

Andamenti stagionali di alcuni composti organici volatili all'interno ed all'esterno di abitazioni situate in zone caratterizzate da differenti intensità di traffico veicolare nella città di Roma

Sergio FUSELLI, Sandra PADUANO e Anna SORIERO

Laboratorio di Igiene Ambientale, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Riassunto. - L'obiettivo del lavoro è stato la valutazione delle concentrazioni di alcuni composti organici volatili, in ambienti *indoor* e *outdoor*, in siti localizzati in zone della città di Roma caratterizzate da diverse intensità di traffico veicolare. Sono stati effettuati campionamenti passivi dell'aria all'interno e all'esterno di abitazioni selezionate durante quattro periodi stagionali. In tutti i siti sono stati rilevati circa 50 inquinanti; per il benzene, toluene, etilbenzene e per gli xileni sono state fatte valutazioni quantitative. I risultati analitici hanno mostrato una dipendenza delle concentrazioni *indoor* e *outdoor* degli inquinanti dall'intensità di traffico veicolare e dal periodo stagionale. In molti siti sono state rilevate concentrazioni *indoor* del toluene e degli xileni, influenzate dalla presenza di sorgenti interne, superiori a quelle *outdoor*.

Parole chiave: monitoraggio ambientale, inquinamento indoor, emissioni veicolari, benzene.

Summary (*Seasonal trends of some volatile organic compounds inside and outside private apartment located in areas characterized by different vehicular traffic intensity in Rome*). - This study was aimed at determining volatile organic compounds concentrations in indoor and outdoor sites located in Rome characterized by different traffic intensity. Indoor and outdoor air passive samplings were effected in private locations during four seasonal periods. In all sites about 50 pollutants were determined qualitatively and benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes were determined quantitatively. The analytical results generally showed a dependence of indoor and outdoor pollutant concentrations on traffic density and a seasonal variability. Moreover, many sites were characterized by the presence of toluene and xylenes indoor concentrations higher than outdoors indicating indoor sources.

Key words: environmental monitoring, air pollution indoor, vehicle emissions, benzene.

Introduzione

Nelle grandi aree urbanizzate del sud Europa [1] l'inquinamento *outdoor* è causato dalle emissioni veicolari derivanti dalla combustione, evaporazione e degradazione del carburante [2-6], in particolare nelle città caratterizzate da alte intensità di traffico veicolare ed, in misura minore, dalle emissioni industriali [7-10]. Tale inquinamento, in seguito alle infiltrazioni dell'aria all'interno delle abitazioni, è una delle principali sorgenti dell'inquinamento *indoor* [11-13]. Pertanto, negli ambienti *indoor*, è possibile trovare tutti quegli inquinanti generalmente presenti negli ambienti esterni: materiale particolato, ossidi di carbonio, di azoto e di zolfo, metalli pesanti, ossidanti fotochimici e composti organici volatili (COV) come il benzene ed altri idrocarburi aromatici [1-3].

Oltre all'inquinamento *outdoor* potrebbero influire, in modo rilevante, sulla qualità dell'aria degli ambienti interni gli occupanti stessi e le loro attività, le emissioni

dai materiali di costruzione, di ricoprimento per pavimenti e pareti, di arredamento, l'uso di prodotti commerciali (detergenti e cere, vernici, solventi, pesticidi, adesivi, prodotti cosmetici e destinati alla cura personale, ed inoltre prodotti per l'auto), l'uso del riscaldamento e dei condizionatori d'aria nonché una ventilazione naturale o forzata [8, 9, 14-17].

Inoltre i meccanismi di adsorbimento/desorbimento dai mobili o dalle tappezzerie, ad esempio, possono condizionare le concentrazioni dei contaminanti *indoor*.

Infatti, i materiali di arredamento che adsorbono i composti organici volatili per periodi di tempo più o meno lunghi, possono divenire, in un secondo momento, sorgenti secondarie di emissione [18]. Ovviamente, in presenza di sorgenti *indoor*, una ventilazione naturale [16] o forzata, porterebbe alla diluizione degli inquinanti. D'altra parte, in assenza di sorgenti interne l'ingresso di aria inquinata non farà altro che incrementare le concentrazioni interne dei COV.

I livelli *outdoor* di benzene e degli altri COV variano, generalmente, anche in funzione delle condizioni atmosferiche [19-21]. Gli eventi meteorologici e fotochimici, i fenomeni di ripartizione aria/acqua [22] e di adsorbimento/desorbimento dal terreno sono fattori che condizionano le concentrazioni degli inquinanti nell'atmosfera. Infatti, nei mesi più freddi dell'anno, si registrano solitamente, anche per la maggior quantità di emissioni, concentrazioni più alte dei suddetti inquinanti [19] determinate sia dal ristagno dell'aria [23, 24] che induce un accumulo di sostanze chimiche nel più basso strato dell'atmosfera, che dalla riduzione delle reazioni fotochimiche e di quelle indotte dal radicale ossidrilico, tipiche, quest'ultime, dei periodi caratterizzati da temperature più alte [25-29].

L'obiettivo di questo studio è stato quello di valutare l'influenza dell'inquinamento *outdoor* sulle concentrazioni dei COV all'interno di abitazioni ed, eventualmente, la presenza di sorgenti *indoor*.

Sono stati effettuati, in quattro periodi stagionali, campionamenti dell'aria all'interno e all'esterno di abitazioni selezionate nella città di Roma.

Strategia di campionamento

Sono stati selezionati 16 siti di campionamento; fra questi, 15 in differenti aree della città di Roma ed 1 in una zona rurale, distante dall'area urbanizzata. Le postazioni di campionamento sono state individuate in zone differenti per intensità di traffico: alta, media e bassa intensità; classificate come tali da valutazioni visive derivanti da una conoscenza delle zone oggetto dei campionamenti.

