

MONITORAGGIO DI UN'AREA URBANA DI ROMA: STUDIO DELL'ANDAMENTO ANNUALE E STAGIONALE DEI COMPOSTI ORGANICI VOLATILI

Marco De Felice, Roberta Morlino, Sergio Fuselli
*Reparto Igiene degli ambienti di vita, Dipartimento di Ambiente e Connessa Prevenzione Primaria,
Istituto Superiore di Sanità, Roma*

Introduzione

Il monitoraggio dei Composti Organici Volatili (COV) di natura alifatica, aromatica e carbonilica, è stato effettuato utilizzando la stazione di rilevamento degli inquinanti atmosferici dell'Istituto Superiore di Sanità.

Tale stazione è ubicata in zona semicentrale, al margine di una strada ampia, a libera circolazione, dove circolano mezzi pubblici sia su gomma a trazione diesel che su rotaia ad alimentazione elettrica. Il traffico veicolare privato rappresenta la fonte principale di emissioni, dovuto in larga parte agli utenti delle strutture pubbliche site nelle vicinanze (strutture ospedaliere, università, istituti di ricerca). Non si riscontrano sorgenti emmissive di origine industriale. I campionatori utilizzati per il monitoraggio sono stati posti a circa 5 metri dal ciglio stradale e ad un'altezza di 2,5 metri dal suolo.

Gli analiti ricercati sono stati scelti poiché inseriti, come altri COV, dalla Direttiva 2008/50/CE, dell'11 giugno 2008, tra le sostanze da monitorare nelle aree urbane e suburbane, la cui misurazione è necessaria poiché implicate nelle reazioni chimiche che nell'atmosfera portano alla formazione dell'ozono.

Alifatici e aromatici

Caratteristiche generali

Benzene, toluene, etilbenzene, xileni

Si presentano in natura allo stato liquido, sono in genere incolori o giallo chiari, volatili e dal caratteristico odore dolciastro. A causa della loro alta pressione di vapore e scarsa solubilità, se dispersi nell'ambiente evaporano dalla miscela in cui sono presenti. Sono facilmente infiammabili, irritanti per la pelle e il sistema respiratorio. Si trovano normalmente nei derivati del petrolio e sono usati industrialmente come solventi per lubrificanti, gomme, detergenti, farmaci, grassi, oli, vernici, colle, coloranti, insetticidi e intermedi di sintesi per la produzione di plastiche, resine e fibre sintetiche. Sono tra i COV presenti nelle combustioni di materiale vegetale (legno, tabacco) e dei combustibili quali benzina e gasolio.

Esano, eptano

In natura si presentano come liquidi incolori dall'odore caratteristico e altamente infiammabili. Il vapore è più pesante dell'aria, ciò li rende pericolosi per il rischio di accensioni a distanza. Si trovano nelle vernici, nei solventi per tinte e pitture, nelle colle, nei prodotti per

lavanderie, negli impermeabilizzanti per mobili e arredi, nei gas provenienti da combustioni (sigaretta, carbone), prodotti per belle arti (argille, colori a tempera).

Trimetilbenzeni

Sono liquidi incolori con odore caratteristico, altamente infiammabili. Reagiscono violentemente con ossidanti causando potenzialmente incendi ed esplosioni, per combustione producono fumi tossici e irritanti. Si trovano nei fitosanitari, solventi per vernici, diluenti.

Effetti per la salute

Benzene

È classificato come cancerogeno di classe 1 per l'uomo. Il suo effetto principale a lungo termine è a carico del midollo osseo e del sistema immunitario. Può provocare leucemie, emorragie, anemie, cancro degli organi preposti alla formazione delle cellule ematiche, infertilità, cicli mestruali irregolari, malformazioni degli organi atti alla riproduzione. È una sostanza tossica, i cui vapori sono più pesanti dell'aria, così da concentrarsi in prossimità del suolo, si dissolve lentamente in acqua e tende a restare a galla. L'inalazione dei vapori può provocare sonnolenza, vertigini, cefalea, perdita di coscienza, tremori, battito cardiaco irregolare o accelerato.

Toluene

È una sostanza nociva, che può provocare danni ai polmoni. L'inalazione dei vapori può provocare sonnolenza e vertigini. L'esposizione colpisce principalmente il sistema nervoso centrale (disfunzioni cognitive e psicomotorie, atrofia, atassia), fegato e reni. Sostituisce industrialmente il più tossico benzene.

Etilbenzene e xileni

La composizione della miscela derivata dal petrolio contiene m-xilene al 40% e o-xilene, p-xilene ed etilbenzene al 20%. Sono sostanze nocive per inalazione e irritanti a contatto con la pelle, gli occhi e le mucose delle vie aeree.

Esano, eptano

Il vapore è irritante per gli occhi, la cute e il tratto respiratorio. Possono avere effetti sul sistema nervoso centrale, l'inalazione può provocare vertigini, sonnolenza, debolezza, stato di torpore.

