Rischi da BTEX a causa dell'inquinamento indoor

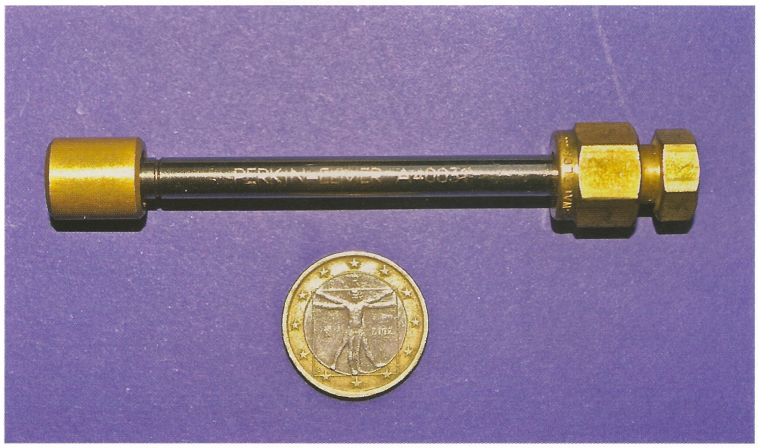
Uno studio pilota su abitazioni riscaldate a legna ha valutato il ruol d'una corretta gestione di questi impianti sull'inquinamento dell'aria Le informazioni fornite alle famiglie sulle cause delle alte concentrazion di BTEX trovate nelle loro case ha prodotto numerose modifiche nell gestione degli impianti ed una significativa riduzione dell'inquinament

Federico Valerio, Mauro Pala, Massimo Cipolla
Istituto Nazionale per la ricerca sul cancro, Servizio Chimica Ambientale, Genova

Fabio Gallo, Marcello Ceppi
Istituto Nazionale per la ricerca sul cancro, Unità di Biostatistica, Genova

Diversi studi hanno dimostrato che l'uso della legna per riscaldamento domestico aumenta l'inquinamento dell'aria esterna e interna (Gustafson et al., 2007; Kaarakka et al., 1989) e l'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) ha classificato il fumo di legno come possibile cancerogeno per l'uomo (IARC, 2010).

Benzene, toluene, etilbenzene, orto, meta e para xilene (BTEX) sono composti presenti in tutte le emissioni di combustioni, spesso usati come traccianti sentinella d'inquinamento indoor (Galbally et al., 2009). I BTEX sono presenti nel fumo di legna e il benzene è il composto più abbondante nelle emissioni prodotte dalla combustione di biomasse legnose (Hedberg et al., 2002; Wang et al., 2009). Elevate esposizione alle sostanze inquinanti emesse da caldaie alimentate a legna sono state registrate in molti paesi sviluppati, soprattutto nelle zone rurali e montane (Gaeggeler et al., 2008; Galbally et al., 2009; Ward et al., 2010) dove l'ampia disponibilit di legno e il suo basso prezzo n incoraggiano l'uso domestico pe il riscaldamento e la cucina. I base alle nostre conoscenze, i paesi sviluppati come l'Italia, no sono stati ancora effettuati stu di finalizzati a verificare il ruol che potrebbero avere sulla qualit dell'aria, in particolare all'intern degli edifici, una corretta instal lazione (camini, canne fumarie prese d'aria esterne) ed un co retto uso (accensione e gestion del fuoco, pulizia del camino) d stufe, caminetti e caldaie a legna Queste buone pratiche potrebber avere un ruolo fondamentale pe ridurre al minimo le esposizioni fumo di legna dei diretti utilizza tori di impianti di riscaldament alimentati con questo combustibi le. La corretta gestione degli im pianti di riscaldamento a legn può essere un problema diffus in quanto, spesso, specialment nelle aree rurali, questi impiant ed i loro sistemi di smaltiment fumi (canne fumarie, comignoli sono realizzati con metodi fai da-te, senza le opportune cono scenze tecniche e con la comun



1 - Campionatore passivo della PerkinElmer

percezione che il fumo di legna, in quanto naturale, non comporti problemi per la salute. A questi interrogativi ha dato alcune prime risposte questa ricerca pilota che è stata realizzata in collaborazione con il Parco Regionale dell'Aveto, all'interno di un progetto di educazione ambientale denominato Legno Amico, promosso dalla Regione Liguria per migliorare la manutenzione dei boschi ed incentivare l'utilizzo di legname di produzione locale. Il progetto ha coinvolto alcune famiglie che vivono in un piccolo paese dell'Appennino ligure, dove l'uso della legna per il riscaldamento domestico è una vecchia tradizione, ancora molto comune e diffusa.

