene. Essendo accertato il potere cancerogeno di tutti gli IPA a carico delle cellule del polmone, sono stati inseriti nel gruppo 1 della classificazione IARC. È possibile che favoriscano anche lo sviluppo dell'arteriosclerosi. (OMS, 1996).

8.3.3 Le misure

Il Dipartimento ARPAV Provinciale di Verona misura la concentrazione di IPA, intesa come concentrazione di benzo(a)pirene, dall'anno 1997 sui filtri di polveri totali sospese, campionati presso la postazione di Corso Milano,.

Nella Tabella 8-3 sono riportate le concentrazioni medie annue rilevate negli anni 1999-2002: i valori rilevati sono sempre superiori al valore dell'obiettivo di qualità stabilito dalla normativa pari a 1 ng/m³.

Tabella 8-3: concentrazioni medie di benzo (a)pirene rilevate presso la stazione di Corso Milano negli anni 1999 - 2002

	1999	2000	2001	2002
Concentrazione media (ng/m³)	1.5	1.4	1.6	1.9

Dalla Figura 8-7 emerge anche per questo inquinante una caratterizzazione stagionale con valori più elevati nei mesi invernali per le caratteristiche scarsamente dispersive dello strato limite planetario: in particolare nel mese di gennaio 2002 si sono rilevate le concentrazioni più elevate. Tale mese è stato caratterizzato da un episodio acuto di inquinamento dovuto alle particolari caratteristiche meteorologiche, che hanno portato a valori elevati anche le concentrazioni degli altri inquinanti, in particolare le polveri sottili (PM10).

In genere gennaio e febbraio sono caratterizzati da valori più elevati di questo inquinante come si può evincere dal grafico di Figura 8-8.

Figura 8-7: andamento mensile della concentrazione di benzo(a)pirene (ng/m^3) rilevata presso la postazione di Corso Milano (Verona).

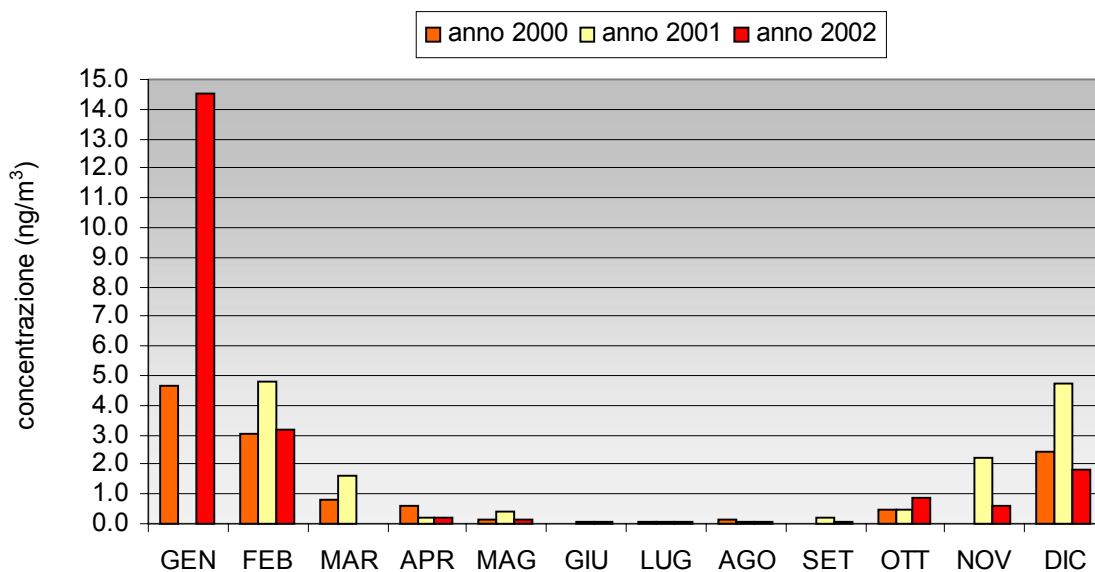


Figura 8-8: confronto fra gli andamenti della concentrazione di benzo(a)pirene nei mesi gennaio, febbraio, marzo degli anni 2000 –2003.