Trimetilbenzeni

I polmoni possono essere danneggiati per un'esposizione ripetuta o prolungata, causando bronchite cronica. Hanno effetti sul sangue, le vie respiratorie e il sistema nervoso centrale, causando stato confusionale, tosse, vertigini, sonnolenza, mal di testa, mal di gola, vomito.

Materiali e metodi

Campionamento

Il campionamento di tipo passivo dei COV è stato eseguito mediante campionatori diffusivi radiali (Radiello®). Il Radiello® è costituito da una cartuccia cilindrica in rete di acciaio

inossidabile con un diametro di 5,9 mm contenente 530 mg di carbone attivo (35-50 mesh). Durante il campionamento, la cartuccia è collocata all'interno di un corpo diffusivo cilindrico microporoso in policarbonato e polietilene montato su un supporto di policarbonato.

Analisi

La cartuccia adsorbente, dopo il campionamento, è desorbita con 2 mL di disolfuro di carbonio (Fluka) per cromatografia e sottoposta per 30 minuti ad agitazione meccanica. La determinazione analitica degli inquinanti è effettuata con il metodo dello standard esterno, con una miscela standards in metanolo.

La determinazione analitica dei COV è stata eseguita iniettando aliquote di 2 µL di soluzione, con campionatore automatico, in un gas-cromatografo Agilent Technologies mod. 6980 con rivelatore uno Spettrometro di Massa (Agilent Technologies mod. 5973N) settato con la temperatura del filamento (sistema ionizzante) pari a 230°C, energia di ionizzazione pari a 69,9 eV, corrente di emissione pari a 34 µA, temperatura del rivelatore a quadrupolo pari a 150°C. Le condizioni gas cromatografiche impiegate prevedono un flusso costante di elio ultrapuro ad 1,6 mL/min. Il processo di separazione cromatografica è stato eseguito utilizzando una colonna J&W DB-624 Durabond (6% Cianopropile - 94% Dimetilepolisilossano, 60 m; 0,25 mm d.i.; 1.40 mm spessore di film). La temperatura del forno è stata così programmata: isoterma iniziale a 35°C per 3 min; gradiente di temperatura di 5°C/min fino a 100°C (isoterma per 1 min); gradiente di temperatura di 10°C/min fino a 240°C (isoterma per 3 min). Il limite di rilevabilità del metodo, considerando un periodo di campionamento di 15 giorni è stato: 0,031 µg/m³ per il benzene, 0,013 µg/m³ per il toluene, 0,014 µg/m³ per l'etilbenzene e 0,015 µg/m³ per gli xileni. Il limite di rilevabilità della procedura analitica basato su un rapporto segnale/rumore di fondo maggiore di 3 è stato: 0,25 µg/mL per il benzene, 0,10 µg/mL per il toluene, l'etilbenzene e gli xileni.

Risultati

La Tabella 1 mostra i valori medi e il range dei valori di concentrazione nel complessivo periodo di campionamento (gennaio 2003 – dicembre 2009) e i valori di concentrazione stagionali (primavera, estate, autunno, inverno) dei COV presi in esame.

Tabella 1. Valori medi e statistiche di base rilevati nel periodo di osservazione (gennaio 2003-dicembre 2009). Concentrazioni espresse in µg/m³ (n.=132)

COV	Media	DS	CV%	Min	Max	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
Esano	5,3	1,3	23,7	2,4	10,0	5,3	4,9	6,2	5,0
Metilciclopentano	2,4	0,6	24,5	1,1	4,4	2,3	2,3	2,7	2,4
Cloroformio	0,3	0,1	38,1	0,1	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3
2-metilesano	2,3	0,7	29,9	0,2	4,5	2,2	2,0	2,6	2,3
Cicloesano	2,7	1,2	43,6	0,6	6,8	2,6	2,3	3,2	2,5
Benzene	2,8	1,2	41,4	1,0	6,9	2,3	1,8	3,5	3,7
Eptano	2,4	0,8	31,8	0,1	4,1	2,3	2,1	2,7	2,7
Tricloroetilene	0,3	0,1	39,7	0,1	0,8	0,3	0,4	0,3	0,4
Metilcicloesano	0,7	0,3	40,2	0,1	1,6	0,7	0,7	0,7	0,6
Toluene	10,7	3,9	36,7	4,4	21,5	9,1	8,0	14,3	12,1
Tetracloroetilene	1,6	0,6	37,5	0,6	4,0	1,4	1,4	2,1	1,6
Etilbenzene	1,5	0,6	41,0	0,4	3,7	1,3	1,1	2,0	1,7
m- p- xilene	2,6	1,2	47,3	0,3	6,3	2,2	1,7	3,5	3,1
o- xilene	1,8	0,7	41,9	0,6	4,3	1,5	1,2	2,3	2,0
1,2,4-trimetilbenzene	2,2	1,0	46,7	0,6	6,9	1,8	1,6	2,9	2,5

Le medie e le statistiche sono riferite a periodi di prelievo della durata di 14 giorni.

