

Emissioni chimiche dagli sfiati delle asciugatrici domestiche durante l'uso di prodotti profumati per il bucato

Anne C. Steinemann¹, Lisa G. Gallagher², Amy L. Davis³, Ian C. MacGregor⁴
published in Air Quality, Atmosphere and Health, 2011

Ricevuto: 11 giugno 2011 / Accettato: il 4 Agosto 2011 / Pubblicato online: 19 agosto 2011
© Springer Science+Business Media B.V. 2011

Traduzione di Donatella Stocchi e Emmanuela Tanon

Astratto

I prodotti comuni per il bucato, utilizzati nelle lavatrici e nelle asciugatrici possono contribuire alle emissioni esterne attraverso gli sfiati dell'essiccatore. Tuttavia, i tipi e la quantità di sostanze chimiche emesse sono in gran parte sconosciute. Per indagare queste emissioni, abbiamo analizzato la volatilità dei composti organici (VOC) dei prodotti profumati per il bucato sia nello spazio di testa (n.t.d. E' una analisi chimica denominata: "A spazio di testa". Una tecnica sviluppata per i composti odorosi presenti nell'aria che circonda gli oggetti), che nell'aria emessa dal foro di ventilazione dell'asciugatrice durante l'uso di questi prodotti. In uno studio controllato di lavaggio e asciugatura della biancheria, abbiamo campionato le emissioni da due prese d'aria di asciugatrici domestiche quando non viene usato nessun prodotto, durante l'uso di un detersivo profumato, e durante l'uso di un detersivo profumato e di un foglietto ammorbidente profumato in microfibra per asciugabiancheria. Le nostre analisi hanno rivelato l'emissione di più di 25 VOC dai fori di ventilazione delle asciugatrici, le più alte concentrazioni essendo quelle di acetaldeide, acetone ed di etanolo. Sette di questi VOC sono classificati come inquinanti dell'aria pericolosi (HAP) e due come cancerogeni HAP (acetaldeide e benzene) con nessun livello sicuro di esposizione, secondo la Environmental Protection Agency (EPA)/Agenzia per la Protezione Ambientale degli Stati Uniti. In tale contesto, per rilevanza, le emissioni di acetaldeide durante l'impiego di una marca di detersivo rappresenterebbero il 3% del totale delle emissioni di acetaldeide da automobili nell'ambito dello studio. Il nostro studio sottolinea la necessità di ulteriori ricerche su questa fonte di emissioni e sul potenziale impatto sulla salute umana e salute ambientale.

1 Professor, Civil and Environmental Engineering, and Public Affairs, University of Washington

2 Senior Fellow, University of Washington

3 Staff Specialist, University of Washington

4 Principal Research Scientist, Battelle Memorial Institute

A. C. Steinemann (*) : L. G. Gallagher : A. L. Davis
University of Washington,
UW Mail Code 352700,
Seattle, WA 98195-2700, USA
e-mail: acstein@u.washington.edu

I. C. MacGregor
Battelle Memorial Institute,
Columbus, OH 43201-2693, USA

Parole chiave - Emissioni. Fragranza/Profumo. Sfiato asciugatrice. Prodotti di lavanderia. VOC.

Ambiente di ricerca

I detersivi per bucato e i foglietti per asciugatrice profumati emettono sostanze chimiche nell'ambiente attraverso l'aria scaricata all'aperto così come attraverso le acque reflue di lavanderia, i residui sui capi del bucato e altre vie. Si conosce poco intorno alle sostanze chimiche dei prodotti per il bucato perché le etichette non sono tenute a elencare alcuni o tutti gli ingredienti (Steinemann 2009). Una unica profumazione in un prodotto può contenere fino a diverse centinaia di sostanze chimiche tra più di 2.600 sostanze chimiche documentate come fragranze (Ford e al., 2000; Bickers e al. 2003). Alcune di queste sostanze chimiche sono classificate come tossiche o pericolose secondo la legge federale (Steinemann e al. 2011). Dato l'uso diffuso, i prodotti profumati per il bucato rappresentano una fonte di emissioni potenziale significativa.

