



# Impianti tecnologici a biomasse a emissioni “quasi zero”

## Progresso tecnologico, prestazioni ambientali e proposte

di Valter Francescato

**L**e caldaie a biomassa ad “emissioni quasi zero” rappresentano il frutto di avanzati progetti di ricerca, garantendo alti rendimenti e bassissime emissioni nocive. Con prestazioni ambientali paragonabili alle caldaie a combustibili fossili, offrono un impatto minimo sulla qualità dell’aria e sulla salute umana.

A livello europeo e nazionale la biomassa legnosa è la principale fonte rinnovabile termica e riveste un ruolo strategico per gli obiettivi di decarbonizzazione del riscaldamento civile e dei processi produttivi, al fine di mitigare i cambiamenti climatici causati dalle emissioni di gas clima alteranti prodotte dalle fonti fossili di energia. Tuttavia, in Italia, soprattutto nelle aree più critiche per la qualità dell’aria, come il Bacino Padano, ma anche alcune aree di superamento dei valori limite in altre regioni italiane (Toscana, Umbria, Campania, Puglia, ecc.), solo le tecnologie con fattori di emissioni di polveri sottili (PM) e di carbonio organico (responsabile della formazione di particolato organico e secondario in atmosfera) ritenuti compatibili con il processo di miglioramento

della qualità dell’aria, potranno giocare un ruolo nel futuro. A questo proposito preme ricordare che la nuova direttiva per la qualità dell’aria, pubblicata il 20 Novembre scorso, determinerà nei prossimi anni un significativo ampliamento delle aree critiche.

I costruttori europei di caldaie a biomassa, consapevoli dell’evoluzione del quadro normativo, hanno da alcuni anni ormai colto la sfida, con ingenti investimenti in ricerca e sviluppo, per proporre sul mercato soluzioni tecnologiche in grado di garantire emissioni nocive “quasi zero”, con riferimento ai cicli di funzionamento reale degli impianti. Questo progresso tecnologico riguarda anche le caldaie domestiche, di potenza termica inferiore a 35 kW. Le **caldaie a biomassa ad “emissioni quasi zero”**

sono quindi il risultato di progetti di ricerca e sviluppo molto sfidanti, anche sul piano dello sforzo finanziario, per le imprese di costruzione. Si tratta di generatori che - in condizione di funzionamento in opera - garantiscono elevate prestazioni ambientali, ovvero elevati rendimenti e bassissimi livelli di emissioni nocive alla salute umana, **riducendo il loro impatto negativo sulla qualità dell’aria locale**. Si può certamente affermare che le emissioni di polveri e carbonio organico (i parametri rilevanti per la salute umana e l’ambiente) di queste caldaie a biomasse sono attualmente comparabili con i valori delle caldaie allo stato della tecnica alimentate con combustibili fossili gassosi o liquidi.

### Parole chiave

Biomassa, emissioni quasi zero, decarbonizzazione, qualità dell’aria

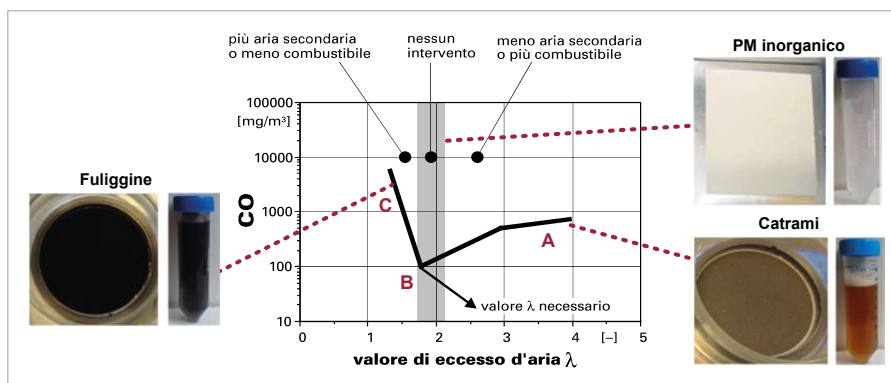
## Combustione e formazione delle emissioni nocive

La Figura 1 mostra l'andamento del monossido di carbonio (CO) in funzione dell'eccesso d'aria comburente ( $\lambda$ ) durante la combustione. Si distinguono tre regimi di combustione:

