

## **Emissions from dryer vents during use of fragranced and fragrance-free laundry products Emissioni chimiche dagli sfiati delle asciugatrici domestiche durante l'uso di prodotti profumati per il bucato e quelli senza profumo**

Nigel B. Goodman<sup>1</sup> & Amanda J. Wheeler<sup>1,2,3</sup> & Phillip J. Paevere<sup>4</sup> & Giovanni Agosti<sup>5</sup> & Neda Nematollahi<sup>1,6</sup> & Anne Steinemann<sup>1,7,8</sup>

Recevuto: 25 Settembre 2018 / Accettato: 31 Ottobre 2018

# L'Autore(i) 2018

Traduzione di Donatella Stocchi

### **Abstract**

I prodotti profumati per il bucato emettono una serie di composti organici volatili, inclusi gli inquinanti atmosferici pericolosi. L'esposizione a emissioni profumate dei prodotti per il bucato è stata associata a effetti negativi per la salute come gli attacchi di asma e il mal di testa. Si sa poco sulle emissioni volatili provenienti dalle prese d'aria dell'asciugatrice e sull'efficacia delle strategie per ridurre le concentrazioni e i rischi. Questo studio analizza le emissioni volatili provenienti da sei prese d'aria di asciugabiancheria domestiche, con particolare attenzione al D-limonene. Inoltre esamina e confronta le concentrazioni di D-limonene durante l'uso di prodotti profumati per il bucato e senza profumo, nonché i cambiamenti nel passaggio da prodotti profumati a quelli senza profumo. Nelle famiglie che usano detersivo profumato per bucato, la più alta concentrazione di D-limonene proviene da una presa d'aria per l'asciugatrice che era di 118 µg/m<sup>3</sup> (media 33,34 µg/m<sup>3</sup>). Al contrario, nelle famiglie che utilizzavano solo detersivi senza profumo, la più alta concentrazione di D-limonene da una bocchetta di sfiato per l'asciugatrice era di 0,26 µg/m<sup>3</sup> (media 0,25 µg/m<sup>3</sup>). Dopo che le famiglie che utilizzavano detersivi profumati sono passati a quelli senza profumazioni, le concentrazioni di D-limonene nelle emissioni di scarico dell'asciugabiancheria si erano ridotte fino al 99,7% (media 79,1%). Questa semplice strategia di passare a prodotti senza profumo ha eliminato in modo significativo e quasi completamente le emissioni di D-limonene. I risultati di questo studio dimostrano che il passaggio da prodotti profumati ad articoli senza profumazioni può essere un approccio semplice ed efficace per ridurre l'inquinamento atmosferico e i potenziali rischi per la salute.

**Parole chiave** - Bocchetta di sfiato dell'asciugatrice . Profumo . Senza profumo . Bucato . Emissioni . Composti organici volatili . VOC. Qualità dell'aria .

\* Nigel B. Goodman

[ngoodman@student.unimelb.edu.au](mailto:ngoodman@student.unimelb.edu.au)

<sup>1</sup> Department of Infrastructure Engineering, Melbourne School of Engineering, The University of Melbourne, Parkville, VIC 3010, Australia

<sup>2</sup> Menzies Institute for Medical Research, University of Tasmania, Hobart, TAS 7000, Australia

<sup>3</sup> Mary MacKillop Institute for Health Research, Australian Catholic University, Melbourne, VIC 3000, Australia

<sup>4</sup> Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Land and Water, Clayton, VIC 3168, Australia

5 Envirolab Group Laboratories, Chatswood, NSW 2067, Australia

6 School of Chemistry, The University of Melbourne,  
Parkville, VIC 3010, Australia

7 College of Science and Engineering, James Cook University,  
Townsville, QLD 4811, Australia

8 Climate, Atmospheric Sciences, and Physical Oceanography;  
Scripps Institution of Oceanography, University of California San  
Diego, La Jolla, CA 92093, USA

## **Introduzione**

I composti organici volatili (VOC) sono una categoria di inquinanti atmosferici che di solito si verificano a concentrazioni molto più elevate all'interno dei locali (Bari et al., 2015, Cheng et al., 2016, Goodman et al. 2017). Le fonti primarie di VOC al chiuso sono emesse da prodotti profumati di consumo come deodoranti per ambienti, prodotti per le pulizie e scorte per il bucato (Steinemann et al. 2013; Steinemann 2015).

Le emissioni chimiche volatili da prodotti usati negli ambienti interni possono anche migrare all'esterno e influiscono sulla qualità dell'aria esterna (Steinemann et al., 2013; McDonald et al., 2018; Lewis 2018).

