

Emissioni degli impianti termici a biomasse con potenza superiore a 500 kW

Risultati di una campagna di 77 prove in condizioni di funzionamento reali su impianti alimentati sia a pellet sia a cippato, equipaggiati o con soli sistemi filtro a gravità (ciclone/multiciclone) oppure con filtri elettrostatici o a maniche

Valter Francescato, AIEL; Nicola Favaro e Walter Battaglia, Stazione Sperimentale del Vetro

I meccanismi incentivanti per gli impianti termici alimentati a biomasse legnose, ovvero il Conto Termico e i Certificati Bianchi, richiedono la certificazione in opera del rendimento e delle emissioni dei generatori di potenza nominale superiore a 500 kW, ovvero oltre il limite di potenza del campo di applicazione della norma tecnica delle caldaie a combustibile solido (UNI EN 303-5:2012).

La certificazione dell'impianto in situ prevede la misurazione dei valori di rendimento e di emissione (polveri, monossido di carbonio, carbonio organico totale, NOx), secondo metodologie ispi-

rate alla norma tecnica, ad opera di un laboratorio accreditato secondo la UNI EN ISO/IEC 17025.

Per adempiere a questi obblighi il Gruppo Caldaie a Biomasse di AIEL ha costituito un tavolo tecnico che, con il supporto scientifico della Stazione Sperimentale del Vetro (SSV), ha messo a punto un protocollo per la misura in campo del rendimento e delle emissioni dei generatori, applicabile dai laboratori accreditati.

A partire dal 2014 sono stati effettuati da parte della SSV numerosi test in campo utilizzando il suddetto protocollo.

In quest'articolo si riportano i risultati di 77 prove su impianti alimentati sia a pellet sia a cippato, equipaggiati o con soli sistemi filtro a gravità (ciclone/multiciclone) oppure con filtri elettrostatici o a maniche a valle di questi.

RISULTATI

La *tabella 1* riporta una sintesi dei test report analizzati, con riferimento al biocombustibile di prova e alla sua classe di qualità, il tipo di sistema filtro, l'intervallo di potenza dei generatori e l'esito del test rispetto ai requisiti di emissione richiesti dai meccanismi incentivanti.

Tabella 1 – Principali parametri dei test report analizzati

Biocombustibile di prova	Sistema filtro ⁽¹⁾	Intervallo di potenza (kW)	Classe di qualità ISO 17225 ⁽²⁾	Numero di prove	Esito della prova	
					positivo	negativo ⁽³⁾
Pellet	FG	500-2.000	A1	13	7	6
		950-2.000	A2	3	3	0
	FG+EF/FM	500-2.000	A1	17	14	3
		900-2.000	A2	3	3	0
Totale pellet				36	27	9
Cippato	FG	500-2.500	A1	9	8	1
		500-2.700	A2	2	1	1
		1.000	B1	1	1	0
	FG+EF/FM	700-5.300	A1	11	10	1
		500-4.000	A2	7	7	0
		850-1.700	B1	7	7	0
		700-1.800	n.c.	4	3	1
Totale cippato				41	37	4
Totale				77	64	13

(1) FG: solo filtro a gravità (ciclone/multiciclone); FG+EF/FM: filtro a gravità + elettrofiltro/filtro a maniche. (2) Classi di qualità del pellet e del cippato rispettivamente secondo la ISO 17225-2 e ISO 17225-4; n.c.: cippato non classificabile per l'elevato contenuto di cenere (>3%). (3) Uno o più parametri (per lo più le polveri) non conformi ai limiti di emissione richiesti dai meccanismi incentivanti (Classe 5, UNI EN 303-5:2012).

Materiali e metodi

MISURA DELLE EMISSIONI

Il monitoraggio delle emissioni è eseguito nell'arco di un periodo di almeno 6 ore in cui l'impianto è mantenuto in esercizio a una potenza pari o prossima a quella nominale. All'interno di tale periodo sono individuati almeno 4 segmenti della durata minima di 30 minuti ciascuno durante i quali la potenza media deve risultare all'interno della potenza di targa $\pm 8\%$. Le misure delle emissioni gassose (monossido di carbonio CO, ossigeno O₂, carbonio organico totale OGC/COT e ossidi di azoto NO_x) sono effettuate in modo continuo, mentre l'umidità e il particolato primario (PP) in modo discontinuo, ovvero durante i 4 segmenti individuati, calcolando il valore finale come media dei valori dei singoli segmenti.

