

Le prestazioni tecnico-ambientali dei moderni generatori e impianti termici

Valter Francescato, AIEL

Secondo la nostra serie storica (AIEL, 2016), tra il 1999 e il 2014 l'aumento del consumo di biocombustibili legnosi a scala residenziale è stato del 22%, ovvero di circa 56 PJ (+3,4 Mt); se si fa riferimento, invece, alla serie storica dei consumi calcolata dal GSE sulla base della recente indagine ISTAT, tra il 2010 e il 2014 questo aumento scende al 16% (+2 Mt), ovvero a circa 33 PJ.

L'evoluzione del consumo è stata caratterizzata dal **fenomeno di sostituzione della legna con il pellet**, il cui consumo – a partire dai primi anni 2000 – è cresciuto notevolmente in Italia. Il consolidamento del mercato del pellet ha contribuito a contenere l'aumento dei consumi complessivi, e a scala regionale talvolta anche ad abbassarli, grazie al suo maggiore contenuto energetico rispetto alla legna (+24%) e alla maggiore efficienza dei generatori domestici automatici, rispetto a quelli tradizionali a legna (caminetti e stufe).

A partire dal 2013 inoltre si rileva un **calo dei consumi** a causa degli inverni miti, che hanno ridotto sensibilmente il fabbisogno termico residenziale.

IMPORTANZA DEL TURN OVER TECNOLOGICO

Secondo le nostre elaborazioni (AIEL, 2016), le emissioni di PM10 dalla combustione residenziale di legna e pellet

nel 2015 ammontano a circa 46 kt, con una riduzione del 17% rispetto al 1999 (55 kt).

Scala Regionale (Veneto). Recenti studi comparativi a scala regionale (Veneto) hanno dimostrato che **grazie al turnover tecnologico è stato stimato un calo delle emissioni di PM10 della combustione domestica di legna e pellet del 20%**. Questo miglioramento è legato in particolare a:

- la riduzione dei generatori tradizionali a legna;
- l'aumento dei generatori a legna più evoluti (stufe in maiolica, caldaie);
- il forte aumento delle stufe a pellet.

Il turnover tecnologico è avvenuto a fronte di un aumento del parco installato solo dell'1% e di un calo dei consu-

mi del 12% (-257.294 t), confermato anche dall'indagine Istat 2013, rispetto alla quale il calo dei consumi sarebbe del 16% (-343.762 t), certamente favorito anche dalla diminuzione dei gradi giorno.

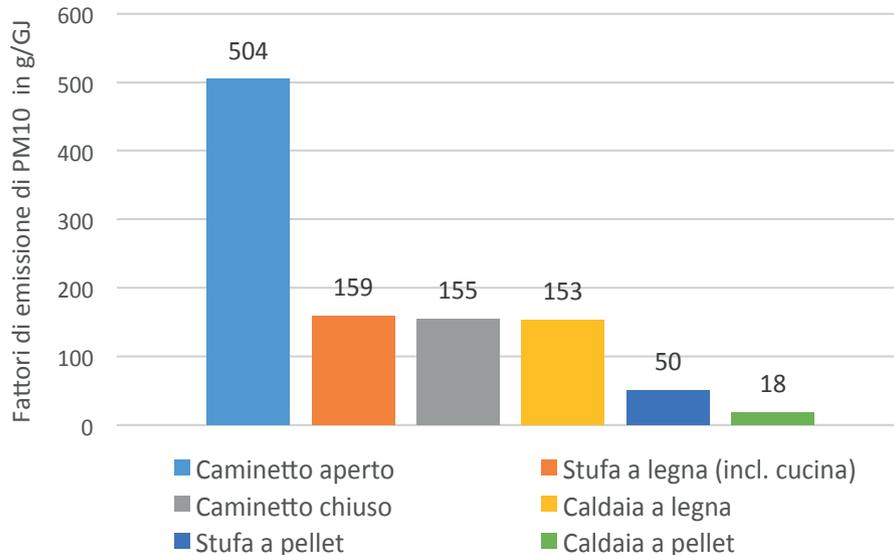
Scala nazionale (Italia). Nel 2015 (tabella 1) quasi il 95% del PM10 prodotto dalla combustione residenziale di legna e pellet è stato prodotto dai generatori manuali a legna, l'83,5% dai generatori domestici manuali a legna e l'11,2% dalle caldaie a legna, che a scala nazionale sono ancora in prevalenza vecchie tecnologie¹ e con il 3,5% del parco installato contribuiscono al 12,2% del consumo di energia finale.