In particolare nella Tabella 2 si mettono in evidenza i valori delle concentrazioni mensili del benzene nei 7 anni di rilevamento.

Confrontando questi ultimi valori delle concentrazioni mensili (Tabella 2), si riscontra che gli andamenti dei valori di concentrazione presentano un profilo mensile simile, con punte massime del benzene nei mesi di gennaio, febbraio, novembre e dicembre.

Tabella 2. Benzene: raffronto delle concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) mensili nel periodo di riferimento 2003-2009

Mese	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Gennaio	4,3	3,5	4,7	4,0	4,9	3,1	4,9
Febbraio	4,2	3,3	3,5	3,0	3,5	3,4	3,5
Marzo	4,0	3,0	3,2	3,1	3,6	3,8	2,6
Aprile	2,6	2,1	2,2	2,0	2,2	2,4	2,2
Maggio	2,7	1,9	2,0	1,7	1,8	2,2	1,7
Giugno	2,5	2,0	2,4	2,2	1,5	1,7	1,5
Luglio	2,0	2,0	2,3	1,4	1,9	1,1	1,6
Agosto	1,4	1,2	1,4	1,1	1,1	1,0	1,7
Settembre	2,5	2,2	2,7	2,3	2,3	2,6	1,8
Ottobre	3,2	3,2	4,0	3,1	3,3	3,8	3,2
Novembre	3,0	5,0	4,6	4,9	2,5	4,8	3,9
Dicembre	3,5	5,1	3,5	5,6	2,5	4,3	3,3
Valori medi	3,1	2,6	3,0	2,7	2,5	2,9	2,7

Le Figure 1 e 2 mostrano l'andamento medio annuale dei valori delle concentrazioni dei COV che sono indicati come precursori dell'ozono, nel periodo di riferimento 2003-2009.

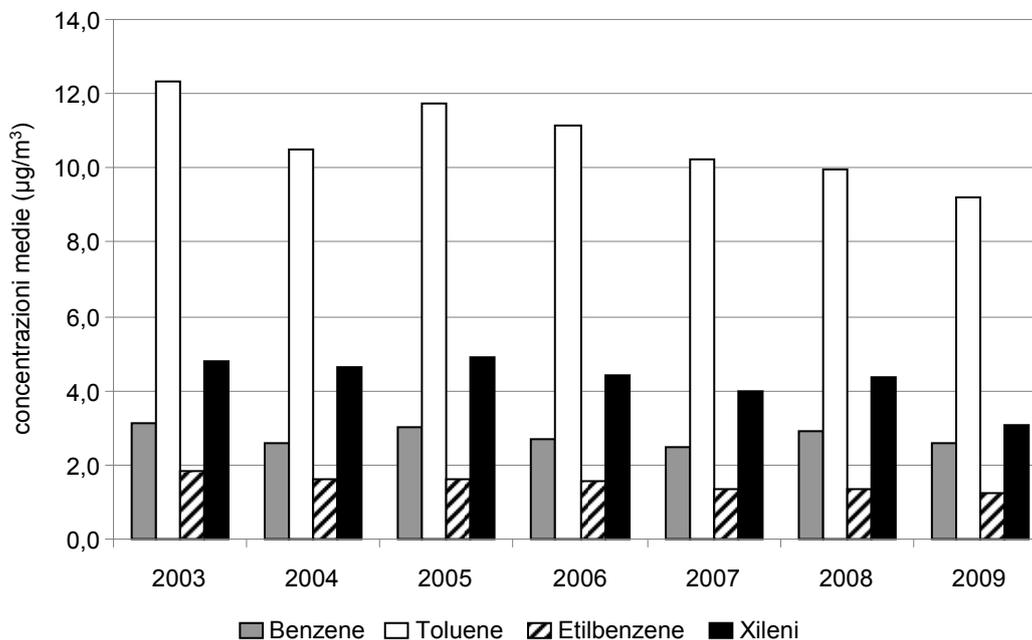


Figura 1. Benzene, toluene, etilbenzene, xileni: concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) annuali nel periodo di riferimento 2003-2009