Le definizioni di alta, media e bassa intensità si riferiscono esclusivamente alla densità di veicoli mediamente circolanti durante il giorno, senza tener conto di eventuali rallentamenti o ingorghi che potrebbero aver influito sulle concentrazioni degli inquinanti nelle varie zone determinando una scarsa corrispondenza biunivoca fra la reale situazione di traffico e il livello di inquinamento. Tuttavia, si è prestata attenzione nel selezionare abitazioni che non fossero situate nelle vicinanze di semafori, per evitare che eventuali blocchi o rallentamenti del traffico compromettessero, inevitabilmente, la paragonabilità dei dati analitici.

Le abitazioni, situate dal primo al quarto piano di palazzi condominiali, erano occupate da nuclei familiari con un numero variabile di componenti (dai due ai quattro). La scelta del piano delle abitazioni è stata perfettamente casuale, dato che, da studi precedentemente effettuati non erano state riscontrate variabilità significative delle concentrazioni dei COV con l'altezza (da circa 1 m a 18 m dal piano stradale).

Il campionamento dell'aria è stato eseguito, contemporaneamente, all'interno ed all'esterno delle abitazioni senza interferire con le abitudini di vita degli occupanti, i quali hanno descritto le postazioni *indoor* e quelle *outdoor* in cui sono stati collocati i campionatori, nonché le loro attività e abitudini durante il periodo di campionamento.

Tuttavia i campionatori dell'aria sono stati collocati, lontani da sorgenti note di COV, all'interno di una stanza ed all'esterno della stessa in corrispondenza della strada di riferimento.

Materiali e metodi

Condizioni analitiche e di campionamento

Il campionamento è stato condotto con un campionatore passivo a simmetria radiale: "radiello" [30] che consente, grazie alla formazione di un gradiente di concentrazione, la diffusione delle molecole gassose che, secondo la legge di Fick, vengono adsorbite su carbone attivo con una velocità di *uptake* costante (benzene: 80 cm³/min, toluene: 74,0 cm³/min, etilbenzene e xileni: 61,1 cm³/min).

Le cartucce di carbone attivo dei "radielli", dopo il campionamento, sono state conservate, ognuna nell'apposito contenitore in vetro ben chiuso, a -4 °C prima di effettuare l'analisi. Durante lo stoccaggio in frigorifero, al fine di individuare possibili contaminazioni, insieme ai contenitori con le cartucce di carbone attivo di campionamento sono state conservate cartucce di carbone attivo vergini denominate "radielli bianco". In questi, analizzati secondo la metodologia usata per i radielli impiegati nel campionamento, non è stato rilevato alcun segnale strumentale al di sopra del rumore di fondo.

Inoltre, per verificare l'efficienza dello stoccaggio alcune cartucce di carbone attivo, esposte nello stesso sito di campionamento e per lo stesso periodo di tempo, sono state analizzate dopo diversi periodi di conservazione a -4 °C: subito dopo il campionamento, dopo un giorno, dopo una settimana e dopo 1-2 mesi dal campionamento. Anche in tale caso non è stata riscontrata alcuna variabilità delle concentrazioni dei COV *targets* (benzene, toluene, etilbenzene, xileni) in funzione dei tempi di stoccaggio.

Inoltre, per ogni confezione di radielli, prima del loro utilizzo nella sperimentazione, è stata effettuata, su un "radiello bianco", un'analisi per la verifica di eventuali contaminazioni.

L'analisi dei radielli è stata effettuata in seguito a desorbimento della cartuccia di carbone con 1,9 ml di solfuro di carbonio (CS₂ Fluka) a cui sono stati aggiunti 100 µl di standard interno (2-fluorotoluene in CS₂ 0,2 g/l). Durante il periodo di desorbimento, della durata di 30 min, il contenitore con la cartuccia di carbone, è stato

sottoposto ad agitazione manuale. L'analisi degli estratti è stata effettuata con un gascromatografo Hewlett Packard 6890 equipaggiato con un rivelatore a ionizzazione di fiamma (FID) secondo le seguenti condizioni gascromatografiche: temperatura dell'iniettore split pari a 250 °C, temperatura del rivelatore FID pari a 250 °C, flusso del gas di trasporto (elio) pari a 1.3 ml/min. Fu usata una colonna capillare HP-1 (50 m, 0.20 mm d.i., 0,33 µm spessore di film).

Il profilo termico del forno fu il seguente: 35 °C (isoterma per 4 min), riscaldamento a 1 °C/min fino a 45 °C (isoterma per 1 min), riscaldamento a 5 °C/min fino a 80 °C (isoterma per 2 min), riscaldamento a 15 °C/min fino a 230 °C (isoterma per 10 min).

I COV sono stati identificati in base ai loro tempi di ritenzione e confermati in spettrometria di massa (GC 6890 HP-MS 5973 HP). Per l'analisi quantitativa dei COV *targets* eseguita tramite GC-FID, è stata usata una curva di calibrazione caratterizzata da un range di cinque concentrazioni: da 1,7 µg/ml a 17,6 µg/ml per il benzene, l'etilbenzene e per gli xileni, e da 3,5 a 34,8 µg/ml per il toluene.

Il limite di rivelabilità della procedura analitica, basato su un rapporto segnale/rumore di fondo pari a 3, è stato: 0,18 µg/ml per il benzene, 0,30 µg/ml per il toluene, etilbenzene e per gli xileni. Il limite di rivelabilità del metodo, considerando un periodo di campionamento di 15 giorni, è stato pari a 0,15 µg/m³ per il benzene, 0,20 µg/m³ per il toluene e 0,30 µg/m³ per l'etilbenzene e per gli xileni.

L'efficienza di desorbimento è stata verificata su campionatori standardizzati, forniti direttamente dalla ditta produttrice, ottenuti dopo esposizione per 120 ore ai COV *targets* (benzene, toluene, etilbenzene e xileni) in atmosfera standard, a 25 °C, al 50% di umidità relativa. Si è ottenuto un recupero percentuale superiore al 98%. La procedura analitica, utilizzata per la verifica dell'efficienza del desorbimento, è stata analoga a quella impiegata per l'analisi dei campioni reali.

