

MODERNE CALDAIE A BIOMASSE E POLVERI SOTTILI

Evoluzione tecnologica verso l'impatto zero

VALTER FRANCESCATO
AIEL
francescato.aiel@cia.it

La combustione di biomasse legnose produce l'emissione di sostanze nocive quali: monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NO_x), composti organici volatili (COV, C_nH_m) e polveri sottili (PM). Sulle emissioni di PM si concentra, giustamente, la maggiore attenzione sia da parte delle agenzie pubbliche per la salvaguardia della qualità dell'aria sia dei cittadini. Di fatto la combustione del legno a scala domestica in vecchi apparecchi tradizionali, in particolare nelle aree in cui l'uso della legna è molto diffuso per il riscaldamento invernale, è una delle principali sorgenti di PM.

Nel 2006 l'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO, World Health Organization, S. 272) ha dichiarato che: "Esiste una forte evidenza, rispetto a quanto stabilito dalla letteratura, che le PM prodotte dalla combustione delle biomasse siano associate con un certo numero di impatti negativi sulla salute, mentre scarse sono le evidenze che dimostrano una qualche differenza in termini di tossicità di questo particolato rispetto alle più comunemente studiate PM urbane".

Tra il 2005 e il 2011 sono stati pubblicati alcuni importanti studi che hanno dimo-



A sinistra, il prof. Dr. Thomas Nussbaumer, insegna bioenergie presso l'Università di Scienze Applicate di Lucerna (Svizzera). Dal 1990 è chairman del prestigioso annuale "Holzenergie Symposium" presso l'ETH di Zurigo e componente scientifico dell'IEA Bioenergy Task 32 "Biomass combustion and co-firing".

A destra, il Prof. Dipl.-Ing. Dr. Ingwald Obernberger dal 1994 è a capo del gruppo di ricerca "Thermal Biomass Utilisation" presso l'Università Tecnica di Graz (Austria) e componente scientifico dell'IEA Bioenergy Task 32.

strato come esistano invece delle significative differenze, in termini di tossicità per la salute umana, tra il PM prodotto da diversi tipi di apparecchi di combustione e quello prodotto dal traffico urbano. Questo articolo riporta i principali risultati di questi studi scientifici.

CITOTOSSICITÀ DEL PM DA COMBUSTIONE: GLI STUDI SVIZZERI

Nel biennio 2005-2006 autorevoli ricercatori svizzeri (Nussbaumer et al. 2005, Klippel et al. 2006) hanno pubblicato uno studio sull'intensità dell'effetto di tossicità del particolato da combustione di biomasse, in funzione della sua composizione chimica specifica. Lo studio ha messo a confronto il livello di tossicità delle polveri prodotte da due moderne caldaie automatiche (80 kW, 570 kW) a cippato, tre tipi di stufe a legna e un'auto Diesel Euro III. Sono stati quindi quantificati i differenti effetti di citotossicità del particolato durante prove

in vitro condotte sulle cellule polmonari V79 del criceto cinese. I risultati possono essere riassunti in quattro punti:

1. Nel caso di combustione in una **moderna caldaia automatica** si raggiunge un'elevata qualità della combustione e di conseguenza un basso livello d'incombusti carboniosi e di fuliggine. Il particolato consiste principalmente di sostanze inorganiche, ovvero sali minerali (KCl, K_2SO_4 , $CaCO_3$, e CaCO). La tossicità di questo particolato inorganico è risultata 5-10 volte inferiore alla fuliggine dell'auto diesel, composta invece per lo più di materiale carbonioso incombusto. Inoltre, la mortalità cellulare ottenuta con il filtro completamente scarico di particolato risultava del tutto simile a quella del filtro caricato con il particolato delle moderne caldaie.

2. Nel caso di una **stufa a legna tecnologicamente avanzata**, con combustione a due stadi ed immissione forzata d'aria secondaria per l'ossidazione dei gas combustibili del legno, le emissioni si mantengono mol-

to basse e, nella fase di funzionamento ad alta temperatura, presentano una composizione chimica molto simile al particolato inorganico delle caldaie automatiche.