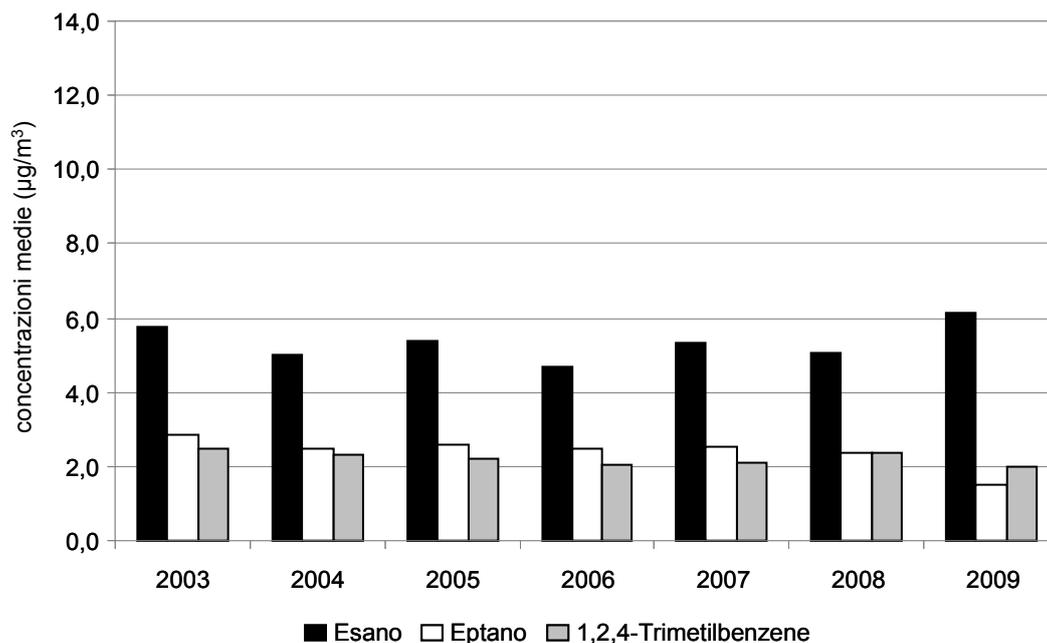


Figura 2. Esano, eptano, 1,2,4-trimetilbenzene: concentrazioni medie (µg/m³) annuali nel periodo di riferimento 2003-2009

La Figura 3 mostra il confronto dei valori medi stagionali del benzene per ogni anno nel periodo di riferimento 2003-2009.

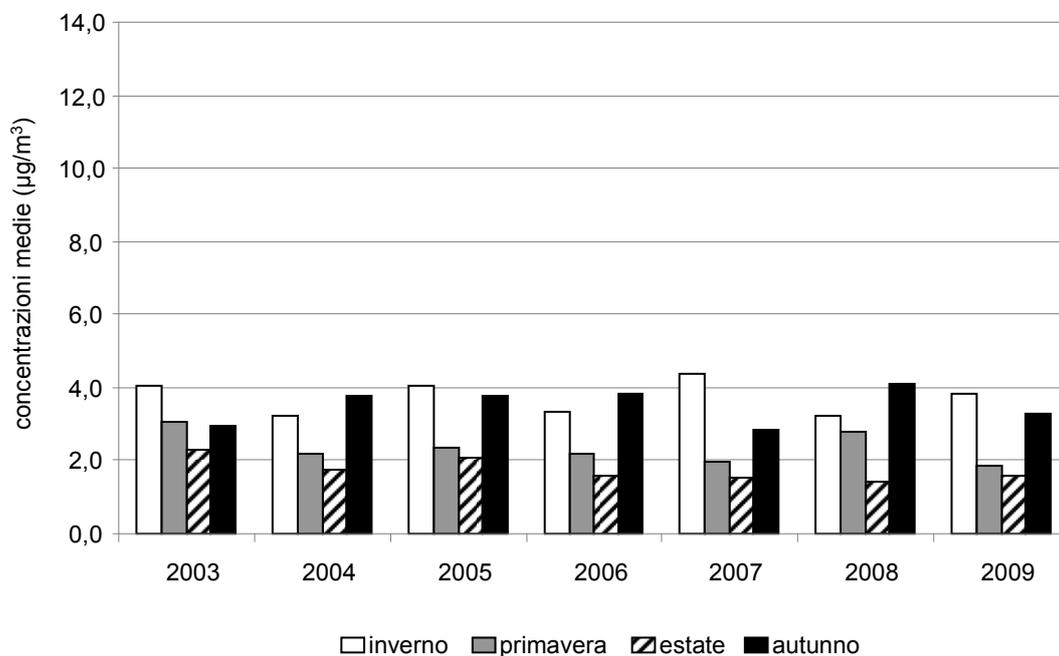


Figura 3. Benzene: concentrazioni medie stagionali (µg/m³), nel periodo di riferimento 2003-2009

