

“Caldaie NZEB”: tecnologie a emissioni (quasi) zero

Sviluppo tecnologico e prodotti già disponibili sul mercato

Valter Francescato, AIEL

Il quadro normativo europeo dei valori limite delle emissioni per gli impianti a biomasse, dalla scala domestica a quella industriale, è al centro di un profondo cambiamento. Con riferimento alle caldaie a biomasse, accanto all’etichettatura energetica dei generatori che entrerà in vigore il 1° aprile 2017 (Reg. 2015/1187), a partire dal 1° gennaio 2020 potranno essere immesse sul mercato solo caldaie a biomasse (≤ 500 kW) che in tema di prestazioni rispettano il Regolamento Ecodesign (2015/1189, cioè rendimento ed emissioni di PM, CO, OGC e NO_x). Il 18 dicembre 2015, inoltre, è entrata in vigore la direttiva *Medium combustion plant* (MCP) che dovrà essere attuata

dagli Stati membri entro il 19 dicembre 2017. Questa Direttiva introduce nuovi e più stringenti valori limite delle emissioni per gli impianti a biomasse industriali (1-50 MW).

A livello nazionale siamo in attesa della pubblicazione, ormai imminente, del decreto del ministero dell’Ambiente in attuazione dell’art. 290 del DLgs. 152/2006, che introduce in Italia la classificazione ambientale dei generatori a biomasse, basata sugli stessi parametri del Regolamento Ecodesign. Le regioni Lombardia e Veneto hanno anticipato l’entrata in vigore del Decreto, attivando già in questa stagione termica (2016-2017) la classificazione del Decreto e imponendo una

“intelligente” regolamentazione dell’esercizio dei generatori a biomasse <35 kW nei periodi emergenziali di superamento dei valori limite delle polveri sottili che - a differenza delle inutili e diseducative ordinanze “vieta tutto”, purtroppo anche quest’anno attuate da alcuni comuni italiani - prevede (similmente al traffico) che solo i generatori più performanti possano rimanere in funzione nei periodi di criticità. Infine, entro il 2017 è prevista la pubblicazione della revisione del DLgs. 152/2006, che attuerà in Italia la direttiva MCP.

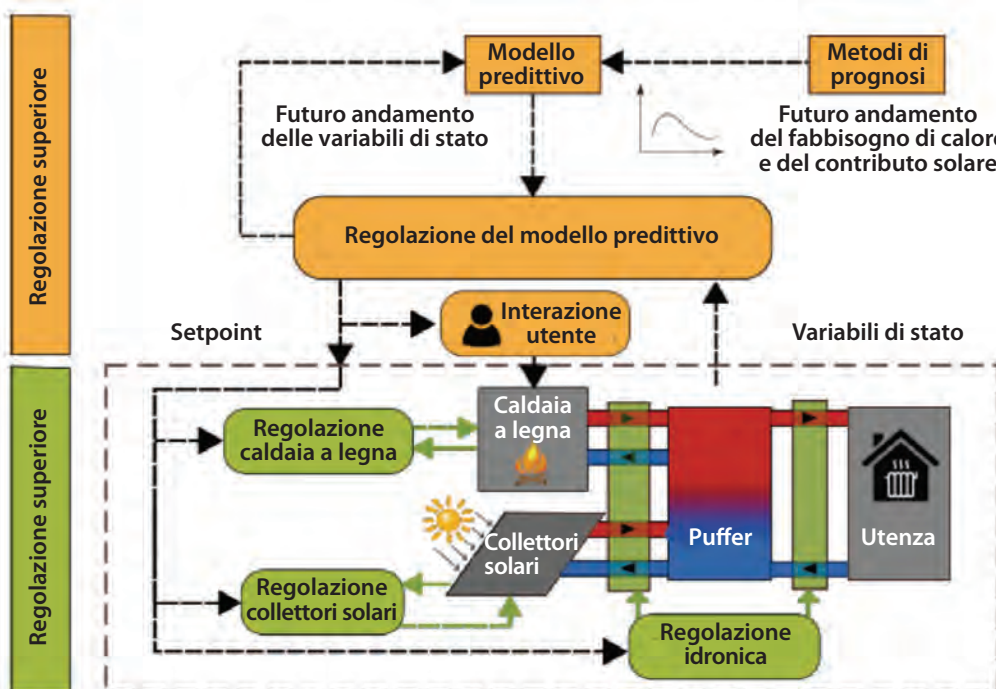
L’evoluzione normativa in atto introdurrà a breve, pertanto, una significativa riduzione dei valori limite delle emissioni, in particolare delle polveri e del carbonio organico; è chiaro quindi che è necessario un ulteriore passo in avanti dello sviluppo tecnologico per produrre caldaie e impianti NZEB (*Nearly zero emission boilers*), ovvero a emissioni quasi zero.