Desorbitori termici

La famiglia dei Desorbitori Termici a doppio stadio TurboMatrix della PerkinElmer, composta da cinque modelli (100, 150, 300, 350 e 650), offre prestazioni ineguagliabili nell'analisi di composti volatili e semivolatili nell'ambiente, nei luoghi di lavoro e nelle emissione gassose. La possibilità di analizzare una varietà di materiali solidi rappresenta un altro campo di applicazione di questi strumenti. Tutti i modelli possono essere interfacciati a qualsiasi gascromatografo presente sul mercato. I modelli 150, 350 e 650, dotati di autocampionatore a 50 posizioni, operano in modo completamente automatico su 50 tubi di campionamento.

Desorbitore termico TurboMatrix ATD 650 PerkinElmer

Una delle caratteristiche principali di questi strumenti è l'ottimizzazione dei tempi di analisi. Mentre si sta svolgendo la corsa cromatografica di un campione, il tubo relativo al campione successivo viene desorbita e gli analiti in essa contenuti focalizzati nella trappola fredda (Overlapping). Una tra le funzioni più importanti del modello 650 è la split-sample recollection utilizzata per il recupero del campione desorbito dalla trappola tramite uno split automatico che può essere eseguito sul tubo di origine oppure su un tubo differente alloggiato nel carosello portacampioni.

Il campione ricollezionato è disponibile pertanto per una nuova analisi, dando all'operatore l'opportunità di rieseguire l'analisi in altro momento. Gli strumenti sono conformi ai metodi ufficiali utilizzati correntemente come ad esempio U.S. EPA TO-17 e NIOSH 2549.

Materiali e metodi

Campionamento e analisi

L'area studiata è stata quella corrispondente alla frazione di Villanoce, 126 abitanti, 880 m sul livello del mare, situato all'interno del Parco Naturale Regionale dell'Aveto, in provincia di Genova. Nove famiglie, residenti in abitazioni mono famigliari, sono state selezionate in base a criteri di volontariato, con le uniche condizioni dell'uso esclusivo del legno per il riscaldamento domestico e dell'assenza di fumatori tra i componenti delle famiglie.

Gli impianti di riscaldamento che queste famiglie hanno utilizzato sono: quattro caldaie a legna, due stufe a legna, una cucina economica, una stufa a pellet ed un camino. Nel periodo invernale, i consumi giornalieri di legna, riportati dalle famiglie erano compresi tra 10 e 50 chili. Benzene, toluene, etil benzene e o + p + m xileni (BTEX) sono stati campionati per sette giorni con campionatori passivi della Perkin Elmer, costituiti da tubi di acciaio, lunghezza 9 cm, diametro interno 6 mm, riempiti con 350 mg di Chromosorb 106 (figura 1). Prima dell'analisi, i tubi sono stati condizionati a 250°C per 30 min sotto flusso di elio. Tutti i campionamenti sono stati effettuati entro sette giorni dal condizionamento e analizzati entro sette giorni dalla fine del campionamento. All'avvio dei campionamenti, all'estremità di ogni tubo è stata fissata la prevista camera a diffusione, dotata di membrana al silicone per ridurre la quantità di umidità assorbita. I BTEX campionati sono stati desorbiti termicamente con il desorbitore ATD della Perkin Elmer ed analizzati con un gas cromatografo con colonna capillare (PE Wax, lunghezza 60 m) e detector a ionizzazione di fiamma. La curva di calibrazione è stata ottenuta con il metodo dello standard esterno, iniettando in un tubo di campionamento, quantità note di BTEX (da 3 a 500 ng) di purezza certificata del 99,9% (EPA TO-1 della Supelco) sciolte in metanolo e desorbite ed analizzate come precedentemente descritto. Le curve di lavoro sono risultate lineari in tutto il campo di concentrazioni esaminate. La quantità minima determinabile di ciascun BTEX è stata valutata pari a 1 ng, equivalente a 1,2 $\mu g/m^3$ di BTEX per un campionamento di durata settimanale. I dettagli del

