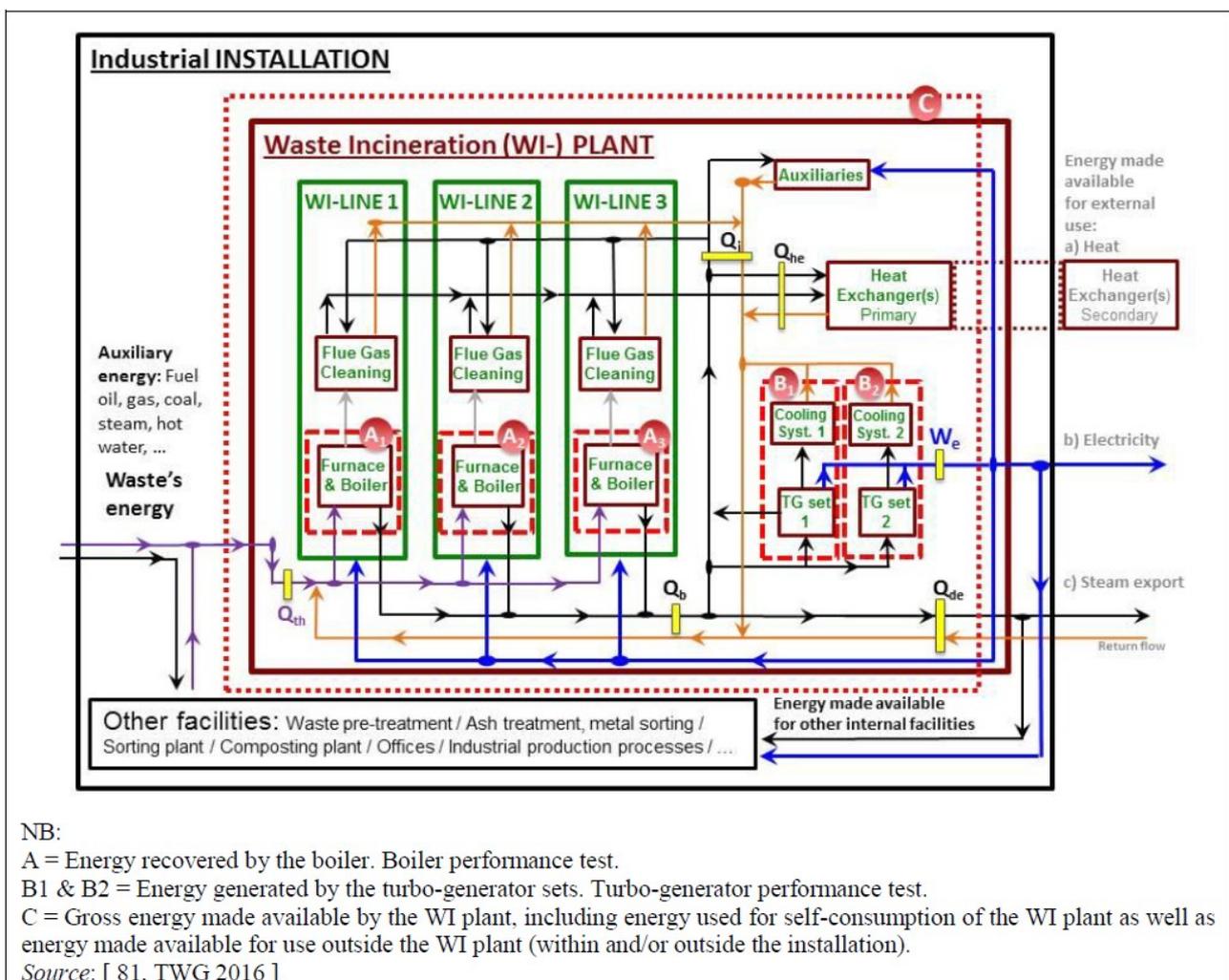


Il calcolo dell'efficienza energetica nelle nuove BAT conclusions sull'incenerimento dei rifiuti

Il calcolo dell'efficienza energetica degli impianti di incenerimento dei rifiuti è affrontato in diverse parti del [BREF sull'incenerimento](#), non solo nelle BAT conclusions, e il metodo di calcolo differisce significativamente dal metodo classico di calcolo dell'efficienza.