Gli ingredienti profumati dei prodotti di consumo e la loro sorte e come vengono trasportati nell'ambiente sono stati oggetto di indagine in un precedente lavoro parziale. Alcuni studi hanno analizzato i composti organici volatili (VOC) nei prodotti stessi (Steinemann e al. 2011; Wallace e al. 1991; Cooper e al. 1992; Rastogi e al. 2001; Jo e al. 2008), mentre altri hanno esaminato la generazione di inquinanti secondari dovuta alle reazioni tra i VOC del prodotto e l'ozono (Nazaroff e Weschler 2004; Sarwar e al. 2004; Destailats e al. 2006). Altri lavori si sono focalizzati sui muschi sintetici e la loro presenza nell'acqua, nei sedimenti, nell'aria, nel liquame, negli impianti di trattamento delle acque reflue, negli organismi acquatici e nei prodotti per la casa (Rimkus 1999; Peck Hornbuckle 2006; Alvarez e al. 1999; Simonich e al. 2000, 2002; Reiner e al. 2007; Reiner e Kannan 2006).

Questo documento rappresenta il primo studio (a nostra conoscenza) volto a identificare e a quantificare le emissioni dagli sfiati delle asciugabiancheria domestiche durante l'uso di prodotti profumati per la biancheria. Gli obiettivi di questa ricerca erano di determinare le identità e le concentrazioni di composti nell'aria ventilata all'esterno delle abitazioni durante l'utilizzo tipico di prodotti per il bucato, per stimare la potenziale rilevanza delle emissioni, porre le basi e definire l'orientamento di uno studio futuro.

Approccio

Un protocollo dettagliato è stato sviluppato per questo studio (vedi Tabella 1). Le macchine e il bucato sono stati preparati e i campioni raccolti e analizzati, utilizzando la stessa procedura in ogni abitazione. Le emissioni dai fori di ventilazione sono state campionate durante l'utilizzo di (a) nessun prodotto, (b) solo detergente e (c) detersivo e fogli ammorbidenti profumati per asciugatrice. (1) I campioni prelevati dallo sfiato dell'aria, uno per ciascuna delle tre condizioni di utilizzo in ogni sito, sono stati raccolti per circa 15 min. durante il ciclo di asciugatura utilizzando dei contenitori di acciaio inox sotto vuoto di 400 mL foderati di silice fusa. Per ridurre al minimo la raccolta di aria ambientale (vale a dire, l'aria non proveniente dallo sfiato della asciugatrice), l'ingresso del contenitore è stato posto direttamente nel flusso di aria in uscita dallo sfiato.

Questo studio è stato condotto su due giorni in due case a Seattle, Washington. I proprietari delle abitazioni si sono offerti volontariamente di concedere l'uso delle proprie lavatrici. In entrambi i siti, le macchine erano in buone condizioni operative e la ventilazione verso l'esterno delle asciugatrici era prevista attraverso tubi di alluminio flessibile. Entrambi i proprietari di case avevano utilizzato dei prodotti profumati nelle macchine in precedenza, tuttavia si era trattato di un uso occasionale presso il sito 1 mentre il sito 2 riguardava un uso tipico.

I prodotti per il bucato selezionati per l'uso sono stati quelli maggiormente venduti annualmente negli Stati Uniti nelle categorie di mercato (MarketResearch.com 2007). La stessa marca di detersivo liquido profumato è stato utilizzato in entrambi i siti secondo la formulazione appropriata (regolare per il carico dall'alto sul sito 1 e ad alta efficienza per il carico frontale al sito 2), nonché la stessa marca di fogli per asciugatrice.

