

# Formazione di polveri sottili IN APPARECCHI TERMICI A LEGNA

Ripercussione sulla salute umana e confronto con la fuliggine prodotta dai motori diesel

**NORBERT KLIPPEL  
e THOMAS NUSSBAUMER**

Verenum, Zurigo  
norbert.klippel@verenum.ch  
thomas.nussbaumer@verenum.ch



**Pubblichiamo la prima parte di uno studio approfondito  
sulle emissioni di polveri sottili prodotte dalla combustione del legno.  
Gli autori analizzano e confrontano le emissioni  
dei moderni apparecchi automatici e di quelli tradizionali,  
valutandone la reattività biologica.**

### 1. Introduzione

Nelle PM10 sono comprese le particelle presenti in ambiente aereo più piccole di 10  $\mu\text{m}$ . Ci si pone la domanda su quali di queste particelle siano più nocive per la salute umana; una domanda su cui si discute molto da anni, ma a cui non è stata data una risposta esaustiva. Studi epidemiologici documentano una relazione tra le concentrazioni di PM10 in ambiente aereo e gli effetti negativi sulla salute [1-3]. Una particolare attenzione hanno avuto negli ultimi anni le cosiddette nanoparticelle, ovvero le componenti delle PM10 più piccole di 100 nm circa. Diversi gruppi di ricerca hanno rilevato che queste particelle ultrafini possono penetrare le barriere parietali delle cellule umane [4,5]. Dopo essere state inalate, esse raggiungono il sangue oltrepassando anche le barriere ematiche cerebrali, arrivando, dunque al cervello [6]. Tuttavia, una relazione di effetto della dose per queste particelle non è nota.

Importanti sorgenti di polveri sottili derivanti dai processi di combustione sono i motori diesel e gli apparecchi a legna. Sinora gli studi mostrano che la ripartizione dimensionale delle polveri emesse è molto simile in entrambi i casi, attestandosi intorno al valore di circa 100 nm. D'altro canto è noto che nei moderni apparecchi a legna la composizione chimica delle polveri è assolutamente diversa rispetto a quella dei motori diesel. Obiettivo di questo studio è evidenziare le possibili differenze negli effetti che queste due tipologie di pol-

veri hanno sulla salute. Inoltre, deve essere ancora chiarita quale variazione quantitativa e qualitativa delle polveri emesse dagli apparecchi a legna può verificarsi, laddove sono differenziati anche i meccanismi di formazione.

### 2. Origine di polveri fini nella combustione della legna

Le polveri fini possono originarsi nei fumi degli apparecchi a legna tramite i seguenti processi.

1. Evaporazione di componenti inorganiche del combustibile, (potassio, calcio, cloro, zolfo) e conseguente condensazione in particelle saline.
2. Combustione incompleta con formazione di particelle carboniche, (fuliggine, creosoto).
3. Formazione di cenere dal braciere nel flusso dei fumi.

Non solo la grandezza del nucleo delle particelle ma anche la loro composizione chimica all'interno dei fumi può differenziarsi fortemente a seconda dei meccanismi di formazione dominanti.

Nei moderni apparecchi a carica automatica è noto che la maggior parte delle emissioni di particelle consta in sali inorganici [7, 8]. In questi impianti, con una corretta combustione, la percentuale di fuliggine può essere ridotta a valori inferiori all'1%, per giungere fino al 5% in peso. Per contrasto, nei piccoli focolari a carica manuale,

possono essere emesse rilevanti percentuali di particelle derivanti da una combustione incompleta.

Nel presente lavoro, le emissioni totali e le ripartizioni dimensionali delle particelle sono studiate per focolari a legna molto diversi. Le prove scelte sono state analizzate chimicamente ed esaminate in test cellulari biologici in relazione al loro possibile effetto nocivo per la salute. Come base comparativa per l'efficacia biologica sono utilizzate particelle di fuliggine di diesel, il cui effetto nocivo è noto.

### 3. Emissioni di apparecchi a legna con carica automatica

Tutte le misurazioni delle polveri in termini dimensionali sono risultate comprese tra 20 nm e 0,7  $\mu\text{m}$ . tali misurazioni sono state eseguite con uno Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS) e un contatore ottico (OPC) per le grandezze comprese fra 0,5  $\mu\text{m}$  fino a 20  $\mu\text{m}$ .

Sia le emissioni assolute che le ripartizioni dimensionali delle particelle, negli apparecchi a legna a carica automatica, sono simili ai motori diesel. Le emissioni tipiche sono dell'ordine di 50  $\text{mg}/\text{m}^3$  per raggiungere i 150  $\text{mg}/\text{m}^3$ . In figura 1 è rappresentato il risultato della misurazione effettuate per un focolare a legna con potenza di 200 kW, in condizioni di stabilità ed alla temperatura d'esercizio. Il calcolo della ripartizione dimensionale della massa delle particelle (Figura 2) indica un massimo

marcato, che precipita rapidamente in particelle di dimensioni maggiori. I massimi valori si concentrano su 70 nm in termini numerici, e 110 nm per la ripartizione dimensionale.