Per verificare la precisione del metodo sono stati posti contemporaneamente, in alcuni siti, 10 campionatori (5 campionatori *indoor* e 5 *outdoor*). È stata ottenuta una precisione, espressa come deviazione standard relativa (RSD%), compresa nell'intervallo 2-3%.

Risultati e discussione

Nei quattro periodi di monitoraggio in tutti i siti di campionamento, sia *indoor* che *outdoor*, sono stati rilevati all'incirca 50 composti (Fig.1). Sono state determinate, data la loro rilevanza sia quantitativa che tossicologica, le concentrazioni del benzene, etilbenzene, toluene e degli xileni (COV *targets*), nonché i loro rapporti *indoor/outdoor* (i/o). I valori di tali inquinanti sono riportati nelle Tab. 1-4 in funzione delle differenti intensità di traffico veicolare.

Alcuni composti come il 2-butanone, il tetraidrofurano, l'1-butanolo, l'1,2-diciclopropano, il 2-eptanone, il limonene e la canfora sono stati, invece, rilevati esclusivamente all'interno delle abitazioni (Fig. 1).

Monitoraggio durante il periodo invernale

I valori di concentrazione relativi al monitoraggio dei COV *targets* (Tab. 1), condotto negli ultimi 15 giorni del mese di gennaio 2000, riflettono sostanzialmente la situazione del traffico veicolare relativo al sito di campionamento. Infatti risultano significative le differenze tra i valori di concentrazione *outdoor* delle sostanze *target* sia nelle zone ad alta e media intensità di traffico che in quelle ad alta e bassa intensità di traffico, mentre non esiste una ben netta distinzione fra le zone a media e bassa intensità di traffico.

Non sempre, quindi, è stato possibile evidenziare una corrispondenza biunivoca fra una situazione di traffico e il relativo tasso di inquinamento.

Le concentrazioni negli ambienti *indoor* sono risultate, nella maggior parte dei siti di campionamento, maggiori di quelle *outdoor* (i/o > 1; Tab. 1) in particolare per il benzene e per il toluene mentre il numero di siti in cui tale rapporto risulta maggiore di 1 si riduce progressivamente per l'etilbenzene e per gli xileni. Infatti le concentrazioni rilevate nelle abitazioni situate in zone a differenti intensità di traffico veicolare, non hanno evidenziato differenze tali da metterle in correlazione con la zona di campionamento.

I valori *indoor* del benzene e del toluene, più alti di quelli *outdoor*, nella maggior parte dei siti, confermerebbero la presenza di sorgenti *indoor*; in particolare nel sito 8 *indoor* (Tab. 1) dove, come riferito dall'occupante, durante il periodo di campionamento, in una sola giornata e per alcune ore, ha soggiornato più di un fumatore. Anche il periodo di campionamento stesso (15-31 gennaio 2000), caratterizzato da basse temperature (temperature medie comprese nell'intervallo: 2,0-10,7 °C) e pioggia, potrebbe aver influito sull'inquinamento *indoor* determinando un accumulo all'interno delle abitazioni, a causa di un ridotto ricambio dell'aria, degli inquinanti prodotti dalle sorgenti interne.

Monitoraggio durante il periodo primaverile

I valori *outdoor* dei COV (Tab. 2), monitorati negli ultimi 15 giorni del mese di maggio 2000, presentano differenze significative solo fra le zone caratterizzate da un'alta e media intensità di traffico veicolare e fra le zone ad alta e bassa intensità di traffico.

Le concentrazioni *outdoor* del benzene, nella maggior parte dei siti, sono simili a quelle *indoor* (Tab. 2, i/o ≈ 1), ma mediamente più alte di quelle *outdoor* riscontrate nel mese di gennaio.