Metodi

I campioni per l'analisi chimica: "A spazio di testa", sono stati preparati mettendo circa 2 grammi di ciascun prodotto di consumo (detersivo per bucato e foglio per asciugabiancheria) in singole boccette pulite di vetro da 0,5 litri, che contenevano inizialmente solo l'aria ambientale del laboratorio, ed effettuando successivamente una equilibratura per almeno 24 ore a temperatura ambiente. I contenitori che racchiudevano le emissioni dello sfiato delle asciugatrici sono stati pressurizzati con aria priva di idrocarburo per facilitare l'analisi. Quindi ciascun campione di spazio di testa e dei contenitori metallici è stato sottoposto una volta all'analisi dei VOC. A livello nominale, l'analisi dei campioni e le procedure di riduzione dei dati erano identici a quelli presentati da Steinemann e al. (2011). L'analisi è stata effettuata utilizzando un sistema combinato di gascromatografia Agilent 6890/5973 e di spettrometria di massa (GC/MS) interfacciato a un preconcentratore criogenico Entech 7100A e generalmente seguendo le linee guida definite negli Stati Uniti dall' EPA - Compendio Metodo TO-15 (EPA 1999). Il sistema di preconcentrazione ha funzionato in modalità microscala "purge and trap"; in entrambi i casi è stato concentrato a 2 mL (per i vapori spazio di testa) o 200 mL (per i contenitori degli sfiati dell'essiccatore). I primi 20 picchi di ioni totali di corrente sono stati selezionati da ciascun cromatogramma e identificati sulla base della loro corrispondenza con la *mass spectral library* e in considerazione della consistenza della struttura proposta e del peso molecolare con il tempo di ritenzione osservato. Le concentrazioni sono state stimate utilizzando i relativi fattori di risposta dei composti surrogati selezionati e i livelli nei contenitori sono stati corretti mediante diluizione. Sono stati segnalati solo i VOC con concentrazioni di spazio di testa superiori a 100 µg/m³, e le concentrazioni dello sfiato degli essiccatori superiori a 2 µg/m³. (2)

Risultati

Nelle emissioni dei fori di ventilazione delle asciugabiancheria i VOC erano diversi in base al sito e ai campioni prelevati durante l'uso di (a) nessun prodotto, (b) solo detersivi, e (c) detersivo e fogli ammorbidenti profumati per essiccatoi (Tabella 2). Durante l'uso del prodotto detersivo, 21 VOC unici sono stati identificati in entrambi i siti (13 VOC al sito 1 e 19 VOC al sito 2). I VOC seguenti sono stati trovati in uno o entrambi i siti durante l'uso di "solo detersivo" ma non nel caso "nessun prodotto": acetaldeide, acetone, benzaldeide, butanal, dodecano, esanale, limonene, nonanal, 1-propanale, e 2-butanone. Dei VOC trovati nei campioni "solo detersivo", quattro sono stati rilevati nelle analisi GC/MS dello spazio di testa del prodotto detersivo (Tabella 3): dodecano, etanolo, limonene, e 2-butanone. Durante l'uso di detersivo e dei fogli profumati per asciugatrice, 25 composti unici sono stati identificati tra entrambi i siti (16 VOC al sito 1 e 24 VOC al sito 2). I seguenti composti organici volatili sono stati trovati in uno o entrambi i siti durante l'uso di "detersivo e fogli per asciugatrice" ma non nel caso "nessun prodotto": acetaldeide, acetone, benzaldeide, butanal, dodecano, esanale, limonene, nonanale, ottanale, tetramethylpropylidene ciclopropano, 1 - (1,1-dimetil) -4-etilbenzene, 1-propanale, 2- butanone, e 2,7-dimetil-2,7-ottandiolo. Dei VOC trovati nei campioni "detersivo e fogli per asciugatrice", quattro sono stati rivelati nelle analisi GC/MS dello spazio di testa del prodotto detersivo (Tabella 3): dodecano,

etanolo, limonene, e 2-butanone, e otto sono stati trovati nelle analisi GC/MS dello spazio di testa dei prodotti - foglio per asciugatrice (Tabella 4): acetaldeide, acetone, butano, etanolo, alcool isopropilico, limonene, metanolo, e 2,7-dimetil-2,7-ottandiolo.

Tra tutte le sostanze chimiche raccolte durante l'uso dei prodotti profumati nei campioni dello sfiato per essiccatoi, le concentrazioni più elevate erano di **acetaldeide, acetone ed etanolo**. L'acetaldeide variava da 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, l'acetone spaziava da 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e l'etanolo variava da 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I livelli medi annuali ambientali di acetaldeide e acetone, rispettivamente, nell'area di studio, durante questo periodo di campionamento, erano 0,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (le medie mensili variavano da 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a 1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e 2,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (le medie mensili spaziavano da 1,4 mg/m^3 a 3,0 mg/m^3). Così, le concentrazioni di acetaldeide nelle emissioni dalle bocche dell'asciugatrice sono più di 25 volte il livello medio annuo ambientale e più di 10 volte per l'acetone (EPA 2008).