Al momento sono tre gli approcci che il mondo della ricerca e le industrie stanno sviluppando per raggiungere questo difficile e ambizioso obiettivo.

ALGORITMI DI REGOLAZIONE INTELLIGENTE

Questo approccio punta a ridurre la frequenza della comparsa e della durata di condizioni di funzionamento non stazionario (transitori, start-stop) del generatore, ovvero condizioni di combustione non ottimali, attraverso l’utilizzo di algoritmi di regolazione intelligente e una più flessibile tecnologia di combustione. In riferimento alle caldaie automatiche (cippato e pellet) si punta quindi a migliorare

Figura 1 – Sistema di regolazione di un impianto ibrido (caldaia a legna-termica) basato su un modello matematico predittivo superiore (Fonte: J. Schulz et al. Bioenergy 2020+).



notevolmente le condizioni di funzionamento dell'impianto, per esempio, attraverso rapidi sistemi di regolazione basati su modelli predittivi dello sviluppo della curva del fabbisogno termico, che agiscono sia sulla regolazione della combustione (regolazione CO-λ), sia sulla regolazione del sistema idronico di distribuzione del calore (accumulatori, rete, utenze). Si ottiene così un carico del generatore molto più stabile e una sua maggiore reattività alle condizioni di cambiamento del fabbisogno termico, nonché un controllo automatico ed efficace del processo di combustione nel momento in cui cambiano le caratteristiche del biocombustibile in ingresso al generatore (contenuto idrico, densità sterica). L'implementazione di questi sistemi intelligenti di regolazione riguarda anche le caldaie manuali a legna, che sempre più spesso sono inserite in un impianto ibrido (ad esempio integrazione solare termico). In questo caso l'obiettivo primario è ottimizzare il funzionamento delle singole fonti di calore integrate nel medesimo impianto e l'efficienza di produzione e distribuzione del calore nel sistema edificio-impianto-utente (regolazione sottoposta), per mezzo di un sistema di regolazione basato su un modello matematico predittivo (superiore) del fabbisogno di calore dell'edificio e del contributo solare. La regolazione agisce sia sul sistema idronico sia sui generatori di calore dell'impianto ibrido garantendo, in riferimento alla caldaia a legna, un'ottimale ed efficiente combustione a basse emissioni (figura 1).

SISTEMI FILTRO ESTERNI O INTEGRATI NELLA CALDAIA

Le moderne caldaie allo stato della tecnica sono caratterizzate da un processo di combustione a due stadi, con iniezione di aria primaria e secondaria, ottimizzato da evoluti sistemi di regolazione. Grazie ad una combustione pressoché completa, le moderne caldaie sono riuscite ad abbattere completamente la componente

Figura 2 – Filtro elettrostatico esterno (OeKorona della Oekosolve) applicato ad una caldaia a cippato di 300 kW.