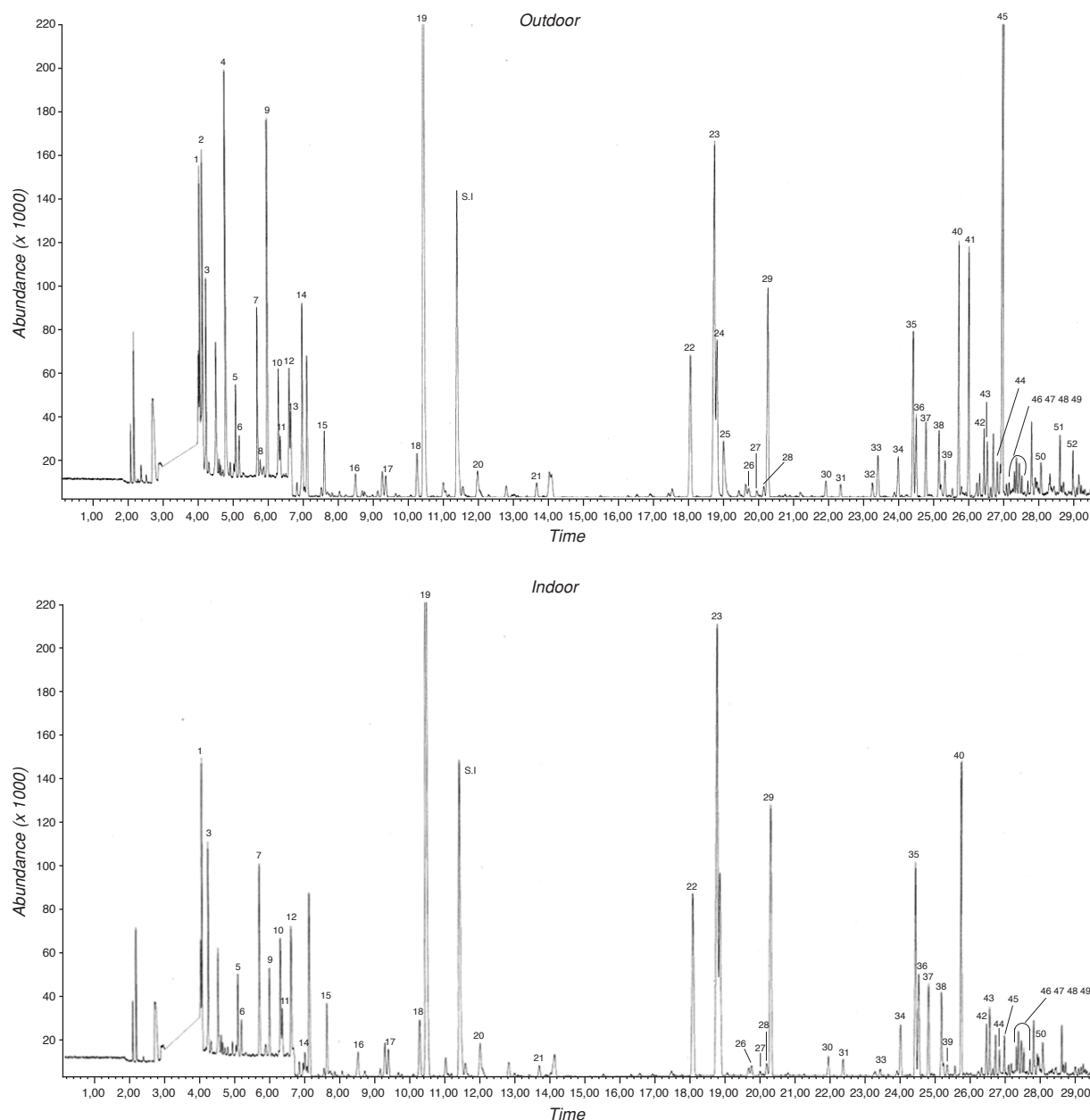


Fig. 1. - Profilo gascromatografico (GC-MS) tipico degli inquinanti rilevati negli ambienti *indoor* e *outdoor* della città di Roma (2000).

1: 2-metilpentano; 2: 2-butanone; 3: 3-metilpentano; 4: tetraidrofurano; 5: metilciclopentano; 6: 2,4-dimetilpentano; 7: benzene; 8: 1-butanolo; 9: cicloesano; 10: 2-metillesano; 11: 2,3-dimetilpentano; 12: 3-metillesano; 13: 1,2-dicloropropano; 14: tricloroetilene; 15: eptano; 16: metilcicloesano; 17: 2,4-dimetillesano; 18: 2,3,4-trimetilpentano; 19: toluene; SI: 2-fluorotoluene; 20: 3-metileptano; 21: dicloroacetilene; 22: etilbenzene; 23: m-xilene; 24: p-xilene; 25: cicloesano; 26: 2-metilottano; 27: 2-eptanone; 28: 3-metilottano; 29: o-xilene; 30: nonano; 31: 1-metiletilbenzene; 32: benzaldeide; 33: α -pinene; 34: propilbenzene; 35: 1-etil-2-metilbenzene; 36: 1-etil-4-metilbenzene; 37: 1,2,3-trimetilbenzene; 38: 1-etil-2-metilbenzene; 39: β -pinene; 40: 1,2,3-trimetilbenzene; 41: 1,3-dietilbenzene; 42: decano; 43: 1,3,5-trimetilbenzene; 44: indano; 45: limonene; 46: 1,3-dietilbenzene; 47: 1-metil-3-propilbenzene; 48: 1-metil-2-propilbenzene; 49: 1,2-dimetil-4-etilbenzene; 50: 1-etil-2,4-dimetilbenzene; 51: undecano; 52: canfora.

I valori *indoor* e *outdoor* degli altri COV (Tab. 2) sono risultati mediamente più bassi rispetto a quelli del mese di gennaio (Tab. 1) e nel maggior numero di siti i valori *indoor* dell'etilbenzene e degli xileni, risultano più alti, anche se di poco, rispetto a quelli *outdoor* (Tab. 2).

I valori riscontrati nel mese di maggio mettono, comunque, in evidenza una maggiore omogeneità delle concentrazioni *indoor* e *outdoor* dei COV studiati rispetto al periodo di campionamento precedente. Tale omogeneità è dovuta, probabilmente, ad un maggiore ricambio

dell'aria all'interno delle abitazioni. Il ricambio d'aria favorisce l'ingresso degli inquinanti prodotti dalle emissioni veicolari ma anche la diluizione di quelli originati da sorgenti interne.

Se i valori *indoor* di benzene, in tutti i siti, sono risultati simili o poco più bassi di quelli *outdoor* dimostrando, pertanto, una maggiore dipendenza dal traffico veicolare, quelli del toluene (in misura minore dell'etilbenzene e degli xileni), pur presentando valori più bassi rispetto a quelli del mese di gennaio, sono risultati più alti di quelli *outdoor* in 9 siti di campionamento ($i/o > 1$), (Tab. 2). Per questi inquinanti il traffico veicolare non è evidentemente l'unica sorgente, a conferma che le concentrazioni *indoor* dei COV possono essere determinate non solo dall'inquinamento *outdoor* ma anche da sorgenti interne.

Monitoraggio condotto durante il periodo estivo

Durante il monitoraggio condotto negli ultimi 15 giorni del mese di luglio 2000 sono state riscontrate concentrazioni minori o molto simili a quelle riscontrate nel mese di maggio per quasi tutte le sostanze *targets*, in tutti i siti e nelle diverse situazioni di traffico veicolare. Nell'*outdoor* (Tab. 3) permangono differenze significative tra i valori determinati nei siti ad alta e media intensità di traffico ed alta e bassa intensità di traffico veicolare per tutte le sostanze *targets* mentre meno netta è la distinzione tra media e bassa intensità.

I valori *indoor* per il benzene sono simili o inferiori a quelli dell'*outdoor* ad eccezione dei siti 1 e 16 (Tab. 3; $i/o = 1.8$), mentre, per il toluene, l'etilbenzene e gli xileni si riscontrano un numero maggiore di postazioni in cui le concentrazioni *indoor* sono più alte di quelle *outdoor*.