I prodotti profumati per il bucato emettono una gamma di VOC come acetaldeide, acetone, etanolo,  $\alpha$ -pinene, linalolo e D-limonene (Steinemann et al., 2013). Alcuni di questi VOC sono classificati come inquinanti dell'aria pericolosi e possono avere effetti negativi sulla salute umana e l'ambiente (Mendell 2007; Rumchev et al. 2004; Spengler et al. 2000). In particolare, l'esposizione a D-limonene è stata associata ad effetti nocivi sulla salute come l'irritazione della pelle e degli occhi (NIH 2018) e difficoltà respiratorie come il respiro affannoso e la tosse (NICNAS 2018). Inoltre, i terpeni come il D-limonene possono reagire con l'ozono a formare inquinanti atmosferici pericolosi come la formaldeide, l'acetaldeide e le particelle ultrafini (Nazaroff e Weschler 2004).

L'esposizione a emissioni profumate dai condotti di sfiato dell'asciugabiancheria è stata associata a effetti nocivi per la salute nella popolazione generale e nelle sottopopolazioni vulnerabili. Recenti studi nazionali negli Stati Uniti, in Australia, nel Regno Unito e in Svezia (Steinemann 2016, 2017, 2018, 2018b) hanno rilevato che rispettivamente il 12,5%, il 6,1%, il 6,0% e il 5,6% degli adulti hanno riportato effetti negativi sulla salute, come attacchi d'asma e mal di testa dovuti alle fragranze dei prodotti per il bucato provenienti dalle bocchette di scarico esterno delle asciugatrici. Inoltre, studi nazionali sugli asmatici negli Stati Uniti e in Australia (Steinemann 2018c, Steinemann et al., 2018) hanno rilevato che rispettivamente il 28,9% e il 12,1% degli adulti con diagnosi d'asma o una condizione simile all'asma, hanno riportato effetti negativi per la salute derivante dalle fragranze dei prodotti per il bucato proveniente dai sistemi di ventilazione dell'asciugatrice. Uno studio precedente negli Stati Uniti (Carezza e Steinemann 2009) ha riscontrato che il 10,9% della popolazione generale e il 21,2% degli asmatici hanno segnalato effetti nocivi per le esposizioni dovute a prodotti profumati per il bucato scaricati all'aperto.

I lavori precedenti (Steinemann et al., 2013) hanno analizzato le emissioni di VOC provenienti dai condotti di scarico degli elettrodomestici residenziali per il bucato durante l'uso di prodotti profumati della lavanderia, come i detersivi e i foglietti ammorbidenti fragranti per l'asciugatura. Lo studio ha trovato più di 25 VOC emessi dalle prese d'aria delle asciugatrici, inclusi nove composti classificati come tossici o pericolosi, con le più alte concentrazioni di acetaldeide, acetone, metanolo, etanolo e limonene.

Le analisi chimiche dei prodotti profumati per il bucato hanno evidenziato che il D-limonene era l'ingrediente prevalente tra i VOC (Steinemann 2015). Al contrario, il D-limonene non è stato trovato nei prodotti per il bucato senza profumo (Steinemann 2015). I prodotti per il bucato senza

profumo generalmente non contengono terpeni (Steinemann 2015), e quindi possono rappresentare una opzione per ridurre le emissioni di VOC, inclusi gli inquinanti atmosferici potenzialmente pericolosi.

Lo scopo di questo studio è di analizzare, quantificare e confrontare le emissioni derivanti dall'uso di prodotti profumati per il bucato e quelli senza profumo. Inoltre, s'indaga sulle potenziali riduzioni del D-limonene passando da prodotti profumati a quelli privi di profumazioni. Le conclusioni affronteranno un problema ambientale e sanitario onnipresente ma poco studiato, vale a dire l'esposizione per le emissioni associate allo scarico nell'aria dei sistemi di ventilazione dei prodotti di lavanderia.

Lo studio esplora anche un approccio pratico ed economico per migliorare la qualità dell'aria interna ed esterna e ridurre le esposizioni alle sostanze inquinanti.

## Metodi

### Protocollo sperimentale

La ricerca è stata condotta nell'arco di 1 mese presso sei famiglie situate nel raggio di 75 km da Melbourne, in Australia. Le famiglie, per poter essere ammesse allo studio, dovevano disporre di asciugabiancheria riscaldata elettricamente e a ventilazione (n.d.t. dotata all'atto dell'installazione, di un tubo collegato a un foro di scarico esterno), ed essere in grado di lavare e asciugare almeno un carico di indumenti alla settimana. Quattro famiglie utilizzavano prodotti profumati per il bucato ("famiglie profumate"). Due famiglie utilizzavano per la biancheria, esclusivamente prodotti senza profumo ("famiglie senza profumo").