La differenza fondamentale tra i focolari a carica automatica ed i motori diesel sta nella composizione chimica delle particelle emesse. I motori diesel producono prevalentemente fuliggine, ovvero carbonio incombusto. Contrariamente, negli apparecchi termici a legna con carica automatica le emissioni di fuliggine possono essere in gran parte evitate grazie ad una combustione quasi completa, stabile e ben regolata.

La componente dominante del particolato degli apparecchi automatici a legna sono i sali inorganici derivanti dalle sostanze minerali contenuti nella biomassa combusta [8]. In Figura 3 è riportato il risultato dell'analisi chimica in una prova relativa alle polveri prodotte da un apparecchio a legna con carica automatica: la parte di carbonio incombusto (fuliggine) è risultata inferiore al 3%.

**4. Emissioni delle stufe a pezzi di legna**

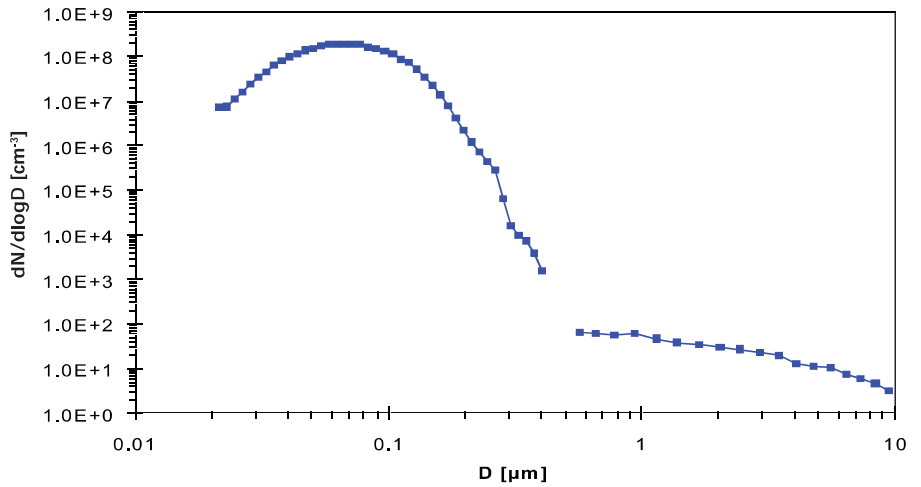
**4.1 Stufe a legna esaminate**

Negli apparecchi a carica manuale, la qualità della combustione dipende fortemente dal tipo di funzionamento. La gamma delle emissioni risultanti è stata rilevata per tre differenti tipologie di stufe a legna (figura 4).

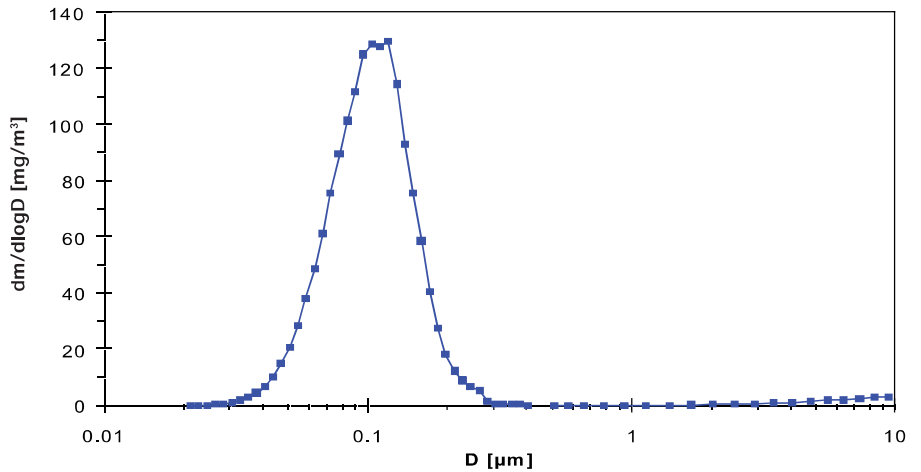
Stufa 1 - Stufa di metallo semplice, con combustione nella parte superiore, dotata di una camera di combustione piccola e di una camera di postcombustione appena abbozzata. Tipica stufe economica, priva di marchio di qualità.