carboniosa organica del particolato, che origina in atmosfera aerosol secondario, mentre poco si può ancora fare (con misure primarie) per ridurre ulteriormente la componente inorganica del particolato, composta perlopiù da sali di potassio. Queste emissioni – similmente agli NO_x – sono infatti fortemente correlate alla natura e composizione del biocombustibile. Per ridurre ulteriormente il particolato inorganico, nelle caldaie di piccola e media taglia, sono oggi disponibili sul mercato sistemi di filtrazione di piccola dimensione, si tratta per lo più di filtri elettrostatici con capacità di separazione superiore all'80-90% (figura 2). Il rapido sviluppo di questi sistemi filtro sul mercato è tuttavia frenato da costi ancora relativamente elevati e dalla necessità di spazio sufficiente nel locale tecnico per la loro installazione, in particolare negli impianti esistenti. Per ovviare a questi svantaggi, recentemente alcuni costruttori stanno proponendo caldaie con elettrofiltro integrato nel corpo del generatore a valle dello scambiatore, questo comporta alcuni vantaggi:

- il sistema di regolazione del filtro è direttamente combinato con quello della caldaia
- si ottiene un risparmio di spazio grazie a un sistema molto compatto

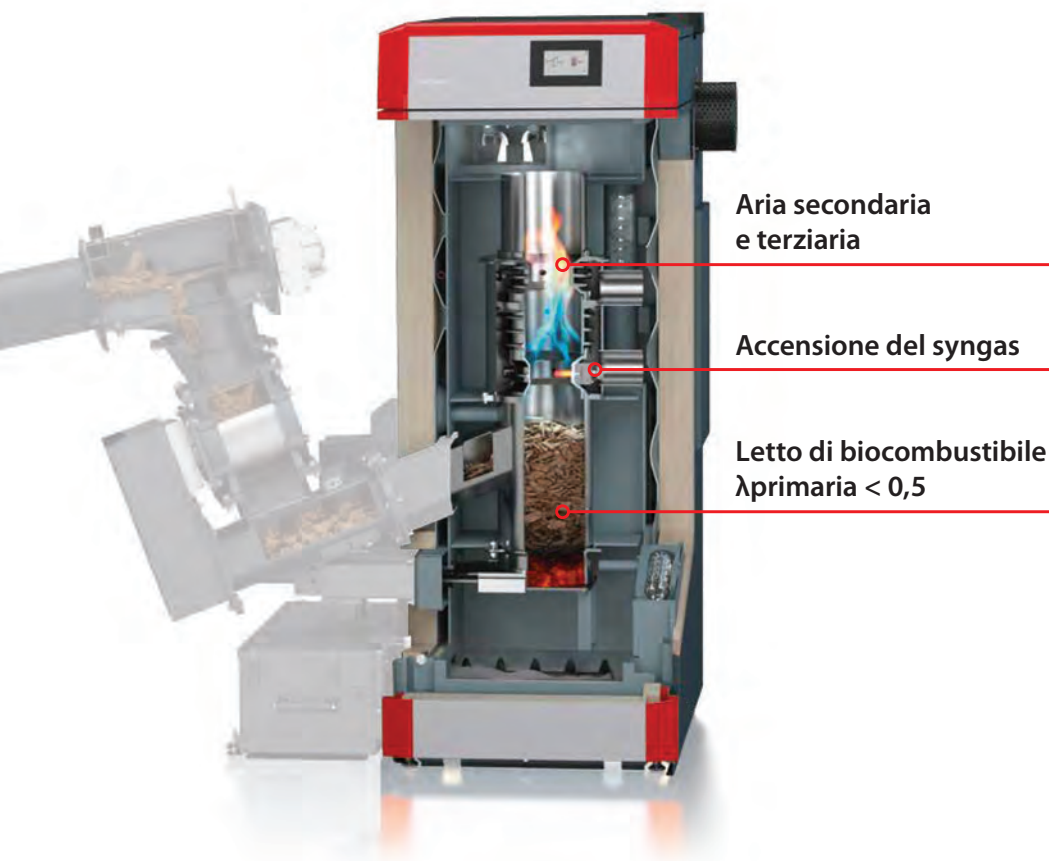
- l'accoppiamento tra il sistema di pulizia dello scambiatore e quello del filtro
- minori costi e maggiore confort per l'utente.