Tuttavia i valori *indoor* degli xileni, ed in misura minore quelli dell'etilbenzene, sono risultati inferiori a quelli rilevati nei mesi di gennaio e maggio.

Monitoraggio condotto durante il periodo autunnale

I valori *outdoor* delle concentrazioni del benzene e degli altri COV, monitorati gli ultimi 15 giorni del mese di ottobre 2000, riflettono le diverse intensità di traffico veicolare. I dati sperimentali (Tab. 4) mettono in evidenza come i valori *outdoor* del benzene siano generalmente maggiori rispetto a quelli rilevati negli altri periodi stagionali e come quelli del toluene, etilbenzene e degli xileni siano inferiori soltanto a quelli determinati nel mese di gennaio.

I valori *indoor* del benzene sono risultati simili o inferiori (inferiori principalmente nelle zone ad alto traffico) a quelli *outdoor* ad eccezione di un sito (sito n. 16: area rurale), mentre la maggior parte dei siti ha presentato valori di toluene maggiori all'interno delle abitazioni rispetto all'esterno.

Conclusioni

In tutti i periodi di monitoraggio questo studio ha evidenziato come i valori *outdoor* delle concentrazioni del benzene e degli altri COV, rilevati nei diversi siti di campionamento, riflettano la situazione del traffico veicolare della zona in cui il sito stesso è localizzato.

In genere le concentrazioni degli inquinanti considerati sono risultate più alte nelle zone a maggior intensità di traffico veicolare, anche se non sempre è emersa una differenza netta tra le concentrazioni dei COV nei siti caratterizzati da una diversa situazione di traffico veicolare. Ciò è attribuibile a fenomeni casuali, quali rallentamenti o ingorghi, che potrebbero aver influito sulle concentrazioni degli inquinanti nelle varie zone determinando una scarsa corrispondenza biunivoca fra la reale situazione di traffico e il livello di inquinamento.

Complessivamente per il benzene *outdoor*, in tutte le situazioni di traffico, non è stata osservata una evidente dipendenza stagionale come risulta dalla Fig. 2. Infatti le concentrazioni rilevate nei diversi siti di campionamento e nei diversi periodi stagionali mostrano un range di concentrazioni simili.

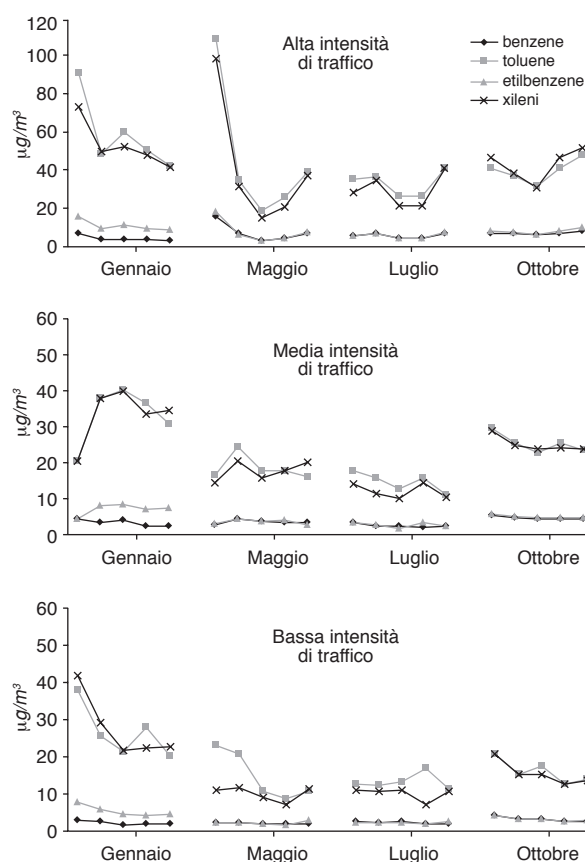


Fig. 2. - Andamenti stagionali delle concentrazioni ($\mu\text{g m}^{-3}$) di COV in siti localizzati in zone di alta, media e bassa intensità di traffico nella città di Roma (campionamento passivo, 2000).

Tabella 1. - Concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) *indoor* e *outdoor* di BTEX rilevati in zone di Roma a differente intensità di traffico durante gli ultimi 15 giorni del mese di gennaio 2000 (campionamento passivo con radiello)

Intensità di traffico	Siti	Benzene		Toluene		Etilbenzene		Xileni	
		<i>indoor</i>	<i>outdoor</i>	<i>indoor</i>	<i>outdoor</i>	<i>indoor</i>	<i>outdoor</i>	<i>indoor</i>	<i>outdoor</i>
Alta	1	5,2	6,9	0,7	0,8	15,2	15,7	1,0	1,0
	2	3,7	4,0	0,9	1,5	9,0	9,7	0,9	0,8
	3	7,4	4,0	1,8	0,9	10,3	11,2	0,9	0,9
	4	5,9	3,8	1,5	1,5	9,6	9,7	1,0	1,0
	5	5,6	2,9	1,9	1,3	9,0	8,7	1,0	1,0
	media	5,6	4,3	1,4	1,2	10,6	11,0	1,0	0,9
	mediana	5,6	4,0	1,5	1,3	9,6	9,7	1,0	1,0
Media	6	4,2	4,4	0,9	2,2	5,8	4,2	1,4	1,6
	7	4,4	3,2	1,4	1,0	7,4	7,9	0,9	0,9
	8	24,0	4,0	6,1	1,2	7,8	8,3	0,9	0,9
	9	3,5	2,5	1,4	1,1	7,7	7,2	1,1	0,9
	10	4,1	2,5	1,6	1,6	23,2	7,5	3,1	2,3
	media	8,0	3,3	2,3	1,4	10,4	7,0	1,5	1,3
	mediana	4,2	3,2	1,4	1,2	7,7	7,5	1,1	0,9
Bassa	11	4,6	2,9	1,6	2,0	9,6	7,7	1,2	1,1
	12	7,8	2,6	3,0	3,3	6,0	5,8	1,0	1,1
	13	3,4	1,7	2,0	1,4	5,2	4,5	1,1	1,1
	14	1,4	1,9	0,7	0,7	4,3	4,3	1,0	1,0
	15	5,5	1,9	2,9	2,1	5,9	4,6	1,3	1,3
	media	4,5	2,2	2,0	1,9	6,2	5,4	1,1	1,1
	mediana	4,6	1,9	2,0	2,0	5,9	4,6	1,1	1,1
Assente	16	1,4	1,0	1,4	1,6	2,9	2,6	1,1	1,0

BTEX: benzene, toluene, etilbenzene, xileni.