Conclusioni

I COV nel periodo di monitoraggio hanno evidenziato i seguenti range di concentrazione (minimo – massimo): toluene 4,4-21,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, etilbenzene 0,4-3,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, orto xilene 0,6-4,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, meta e para xilene 0,3-6,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, esano 2,4-10,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, eptano 0,1-4,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1,2,4-trimetilbenzene 0,6-6,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con i seguenti valori medi: toluene $10,7 \pm 3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, etilbenzene $1,5 \pm 0,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, orto xilene $1,8 \pm 0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, meta e para xilene $2,6 \pm 1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, esano $5,3 \pm 1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, eptano $2,4 \pm 0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 1,2,4-trimetilbenzene $2,2 \pm 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Considerando in particolare i valori di concentrazione del benzene, si riscontra un range di concentrazione (minimo – massimo) 1,0-6,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con un valore medio di $2,8 \pm 1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (vedi Tabella 1). Complessivamente è stato riscontrato un valore medio negli 84 mesi monitorati (vedi Tabella 2), sempre inferiore al limite di 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valore indicato nella Direttiva 2008/50/CE come obiettivo da raggiungere entro gennaio 2010. Fanno eccezione i mesi di dicembre 2004 e dicembre 2006 dove i valori di concentrazione del Benzene sono di poco superiore.

Composti carbonilici

Caratteristiche generali

La formaldeide si presenta allo stato naturale come gas, avente un punto di ebollizione di -21°C , con odore pungente e irritante, appartiene alla categoria delle sostanze organiche volatili.

È commercializzata generalmente in soluzione acquosa al 30-50% in peso, utilizzata come disinfettante (formalina), per conservare materiale biologico o alimentare (E-240). La maggiore parte della formaldeide prodotta industrialmente è destinata alla produzione di resine termoindurenti polimeriche, laminati plastici, adesivi e schiume isolanti, come agente conciante (concia alle aldeidi delle pelli), conservante per il legno, colle e vernici, solvente per cosmetici.

Nelle abitazioni si ritrova prevalentemente nei mobili in legno truciolato e compensato, manufatti in MDF (*Medium-Density Fiberboard*), soprattutto quando sono nuovi, ma anche l'abbigliamento e le tappezzerie, essendo la formaldeide utilizzata nelle stampe dei tessuti, possono essere fonti emissive; essa è quindi molto diffusa negli inquinanti di interni.

Inoltre c'è da considerare il contributo che l'individuo può dare all'emissione di formaldeide nella propria abitazione, essenzialmente come sottoprodotto di processi di combustione (il fumo di sigaretta, incensi, profumanti per la casa, gas alimentare).

L'acetaldeide (etanale) a temperatura ambiente è un liquido incolore, volatile e infiammabile, i cui vapori sono pungenti e irritanti. Utilizzata soprattutto per le sintesi organiche industriali. Anch'essa è un sottoprodotto delle varie combustioni naturali (incendi boschivi) o di natura antropogenica (camini, trattamenti alimentari, sigarette, raffinazione del carbone, stufe a legna).

Gli altri composti carbonilici sono composti non associati a tumori nell'uomo, ma tutti potenzialmente nocivi e irritanti per inalazione. Questi sono utilizzati industrialmente come solventi o per la produzione di farmaci, materie plastiche, profumi, coloranti e si producono spontaneamente nelle reazioni associate a combustioni naturali o di origine antropogenica.

Esposizione

L'esposizione alla formaldeide è una funzione dell'ambiente in cui essa è rilevata. In ambienti indoor si ha un range medio di 10-70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a seconda del tipo dei materiali utilizzati per la costruzione e l'arredamento e le abitudini degli occupanti. Per l'outdoor si ha un range

medio di 1-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a seconda ci si trovi in una zona rurale o urbana, in funzione del traffico veicolare, delle condizioni atmosferiche e da emissioni artigianali e/o industriali.

Effetti per la salute

La formaldeide è classificata come cancerogena di classe 1 (agente cancerogeno per l'uomo) dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (*International Agency for Research on Cancer*, IARC).

L'agenzia americana *Environmental Protection Agency* (US EPA), definisce per la formaldeide, un indice di rischio di cancerogenicità per un'esposizione dovuta ad inalazione (*Inhalation Unit Risk*) di $1,3 \times 10^{-5}$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ovvero il rischio di contrarre un tumore, in un'ipotetica popolazione nella quale tutti gli individui sono costantemente esposti, per tutto il loro tempo di vita, ad un'esposizione di 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La pericolosità della formaldeide è legata prevalentemente alla sua volatilità, infatti, la via di penetrazione principale è quella respiratoria (naso, gola). L'effetto irritante è avvertibile già a concentrazioni molto basse. L'esposizione, specie se prolungata, può provocare anche effetti sul sistema nervoso centrale, con stanchezza, emicranie, nausea, sonnolenza, vertigini. Inoltre può diventare un allergene, scatenando una reazione immunitaria con produzione di anticorpi IgE e relativo edema, infiammazione, lacrimazione, gola dolorante e formicolio al naso.

L'acetaldeide è classificata dalla IARC come cancerogeno di classe 2B (possibile carcinogeno per l'uomo). Come per la formaldeide agisce per lo più come agente irritante per le prime vie aeree (naso, gola) e occhi.