Stufa 2 - Tipica stufa domestica, di classe superiore, con grande camera di combustione rivestita in materiale refrattario e combustione nella parte superiore. Sono presenti aria secondaria e zona di ultimazione della combustione, ma nessuna chiara separazione fra le zone ed un apporto di aria secondaria immessa direttamente nella camera di combustione, non in una zona

**Figura 1: ripartizione delle particelle dei fumi di un focolare a carica automatica (pellet) in base alla grandezza.**



**Figura 2: ripartizione delle particelle dei fumi di un focolare a carica automatica (pellet) in base alla massa.**



**Figura 3: sostanze contenenti polveri in una prova relativa ai fumi di un apparecchio a carica automatica durante il normale funzionamento. Una tale prova è stata impiegata anche per i test biologici descritti successivamente.**

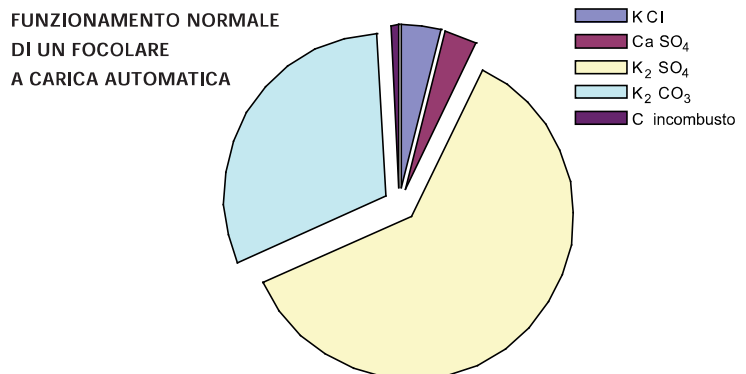
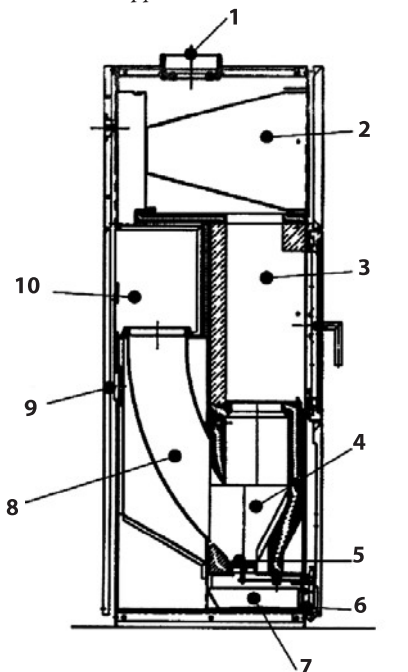






Figura 4: le stufe a legna esaminate (da sinistra: stufa 1, stufa 2 e stufa 3)

Figura 5: disegno costruttivo della stufa 3 dotata di doppia combustione.



- 1 raccordo canna fumaria
- 2 modulo convettivo/di accumulo
- 3 fuoco
- 4 storta della camera di combustione per legna in ciocchi
- 5 griglia scuoticenera
- 6 entrata aria primaria
- 7 cassetto cenere
- 8 vano di riempimento
- 9 entrata aria secondaria
- 10 apertura per carico

rastremata. La stufa dispone del marchio di qualità.

Stufa 3 - Stufa domestica con doppia combustione che avviene nella parte inferiore, apporto di aria secondaria in una zona rastremata ed una successiva camera di postcombustione rivestita di materiale refrattario.

#### 4.2 Procedimenti e risultati relativi alle polveri sottili

In conformità alla norma per l'esecuzione dei test per la concessione del marchio di qualità relativo alle stufe a legna e al collaudo tipo (EN 13240), il funzionamento degli apparecchi a legna avviene in modo che si produca in primo luogo una brace di base; i rilievi iniziano successivamente, dopo la ricarica della legna su questa brace. Se nella ricarica si utilizzano quantità molto piccole di legna secca (in questo caso 2 ciocchi di legna di faggio del peso di 750 g con  $w=12\%$ ), tutte le stufe esaminate raggiungono i 50  $\text{mg}/\text{m}^3$  di emissioni, (riferiti al 13 Vol.-% di  $\text{O}_2$ ).

In figura 6 è indicato un tipico spettro di grandezza per il funzionamento ottimale con emissioni complessive pari a 20  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

La gamma delle emissioni possibili è tutta-

via molto più ampia di quanto rilevato nel corso del funzionamento ottimale. Infatti, nel caso della stufa dotata di marchio di qualità (stufa 2), quando si procede ad una cospicua carica di legna umida, si verificano emissioni di 500  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Le emissioni più alte si sono rilevate, con valori superiori a 5.000  $\text{mg}/\text{m}^3$ , per la stufa semplice di metallo e nelle condizioni di funzionamento peggiori, ovvero dopo il caricamento di legna normale e mantenendo il registro dell'aria chiuso (stufa 1).

Le emissioni più alte portano ad uno spostamento dello spettro del particolato, vale a dire a particelle più grandi; questo è da ricondurre, almeno in parte, all'agglomerazione di particelle primarie più formate. Malgrado tale spostamento, il carico fondamentale di queste particelle va ricondotto in ogni caso, alle particelle con un diametro inferiore a 3  $\mu\text{m}$ . Tali particelle sono inalabili ed in gran parte possono oltrepassare i polmoni.

Per il giudizio relativo alle ripercussioni sulla salute, è interessante anche un paragone con gli aerosol terapeutici. Gli attuali standard tecnici degli apparecchi di inalazione permettono la produzione di aerosol terapeutici di circa 5  $\mu\text{m}$  di diametro. Specialmente in campo pediatrico sono stati sviluppati dei dispersori

che producono aerosol il cui diametro va da circa 2 a 3  $\mu\text{m}$ , per permettere un assorbimento il piú profondo possibile nelle vie respiratorie dei bambini che non sono ancora totalmente sviluppate [9]. I migliori aerosol terapeutici disponibili hanno, all'incirca la stessa grandezza delle particelle prodotte nelle peggiori condizioni di combustione.