Abbiamo inoltre rilevato sette VOC nei fori di ventilazione per le asciugabiancheria che sono classificati come pericolosi inquinanti dell'aria o "HAP" (EPA 1994): acetaldeide, benzene, etilbenzene, metanolo, *m/p*-xilene, *o*-xilene e toluene. Le concentrazioni di ciascuno di questi HAP erano maggiori nei campioni degli sfiati dell'asciugatrice che nelle tipiche concentrazioni ambientali medie, il che suggerisce che le emissioni dei fori di ventilazione sono una potenziale fonte di questi composti. (4) Due di questi composti (acetaldeide e benzene) sono classificati come cancerogeni HAP, senza livello di esposizione sicuro (EPA 2005, 2010).

Tabella 1. Protocollo per cicli di lavaggio e campionamento dell'aria

Preparazione:

Ogni lavatrice e asciugatrice è stata pulita all'interno con aceto bianco e asciugamani di carta non sbiancata per rimuovere i residui. In ogni lavatrice vuota è stato eseguito un lavaggio a ciclo completo con risciacquo e ciascuna asciugatrice ha funzionato per 10 minuti senza carico. Un nuovo set di sei asciugamani di cotone biologico 100% privi di coloranti, sono stati utilizzati per ogni sito. Ogni set è stato pre-risciacquato solo in acqua ed essiccato usando una macchina e un'asciugatrice fuori sede nelle quali non era stato usato nessun prodotto profumato precedentemente.

Esempio A:

Senza prodotti. Utilizzando solo asciugamani nel lavaggio e nel ciclo di asciugatura, i campioni sono stati prelevati dallo sfiato d'aria della asciugatrice, dopo 15 minuti nel ciclo di asciugatura, per misurare le concentrazioni standard dei composti.

Esempio B:

Detersivo liquido profumato. Nella lavatrice contenete gli asciugamani sono stati utilizzati 2 tappi di detersivo, come raccomandato sulla confezione del prodotto per maggiori capacità di carico. I campioni sono stati prelevati dallo scarico del flusso d'aria della asciugatrice dopo 15 minuti.

Esempio C:

Detergente liquido e fogli per asciugatrice entrambi profumati. Dopo il detersivo utilizzato nel lavaggio, nell'essiccatoio contenete gli asciugamani sono stati impiegati due fogli di ammorbidente profumati per asciugabiancheria, come raccomandato sulla confezione del prodotto per maggiori capacità di carico. I campioni sono stati prelevati dallo sfiato dell'aria dell'asciugatrice dopo 15 minuti.

Tabella 2 I composti trovati nei campioni dello scarico esterno delle asciugabiancheria

(concentrazioni in microgrammi per metro cubo)

Sito 1: 1 (a) nessun prodotto, 1 (b) solo detersivo e 1 (c) detersivo e fogli ammorbidenti per asciugatrice.

Sito 2: 2 (a) nessun prodotto, 2 (b) solo detersivo, e 2 (c) detersivo e fogli ammorbidenti per asciugatrice

a- Composti elencati in ordine alfabetico

Composto (a)	CAS#	1(a)	1(b)	1(c)	2(a)	2(b)	2(c)
Acetaldeide	75-07-0		36	22	41	47	36