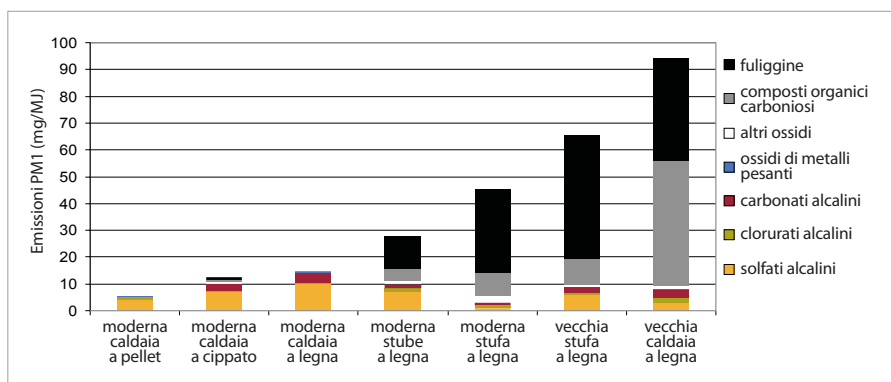
- bassa temperatura ed elevato  $\lambda$** : es. fase di accensione a freddo, caratterizzata da una elevata emissione di **carbonio organico condensabile** (catrami), sia nel particolato solido sia nella parte gassosa delle emissioni;
- condizioni ottimali**: combustione completa, il **PM è emesso in forma inorganica** (sali), componente organica condensabile per lo più assente;
- elevata temperatura e carenza di ossigeno nella fiamma**: regolazione d'aria inadeguata, elevata emissione di **fuliggine**, composta da carbonio elementare, *black carbon* e aerosol organico primario.

## Tecnologia dei generatori a emissioni "quasi zero"

Le moderne caldaie, con tecnica di combustione molto evoluta, cosiddetta a **due stadi**, grazie alle elevate **temperature** in camera di combustione (>700 °C), all'ottima mescolanza tra aria comburente e combustibile (**turbolenza**), agli adeguati **tempi di permanenza** dei gas combustibili nella zona di reazione e al controllo elettronico dell'aria comburente, riescono a mantenere le condizioni ottimali di combustione in tutte le fasi di funzionamento del generatore, realizzando una **combustione (quasi) completa**. I sofisticati sistemi di regolazione di tipo elettronico e la sensoristica applicata al generatore, consentono di iniettare aria comburente in quantità adeguata, al momento giusto e nel posto giusto, ovvero mantengono l'eccesso d'aria ( $\lambda$ ) nel *range* ottimale in tutte le fasi della combustione, agendo primariamente sugli iniettori d'aria primaria e secondaria (portata d'aria) e sulla portata di combustibile (velocità del sistema di caricamento del biocombustibile, nelle caldaie automatiche). Il PM emesso al camino (particolato primario, PP) dalle moderne caldaie è costituito così da soli composti inorganici del biocombustibile solido (sali minerali, Figure 1 e 2). Studi scientifici dimostrano che i moderni impianti tecnologici a biomasse, in condizioni di funzionamento ottimale, correttamente progettati, installati, condotti e mantenuti<sup>1)</sup>, producono un PM inorganico che ha sulle cellule polmonari umane una tossicità da trascurabile a non rilevabile. Questo tipo di particolato, inoltre, si lascia separare molto efficacemente dai sistemi di filtrazione (misure secondarie), garantendo fattori di emissione di



**Figura 1** - Le condizioni della combustione influenzano in modo significativo sia la quantità sia la composizione chimica delle emissioni di particolato e la sua tossicità sulla salute umana (Fonte: <https://shorturl.at/jRjLI>).



**Figura 2** - Le moderne caldaie hanno fattori di emissione di PM molto bassi e grazie alla combustione completa il PM emesso è privo di componente carboniosa organica, ambientalmente rilevate e molto nociva alla salute umana (Fonte: <https://shorturl.at/dOaqC>).