3. Nel caso di una **stufa a legna tradizionale a funzionamento normale** risulta una tossicità del particolato paragonabile a quella della fuliggine del Diesel.

4. Il particolato prodotto da una **stufa tradizionale non funzionante correttamente** (legna umida, combustione incompleta) ha una tossicità circa 10 volte più elevata (gli IPA risultano 20 volte maggiori) rispetto alla fuliggine del Diesel. Se confrontata con il particolato inorganico della moderna caldaia, **la tossicità è perciò circa 100 volte più elevata**.

I risultati di questo studio hanno dimostrato quindi, per la prima volta, che esiste una significativa differenza nel livello di tossicità per la salute umana del PM prodotto da moderni apparecchi, vecchi apparecchi e da quello prodotto dalle auto Diesel. Il particolato prodotto dai moder-

A sinistra, aspetto dei filtri dopo il campionamento del PM, a sinistra da un'auto Diesel a destra da una moderna caldaia a cippato. A destra, aspetto dei filtri dopo il campionamento di PM da una vecchia stufa a legna funzionante non correttamente. Il PM è composto per oltre il 90% da incombusti carboniosi.



Tabella 1. Confronto tra valori medi del fattore di emissione di vecchi e moderni apparecchi, con test di simulazione dei cicli di funzionamento tipici della pratica quotidiana - accensione e spegnimento inclusi (Brunner et al. 2011).

impianti a biomassa di piccola scala	cicli di funzionamento	CO [mg/MJ]	OGC [mg/MJ]	PM ₁ [mg/MJ]
moderna caldaia a pellet	1	47.1	2.5	6.2
	2	45.4	1.7	6.0
moderna caldaia a cippato	1	168.1	3.0	15.3
	2	182.2	5.4	13.6
moderna caldaia a legna	1	700.4	78.7	14.2
	2	793.1	62.4	17.6
moderna stube a legna	1	1,207.3	52.4	31.3
	2	1,007.5	69.2	28.0
moderna stufa a legna	1	1,048.2	94.2	47.2
	2	1,035.6	95.5	46.1
vecchia stufa a legna	1	2,355.4	223.9	74.2
	2	2,084.6	185.7	55.5
vecchia caldaia a legna	1	12,632.3	1,143.8	106.1
	2	8,969.4	650.8	98.6

ni apparecchi ha una tossicità molto bassa o addirittura trascurabile e in ogni caso nettamente inferiore a quella del particolato urbano (traffico). Il livello di evoluzione tecnologica degli apparecchi di combustione, la qualità del combustibile e la gestione degli apparecchi (manuali) giocano quindi un ruolo chiave per le future strategie di riduzione del PM e del suo effetto di tossicità.

EFFETTI SULLA SALUTE DEL PM DA COMBUSTIONE: GLI STUDI AUSTRO-FINLANDESI

Sul fronte dello sviluppo tecnologico dei piccoli apparecchi, negli ultimi anni si è assistito ad una costante riduzione del fat-

tore di emissione di PM. Mentre le vecchie stufe e le caldaie tradizionali emettono ancora oltre 100 mg/MJ di PM, i più recenti studi rilevano per i moderni apparecchi domestici valori nel range 47-28 mg/MJ e per le moderne caldaie, con sistemi di regolazione automatica, valori compresi tra 18 e 6 mg/MJ (tabella 1).

In riferimento al livello di tossicità del PM, a gennaio 2011 sono stati presentati, nell'ambito dell'IEA Bioenergy Task32 workshop: "Aerosols from small-scale biomass combustion plants" (Graz, Austria) gli interessanti risultati di uno studio condotto in collaborazione tra il centro di competenze austriaco BIOENERGY 2020+, l'Università Tecnica di Graz e il di-