Acetone	67-64-1		36	24	28	32	31
Benzaldeide	100-52-7					5.8	4.9
Benzene	71-43-2				2.7	2.2	
Butanal	123-72-8		3.8	2.6	3.5	4.0	3.0
Butano	106-97-8	5.2	5.2	5.3	5.9	4.5	4.6
Dodecano	112-40-3			2.6		3.0	3.7
Etanolo	64-17-5	22	32	50	14	25	15
Etilbenzene	100-41-4				3.8	2.3	2.2
Idrazide acido formico	624-84-0	6.0	5.6	4.7	7.9	8.2	6.4
Esanale	66-25-1		2.4	2.3		5.7	3.2
Isobutane	75-28-5	3.2					
Alcool isopropilico	67-63-0	4.2	2.9	3.0			
Limonene	138-86-3			9.3		3.5	14.7
<i>m / p</i> -Xilene	106-41-3				12	8.8	9.4
Metanolo	67-56-1	6.5	12	10	15	21	14
Nonanale	124-19-6			2.1		4.0	3.7
Norfiorame	811-97-2	31	3.7				
<i>o</i> -Xilene	95-47-6				4.8	3.4	3.6
Ottanale	124-13-0			2.4			4.7
Pentanale	110-62-3				3.2	3.8	
Tetramethylpropylidene cyclopropane	24519- 04-8						2.1
Toulene	108-88-3	4.3	4.2	2.9	7.1	9.5	5.0
1- (1,1-Dimetiletil) -4- etilbenzene	7364-19- 4						2.3
1-Propanolo	71-23-8-		3.5	3.0	3.7	4.8	4.0
2-Butanone (metil-etil chetone)	78-93-3		4.3	3.0	5.9	5.9	4.9
2-Metilbutano	78-78-4	6.4					
2,2-Dimetilesano	590-73-8				2.2		2.1
2,7-Dimetil-2,7- Octanediol	19781- 07-8						4.0

Tabella 3

Composti trovati nell'analisi dello spazio di testa del detersivo (elencati in ordine decrescente per concentrazione nello spazio di testa)

Composto	CAS#
Etanolo	64-17-5
Limonene	138-86-3
2-Metil-2-propanolo (t-butilico)	75-65-0
1,4-Diossano	123-91-1
3,7-Dimetil-1,6-ottadiene	10281-56-8
acetato di etile	141-78-6
alfa-Pinene	80-56-8
beta-Pinene	127-91-3
2-Butanone (metil-etil chetone)	78-93-3
1-Metil-3- (1-metiletil) -cyclohexene	13828-31-4
2,4-Dimetil-3-cicloesene-1- carboxaldeide (Triplal 1)	68039-49-6
Undecano	1120-21-4
beta-Terpinene	99-84-3
Acetato benzilico	140-11-4
Dodecano	112-40-3
alfa-Terpinene	99-86-5
Carene isomero	ad. es. 13466-78-9
Bornano	464-15-3

Tabella 4

Composti trovati nell' analisi dello spazio di testa del foglio ammorbidente dell'asciugatrice (elencati in ordine decrescente per concentrazione nello spazio di testa)

Composto	CAS #
Limonene	138-86-3
Metanolo	67-56-1
2,7-Dimetil-2,7-octanediol	19781-07-8
Butano	106-97-8
(Z) -2- (3,3-Dimethylcyclohexylidene) etanolo	26532-23-0
Acetone	67-64-1
Acetaldeide	75-07-0

beta-Pinene	127-91-3
Solfuro di carbonile	463-58-1
Alcool isopropilico	67-63-0
Etanolo	64-17-5

Significato delle emissioni

Per fornire un contesto sul significato delle emissioni dei fori di ventilazione, abbiamo stimato la massa di emissioni annue di acetaldeide durante l'uso del detersivo per bucato testato in questo studio, e rispetto alle emissioni annue di acetaldeide da veicoli a motore nella contea di King, Washington. Le emissioni annue di acetaldeide, durante l'uso di solo questo detersivo per il bucato, sarebbero di circa 1.660 libbra/anno. Confrontato alle emissioni delle automobili di circa 56.000 libbre/anno, le emissioni degli sfoghi dell'asciugatrice durante l'uso unico di questo detersivo per bucato rappresenterebbero il 3% delle emissioni delle automobili. Se consideriamo le potenziali emissioni nelle famiglie per l'uso di uno dei cinque detersivi per bucato più venduti, supponendo che le emissioni degli altri quattro prodotti profumati per il bucato siano simili a questo prodotto più venduto, le emissioni degli scarichi dell'essiccatore sarebbero stimate in 3.545 libbre/anno, pari al 6% delle emissioni da automobili. (5)