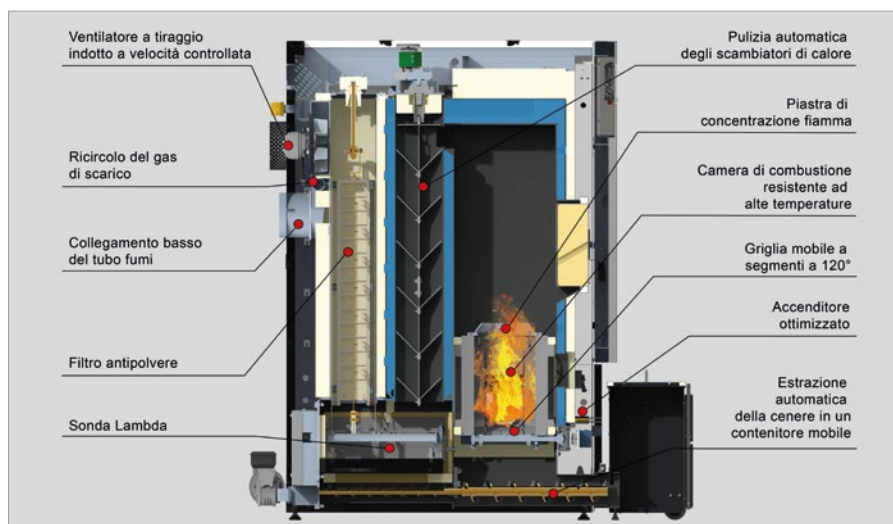
**PM e carbonio organico "quasi zero", in tutte le fasi di funzionamento dell'impianto.** I fabbricanti di caldaie hanno quindi lavorato sia sulle **misure primarie**, ovvero sull'ulteriore miglioramento della tecnica di combustione (geometria della camera di combustione, materiali refrattari, sistemi di regolazione dell'aria comburente, numero e disposizione degli iniettori d'aria primaria e secondaria, ricircolazione dei fumi esausti in camera di combustione, sensori di monitoraggio dell'altezza del letto di braci, ecc.), sia sulle **misure secondarie**, ovvero sulla introduzione di sistemi di abbattimento del particolato che, sempre più spesso, almeno per generatori fino a 500 kW, sono integrati al corpo caldaia (Figura 3 e Tabella 1).

## Considerazioni conclusive e proposte

I moderni impianti tecnologici a biomasse mostrano bassissimi impatti sull'ambiente, in par-

ticolare sulla qualità dell'aria, e rappresentano la modalità più efficiente, in termini energetici ed ambientali, di valorizzazione energetica della fonte rinnovabile legno, in sostituzione dei combustibili fossili liquidi e gassosi, per contribuire a raggiungere gli sfidanti obiettivi di decarbonizzazione del riscaldamento civile e dei processi termici nei settori terziario e industriale. Preme evidenziare che queste caldaie a biomasse possono anche produrre acqua surriscaldata e vapore a servizio di processi produttivi industriali e possono essere abbinate a generatori elettrici e/o a macchine frigorifere, ovvero impianti di cogenerazione e trigenerazione che trovano impiego nel settore industriale e nel teleriscaldamento. L'Accordo di programma per l'adozione coordinata e congiunta di misure per il miglioramento della qualità dell'aria del Bacino Padano, attivato a Giugno 2017, prescrive (i) di non incentivare gli interventi di installazione di impianti termici a biomassa legnosa (tutti) nei provvedimenti regionali di utilizzo dei fondi strutturali finalizzati all'efficiamento energetico e (ii) il ricorso ad impieghi delle fonti rinnovabili diversi dalla combustione delle biomasse, per assicurare il raggiungimento della copertura della quota d'obbligo rinnovabile (attualmente 60%) nei nuovi edifici e in quelli sottoposti a ri-

<sup>1)</sup> Si intendono gli impianti moderni alimentati con biocombustibili di adeguata qualità certificata, dotati di sistemi di controllo elettronico della combustione e collegati ad accumulatori (puffer) correttamente dimensionati rispetto al sistema edificio-impianto, allo scopo di minimizzare il numero di accensioni e massimizzare il numero di ore di esercizio prossime alla potenza nominale, in cui si verificano le migliori condizioni della combustione.



**Figura 3** - Esempio di moderno generatore automatico a cippato (40-70 kW), dotato di camera di combustione ottimizzata con griglia mobile autopulente, ricircolo dei fumi, filtro elettrostatico integrato al corpo caldaia.