Per quanto riguarda il perimetro di calcolo, ad esempio, le indicazioni sono date nel capitolo 3 del BREF, dedicato in generale ai livelli di prestazioni degli impianti esistenti. Viene infatti detto nella sezione 3.5.1 (tradotto dall'inglese):

“L'efficienza energetica può essere valutata a livello dell'impianto di incenerimento dei rifiuti, con il perimetro di sistema mostrato in Figura 3.86 (figura sotto), oppure a livello di una parte dell'impianto di incenerimento dei rifiuti nei casi in cui le quantità di energia recuperate da differenti parti dell'impianto non possano essere sommate in modo appropriato.”



Nella figura sono evidenziate in rosso le parti dell'impianto sulle quali vengono effettuati i calcoli dell'efficienza energetica, che in questo caso si riferiscono all'efficienza lorda. Da questo si evince che nel determinare l'efficienza verrà presa in considerazione tutta l'energia che viene poi resa disponibile all'impianto, inclusi gli usi interni.

Nelle BAT Conclusions sull'incenerimento, i termovalorizzatori vengono classificati in due gruppi principali (tre, se si considerano le eccezioni e i casi particolari) ai fini del calcolo dell'efficienza energetica:

- Caso 1: gli impianti orientati principalmente verso la produzione di elettricità, per i quali si calcola l'**efficienza elettrica lorda**
- Caso 2: gli impianti orientati principalmente verso la produzione di calore, per i quali si calcola l'**efficienza energetica lorda**

Il fattore discriminante tra questi due tipi di impianti non è necessariamente il tipo di energia prodotta, quanto invece il tipo di turbina installata, che ne identifica il tipo di orientamento energetico.

In sostanza se l'impianto è dotato di turbina a condensazione (con lo scarico a valle in un condensatore a pressioni inferiori rispetto a quella atmosferica) capace di espandere tutto il vapore in uscita dalla caldaia, allora la sua efficienza andrà valutata guardando il range di "efficienza elettrica lorda". Questo perché si considera che l'impianto utilizzi (o sia in grado di utilizzare) la gran parte dell'entalpia disponibile per la conversione da energia termica a lavoro meccanico. Ai fini del calcolo si utilizzerà quindi solo la potenza elettrica della turbina, ottenuta dal performance test fatto durante la sua installazione, se disponibile, o i suoi dati di targa.

Se la turbina invece non c'è o è a contropressione, cioè la pressione di scarico del vapore è controllata da una valvola di regolazione, allora si applicherà l'efficienza energetica lorda. In questo caso si considera l'impianto come maggiormente orientato alla produzione di potenza termica, per esempio al fine di esportare vapore di processo ad un vicino impianto industriale. In questi casi si sommerà la potenza elettrica della turbina (se presente) a quella termica utile scambiata.

Al fine di evitare di sommare l'energia sotto forma di elettricità e sotto forma di calore quando l'impianto funziona in modalità cogenerazione ed è dotato di turbina a condensazione, si è deciso di valutarne le prestazioni energetiche nella situazione in cui tutto il vapore disponibile è completamente espanso nella turbina (fino alla pressione di condensazione). Questo ovviamente porta a una minore efficienza "complessiva" di questi impianti, un fattore che è stato preso in considerazione per la definizione dei BAT – AEEL. I livelli richiesti per l'efficienza elettrica lorda sono infatti inferiori a quelli per l'efficienza energetica lorda (cfr. tabella sotto).

Livelli di efficienza energetica associati alla BAT (BAT-AEEL) per l'incenerimento dei rifiuti

(%)