L'intossicazione cronica da acetaldeide da sintomi simili all'alcolismo (vista annebbiata e stati di incoscienza), infatti essa è uno dei principali sottoprodotti della ossidazione dell'etanolo che avviene nel fegato.

Gli altri composti carbonilici, hanno effetti che vanno dal moderatamente tossico al fortemente irritante per occhi, naso, gola e pelle. Alcuni hanno un'attività depressiva del sistema nervoso centrale: acetone e benzaldeide hanno effetti narcotici; la propionaldeide può provocare convulsioni e dispnea; la valeraldeide debolezza muscolare e atassia. Sono stati poco studiati gli effetti a lungo termine ad una loro esposizione, per cui nessuno è classificato come cancerogeno.

Legislazione

Il recepimento nella normativa italiana inizia con il DPR del 10 settembre 1982, n. 904. "Attuazione della direttiva 76/769/CEE relativa alla immissione sul mercato e all'uso di talune sostanze e preparati pericolosi".

Successivamente la Circolare n. 57 del Ministero della Sanità del 22 giugno 1983, "Usi della formaldeide: rischi connessi alle possibili modalità di impiego", prevede che "la formaldeide potrà continuare ad essere utilizzata a condizione che i produttori assicurino il rispetto delle cautele, in attesa che un'adeguata normativa venga definita. Resta valido in ogni caso, in via sperimentale e provvisoria il limite massimo di esposizione di 0,1 ppm (0,124 mg/m^3) negli ambienti di vita e di soggiorno nei quali i materiali compensati, pannelli truciolati, di conglomerati in sughero siano stati utilizzati". In seguito il D.M. del 15/04/1994 recepisce la norma UNI EN 712-2 come metodo analitico per la determinazione e il limite di rilascio per gli arredi in legno ($3,5 \text{ mg}/\text{m}^2 \times \text{h}$), inserendo la formaldeide tra gli inquinanti di interesse prioritario.

Il successivo DL.vo 351/1999, inserisce la formaldeide negli inquinanti che sono disciplinati dalle direttive della Comunità Europea, indicando gli "inquinanti da considerare nel quadro della valutazione e della gestione della qualità dell'aria ambiente", definendo le modalità di

definizione dei criteri di valutazione. Con l'approvazione del Decreto Ministeriale 10 ottobre 2008, "Disposizioni atte a regolamentare l'emissione di aldeide formica da pannelli a base di legno e manufatti con essi realizzati in ambienti di vita e soggiorno". Pubblicato sulla *Gazzetta Ufficiale* n 288 del 10/12/2008, Serie Generale, pagine 31/34, è stato fissato un limite di emissione dai pannelli di legno di 0,1 ppm. La formaldeide è stata inserita, come altri COV, dalla Direttiva 2008/50/CE, dell'11 giugno 2008, tra le sostanze da monitorare nelle aree urbane e suburbane, la cui misurazione è necessaria poiché implicate nelle reazioni chimiche che nell'atmosfera portano alla formazione dell'ozono.

Materiali e metodi

Campionamento

Il campionamento di tipo passivo dei composti carbonilici è stato effettuato mediante campionatori diffusivi radiali (Radiello®). Il Radiello® per i composti carbonilici è costituito da una cartuccia adsorbente in rete cilindrica di acciaio inossidabile (100 mesh) con diametro pari a 5,9 mm contenente 900 mg di Florisil (35-50 mesh) rivestito con 2,4-dinitrofenilidrazina (2,4-DNPH).

La cartuccia è contenuta in un corpo diffusivo cilindrico di polietilene microporoso sintetizzato montato su un supporto di policarbonato.

Analisi

La cartuccia adsorbente, dopo il campionamento, viene desorbita con 2 mL di acetonitrile (Carlo Erba) per cromatografia e sottoposta per 30 minuti ad agitazione meccanica e successivamente filtrata con filtri Mille GV da 0,22 µm. La determinazione analitica degli inquinanti viene effettuata con il metodo dello standard esterno. La calibrazione è stata effettuata attraverso l'iniezione di standards di idrazoni solidi dissolti in acetonitrile (Carlo Erba).

Le analisi quali-quantitative sono state effettuate utilizzando un HPLC (Agilent Technologies 1100 Series) con rivelatore UV, equipaggiato con una colonna impaccata Restek Ultra C18 (5 µm, 4,6 mm x 250 mm).

Il volume di ogni singolo campione iniettato è di 20 µl. Le condizioni di eluizione impiegate prevedono un flusso iniziale della fase mobile acqua/acetonitrile 1,8 mL/min con un rapporto percentuale 52/48 per i primi 5 minuti, poi con gradiente di eluizione (da 5 a 20 minuti) con un incremento dell'acetonitrile fino al 100%. La rivelazione degli analiti è stata effettuata con rivelatore UV alla lunghezza d'onda di 365 nm.