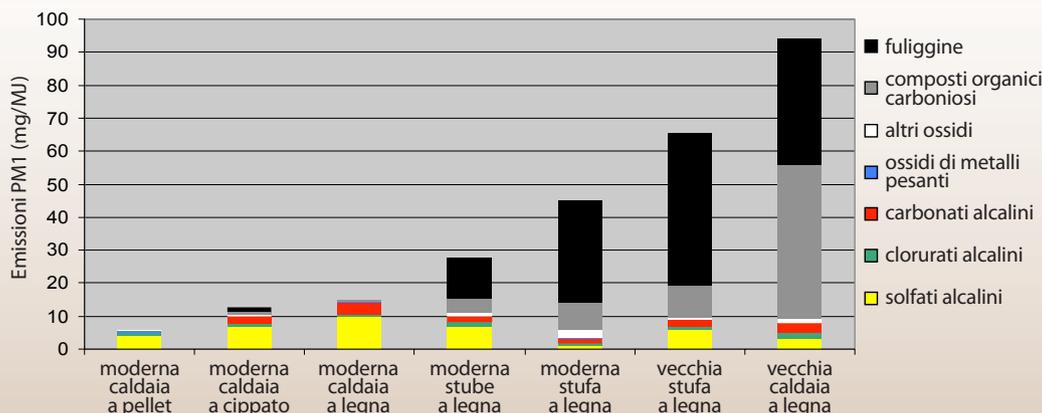
partimento di salute ambientale dell'Università dell'Est Finlandia (Kuopio).

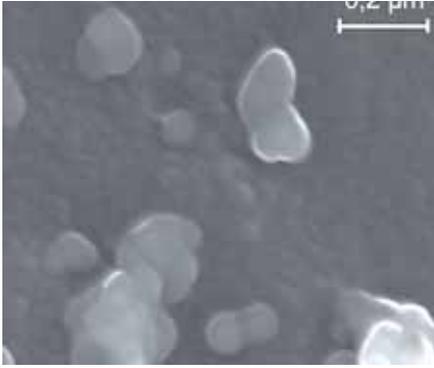
Questo studio ha confermato e rafforzato quanto dimostrato dai precedenti studi svizzeri, ovvero che, pur rimanendo prioritario stimolare una costante ulteriore riduzione quantitativa dell'emissione di PM, è ancora più importante essere consapevoli che il grado di pericolosità per la salute delle PM è fortemente correlato alla qualità delle stesse, ovvero alla loro composizione chimica. Nei vecchi apparecchi sono prevalenti le cattive condizioni di combustione che conducono alla produzione di PM composto per lo più (oltre il 90%) da particolato organico e fuliggine. Tali incombusti carboniosi organici nocivi scompaiono quasi completamente nel caso delle moderne caldaie a legna, cippato e pellet, il cui PM è composto quasi solo da sali inorganici (in prevalenza solfati e cloruri di potassio, figura 1).

Il PM₁ raccolto dai test di combustione (tabella 1 e figura 1) è stato impiegato per effettuare dei test di tossicità su cellule polmonari (Test in-vitro). In questi test di tossicità sono state eseguite anche delle prove comparative con PM da auto Diesel e PM urbano (Hirvonen et al. 2011). I risultati di questo studio possono essere riassunti in cinque punti:

1. Il PM delle moderne caldaie contiene in media meno del 10% di aerosol organico e incombusti carboniosi, mentre

Figura 1. Composizione chimica del PM₁ prodotto da vecchi e moderni apparecchi, raccolto nei test di combustione riportati in tabella 1 (Brunner et al. 2011).





Aspetto fisionomico dell'aerosol inorganico formato dopo la completa combustione. Questo PM ha un effetto di citotossicità da nullo a molto ridotto sulle cellule polmonari.

questa componente nociva rappresenta ca. il 90% del PM dei vecchi apparecchi.

2. Le emissioni di PM dei moderni apparecchi, grazie alle migliorate condizioni di combustione, rispetto ai vecchi apparecchi, mostrano **una concentrazione di IPA inferiore da un fattore 10 fino a un fattore 100.**

3. Il miglioramento delle condizioni di combustione (= minore concentrazione di carbonio organico e fuliggine nel PM) comporta **un significativo abbassamento dell'effetto di tossicità del particolato.**

4. I test in-vitro sulle cellule polmonari, impiegando tutti i tipi di PM collezionato dagli apparecchi a biomasse, hanno manifestato un effetto di infiammazione cellulare nullo o molto basso rispetto invece al PM del Diesel e al PM urbano.