Tabella 2. - Concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) *indoor* e *outdoor* di BTEX rilevati in zone di Roma a differente intensità di traffico durante gli ultimi 15 giorni del mese di maggio 2000 (campionamento passivo con radiello)

Intensità di traffico	Siti	Benzene		Toluene		Etilbenzene		Xileni	
		<i>indoor</i>	<i>outdoor</i>	<i>indoor</i>	<i>outdoor</i>	<i>indoor</i>	<i>outdoor</i>	<i>indoor</i>	<i>outdoor</i>
Alta	1	14,4	16,0	107,9	1,0	16,2	18,3	85,1	98,0
	2	6,8	6,8	34,3	1,3	7,1	6,1	35,0	31,7
	3	3,7	3,3	18,8	1,0	2,9	2,9	15,3	15,4
	4	4,5	4,3	25,9	1,3	4,9	4,4	22,6	21,0
	5	6,0	7,0	39,2	0,8	6,2	7,3	32,2	37,1
Media	media	7,1	7,5	45,2	1,1	7,5	7,8	38,0	40,6
	mediana	6,0	5,6	34,3	1,0	6,2	6,1	32,2	31,7
	6	3,4	2,7	16,5	1,1	3,4	2,9	18,5	14,4
	7	3,3	4,2	24,4	1,0	3,4	4,3	15,8	20,4
	8	3,3	3,7	17,6	1,2	3,5	3,6	12,8	15,7
Bassa	9	3,2	3,5	17,9	1,3	4,4	4,0	17,4	17,8
	10	3,6	3,2	16,2	1,4	7,0	2,8	30,6	20,1
	media	3,2	3,5	18,5	1,2	4,3	3,5	19,0	17,7
	mediana	3,3	3,5	17,6	1,2	3,5	3,6	17,4	17,8
	11	2,4	2,4	22,9	0,5	2,2	2,4	11	11,1
Assente	12	2,1	2,4	20,6	1,4	2,7	2,4	13,1	11,6
	13	2,2	1,9	10,7	1,0	1,9	1,9	9,2	9,1
	14	1,6	1,8	8,9	3,2	1,6	1,5	7,0	7,2
	15	2,0	1,8	10,7	1,1	3,0	2,8	12,9	11,2
	media	2,1	2,1	14,8	1,4	2,3	2,2	10,1	10,0
	mediana	2,1	1,9	10,7	1,1	2,2	2,4	11,0	11,1
Assente	16	3,0	1,6	7,5	2,4	3,1	2,1	7,6	6,9

BTEX: benzene, toluene, etilbenzene, xileni.

Tabella 3. - Concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) *indoor* e *outdoor* di BTEX rilevati in zone di Roma a differente intensità di traffico durante gli ultimi 15 giorni del mese di luglio 2000 (campionamento passivo con radiello)

Intensità di traffico	Siti	Benzene		Toluene		Etilbenzene		Xileni	
		<i>indoor</i>	<i>outdoor</i>	<i>indoor</i>	<i>outdoor</i>	<i>indoor</i>	<i>outdoor</i>	<i>indoor</i>	<i>outdoor</i>
Alta	1	10,0	5,6	1,8	1,9	12,3	5,8	2,1	28,6
	2	7,0	6,9	1,0	1,2	6,4	6,7	0,9	34,4
	3	5,0	4,6	1,1	1,0	4,9	4,5	1,1	21,5
	4	5,0	4,6	1,1	1,0	4,9	4,5	1,1	21,5
	5	6,4	6,9	1,0	0,8	6,0	7,8	0,8	40,9
Media	media	6,7	5,7	1,2	1,2	6,9	5,9	1,2	29,4
	mediana	6,4	5,6	1,1	1,0	6,0	5,8	1,1	28,6
	6	3,8	3,4	1,1	1,1	5,3	3,2	1,6	14,1
	7	1,6	2,5	0,6	0,6	3,4	2,6	1,3	11,5
	8	2,3	2,2	1,0	1,3	2,3	1,7	1,3	10,2
Bassa	9	1,9	1,9	1,0	1,2	3,9	3,2	1,2	14,5
	10	2,6	2,2	1,2	1,5	6,2	2,4	2,6	10,4
	media	2,4	2,4	1,0	1,1	4,2	2,6	1,6	12,1
	mediana	2,3	2,2	1,0	1,2	3,9	2,6	1,3	11,5
	11	2,4	2,7	0,9	1,0	2,4	2,3	1,0	11,0
Assente	12	2,2	2,4	0,9	1,7	2,6	2,2	1,2	10,8
	13	2,4	2,6	0,9	0,7	1,8	2,4	0,7	10,9
	14	1,4	1,8	0,8	1,3	1,6	2,0	0,8	7,1
	15	1,8	1,8	1,0	1,1	2,9	2,5	1,2	10,6
	media	2,0	2,3	0,9	1,2	2,3	2,3	1,0	10,1
	mediana	2,2	2,4	0,9	1,1	2,4	2,3	1,0	10,8
	16	2,7	1,5	1,8	4,4	1,8	3,4	0,5	5,7

BTEX: benzene, toluene, etilbenzene, xileni.