	Senza filtro ESP					Con filtro ESP				
	40	45	50	60	70	40	45	50	60	70
kW										
CO	20	21	22	23	25	20	21	22	23	25
COT	<1	<1	<1	<1	1	<1	<1	<1	1	1
PP	2,4	2,3	2,3	2,1	2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6
NOx	118	116	115	111	108	119	117	115	112	108
Rendimento	94,6	94	94	94	93	94,5	94,3	94	93,6	93,1
Stelle	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

**Tabella 1** - Valori di certificazione EN 303-5, estratti dal rapporto di prova originale, con cippato di classe A1 (Giugno 2024). I valori limite di PP e COT 5 stelle, per questo generatore, sono rispettivamente: 10 e 5 mg (ai sensi del d.m. 186/2017).

strutturazioni rilevanti. Alla luce dei risultati pre-stazionali raggiunti dai moderni e innovativi impianti tecnologici a biomasse a emissioni “quasi zero”, si ritiene che essi debbano **essere esclusi dalle limitazioni dell’Accordo del Bacino Padano, incentivando la loro installazione nei settori civile, terziario e industriale**, a fronte di valori limite di emissioni ritenuti compatibili con il processo di miglioramento o mantenimento della qualità dell’aria locale.

Il contributo di questi impianti alla produzione annuale di PM da combustione di biomassa a scala nazionale e regionale è trascurabile, certamente inferiore all’1%. L’installazione di questi impianti non contribuisce al peggioramento della qualità dell’aria locale, come è stato dimostrato anche da studi specifici indipendenti (Campagne di monitoraggio della qualità dell’aria, Bagno di Romagna, ARPAE 2015-2017 <https://shorturl.at/P9VWmf>).

Di seguito riportiamo 5 esempi di impianti tecnologici a biomasse ad emissioni “quasi zero” operanti nel contesto italiano e presentati in ordine di potenza dei generatori crescente.

#### INFO AUTORE

**Valter Francescato**, Associazione Italiana Energie Agroforestali (AIEL).  
E-mail: [francescato.aiel@cia.it](mailto:francescato.aiel@cia.it)

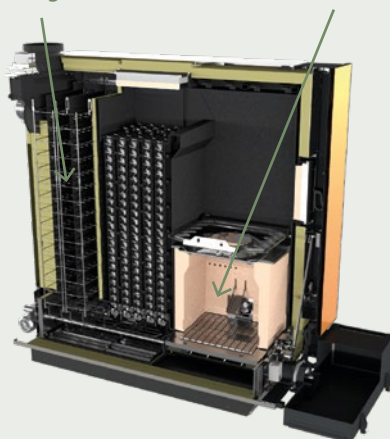
## IMPIANTO INNOVATIVO A CIPPATO PER UN HOTEL IN ALTA QUOTA

L’impianto a cippato è stato installato nel 2023 in provincia di Brescia, presso un Hotel a oltre 1.800 m di quota. L’Hotel ha 21 stanze, alcuni alloggi per il personale, un ristorante e una SPA ed è aperto 7 mesi all’anno. La centrale termica dell’Hotel è stata completamente riqualficata, eliminando le caldaie a gasolio e a biomassa esistenti, ormai obsolete. L’impianto copre l’intero fabbisogno di calore dell’Hotel, con **un consumo annuo di circa 400 msr (90 t) di cippato di classe A1**, di provenienza locale (ca. 350 MWh). L’impianto tecnologico è composto da due caldaie: la principale alimentata con cippato (**180 kW**) e l’altra alimentata a pellet (**140 kW**) con funzione di copertura di eventuali picchi di fabbisogno termico e come generatore di emergenza. Le caldaie sono il risultato di un importante progetto di ricerca e sviluppo che ha previsto un *upgrade* della camera di combustione e l’inserimento di un filtro elettrostatico integrato al corpo caldaia. I valori di

certificazione del PM e del carbonio organico sono **< 1 mg/Nm<sup>3</sup> (13% di O<sub>2</sub>)**, ovvero **meno di 1 g di PM per ogni 70 kg di cippato A1 bruciato**. L’impianto è stato agevolato con il Conto Termico e con un incentivo regionale.