I **camini aperti**, che contribuiscono a meno del 9% del consumo finale, producono ancora **più di un quarto del PM10**

Tabella 1 – Percentuale numerica, di consumo e di emissioni di PM10 per tipo di generatore e di biocombustibile nel 2015 (AIEL, 2016).

Anno 2015	Percentuale		
	numerica	di consumo	di emissioni di PM10
Caminetti aperti legna	34,8%	8,6%	26,0%
Stufe a legna	19,4%	28,6%	27,3%
Caminetti chiusi legna	15,3%	22,6%	21,0%
Cucine a legna	6,5%	9,6%	9,2%
Stufe a pellet	19,8%	16,9%	5,1%
Caldaia a legna <35 kW	3,5%	12,2%	11,2%
Caldaie a pellet <35 kW	0,6%	1,5%	0,2%
Totale	100%	100%	100%

Grafico 1 – Fattori di emissione (FE) utilizzati per il calcolo della produzione di PM10 della combustione residenziale di legna e pellet in Italia nel 2015. Il FE ponderato sulla percentuale di consumo è risultato pari a 166 g/GJ (AIEL, 2016).



La riqualificazione del parco installato, ovvero l'accelerazione del turnover tecnologico in atto (cioè rottamare i caminetti aperti a vantaggio di soluzioni più performanti dal punto di vista delle emissioni), è in grado di dare un significativo contributo all'aumento dell'efficienza con cui i biocombustibili legnosi sono attualmente utilizzati e quindi al processo di miglioramento della qualità dell'aria.

totale. Le stufe a pellet, che rappresentano quasi il **20% dell'installato**, contribuiscono al **17% del consumo finale** e producono **solo il 5% del PM10**. Secondo i nostri dati ed elaborazioni, **nel 2015 il consumo finale delle caldaie**

non domestiche automatiche (36-1.000 kW²) è stato di **8 PJ** (0,5 Mt) e ha prodotto circa **0,3 kt di PM10**, ovvero lo **0,7%** delle emissioni prodotte complessivamente dal segmento domestico. Questo articolo riporta informazioni tec-

niche sul progresso tecnologico e le prestazioni tecnico-ambientali dei moderni generatori termici a biomasse legnose di piccola e media potenza (grafico 1).

APPARECCHI DOMESTICI MANUALI A LEGNA

Anche il miglior apparecchio domestico manuale a legna non è in grado di ottenere le prestazioni attese se non è alimentato con **legna da ardere di qualità idonea** (foto 1). Aumentando del 10% il contenuto idrico della legna, passando dal 20% al 30%, le emissioni di polveri e di carbonio organico (OGC) aumentano di un fattore 10. Sono inoltre determinanti per quanto riguarda l'FE:

- le dimensioni dei ciocchi di legna (circonferenza);
- il quantitativo della prima carica (kg);
- la modalità di accensione del fuoco (dall'alto o dal basso);
- il quantitativo della ricarica di legna;
- le modalità di utilizzo delle serrande per la regolazione dell'aria comburente.

Un generatore moderno dovrebbe essere sempre accompagnato da una «guida rapida» fornita dal costruttore che in una pagina, con l'ausilio di foto esemplificative, spiega all'utente finale, in modo semplice e intuitivo, le corrette modalità di uso del generatore, in

Foto 1 – Il ciocco di legna deve sempre essere spaccato e non tondo, avere una circonferenza di circa 20 cm o un diametro di 9 cm e un contenuto idrico inferiore al 20% (che si ottiene dopo una stagionatura di 9-12 mesi).



Componenti e funzionamento di una moderna stufa a legna

Nelle moderne abitazioni dotate di un sistema di aereazione controllata è richiesto che la stufa sia dotata di una presa d'aria esterna canalizzata, che può essere dotata di un sistema di controllo elettronico della combustione con regolazione motorizzata. Questa configurazione, sebbene sempre utile, non è strettamente richiesta nel caso l'aria sia prelevata dall'ambiente di installazione. I flussi d'aria comburente all'interno della stufa si dividono in (figura A):

- **aria primaria**, che è immessa dal basso attraverso la griglia (trasversale);
- **aria pulente**, che è condotta fino alla parte superiore della porta di ispezione ed entra dall'alto percorrendo la superficie interna del vetro, mantenendolo pulito da depositi carboniosi e polveri. Quest'aria funge anche da **aria comburente**, quella che raggiunge il letto di braci è di tipo primario mentre la parte che è immessa più in

alto, «rinforzando» i processi di decomposizione e gassificazione, è di tipo secondario.