RIDUZIONE DELLE EMISSIONI ATTRAVERSO LA GASSIFICAZIONE CONTROCORRENTE: PUROWIN-WINDHAGER

Questo approccio punta ad estremizzare la separazione delle fasi della combustione attraverso l'applicazione del principio della "gassificazione controcorrente" (*Gegenstromvergassung*) e la regolazione mirata dell'aria comburente a tre stadi di iniezione. La figura 3 illustra questo processo innovativo, implementato nella caldaia Purowin di Windhager. Si tratta di un progetto di ricerca e sviluppo durato cinque anni nel quale l'ottimizzazione dei processi e della camera di combustione sono stati implementati con strumenti di fluidodinamica computazionale (CFD).

Nella parte inferiore del reattore (a tenuta) la coclea carica uno strato di biocombustibile in forma di cippato o pellet che viene innescato dal sistema di accensione. Si avvia così la decomposizione pirolitica del biocombustibile

Figura 3 – Spaccato della PuroWIN Windhager e suo principio di funzionamento.



in carenza d'aria ($\lambda_{\text{primaria}} < 0,5$) regolata dall'aria primaria. Il syngas prodotto e parte del particolato generato dal processo viene qui filtrato dallo strato di carbone attivo e poi sale verso l'alto, in controcorrente rispetto al flusso di biocombustibile, richiamato dalla depressione creata dal ventilatore della caldaia. Al di sopra del letto di biocombustibile il syngas viene acceso e la sua ossidazione è ottimizzata dall'immissione di aria secondaria e terziaria. Grazie a questo processo, viene impedita la liberazione delle sostanze del biocombustibile responsabili della formazione del particolato e degli NO_x . Le tre zone d'immissione d'aria separate consentono di introdurre in modo mirato e diretto l'ideale quantità d'aria comburente nella camera di combustione, pertanto nel letto di braci la temperatura si mantiene relativamente bassa, mitigando la liberazione di potassio, zolfo e cloro, ovvero i principali precursori del particolato inorganico. Inoltre le basse temperature nel letto di

Tabella 1 - Prestazioni di rendimento ed emissioni dei modelli PuroWIN-Windhager (Fonte: TÜV SÜD Ind. Serv., Rapporto di prova H-A 1408-01/16)

Modello	kW	Biocombustibile	Rendimento %	PP (mg/MJ)	PP (mg/Nm ³)	CO (mg/Nm ³)	OGC (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)
PW24	24	Cippato ¹	93,5	< 1,0	1,0	2,0	1,0	68
PW30	30		93,4	< 1,0	1,0	6,0	0,0	84
PW40	40		93,8	< 1,0	1,0	5,0	0,0	81
PW45	45		94,0	< 1,0	1,0	4,0	0,0	80
PW49	49		94,2	< 1,0	1,0	4,0	0,0	79
PW60	60		94,7	< 1,0	1,0	2,0	0,0	75
PW24	24	Pellet ²	94,9	< 1,0	1,0	8,0	1,0	82
PW30	30		94,2	< 1,0	1,0	5,0	1,0	84
PW40	40		94,3	1,0	1,5	4,0	1,0	88
PW45	45		94,4	1,0	1,5	4,0	1,0	90
PW49	49		94,4	1,0	1,5	4,0	1,0	91
PW60	60		94,6	1,4	2,2	3,0	1,0	96

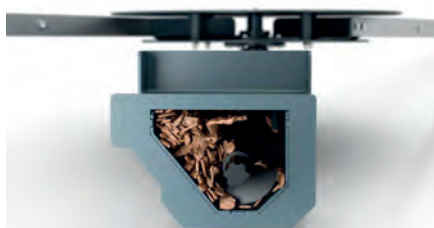
1 Cippato B1 (EN 303-5): contenuto idrico M20-30%, ceneri A≤1,5%, pci>17 MJ/kg;