Risultati

La Tabella 3 mostra i valori medi e il range dei valori di concentrazione nel complessivo periodo di campionamento (gennaio 2006 – dicembre 2009) e i valori di concentrazione stagionali (primavera, estate, autunno, inverno) dei composti carbonilici presi in esame.

La Figura 4 mostra l'andamento medio annuale dei valori delle concentrazioni dei composti carbonilici nel periodo di riferimento 2006-2009.

La Figura 5 mostra il confronto dei valori medi stagionali della formaldeide per ogni anno nel periodo di riferimento 2006-2009.

Tabella 3. Composti carbonilici: valori medi e statistiche di base rilevati nel periodo di osservazione (gennaio 2006-dicembre 2009). Concentrazioni espresse in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (n.=73)

Analiti	Media	DS	CV%	Min	Max	Primavera	Estate	Autunno	Inverno
Formaldeide	4,3	1,6	37,2	1,2	10,3	4,6	4,0	4,7	3,7
Acetaldeide	3,9	2,4	61,5	0,7	13,0	4,4	2,6	4,9	3,4
Acetone	2,1	0,9	44,0	0,5	5,5	2,0	2,2	2,1	1,9
Propionaldeide	2,7	1,4	52,6	0,3	7,7	3,5	2,1	2,6	2,7
Crotonaldeide	1,9	0,9	49,5	0,5	4,7	2,2	1,7	1,7	1,9
Butiraldeide	2,6	1,0	38,7	0,4	4,9	3,0	2,6	2,2	2,4
Benzaldeide	0,9	0,6	74,3	0,1	2,9	1,1	0,6	0,9	0,9
Isovaleraldeide	0,2	0,1	61,2	0,1	1,0	0,2	0,3	0,1	0,2
Valeraldeide	0,4	0,2	55,8	0,1	1,5	0,3	0,3	0,4	0,3

Le medie e le statistiche sono riferite a periodi di prelievo della durata di 14 giorni.

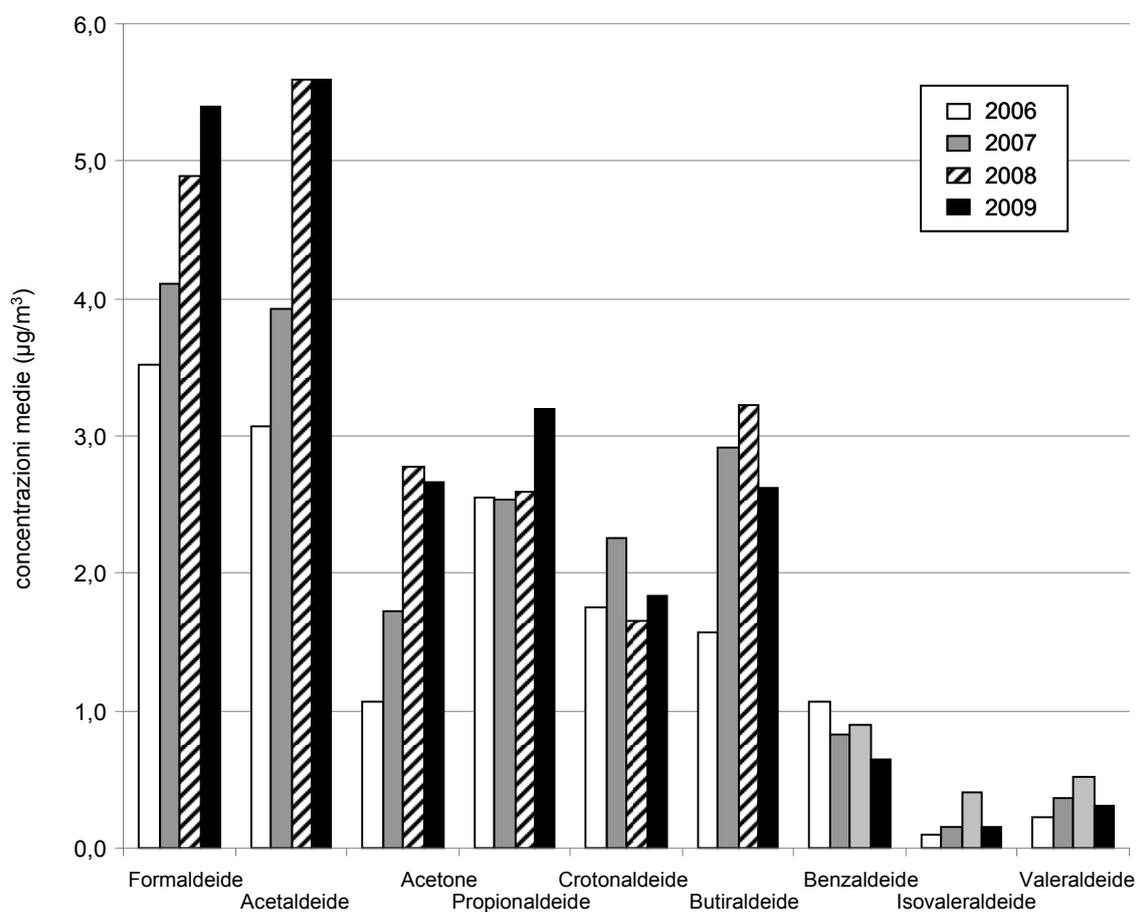


Figura 4. Composti carbonilici: concentrazioni medie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) annuali nel periodo di riferimento 2006-2009