- Alcune stufe sono anche dotate di un ulteriore punto di **immissione dell'aria**, di portata inferiore all'aria pulente, posizionato a metà della parete posteriore della **camera di combustione** (5), che migliora la turbolenza nella zona di ossidazione.

Le pareti della camera di combustione sono costituite da materiali refrattari a elevata inerzia termica che conservano il calore prodotto nella camera e assicurano il raggiungimento di elevate temperature e quindi una completa combustione. Nella zona di postcombustione oltre al mantenimento delle più elevate temperature è anche necessaria una forte turbolenza, favorita dal **deflettore** che accompagna i gas caldi all'ingresso della **camera di postcombustione**. A questo punto i gas com-

bustibili sono ossidati pressoché completamente, e convogliati nel **condotto fumario**. Nella parte superiore della stufa i gas caldi raggiungono temperature superiori a 200 °C e cedono il calore all'aria indirizzata in appositi canali di scambio.

Recenti studi hanno dimostrato che applicando a una moderna stufa, caratterizzata dalle componenti e dai concetti di base fin qui descritti, ulteriori **misure primarie** per ottimizzare e regolare i flussi di aria comburente (*air staging*) e controllare nel tempo il processo con **sistemi automatici di regolazione della combustione**, si possono ottenere ulteriori significative riduzioni dei FE: **CO = -60%; OGC = -86%; Polveri = -55%**. Inoltre, sono in corso vari progetti di ricerca e sviluppo per l'applicazione di filtri catalitici ceramici, che potrebbero consentire un'ulteriore riduzione dei gas di combustione (CO e OGC).



Figura A
Componenti costruttive e funzionali di una moderna stufa a legna

Fonte: Technologie-und Förderzentrum (TFZ), 2015.



Foto 1 – Una caldaia a legna correttamente abbinata all'accumulo inerziale.

particolare nelle tre fasi: **accensione, ricarica e spegnimento**. Recenti studi hanno dimostrato che attraverso queste **misure «non-tecnologiche»** si può ottenere un notevole miglioramento del FE in condizioni di utilizzo reale e un rendimento vicino ai valori di omologazione. Di seguito sono descritti brevemente i componenti che caratterizzano una moderna stufa e i suoi principi di funzionamento, ovvero i concetti di base che creano i presupposti per una completa combustione del legno e consentono di ottenere i più bassi FE.

MODERNE STUFE A PELLETT

Con l'avvento del pellet è stato possibile ampliare la tipologia costruttiva degli apparecchi domestici con l'introduzione delle stufe a caricamento automatico. Questa confortevole modalità di carico

è stata quindi estesa alle piccole potenze per il riscaldamento di ambiti domestici. L'utilizzo di un biocombustibile di dimensioni costanti e contenuto idrico molto basso (<10%) consentono di **minimizzare le variazioni del processo di combustione**, tipiche degli apparecchi manuali, con un notevole **miglioramento dei fattori di emissione**, in particolare delle **polveri e del carbonio organico**, ovvero dei composti policiclici.

Aspetti importanti, per garantire elevate performance di combustione, sono l'uso di pellet di elevata e costante qualità e un'ideale pulizia della camera di combustione e del braciere.

Come detto la qualità del pellet è determinante sul FE, recenti studi hanno dimostrato che nel caso delle stufe, a parità di qualità del generatore, l'uso di pellet non certificato raddoppia il FE delle polveri della stufa. Pertanto è **sempre raccomandabile l'uso di pellet ENplus**, ovvero di pellet certificato secondo la norma internazionale ISO 17225-2.

MODERNE CALDAIE A LEGNA, CIPPATO E PELLETT

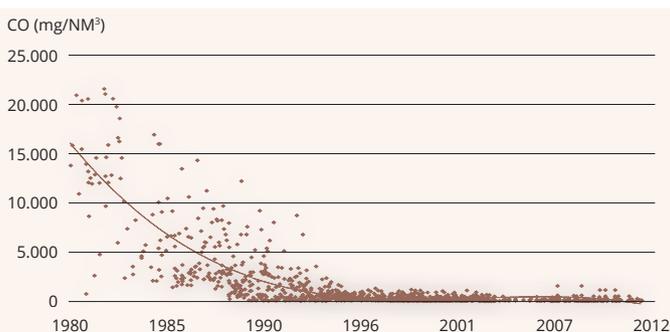
Le attuali moderne caldaie a legna applicano **tutti i concetti della combustione completa attraverso specifici requisiti tecnico-costruttivi e l'applicazione di sofisticati sistemi di regolazione automatica del processo di combustione**.