Per lo studio, il team di ricerca ha selezionato un detersivo per il bucato profumato con un marchio leader e un altro corrispondente con detersivo per il bucato senza profumo; ha acquistato i prodotti nei negozi locali e sono stati forniti alle famiglie ancora sigillati. Tutte le famiglie hanno utilizzato per tutto il corso della ricerca, gli stessi detersivi per bucato profumati o non profumati. Il team di ricerca ha anche acquistato e distribuito un set di nuovi asciugamani identici per tutte le famiglie. La Tabella 1 fornisce un protocollo dettagliato che descrive il campionamento e le attività domestiche. Questo studio ha ricevuto l'approvazione etica dall'Università di Melbourne (numero di domanda: 1749053.1).

Per la preparazione, le quattro famiglie con prodotti profumati e le due famiglie senza articoli con profumo, hanno utilizzato rispettivamente il detersivo profumato per bucato e il detersivo per bucato senza profumo; per almeno due carichi di lavaggio e di asciugatura. Per iniziare lo studio, sono stati prelevati i campioni presso le quattro famiglie profumate.

Quindi, per un periodo di 1 mese, le famiglie profumate sono passate dal detersivo per bucato profumato al detersivo senza profumo. Le famiglie senza profumazioni hanno continuato a usare il detersivo senza fragranze. Dopo 1 mese, sono stati prelevati i campioni presso le quattro famiglie (precedentemente) profumate e le due famiglie senza profumazioni. (Vedere la Tabella 1 per i dettagli.)

**Tabella 1**

Protocollo di campionamento per i cicli di lavaggio e dell'aria nelle abitazioni con e senza profumazioni

Periodo di tempo	Attività	
	Famiglie con profumazioni	Famiglie senza profumazioni
Settimana 0	Come preparazione, le quattro famiglie con profumazioni hanno utilizzato il detersivo per bucato profumato designato per 1 settimana per lavare e asciugare almeno due carichi di	Come preparazione, le due famiglie senza profumazioni hanno utilizzato il detersivo per bucato senza profumo designato per 1 settimana per lavare e asciugare almeno due carichi di

Periodo di tempo	Attività	
	Famiglie con profumazioni	Famiglie senza profumazioni
	biancheria.	biancheria.
Settimana 1	<p>Campionamento del detersivo profumato</p> <p>All'inizio della settimana 1, è iniziato il primo ciclo di campionamento per le famiglie con profumazioni.</p> <p>Campione a) Aria della lavanderia. Campioni di aria sono stati prelevati nella stanza prima di ogni attività di lavaggio o asciugatura, per un periodo di 1 ora.</p> <p>Campione b) Nessun prodotto. Usando solo asciugamani nuovi nel ciclo di lavaggio e asciugatura, i campioni sono stati prelevati all'uscita dell'asciugatrice, immediatamente dopo l'avvio dell'asciugabiancheria, per un periodo di 1 ora.</p> <p>Campione c) Detersivo per il bucato liquido profumato. Con gli asciugamani in lavatrice è stato usato un tappo di detersivo. I campioni sono stati prelevati all'uscita dall'asciugatrice, immediatamente dopo l'avvio dell'asciugabiancheria, per un periodo di 1 ora.</p>	<p>Senza campionamento del detergente senza profumo</p>
Settimana 1-4	<p>Passaggio dal detersivo profumato a quello senza profumazioni</p> <p>All'inizio della settimana 1, dopo il campionamento, le quattro famiglie con profumazioni sono passate al detergente designato senza profumo. Le famiglie lavavano e asciugavano almeno un carico alla settimana e non utilizzavano prodotti profumati per il bucato in nessuna delle due macchine. Questa attività è continuata per 4 settimane.</p>	<p>Detergente senza profumo</p> <p>All'inizio della settimana 1, le due famiglie senza profumazioni hanno continuato a utilizzare il detersivo per bucato senza profumo. Le famiglie hanno lavato e asciugato almeno un carico alla settimana e non hanno usato nessun prodotto profumato per il bucato in nessuna delle due macchine. Questa attività è continuata per 4 settimane.</p>
Settimana 4	<p>Campionamento del detersivo senza profumo</p> <p>Alla fine della settimana 4 è iniziato il secondo ciclo di campionamento per le famiglie con profumazioni (ora senza profumo).</p> <p>Campione d) Aria della lavanderia. I campioni di aria sono stati prelevati nella stanza prima di ogni attività di lavaggio o asciugatura, per un periodo di 1 ora.</p> <p>Campione e) Nessun prodotto. Usando solo asciugamani nuovi nel ciclo di lavaggio e asciugatura, i campioni sono stati prelevati all'uscita dell'asciugatrice, immediatamente dopo l'avvio dell'asciugabiancheria, per un periodo di</p>	<p>Campionamento del detersivo senza profumo</p> <p>Alla fine della settimana 4 è iniziato il primo ciclo di campionamento per le famiglie senza profumo.</p> <p>Campione (g) Aria della lavanderia. I campioni di aria sono stati prelevati nella stanza prima di ogni attività di lavaggio o asciugatura, per un periodo di 1 ora.</p> <p>Campione h) Nessun prodotto. Usando solo asciugamani nuovi nel ciclo di lavaggio e asciugatura, i campioni sono stati prelevati all'uscita dell'asciugatrice, immediatamente dopo l'avvio dell'asciugabiancheria, per un periodo di 1 ora.</p> <p>Campione i) Detergente per il bucato</p>