metodo di campionamento e di analisi sono reperibili in un precedente articolo (Pala et al., 2006). In ogni casa, sono stati effettuati tre campionamenti contemporanei: due campionatori erano all'interno dell'abitazione, rispettivamente nella stanza in cui era presente il principale impianto di riscaldamento (Stanza 1, di solito adibita ad uso pranzo e cucina) e in una camera da letto (Stanza 2). Il terzo campione è stato raccolto all'esterno, nelle immediate vicinanze della casa monitorata. Durante ciascuna campagna di misura, ai campionatori in esterno ed interno sono stati aggiunti due campionatori per analisi in duplicato per monitorare la riproducibilità del metodo e due campionatori chiusi con dado a vite, dopo il loro condizionamento, utilizzati come bianco di campo. Sono state effettuate tre campagne di monitoraggio: agosto 2007, novembre 2007 e dicembre 2008.

All'avvio del primo campionamento (agosto 2007) il personale che installava i campionatori ha intervistato un membro della famiglia, a cui è stato chiesto di rispondere alle domande di un questionario riguardante, in particolare, il consumo di legna, le caratteristiche dell'impianto di riscaldamento, la presenza all'interno dell'abitazioni di segnali di bassa qualità dell'aria, quali macchie d'umidità sulle pareti, odore di fumo. Dopo il secondo campionamento (inverno 2007), effettuate le analisi, ogni famiglia è stata contattata per discutere le concentrazioni di BTEX trovate nella loro abitazione, per confrontare questi valori con quelli trovate nelle altre abitazioni, per spiegare le possibili cause dell'inquinamento e, se necessario, per suggerire possibili rimedi. I risultati ottenuti nel terzo campionamento (inverno 2008) sono stati nuovamente discussi con ogni famiglia e, in questa occasione, sono state raccolte informazioni sui cambiamenti comportamentali e tecnici che erano stati realizzati dalla famiglie, con il dichiarato obiettivo di ridurre i livelli d'inquinamento all'interno della propria abitazione.

Analisi statistica

Per verificare la significatività delle differenti concentrazioni di BTEX trovate all'interno e all'esterno di ciascuna abitazione alla fine dell'agosto 2007, nel novembre 2007 e nel dicembre 2008, è stato applicato il Paired Wilcoxon Signed Test (Hollander et al., 1973). I valori dei p-value stimati nei test sono stati corretti per i confronti multipli utilizzando il metodo di correzione di Bonferroni e le differenze tra concentrazioni con un p-value aggiustato inferiore a 0.05 sono state considerate statisticamente significative.

I dati sono stati acquisiti ed analizzati con il programma R v2.10.1 (Development_Core_Team, 2009).

Risultati e discussione

Le informazioni ottenute mediante questionari, hanno confermato che nel campione di famiglie coinvolte nello studio era frequente una scarsa attenzione alla corretta gestione dei sistemi di riscaldamento a legna e in particolare: la presa d'aria esterna vicino all'impianto di riscaldamento, un accorgimento utile per garantire una combustione efficiente ed un adeguato tiraggio dei fumi, era presente solo in tre abitazioni; quattro case avevano segni di umidità e muffe sulle pareti interne, conseguenza di inadeguati ricambi d'aria; una canna fumaria, non tenuta regolarmente pulita, aveva preso fuoco alcuni mesi prima del prelievo; infine solo due case avevano un completo isolamento termico (pareti esterne, tetto, vetri), requisito essenziale per ridurre i consumi di legna e, di conseguenza, l'inquinamento prodotto dalla sua combustione.

La tabella 1 riassume le concentrazioni di BTEX, misurate all'interno e all'esterno di ogni abitazione, durante le tre campagne di campionamento.

Nella Tabella 1, sono riportate le concentrazioni interne nette di BTEX, cioè la differenza tra le concentrazioni indoor e quelle outdoor contemporaneamente misurate in ogni casa.