Rispetto agli apparecchi domestici riescono a raggiungere temperature in camera di combustione e post-combustione molto più elevate (> 1.000 °C) che consentono una **completa degradazione termochimica della sostanza secca del legno** (decomposizione pirolitica e gassificazione) e ossidazione dei gas combustibili (monossido di carbonio e idrocarburi carboniosi).

Nel corso degli ultimi 35 anni sono stati fatti notevoli passi avanti dalle industrie di costruzione, grazie a ingenti investimenti in ricerca e sviluppo. I risultati del miglioramento dell'efficienza di combustione sono indicati nei *grafici 2 e 3*. L'ottenimento dei valori di rendimento ed emissione attesi – in particolare per le caldaie a legna e cippato – è propedeutica a una configurazione impiantistica che prevede **sempre l'installazione di un accumulo inerziale** correttamente dimensionato, per garantire un'adeguata funzione di compensazione di carico e minimizzare i cicli di accensione e spegnimento.

Un ulteriore sviluppo tecnologico recente delle caldaie a biomasse legnose è la **tecnica a condensazione**, ovvero l'applicazione di uno scambiatore aggiuntivo dotato di separatore dei condensati. Il condensatore consente un aumento del rendimento e una riduzione delle emissioni di polveri dal 20 al 37%.

Grafico 2 – Riduzione delle emissioni di monossido di carbonio (CO) da caldaie a legna, cippato e pellet fino a 100 kW (1980-2012)



Fonte: FJ BLT Wieselburg e Bioenergy 2020+

Grafico 3 – Incremento del rendimento delle caldaie a legna, cippato e pellet fino a 100 kW (1980-2012)

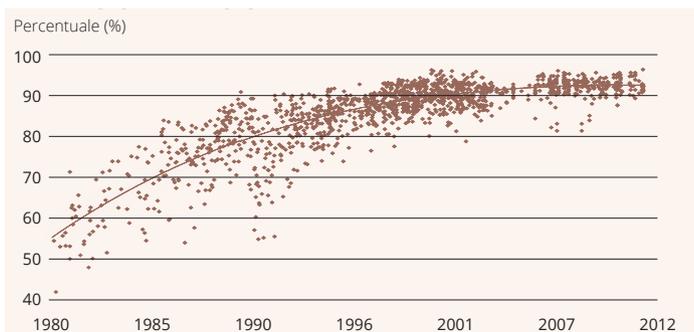


Grafico 4 – Fattori di emissione di particolato (PM) in stufe e caldaie (2006)

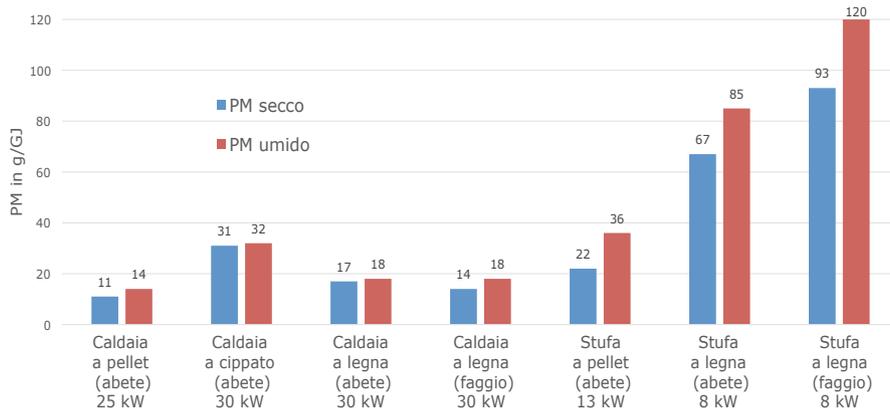
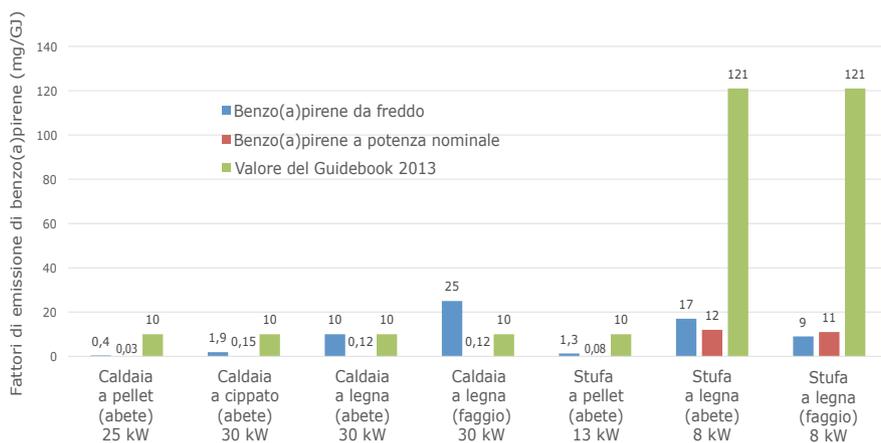