Tabella 4. - Concentrazioni ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) *indoor* e *outdoor* di BTEX rilevati in zone di Roma a differente intensità di traffico durante gli ultimi 15 giorni del mese di ottobre 2000 (campionamento passivo con radiello)

Intensità di traffico	Siti	Benzene		Toluene		Etilbenzene		Xileni				
		indoor	outdoor	i/o	indoor	outdoor	i/o	indoor	outdoor	i/o		
Alta	1	5,9	7,1	0,8	40,9	39,6	8,9	8,3	1,1	48,5	46,7	1,0
	2	6,6	7,2	0,9	37,0	80,5	6,9	7,7	0,9	36,8	38,3	1,0
	3	6,9	6,2	1,1	31,6	33,5	6,4	6,3	1,0	30,8	30,9	1,0
	4	5,9	7,1	0,8	40,9	39,6	8,9	8,3	1,1	48,5	46,7	1,0
	5	5,4	8,3	0,6	47,8	29,7	5,6	10,0	0,6	27,5	51,4	0,5
Media	media	6,1	7,2	0,8	39,6	44,6	7,3	8,1	0,9	38,4	42,8	0,9
	mediana	5,9	7,1	0,8	40,9	39,6	6,9	8,3	1,0	36,8	46,7	1,0
	6	3,6	5,4	0,7	29,4	36,7	3,9	5,7	0,7	19,8	28,7	0,7
	7	4,3	4,7	0,9	25,6	29,8	4,8	4,9	1,0	23,4	24,8	0,9
	8	4,6	4,2	1,1	22,9	28,1	5,0	4,7	1,1	24,2	23,7	1,0
Bassa	9	3,6	4,4	0,8	25,6	40,9	5,5	4,7	1,2	24,1	24,3	1,0
	10	4,2	4,4	0,9	23,5	21,7	9,7	4,8	2,0	43,5	23,7	1,8
	media	4,1	4,6	0,9	25,4	31,4	5,8	5,0	1,2	27,0	25,0	1,1
	mediana	4,2	4,4	0,9	25,6	29,8	5,0	4,8	1,1	24,1	24,3	1,0
	11	4,1	4,2	1,0	20,7	53,8	4,9	4,1	1,2	20,2	20,7	1,0
Assente	12	2,7	3,2	0,8	15,2	37,3	3,1	3,1	1,0	15,9	15,2	1,0
	13	3,9	3,1	1,2	17,5	19,7	2,8	3,2	0,9	14,3	15,3	0,9
	14	1,9	2,6	0,7	12,7	14,5	3,7	2,5	1,5	20,0	12,8	1,6
	15	2,6	2,6	1,0	14,1	16,2	3,2	2,8	1,1	16,1	13,5	1,2
	media	3,0	3,1	0,9	16,0	31,3	3,5	3,1	1,1	17,3	15,5	1,1
mediana	2,7	3,1	1,0	15,2	19,7	3,2	3,1	1,1	16,1	15,2	1,0	
16	3,9	1,8	2,2	8,2	26,7	1,7	1,7	1,0	8,6	7,4	1,2	

BTEX: benzene, toluene, etilbenzene, xileni.

Gli altri COV mostrano una maggiore dipendenza dal periodo di campionamento come risulta dal decremento delle concentrazioni del toluene e degli xileni nei periodi più caldi (Fig. 2). Pertanto, si potrebbe pensare che i fenomeni di degradazione ad opera del radicale ossidrilico [25-29] ed, in misura minore, per effetto fotochimico, caratterizzanti maggiormente i periodi con temperature più alte, abbiano maggiormente influito sulla riduzione dei suddetti inquinanti.

I valori *indoor* dei COV targets sono risultati maggiori di quelli *outdoor* nella maggior parte dei siti durante il monitoraggio invernale, mentre negli altri periodi stagionali tali valori sono risultati piuttosto simili a quelli *outdoor* ad eccezione di alcuni:

- nel sito 16 (area rurale) sono state sempre rilevate concentrazioni *indoor* maggiori di quelle *outdoor* per tutti gli inquinanti considerati (ad ecc. dell'etilbenzene nel mese di luglio);

- nei siti 2, 6, 8, 9, 12, 15, 16, invece, si sono riscontrate concentrazioni *indoor* del toluene maggiori rispetto a quelle *outdoor* in tutti i periodi stagionali.

L'incremento delle concentrazioni *indoor*, nei siti suddetti, farebbe ipotizzare la presenza di sorgenti interne. Ciò è ancora più evidente nel sito rurale in cui l'influenza dell'inquinamento *outdoor* è molto scarsa per mancanza di sorgenti antropogeniche ed i valori *indoor*, per tutte le sostanze *targets* e in tutti i periodi stagionali, sono risultati più alti rispetto a quelli *outdoor* determinati, a loro volta, da fenomeni di trasporto long-range [31].

Dai risultati ottenuti nel corso di questa sperimentazione è stata rilevata una netta influenza dell'inquinamento *outdoor*, determinato dal traffico veicolare, all'interno della maggior parte delle abitazioni considerate. Tuttavia, per alcuni inquinanti (toluene e xileni), all'interno di alcune abitazioni l'inquinamento determinato dalla sorgente *outdoor* è incrementato da quello prodotto da sorgenti *indoor*.

Ricevuto il 19 marzo 2002.

Accettato il 4 giugno 2002.