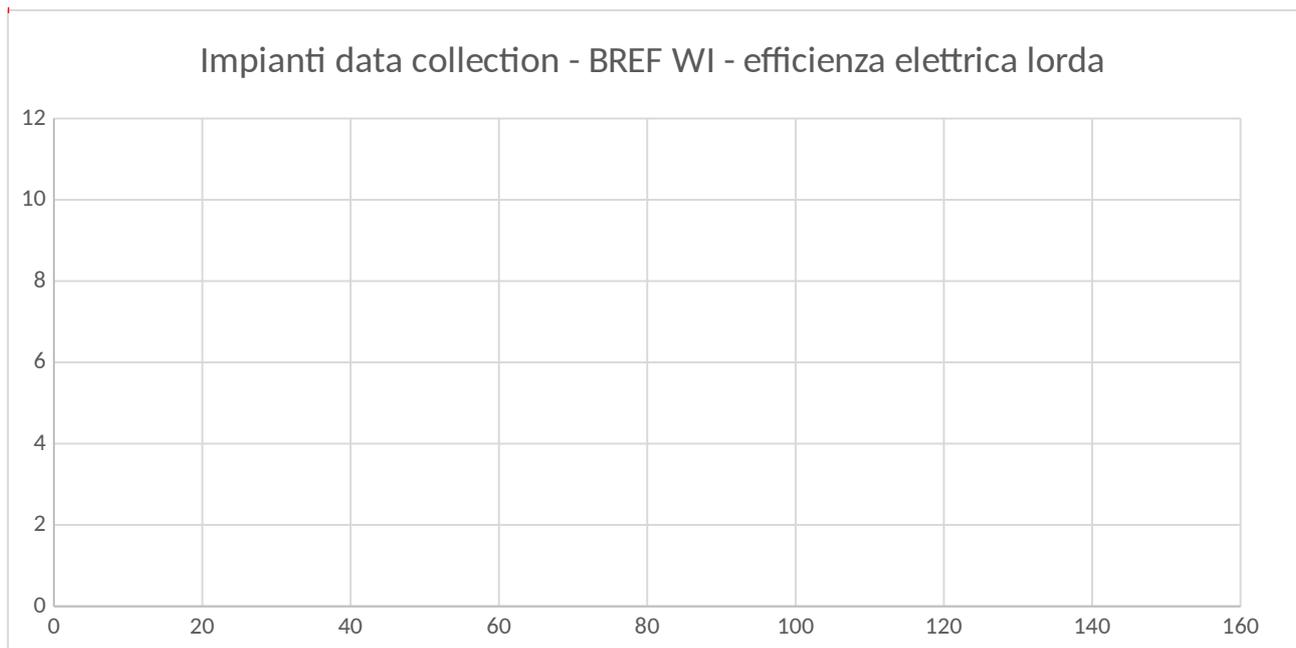
BAT-AEEL				
Impianto	Rifiuti solidi urbani, altri rifiuti non pericolosi e rifiuti di legno pericolosi		Rifiuti pericolosi diversi dai rifiuti di legno pericolosi (%)	Fanghi di depurazione
	Efficienza elettrica lorda (%)	Efficienza energetica lorda (%)	Rendimento delle caldaie	
Impianto nuovo	25-35	72-91 (%)	60-80	60-70 (%)
Impianto esistente	20-35			

Tuttavia, sommare elettricità e calore in generale può essere fatto se nell'impianto il vapore è inviato ad una turbina a contropressione, poiché in questo caso il calore latente di condensazione rimane nel vapore a bassa pressione che viene successivamente inviato come vapore di processo o scambiato in uno scambiatore.

È evidente come nel Caso 2 i valori risultanti dal calcolo risultino più alti, non perché le installazioni siano di per sé più efficienti, ma perché buona parte della potenza termica non viene trasformata in lavoro, e viene sommata alla potenza elettrica.

I livelli di efficienza energetica (i BAT-AEEL) sono stati derivati dagli autori delle BAT Conclusions tramite un'analisi degli impianti esistenti in tutta Europa, in modo da rappresentare una vasta gamma di questi ultimi. Nel grafico sottostante è mostrata l'efficienza elettrica lorda degli impianti di incenerimento esistenti in ordine crescente: ad ogni punto corrisponde un impianto, e l'efficienza è mostrata nelle ordinate in decimali. Il grafico è preso dalla raccolta dati per la stesura del BREF.

Si può notare come un solo impianto raggiunga i livelli del limite superiore dei BAT-AEEL (35%), mentre numerosi impianti non raggiungano il limite inferiore del 20% di efficienza.



Le formule in dettaglio

Come visto sopra, nelle BAT conclusions vengono utilizzate due diverse formule per il calcolo dell'efficienza energetica. L'utilizzo dell'una o dell'altra formula dipende dal tipo di impianto come spiegato sopra.