Periodo di tempo	Attività	
	Famiglie con profumazioni	Famiglie senza profumazioni
1 ora.	Campione f) Detergente per il bucato liquido senza profumo. Con gli asciugamani in lavatrice è stato usato un tappo di detersivo. I campioni sono stati prelevati all'uscita dell'asciugabiancheria, immediatamente dopo l'avvio dell'asciugatrice, per un periodo di 1 ora.	liquido senza profumo. Con gli asciugamani in lavatrice è stato usato un tappo di detersivo. I campioni sono stati prelevati all'uscita dell'asciugabiancheria, immediatamente dopo l'avvio dell'asciugatrice, per un periodo di 1 ora.

Prima di ogni fase di campionamento, gli interni della lavatrice e dell'asciugatrice sono stati puliti con asciugamani di carta e acqua, le lavatrici sono state accese a vuoto in modalità di pulizia tamburo, le asciugatrici sono state fatte funzionare sempre senza biancheria alla temperatura massima per 10 minuti e il filtro per la lanugine è stato rimosso, pulito e reinstallato.

Le macchine e i detersivi sono stati utilizzati secondo le istruzioni del produttore. Per ogni fase di campionamento, in ciascuna famiglia, un set di quattro asciugamani nuovi di cotone è stato lavato ed asciugato secondo il protocollo descritto nella Tabella 1.

I campioni di aria sono stati raccolti: a) dall'ambiente della lavanderia prima di qualsiasi attività di lavaggio o asciugatura, b) dallo sfiato dell'asciugabiancheria dopo aver lavato gli asciugamani senza alcun prodotto (vale a dire, cioè solo con acqua), e c) dallo sfiato dell'asciugabiancheria dopo aver lavato gli stessi asciugamani con detersivo per bucato profumato o con quello senza profumazione.

Sono stati raccolti un totale di sei campioni da ogni famiglia profumata (tre prima e tre dopo il cambio del prodotto) e tre campioni raccolti da ciascun nucleo familiare privo di profumazioni.

I campioni d'aria interna sono stati prelevati seguendo i metodi del compendio USEPA TO 17 (US EPA 1999). Per i VOC (ad es. il D-limonene), un'unica fiala multi - assorbente (Markes Carbograph 1TD/Carbopack X) è stata collegata a una pompa di campionamento SKC (AirChek 220-5000TC) con una portata di circa 150 ml al minuto per 1 ora (9 L). La portata della pompa è stata calibrata per tre volte (inizio, metà e fine) durante il prelievo del campione utilizzando un calibratore di flussi bassi Defender 510/Low Flow Calibrator (Mesa Labs). La temperatura, l'umidità relativa e la pressione barometrica sono state misurate utilizzando un monitor portatile per la qualità dell'aria interna (TSI Q Trak 7575). I campioni di aria nei locali sono stati raccolti al centro di ogni lavanderia con tutte le macchine spente. Durante gli esperimenti di asciugatura, un condotto di alluminio pulito da 100 mm (1,5-2,5 m di lunghezza) è stato collegato all'uscita dell'asciugatrice per consentire la raccolta del campione. I campioni sono stati prelevati da una distanza di circa 200 mm dall'uscita del condotto di alluminio. In tutti i casi, il punto di campionamento dell'aria era di circa 1,2 m sopra il livello del pavimento. Questa altezza è stata scelta in quanto ha fornito una posizione sicura per il condotto in alluminio, la pompa di campionamento e il monitor della qualità dell'aria interna.

## Metodi analitici

L'analisi dei VOC ha utilizzato un campionatore automatico Ultra Markes Series 2 Ultra Autosampler, un'unità Markes Series 2 Unity Thermal Desorption (TD), un gascromatografo Agilent 7890A (GC) e un Agilent 5975c Inert Mass Selective Detector (MSD) con uno spettrometro di massa Triple-Axis Detector (MS) in conformità con il metodo EPA degli Stati Uniti TO-17 (US EPA 1999). Per la separazione è stata utilizzata una colonna capillare Agilent (DB-5MS) (60 m × 0,32 mm × 1 µm). Uno standard certificato per il D-limonene (AccuStandard, ALR-022N, numero di lotto: 17626) e uno standard di controllo qualità (QC) (Supelco, materiale di riferimento certificato (CRM) 40448,

numero di lotto: XA22031V) sono stati utilizzati per la calibrazione e per il controllo qualità (QC). Sono stati riportati solo i campioni con concentrazioni superiori al limite di rilevazione del metodo (MDL) dello strumento analitico.