BIBLIOGRAFIA

1. Cocheo V, Sacco P, Boaretto C, De Saniger E, Perez Ballesta P, Skov H, Goelen E, Gonzalez N, Baeza Caracena A. Urban benzene and population exposure. *Nature* 2000;404:141-2.
2. Duffy BL, Nelson PF, Weeks IA. Speciated hydrocarbon profiles and calculated reactivities of exhaust and evaporative emissions from 82 in-use light-duty Australian vehicles. *Atmospheric Environ* 1999;33:291-307.
3. Muezzinoglu A, Odabasi M, Onat L. Volatile organic compounds in the air of Izmir, Turkey. *Atmospheric Environ* 2001;35:753-60.
4. Perry R, Gee Ivan L. Vehicle emissions in relation to fuel composition. *Sci Total Environ* 1995;169:149-56.
5. Schmitz T, Hassel D, Weber FJ. Determination of VOC-components in the exhaust of gasoline and diesel passenger cars. *Atmospheric Environ* 2000;34:4639-47.
6. Zielinska B, Sagebiel JC, Harshfield G, Gertler AW, Pierson WR. Volatile organic compounds up to C20 emitted from motor vehicles; measurement methods. *Atmospheric Environ* 1996;30(12):2269-86.
7. Fuselli S. Rilevamento del benzene nell'aria in un sito urbano: Roma-est. *Eco* 1992;1:44-8.
8. Fuselli S, Benigni R, Conti L, Carere A, Crebelli R. Volatile organic compounds (VOCs) and air mutagenicity: results of one year monitoring at an urban site. *Int J Environ Health Res* 1995;5:123-32.
9. Fuselli S, Settimo GV, Viviano G, Ziemacki G. Concentrazione del benzene nell'aerosol urbano di Roma. *Acqua Aria* 1990;10:867-70.
10. Ilgen E, Karfich N, Levsen K, Angerer J, Schneider P, Heinrich J, Wichmann HE, Dunemann L, Begerow J. Aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment, Part I. Indoor versus outdoor sources, the influence of traffic. *Atmospheric Environ* 2001;35:1235-52.
11. Ilgen E, Levsen K, Angerer J, Schneider JH, Wichmann HE. Aromatic hydrocarbons in the atmospheric environment. Part II: univariate and multivariate analysis and case studies of indoor concentrations. *Atmospheric Environ* 2001;35:1253-64.
12. Ferrari CP, Kaluzny P, Roche A, Jacob V, Foster P. Aromatic hydrocarbons and aldehydes in the atmosphere of Grenoble, France. *Chemosphere* 1998;37(8):1587-601.
13. Fischer PH, Hoek G, Van Reeuwijk H, Briggs DJ, Lebrecht E, Van Wijnen JH, Kingham S, Elliott PE. Traffic-related differences in outdoor and indoor concentrations of particles and volatile organic compounds in Amsterdam. *Atmospheric Environ* 2000;34:3713-22.
14. Wallace LA, Pellizzari ED, Hartwell TD, Davis V, Michael LC, Withmore RW. The influence of personal activities on exposure to volatile organic compounds. *Environ Res* 1989;50:37-55.
15. Wadden RA, Scheff PA. *Indoor air pollution. Characterization, prediction and control*. New York: Wiley; 1983. (Environmental Science Technology).
16. Sollinger S, Levsen K, Wunsch G. Indoor pollution by organic emissions from textile floor coverings: climate test chamber studies under static conditions. *Atmospheric Environ* 1994;28(14):2369-78.
17. Fellin P, Otson R. Assessment of the influence of climatic factors on concentration levels of volatile organic compounds (VOCs) in Canadian homes. *Atmospheric Environ* 1994;28(22):3581-6.
18. Maroni M, Seifert B, Lindvall T (Ed.). *Indoor air quality. A comprehensive reference book*. Amsterdam: Elsevier; 1995. (Air quality monographs, 3).
19. Kent WT, Pellizzari ED, Clayton CA, Perrit R L. Temporal variability of benzene exposures for residents in several New Jersey homes with attached garages or tobacco smoke. *J Exp Analysis Environ Epidemiol* 1993;3(1):49-73.
20. Dann TF, Wang DK. Ambient air benzene concentrations in Canada (1989-1993): seasonal and day of week variations, trends, and source influences. *J Air Waste Man Ass* 1995;45:695-702.
21. Fuselli S. *Benzene concentration in ambient and in indoor air. Update on benzene*. Imbriani M, Ghittori S, Pezzagno G,

- Capodaglio E (Ed.). Pavia: Fondazione Salvatore Maugeri Edizioni. Advances in Occupational Medicine & Rehabilitation.
22. Sharma UK, Kajii Y, Akimoto H. Seasonal variation of C2-C6 NMHCs at Happono, a remote site in Japan. *Atmospheric Environ* 2000;34:4447-58.
23. Lopes TJ, Bender DA. Nonpoint sources of volatile organic compounds in urban areas - relative importance of land surface and air. *Environ Pollution* 1998;101:221-30.
24. Gilli G, Scursatone E, Bono R. Geographical distributions of benzene in air in northwestern Italy and personal exposure. *Environ Health Persp* 1996;104(6):1137-40.
25. Singh HB, Salas L, Viezee, W, Sitton B, Ferek R. Measurement of volatile organic compounds at selected sites in California. *Atmospheric Environ* 1992;26A(16):2929-46.
26. Atkinson R, Darnall KR, Lloyd AC, Winter AH, Pitts JN. Kinetics and mechanisms of the reaction of the hydroxyl radical with organic compounds in the gas phase. *Adv Photochem* 1979;11:375-488.
27. Klemp D, Kley D, Kramp F, Buers H J, Pilwat G, Flocke F, Pat HW, Volz-Tomas AA. Long-term measurement of light hydrocarbons (C2-C5) at Schauinsland (Black forest). *J Atmospheric Chem* 1997;28:135-71.
28. Laurila T, Hakola H. Seasonal cycle of C2-C5 hydrocarbons over the Baltic Sea and Northern Finland. *Atmospheric Environ* 1996;30:1597-607.
29. Rudolph J, Khedim A, Wagenbach. The seasonal variation of light nonmethane hydrocarbons in the antarctic troposphere. *J Geophysical Res* 1989;94:13039-44.
30. Cocheo V, Boaretto C, Sacco P. High uptake rate radial diffusive sampler suitable for both solvent and thermal desorption. *Am Industrial Hyg Assoc J* 1996;57:897-904.
31. Sexton K, Westberg H. Nonmethane hydrocarbon composition of urban and rural atmospheres. *Atmospheric Environ* 1984;18(6):1125-32.