Una posizione caratteristica in questi test viene occupata dalla stufa 3 dotata di doppia combustione. Nel caso piú favorevole essa raggiunge emissioni molto contenute, di circa  $10 \text{ mg/m}^3$ . Nel caso in cui il combustibile non sia ottimale, vale a dire legno con umidità fino a  $w=30\%$ , le emissioni risultano ancora al di sotto di  $100 \text{ mg/m}^3$ , con emissioni tipiche di  $20\text{-}50 \text{ mg/m}^3$ , praticamente indipendenti dallo stato di funzionamento e dal tipo di legna.

Per questa stufa il funzionamento è simile ai focolari a carica automatica. Infatti, i fumi combustibili prodotti nel braciere sottostante, sono combusti in un secondo momento in una zona separata tramite un flusso di aria secondaria. In questo modo si ha una combustione quasi completa, con minima formazione di fuliggine. Inoltre, potendo gestire la quantità della legna grazie ad un vano di riempimento è escluso un sovraccarico.

In questo tipo di stufa le emissioni piú contenute di particolato si hanno dopo la fase di accensione. Con il progressivo incremento del calore fino al raggiungimento della temperatura d'esercizio, le emissioni aumentano da  $10 \text{ mg/m}^3$  a  $30 \text{ mg/m}^3$ , (Figura 7). Parallelamente, le prove di raccolta delle polveri presentano inizialmente un colore nero; ad emissioni piú elevate si crea uno strato grigio chiaro (Figura 8). In aggiunta, le particelle che si formano ad un'alta temperatura di esercizio sono, con molta probabilità, dei sali inorganici, come negli apparecchi a carica automatica.

Per questa stufa, nel caso di una buona evacuazione dei fumi dal braciere, a tratti si presenta una fiamma blu, simile ad un bruciatore a gas con premiscelazione (Figura 9).

### 4.3 Influenza delle fasi di combustione

Un obiettivo primario per la progettazione ed il funzionamento degli apparecchi termici a legna è il raggiungimento di una combustione completa. Nella fase di accensione un aumento delle emissioni è inevitabile.

Un ulteriore obiettivo è quello di cercare di abbreviare il piú possibile il processo di accensione, rendendo la fase di combustione costante il piú a lungo possibile. Nei focolari a legna questa fase può essere raggiunta con un calo costante della combustione, oppure come nel caso della stufa 3, con una combustione dal basso "direzionata", infatti, durante la fase di calo della combustione vi è un continuo caricamento della legna dal vano di riempimento alla camera di combustione.

In questo studio è stata determinata l'influenza del processo di accensione sulle emissioni complessive di monossido di carbonio e di polveri sottili, mentre le emissioni di particelle, misurate con apparecchiatura SMPS e OPC, sono state rilevate quasi in continuo e convertite in concentrazioni di massa, le quali sono state convalidate con la misurazione gravimetrica delle polveri. Con la misurazione del volume dei fumi è stata

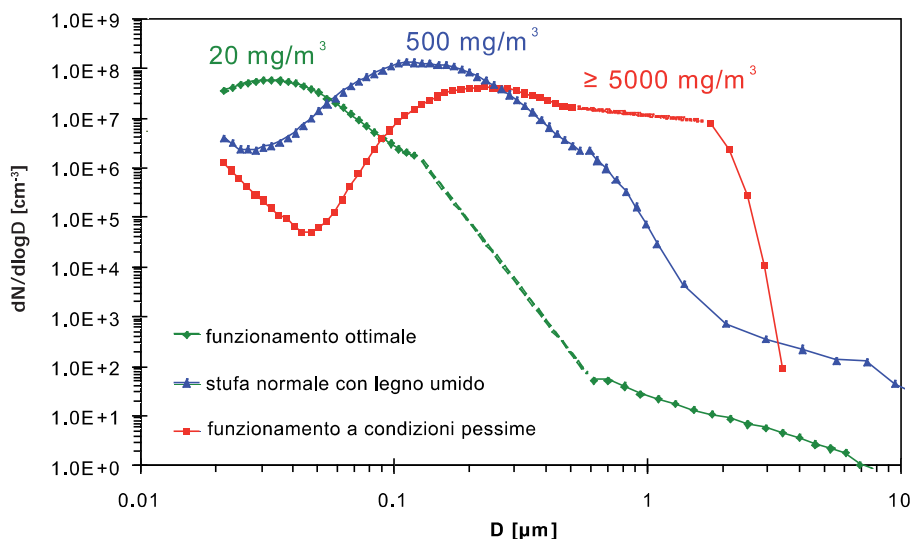
determinata la portata della massa delle emissioni, la quale è stata poi sommata alla durata complessiva della fase di calo della combustione.