5. Riguardo alla genotossicità (mutagenicità), il PM dei vecchi apparecchi mostra chiaramente una maggiore pericolosità potenziale rispetto al PM del Diesel. Il PM prodotto dai moderni apparecchi determina, invece, una reazione cellulare notevolmente più ridotta rispetto al PM del Diesel.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sulla base dei risultati degli studi qui presentati può essere affermato che attualmente i moderni piccoli apparecchi a

biomasse producono una quantità di PM inferiore del 70-90% rispetto ai vecchi apparecchi. Il PM prodotto dai moderni apparecchi, inoltre, mostra chiaramente un effetto di tossicità assolutamente inferiore rispetto sia ai vecchi apparecchi sia al PM prodotto dal traffico urbano. Le moderne caldaie dotate di evoluti sistemi di regolazione automatica della combustione e correttamente installate, grazie ad una combustione pressoché completa, producono un PM quasi privo di incombusti carboniosi e perciò con un effetto di tossicità per lo più trascurabile per la salute umana. La promozione ed il sostegno finanziario alla "rottamazione" dei vecchi apparecchi domestici con i più moderni, efficienti e tecnologicamente evoluti apparecchi di combustione può condurre ad una notevole riduzione delle emissioni di PM da combustione del legno e quindi ad un sostanziale miglioramento della qualità dell'aria, anche nelle valli montane già metanizzate dove, tuttavia, il legno rimane (comprensibilmente) la fonte di calore prediletta dalle popolazioni locali, visti gli elevati livelli di PM e IPA rilevati d'inverno.

Nel prossimo futuro i progetti di ricerca e sviluppo in corso consentiranno un ulteriore significativa riduzione del fattore di emissione di PM dei piccoli apparecchi, dal 50 fino al 90% rispetto ai valori attualmente rilevati allo stato della tecnica



Il modello di caldaia a pellet KWB Easyfire con tecnologia innovativa Clean Efficiency presentato alla Mitteleuropäische Biomassekonferenz 2011 a Graz (Austria). Grazie ad una serie di misure primarie innovative e a un separatore di polveri incorporato nello scambiatore, raggiunge un rendimento del 96% e un fattore di PM di 4 mg/Nm³.

(Oberberger, 2011); inoltre, anche l'applicazione di sistemi di abbattimento delle polveri di tipo secondario (filtri), giocherà un ruolo importante per poter rispettare limiti di emissione sempre più ridotti.

L'auspicio è che le politiche energetiche e ambientali in Italia sappiano stimolare con "buon senso" lo sviluppo tecnologico di un settore di notevole importanza socio-economica per il nostro paese. ●

BIBLIOGRAFIA

NUSSBAUMER T., KLIPPEL N., OSER M. 2005. Health relevance of aerosols from biomass combustion in comparison to Diesel soot indicated by cytotoxicity tests. ISBN 3-9501980-2-4. Ed. Oberberger I. Brunner T. in Aerosols in Biomass Combustion.

KLIPPEL N., NUSSBAUMER T. 2006. Feinstaubbildung in Holzfeuerungen und Gesundheitsrelevanz von Holzstaub im Vergleich zu Dieselruß. ISBN 3-908705-14-2. Nussbaumer T. (Hrsg.): 9. Holzenergie-Symposium ETH Zürich.

BRUNNER T., KELZ J., OBERBERGER I., JALAVA P., HIRVONEN M-R. 2011. Influence of combustion conditions on the genotoxic

potential of fine particle emissions from small-scale wood combustion. IEA Bioenergy Task 32 workshop: Aerosols from small-scale biomass combustion plants, 27.01.2011, Graz, Austria.

HIRVONEN M-R. 2011. Health related toxicological effects of particulate emissions from small-scale biomass combustion systems. IEA Bioenergy Task 32 workshop: Aerosols from small-scale biomass combustion plants, 27.01.2011, Graz, Austria.

OBERBERGER I. 2011. Aerosols from small-scale biomass combustion plants. IEA Bioenergy Task 32 workshop: Aerosols from small-scale biomass combustion plants, 27.01.2011, Graz, Austria.