Per la misura delle emissioni in atmosfera si utilizzano i metodi riportati nelle «Regole applicative del DM 28 dicembre 2012, Edizione 9 Aprile 2013» redatte dal GSE. Il laboratorio che applica il protocollo deve essere accreditato secondo la norma UNI CEI EN ISO/IEC 17025 per i singoli metodi di prova (tabella A).

CLASSIFICAZIONE DEL BIOCOMBUSTIBILE DI PROVA

Il biocombustibile di prova è analizzato per la classificazione qualitativa, secondo la ISO 17225, e la determinazione del contenuto di energia primaria, necessario al calcolo del rendimento. Per ciascuna prova in campo il biocombustibile di prova (pellet, cippato, biomasse combustibili) è campionato, secondo le norme EN ISO 18135 e EN ISO 14780, direttamente nel deposito del biocombustibile dell'impianto e inviato al laboratorio di analisi. I metodi di prova utilizzati per la caratterizzazione del biocombustibile sono elencati in tabella B.

Tabella A - Parametri e metodi di prova per la misura delle emissioni

Parametri	Metodo di prova	Definizione/ descrizione
Particolato primario (PP/PP _{BT})	UNI EN 13284-1:2003	Emissioni da sorgente fissa - Determinazione della concentrazione di polveri in basse concentrazioni
Umidità ⁽¹⁾	UNI EN 14790:2006	Emissioni da sorgente fissa - Determinazione del vapore acqueo in condotti
O ₂ ⁽¹⁾	UNI EN 14789 :2006	Emissioni da sorgente fissa - Determinazione della concentrazione in volume di ossigeno (O ₂) - Metodo di riferimento - Paramagnetismo
CO	UNI EN 15058:2006	Emissioni da sorgente fissa - Determinazione della concentrazione in massa di monossido di carbonio (CO) - Metodo di riferimento: spettrometria a infrarossi non dispersiva
OGC (COT)	UNI EN 12619:2013	Emissioni da sorgente fissa - Determinazione della concentrazione in massa del carbonio organico totale in forma gassosa a basse concentrazioni in effluenti gassosi. Metodo in continuo con rivelatore a ionizzazione di fiamma

(1) Parametri necessari alla normalizzazione del fattore di emissione.

MISURA DEL RENDIMENTO

Il rendimento del generatore è calcolato come rapporto tra l'energia primaria in ingresso, funzione della portata massica e del potere calorifico del biocombustibile, e dell'energia termica in uscita dal generatore trasmessa al fluido termovettore. Per la misura del rendimento si utilizzano le indicazioni riportate ai punti 5.8.4, 5.10 della norma UNI EN 303-5:2012, ovvero il metodo diretto, mediante la determinazione delle temperature del fluido termovettore in ingresso e in uscita dalla caldaia, in corrispondenza ai punti di misura più vicini disponibili. Le misure sono eseguite utilizzando dei pozzetti immersi nel fluido in un tratto rettilineo di tubazione al fine di ridurre al minimo le eventuali turbolenze del fluido vettore, o soluzioni alternative in grado di garantire le medesime incertezze. La determinazione delle caratteristiche energetiche specifiche del biocombustibile di prova sono determinate mediante campionamento e analisi, come previsto dalle norme EN ISO 18135 e EN ISO 14780.



Tabella B - Parametri e metodi di prova per la classificazione qualitativa dei biocombustibili

Parametri del biocombustibile	Metodo di prova
Contenuto idrico	EN ISO 18134-1-2 EN 14774-1
Contenuto in ceneri	EN ISO 18122
Distribuzione granulometrica (cippato)	EN ISO 17827-1
Determinazione parti fini (pellet)	EN ISO 18846
Massa volumica sterica	EN ISO 17828
Potere calorifico superiore e inferiore	EN ISO 18125



La *tabella 2* mostra per entrambi i biocombustibili di prova utilizzati i valori medi dei parametri qualitativi, con indicazione del loro livello di variabilità (deviazione standard).

Tabella 2 – Caratteristiche qualitative dei biocombustibili di prova

	Classe di qualità ISO 17225	M%	A%	P	BD kg/msr	pc _M MJ/kg
Pellet	A1	7,5 ± 1,3	0,4 ± 0,2	-	638,5 ± 45,3	17,1 ± 0,5
	A2	7,1 ± 1,1	1,2 ± 0,3		634,4 ± 30,4	16,9 ± 0,4
Cippato	A1	14,6 ± 4,2	1,2 ± 0,8	P16S-P45S	208,3 ± 33,2	15,1 ± 1,3
	A2	31,2 ± 2,6	1,3 ± 0,8		269,6 ± 34,8	11,9 ± 0,5
	B1	41,9 ± 4,2	1,6 ± 0,9		276,3 ± 54,1	10,6 ± 2,6
	n.c. ⁽¹⁾	26,4 ± 6,6	6,5 ± 1,7		250 ± 42,4	12,4 ± 1,6

M: contenuto idrico, A: contenuto di cenere, P: pezzatura, BD: massa sterica, pc_M: potere calorifico inferiore. (1) n.c.: cippato non classificabile per l'elevato contenuto di cenere (>3%).