2 Pellet C1 (EN 303-5): M≤12%, A≤0,5%. I valori mg/Nm³ sono riferiti ad un tenore di O₂ del 13%.

braci e le condizioni di riduzione nella zona di decomposizione pirolitica mitigano la produzione di ossidi di azoto (NO_x). La *tabella 1* riporta i valori delle prestazioni di rendimento ed emissione di tutti i modelli PuroWIN attualmente in commercio, desunti dal test report di omologazione EN 303-5:2012, prodotto dal laboratorio accreditato. Tutti i modelli PuroWIN rientrano nella classe 5 di prestazione (TÜV SÜD Ind. Serv., Rapporto di prova H-A 1408-01/16).

MINIMO CONSUMO DI ENERGIA ELETTRICA PER ACCENSIONE E CARICAMENTO DEL BIOCOMBUSTIBILE

Un altro obiettivo del progetto di sviluppo della PuroWIN ha riguardato la minimizzazione del consumo elettrico. A questo scopo la caldaia è completamente a tenuta in modo che il letto di braci si mantenga attivabile fino a 4 giorni, in assenza di immissione d'aria e di biocombustibile. In questo arco di tempo il letto di braci è in grado di riattivarsi da solo, con un notevole risparmio, fino al 90%, di energia elettrica per l'accensione. L'evacuazione delle ceneri avviene verso il basso per mezzo di due piastre che garantiscono il funzionamento in continuo (a tenuta) della caldaia senza disturbi al processo. Tutti i motori e gli azionamenti della caldaia sono controllati in modo intelligente e continuo,



Coclea di caricamento del biocombustibile

consentendo un funzionamento fluido e silenzioso e un ridotto consumo di elettricità. Per il caricamento del cippato dal deposito al braciere della caldaia, il consumo è in media 120 watt, pari a circa 1/3 del consumo elettrico che normalmente si rileva per il trasporto in caldaie simili.

Il sistema meccanico di estrazione (balestra) e caricamento (coclea) del biocombustibile è robusto, affidabile e caratterizzato da un ingranaggio a ruota dentata cilindrica (agitatore Protektor), che consente un elevato risparmio di energia. L'ingranaggio non poggia direttamente al pavimento ed è protetto dal peso del cippato da un involucro di protezione. Il canale della coclea è più grande del necessario e di forma asimmetrica, fino al 60% del cippato scorre accanto alla coclea, trasportando efficacemente pezzi fuori misura e limitando gli attriti, con un conseguente risparmio di energia elettrica. La coclea di trasporto è dotata di un sistema an-

tibloccaggio ABS, ovvero all'estremità del canale si trova una spirale contro-rotante che preme i pezzi di legno più lunghi verso il basso evitando possibili blocchi e, infine, nel pozzetto di carico – tra la coclea di estrazione e quella di caricamento – agisce una valvola stellare che riduce dell'ideale misura eventuali scaglie di legno troppo lunghe, prima dell'ingresso in camera di combustione.

SISTEMA DI ASPIRAZIONE PER IL CIPPATO

È possibile – ove necessario, per motivi logistici – montare un sistema di aspirazione del cippato che può coprire tratti fino a 25 metri di lunghezza e 7 metri di altezza. Il deposito del cippato quindi non deve trovarsi necessariamente vicino al locale caldaia e può essere realizzato sfruttando agevolmente e in economia locali esistenti. Il trasporto avviene per via pneumatica grazie a un ventilatore in aspirazione collegato ad una condotta flessibile. Il sistema di aspirazione funziona circa 15 minuti al giorno a seconda della potenza della caldaia, del fabbisogno di calore e della qualità del biocombustibile (*figura 4*).

Riguardo la qualità del cippato utilizzabile, **il costruttore prescrive l'uso di cippato di pezzatura P16S fino a P31S di classe A1 o A2**, con riferimento alla ISO 17225-4. ●

Figura 4 – Sistema di aspirazione del cippato applicato alla caldaia PuroWIN Windhager.