In questo modo si può rilevare il decorso cronologico della parte di polveri sottili emessa complessivamente durante il calo di combustione, e può essere valutata quantitativamente la rilevanza dell'accensione a freddo e delle successive fasi, attraverso l'aumento delle emissioni.

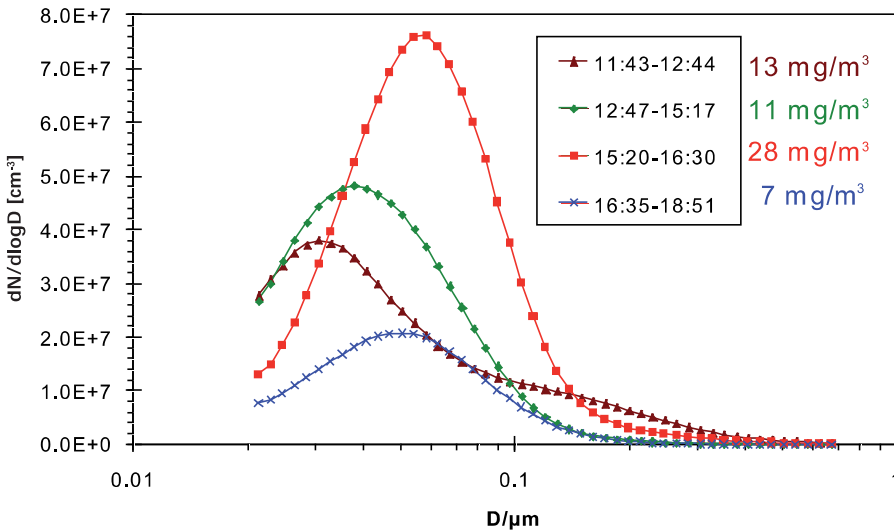
La Figura 10 mostra l'analisi delle emissioni di monossido di carbonio e di particolato nel corso della fase di calo della combustione nel caso della stufa a legna con doppia combustione, che, inclusa la fase di avvio, raggiunge emissioni medie di polveri inferiori a  $20 \text{ mg/m}^3$ , (rif. a 13 Vol.-% di  $\text{O}_2$ ). I dati delle emissioni sono espressi in carichi, in g/h ovvero  $\text{mg/h}$ .

Da ciò è evidente il tipico picco d'avvio di monossido di carbonio e di emissioni di particelle. Inoltre, spicca il fatto che nella combustione completa si rilevano alte emissioni di monossido di carbonio, mentre le emissioni di particolato non aumentano, poiché nella combustione completa si trasforma in gas solo il carbonio sotto forma di monossido, non è comunque disponibile nessuna sostanza organica combustibile e sono liberate

Figura 6: ripartizione delle grandezze e delle emissioni complessive relative a diversi tipi di funzionamento per la stufa a legna n. 1.



**Figura 7: misurazioni scansionate nel tempo della stufa n.3 con legna secca di faggio (w=12%) e misurazioni gravimetriche effettuate parallelamente attraverso i filtri. La prima curva in termini di tempo indica la fase d'accensione, l'ultima curva la fase di consumo-spegnimento. Nel funzionamento stabile che avviene tra queste due fasi, le emissioni risultano comprese tra 11 e 28 mg/m<sup>3</sup> a 13 Vol.-% di O<sub>2</sub>.**



### 5 Emissioni di una stufa a Pellet

Come paragone, rispetto alle stufe a legna, è stato misurato il comportamento delle emissioni di una stufa a pellet (8 kW di potenza nominale). Il funzionamento di tale stufa è automatizzato per cui l'influenza del soggetto utilizzatore è molto contenuta. È stato quindi possibile caratterizzare le emissioni alle normali regolazioni della stufa.

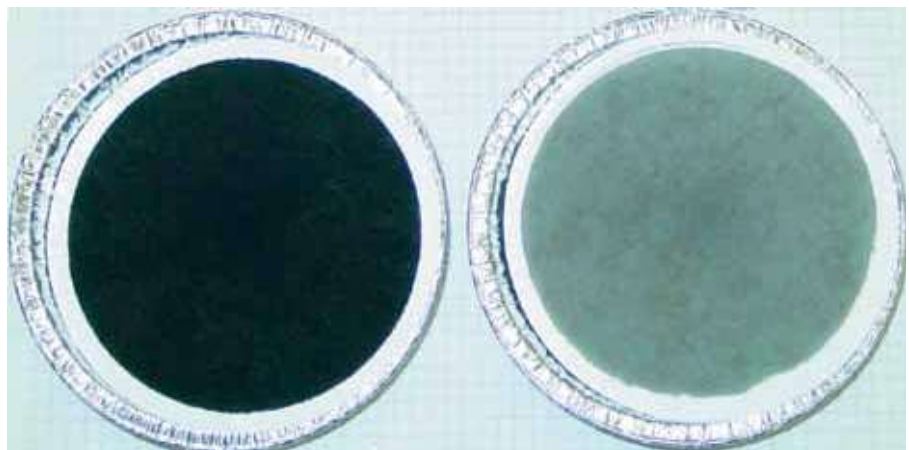
La stufa a pellet è concepita per il funzionamento con pellet di legna, tuttavia si è proceduto ad un test di rilevazione anche con pellet di cereali, per giudicare l'influsso sulle emissioni.