EMISSIONI DEGLI IMPIANTI A PELLETTA

Il *grafico 1* mostra i risultati del monitoraggio delle emissioni di polveri, CO, NOx e OGC rispetto sia ai limiti di emissione dei meccanismi incentivanti (classe 5, UNI EN 303-5:2012) sia di quelli del Testo Unico Ambientale (TUA, dlgs 152/2006) per le biomasse combustibili

(Allegato X, parte II, sezione 4).

Le polveri si confermano essere il parametro più critico, in particolare rispetto al restrittivo limite di 40 mg/Nm³ richiesto per l'accesso ai meccanismi incentivanti. L'applicazione di elettrofiltri/filtri a maniche non garantisce in tutti i casi

il rispetto dei limiti (valore medio 36 ± 52). Tuttavia, il 75% dei test ha avuto esito positivo. I valori delle altre sostanze monitorate non si sono rilevati mai critici, con valori medi (mg/Nm³) di CO: 93 ± 91; NOx: 116 ± 31 e OGC: 2,3 ± 1. Il valore medio dell'O₂ è di 9,2 ± 2,3 %.

Grafico 1 – Valori delle emissioni di polveri, monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NOx) e carbonio organico totale (OGC/COT) rilevati negli impianti alimentati a pellet. I valori e i limiti (mg/Nm³) sono riferiti al 10% di O₂

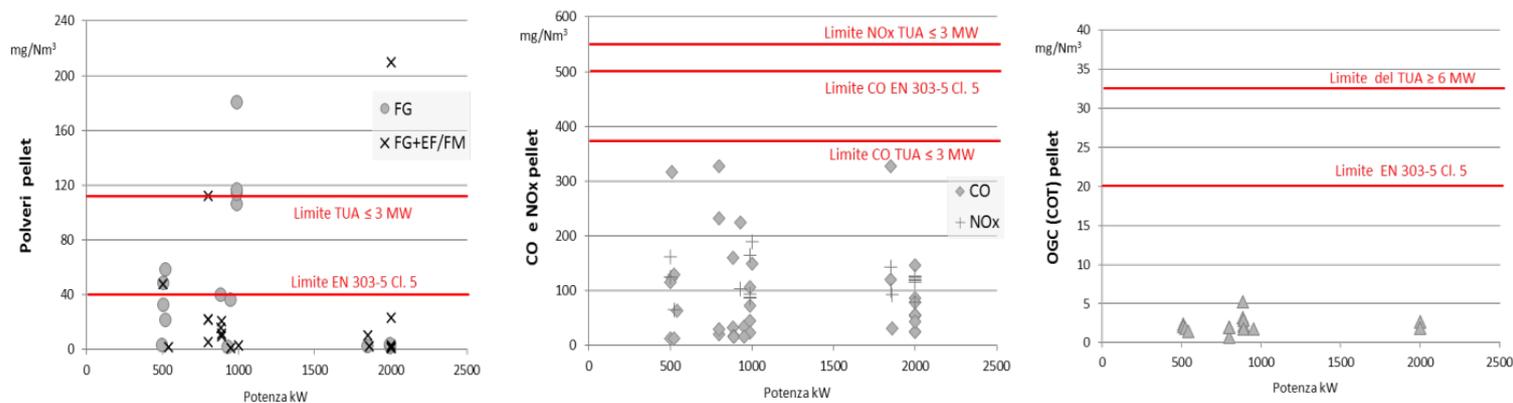
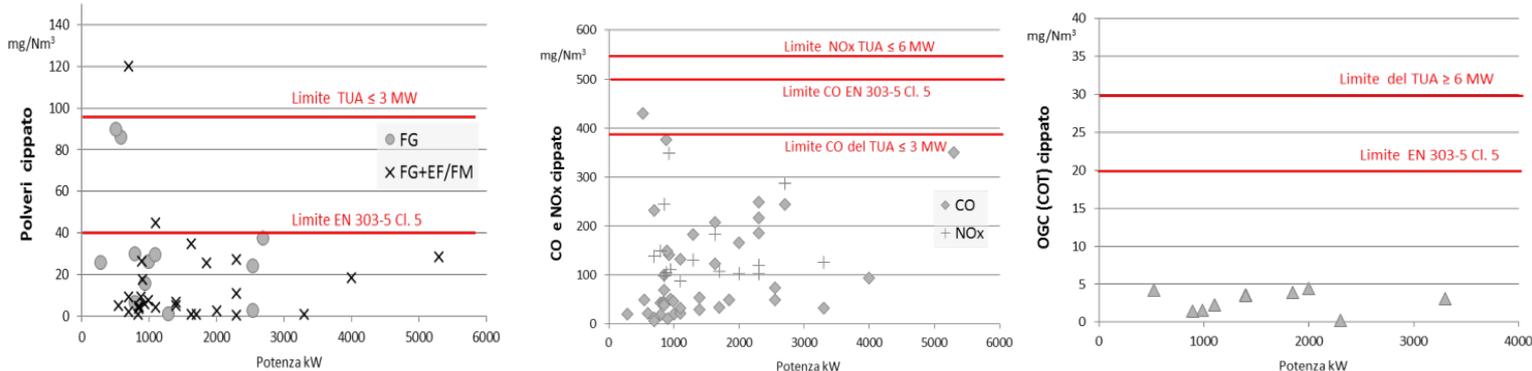