Filtro ESP integrato

Camera di combustione ottimizzata





## DISTILLAZIONE DI OLI ESSENZIALI CON IL VAPORE DI UNA CALDAIA A BIOMASSE

L'impianto a biomasse, installato nel 2017 in provincia di Bolzano, produce vapore saturo a bassa pressione che alimenta un alambicco per la distillazione di oli essenziali ricavati da ramaglie di conifere raccolte in alta quota. Il generatore a cippato è di **350 kW**, produce **circa 480 kg/h di vapore saturo a 115 °C e 0,75 bar**. La caldaia a vapore è alimentata con la biomassa di scarto della distillazione, che viene adeguatamente stagionata all'aria,



per un **consumo annuo di circa 500 m<sup>3</sup> (ciclo chiuso)**. La caldaia è dotata di griglia mobile piana, adatta per la combustione di biomasse umide e ad elevato contenuto di ceneri. La geometria della camera di combustione è stata sviluppata applicando principi di fluidodinamica computazionale, per ottimizzare il processo di combustione, basato su misure primarie della moderna tecnica di combustione a basse emissioni (PM e NOx).



## IMPIANTO A CIPPATO PER UN GRANDE POLO SCOLASTICO RIQUALIFICATO

L'impianto a cippato è stato installato nel 2023 in provincia di Milano, a servizio di un grande polo scolastico nell'ambito di un importante progetto di riqualificazione ed efficientamento energetico, realizzato con la formula del partenariato pubblico-privato. L'intervento (ca. 7 M€) ha interessato sia gli edifici sia la parte tecnologica, incluso il

sistema di riscaldamento e raffreddamento. L'impianto a cippato è composto da due caldaie **da 1 MW in cascata**, molto compatte, **a griglia mobile, con una centralina di controllo della combustione molto evoluta e un sistema di raffreddamento della griglia**, per garantire elevate prestazioni ambientali. Il sistema di filtrazione dei

fumi è composto da un multiciclone abbinato a un filtro a maniche, uno per ciascun generatore. L'impianto idronico è dotato di un accumulatore inerziale di 128.000 l, che garantisce ottimali condizioni di funzionamento dei generatori, ovvero del processo di combustione. Il cippato è di origine agroforestale da filiera corta.

Caldaia a griglia mobile



Filtro elettrostatico



Deposito del cippato



## IMPIANTO A CIPPATO A SERVIZIO DI UNA INDUSTRIA CONCIARIA

L'impianto a cippato è stato installato nel 2022 in provincia di Vicenza, ad integrazione dell'impianto a gas naturale esistente, ai fini di decarbonizzare il processo conciario. Il calore, in forma di acqua calda a 90 °C, è utilizzato per l'essiccazione delle pelli.

La caldaia ha una potenza di **1,2 MW**. Il consumo annuo di cippato è di circa **2.000 t (7.560 msr)** con contenuto idrico del 40%, ovvero circa 5.600 MWh, che corrispondono a 560.000 Sm<sup>3</sup> di gas naturale, ovvero 482 TEP equivalenti.

L'impianto è agevolato con i Certificati Bianchi per 7 anni (GSE). Il cippato è fornito da una impresa forestale certificata Biomassplus.

Caldaia a griglia mobile



Filtro elettrostatico



Deposito del cippato



## PRODUZIONE DI VAPORE DAL CIPPATO PER UNA INDUSTRIA FARMACEUTICA

L'impianto a cippato è stato installato nel 2021 in provincia di Sondrio per decarbonizzare il processo produttivo di un'industria farmaceutica. La caldaia ha una potenza di **8 MW**, una **griglia mobile** e un **controllo molto sofisticato della combustione** (dosatura aria primaria e ricircolo

fumi in 4 zone distinte della griglia), che consente l'utilizzo di cippato "industriale" con elevati contenuto di cenere e contenuto idrico e pezzatura grossolana. Il generatore produce 10 t/h di vapore saturo a 18 bar utilizzato nel processo produttivo.

Il cippato industriale di origine forestale è fornito da imprese boschive locali, il **consumo annuo è di circa 10.000 t (31.250 msr)** con un contenuto idrico medio del 45%, ovvero circa 25.000 MWh che corrispondono a 2,5 M di Sm<sup>3</sup> di gas naturale, ovvero 2.149 TEP equivalenti.

Caldaia a griglia mobile



Filtro elettrostatico



Deposito del cippato