In questo tipo di stufa, le emissioni rilevate con pellet di legno raggiungono stabilmente i 15-17 mg/m<sup>3</sup> con un effettivo contenuto di O<sub>2</sub> nei fumi, ma con un eccesso d'aria medio pari a 4, cosicché le emissioni di polveri risultano comprese fra 24 a 26 mg/m<sup>3</sup> al 13% di Vol.% di O<sub>2</sub>.

solo piccole quantità di idrocarburi e di particelle organiche.

In figura 11 è riportato il decorso cronologico del monossido di carbonio e del particolato, nella fase di calo della combustione. Dopo circa il 10% del tempo di calo della combustione il 50% del totale del particolato è stato emesso, per diventare oltre il 90% dopo il 50% del calo della combustione. Contrariamente a ciò, dopo il 10% del periodo di calo da combustione è stato emesso meno del 10% del monossido di carbonio totale e dopo il 50% del periodo di calo da combustione meno del 50%. Questo indica che per la registrazione delle emissioni di particolato è determinante la prima metà del periodo di combustione, ed in particolare la fase di accensione, mentre il periodo di completamento della combustione è significativamente secondario. Questi risultati mostrano anche che il livello delle emissioni di polveri non può essere desunto con certezza solo sulla base del contenuto di monossido di carbonio, poiché polvere e monossido di carbonio presentano un diverso comportamento durante le differenti condizioni di combustione.

*Figura 8: prove sui filtri per la stufa di tipo 3. A sinistra: rilevazione durante la fase di accensione. A destra: rilevazione durante il funzionamento costante con alte temperature di combustione*



*Figura 9: immagini della fiamma per la stufa 3. A sinistra: dopo la fase di accensione. A destra: durante la temperatura d'esercizio*





Con pellet di cereali, le emissioni di polveri, non ancora soggetta ad una norma, raggiungono valori doppi rispetto a quelli rilevati per il pellet di legno, e contemporaneamente si verifica un eccesso d'aria pari a 8, per cui le emissioni di particolato ammontano a circa 165 mg/m<sup>3</sup> al 13% di

Vol.,% di O<sub>2</sub>. Si verifica anche un contemporaneo aumento delle emissioni di NO<sub>x</sub>, che passano da 200 mg/m<sup>3</sup> a 800 mg/m<sup>3</sup> al 13% di Vol.,% di O<sub>2</sub>.

La maggior parte delle emissioni di particolato, in entrambi casi, rientra nel ristretto ambito delle sostanze inferiori ad 1 µm.

La figura 12 mostra lo spettro delle grandezze di granulosità fino a 1 µm, per mezzo di un SMPS. Il completamento delle misurazioni con l'OPC, per le particelle più grandi non ha dato alcun contributo essenziale alla definizione delle emissioni totali.