Tutti i dati VOC sono stati riportati in unità di  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e corretti per temperatura e pressione a 101,3 kPa e 0 °C. Sia i detersivi per bucato profumati che quelli senza profumazioni sono stati analizzati per quanto riguardava gli ingredienti e le emissioni di VOC utilizzando l'analisi a spazio di testa con la gascromatografia/spettrometria di massa (GC/MS). I dettagli dell'analisi a spazio di testa e delle specifiche GC/MS sono forniti in Nematollahi et al. 2018.

Lo studio si è incentrato sul D-limonene in quanto è: a) un VOC prevalente e dominante nei prodotti profumati per il bucato e in altri prodotti di consumo profumati, b) un marcatore adatto poiché generalmente si trova nei prodotti profumati per bucato ma non nei prodotti di lavanderia senza profumazione, c) associato a una serie di effetti nocivi per la salute umana e sull'ambiente ed è classificato come un composto potenzialmente pericoloso (SWA 2018), e d) un terpene che reagisce prontamente con l'ozono per generare una serie di inquinanti atmosferici secondari pericolosi.

**Tabella 2** Concentrazione di d-limonene ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) nelle famiglie che usano prodotti profumati, prima e dopo il passaggio da articoli profumati per il bucato a quelli senza l'aggiunta di fragranze <sup>i,ii</sup>

Tipo e Numero di famiglie	Aria di fondo nella stanza della lavanderia				Campioni dell'aria di sfiato dalle asciugatrici senza prodotti				Campioni dell'aria di sfiato dalle asciugatrici con prodotti			
	Prima di passare dal prodotto F a quello FF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Dopo essere passati dal prodotto F a quello FF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Riduzione di d-limonene (%)	FF prodotti ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Prima di passare dal prodotto F a quello FF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Dopo essere passati dal prodotto F a quello FF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Riduzione di d-limonene (%)	FF prodotti ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Prima di passare dal prodotto F a quello FF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Dopo essere passati dal prodotto F a quello FF ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Riduzione di d-limonene (%)	FF prodotti ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	<i>campione (a)</i>	<i>campione (d)</i>	<i>(a-d)/(a)</i>	<i>campione (g)</i>	<i>campione (b)</i>	<i>campione (e)</i>	<i>(b-e)/(b)</i>	<i>campione (h)</i>	<i>campione (c)</i>	<i>campione (f)</i>	<i>(c-f)/(f)</i>	<i>campione (i)</i>
#1 (F)	0,70	0,59	15,7	-	1,13	1,02	9,7	-	2,35	1,50	36,2	-
#2 (F)	0,23	0,12	47,8	-	1,24	0,13	89,5	-	10,52	0,13	98,8	-
#3 (F)	0,47	0,25	46,8	-	0,37	0,63	(-70,3)	-	2,51	0,46	81,7	-
#4 (F)	1,28	0,35	72,7	-	0,61	0,26	57,4	-	118	0,36	99,7	-
#5 (FF)	-	-	-	0,24	-	-	-	0,40	-	-	-	0,26
#6 (FF)	-	-	-	0,35	-	-	-	0,49	-	-	-	0,24

i: le lettere di esempio tra parentesi si riferiscono al protocollo nella Tabella 1

ii: F = profumato; FF = senza profumo

## Risultati

### Concentrazioni delle profumazioni e famiglie senza fragranze

Le concentrazioni di D-limonene in ogni fase del campionamento e in ciascuna famiglia sono riportate nella Tabella 2.

Nelle famiglie profumate 1-4, prima di passare a prodotti senza profumazioni, la concentrazione di D-limonene : a) nell'aria del locale della lavanderia variava tra 0,23-1,28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (media 0,67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), b) nello sfiato dell'asciugabiancheria dopo il lavaggio di nuovi asciugamani senza prodotti variava tra 0,37-1,24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (media 0,84  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e c) nello sfiato dell'asciugabiancheria dopo aver lavato gli stessi asciugamani con prodotti profumati variava tra 2,35-118  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (media 33,34  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

In queste stesse famiglie profumate 1-4, dopo il passaggio a prodotti senza profumo, la concentrazione di D-limonene: a) nell'aria del locale della lavanderia variava tra 0,12-0,59  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (media 0,33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), b) nello scarico dell'asciugabiancheria dopo il lavaggio di nuovi asciugamani senza prodotti variava tra 0,26-1,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (media 0,51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e c) nello scarico

dell'asciugabiancheria dopo il lavaggio degli stessi asciugamani con prodotti senza profumo variava tra 0,13-1,50 µg/m<sup>3</sup> (media 0,61 µg/m<sup>3</sup>).