Discussione

Questo studio ha esaminato le emissioni degli sfiati di ventilazione dalle asciugatrici in abitazioni singole durante l'utilizzo tipico dei prodotti profumati per il bucato. Tra i due siti, più di 25 VOC sono stati trovati nelle emissioni di scarico dell'aria, tra cui sette pericolosi inquinanti dell'aria e due agenti cancerogeni probabili. Quindi, un risultato chiave è l'identificazione e la quantificazione delle emissioni potenzialmente pericolose dagli sfiati dell'asciugatrice. E' interessante notare che l'acetaldeide è stata trovata nell'analisi a spazio di testa del prodotto foglio per asciugatrice, ma non nel prodotto detergente, anche se l'acetaldeide è stata evidenziata nei campioni dagli scarichi di sfogo in entrambi i siti durante l'uso del detergente. Pertanto, l'acetaldeide potrebbe essere un inquinante secondario risultante da una reazione tra gli ingredienti del prodotto (ad es. i terpeni, come il limonene) e i composti ambientali (ad es. l'ozono) (Nazaroff e Weschler 2004). Potrebbe anche essere un residuo precedente dell'uso di prodotti, da riscaldamento e reazioni dei prodotti profumati nelle macchine o altri fattori. (6)

Praticamente nessuno dei VOC identificati nelle analisi GC/MS dello spazio di testa dei prodotti sono stati elencati sull'etichetta del prodotto o nella scheda di sicurezza. (Solo l'etanolo era nella lista sulla MSDS - scheda di sicurezza del detersivo.) Invece di elencare gli ingredienti chimici, sulle etichette dei prodotti e sulle schede di sicurezza, sono stati utilizzati solo termini generici, come ad esempio "tensioattivi biodegradabili", "ammorbidenti" o "profumo". Così, i consumatori non possono essere a conoscenza di sostanze chimiche potenzialmente pericolose emesse dai prodotti.

Questo studio, il primo a caratterizzare le emissioni degli scarichi delle asciugatrici durante l'uso di prodotti profumati per il bucato, ha scoperto che molte sostanze chimiche sono emesse dalle prese d'aria dell'asciugabiancheria, tra cui alcune classificate come pericolose (EPA 2010). Inoltre, nel caso dell'acetaldeide, tali emissioni potrebbero contribuire in modo non trascurabile alle concentrazioni globali in aree popolate.

L'obiettivo dello studio è stato quello di chiarire i tipi, le concentrazioni e il potenziale significato delle emissioni, piuttosto che spiegare perché le emissioni variavano tra i siti o le precise fonti dei composti identificati. Alla luce di questi risultati, una ricerca supplementare è giustificata per indagare il potenziale impatto delle emissioni di tali prodotti dagli sfiati delle

asciugatrici sull'ambiente e sulla salute umana. La ricerca futura può indagare quanto segue: la persistenza dei prodotti chimici profumati per bucato e il loro contributo alle emissioni (cioè, composti residui dall'uso precedente di prodotti nelle macchine); un confronto delle emissioni tra i prodotti profumati e quelli senza profumo; le emissioni di composti organici semivolatili e di aerosol di composti organici secondari; e il peso aggiuntivo delle emissioni degli sfati delle asciugatrici nell'aria ambientale.

Ringraziamenti

Ringraziamo le persone che si sono offerte volontariamente di concedere l'uso delle loro case, lavatrici e asciugatrici per realizzare questo studio. Ringraziamo anche Jaret Basiden per la sua preziosa collaborazione in questo articolo.