CONTINUA NEL PROSSIMO NUMERO

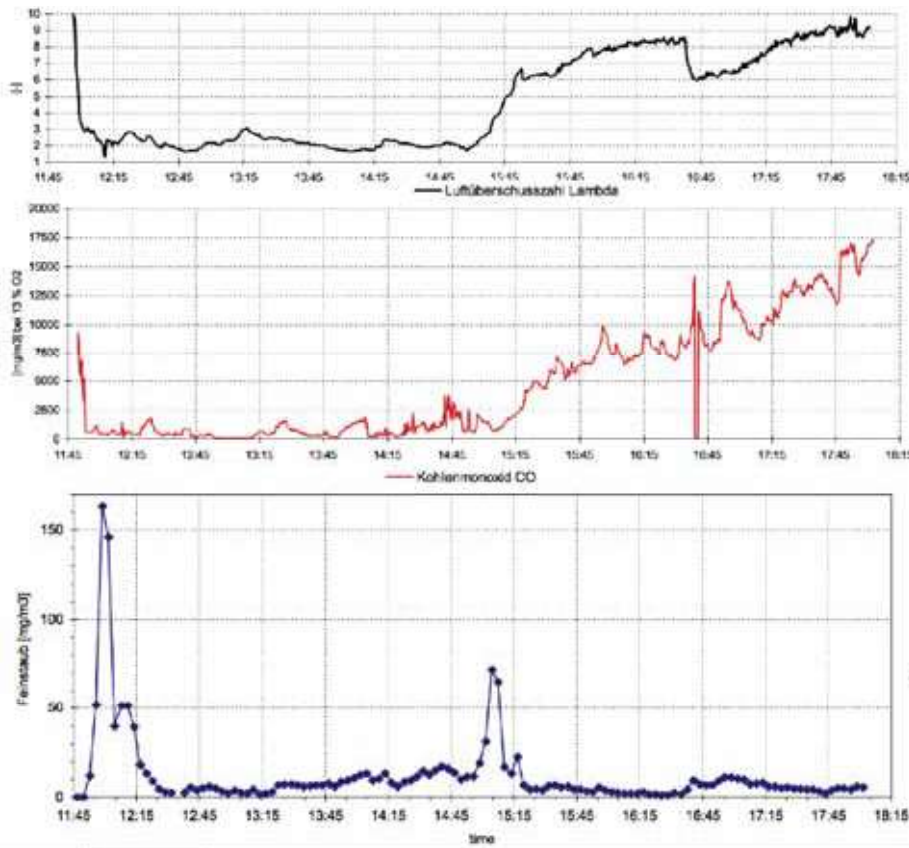


Figura 10: decorso cronologico di eccesso d'aria, monossido di carbonio, ed emissioni di particolato durante un calo da combustione nella stufa a legna a doppia combustione

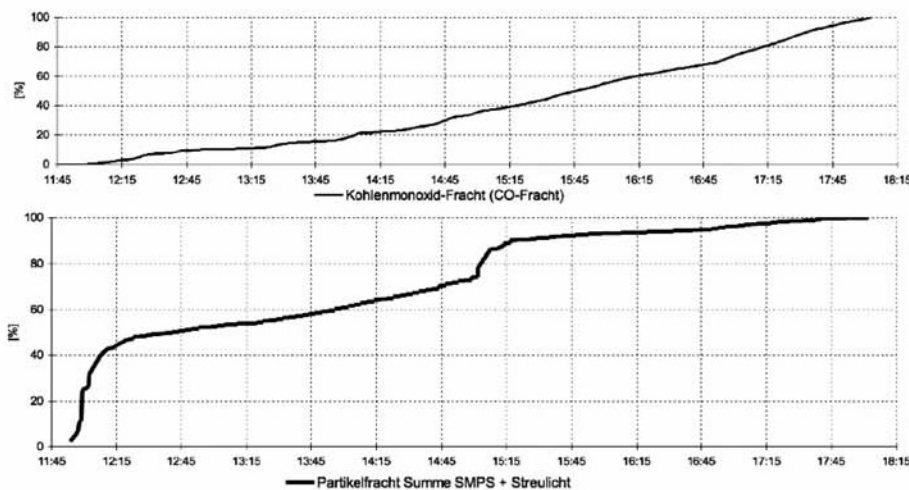
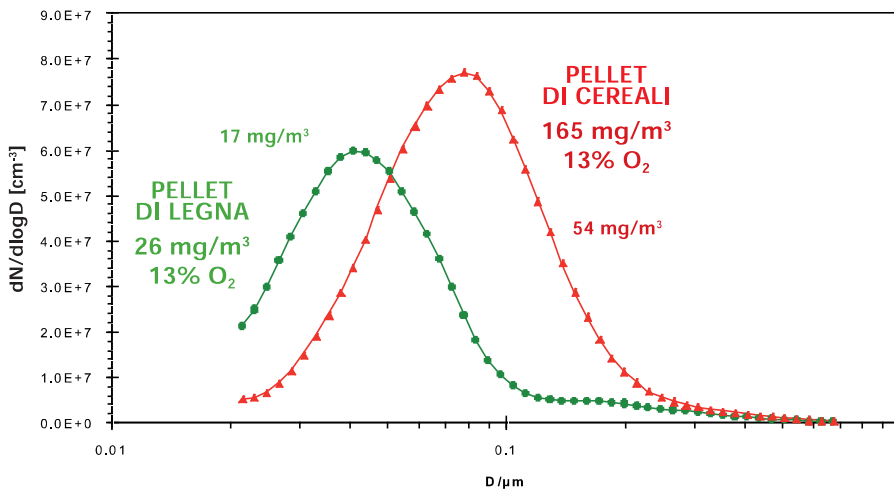


Figura 11: decorso cronologico della parte percentuale delle emissioni totali di monossido di carbonio e delle emissioni di particolato durante lo stesso calo da combustione evidenziato in figura 10.

Figura 12: ripartizione delle grandezze del particolato nei fumi della stufa a pellet fatta funzionare con pellet di legna e pellet di cereali.



**Ringraziamenti**

La presente indagine è stata sostenuta da:

- Bundesamt für Energie (BfE)
- Bundesamt für Umwelt (BAFU)
- Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA)
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), Santiago de Chile.

**In collaborazione con**

- EMPA Dübendorf
- Müller Holzfeuerungen, Balsthal
- Tiba Holzfeuerungen, Bubendorf
- Terraconsult, Bern
- RCC Cytotest Cell Research, Darmstadt, Deutschland
- Bachema Chemische Laboratorien, Schlieren.

**BIBLIOGRAFIA**

[1] Dockery D., C. Pope, X. Xu, J. Spengler, J. Ware, M. Fay, B. Ferris, F. Speizer. (1993): An association between air pollution and mortality in six U.S. Cities. *The New England J. of Medicine*, Vol. 329, 1753-1759.