Nelle famiglie senza profumo 5-6, la concentrazione di D-limonene : a) nell'aria del locale della lavanderia variava tra 0,24-0,35 µg/m<sup>3</sup> (media 0,29 µg/m<sup>3</sup>), b) nello sfiato dell'essiccatore dopo il lavaggio di nuovi asciugamani senza prodotti era compresi tra 0,40-0,49 µg/m<sup>3</sup> (media 0,44 µg/m<sup>3</sup>), e c) nello sfiato dell'asciugabiancheria dopo aver lavato gli stessi asciugamani con i prodotti senza profumo erano compresi tra 0,24-0,26 µg/m<sup>3</sup> (media 0,25 µg/m<sup>3</sup>).

### **La riduzione della concentrazione dopo il passaggio da prodotti profumati per il bucato a prodotti senza profumo**

Dopo il passaggio da prodotti di lavanderia profumati a prodotti senza profumo, nelle famiglie (precedentemente) profumate 1-4, le concentrazioni di D-limonene sono diminuite in tutti i campioni d'aria nella lavanderia e nell'emissioni con l'uso dei prodotti (Tabella 1).

Nell'aria della stanza della lavanderia, la concentrazione di D-limonene è diminuita fino al 72,7% (intervallo: 15,7% -72,7%, media 45,8%). Asciugando gli asciugamani lavati senza detersivo, la concentrazione di D-limonene è diminuita fino all'89,5% (intervallo: 9,7-89,5%, media 21,6%).

Quando si sono asciugati gli asciugamani lavati con detersivo (ora prodotti senza profumo dopo essere passati da prodotti profumati), la concentrazione di D-limonene è diminuita fino al 99,7% (intervallo: 36,2-99,7%, media 79,1%). Inoltre, le concentrazioni di D-limonene nei campioni delle famiglie precedentemente profumate 1-4 si stavano avvicinando ai livelli più bassi dei campioni dei nuclei familiari senza profumo 5-6.

L'analisi a spazio di testa con GC/MS dei prodotti di bucato utilizzati in questo studio è riportata nella Tabella 3. Nel prodotto profumato del bucato sono stati rilevati 34 VOC e nel prodotto di bucato senza profumo sono stati trovati 7 VOC. Come negli studi precedenti (ad esempio Steinemann 2015), i terpeni come il D-limonene sono stati riscontrati nel prodotto profumato ma non nel articolo senza profumo.

#### **Tabella 3**

Analisi GC/MS dello spazio di testa per i VOC emessi dal detersivo per il bucato profumato e da quello non profumato utilizzato in questo studio, elencati in base al tempo di ritenzione.

Composto	CAS #	Detersivo profumato	Detersivo senza profumo
Acetaldeide*	75-07-0	✓	✓
Etanolo*	64-17-5	✓	
Acetone*	67-64-1	✓	✓
2-metil-Pentano*	107-83-5	✓	
2-metil-2-Propanolo	75-65-0		✓
2-Propen-1-ol*	107-18-6	✓	
2-metil-Esano*	591-76-4	✓	
2,3-dimetil-Pentano*	565-59-3	✓	
3-metil-Esano*	589-34-4	✓	
1,3-dimetil-Ciclopentano	2453-00-1	✓	
Etilbenzene*	100-41-4		✓
Eptano*	142-82-5	✓	

Composto	CAS #	Detergente profumato	Detergente senza profumo
metil-Cicloesano*	108-87-2	✓	
2,3,4-trimetil-Esano	921-47-1	✓	
(E)-3-Hexen-1-ol	928-97-2	✓	
1-Hexanol*	111-27-3	✓	
α-Pinene	80-56-8	✓	
2-methyl-ethyl ester acid Pentanoic	39255-32-8	✓	
Sabinene	3387-41-5	✓	
3-Carene	13466-78-9	✓	
β-Mircene	123-35-3	✓	
β-Ocimene	3779-61-1	✓	
4-Hexen-1-ol, acetate	72237-36-6	✓	
Acido acetico, estere esilico	142-92-7	✓	
Ottanale	124-13-0	✓	
d-Limonene*	5989-27-5	✓	
β-Fellandrene	555-10-2	✓	
2,6-dimethyl-1-5-Heptenal	106-72-9	✓	
2,6-dimethyl-7-Octen-2-ol	18479-58-8	✓	
1,3,4-Trimetil-3-ciclosenile-1-carbossarldeide	40702-26-9	✓	
Linalool*	78-70-6	✓	
3-metil-5-propil-Nonano	31081-18-2		✓
(E)- 7-Tetradecene	41446-63-3		✓
Ciclododecano	294-62-2		✓
Benzil acetone	2550-26-7	✓	
4-tert-Butylcyclohesyl acetate	104-05-2	✓	
α-Terpinyl acetate	98-55-5	✓	



Composto	CAS #	Detergente profumato	Detergente senza profumo
2-Carene	554-61-0	✓	
Lilial*	80-54-6	✓	

\* Classificato come pericoloso sotto il Safe Work Australia, Hazardous Chemical Information System (SWA [2018](#))