L'inquinamento indoor netto è stato introdotto in quanto i livelli di inquinamento invernale, all'esterno delle abitazioni, nel 2007 e nel 2008 sono risultati statisticamente differenti (P = 0,047), e questa differenza è spiegabile dalle diverse condizioni meteorologiche durante i rispettivi campionamenti che, nel dicembre 2008, hanno favorito la dispersione dei fumi dei camini operanti nel villaggio. Cinque famiglie hanno dichiarato l'uso serale di stufe a legna anche durante il campionamento effettuato alla fine di agosto, a causa della diminuzione della temperatura dell'aria e, probabilmente, questo spiega le alte concentrazioni di BTEX trovate all'interno delle abitazioni n°4 e 5 durante questo campionamento.

L'elevato rapporto delle concentrazioni di toluene rispetto alle concentrazioni di benzene trovato ad agosto, sia in queste due abitazioni, come pure nell'abitazione n°8 (tabella 2), è stata spiegata con l'uso abbondante di carta da giornale per accendere il fuoco. In effetti, i giornali sono una importante fonte di toluene (Caselli et al., 2009), usato come solvente degli inchiostri tipografici e inoltre, è possibile che, alla fine

Tabella 1 - Concentrazione di BTEX (µg/m³) all'esterno e all'interno delle abitazioni nelle tre campagne di monitoraggio, valori medi, deviazioni standard, mediane

	Agosto 2007			Novembre 2007			Dicembre 2008		
	Esterno	Interno§		Esterno	Interno§		Esterno	Interno§	
Codice abitazione		Stanza 1	Stanza 2		Stanza 1	Stanza 2		Stanza 1	Stanza 2
1	2,6	17,50	15,70	7,6	205,5*	236,2*	5,0	63,7	61,4
2	5,2	7,0	11,5	14,8	69,6	79,4	8,2	12,4	13,3
3	6,2	24,5	41,0	13,5	49,7	89,1	9,7	28,6	50,0
4	2,0	244,0 ^	245,1 ^	7,9	23,2	26,7	9,9	7,9	8,7
5	9,4	111,8 ^	146,8 ^	17,2	62,0	40,0	nd	nd	nd
6	5,0	6,5	7,1	15,6	36,6	34,7	8,6	23,4	25,1
7	6,0	35,4 ^	38,6 ^	19,5	124,0	115,4	7,7	19,6	37,9
8	5,4	33,4 ^	nd	14,8	100,8	48,2	5,4	55,7	31,5
9	5,9	13,0 ^	6,3 ^	21,9	87,3	39,4	5,5	29,6	22,7
Media (ds)	5,3 (2,1)	54,8 (77,9)	64,0 (86,6)	14,8 (4,7)	84,3 (55,3)	78,9 (69,6)	7,5 (1,9)	30,1 (19,8)	31,3 (17,9)
Mediana	5,4	24,5	27,1	14,8	69,6	48,2	7,9	26,0	28,3

§ concentrazione dei BTEX la cui fonte è interna alle singole abitazioni
^ dichiarato uso delle stufe a legna durante il campionamento di agosto
** uso di solventi e vernici durante il campionamento*
nd: misure non disponibili