Caso 1: efficienza elettrica lorda

In questo caso la formula da utilizzare per il calcolo dell'efficienza sarà

$$\eta_e = \frac{W_e}{Q_{th}} \cdot i$$

Dove:

W_e : potenza elettrica generata, in MW;

Q_{th} : potenza termica in input alle unità di trattamento termico, inclusi i rifiuti e i combustibili ausiliari che vengono utilizzati in continuo (escluso l'avviamento), in MWth espressi come potere calorifico inferiore.

Q_b : potenza termica prodotta dalla caldaia, in MW;

Q_i : potenza termica (come vapore o acqua calda) utilizzata internamente (es. Per riscaldamento fumi), in MW;

La formula del rendimento elettrico lordo si compone di due parti principali: il semplice rapporto tra la potenza lorda e la potenza termica assorbita $\frac{W_e}{Q_{th}}$ e il fattore di correzione per tenere conto del consumo interno ζ .

Nella prima parte, la potenza termica assorbita dalla caldaia viene solitamente calcolata durante il performance test, al 100% del carico termico.

La potenza elettrica generata corrisponde alla potenza lorda in uscita e viene normalmente misurata ai terminali del generatore della turbina a condensazione durante il test delle prestazioni sulla turbina. Alcune correzioni possono essere applicate alla potenza lorda in uscita a causa della differenza tra le condizioni di garanzia specificate e le condizioni di prova. Poiché il test dipende da queste condizioni, qualsiasi deviazione osservata dovrebbe essere soggetta a una correzione (come la temperatura della sorgente fredda). Esempi e formule per il calcolo di questi fattori di correzione sono forniti nella IEC 60953-1 / 2.

La seconda parte della formula è simile a un fattore di correzione, ed è stata introdotta per tenere conto dell'eventuale consumo interno di calore nell'impianto che non viene interrotto durante il performance test, e per il quale sarebbe altrimenti necessario importare energia. Non considera il calore che viene utilizzato internamente quando si tradurrebbe in un'energia utilizzata nella produzione di vapore / acqua calda dalle caldaie (es. il calore utilizzato per preriscaldare l'acqua di alimentazione o l'aria di combustione). Comprende anche il calore a bassa temperatura del fluido di raffreddamento se utilizzato dopo il condensatore all'interno o all'esterno dell'impianto di incenerimento. Quando Q_i è uguale a 0, questo fattore è uguale a 1, e quindi non ha alcun impatto, Se $Q_i > 0$, il fattore è > 1 e aumenta il numero risultante dalla formula.

Alcuni esempi di Q_i sono:

- Vapore utilizzato per preriscaldare i fumi
- Calore per sistema depurazione fumi
- Soffiatori di fuliggine
- Dispositivi azionati dal vapore come pompe e compressori
- Calore recuperato dalla condensazione dei fumi

Caso 2: efficienza energetica lorda

In questo caso la formula da utilizzare per il calcolo dell'efficienza sarà:

$$\eta_h = \frac{W_e + Q_{de} + Q_{he} + Q_i}{Q_{th}}$$

Dove:

W_e : potenza elettrica generata, in MW;

Q_{th} : potenza termica in input alle unità di trattamento termico, inclusi i rifiuti e i combustibili ausiliari che vengono utilizzati in continuo (escluso l'avviamento), in MWth espressi come potere calorifico inferiore.

Q_i : potenza termica (come vapore o acqua calda) utilizzata internamente (es. per surriscaldamento fumi), in MW;

Q_{he} : potenza termica fornita agli scambiatori di calore lato primario, in MW;

Q_{de} : potenza termica esportata direttamente (come vapore o acqua calda) meno la potenza termica del flusso di ritorno, in MW;

La formula dell'efficienza energetica lorda ha al numeratore più parametri da sommare, e al denominatore la potenza termica in ingresso.

Q_{th} e Q_i sono già stati descritti sopra nella sezione sul caso 1.

W_e , la potenza elettrica generata, è la potenza lorda in uscita della turbina a contropressione, quando azionata a carico nominale (durante la prova di prestazione), misurata al terminale del generatore. Come descritto nella sezione sul caso 1, alcuni fattori di correzione possono essere applicati a causa dei diversi parametri tra le condizioni garantite e le condizioni di prova.