## Discussione

Questa ricerca ha studiato le concentrazioni di D-limonene emesse dalle prese d'aria delle asciugatrici domestiche durante l'uso di prodotti per il bucato profumati e senza profumo, e poi le variazioni delle concentrazioni dopo il passaggio da prodotti profumati a quelli senza profumo. Dopo 4 settimane di utilizzo di prodotti senza profumo, le concentrazioni di D-limonene sono state ridotte fino al 99,7% nelle emissioni di sfiato dell'asciugatrici e fino al 72,7% nell'aria della lavanderia. Ciò è degno di nota, dato che questa riduzione è stata raggiunta dopo un periodo di tempo relativamente breve (1 mese); l'attuazione è stata semplice e non ha comportato costi aggiuntivi o evidenti disagi per i partecipanti.

Un punto di forza di questo studio, è stata la partecipazione delle famiglie che utilizzano i prodotti nella vita di tutti i giorni, dimostrando le riduzioni di concentrazione che si possono ottenere cambiando i prodotti. Tuttavia, questa forza ha una corrispondente limitazione, in quanto le famiglie hanno continuato a lavare normalmente gli indumenti, il che potrebbe aver sottoposto le macchine a tracciare i profumi precedenti depositati sugli indumenti anche durante il periodo delle 4 settimane di utilizzo dei prodotti senza profumo. Inoltre, mentre le riduzioni del D-limonene si avvicinavano ai livelli delle famiglie che non usavano prodotti profumati, è ipotizzabile che l'uso di prodotti senza profumo per un periodo più lungo porterebbe a ulteriori diminuzioni, in quanto i residui di sostanze chimiche delle fragranze vengono col tempo rimosse dalle macchine e dai vestiti. Per esempio, i residui di sostanze chimiche profumate nelle macchine potrebbero aiutare a spiegare il valore anomalo per la famiglia # 3 nel campione e) che mostra un aumento del D-limonene. La varietà delle concentrazioni di D-limonene tra le famiglie potrebbero anche essere attribuite a differenze nell'attrezzatura per il bucato, nella stanza della lavanderia, nell'abbigliamento e a fattori come la qualità dell'acqua e dell'aria ambientale. A causa delle dimensioni relativamente ridotte del campione e delle differenze tra i siti di studio, un'analisi statistica significativa non è stata sufficientemente efficace. Infine, mentre questo studio si è concentrato sul D-limonene, dati i risultati dell'analisi a spazio di testa di entrambi i prodotti, è probabile che possano essere ridotti anche altri VOC, in particolare i terpeni e gli inquinanti secondari che ne derivano.

## Conclusioni

Questo studio ha dimostrato i miglioramenti della qualità dell'aria dopo il passaggio da prodotti profumati a quelli senza profumo. Si è scoperto che, con il passaggio a prodotti per il bucato senza profumo, le concentrazioni di D-limonene possono essere quasi completamente eliminate dalle emissioni di sfiato dell'asciugatrici. Questa strategia può anche ridurre la formazione e le concentrazioni di inquinanti secondari come la formaldeide, l'acetaldeide e le particelle ultrafini. I risultati di questo studio possono fornire una base importante per la ricerca futura e per dimostrare strategie economicamente vantaggiose per ridurre le emissioni di VOC e le esposizioni personali.

**Ringraziamenti** Gli autori ringraziano i sostenitori di questo studio, Kirsten Raynor e Amy Davis, per le loro preziose recensioni a questo manoscritto e le persone che hanno partecipato a questo studio per l'aiuto prestato e l'uso delle loro lavatrici e asciugatrici. Infine, gli autori sono grati agli recensori anonimi di questo manoscritto proprio per loro commenti utili e riflessivi.

**Informazioni sul finanziamento** Questa ricerca è supportata da Australian Government's National Environmental Science Program attraverso il Clean Air and Urban Landscapes Hub, CSIRO Land and Water, il Australian Department of Education and Training (Premio post-laurea australiano/Australian Postgraduate Award) ) e il Melbourne School of Engineering Teaching and Learning Infrastructure Fund. La posizione di Amanda Wheeler è stata sostenuta da NHMRC Centre of Research Excellence, Centre for Air quality and health Research and evaluation (CAR).

**Open Access/Accesso aperto** - Questo articolo è distribuito secondo i termini della Creative Commons Attribution 4.0 Licenza Internazionale (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), che permette l'uso senza restrizioni, la distribuzione e la riproduzione con qualsiasi mezzo, a condizione dare appropriato credito all'autore(i) originale e alla fonte, fornire un collegamento alla licenza Creative Commons e indicare se sono state apportate modifiche.

**Nota dell'editore** - Springer Nature rimane neutrale rispetto alle rivendicazioni giurisdizionali nelle mappe pubblicate e nelle affiliazioni istituzionali.