di agosto, il tiraggio delle canne fumarie, al momento dell'accensione del fuoco, sia stato inferiore a quello invernale, con una maggiore probabilità di immissione di fumo all'interno dell'abitazione.
Con l'esclusione dei campioni raccolti nell'abitazione n°4, durante il campionamento effettuato nel corso del dicembre 2008, tutte le concentrazioni indoor sono state superiori a quelle dei campionamenti effettuati contemporaneamente all'esterno di ciascuna abitazione, a causa di specifiche fonti interne di BTEX, in accordo con studi analoghi (Molnár et al., 2005).
In un caso (abitazione n°1, novembre 2007), dalle informazioni desunte dal questionario e dall'elevato rapporto toluene/benzene, l'uso di solventi e vernici per lavori di restauro della casa, è stato identificato come principale fonte interna di BTEX. In entrambi i monitoraggi invernali, il rapporto TO/BZ estremamente basso in tutti i campioni esterni e in gran parte delle misure interne era in accordo con un costante ed elevato uso di legno per riscaldare le abitazioni e cucinare, quale fonte principale dei BTEX trovati durante queste due campagne di misura (Hedberg et al., 2002; Sallsten et al., 2006). Ogni concentrazione indoor di BTEX trovata nel novembre del 2007 è risultata statisticamente superiore ($P<0,05$) rispetto alle concentrazioni trovate nella stessa stanza nel dicembre 2008.
Le mediane delle concentrazioni indoor di BTEX, misurate nel dicembre 2008, nelle stanze classificate 1 e 2 (26,0 e 28,3 µg/m³) erano inferiore rispetto alle concentrazioni mediane (69,6 e 48,2 µg/m³) trovate nelle stesse stanze durante l'inverno del 2007. Pertanto, nelle stanze in cui era presente l'impianto di riscaldamento a legna, l'inquinamento di BTEX si è ridotto mediamente del 62% e nell'altro locale la riduzione osservata è stata del 41%.
Riteniamo che il sensibile miglioramento della qualità dell'aria interna, registrato nell'inverno 2008, possa essere in gran parte attribuito ai numerosi miglioramenti tecnici nell'uso delle stufe e delle caldaie e ai cambiamenti comportamentali avvenuti nelle abitazioni studiate, prima e durante l'inverno 2008.
I principali cambiamenti osservati (tra parentesi il numero di identificazione di ogni famiglia) sono stati: (1) aumento dell'altezza del camino per meglio disperdere i fumi e cessato uso di solventi e vernici; (2) migliorato tiraggio dei fumi con l'installazione di una nuova canna fumaria collegata direttamente al camino; (4) realizzazione di una nuova canna fumaria in sostituzione del vecchio camino che aveva preso fuoco; (6) installazione di una nuova, più efficiente, stufa a pellet; (7) realizzazione di una

ABSTRACT

BTEX exposure and wood stoves management
A pilot study on wood heated houses evaluated the role of proper management of these systems on air pollution. The information provided to families about the causes of high concentrations of BTEX found in their homes has resulted in numerous changes in stoves management and a significant reduction of air pollution.

Tabella 2 - Rapporto Toluene/Benzene nelle misure effettuate all'esterno e all'interno delle abitazioni nelle tre campagne di monitoraggio, valori medi, deviazione standard, mediane

	Agosto 2007			Novembre 2007			Dicembre 2008		
	Esterno	Interno		Esterno	Interno		Esterno	Interno	
Codice abitazione		Stanza 1	Stanza 2		Stanza 1	Stanza 2		Stanza 1	Stanza2
1	1,1	5,5	7,4	0,7	10,1*	12,2*	0,6	5,3	4,5
2	5,0	3,1	2,5	nd	2,3	2,1	0,3	1,0	1,0
3	3,0	4,7	8,1	0,9	1,5	6,9	0,6	1,8	2,1
4	1,3	11,4^	11,3^	0,4	1,3	1,5	0,3	0,5	0,4
5	3,9	9,9^	12,5^	0,8	1,1	1,3	nd	nd	nd
6	2,1	2,2	2,5	0,6	1,6	1,8	0,3	1,3	1,1
7	3,3	6,2^	6,7^	1,7	3,5	4,1	0,3	0,6	0,8
8	1,2	16,9^	nd	nd	3,7	2,4	0,4	1,0	0,8
9	1,5	2,4^	4,2^	0,5	4,2	3,1	0,4	5,6	1,8
Media (ds)	2,5 (1,4)	6,9 (4,9)	6,9 (3,7)	0,80 (0,43)	3,26 (2,81)	3,9 (3,5)	0,4 (0,13)	2,14 (2,09)	1,60 (1,38)
Mediana	2,1	5,5	7,0	0,7	2,3	2,4	0.3	1,15	1,0

^ dichiarato uso delle stufe a legna durante il campionamento di agosto
** uso di solventi e vernici durante il campionamento*
nd: misure non disponibili

presa d'aria vicino alla stufa e cessato uso della stufa per bruciare rifiuti di plastica; (8) separazione delle canne fumarie della stufa e della cucina che, in precedenza, erano fatte confluire nello stesso camino.