[2] Pope C., Thun M., Namboodiri M., Dockery D., Evans J., Speizer F., Heath C. (1995): Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults. *Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 151, 669-74

[3] Braun-Fahrlander Ch.: Health effects of aerosols: What is the epidemiologic evidence? *Aerosols from Biomass Combustion*, International Energy Agency and Swiss Federal Office of Energy, Verenum, Zürich, 2006, ISBN 3-908705-00-2, 11-18

[4] Gehr, P. et al.: Surfactant-ultrafine particle interactions: what can we learn from PM10 studies, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, (2000) 358, 2707-2718

[5] Gehr, P.; Geiser, M.; Schürch, S.; Rothen, B.; Kapp, N.: How ultrafine particles may interact with pulmonary cells. *7th ETH Conf. on Nanoparticle Measurement*, (2003), Zurich

[6] Kreyling, W.; Semmler, M.; Möller, W.: Translocation of ultrafine solid combustion particles into the vascular and the central nervous system. *7th ETH Conf. on Nanoparticle Measurement* (2003), Zurich

[7] Nussbaumer, T.; Hasler, P.: Bildung und Eigenschaften von Aerosolen aus Holzfeuerungen. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 57 (1999), 13-22.

[8] Oser, M.; Nussbaumer, Th.; Müller, P.; Mohr, M.; Figi, R.: Mechanisms of Particle Formation in Biomass Combustion. *Second World Biomass Conference*, 10-14 May 2004, Rome, ETA Florence and WIP Munich, ISBN 88-89407-04-2, 1246-1249

[9] Schüepf, K. et al.: In vitro determination of the optimal particle size for nebulized aerosol delivery to infants, *Journal of Aerosol Medicine*, Vol. 18, no. 2 (2005), 225-235

**Riassunto dell'articolo completo**

Sono state oggetto di ricerca comparata le emissioni di polveri sottili provenienti da apparecchi a legna e da motori diesel, analizzando le seguenti caratteristiche: concentrazione di massa, numero e distribuzione delle grandezze del particolato e contenuto di idrocarburi aromatici policiclici (IAP). Inoltre, si è proceduto ad una campionatura delle polveri fini per valutarne la reattività biologica in vitro, su cellule polmonari di criceti cinesi. Le indagini svolte hanno permesso un'interpretazione della tossicità cellulare, così come dei difetti cromosomici, laddove questi ultimi fungono da indicatori per il potenziale cancerogeno. Poiché nessun dato simile è noto, sono state sviluppate più varianti, differenziate per campionatura e preparazione del test. È stato dimostrato che il metodo scelto è appropriato

per valutare la reattività biologica del particolato esaminato in maniera comparativa. I test hanno evidenziato, inoltre, i seguenti risultati.

- Le polveri fini, in gran parte inorganiche, prodotte dalla combustione quasi completa di legna stagionata naturalmente in un apparecchio automatico, presentano una reattività biologica per lo meno quindici volte minore, in termini di tossicità cellulare e di difetti cromosomici, rispetto alla fuliggine diesel.
- La fuliggine della canna fumaria proveniente da tipici, piccoli apparecchi a legna, presenta una reattività biologica paragonabile alla fuliggine diesel.
- Le polveri fini prodotte da una combustione fortemente incompleta di legna stagionata naturalmente in una stufa a legna non funzionante correttamente, hanno una reattività biologica circa 10 volte più alta,

e 20 volte maggiore in termini di contenuto di idrocarburi aromatici policiclici, rispetto alla fuliggine diesel. Se confrontata con le polveri fini inorganiche, la reattività biologica è perciò circa 100 volte più alta.

- Le stufe a legna esaminate presentano un'ampia oscillazione delle emissioni di polveri fini, partendo da meno di 20 mg/m³ per giungere fino a più di 5.000 mg/m³ al 13 Vol.% di O₂ (s.u). Il valore più alto corrisponde alle polveri prodotte da una stufa a legna funzionante in modo non corretto, e contemporaneamente presentano la più alta reattività biologica.

La grande variabilità non è tuttavia da ricondurre esclusivamente alla modalità di funzionamento. Il passaggio da un funzionamento idoneo ad uno che si rileva nella pratica quotidiana può determinare un aumento delle emissioni mag-

giore di 10 volte. Questi aspetti non sono sufficientemente considerati nell'attuale collaudo degli apparecchi termici; infatti, in questa fase, dovrebbe essere stabilita una modalità di funzionamento maggiormente corrispondente alla pratica quotidiana. In questo contesto la registrazione/acquisizione del procedimento d'accensione che porta all'aumento di polveri fini e composti chimici, risulta decisivo. Con un pessimo funzionamento di una stufa a legna si è registrato un aumento delle emissioni maggiori di 100 volte. Questo dimostra che per un'efficace riduzione delle emissioni di polveri sottili provenienti da focolari a legna, non solo deve essere imposto il divieto di bruciare rifiuti, ma, anche nel caso di utilizzo di legna stagionata, deve essere richiesto un utilizzo appropriato.