Grafico 2 – Valori delle emissioni di polveri, monossido di carbonio (CO), ossidi di azoto (NOx) e carbonio organico totale (OGC/COT) rilevati negli impianti alimentati a cippato. I valori e i limiti (mg/Nm³) sono riferiti al 10% di O₂



EMISSIONI DEGLI IMPIANTI A CIPPATO

Nel caso del cippato, nonostante la maggiore variabilità dei parametri qualitativi (tabella 2), si sono ottenuti risultati migliori, con il 90% dei test che ha avuto esito positivo (grafico 2). Anche in questo caso le polveri rappresentano il fattore più critico e, come per il pellet, la presenza delle misure secondarie non garantisce in tutti i casi il rispetto dei limiti (valore medio 21 ± 27). I valori delle altre sostanze monitorate non si sono rilevati particolarmente critici, benché con valori medi (mg/Nm^3) leggermente più elevati rispetto al pellet. CO: 114 ± 112 ; NOx: 157 ± 80 e OGC: $2,8 \pm 1,4$. Il valore medio dell'O₂ è di $10,3 \pm 2,2\%$.

EMISSIONI DI POLVERI A CONFRONTO

Il grafico 3 mette a confronto i valori medi delle emissioni di polveri, indicando il livello di variabilità con confidenza del 95%, in funzione della classe di qualità del biocombustibile e del sistema filtro dell'impianto. Il peggiori risultati (inaspettatamente) sono stati ottenuti con il pellet A1 negli impianti con il solo filtro a gravità (FG). Nella fattispecie 6 test su 13 hanno avuto esito negativo per le polveri, in 4 casi il valore medio delle polveri ha superato i 100 mg. Con l'applicazione di un elettrofiltro/filtro a maniche a valle del filtro a gravità (FG+EF/FM), nel caso del pellet si sono ottenuti risultati nettamente migliori, con 3 test negativi (su 17), in un caso il valore medio delle polveri ha superato i 200 mg. I valori del pellet sono caratterizzati da elevati livelli di variabilità, sia della serie di misure sia delle medie.

Negli impianti alimentati a cippato i risultati sono migliori, in particolare negli impianti equipaggiati con elettrofiltri o filtri a maniche, dove la qualità del biocombustibile ha influenzato poco il risultato finale. Nel grafico 4 sono riportati i valori dei soli test con esito positivo, non si rilevano sensibili differenze tra i valori medi delle categorie considerate. Si conferma l'elevato livello di variabilità dei dati, eccetto nel

Grafico 3 – Valori medi e intervalli di confidenza (95%) delle emissioni di polveri in riferimento alla classe di qualità del biocombustibile di prova e del sistema filtro

Legenda: PA1_1: pellet A1, FG. PA1_2: pellet A1, FG+EF/FM. CA1_1: cippato A1, FG. CA1_2: cippato A1, FG+EF/FM. CA2_2: cippato A2, FG+EF/FM. CB1_2: cippato B1, FG+EF/FM. In parentesi quadra il numero di osservazioni. I valori (mg/Nm^3) sono riferiti al 10% di O₂.