Infine, tutte le nove famiglie hanno dichiarato una loro maggiore attenzione ad una regolare ventilazione mattutina della loro abitazione, subito dopo la riaccensione del fuoco e la pulizia di tutti i camini prima della stagione invernale del 2008.

Conclusioni

Questo studio pilota ha confermato che le stufe e le caldaie a legna possono avere un importante contributo all'inquinamento indoor e outdoor dei BTEX, ma ha anche dimostrato che una corretta gestione di questi impianti, durante la loro installazione ed il loro uso, può migliorare significativamente la qualità dell'aria all'interno delle abitazioni.

I risultati ottenuti hanno confermato l'importanza delle principali regole da applicare e degli errori da evitare nella gestione delle stufe a legna: realizzare una presa d'aria esterna in prossimità di ogni stufa; avere una sola canna fumaria per ogni stufa; evitare l'uso della stufa come inceneritore di rifiuti; utilizzare solo una piccola quantità di giornali per accendere il fuoco; se necessario preriscaldare l'aria nelle canne fumarie, prima dell'accensione del fuoco; tenere sempre la stufa calda durante l'uso, alimentandola con costanza; evitare lunghi tratti orizzontali e limitare il numero di gomiti delle canne fumarie; pulire i camini ogni anno; aerare bene la casa, subito dopo l'accensione del fuoco, e infine, migliorare l'isolamento termico dell'abitazione per ridurre il consumo di legna e le corrispondenti emissioni di fumo nell'ambiente.

Bibliografia

Caselli M., de Gennaro G., Saracino M.R., Tutino M. 2009. Indoor contaminants from newspapers: VOCs emissions in newspaper stands. Environmental Research, 109, 149 -157.

Development_Core_Team. 2009. Ed, Computing, F. f. S., Vienna, Austria.

Gaeggeler K., Prevot A.S.H., Dommen J., Legreid G., Reimann S., Baltensperger U. 2008. Residential wood burning in an Alpine valley as a source for oxygenated volatile organic compounds, hydrocarbons and organic acids. Atmospheric Environment, 42, 8278-8287.

Galbally I.E., Gillett R.W., Powell J.C., Lawson S.J., Bentley S.T., Weeks I.A. 2009. Household wood heater usage and indoor leakage of BTEX in Launceston, Australia: A null result. Atmospheric Environment, 43, 2788-2795.

Gustafson P., Lars B., Bo S., Gerd S. 2007. The impact of domestic wood burning on personal, indoor and outdoor levels of 1,3-butadiene, benzene, formaldehyde and acetaldehyde. Journal of Environmental Monitoring, 9, 23-32.

Hedberg E., Kristensson A., Ohlsson M., Johansson C., Johansson P. Å. , Swietlicki E. , Vesely V., Wideqvist U., Westerholm R. 2002. Chemical and physical characterization of emissions from birch wood combustion in a wood stove. Atmospheric Environment, 36, 4823 - 4837.

IARC. 2010. Household Use of Solid Fuels and High-temperature Frying, Lyon France.

Kaarakka P., Kanarek M.S., Lawrence J.R. 1989. Assessment and control of indoor air pollution resulting from wood burning appliance use. Environment International. Indoor Air Quality, 15, 635-642.

Pala M., Cipolla M., Martinelli C., Castello G., Valerio F. 2006. Precision of outdoor benzene concentration measurement, for short sampling time, by passive and active personal samplers. Fresenius Environmental Bulletin, 15, 176-181.

Sallsten G., Gustafson P., Johansson L., Johannesson S., Molnar P., Strandberg B., Tullin C., Barregard L. 2006. Experimental wood smoke exposure in humans., 855 - 864.

Wang Z., Bi X., Sheng G., Fu J. 2009. Characterization of organic compounds and molecular tracers from biomass burning smoke in South China I: Broad-leaf trees and shrubs. Atmospheric Environment, 43, 3096-3102.

Ward T., Lange T. 2010. The impact of wood smoke on ambient PM2.5 in northern Rocky Mountain valley communities. Environmental Pollution, 158, 723-729.