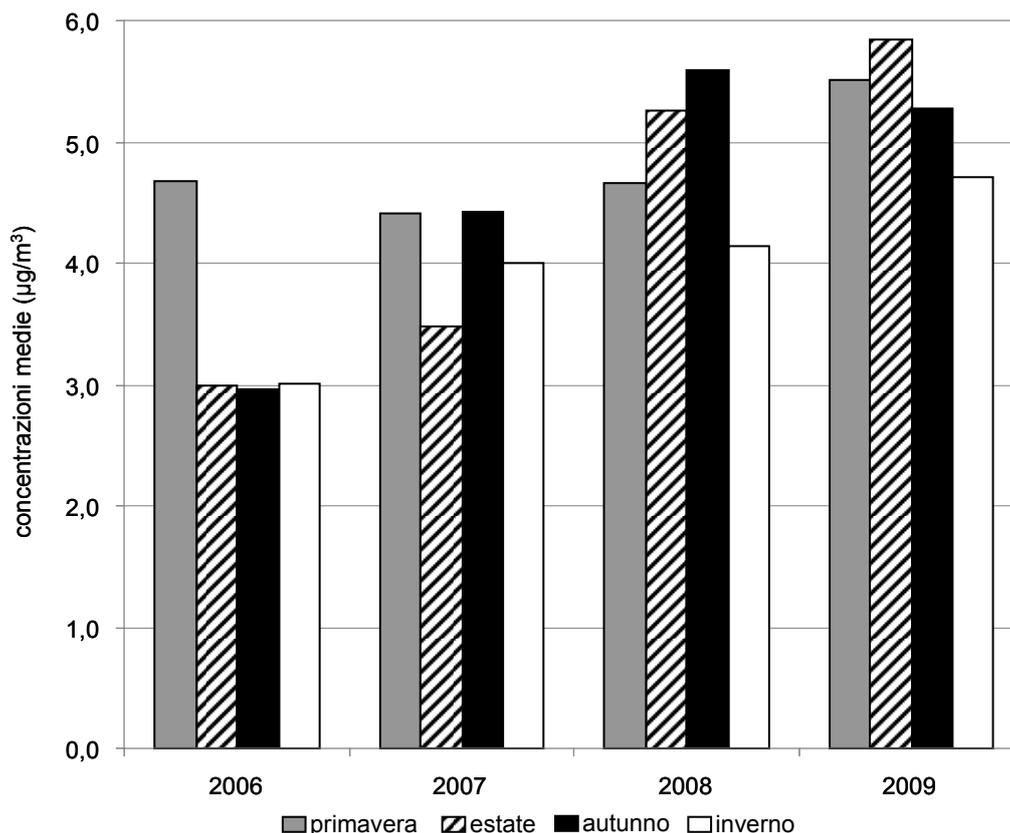


Figura 5. Formaldeide: concentrazioni medie stagionali ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), nel periodo di riferimento 2006-2009

Conclusioni

I risultati sperimentali mostrano una non evidente dipendenza stagionale dei valori di concentrazione per i composti carbonilici, così come è stato invece riscontrato nel capitolo precedente relativo agli alifatici-aromatici, determinati nello stesso periodo. Infatti, come si evince dalla Tabella 1 i valori di concentrazione stagionale ottenuti sono tra loro paragonabili, si notano solo moderate fluttuazioni.

Al contrario nell'ambito di ciascun monitoraggio stagionale, nell'arco di tutti e quattro gli anni, si notano invece valori tra loro alquanto differenziati tra la concentrazione minima e massima: formaldeide 1,2-10,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; acetaldeide 0,7-13,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; acetone 0,5-5,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; propionaldeide 0,3-7,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; crotonaldeide 0,5-4,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; butiraldeide 0,4-4,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; la benzaldeide 0,1-2,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; isovaleraldeidee 0,1-1,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; valeraldeide 0,1-1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'esperienza maturata precedentemente e dal presente studio, evidenzia che i livelli di concentrazione dei composti carbonilici in ambienti outdoor è inferiore rispetto a quelli riscontrati in ambienti indoor. Per evidenziare la marcata differenza dei valori outdoor e indoor si porta ad esempio il caso della formaldeide, che outdoor generalmente ha valori di concentrazione intorno ai 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mentre indoor generalmente si riscontrano valori di concentrazione intorno ai 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ciò è imputabile al maggior numero di fonti emissive proprie nell'indoor.