## Referenze

- 1) BariMA, Kindzierski WB, Wheeler AJ, HérouxMÈ, Wallace LA (2015) Source apportionment of indoor and outdoor volatile organic compounds at homes in Edmonton, Canada. *Build Environ* 90:114–124. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.023>
- 2) Caress SM, Steinemann AC (2009) Prevalence of fragrance sensitivity in the American population. *J Environ Health* 71(7):46–50
- Cheng M, Galbally IE, Molloy SB, Selleck PW, Keywood MD, Lawson SJ, Powell JC, Gillett RW, Dunne E (2016) Factors controlling volatile organic compounds in dwellings in Melbourne, Australia. *Indoor Air* 26(2):219–230. <https://doi.org/10.1111/ina.12201>
- 3) Goodman NB, Steinemann A, Wheeler AJ, Paevere PJ, Cheng M, Brown SK (2017) Volatile organic compounds within indoor environments in Australia. *Build Environ* 122:116–125. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.033>
- 4) Lewis AC (2018) The changing face of urban air pollution. *Science* 359(6377):744–745. <https://doi.org/10.1126/science.aar4925>
- 5) McDonald BC, de Gouw JA, Gilman JB, Jathar SH, Akherati A, Cappa CD, Jimenez JL, Lee-Taylor J, Hayes PL, McKeen SA, Cui YY (2018) Volatile chemical products emerging as largest petrochemical source of urban organic emissions. *Science* 359(6377):760–764. <https://doi.org/10.1126/science.aaq0524>
- 6) Mendell MJ (2007) Indoor residential chemical emissions as risk factors for respiratory and allergic effects in children: a review. *Indoor Air* 17(4):259–277. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2007.00478.x>
- 7) Nazaroff WW, Weschler CJ (2004) Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants. *Atmos Environ* 38(18):2841–2865. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.02.040>
- 8) Nematollahi N, Doronila A, Mornane PJ, Duan A, Kolev SD, Steinemann A (2018) Volatile chemical emissions from fragranced baby products. *Air Qual Atmos Health* 11(7):785–790. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0593-1>
- 9) NICNAS (2018) National industrial chemicals notification and assessment scheme. Limonene priority existing chemical assessment report number 22. Commonwealth of Australia 2002 ISBN 0 642 50190 4 NIH (2018) National Institutes of Health. US National Library of Medicine TOXNET <https://toxnet.nlm.nih.gov/> Accessed 14:20 on June 14, 2018
- 10) Rumchev K, Spickett J, Bulsara M, Phillips M, Stick S (2004) Association of domestic exposure to volatile organic compounds with asthma in young children. *Thorax* 59(9):746–775. <https://doi.org/10.1136/thx.2003.013680>
- 11) SafeWork Australia (SWA) (2018) Hazardous chemical information system (HCIS): search hazardous chemicals, <http://hcis.safeworkaustralia.gov.au/HazardousChemical> Accessed 10 September 2018
- 12) Spengler JD, Samet JM, McCarthy JF (2000) *Indoor air quality handbook*. McGraw-Hill Book Co., New York ISBN10 0074455494
- Steinemann A (2015) Volatile emissions from common consumer products. *Air Qual Atmos Health* 8(3):273–281. <https://doi.org/10.1007/s11869-015-0327-6>
- 13) Steinemann A (2016) Fragranced consumer products: exposures and effects from emissions. *Air Qual Atmos*

Health 9:861–866. <https://doi.org/10.1007/s11869-016-0442-z>

14) Steinemann A (2017) Health and societal effects from exposure to fragranced consumer products. *Prev Med Rep* 5:45–47. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2016.11.011>

15) Steinemann A (2018) Fragranced consumer products: sources of emissions, exposures, and health effects in the UK. *Air Qual Atmos Health* 11(3):253–256. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0550-z>

16) Steinemann A (2018b) Exposures and effects from fragranced consumer products in Sweden. *Air Qual Atmos Health* 11(5):485–491. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0565-5>

17) Steinemann A (2018c) Fragranced consumer products: effects on asthmatics. *Air Qual Atmos Health* 11(1):3–9. <https://doi.org/10.1007/s11869-017-0536-2>

18) Steinemann AC, Gallagher LG, Davis AL, MacGregor IC (2013) Chemical emissions from residential dryer vents during use of

fragranced laundry products. *Air Qual Atmos Health* 6(1):151–156. <https://doi.org/10.1007/s11869-011-0156-1>

19) Steinemann A, Wheeler AJ, Larcombe A (2018) Fragranced consumer products: effects on asthmatic Australians. *Air Qual Atmos Health* 11(4):365–371. <https://doi.org/10.1007/s11869-018-0560-x>

20) US EPA (1999) Compendium methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air. Compendium Method TO-17, Second edn. Center for Environmental Research Information Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Cincinnati, p 45268 *Air Qual Atmos Health*