Grafico 5 – Fattori di emissione di Benzo(a)pirene in stufe e caldaie allo stato della tecnica (2006) a confronto con i valori pubblicati nel Guidebook 2013



NOTA: Il Guidebook 2013 è il documento di riferimento pubblicato dall'Agenzia dell'ambiente europea che riporta i fattori di emissione da utilizzare a scala nazionale e regionale per gli Inventari delle Emissioni.

Fonte: AA.VV. 2012. Comparison of Emissions from Wood Combustion. Part 1: Emission Factors and Characteristics from Different Small-Scale Residential Heating Appliances Considering Particulate Matter and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH)-Related Toxicological Potential of Particle-Bound Organic Species. ACS Publications, American Chemical Society, Energy Fuels 2012, 26, 6695-6704.

PRESTAZIONI TECNICO-AMBIENTALI DI APPARECCHI E CALDAIE DOMESTICHE ALLO STATO DELLA TECNICA

I grafici 4 e 5 riportano una sintesi dei risultati di uno studio (pubblicati nel n. 2/2014 di Agriforenergy) in cui sono state analizzate e comparate le emissioni di apparecchi e caldaie domestiche del 2006, posti in condizioni di funzionamento ottimale, alimentati a legna, cippato e pellet. In particolare sono stati considerati il **particolato (PM)** e gli Idrocarburi Policiclici Aromatici, in particolare il

Benzo(a)pirene (BaP), per determinarne l'effetto di tossicità sulla salute umana. Il particolato è stato collezionato con l'aiuto di un tunnel di diluizione, per determinare anche la componente organica dei condensabili (particolato secondario). La massa di particolato è stata pesata sia con sia senza condizionamento (120 °C per 8 ore) del filtro umido di campionamento. I risultati di questo studio dimostrano che le moderne stufe a legna poste in condizioni di funzionamento ottimale emettono BaP in quantità **10 volte inferiore** rispetto ai fattori di emissione considerati

nelle stime degli inventari delle emissioni. Le caldaie manuali a legna sono estremamente performanti in termini di emissioni, tuttavia "soffrono" nella fase di accensione. Perciò, è fondamentale la loro corretta installazione, in particolare è **indispensabile l'abbinamento con un accumulo inerziale** correttamente dimensionato per limitare il numero di accensioni. Questo concetto vale, almeno in parte, anche per le caldaie automatiche, soprattutto quelle a cippato. **Le caldaie automatiche sono caratterizzate dai più bassi valori di emissione e di tossicità del particolato.**

Se si considera un ipotetico confronto con le stufe a legna tradizionali che, a differenza delle moderne stufe qui analizzate, sono molto meno performanti (per ragioni di età) e operano spesso in condizioni di funzionamento non ottimale, ci si può attendere un fattore di tossicità **1.000 volte superiore** rispetto alle moderne caldaie. Nell'ambito del progetto europeo BeReal (www.bereal-project.eu), dove è stato messo a punto un test avanzato delle emissioni secondo un ciclo di funzionamento che riflette le **condizioni di esercizio reale**, nel 2014 e 2015 sono state testate alcune stufe a legna (9) e a pellet (6) allo stato della tecnica, ottenendo un valore medio del FE di PM10 rispettivamente di **120 e 40 g/GJ**. ●

NOTE

- Una caldaia a legna a fiamma superiore senza dispositivi di regolazione della combustione ha un FE di circa 160 g/GJ, una caldaia a legna a fiamma inferiore e dispositivi elettronici di regolazione della combustione ha un FE medio - inclusi i condensabili - di 75 g/GJ. FE = fattore emissivo, è il rapporto tra le emissioni di particolato espresse in grammi (g) e l'energia primaria espressa in GJ del biocombustibile bruciato dal generatore.
- Si è fatto riferimento solo a caldaie alimentate a cippato o pellet, ovvero biomasse combustibili vergini, in riferimento ai requisiti del D.lgs. 152/2006.