Referenze

- Alvarez FR, Shaul GM, Krishnen ER, Perrin DL, Rahmen M (1999) Fate of terpene compounds in activated sludge wastewater treatment systems. *J Air Waste Manag Assoc* 49(6):734-739
- Bickers DR, Calow P, Greim HA, Hanifin JM, Rogers AE, Saurat JH, Sipes IG, Smith RL, Tagami H (2003) The safety assessment of fragrance materials. *Regul Toxicol Pharmacol* 37(2):218-273
- Cooper S, Raymer J, Pellizzari E, Thomas K, Castillo N, Maewall S (1992) Polar organic compounds in fragrances of consumer products. Final Report, Contract # 68-02-4544, Research Triangle Park, NC, US EPA
- CPSC (2000) U.S. Consumer Product Safety Commission. Electric & gas clothes dryers--staff evaluation (0101), February 2000. <http://www.cpsc.gov/library/foia/foia00/os/clothes.pdf>. Accessed 4/20/2011
- Destailats H, Lunden MM, Singer BC, Coleman BK, Hodgson AT, Weschler CJ, Nazaroff WW (2006) Indoor secondary pollutants from household product emissions in the presence of ozone: A bench-scale chamber study. *Environ Sci Technol* 40(14):4421-4428
- Efficiency Vermont (2010) Your guide to electrical usage in your home. <http://www.encyvermont.com/pages/Residential/SavingEnergy/HighElectricBills/>. Accessed 4/16/10
- EPA, U.S. (2010) Table 1, Prioritized chronic dose-response values for screening risk assessments (4/27/2010). <http://www.epa.gov/ttn/atw/toxsource/summary.html>. Accessed 4/26/2011
- EPA, U.S. (2008) United States Environmental Protection Agency, Air Quality System, Raw Data Report (AMP350). Beacon Hill site, Seattle, WA. Report generated March 29, 2011
- EPA, U.S. (2005) Guidelines for carcinogen risk assessment. EPA/630/P-03/001F, Washington, D.C., March 2005
- EPA, U.S. (1999) Determination of volatile organic compounds (VOCs) in air collected in specially-prepared canisters and analyzed by gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS). Method TO-15. Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air, 2nd ed. EPA/625/R-96/010b. Cincinnati: US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, 1999. <http://www.epa.gov/ttnamti1/airtox.html>. Accessed February 4, 2010
- EPA, U.S. (1994) Environmental Protection Agency, Technical background document to support rulemaking pursuant to the Clean Air Act, Section 112(g), Ranking of pollutants with respect to hazard to human health, EPA-450/3-92-010, February
- Ford RB, Domeyer O, Easterday KM, Middleton J (2000) Criteria for development of a database for safety evaluation of fragrance ingredients. *Regul Toxicol Pharmacol* 31(2):166-181
- Hardin County (2008) Hardin County Planning and Development Commission. Building code clarification handout, #2008.004, January 2008. <http://www.hcpdc.com/KYbuildingcode.asp>. Accessed 4/16/10
- Jo WK, Lee JH, Kim MK (2008) Head-space, small-chamber and in-vehicle tests for volatile organic compounds (VOCs) emitted from air fresheners for the Korean market. *Chemosphere* 70(10):1827-1834
- MarketResearch.com (2007) Laundry care products in the U.S. Packaged Facts, Rockville, MD
- Nazaroff WW, Weschler CJ (2004) Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants. *Atmos Environ* 38(18):2841-2865
- Peck AM, Hornbuckle KC (2006) Synthetic musk fragrances in urban and rural air of Iowa and the Great Lakes. *Atmos Environ* 40(32):6101-6111
- Rastogi SC, Heydorn S, Johansen JD, Basketter DA (2001) Fragrance chemicals in domestic and occupational products. *Contact Dermat* 45(4):221-225
- Reiner JL, Kannan K (2006) A survey of polycyclic musks in selected household commodities from the United States. *Chemosphere* 62(6):867-873
- Reiner JL, Berset JD, Kannan K (2007) Mass flow of polycyclic musks in two wastewater treatment plants. *Arch Environ Contam Toxicol* 52(4):451-457
- Rimkus GG (1999) Polycyclic musk fragrances in the aquatic environment. *Toxicol Lett* 111(1): 37-56.