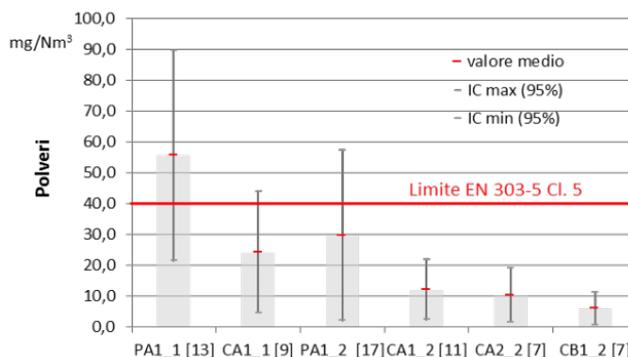
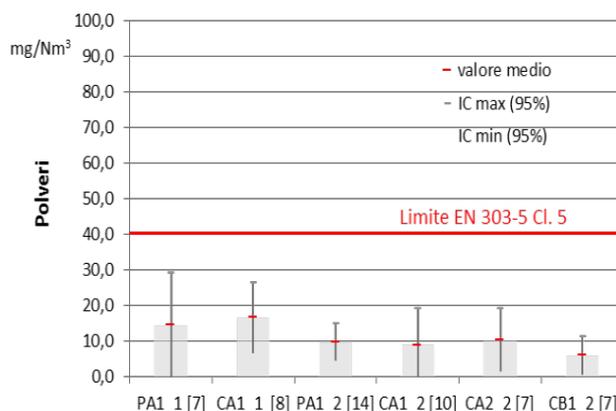


Grafico 4 – Valori medi e intervalli di confidenza (95%) delle emissioni di polveri in riferimento alla classe di qualità del biocombustibile di prova e del sistema filtro dei test con esito positivo.

Legenda: vedi grafico 3.



caso degli impianti a pellet con elettrofiltro/filtro a maniche (PA1_2).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il rendimento, nei test qui analizzati, non si è mai rilevato un elemento critico dal punto di vista dell'esito delle prove, tuttavia la determinazione della portata massica in campo, in assenza di una bilancia integrata nel sistema di carico, è un procedimento spesso problematico, con livelli di incertezza più o meno elevati

in funzione del tipo di sistema di caricamento del biocombustibile e della precisione e completezza delle informazioni sui parametri dimensionali e funzionali del sistema meccanico di caricamento del biocombustibile messe a disposizione dal costruttore. Per questo motivo sarebbe auspicabile, laddove possibile, determinare il rendimento direttamente nel sito di produzione del generatore, con l'ausilio di idonee bilance e dissipatori della potenza termica, per garantire la richiesta stabilità

delle temperature di mandata e del salto termico. Inoltre risulta sempre indispensabile l'analisi del biocombustibile di prova, per determinarne con precisione e affidabilità le caratteristiche qualitative, che devono sempre essere riportate nel test report. Questo aspetto è rilevante anche ai fini operativi, considerato che – in base alle prescrizioni dei sistemi incentivanti – il responsabile dell'impianto può utilizzare solo il medesimo tipo di biocombustibile, di pari o migliore qualità rispetto al



biocombustibile di prova.

Riguardo al monitoraggio delle emissioni, complessivamente nell'83% dei casi l'esito delle prove è stato positivo, a conferma di un ottimo livello tecnologico delle caldaie. Il rispetto del restrittivo limite delle polveri (40 mg/Nm^3 al 10% di O_2) si è confermato, come era prevedibile, il parametro più critico, sia per il pellet sia per il cippato, talvolta anche in presenza di elettrofiltro/filtro a manica a valle del filtro a gravità. Gli esiti negativi di alcune prove in campo (17%) sono imputabili principalmente all'errata regolazione e settaggio del generatore, al malfunzionamento del sistema filtro o talvolta alla non idoneità del biocombustibile alle caratteristiche dell'impianto. Inaspettatamente, l'uso del biocombustibile più standardizzato, anche con l'applicazione di misure secondarie (FG+EF/FM), non garantisce sempre l'esito positivo della prova, e gli esiti positivi

sono stati numericamente superiori con il cippato rispetto al pellet. Questo conferma il fatto che il test in condizioni reali è molto più difficile da superare rispetto alle prove di laboratorio. Tuttavia, almeno nei casi qui riportati, una volta individuate e risolte le cause dei malfunzionamenti, la successiva prova in situ sul medesimo impianto ha avuto sempre esito positivo.

In questo senso, la certificazione in opera del rendimento e delle emissioni sulla base di un protocollo tecnico ispirato alla norma tecnica EN 303-5, per i generatori di potenza nominale superiore ai 500 kW, ovvero anche per impianti non sottoposti all'autorizzazione alle emissioni, ha dimostrato essere uno strumento efficace e rigoroso per verificare e certificare, all'atto del collaudo, il rispetto delle prestazioni tecnico-ambientali richieste sia dai meccanismi incentivanti sia dalla legislazione nazionale vigente. ●