Q_{de} rappresenta la potenza termica che viene esportata direttamente come vapore o acqua calda (meno la potenza termica del flusso di ritorno) e Q_{he} la potenza termica fornita agli scambiatori di calore sul lato primario.

Casi speciali:

Per la maggior parte degli impianti esistenti risulta evidente se si debba applicare l'efficienza elettrica lorda o l'efficienza energetica lorda. Il criterio generale è relativo alla tipologia di turbina, e può essere così sintetizzato: se un impianto è dotato di turbina a condensazione dove è possibile espandere tutto il vapore si applica l'efficienza elettrica lorda, in caso contrario si applica l'efficienza energetica lorda.

Esistono tuttavia alcuni casi speciali, in cui né l'una né l'altra formula possono applicarsi completamente all'impianto.

Esempi di casi speciali sono:

- Un impianto in grado di espandere solo una parte del vapore nella turbina a condensazione, ed esportare il resto direttamente come vapore di processo, oppure inviare il resto ad uno scambiatore di calore, dedicato per es. al teleriscaldamento.
- Un impianto che abbia in parallelo o in serie sia una turbina a condensazione che una turbina a contropressione.

Per far fronte a queste eccezioni, il BREF consente di calcolare l'efficienza energetica non solo in riferimento agli impianti ma anche ad una "Parte di un impianto di incenerimento". Questa definizione può riferirsi, ad esempio:

- ad una linea di incenerimento e il suo circuito del vapore presi separatamente;
- ad una parte del circuito del vapore, collegata a una o più caldaie, convogliata a una turbina a condensazione;
- al resto dello stesso circuito del vapore utilizzato per un altro scopo, ad esempio quando il vapore viene direttamente esportato.

Pertanto, se l'efficienza energetica non può essere calcolata correttamente con le formule di cui sopra, può essere divisa in due (o più) parti e l'efficienza di ciascuna parte dovrebbe essere calcolata e verificata rispetto ai BATAEEL.

Ad esempio, nel caso di un impianto dotato di turbina a condensazione in grado di espandere completamente solo una parte del vapore, mentre il resto viene esportato, le due parti dell'impianto possono essere considerate come i due flussi di vapore. Una parte dell'impianto sarà quindi rappresentata dal vapore espanso in turbina, e la sua efficienza sarà calcolata con la formula dell'efficienza elettrica lorda, e l'altra parte, che verrà esportata, sarà calcolata con la formula dell'efficienza energetica lorda. Ovviamente l'apporto termico (Q_{th}) sarà diviso proporzionalmente tra le due parti.

Alcuni esempi di risoluzione di casi speciali sono presentati nell'allegato 8 del BREF Waste incineration.

Lighea Speciale. Ingegnere ambientale di formazione, è esperta di economia circolare, emissioni, monitoraggio, life-cycle analysis e legislazione ambientale Europea. Di recente, si è occupata di iniziative associate all'economia circolare come il regolamento sulla Finanza Sostenibile e la Tassonomia e la Strategie in materia di Sostanze Chimiche per la Sostenibilità, di strategia per la Plastica e analisi del ruolo di nuove tecnologie come il riciclo chimico. Ha seguito direttamente la revisione della documentazione di riferimento sulle direttive per le Best Available Techniques relative a diversi settori tra cui l'incenerimento dei rifiuti e assiste i clienti nella loro implementazione.

Lorenzo Ceccherini. Ingegnere meccanico di formazione, Lorenzo lavora da anni come consulente sulle policy dell'Unione Europea in materia di energia, ambiente e rifiuti. Di recente si è occupato di valutazioni sui criteri di sostenibilità legati alla normativa sulle energie rinnovabili (RED II), di revisione del Regolamento della Commissione UE per gli inquinanti organici persistenti (POP) nei rifiuti e sulle opportunità proposte dalle strategie europee relative al Green Deal su metano, idrogeno e energy sector integration. Ha partecipato alla revisione tecnica della documentazione di riferimento sulle direttive per l'incenerimento, con particolare attenzione ai requisiti di efficienza energetica, e ne segue l'implementazione.