- Sarwar G, Olson DA, Corsi RL, Weschler CJ (2004) Indoor fine particles: the role of terpene emissions from consumer products. *J Air Waste Manag Assoc* 54(3):367-377
- Simonich SL, Begley WM, Debaere G, Eckhoff WS (2000) Trace analysis of fragrance materials in wastewater and treated wastewater. *Environ Sci Technol* 34(6):959-965
- Simonich SL, Federle TW, Eckhoff WS, Rottiers A, Webb S, Sabaliunas D, de Wolf W (2002) Removal of fragrance materials during U.S. and European wastewater treatment. *Environ Sci Technol* 36(13):2839-2847
- State of Wisconsin Department of Commerce (2001) Optional Uniform Dwelling Code (UDC) makeup and combustion air worksheet, April 2001. <http://commerce.wi.gov/sb/>. Accessed 4/16/10
- Steinemann AC (2009) Fragranced consumer products and undisclosed ingredients. *Environ Impact Assess Rev* 29(1):32-38
- Steinemann AC, MacGregor IC, Gordon SM, Gallagher LG, Davis AL, Ribeiro DS, Wallace LA (2011) Fragranced consumer products: chemicals emitted, ingredients unlisted. *Environ Impact Assess Rev* 31(3):328-333
- U.S. Census Bureau (2005) American FactFinder, Data Set: 2005 American Community Survey. http://factfinder.census.gov/servlet/DatasetMainPageServlet?_program=ACS&_submenuId=datasets_1&_lang=en&_ts=. Accessed 5/11/10
- U.S. DOE (2009) 2009 Buildings energy data book, U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, October 2009
- Wallace L, Nelson W, Pellizzari E, Raymer J, Thomas K (1991) Identification of polar volatile organic compounds in consumer products and common microenvironments. Paper #91-62.4 presented at the 84th Annual Meeting of the Air and Waste Management Association, Vancouver, BC, June
- Washington State (2005) WA Emissions Inventory 2005, King County. Washington State Department of Ecology

Note finali

- (1) Usiamo il termine "durante" per riferirsi al ciclo di lavaggio e di asciugatura completo.
- (2) Sono state istituite queste soglie per garantire al meglio che solo i composti emessi dai prodotti o dalle bocchette dell'asciugatrice siano riportati.
- (3) I dati dell'etanolo non sono disponibili.
- (4) Le concentrazioni ambientali medie (microgrammi per metro cubo), dal sito dell'area di studio (Seattle, Beacon Hill), del 2008, sono le seguenti: acetaldeide, 0,81; benzene, 0,76; etilbenzene, 0,27; toluene, 1,36; m/p-xilene, 0,78; o-xilene, 0,29; e metanolo, non disponibile (Stati Uniti EPA 2008).
- (5) I calcoli, le ipotesi e le fonti: dati basati sull'anno 2005: 746,109 famiglie nella contea di King (Stati Uniti, Census Bureau 2005); le emissioni di acetaldeide da automobili nella contea di King = 56.000 lb/anno (Stato di Washington 2005); 453,59 g = 1 lb; 187,5 cfm portata dello sfiato dell'asciugatrice = 5,6 m³/min = 336 m³/ora (Stato del Wisconsin Dipartimento del Commercio 2001; Contea di Hardin 2008); 268 ore di asciugatura/anno per famiglia (US DOE 2009; Efficienza Vermont 2010); 41,5 µg/m³ emissioni di acetaldeide dopo l'utilizzo di detersivi per bucato (media di ogni sito, 47 e 36 µg/m³, da questo studio), supponendo che sia trascurabile il contributo d'aria ambientale; il 37% delle famiglie utilizza il detersivo più venduto testato in questo studio (MarketResearch.com/Ricerca di mercato 2007 sulla base dei dati relativi al 2006, assumendo i livelli di penetrazione sul mercato simili a quelli del 2005); il 79% di tutte le famiglie utilizza uno o più dei cinque detersivi per il bucato più venduti (MarketResearch.com/Ricerca di mercato 2007); il 73% di tutte le famiglie hanno le asciugatrici (CPSC 2000), moltiplicato per 37% e 79%, rispettivamente, per stime conservative.
- (6) Allo stesso modo, i VOC rivelati nei campioni "nessun prodotto" potrebbero essere residui di VOC dall'uso precedente di prodotti nelle macchine, dovuti alle esalazioni dei componenti della macchina, all'aria interna convogliata, alle reazioni tra VOC e composti ambientali o altri fattori.

The final publication is available at www.springerlink.com